



## Rapport d'expérimentation

### PREMIERE APPROCHE DES EMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE (N<sub>2</sub>O) EN PRAIRIE FAUCHEE, POUR DIFFERENTES MODALITES DE FERTILISATION, A LA REUNION

#### Fiche descriptive du projet

<b>Titre du projet en français</b>	<b>PREMIERE APPROCHE DES EMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE (N<sub>2</sub>O) EN PRAIRIE FAUCHEE, POUR DIFFERENTES MODALITES DE FERTILISATION, A LA REUNION</b>		
<b>Titre du projet en anglais</b>	A FIRST APPROACH OF NITROUS OXIDE EMISSIONS (N <sub>2</sub> O) IN GRASSLAND, FOR VARIOUS FORM OF FERTILIZER, IN REUNION ISLAND		
<b>Mots clés :</b>	Expérimentation, agronomie, élevage, prairie, fertilisation, lisier, composte, effet de serre, émissions, N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , système tropical		
<b>Auteur :</b>	Maëva MIRALLES-BRUNEAU (CIRAD-UMR SELMET, équipe CIEEL)		
<b>Equipes associées :</b>	UMR Systèmes d'élevage méditerranéens et Tropicaux (SELMET) : <i>Cirad, INRA, SupAgro</i> UR Recyclage et Risque : <i>Cirad</i> UR Ecosystèmes Prairiaux : <i>INRA</i>		
<b>Budget total</b>	38 400 €	<b>Durée du projet</b>	12 mois

<b>1. CONTEXTE ET POSITIONNEMENT DU PROJET</b> .....	<b>4</b>
1.1. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET ENJEUX ECONOMIQUES ET SOCIETAUX .....	4
1.2. POSITIONNEMENT DU PROJET .....	5
<b>2. ETAT DE L'ART</b> .....	<b>6</b>
2.1. LES EMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE (N <sub>2</sub> O) EN PARCELLE .....	6
2.2. LES METHODES DE MESURE DES FLUX DE GES EN PARCELLE .....	8
<b>3. PROGRAMME SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE, ORGANISATION DU PROJET</b> .....	<b>10</b>
3.1. OBJECTIFS ET CADRE DU DISPOSITIF .....	10
3.2. PRESENTATION DU SITE .....	11
3.2.1. Localisation géographique .....	11
3.2.2. Conditions climatiques .....	12
3.2.3. Description pédologique du site .....	12
3.2.4. Système de culture .....	14
3.2.5. Les matières organiques produites à la Réunion : lisier et compost de bovin.....	14
3.3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL .....	16
3.4. DISPOSITIF DE MESURE DES FLUX DE N <sub>2</sub> O ET CO <sub>2</sub> A L'INTERFACE SOL-ATMOSPHERE.....	18
3.4.1. Méthode de mesure des émissions .....	18
3.4.2. Mesure des émissions de N <sub>2</sub> O .....	19
3.4.3. Mesure des paramètres environnementaux.....	21
3.5. TRAÇABILITE DES DONNEES .....	22
3.6. CONVERSION DES VALEURS ET CALCULES .....	24
3.6.1. Calcul des émissions de gaz.....	24
3.6.2. Calcul du taux de saturation des pores du sol.....	26
3.6.3. Calcul de la teneur en matière organique du sol (Mo) et du rapport C/N.....	26
3.7. ANALYSE DES DONNEES .....	27
3.8. PARTENARIAT .....	27
3.9. BUDGET.....	28
3.9.1. Équipement .....	28
3.9.2. Personnel.....	28
3.9.3. Prestation de service externe.....	28
3.10. LIVRABLES .....	29
<b>4. RESULTATS</b> .....	<b>30</b>
4.1. CARACTERISTIQUES DE SOL.....	30
4.1.1. Caractéristiques chimiques du sol en début d'essai .....	30
4.1.2. Teneurs en azote minéral (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) du sol durant l'essai.....	31
4.2. CARACTERISTIQUES DES FERTILISANTS ORGANIQUES .....	31
4.3. EMISSIONS DE CO <sub>2</sub> .....	33
4.4. EMISSION DE N <sub>2</sub> O.....	34
<b>5. PERSPECTIVES</b> .....	<b>35</b>
5.1. SUIVI DES EMISSIONS DE N <sub>2</sub> O.....	35
5.1.1. Poursuite et analyse du suivi actuel.....	35

5.1.2.	<i>Essais complémentaires</i> .....	36
5.2.	QUANTIFICATION DES EMISSIONS DE NH <sub>3</sub> EN PRAIRIE .....	37
5.3.	QUANTIFICATION DES PERTES DE NITRATES PAR LA LIXIVIATION EN PRAIRIE.....	38
<b>6.</b>	<b>ANNEXES</b> .....	<b>40</b>
6.1.	LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX .....	40
6.2.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	42
6.3.	LES ESPECES FOURRAGERES A LA REUNION (SOURCES : GUIDE TECHNIQUE POUR LA CREATION, LA GESTION ET LA VALORISATION DES PRAIRIES A LA REUNION).....	44
6.4.	LISTE DES PARAMETRES MESURES ET UTILISES DANS LE CADRE DE L'ETUDE .....	48
6.5.	FICHES DE SAISIE .....	50
6.6.	FOURNISSEURS .....	54
6.7.	PERSONNES RESSOURCES .....	56

# 1. CONTEXTE ET POSITIONNEMENT DU PROJET

## 1.1. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET ENJEUX ECONOMIQUES ET SOCIETAUX

Le recours aux engrais de synthèse a progressivement réduit la dépendance entre culture et animaux et la nécessité de recycler judicieusement les matières organiques. Elle a abouti à une forte spécialisation des systèmes de production et une séparation de plus en plus marquée entre agriculture et élevage, avec à la clef des déséquilibres agronomiques et des questionnements environnementaux de plus en plus prégnants (Bouwman, Beusen et al. 2009, Espagnol and Leterme 2010). Or, à l'échelle mondiale, on estime que l'élevage est en mesure de fournir 102 MT N/an, sous la forme d'effluents directement déposés au champ ou collectés et traités (Vayssières and Rufino 2012) alors même que la quantité de fertilisants minéraux utilisée pour les cultures et les prairies chaque année est de l'ordre de 78 MT N/an (Smil 1999). La volatilité récente des prix des matières premières et la tendance haussière des cours des engrais minéraux sur le long terme ont replacé au centre du débat la question de la valorisation des effluents d'élevage et ses enjeux agronomiques (préservation de la fertilité des sols, substitution des engrais) et environnementaux (protection des sols contre l'érosion, amélioration du bilan carbone, efficacité des intrants).

A la Réunion Les prairies représentent la deuxième surface agricole de l'île (29 %) après la canne à sucre (57 %), et apparaissent naturellement comme les premières bénéficiaires de cette valorisation. Le caractère insulaire du département demande une gestion optimale du gisement de matière organique, afin de réduire la dépendance des agriculteurs vis-à-vis des engrais minéraux importés, et limiter le risque environnemental. Aussi il apparaît primordial d'acquiescer des connaissances sur les impacts de leur utilisation sur le long terme afin de promouvoir son utilisation.

L'élevage bovin est une composante majeure de l'aménagement du territoire Réunionnais. Depuis les années 80, les filières bovines (laitière et allaitante) ont connu un fort développement dans le cadre du plan d'aménagement des Hauts de la Réunion. Elles ont contribué au maintien et au développement d'une activité économique d'importance sur une fraction du territoire qui se désertifiait au profit du littoral. Ces filières, dont les composantes lait et viande représentent respectivement 15 et 32 % du taux de couverture du marché, sont amenées à se développer dans les années à venir, notamment à travers le projet DEFI (développement, élevage, filières interprofessionnelles), porté par l'interprofession animale et l'Etat. Ce projet vise à améliorer l'autosuffisance alimentaire de l'île en captant 10 % de part du marché des productions animales supplémentaires d'ici 2020. Cela se traduira, pour l'élevage bovin, par une hausse de 57,6 % et 48 % de la production de viande et de lait, soit un accroissement de 45% de l'effectif de vaches adultes. Cela aura pour conséquence, un accroissement des besoins en surfaces fourragères et en fertilisant, et une augmentation de la production d'effluent d'élevage bovin. Sur l'île, ces derniers sont essentiellement valorisés au sein même des exploitations, sur les parcelles fourragères (Chabalier, Van de Kerchove et al. 2006), sous la forme de lisier (95 %) ou de fumier (5%) (DAF and CIRAD 2007). Ils représentent aujourd'hui un gisement de 485 468 et 13 499 tonnes de matière organique par an, soit 1310 et 32 tonnes d'azote (MVAD / Chambre d'Agriculture).

Il apparaît essentiel d'optimiser ce gisement alors que les élevages sont actuellement fortement dépendants, pour leur intensification, de l'apport d'engrais minéraux importés par voie maritime (18000 Tonnes / an, toutes filières agricoles confondues). Les consommations intermédiaires (intrants agricoles, énergie, etc.) sont en hausse (3.8 % en 2007) et représentent presque la moitié du montant des productions agricoles totales (155.7 millions d'euros en 2007, source DAF). Cette valeur n'avait encore jamais été atteinte jusqu'ici. Les hausses sont particulièrement importantes pour les engrais et les aliments pour le bétail. Il y a donc un véritable enjeu à la Réunion à favoriser le recyclage des effluents d'élevage pour optimiser la production de fourrage et réduire le poids des intrants sur les comptes d'exploitation.

La plus large diffusion de cette pratique auprès des agriculteurs demande d'acquérir des références locales sur les atouts et contraintes d'une fertilisation minérale ou organique, en termes agronomique, technico-économique (gestion de proximité, coût/ha, ...) et environnemental. A ce jour, la composante environnemental a été peut étudiée. A l'échelle de la parcelle, les principaux risques de pollution liés à l'épandage d'engrais organiques, sont les pertes de nitrates par lessivage, la volatilisation de l'ammoniac, et les émissions de gaz à effet de serre ( $N_2O$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$ ).

Les prairies sont des lieux de production et d'absorption de gaz à effet de serre ( $CO_2$ ,  $N_2O$  et  $CH_4$ ). Le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) joue un rôle important dans l'atmosphère et c'est un gaz à effet de serre très puissant (pouvoir de réchauffement global 296 fois celui du  $CO_2$ ). L'évaluation des émissions de  $N_2O$  d'origine agricole sur le territoire français, par Germon et al. (Germon, Hénault et al. 2003) souligne que la réduction des émissions de  $N_2O$  peut peser au moins autant sinon plus que les éventuelles capacités de restockage de carbone. Pellerin et al. (Pellerin, Bamière et al. 2013) ont mis en avant un certain nombre d'actions pouvant contribuer à diminuer les émissions de  $N_2O$  en prairie, en lien avec leur mode de gestion et de fertilisation. Or, de récentes synthèses bibliographiques ont mis en avant le manque de référence sur les facteurs d'émissions adaptés aux contextes français (Gac 2006). Ces études soulignent la nécessité d'acquérir des références locales afin d'évaluer les différents leviers d'actions possibles afin de réduire les émissions.

## **1.2. POSITIONNEMENT DU PROJET**

Depuis 2004, le CIRAD a mis en place un dispositif expérimental en micro parcelles pour évaluer les impacts agronomiques sur le long terme (10 ans) de différents types de fertilisation, organique et minérale, des prairies fauchées à la Réunion. Le dispositif expérimental a été mis en place dans quatre sites représentatifs de la diversité agro-écologique des prairies à la Réunion (contexte pédoclimatique, espèce fourragère, sol) et compare dans chacun de ces sites les rendements fourragers et le «capital fertilité» des sols pour dix modalités de fertilisation minérale et/ou organique. A la base du projet, a été formulée l'hypothèse de travail suivante : une fertilisation différentielle de prairies tropicales, à base de PRO de bovin ou d'azote minéral, prolongée sur 10 ans, impacte différemment et durablement à terme la fertilité des sols (disponibilité de l'azote, taux de matière organique), la production de biomasse fourragère et les bilans environnementaux (stocks et flux d'N et de C). Aussi, l'objectif général du dispositif est l'étude des relations entre les dynamiques agronomiques (plante et sol) d'une part, et l'impact (bilan) environnemental à terme, d'autre part, d'une fertilisation de prairies tropicales à base de PRO ou d'azote minéral. Les objectifs spécifiques assignés au projet sont notamment la production de références originales en

*Première approche des émissions de protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*

contexte tropical sur les impacts environnementaux (émissions gazeuses, séquestration de C) d'une fertilisation organique et d'une fertilisation minérale, conduites sur le long terme, sur des prairies de graminées tropicales. Un bilan de masse partiel laisse apparaître des pertes pouvant atteindre 40% de l'azote minéral apporté. Les deux principales voies de pertes identifiées sont les pertes par lixiviation ( $\text{NO}_3^-$ , matières organiques dissoutes) et par émission gazeuse ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ).

Etant donné le peu de références sur les émissions d'azote en prairie à la Réunion, cela justifie la mise en place d'un suivi, d'autant plus qu'assez peu de données sont disponibles sur le sujet pour les sols tropicaux et que les attentes en la matière sont importantes.

## 2. ETAT DE L'ART

### 2.1. LES EMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE ( $\text{N}_2\text{O}$ ) EN PARCELLE

Le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) est 1000 fois moins concentré dans la troposphère que le gaz carbonique, mais possède un potentiel de réchauffement global (PRG) sur un siècle d'environ 300 fois supérieur, ainsi qu'une durée de vie de l'ordre de 120 ans dans l'atmosphère. Sa concentration atmosphérique est passée de 275 à 314 ppb aux cours des deux derniers siècles, l'essentiel de cette augmentation s'étant produit au cours des 50 dernières années. En France, les émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  dues aux activités humaines représentent près de 16 % de l'effet de serre anthropique. L'agriculture est responsable d'environ 72 % des émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  et est ainsi le principal secteur économique émetteur de ce gaz.

De récentes synthèses bibliographiques sur les émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  ont mis en avant le manque de référence sur les facteurs d'émissions adaptés au contexte français (Gac 2006) et la nécessité d'acquérir des données complémentaires (Germon, Hénault et al. 2003). En France, les bovins contribuent majoritairement aux émissions de  $\text{N}_2\text{O}$ , avec 87 % des émissions, tous postes d'émission confondus (pâturage, bâtiment, stockage, épandage), contre 6 et 7 % respectivement pour les élevages de volailles et porcins (Gac 2006). Les émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  se produisant principalement en condition aérobies, lorsque les déjections sont en contact avec le sol, 60 % de ces émissions sont liées au pâturage, et 25 % à l'épandage. Les émissions liées à l'épandage varient considérablement selon les conditions environnementales, la nature et le mode de fertilisation, et présentent un niveau d'incertitude très élevé. Les émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  varient de l'ordre de quelques g à centaines de  $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{jour}^{-1}$ . Conen, Dobbie *et al.* (2000) considèrent les émissions comme étant faibles lorsqu'elles sont inférieures à  $10 \text{ g N-N}_2\text{O}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ . D'autres auteurs considèrent comme faibles les émissions inférieures à  $12 \text{ g N-N}_2\text{O}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$  ( $50 \mu\text{g N-N}_2\text{O h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) (Scheer, Wassmann et al. 2008) et comme très faibles, celles inférieures à  $2.4 \text{ g N-N}_2\text{O}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$  ( $10 \mu\text{g N-N}_2\text{O h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) (Kaiser and Heinemeyer 1996, Scheer, Wassmann et al. 2008). Drury, Reynolds et al. (2006) considère comme faible toute émissions inférieurs à  $30 \text{ g N-N}_2\text{O}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ . La nitrification et la dénitrification sont les principaux processus de production du  $\text{N}_2\text{O}$  dans le sol. Ces réactions sont notamment conditionnées par la proportion de l'espace poral du sol rempli par l'eau (WFPS, Water-filled pore space) et les teneurs en azote minéral. L'**humidité du sol**, de 50 à 60 % est propice à la dénitrification. Les émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  sont très dépendantes de la **fertilisation azotée**, et présentent une forte variabilité spatiale et temporelle (Soussana et al., 2006). Le GIEC considère qu'elles sont proportionnelles aux apports d'azote et appliquent un facteur

d'émission unique de 1.25%. Ce coefficient est remis en cause par diverses synthèses. Le projet européen GreenGrass (Soussana, 2005) a mis en avant un facteur d'émission moyen plus faible que celui de GIEC (= 0.7%). Cette valeur étant le résultat de mesures réalisées sur plusieurs cycles annuels dans des contextes pédoclimatiques différents sur toute l'Europe. **L'enfouissement des engrais** organiques tendrait à augmenter la dénitrification. Le phénomène étant particulièrement important pour le lisier, pour lequel on a observé des émissions 16 fois plus élevées (Flessa et Bees, 2000). Toutefois, pour les sols ayant une faible capacité de réduction du N<sub>2</sub>O et N<sub>2</sub>, un apport de matières organiques, en stimulant particulièrement la réduction microbienne du N<sub>2</sub>O en N<sub>2</sub>, pourrait diminuer l'intensité des émissions de N<sub>2</sub>O alors que la dénitrification totale est augmentée (Hénault et al, 2001 ; Mathieu et al, 2006). La **compaction du sol** favorise les émissions de N<sub>2</sub>O en augmentant le risque d'anoxie par diminution de la porosité et de la diffusion d'oxygène dans le sol (Sitaula et al, 2000). Le **travail du sol réduit** augmente souvent les émissions de N<sub>2</sub>O par le sol (Six et al, 2004). Les émissions de N<sub>2</sub>O sont en interaction avec le **cycle du carbone**. Dans les sols où les émissions sont liées à la dénitrification, l'intensité de cette transformation est directement dépendante de la quantité de carbone assimilable. La disponibilité en **matière organique** apparait comme un élément favorisant l'intensité des émissions. Frebauer (2002) relie directement l'intensité des émissions à la teneur en carbone organique du sol. Skiba et Mc Taggart (1996), ont mis en évidence des émissions plus fortes en prairie que sur culture, qui serait lié au stock de carbone et d'azote organique dans le sol et son turn-over rapide. Le projet européen GreenGrass a également mis en avant des différences d'émissions entre prairies fauchées et pâturées.

**Figure 1: Exemples de flux de N<sub>2</sub>O sur prairie**

Pays	Climat	Système	flux	unité	Ref. biblio
Europe	tempéré		-100 à +800	à $\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2}\text{s}^{-1}$	(Flechar, Ambus et al. 2007)
France	tempéré		5	$\text{g N}_2\text{O-N .ha}^{-1}\text{.j}^{-1}$	(Guay 2008)
Suisse	tempéré		-102 à 449	$\mu\text{g N}_2\text{O-N .m}^{-2}\text{.s}^{-1}$	(Flechar, Neftel et al. 2005)
Suisse	tempéré		-109 à 2402	à $\mu\text{g N}_2\text{O-N .m}^{-2}\text{.s}^{-1}$	(Flechar, Neftel et al. 2005)
Costa Rica	tropical	Pâturage fertilisé (75.2 kg N ha <sup>-1</sup> )	11.5 à 151.4	à $\text{g N}_2\text{O}_N\text{.ha}^{-1}\text{.j}^{-1}$	(Veldkamp, Keller et al. 1998)
Costa Rica	tropical	Pâturage traditionnel	6.4	$\text{g N}_2\text{O}_N\text{.ha}^{-1}\text{.j}^{-1}$	(Veldkamp, Keller et al. 1998)
Costa Rica	tropical	Pâturage herbe-légumineuse	11.7	$\text{g N}_2\text{O}_N\text{.ha}^{-1}\text{.j}^{-1}$	(Veldkamp, Keller et al. 1998)
Costa Rica	tropical	Pâturage fertilisé (300 kg N ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> )	62	$\text{g N}_2\text{O}_N\text{.ha}^{-1}\text{.j}^{-1}$	(Veldkamp, Keller et al. 1998)
Madagascar	tropical	Soja	30	$\text{g N-N}_2\text{O j}^{-1}\text{ ha}^{-1}$	(Rabenarivo. M et al. 2009)
Réunion	tropical	Couvert de kykuyu	0.7	$\text{g N.ha}^{-1}\text{.heure}^{-1}$	(Velle,2007)

La littérature indique que les émissions de N<sub>2</sub>O dans les sols de régions chaudes sont très dépendantes de la minéralisation d'azote qui conditionne le développement de la nitrification et de la dénitrification, tandis que sous climat tempéré et relativement humide, les conditions culturales et l'usage de fertilisant amène à considérer la dénitrification comme la principale source d'émission (Smith et Arah, 1990). A Madagascar on a quantifié des émissions inférieures à 30 g N-N<sub>2</sub>O j<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> en systèmes de culture de soja (Rabenarivo. M, Andriamiaramiantraferana et al. 2009). Dans certains sols tropicaux où la productivité est principalement limitée par la disponibilité en phosphore, les émissions de N<sub>2</sub>O peuvent être de

*Première approche des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*

10 à 100 fois plus importantes pour une même quantité d'azote apportée que dans les sols sous climat tempérés où la productivité est principalement limitée par l'azote (Prather et al., Hall et Matson, 1999)(Hall and Matson 1996).

A la Réunion, les données liées aux émissions de N<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub> sont fragmentaires. L'inventaire régional des émissions de gaz à effet de serre pour l'île de la Réunion (ARER, 2012), estime à 68 et 509 tonnes les émissions de N<sub>2</sub>O liées aux déjections animales et aux sols agricoles, soit 2 et 3 % des émissions de GES en 2010 (part hors utilisation des terres, leur changement et la forêt). L'étude menée en 2007 sur les émissions de N<sub>2</sub>O après épandage de lisier sur sol andique (Velle, 2007) a montré des flux faibles, de l'ordre de 0.7 g N.ha<sup>-1</sup>.heure<sup>-1</sup>.

Ce qui ressort des différents travaux réalisés ces dernières années, c'est la nécessité d'une **approche régionalisée** (Germon, Hénault et al. 2003), tant les conditions pédo-climatiques vont impacter le niveau des émissions. Ils soulignent également la nécessité d'acquérir des données complémentaires, et particulièrement en pâturage.

## 2.2. LES METHODES DE MESURE DES FLUX DE GES EN PARCELLE

Il existe deux grandes familles de méthode pour mesurer directement les flux de GES en parcelle. **La méthode des chambres** est la plus utilisée (Germon et al, 2003). Elle est basée sur l'utilisation d'enceintes de confinement posées sur la surface étudiée (tas de fumier, fosse à lisier, parcelle) dont on mesure l'enrichissement de l'atmosphère en gaz (Fowler, 1999). Le flux est déduit de l'augmentation (émission) ou de la diminution (absorption) de la concentration (**chambre statique, closes**), ou de la concentration à l'équilibre dans l'enceinte (**chambre dynamique et tunnel, ouverts et traversés par un flux d'air**), ou de la différence entre les entrées et sorties. La base de temps de la mesure est l'heure. Les mesures sont réalisées sur une surface de l'ordre de quelques dm<sup>2</sup> à 1 m<sup>2</sup>. la technique des enceintes est sensible (Germon et al., 1999), la plus simple d'un point de vue technique et relativement peu coûteuse. Les chambres présentent l'inconvénient de ne mesurer les émissions que sur une surface limitée. Mais les résultats peuvent être extrapolés à l'échelle de la parcelle et du paysage. Pour cela Il est nécessaire de procéder à un nombre suffisant de répétitions compte tenu de la forte variabilité spatiale des émissions. Cette méthode présente également l'inconvénient de modifier les conditions du milieu au moment de la mesure, aussi, celle-ci ne doit pas dépasser une heure (Rochette, 2011). La méthode des chambres est la technique de choix pour étudier la variabilité spatiale des flux ou de comparer des traitements agronomiques. Par contre, ce n'est pas la plus pratique pour l'échelle du paysage. Actuellement, la majorité des données d'émission disponibles dans la littérature repose sur cette méthodologie (de Klein et al, 2001 ; Flessa et al, 2002).

Les **méthodes micrométéorologiques** mesurent le transfert entre la surface et l'atmosphère selon la verticale à l'aide de mesures de concentration du gaz concerné, de vent et de température (Lapitan, Wanninkhol et al, 1999). Le flux est déterminé en intégrant des mesures réalisées en continu sur des intervalles de temps de l'ordre de l'heure. Les mesures sont réalisées sur une surface de l'ordre de 1 ha - 1 km<sup>2</sup>. Les méthodes micrométéorologiques permettent de faire des mesures horaires d'émission, sur de grandes surfaces (parcelle), en conditions réelles sans modifier les conditions d'émission, intégrant mieux les variabilités



temporelles et spatiales des émissions. Toutefois elles requièrent des instruments chers et sophistiqués qui sont très délicate à mettre en œuvre. On distingue deux méthodes micrométéorologiques : une **méthode de gradient** et une autre dite des **fluctuations turbulentes**. Cette dernière est complexe et reste encore très expérimentale (Soussana et al., 2006). La **méthode de gradient** (gradient de flux) est basées sur une analogie avec les processus de diffusion et sur des mesures de concentration, vent et température à différentes hauteurs au-dessus de la surface du sol : les concentrations sont plus fortes près de la surface lorsqu'on est au-dessus d'une source et inversement au-dessus d'un puits. Les mesures de vent et température servent à calculer le coefficient de transfert entre la surface et l'atmosphère. La méthode requière une mesure continue et simultanée de la concentration en gaz cible, de la température et du vent horizontal à différentes hauteurs du sol. Le site doit être plat et sans arbres ou habitations à proximité . La méthode permet de fonctionner en continu et d'intégrer des fluctuations moyennes sur des surfaces de l'ordre de l'hectare. Toutefois, elle est très lourde à mettre en œuvre et les seuils de détection sont plus élevés que ceux obtenus avec le couplage enceintes- CPG . La **méthode des fluctuations turbulentes** part de la mesure de base du processus d'échange turbulent entre la surface et l'atmosphère. On mesure le flux instantané par le produit entre la vitesse verticale du vent et la concentration, et celui-ci est intégré sur une période de l'ordre de l'heure. La détermination précise du flux demande tout un processus complexe de traitement du signal. Elle reste encore expérimentale pour des composés tels que le  $N_2O$ , le  $CH_4$ , le  $NO$  ou le  $NH_3$ .

Des comparaisons méthodologiques ont démontrées que la méthode des chambres et la méthode micrométéorologiques, conduites en parallèle, donnent des résultats similaires (Laville et al, 1997 ; Laville et al., 1999 ; Hénault et al, 2003). La méthode micrométéorologiques permet de s'affranchir des problèmes de variabilité spatiale aux petites échelles, tandis que la méthode des chambres offre actuellement une meilleure sensibilité et permet de caractériser plus finement les effets des facteurs du milieu.

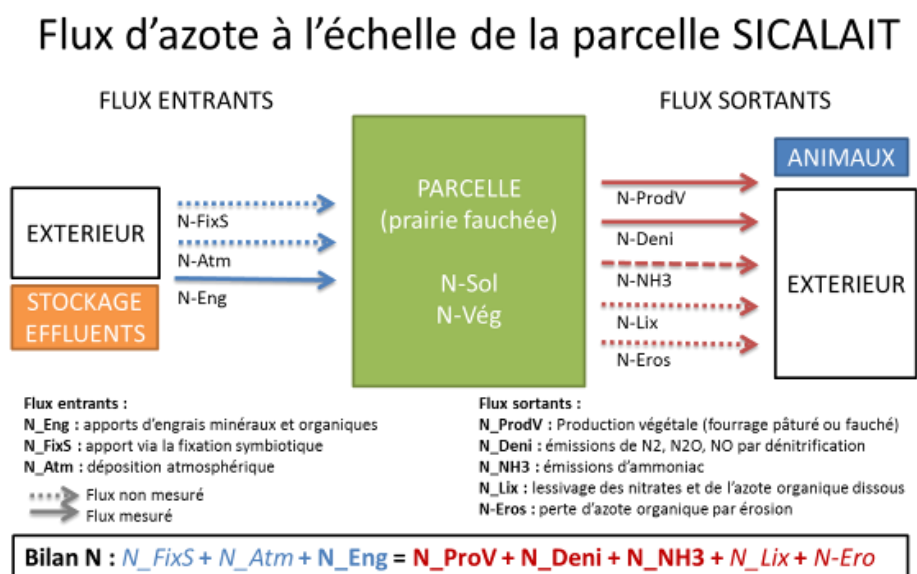
### 3. PROGRAMME SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE, ORGANISATION DU PROJET

#### 3.1. OBJECTIFS ET CADRE DU DISPOSITIF

Les **objectifs** de ce projet sont ; (1) la production de références originales en contexte tropical sur les émissions  $N_2O$ , en lien avec le type de fertilisation, en prairies fauchées, (2) acquérir, à travers cette première approche, les compétences nécessaires à la mise en place et à l'analyse de dispositifs expérimentaux sur les émissions de gaz.

L'étude s'intéresse aux **émissions gazeuses de  $N_2O$  à l'échelle de la parcelle**, en système de prairies fauchées. On cherche à quantifier les émissions en lien avec le type de fertilisation azotée. Pour cela, on définit les limites du système étudié (la parcelle) selon le schéma des flux d'azote ci-dessous (Figure 1). Sont représenté en trait plein, les flux suivis dans le cadre de l'étude, et en pointillé, les flux qui seront estimés, car non quantifiés dans le cadre de l'essai.

Figure 2 : Flux d'azote à l'échelle de la parcelle



L'essai s'est positionné sur le dispositif expérimental de l'essai fertilisation du CIRAD – UMR SELMET, à la ferme de la SICALAIT, à la Plaine des Cafres. Ce dispositif a été mis en place en 2004, par Philippe LECOMTE (directeur de l'UMR SELMET). Le dispositif est géré par Expédite RIVIERE, technicien d'expérimentation à l'UMR SELMET. Il est en charge du suivi, des notations, de la récolte et de la saisie des données. La gestion des données et leur analyse est sous la responsabilité de Paolo SALGADO (chercheur, UMR SELMET). L'historique des parcelles et l'itinéraire technique étant connus et cadrés, des mesures sur ce dispositif permettent d'obtenir des valeurs d'émission en conditions contrôlées, en comparaison avec un suivie en exploitation.

L'étude a été réalisée pendant la **saison des pluies**, durant l'été austral (décembre à mai), de novembre 2012 à mai 2013. Elle s'est décomposée en quatre périodes de mesures autour des dates de fauche de novembre 2012, février, mars et mai 2013. La première campagne de mesure a été réalisée sur un petit nombre de parcelles, avec un nombre plus important de chambre statiques, afin de tester la variabilité intraparcellaire des émissions. C'est sur la base des résultats obtenus que les modalités suivies ont été sélectionnées.

Le protocole d'essais a été dimensionné de sorte de pouvoir être mis en œuvre par deux personnes : un ingénieur d'expérimentation (Maëva MIRALLES-BRUNEAU, UMR SELMET), pour la définition du protocole, la mise en œuvre et le suivi des mesures, la gestion et le traitement des données acquises, et un technicien d'expérimentation (Olivier SALMACIE, UR Recyclage et Risque), pour l'aide à l'acquisition des mesures.

### 3.2. PRESENTATION DU SITE

#### 3.2.1. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE

La ferme de la SICALAIT est située à la Plaine des Cafres (latitude : 21°12'59.50"S, longitude : 55°34'45.39"E), à 1596 m d'altitude (Tableau 1).

**Tableau 1 : Caractéristiques du site de la SICALAIT**

Nom du site	Secteur	Coordonnées		Altitude (m)	Moyennes annuelles	
		Latitude	Longitude		Température (°C)	Pluviométrie (mm)
Ferme de la SICALAIT	Plaine des Cafres	21°12'59.50"S	55°34'45.39"E	1596	14	1648

**Figure 3 : Localisation du site expérimental de la Ferme de la SICALAIT, à la plaine des Cafres**

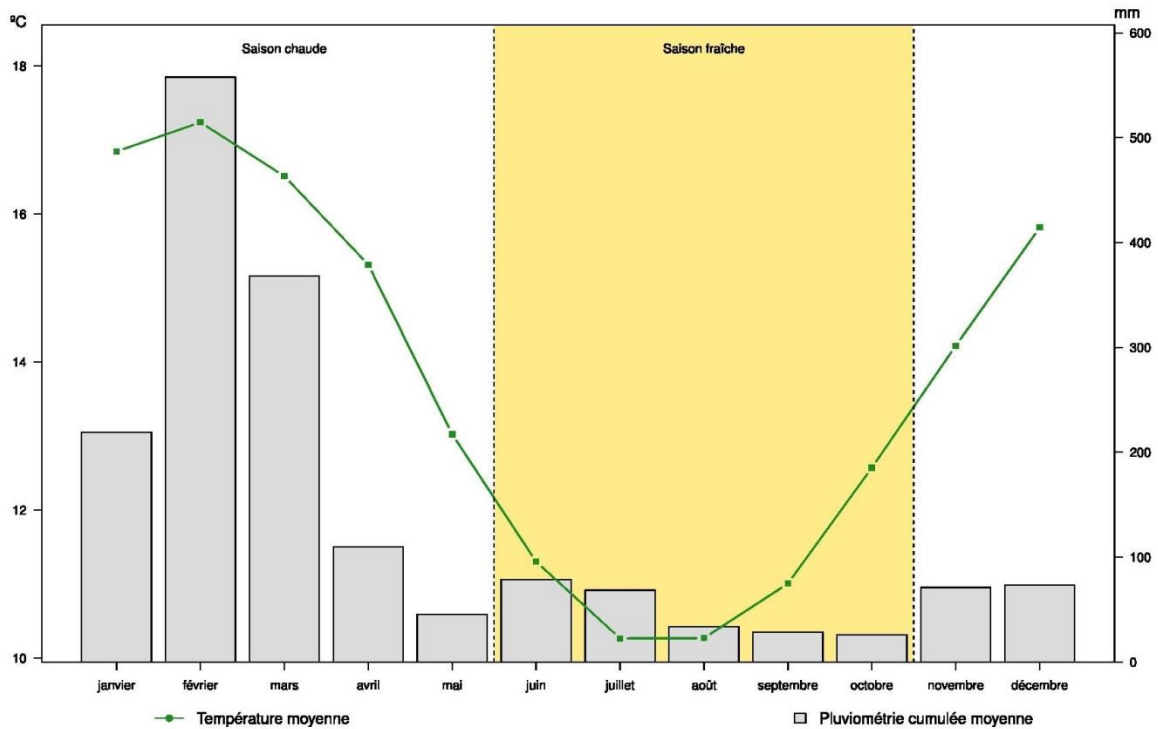


Première approche des émissions de protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.

### 3.2.2. CONDITIONS CLIMATIQUES

La plaine des cafres présente un climat frais et humide. Elle se caractérise par une saison chaude très pluvieuse (moyenne annuelle 200 à 800 mm). L'hiver austral est moins pluvieux mais sans mois de moins de 50 mm. Le climat y est frais, les températures oscillent entre 10 et 20 °C (moyenne annuelle) et peuvent être négatives la nuit en hiver.

Figure 4 : Pluviométrie et Température de l'air mensuelle moyenne à la Plaine des Cafres (2004-2012)



L'étude a été réalisée durant l'été austral (novembre à mai). Elle se caractérise par une saison chaude et pluvieuse qui entraîne un pic de productivité des prairies.

### 3.2.3. DESCRIPTION PEDOLOGIQUE DU SITE

Le sol de la prairie est un Andosols désaturés pérhydratés (classification internationale : andosols aluandiques, silandiques et hydriques). Ce sont des sols assez jeunes formés sur des cendres volcaniques récentes. Les andosols pérhydratés ont une faible densité, contiennent naturellement beaucoup d'eau (plus de la moitié de leur poids frais, du fait d'une microporosité très développée et l'existence de gels de silicate d'alumine hydratés) (Fillols and Chabalière 2007) et présentent une grande perméabilité.

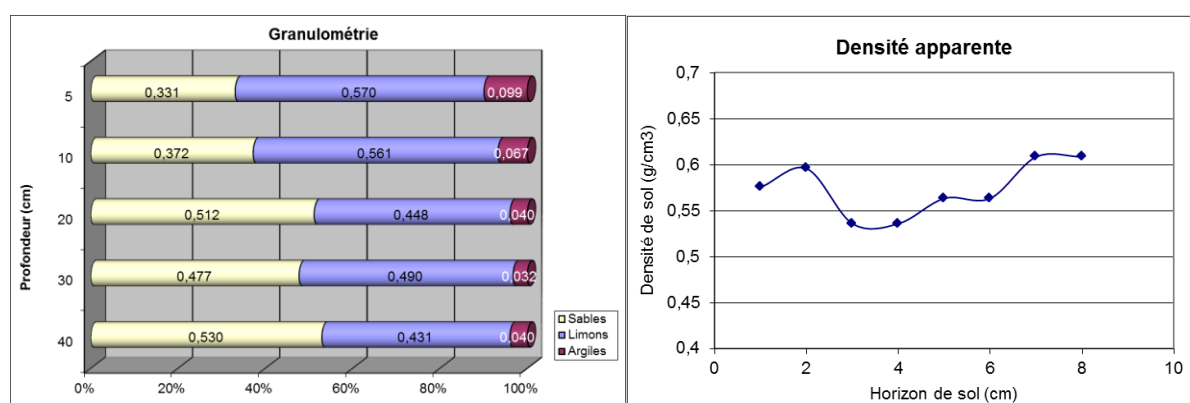
**Tableau 2 : Caractéristiques physiques de la parcelle de la SICALAIT**

Type de sol	Granulométrie				Densité apparente (g.cm <sup>-3</sup> )	Teneur en matière Organique (%)	Profondeur d'enracinement (m)
	Sable <sup>a</sup> (%)	Limon <sup>a</sup> (%)	Argile* (%)	Cailloux <sup>a</sup> (%)			
Andosols désaturés pérhydratés	36	44	25	15	0.56		40

<sup>a</sup> Average withing the layer 0-20 cm

Ce sont des sols acides, à capacité cationique et anionique très élevée, dont les teneurs en matières organiques sont très élevées. A la Réunion, la plupart des prairies cultivées sur andosols, se caractérisent généralement par une forte indisponibilité du Phosphore liée à l'acidité. Ce type de sols se caractérisent également par une faible minéralisation azotée.

**Figure 5 : Granulométrie et densité apparente du sol de la parcelle de la SICALAIS (source : INRA UREP)**



Le sol de la parcelle est de type limon sableux, avec une densité apparente de 0.56 g.cm<sup>-3</sup> sur l'horizon 0-20 cm. A l'implantation du dispositif (2004), il présentait un taux de matière organique élevée (25 %) et un rapport C/N très faible (11.28), favorable à la minéralisation. Le sol est acide (pH 6) et présente une valeur convenable pour ce type de culture. Le statut calco-magnésien très fort, avec des teneurs en magnésium (5,55 mé.100g<sup>-1</sup>) et calcium élevées (9.14 mé.100g<sup>-1</sup>). La CEC est élevée (17.29 méq/100g) et a une bonne capacité à retenir les éléments fertilisants. La teneur en phosphore est très élevée (438,40 mg.kg<sup>-1</sup>).

**Tableau 3 : Caractéristiques chimiques de la parcelle de la SICALAIT à l'implantation de l'essai (2004)**

C org (g/100g)	N tot (g/kg)	C/N	CEC	pH	P (mg.kg <sup>-1</sup> )	K (mé.100g <sup>-1</sup> )	Mg (mé.100g <sup>-1</sup> )	Na (mé.100g <sup>-1</sup> )	Ca (mé.100g <sup>-1</sup> )
12,58	11,16	11,28	17,29	6	438,40	0,88	5,55	0,25	9,14

Un essai réalisé, au laboratoire en conditions contrôlées, en 2000, a mis en avant une faible activité de minéralisation de l'azote de la Mo endogène des andosols de la plaine des cafres. (Morvan. T, Chabalier et al. 2003). Cette faible activité minéralisatrice s'expliquerait par l'acidité des sols, la faible taille du compartiment microbien (biomasse microbienne évaluée à 306 mg C/kg sol), alliée à leur fond géochimique (abondance de Al, Ni, Cr, Cu et Zn) et par la formation, dans les andosols, de complexes organominéraux. Les valeurs de biomasse

*Première approche des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*

microbienne mesurées apparaissent nettement inférieures aux valeurs couramment rencontrées dans les sols de climat tempéré : le carbone microbien représente, en effet, seulement 0,15 à 1 % du C total sur l'échantillon des sols étudiés, contre des valeurs usuellement comprises entre 1,5 et 2,5 % du C total dans les sols de climat tempéré. La vitesses journalières de minéralisation de l'azote ( $V_{mj}$ ) des andosols de la Plaine des Cafres, à 28 °C, a été estimée  $1.09 \mu\text{g N g}^{-1}\cdot\text{sol j}^{-1}$ , soit  $1.42 \text{ kg N ha}^{-1}\text{J}^{-1}$  (épaisseur de la couche minéralisante considérée égale à 25 cm pour tous les sols). La réactivité des sols étudiés vis à vis de la décomposition des engrais organiques est importante. En effet, leur décomposition se produit de manière intense sur une durée courte (20 jours à 20 °C) quels que soient les produits.

La profondeur d'enracinement, pour ce type de systèmes herbagers, est de 40-50 cm. La majorité des espèces vont développer leur système racinaire à 25-30 cm de profondeur. Le Kikuyu, quand à lui, va développer un système racinaire entre 40-50 cm, et pourra étendre ses racines jusqu'à 1 m - 1.10 m sur les zones de sol les plus profondes.

#### 3.2.4. SYSTEME DE CULTURE

La parcelle au sein de laquelle est implanté le dispositif est une prairie permanente. Elle a été semée il y a plus de 30 ans, et a été alternativement fauchée et pâturée. C'est une prairie composée en majorité par des graminées tempérée : brôme (60 %), dactyle (10 %), kikuyu (10 %), trèfle blanc (10%), fétuque (5 %), ray-gras hybride (5 %). Le rendement potentiel de la prairie est de l'ordre de  $12 - 15 \text{ t MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ . La prairie est fertilisée à base de composte de bovin (30 t/ha) une fois par an.

Pour une production annuelle avoisinant les  $12 \text{ t MS}\cdot\text{ha}^{-1}$  étalée sur 12 mois, le **plan de fertilisation** préconisé à la Réunion est de **342 u N**·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup>, **235 u P**·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup> et **144 u K**·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup>.

Pour plus d'information, un descriptif plus détaillée de ce type de prairie est présenté en annexe 6.5.

#### 3.2.5. LES MATIERES ORGANIQUES PRODUITES A LA REUNION : LISIER ET COMPOST DE BOVIN

Les effluents d'élevage bovin, à la Réunion, sont essentiellement valorisés au sein même des exploitations, sur les parcelles fourragères, sous la forme de lisier (95 %) ou de fumier (5%). Le compostage est peu pratiqué.

L'apport de matière organique a deux rôles : augmenter la teneur en matière organique du sol pour améliorer sa fertilité physico-chimique et biologique, et fertiliser les cultures par les éléments apportés. Les matières organiques sont définies à la fois par leur consistance (liquide, pâteuse, solide) et par leur composition organique et minérale. Elles possèdent des teneurs en éléments nutritifs qui varient en fonction de nombreux facteurs, tels que l'animal, son âge, son régime alimentaire, le type d'élevage, le bâtiment, la quantité et la qualité de la litière, la dilution par l'eau, de la durée de stockage. La **teneur en matière sèche (MS)** influence fortement la richesse en éléments minéraux d'une matière organique. Plus sa teneur en MS et en éléments fertilisants sont élevées, plus la matière organique est concentrée et plus

*Première approche des émissions de protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*

elle est riche en éléments. La MS (en %) est estimée par le rapport entre le poids de sa matière sèche et le poids initial brut de l'échantillon. Ainsi, un produit organique à 60 % de MS contient 600 kg de MS par tonne de produit brut. La **teneur en azote total (N)** est un indicateur de la valeur fertilisante en azote d'un engrais. Les matières organiques présentant une teneur en azote en dessous de 5 kg.t.<sup>-1</sup> de produit brut, sont considérées comme pauvres. Au-dessus de 15 kg/t de produit brut, elles sont considérées comme étant riche en azote. Le **coefficient isohumique (K<sub>1</sub>)** est un indicateur de la capacité de la matière apportée à fournir de la matière organique stable au sol

**Tableau 4 : Caractéristiques agronomiques des lisiers et composts de bovin à la Réunion (Chabalier, Van de Kerchove et al. 2006)**

	MS (%)	N total (Kg/t produit brut)	Azote ammoniacal	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/t produit brut)	K <sub>2</sub> O (Kg/t produit brut)	K <sub>1</sub> * (%)	ISB (%)	C/N	pH
<b>LISIER DE BOVIN</b>	7.0	3.3	1.3	1.8	3.8	20-30		8 - 12	7 - 7.4
<b>COMPOST DE FUMIER DE BOVIN</b>	35.2	7.6	faible	3	7.3	50-60	49	16.6	7-8

\* valeurs métropole

Le **lisier** agit plutôt comme un engrais organique. Il apporte peu d'humus, mais fertilise la culture en libérant progressivement (quelques mois) les éléments minéraux N, P, K, sous des formes directement assimilable par les plantes. Le **compost** est une matière amendante qui apporte à la fois de l'humus et des éléments accessibles aux microorganismes et aux plantes. Il a un intérêt pour le bon fonctionnement biologique du sol. Il améliore la structure et la rétention en eau du sol, stimule sa flore et sa faune, et régule mieux le stockage et la fourniture en éléments minéraux à la plante. Aussi, malgré un teneur en azote total plus élevé que le lisier (**Tableau 4**), il a un coefficient équivalent engrais plus faible que le lisier (Tableau 5).

**Tableau 5 : Coefficients équivalent engrais des lisiers et composts de bovin à la Réunion (Chabalier, Van de Kerchove et al. 2006)**

	N total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaCO	MgO
<b>LISIER DE BOVIN</b>	0.2 à 0.55	1	1	1	1
<b>COMPOST DE FUMIER DE BOVIN</b>	0.1 à 0.2	1	1	1	1

### 3.3. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental « Fertilisation organique des prairies » teste depuis 2004 dix modalités de fertilisation minérale, organique ou mixte (Tableau 6) en microparcelles expérimentales depuis 2004. Il suit un **plan en bloc complet** (Figure 6). Il se compose de trois blocs de 10 microparcelles chacun. Les microparcelles mesurent 0.7 m sur 6 m (soir ~ 4 m<sup>2</sup>) et sont espacées de 30 cm. Au sein de chaque bloc, sont répétées les 10 modalités de fertilisation. Celles-ci ont été disposées de manière aléatoire. Les 10 modalités se composent d'un témoin non fertilisé (T1), d'une modalité minérale de « référence » pour un objectif de rendement de 15 t/ha/an (T2), et de modalités de fertilisation organique (lisier ou composte) pure et mixte (lisier + azote ammoniacal ou composte + azote ammoniacal) à différentes doses.

**Tableau 6 : Modalités de fertilisation testées**

Traitement	Détail des apports à l'hectare	Apports théoriques		
		N* (kg.ha <sup>-1</sup> .an <sup>-1</sup> )	P** (kg.ha <sup>-1</sup> .an <sup>-1</sup> )	K** (kg.ha <sup>-1</sup> .an <sup>-1</sup> )
<b>T1</b>	0 fumure	0	0	0
<b>T2</b>	70 kg engrais minéral par coupe + 120 u P et 80 u K (en deux fois)	440	120	80
<b>T3</b>	40 m <sup>3</sup> lisier par coupe	720	454	958
<b>T4</b>	40 m <sup>3</sup> lisier par coupe + 30 kg engr. min / coupe	910	454	958
<b>T5</b>	70 m <sup>3</sup> lisier par coupe	1260	794	1676
<b>T6</b>	7,2 t composts par coupe alternée	350	136	331
<b>T7</b>	7,2 t composts par coupe alternée + 56 kg engr. min par coupe	700	136	331
<b>T8</b>	12 t composts par coupe alternée	580	227	552
<b>T9</b>	12 t composts par coupe alternée + 48 kg engr. min par coupe	880	227	552
<b>T10</b>	120 kg N engr. min par coupe, 120 u P et 80 u K (en deux fois)	760	120	80

\*estimation de P. LECOMTE, sur la base des premières analyses, \*\* sur la base du guide de la fertilisation organique à la Réunion

L'**itinéraire technique** suit les préconisations pour ce type de culture à la Réunion. De **6 à 7 coupes** sont réalisées par an. Elles sont déclenchées en fonction du stade de maturité et de la hauteur d'herbe. C'est la parcelle la plus précoce qui déclenche la coupe de l'ensemble de l'essai. La fauche est réalisée environ tous les 45 jours en été, et 55 jours en hiver, avec un seuil maximum de 70 jours à ne pas dépasser. La fauche est réalisée à l'aide d'une tondeuse portative à bras, à 10 cm du sol, comme préconisé pour une fauche classique.

La **fertilisation** organique et/ou minérale est réalisée dans les jours qui suivent la coupe, afin de favoriser la croissance de l'herbe. Une exception est faite pour les modalités fertilisées avec du compost, où l'apport est réalisé une coupe sur deux. 120 unités de phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) et 80 unités de potassium sont apportées par an sur les modalités minérales T2 et T10. Cet apport est fait en deux fois, au début de la saison des pluies et de la saison sèche.

La fertilisation azotée minérale est réalisée avec de l'azote ammoniacal (26 % ou 20%). Le lisier utilisé est du lisier de bovin lait qui provient de la ferme de Mr Didier PICARD, situé à

*Première approche des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*



la Plaine des Cafres. Le compost utilisé est du compost de bovin lait sur paille de canne, prélevé à la ferme de la SICALAIT (la Plaine des Cafres).

Le **désherbage** est réalisé en fonction du taux d'infestation de la parcelle. Celui-ci est évalué sur une échelle de 0 à 9 (voir ci-dessous). Le traitement est réalisé pour une notation de 3.

- 0 : quelques pieds
- 1 : une 10° d'adventices
- 3 : ½ de la parcelle envahie
- 5 : 2/3 de la parcelle envahie
- 9 : parcelle totalement envahie

A chaque **fauche**, il est réalisé un diagnostic de composition floristique, une mesure de hauteur d'herbe (Herbomètre) et de rendement pour chaque micro parcelle. Une analyse de la composition du fourrage (matière sèche, teneur en azote et carbone) par spectrométrie en proche infrarouge est réalisée sur un échantillon moyen, pour chaque traitement. A chaque apport de **fertilisant organique**, un prélèvement est réalisé pour analyse de matière sèche, teneur en azote, azote ammoniacale et carbone.

Les **données météo** sont obtenues via une station météo située à 2 km du site (station n° 97422440).

Une **analyse standard de sol** est réalisée chaque année, sur chaque microparcelle, afin de connaître la composition chimique du sol, dont sa **teneur en azote et carbone**. Cinq carottes sont réalisées par microparcelles à 15 cm de profondeur, avec retrait des cinq premiers cm de la surface (litière et résidus). Un échantillon moyen est effectué en enlevant au maximum les gros débris (feuilles, pierres, racines). Il est identifié par une étiquette indiquant l'exploitation, le bloc, la microparcelle, le traitement, la date de prélèvement. Les échantillons sont analysés au laboratoire d'analyse de Saint Denis (azote total Dumas et carbone organique Dumas, dosage à l'analyseur élémentaire CN par voie sèche, précision de  $\pm 5$  à 17 %) (Contact : P. LEGIER). Les **caractéristiques physiques** des sols sont connues grâce aux mesures réalisées en 2011 par l'UMR UREP (contact : K. KLUMP). La **granulométrie**, la **densité apparente** et la **porosité de sol** ont été déterminés à l'échelle du bloc, sur cinq horizons (h1 = 0-5 cm; h2=5-10 cm; h3=10-20 cm; h4=20-30 cm; h5=30-40 cm). Ces données ont été utilisées pour calculer la **teneur en eau du sol au point de flétrissement permanent** (Qpwp), la **capacité au champ** (Qfc), ainsi que la **réserve utile** (RU) de ces sols (stage de Charles Detaille, 2013).

Le détail des paramètres mesurés dans le cadre de ce dispositif, et utilisés pour cette étude, est présenté en annexe 0

**Figure 6: Dispositif expérimental, plan en bloc complet**

Bloc	Parcelle	Traitement
B1	P1	T6
	P2	T2
	P3	T8
	P4	T3
	P5	T1
	P6	T9
	P7	T4
	P8	T10
	P9	T5
	P10	T7
B2	P11	T9
	P12	T1
	P13	T10
	P14	T5
	P15	T4
	P16	T8
	P17	T2
	P18	T6
	P19	T7
	P20	T3
B3	P21	T3
	P22	T2
	P23	T4
	P24	T7
	P25	T9
	P26	T6
	P27	T8
	P28	T10
	P29	T1
	P30	T5

### 3.4. DISPOSITIF DE MESURE DES FLUX DE N<sub>2</sub>O ET CO<sub>2</sub> A L'INTERFACE SOL-ATMOSPHERE

#### 3.4.1. METHODE DE MESURE DES EMISSIONS

Les émissions de gaz sont mesurées à l'aide de la **méthode des chambres statiques**. Ce sont des enceintes fermées dans lesquelles on mesure l'accroissement de la concentration en gaz.

Les **chambres statiques** utilisées s'inspire du modèle développées par l'UMR Recyclage et Risque dans le cadre des travaux d'Aurélien Veille (2008) sur les émissions de protoxyde d'azote sur couvert de kikuyu après apport de lisier de bovin. Elles sont rehaussées afin de permettre des mesures sur des fourrages d'une hauteur de 35 cm. Les cloches ont été construites en suivant les recommandations De Klein, Harvey et al (2011), et Rochette (2011). Ce sont des chambres cylindriques en PVC (Figure 7), construites à partir de matériel de branchement et adduction en eau. D'un diamètre de 25 cm et d'une hauteur de 35 cm, elles ont un volume de 20 litres. Elles sont composées d'une embase (tube PVC CR 4 250 x 6.6 TA2501, ANZEMBERG), sur laquelle s'emboîte un manchon (Manchon coulissant dia 250 TRMC250, ANZEMBERG) et un bouchon (Bouchon PVC male dia 250 TRBM250, ANZEMBERG). Le bouchon est équipé d'un septum pour le prélèvement des échantillons de gaz et d'un ventilateur (Figure 8). Les chambres sont peintes en blanc pour réverbérer les rayons du soleil et éviter un "effet de serre" à l'intérieur de la chambre qui pourrait perturber la mesure.

Figure 7 : Schémas des chambres statiques

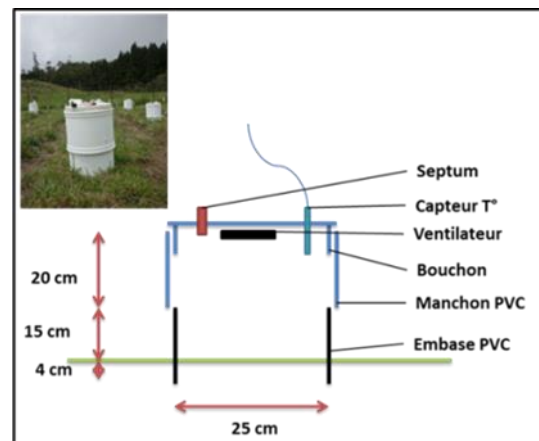
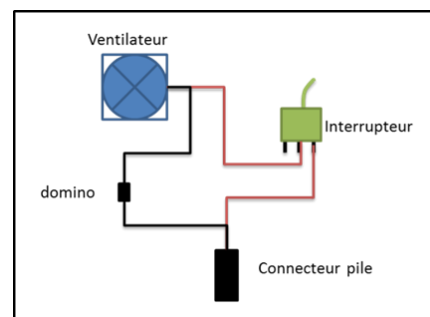


Figure 8 : Schéma électrique du dispositif de ventilation



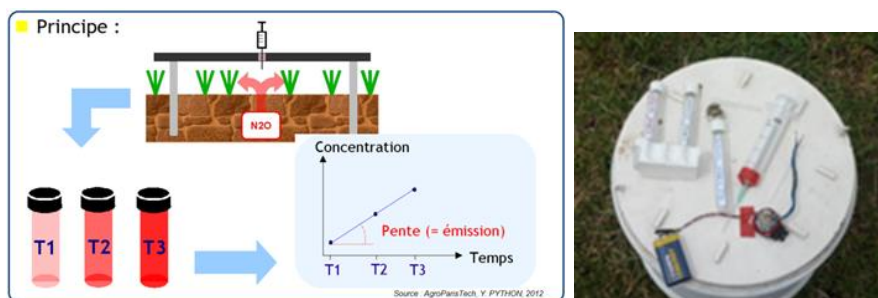
Les **embases** (Figure 9) sont enterrées dans le sol, à 4 cm de profondeur, trois semaines avant la première mesure pour permettre au sol de se stabiliser. Celles-ci restent en place sur la parcelle toute la durée de l'essai. Embases, manchons et bouchons sont associés et numérotés en fonction de leur position au sein de la microparcelle. C'est toujours le même bouchon qui est associé à une chambre donnée (embase + manchon). Les manchons sont positionnés en début de mesure et enlevés en fin de mesure, afin de limiter les perturbations du milieu (micro-climat au sein des chambres, écoulement préférentiel de l'eau, perturbation de la pousse, hétérogénéité dans l'épandage des engrais ...). On prévoit toujours trois bouchons supplémentaire en cas de panne de celui d'une chambre.

Figure 9 : Embase de chambre statique



En début de mesure les chambres sont fermées et un prélèvement (Figure 10) est réalisé à T0. T0 donne la valeur ambiante de la parcelle. On part de l'hypothèse que cette valeur n'évolue pas pendant la durée de la mesure. Et que la valeur ambiante extérieure n'influence pas celle à l'intérieure de la chambre, celle-ci étant étanche. Deux autres prélèvements sont réalisés après 30 minutes (T30) et 60 minutes (T60). Les chambres sont ré ouvertes uniquement après le dernier prélèvement réalisé (T60). La première mesure est réalisée à 10 heure (T0). Avant chaque prélèvement, le ventilateur est déclenché pendant une minute afin d'homogénéiser l'air et supprimer l'éventuelle formation d'un gradient de gaz à l'intérieur de la chambre.

**Figure 10 : Principe de prélèvement des échantillons de gaz**



Le prélèvement est fait à l'aide d'une seringue (20 ml BD DISCARDIT; aiguilles 0,8\* 40 mm, BD Microlance) à travers un septum (bouchon de tube de prélèvement BD Vacutainer®). Trois va et vient du piston sont effectués, puis 17 mL sont injectés dans un tube à vide sous vide de 12 mL (839W Exetainer Labco) prévu à cet effet (surpression nécessaire pour l'analyse). L'heure est notée à chaque prélèvement, afin de connaître la durée réel écoulée entre chaque prélèvement.

Les tubes sont préparés au préalable et disposés dans l'ordre d'utilisation, dans un « **kit de prélèvement** » propre à chaque chambre. Celui-ci contient une seringue, une aiguille, ainsi qu'un tube et une aiguille de secours. Le vide est fait dans les tubes, au préalable, afin de réduire au maximum les risques de pollution avec l'air déjà contenu dans les tubes qui récupèrent le gaz prélevé.

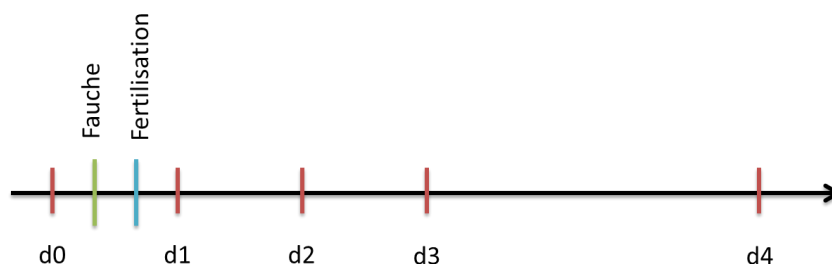


Après prélèvement, les tubes sont hermétiquement fermés par de la cire puis conservés à 4°C. Après chaque séquence de mesure, les tubes sont envoyés à l'UPR Recyclage et risque, à Montpellier (contact : P. CAZEVIELLE), pour analyse par chromatographie en phase gazeuse. Chaque lot de tubes est envoyé au laboratoire accompagné d'une feuille de suivi (annexe 53), listant, dans l'ordre de stockage, les tubes, en précisant les conditions de prélèvement (température et pression atmosphérique à l'intérieur de la chambre, volume de la chambre).

### 3.4.2. MESURE DES EMISSIONS DE N<sub>2</sub>O

Le suivi des émissions a été réalisé sur quatre modalités de fertilisation : un témoin non fertilisé, une fertilisation à base d'engrais minéraux, de lisier de bovin et de composte de bovin. Chaque campagne de mesure (Cgn) est réalisée autour d'une date de fauche et de fertilisation, et se compose de cinq dates de mesure autour de l'épandage (Figure 11):

Figure 11 : Chronologie des dates des séquences de mesure

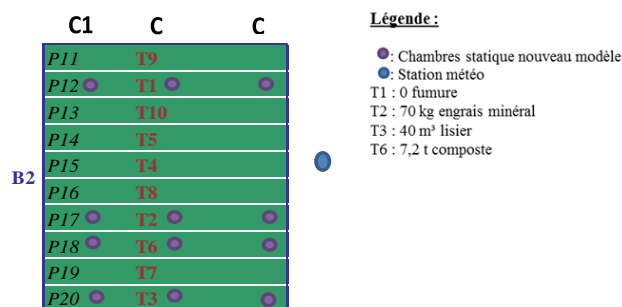


- d0 : jour précédent la fauche, sur couvert haut, soit deux jours avant la fertilisation
- d1 : jour suivant la fertilisation,
- d2 : quatre jours après la fertilisation,
- d3 : sept jours après la fertilisation,
- d4 : quinze jours après la fertilisation,

L'étude a été réalisée pendant l'été austral, sur quatre fauches.

La première campagne de mesure (Cgn0) a été un **test préliminaire**, visant à évaluer la variabilité intraparcellaire des émissions de N<sub>2</sub>O. Le test a porté sur quatre parcelles (P 12, P 17, P 18, P20) correspondant respectivement aux modalités de fertilisation T1, T2, T3 et T6 (Tableau 7). Sur chaque micro-parcelle, trois chambres statiques ont été placées dans le sens de la longueur. Le test a porté sur 4 dates : d0, d1, d2 et d3. Les mesures ont été réalisées entre 10h (T0) et 11h (T60). Le mode de prélèvement est le même que celui indiqué précédemment. L'analyse statistique des résultats de l'essai teste, à mise en avant une variabilité intra parcelle non significatif qui a justifié la poursuite des mesures.

Figure 12 : Dispositif expérimental de l'essai test (Cgn0)



Les trois campagnes de mesures réalisées par la suite (Cgn1, Cgn2, Cgn3) ont été effectuées sur les traitements T1, T2, T3 et T8 (Tableau 6). Elles sont effectuées sur les trois blocs du dispositif (Figure 13).

Tableau 7 : Modalités de fertilisation suivi dans le cadre de la campagne de mesure des émissions de GES

Type de fertilisation	N apportée	N disponible pour la culture * (kg N ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )
Non fertilisé (T0)	0	0
Engrais minéral (T2)	440	440
Lisier (T3)	720	396
Compost (T8)	580	116

\* sur la base du coef. équivalent engrais du Guide de la fertilisation organique à la Réunion

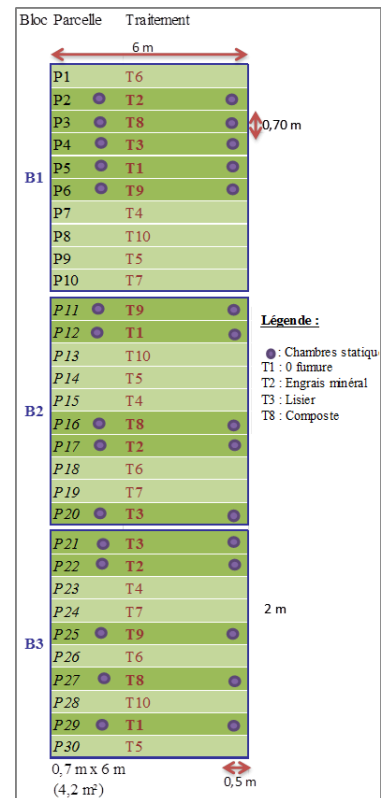
Pour le traitement 2, la fertilisation minérale a été effectuée sous la forme d'azote ammoniacal, à 26 % sur les trois premières fauches, et à 20% pour la dernière. Le dosage a été fait de sorte que la quantité d'azote apportée reste identique.

Elles ont été réalisées aux dates suivantes :

- Cgn0 : Du 20 au 29 novembre 2012 (fertilisation le 22/11)
- Cgn1 : Du 12 février au 1 mars 2013 (fertilisation le 14/02)
- Cgn2 : Du 9 au 26 avril 2013 (fertilisation le 11/04)
- Cgn3 : Du 28 mai au 15 juin 2013 (fertilisation le 30/05)

En tout, ce sont 19 dates de mesures qui ont été effectuées.

**Figure 13 : Dispositif expérimental de suivi des émissions de gaz**



### 3.4.3. MESURE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

Divers paramètres environnementaux sont mesurés en parallèle des mesures de gaz. La **pression atmosphérique, la température et l'humidité de l'air** sont mesurées à chaque date de mesure, à l'extérieur et à l'intérieur des chambres statiques. On mesure ces paramètres en fin de prélèvement, afin de déterminer si ces variables évoluent au cours de la manipulation, par rapport à l'air ambiant. Ces variables sont mesurées à l'aide d'un capteur portable (capteur AQ 200 S + module MHTP, KIMO®), sur les chambres dont le bouchon est équipé d'un septum Vacutainer (15 bouchons sur 24). **La température et de la teneur volumique en eau du sol (VWC%)** sont mesurées au sein de chaque chambre, à chaque date de mesure, à l'aide de capteurs portables (thermomètre digital; Humidimètre de sol Fieldscout TDR300). La teneur en **azote minérale et le pH eau du sol** est mesurée à chaque campagne de mesure. Un échantillon de sol est prélevé en début de séquence, avant la fertilisation, à côté des chambres (trois carottes de 10 cm de profondeur). Sur chaque échantillon il est mesuré l'azote nitrique et ammoniacal (ISO 14256 : extraction par KCl 1M, dosage en flux continu) et le pH (mesure électrométrique au pH-mètre sur extrait 1/5 (V/V)). Ces analyses sont réalisées au laboratoire d'analyse de Saint Denis. Idéalement, cette mesure devrait être réalisée à chaque date de prélèvement de gaz. Elle a été limitée à une par campagne, pour des



Humidimètre de sol Fieldscout TDR300

raisons de coût d'analyse, de lourdeur de réalisation, ainsi que pour limiter le nombre de prélèvement de sol sur les microparcelles.

La **densité apparente du sol (Da)** a été déterminée, à l'aide de la méthode des cylindres. La mesure a été réalisée une première fois, le 11/06/2013, sur le bloc 3, au sein des parcelles 29, 27, 22 et 21.

Etant donné le caractère destructif de la mesure, elle n'est faite que sur un bloc, afin de voir si la densité apparente varie beaucoup d'un échantillon à l'autre. Trois cylindres de terre, d'un



volume de  $98.2 \text{ cm}^3$  ont été prélevés, dans le sens de la longueur, sur chaque parcelle, sur l'horizon 0 - 10 cm. Les échantillons de sols ont été pesés, séchés à l'étuve, à  $105 \text{ °C}$  pendant 24 heures, puis pesés à nouveau. La densité apparente du sol correspond à son poids par unité de volume du sol sec en place. Elle s'exprime en  $\text{g.cm}^{-3}$ . Les résultats des mesures réalisées sur le bloc 3, montrent une forte variabilité des résultats intraparcellaire. Cette variabilité étant certainement liée à la variabilité de la densité racinaire sur l'horizon superficiel, dépendant du type de couvert et de la présence de mottes. Aussi, il semble nécessaire de réaliser une mesure sur l'ensemble des parcelles.

Le détail des paramètres mesurés dans le cadre de cet essai est présenté en annexe 0.

### 3.5. TRAÇABILITE DES DONNEES

L'ensemble des données mesurées sur le dispositif sont répertoriées en annexe 48. Ces données sont stockées dans la BDD Fertilisation, qui regroupe l'ensemble des données relatives à l'essai fertilisation. Afin d'assurer la traçabilité des données à chaque étape (prélèvement, analyse, saisie informatique), chaque échelle de mesure est codifiée.

Le **site d'expérimentation** est codifié selon la codification de l'essai « Fertilisation ». La ferme de la SICALAIT est donc codifiée **SIC**.

Les **blocs** sont codifiés de 1 à 3 (Figure 13). Sur le cahier de suivi et les étiquettes, le bloc est identifié par son numéro précédé de la lettre majuscule B (ex : Bloc n° 1 = B1). Dans la BDD il est identifié par son numéro.

Les 10 **micro parcelles expérimentales** sont codifiées de 1 à 30, selon le plan de la Figure 13 (B1 : parcelles 1 à 10, B2 : parcelles 11 à 20, B3: parcelles 21 à 30). Sur le cahier de suivi et les étiquettes, la parcelle est identifiée par son numéro précédé de la lettre majuscule P (ex : parcelle n° 12 = P12). Dans la BDD elle est identifiée par son numéro.

Les **modalités expérimentales** testées sont codifiées selon la codification de l'essai « Fertilisation », de 1 à 10, selon le Tableau 6. Sur le cahier de suivi et les étiquettes, chaque

*Première approche des émissions de protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*

modalité est identifiée par son numéro précédé de la lettre majuscule T (ex : traitement n° 10 = T10). Dans la BDD elle est identifiée par son numéro.

Les **chambres statiques** sont codifiées en fonction de la micro parcelle et du numéro de la chambre. Il y a deux chambres statiques par micro parcelles, disposées aux extrémités droite (C1) et gauches (C2).

ex : parcelle n° 2 + chambre n° 1 = P2C1

Les **tubes de prélèvement** sont marqués d'une étiquette qui indique la date de mesure, le code de la chambre statique et le temps de prélèvement de l'échantillon à partir de la fermeture de la chambre. Il y a trois temps de prélèvement, à la fermeture de la cloche (T0 = 0 minutes) et après 30 (T30) et 60 (T60) minutes de fermeture.



ex : 20/11/12\_P17C1\_T60

A cela s'ajoute un code couleur afin d'éviter les inversions de tube pendant la manipulation. Ainsi T0 est vert, T 30 est bleu et T60 est rouge.

Afin d'assurer la traçabilité des données lors de leur transfert vers les laboratoires d'analyse, une feuille de suivi accompagne chaque envoi d'échantillon. Concernant les tubes de prélèvement de gaz, une feuille de suivi (annexe 6.5) papier accompagne le colis, et une version numérique est envoyée par mail au technicien de laboratoire (Claire CHEVASSU-ROSSET). Cette feuille de suivi liste, dans l'ordre de stockage, les tubes, en précisant les conditions de prélèvement (température et pression atmosphérique à l'intérieur de la chambre, volume de la chambre). La même démarche est effectuée pour les échantillons de sols envoyés au laboratoire de Saint Denis.

L'ensemble des informations liées à la réalisation des mesures (date, heure, préleveur, info parcelle, conditions météo ...) sont annotées dans un **cahier de suivi**, sur le terrain, puis saisies dans la base de données. La saisie est effectuée, au plus tard, deux jours après la réalisation des mesures, afin de limiter la perte d'information. La date de saisie et les initiales de la personne qui a effectué la saisie sont notés en haut de page des feuilles de terrain.

En fin d'essai, l'ensemble des données relatives à l'essai ont été sauvegardées dans un dossier numérique. Celui-ci a été enregistré sur le serveur du CIRAD. Une copie DVD a été réalisée et remise au responsable d'équipe (Emmanuel TILLARD) avec l'ensemble des documents papiers relatifs à l'essai.

### 3.6. CONVERSION DES VALEURS ET CALCULES

Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel de calcul statistique R<sup>®</sup> (Team. 2012) et l'environnement de développement multiplateforme pour R, RStudio<sup>®</sup> (Document : ScriptCalculs.R, Fichier : ESSAI\_N2O\_PRAIRIE/3\_ANALYSE/CALCULES).

#### 3.6.1. CALCUL DES EMISSIONS DE GAZ

La formule standard de calcul des émissions net de gaz en chambre statique est la suivante (Fowler 1999) :

$$F_c = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A}$$

Où  $F_c$  est le flux net de gaz,  $\frac{\Delta C}{\Delta t}$  est la variation de la concentration de gaz dans la chambre statique,  $V$  est le volume de la chambre,  $A$  est la surface au sol d'émission.

Le laboratoire d'analyse calcule la quantité de gaz présent dans la chambre statiques, pour chaque prélèvement, sur la base de la quantité de gaz mesuré dans le tube de prélèvement, à l'aide des formules suivante :

$$CO_{2chb} = 12 \times (CO_{2t}/10^6) \times [V(1000/22.4) \times (P/1013.25) \times (273.15/(273.15+T))]$$

ou  $CO_{2chb}$  est la teneur en  $CO_2$  dans la chambre (mg),  $CO_{2t}$  la teneur en  $CO_2$  dans le tube de prélèvement (vpm),  $V$  le volume de la chambre (l),  $P$  la pression atmosphérique de la chambre (mbar),  $T$  la température dans la chambre ( $C^\circ$ ).

$$N_2O_{chb} = 28 \times (N_2O_t/10^6) \times [V(1000/22.4) \times (P/1013.25) \times (273.15/(273.15+T))]$$

Calcul de l'aire et du volume de la chambre statique

$d$  = diamètre des chambres, égale à 0.25 m

$r^2 = (d/2)^2$ , soit 0.016 m<sup>2</sup>

$A = \pi \times r^2$ , ou  $\pi = 3.14$ , soit une aire de 0.05 m<sup>2</sup>

$V = A \times H_t$ , ou  $H_t$  est la hauteur totale des cloches (manchon + bouchon), en m, à partir du sol. Variable d'une enceinte à l'autre (moy : 0.38 m), soit une valeur moyenne de 0.02 m<sup>3</sup>, soit 20 l.

Aussi, pour calculer les flux de gaz, on utilise la formule suivante :

$$F_c = \frac{\Delta Q_c}{\Delta t} \times \frac{1}{A}$$

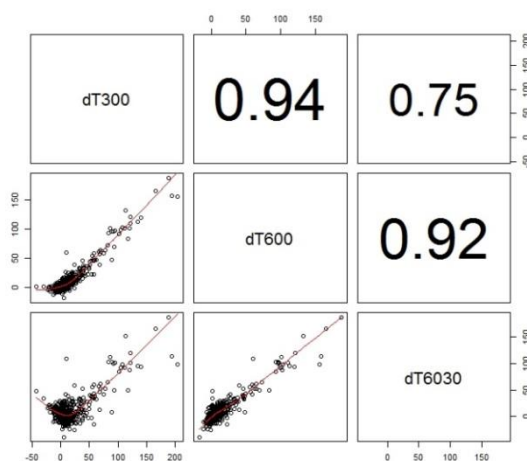
On obtient des valeurs en mg.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> pour le carbone, et en ug.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> pour l'azote.



Les prélèvements de gaz ayant été effectués à trois instants T, on calcule les flux de gaz sur trois pas de temps : entre T0 et T30 min (dT300), T0 et T60min (dT600), et T30min et T60min (dT6030).

C'est dT600 qui a été utilisé pour l'analyse. C'est le pas de temps le plus long (60 minutes). Compte tenu du faible taux d'émission du N<sub>2</sub>O (de l'ordre de quelques g à centaines de g.ha<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup>), dT600 apparaît comme le plus approprié pour bien quantifier les flux. Afin de compléter le jeu de données, on a cherché à déterminer s'il était possible de remplacer les valeurs manquantes par celles correspondantes dans dT300 et dT6030. Les trois types de dT présentent des caractéristiques de position et une dispersion proche, et l'analyse de la corrélation entre ces trois variables (Figure 14) montre que dT600 présenter la plus forte corrélation avec dT300 et dT6030. Sept valeurs sur neuf manquantes ont été substituées (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Figure 14: Graphiques de corrélations entre dT300, dT600 et dT6030



Date	Chambre statique	dT de remplacement	Valeurs N <sub>ng</sub> .m <sup>2</sup> .s
20/11/2012	P12C2	dT6030	1.16
20/11/2012	P17C1	dT300	78.93
23/11/2012	P18C3	dT6030	-9.061
01/03/2013	P17C2	dT300	-2.44
01/03/2013	P20C1	dT6030	54.48
14/06/2013	P17C2	dT300	13.69
14/06/2013	P20C1	dT6030	-0.53
20/11/2012	P17C2	NA	NA
20/11/2012	P17C3	NA	NA

On converti les émissions de N<sub>2</sub>O en N ng.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, en N μg.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> et N g.ha<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>.

$$a) \text{ N ng.m}^{-2}\text{s}^{-1} = \frac{\Delta\text{N}}{\Delta t} \times \frac{1}{A} \times 1000 = \frac{\Delta\text{N}}{\Delta t} \times 2000, \text{ où } A \text{ est la surface d'émission et } \frac{1}{A} = 20$$

$$b) \text{ N } \mu\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1} = \frac{\Delta\text{N}}{\Delta t} \times 20 \times 3600 = \frac{\Delta\text{N}}{\Delta t} \times 72000$$

$$c) \text{ N g.ha}^{-1}\text{j}^{-1} = \frac{\Delta\text{N}}{\Delta t} \times \frac{20 \times 3600}{1000000} \times 10000 \times 24 = \frac{\Delta\text{N}}{\Delta t} \times 17280$$

Pour les deux premières conversions, on part de l'hypothèse que ce qui est émis au sein de la chambre statique, soit une surface d'émission de 0.05 m<sup>2</sup>, est équivalent à ce qui sera émis sur 1 m<sup>2</sup>. Pour la conversion en N g.ha<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>, on part de l'hypothèse que l'émission mesurée sur 0.05 m<sup>2</sup> pendant une heure, est une valeur « moyenne » qui peut être utilisée pour extrapoler sur un

hectare et sur une journée de 24h. Cette hypothèse est très approximative, compte-tenu de la grande variabilité spatiale et temporelle de ce type d'émission. Cependant, la conversion en  $\text{N g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$  nous permet de comparer et valider les valeurs obtenues dans la bibliographie. Une fois cette étape de validation obtenue, l'analyse est faite à partir des valeurs en  $\text{N ng}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

On converti les émissions de  $\text{CO}_2$  en  $\text{C mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $\text{C g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $\text{C kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ .

$$\text{a) } \text{C mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} = \frac{\Delta\text{C}}{\Delta t} \times \frac{1}{A} \text{ où } A \text{ est la surface d'émission et } \frac{1}{A} = 20$$

$$\text{b) } \text{C g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1} = \frac{\frac{\Delta\text{C}}{\Delta t} \times 20 \times 3600}{1000} = \frac{\Delta\text{C}}{\Delta t} \times 72$$

$$\text{c) } \text{C kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1} = \left( \left( \frac{\Delta\text{C}}{\Delta t} \times 20 \times 3600 \right) / 1000 \right) \times 10000 / 1000 \times 24 = \frac{\Delta\text{C}}{\Delta t} \times 17280$$

### 3.6.2. CALCUL DU TAUX DE SATURATION DES PORES DU SOL

Le taux de saturation des pores du sol, ou WFPS (Water Filled Pore Space) est déterminé par l'humidité et la porosité totale du sol. Il est calculé à chaque date de mesure, pour chaque cloche, à l'aide de la formule suivante (Linn. D.M and Doran. J.W 1984, Vilain, Garnier et al. 2011) :

$$\text{WFPS} = \frac{\text{VWC}\%}{1 - \text{Da}/\text{PD}}$$

Où VWC% est la teneur volumique en eau (%), Da est la densité du sol ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) et PD est la densité particulaire, supposée égale à  $2.6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

### 3.6.3. CALCUL DE LA TENEUR EN MATIERE ORGANIQUE DU SOL (Mo) ET DU RAPPORT C/N

Le taux de matière organique du sol (Mo) et le rapport C/N sont déterminés à partir de la teneur en carbone organique et en azote du sol. Ses paramètres du sol sont calculés, pour chaque parcelle suivie, sur la base des analyses de sol réalisées le 20/11/2012, à l'aide des formules suivantes (Chabalier, Van de Kerchove et al. 2006) :

$$1) \text{ Mo (\%)} = \text{C}_{\text{org}} \times 2$$

Avec  $\text{C}_{\text{org}}$  la teneur en carbone organique du sol ( $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$  MS sec).

$$1) \text{ C/N} = \frac{\text{C}_{\text{org}}}{\text{N}_{\text{tot}}/10}$$

Avec  $\text{N}_{\text{tot}}$  la teneur en azote totale (Dumas) du sol ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  MS sec).

### 3.7. ANALYSE DES DONNEES

L'analyse des données a été réalisée à l'aide du logiciel de calcul statistique R ® (Team, 2012) et l'environnement de développement multiplateforme pour R, RStudio ®.

Les résultats présentés dans ce rapport sont une **analyse descriptive** des émissions de N<sub>2</sub>O mesurées sur les trois campagnes de mesure de 2013, et des paramètres environnementaux.

Cette analyse vise à 1) décrire les données disponibles, et identifier d'éventuelles « tendances », 2) identifier les éléments de protocole à améliorer pour la poursuite des suivis.

Cette analyse descriptive doit être complétée par une analyse statistique visant à interpréter les données

### 3.8. PARTENARIAT

Le projet de mesure des émissions de N<sub>2</sub>O a été défini et mis en place en collaboration avec le CIRAD UMR Recyclage et Risque et l'INRA UR EP.

Le **CIRAD UMR Recyclage et Risque** (contact : Jean-Marie PAILLAT) a mis à disposition les protocoles et le matériel utilisés dans le cadre des essais réalisés par Aurélien VELLE, en 2007, sur les émissions de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> et NH<sub>3</sub> en parcelle de kikuyu après apports de lisier. L'équipe a également mis à disposition un technicien d'expérimentation, Olivier SALMACIE, pour la réalisation des mesures. C'est ce même technicien qui avait réalisé les mesures en 2007. Les laboratoires de Saint Denis (contact : Patrick LEGIER) et Montpellier (contact : Patrick CASEVIELLE) ont réalisé les analyses de sol et de gaz de l'essai.

L'**INRA UR EP** (contacts : Juliette BLOOR et Katja KLUMPP) a validé le protocole de mesure des émissions de NO<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>. L'équipe a également participé à la caractérisation des sols du dispositif expérimental.

Le **CIRAD ARTISTE** (contacts : Pierre TODOROF, Raymond NATIVEL, Louis PAULIN) a mis à disposition leurs techniciens pour l'installation d'une station météo, et a fourni les données météo.

Les coordonnées de l'ensemble des personnes ayant participé au projet sont répertoriées en annexe 6.7.

### 3.9. BUDGET

Budget total : **38 400 €**

#### 3.9.1. ÉQUIPEMENT

Construction de 15 chambres statiques :

Fournisseur	Matériel	Total TTC
ANZEMBERG	Manchons coulissant, bouchons PVC, Tube bipeau	1056.33
Electronic'shop centre	Matériel électrique (coupleurs pile, interrupteurs)	60
RunDev	15 ventilateurs	58.5
<b>Total</b>		<b>1174.83</b>

Achat de capteurs portables :

Fournisseur	Matériel	Total TTC
DIFFUSION SARL	Appareil portable qualité de l'air (AQ 200 S, MHTP)	741
SDEC	Humidimètre de sol Fieldscout Thermomètre digital	1195
<b>Total :</b>		<b>1936</b>

Achat de matériel de petit matériel :

Fournisseur	Matériel	Total TTC
Labco	Tubes de prélèvement de gaz	1463
Promédical	Seringues 20 ml Tubes de prélèvement	100
Divers		3339.9
<b>Total :</b>		<b>4902.9</b>

#### 3.9.2. PERSONNEL

Un an un de temps d'ingénieur d'expérimentation, en 2/3 temps, en contrat de Volontaire du Service Civique, en charge de la conception, la mise en place, la réalisation des suivis, et le traitement et l'analyse : 8 mois x 2 000 € = **16 000 €**

Un mois de temps technicien d'expérimentation, pour la réalisation des suivis terrain : **3 801 €**

#### 3.9.3. PRESTATION DE SERVICE EXTERNE

Analyses de 1224 échantillons de gaz (concentration en CO<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>O) réalisées par le Laboratoire d'Analyse UPR 78 Recyclage et risque de Montpellier :

N° dossier	Date	Total TTC
13-001	07/01/2013	784.73
13-002	31/01/2013	2006.44
13-003	24/04/2013	2006.44
13-004	23/07/2013	2006.44
<b>Total</b>		<b>6804.05</b>

Analyse de sols et de PRO par le Laboratoire d'Analyse de Saint Denis : **3 762.36 € HT.**

*Première approche des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*

### 3.10. LIVRABLES

• TABLEAU des LIVRABLES	
Intitulé et nature des livrables	
<b>Documents internes</b>	
	Rapport d'expérimentation complet (document présent) pour l'équipe.
	BDD à jour
	Cahier de suivi à jour
	Dossier contenant tous les documents relatifs à l'essai (format numérique + format papier)
<b>Documents de communication sur l'essai</b>	
	Rapport d'expérimentation synthétique pour communiquer auprès des partenaires.
	Protocole expérimental synthétique

## 4. RESULTATS

### 4.1. CARACTERISTIQUES DE SOL

#### 4.1.1. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DU SOL EN DEBUT D'ESSAI

La **CEC** est normal pour ce type de sol, pour les modalités non fertilisé (T1) et minérale (T2), elle est très forte pour les parcelles fertilisées à l'aide d'engrais organiques. Les teneurs en **phosphore** sont normal pour T1, fortes pour T2, et très fortes pour T3 et T8. Le taux de potassium est faible pour T&, T2 et T3, et est très fort pour T8. Les teneurs en **calcium** sont normal pour les modalités non fertilisé (T1) et minéral (T2), mais sont trop fortes pour les modalités lisier (T3) et composte (T8). Les teneurs en **magnésium** sont normales pour T1 et T2, elles sont très fortes pour T3 et T8.

**Tableau 8 : Analyse chimique des sols pour chaque traitement**

Fertilizer type	N tot (g/kg)	CEC	P (mg.kg <sup>-1</sup> )	K (mé.100g <sup>-1</sup> )	Mg (mé.100g <sup>-1</sup> )	Na (mé.100g <sup>-1</sup> )	Ca (mé.100g <sup>-1</sup> )
Unfertilized (T1)	9.93	12.63	276.9	0.19	3.7	0.07	7.9
Mineral fertilisers (T2)	11.12	10.64	354.4	0.18	1.9	0.04	7.2
Cattle slurry (T3)	12.18	29.9	519.2	3.97	10.9	0.55	14
Cattle compost (T8)	11.84	31.49	622.2	0.38	10.21	0.34	21.2

La **teneur en carbone organique** du sol est élevée, et d'autant plus pour les modalités fertilisées avec un engrais organiques. Le rapport **C/N** est faible, et favorable à la minéralisation.

Les parcelles non fertilisées, ou fertilisées avec des engrais organiques, présentent un pH médian, très bon pour ce type de cultures. Alors que celles fertilisées avec un engrais minéral présentent un pH plutôt acide (5.4). L'apport d'engrais minéral tend à acidifier les sols, contrairement aux engrais organiques qui tendent vers des valeurs neutres.

**Tableau 9 : Caractéristiques physico-chimiques des sols**

Fertilizer type	Soil C (mg)	C/N (ratio)	Organic matter (%)	pH
Unfertilized (T1)	10.72	10.8	21.4	6.0
Mineral fertilisers (T2)	11.81	10.6	23.6	5.4
Cattle slurry (T3)	12.82	10.5	25.6	6.9
Cattle compost (T8)	12.65	10.6	25.3	6.7

#### 4.1.2. TENEURS EN AZOTE MINERAL ( $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$ ) DU SOL DURANT L'ESSAI

Les teneurs de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) dans le sol mesurées sur les trois campagnes varient entre 5 et 88.7 mg N. kg MS<sup>-1</sup>, avec une valeur moyenne de 30 mg N. kg MS<sup>-1</sup> et un écart-type de 17,4. On observe une variation des teneurs dans le sol entre les campagnes (Figure 15). On n'observe pas de différences de teneurs lié au bloc. On observe une tendance des traitements 2 et 3 à avoir une teneur plus élevée que les traitements 1 et 8. Cela devra être vérifié par une analyse statistique plus poussée.

Les teneurs en azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) dans le sol mesurées sur les trois campagnes varient entre 1.36 et 54.6 mg N. kg MS<sup>-1</sup>, avec une valeur moyenne de 9.6 mg N. kg MS<sup>-1</sup> et un écart-type de 10. On observe une variation des teneurs dans le sol entre les campagnes. On n'observe pas « d'effet bloc ». Il ne semble pas avoir d'effet lié au traitement. Cela devra être vérifié par une analyse statistique plus poussée.

Figure 15 : Teneurs moyennes en nitrate du sol, par campagne et par traitement

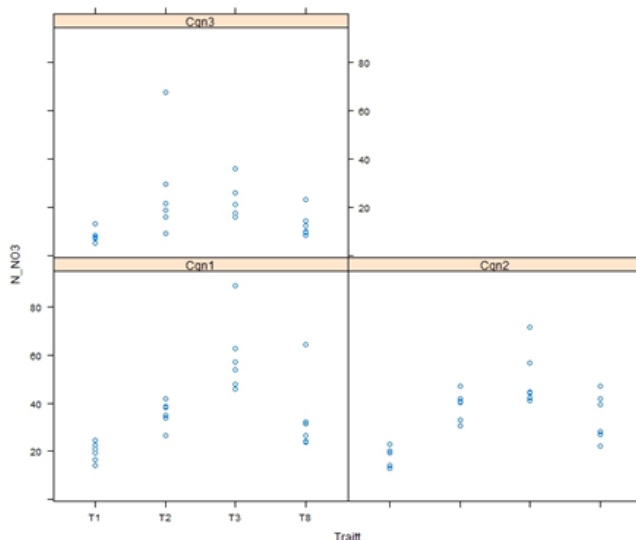
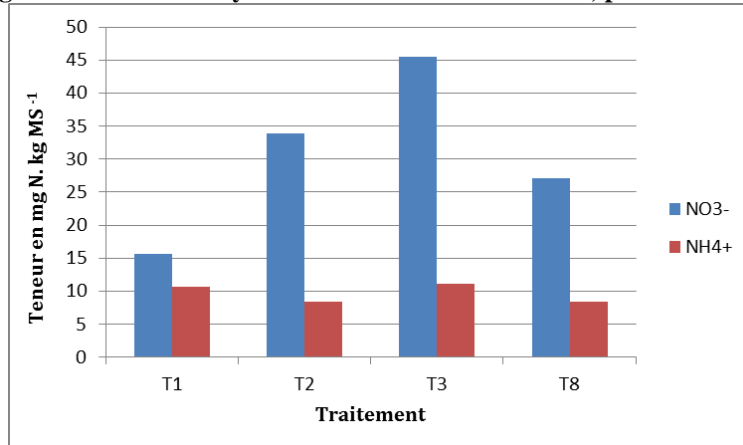


Figure 16 : teneurs moyennes en azote minérale du sol, par traitement



## 4.2. CARACTERISTIQUES DES FERTILISANTS ORGANIQUES

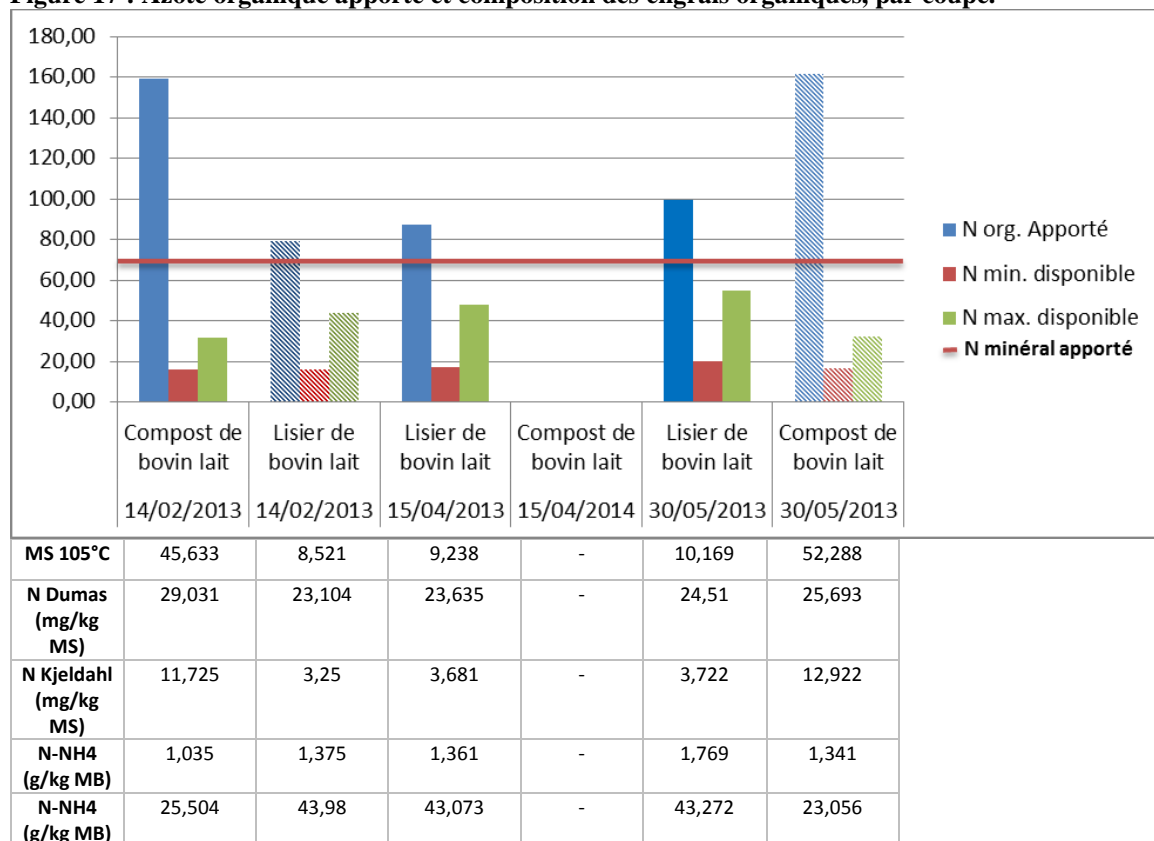
Un apport de lisier de bovin a été réalisé le lendemain de chaque fauche. La teneur moyenne en azote total du lisier épandu (3.25 mg.kg<sup>-1</sup> MS) est un peu plus élevée que celle estimée initialement dans le protocole (2.85 mg.kg<sup>-1</sup> MS). Avec un apport entre 78.75 et 99.70 kg

*Première approche des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*

N.ha<sup>-1</sup>, la quantité d'azote totale apportée est inférieure à celle prévu initialement (114 kg N. ha<sup>-1</sup> par coupe), en raison d'une matière sèche plus faible que celle estimée. Sur la base du coefficient équivalent engrais du lisier bovin à la Réunion, on estime qu'il a été apporté entre 15.7 et 54.83 kg N. ha<sup>-1</sup> assimilable sur l'année par le couvert végétal.

Deux apports de compost ont été réalisés au cours du suivi (le 15/04 et le 14/02). La teneur en azote total du compost épandu (11,72 et 12.92 mg.kg<sup>-1</sup> MS) est plus élevée que ce qui avait été estimé dans le cadre du protocole (7.6 mg.kg<sup>-1</sup> MS).

**Figure 17 : Azote organique apporté et composition des engrais organiques, par coupe.**



Pour les modalités T0 et T1, c'est toujours la même dose d'azote qui est apportée (0 et 70 u kg N. ha<sup>-1</sup>).

**Tableau 10 : Composition moyenne des engrais organiques apportés par coupe**

Fertilizer type	Teneurs				Azote apporté (kg. ha-1)	Azote absorbable (kg. ha-1)	
	MS	C total	N total (Kjeldahl)	N ammoniacal		Min	Max
Unfertilized (T0)	-	-	-	-	0	0	0
Mineral fertilisers (T2)	-	-	-	-	70	70	70
Cattle slurry (T3)	9.6	43.65	3.25	1.57	96	19	53
Cattle compost (T8)	48.9	24.28	11.72	1.18	160	16	32



### 4.3.EMISSIONS DE CO<sub>2</sub>

Les flux de CO<sub>2</sub> mesurés sur les trois campagnes varient entre -0,02 et 0,18 mg C .m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (-23,3 et 157,10 kg C .ha<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup>), avec une valeur moyenne de 0,04 mg C .m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (42,40 kg C .ha<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup>) et un écart-type de 0,03. On retrouve des valeurs d'émissions comparables à la bibliographie. La dispersion des données est importante, ce qui peut rendre difficile la mise en évidence d'effets de traitement. On n'observe pas de variation d'émission lié au bloc. Si on observe les émissions de CO<sub>2</sub> par campagne de mesure, il apparait qu'elles sont du même ordre de grandeur sur les deux premières campagnes, et qu'elles sont plus faibles pour la dernière campagne (Figure 18).

Figure 18 : Emissions de CO<sub>2</sub> par campagne de mesure

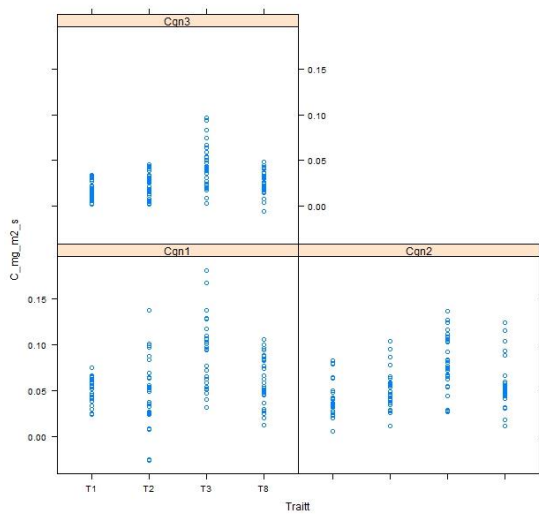
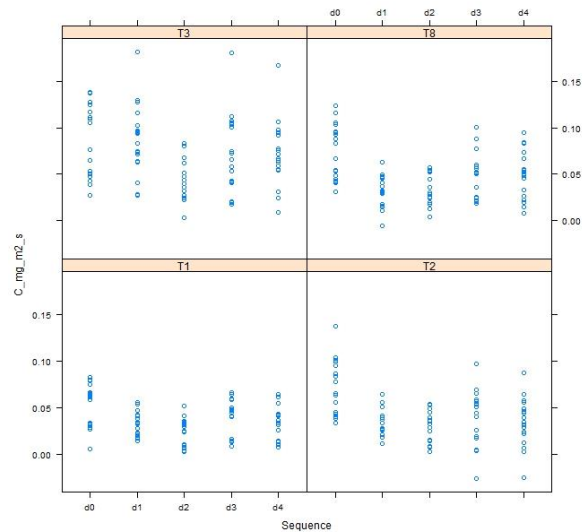
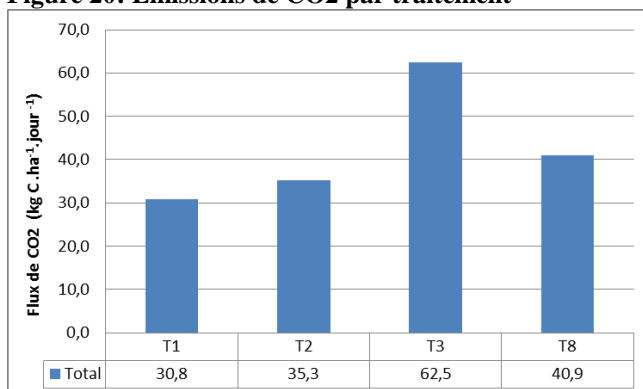


Figure 19 : Emissions de CO<sub>2</sub> par séquence de mesure



Si on regarde les émissions de CO<sub>2</sub> par date de mesure en fonction de l'apport d'engrais (Figure 19), on observe des émissions plus importantes en d0, quand le couvert végétal est le plus important (avant la fauche). Les émissions diminuent en d1 et d2, puis remontent en d3 et d4. Les valeurs d'émissions suivent la croissance du couvert étant donné qu'elles sont liées à la respiration de la végétation. Pour T1 (témoin non fertilisé) les variations sont moins marquées entre date de mesure. Le traitement 3 a des émissions plus élevées que les autres traitements en d1, ce qui peut être lié à l'épandage du lisier.

Figure 20: Emissions de CO<sub>2</sub> par traitement



Si on observe les émissions de CO<sub>2</sub> par traitement, on observe des valeurs plus fortes pour le traitement lisier (Figure 20). Ces résultats doivent être analysés plus en avant, en lien avec les conditions pédoclimatiques (corrélation de 0.52 et 0.3, avec respectivement la température et l'humidité de l'air) et la végétation.

Première approche des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.

On observe une corrélation de 0.42 entre les émissions de CO<sub>2</sub> et de N<sub>2</sub>O.

#### 4.4.EMISSION DE N<sub>2</sub>O

Les flux de N<sub>2</sub>O mesurés sur les trois campagnes varient entre -10,76 et 187,60  $\mu\text{g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (-9,30 et 162,10  $\text{g N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ ), avec une valeur moyenne de 16,49  $\mu\text{g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (14,24  $\text{g N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ ) et un écart-type de 29,23. La dispersion des données est importante, ce qui peut rendre difficile la mise en évidence d'effets de traitement.

Figure 21 : Emissions de N<sub>2</sub>O par campagne de mesure

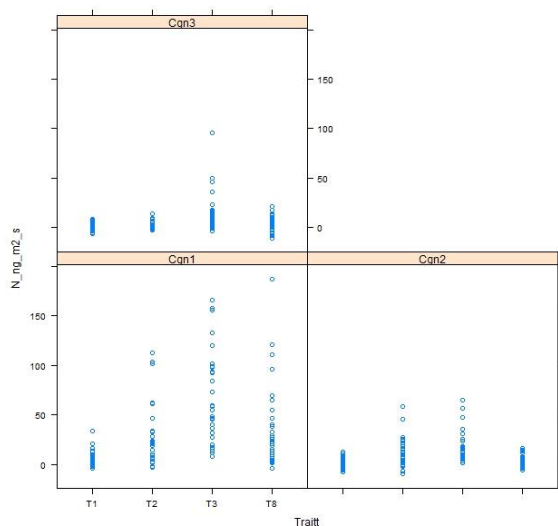
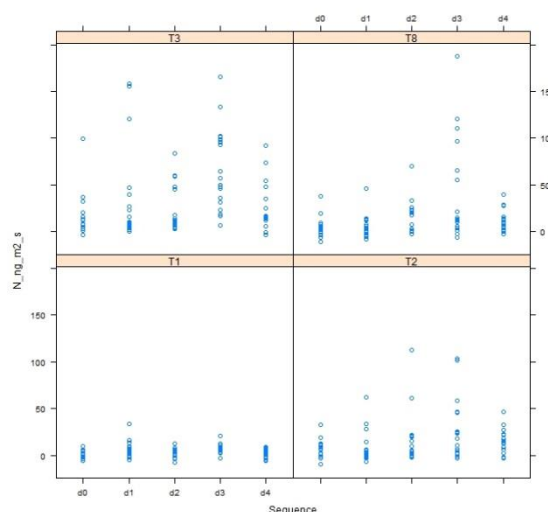
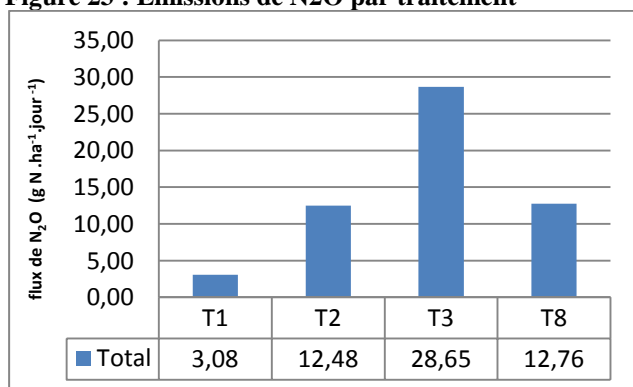


Figure 22 : Emissions de N<sub>2</sub>O par séquence de mesure



On observe une plus forte variation et intensité des flux de N<sub>2</sub>O pendant la première campagne de mesures (Figure 21), comparé aux deux campagnes suivantes, qui ont des flux du même ordre. Si on regarde les émissions par séquence (Figure 22), on observe que les émissions sont du même ordre, excepté le jour 3 (7 jours après épandage) qui présente une dispersion plus importante et des valeurs plus élevées.

Figure 23 : Emissions de N<sub>2</sub>O par traitement



On observe des émissions moyennes de N<sub>2</sub>O qui sont plus faibles en T1 (témoin non fertilisé), de l'ordre de 3,08  $\text{g N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ , des émissions proches pour T2 (engrais minéral) et T8 (compost), de l'ordre de 12,5  $\text{g N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ , et les émissions les plus fortes pour T3 (lisier), avec 28,6  $\text{g N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ . Compte-tenu de la dispersion, il est nécessaire de réaliser une analyse statistique plus poussée, afin de mettre en évidence des

effets éventuels de traitement, et de mettre en lien ces émissions avec des conditions de milieu (pluviométrie, température et humidité de l'air et du sol, WFPS, teneur en azote minérale du sol, teneur en carbone du sol), de couvert (biomasse aérienne, hauteur d'herbe, composition floristique, INN) et de traitement (azote totale apporté).

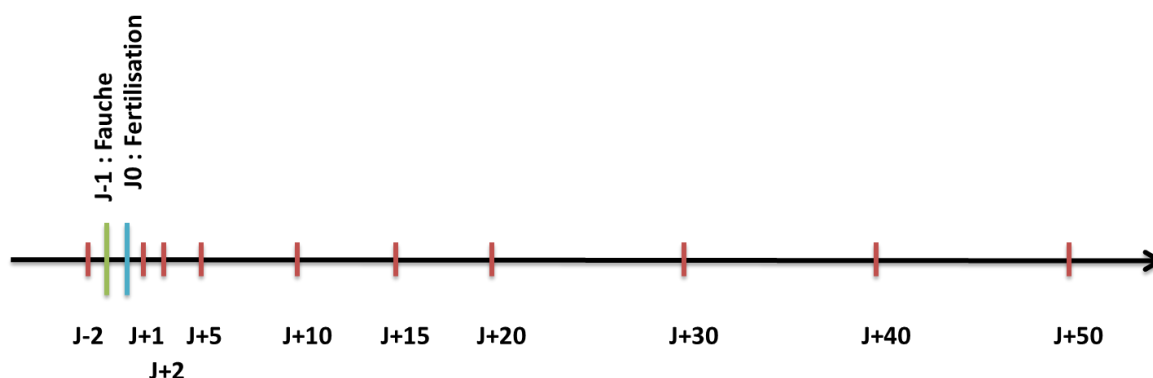
## 5. PERSPECTIVES

### 5.1. SUIVI DES EMISSIONS DE N<sub>2</sub>O

#### 5.1.1. POURSUITE ET ANALYSE DU SUIVI ACTUEL

Afin d'avoir une vision plus précise de l'évolution des émissions au cours du temps, il serait nécessaire d'augmenter la fréquence de mesures. Pour chaque campagne, 10 séquences de mesures pourraient être réalisées à J-2, J+1, J+2, J+5, J+10, J+15, J+20, J+30, J+40, J+50 (Figure 11).

Figure 24 : Chronologie des dates des séquences de mesure



Des travaux récents indiquent que les émissions de N<sub>2</sub>O sont fortement corrélées à la biomasse végétale et varient en fonction de la composition botanique du couvert (abondance de graminées/ou légumineuses) (Klumpp, Tallec et al. 2011). Actuellement, sur ce dispositif, la hauteur d'herbe est mesurée à intervalle régulier au court du cycle cultural, le rendement est mesuré à chaque fauche, et la composition botanique du couvert est évaluée à plusieurs reprises au cours de l'année. Le suivi d'indicateurs de biomasse (hauteur de végétation, LAI) doit être complété dans le cadre des mesures d'émission de N<sub>2</sub>O, avec la mise en place de mesures à chaque séquence de prélèvement (Flechar, Neftel et al. 2005). Prise de photo de chaque parcelle à chaque mesure, afin d'avoir une trace visuelle du couvert. Dans le cadre du protocole actuel, c'est le rendement à la parcelle qui est pris en compte. Il serait intéressant de réaliser une mesure de la biomasse à l'intérieur des chambres à chaque date de fauche, comme indicateur de la représentativité de la mesure vis-à-vis du reste de la parcelle.

Afin d'avoir une meilleur approche du lien entre les flux de N<sub>2</sub>O et la teneur en azote minérale du sol, il faudrait trouver une méthode de mesure non ou peu destructive afin de mesurer cette variable à chaque séquence de mesure.

### 5.1.2. ESSAIS COMPLEMENTAIRES

- **Comparaison de l'impact à court et long terme de la fertilisation sur les émissions**

Différentes études ont mis en avant un impact à court et long terme de la fertilisation sur le niveau des émissions. A l'analyse des premiers résultats de suivi, s'il apparaît qu'il y a un effet significatif de la fertilisation sur les émissions de N<sub>2</sub>O, il est envisageable de mettre en place un nouvel essai afin de déterminer si la fertilisation azotée minérale et organique impactent sur le long terme les émissions. Pour cela, de nouvelles parcelles seront mises en place suivant le même protocole et les mêmes traitements de fertilisation. Cela afin de comparer les émissions entre les parcelles traitées pour la première année et depuis 10 ans.

- **Suivi annuel des émissions de N<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub> en exploitation**

Le projet GreenGrass a mis en avant des différences d'émissions entre prairie pâturées et fauchées (Soussana, Laville et al. 2006). Au regard des résultats obtenus, une perspective serait la mise en place d'un suivie sur une gamme représentative de prairie réunionnaises, sur une campagne, afin d'évaluer les émissions à l'échelle de l'île.

Il est envisagé un suivi sur des prairies représentatives des systèmes présents à la Réunion. Il sera défini au préalable, une **typologie des systèmes prairiaux** en élevage bovin à la Réunion. Celle-ci sera construite soit 1) à partir d'enquêtes en exploitation, 2) soit par dire d'expert et recherche bibliographique. Cette deuxième option sera préférée, car plus simple et plus rapide à mettre en œuvre. C'est sur cette typologie que ce basera le choix des exploitations et de parcelles. On choisira en priorité des exploitations connues, chez qui des essais ont déjà été mis en œuvre et dont des données sont disponibles. Idéalement, on préférera des exploitants qui notent de façon régulière leurs interventions. On choisira des parcelles les plus homogènes possibles, afin de limiter les variations d'émissions liées à des spécificités de milieux (sol, topographie, microclimat), et avoir ainsi des valeurs les plus représentatives possible des parcelles Réunionnaises. Dans une seconde phase, il sera envisagé de réaliser des mesures plus spécifiques afin de prendre en compte les effets de l'hétérogénéité parcellaire et du milieu. On peut envisager le suivre 10 parcelles suivant la typologie suivante :

- Prairie Pâturée non fertilisée
- Prairie Pâturée fertilisée à l'aide d'engrais minérale
- Prairie Pâturée fertilisée à l'aide d'engrais organique (fumier, lisier, composte)
- Prairie Fauchée fertilisée à l'aide d'engrais minérale
- Prairie Fauchée fertilisée à l'aide d'engrais organique (fumier, lisier, composte)

Pour chaque parcelle d'exploitation, un questionnaire d'une heure sera rempli avec l'exploitant afin de connaître le fonctionnement de l'exploitation, ces objectifs, et l'itinéraire technique des prairies. Ce questionnaire servira de support pour acquérir les information nécessaires à la

*Première approche des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*

compréhension du système, à définir le calendrier de suivi, et à convenir avec l'agriculteur des moyens d'échanger le plus efficacement possible pour permettre un suivi efficace et réactif vis à vis des contraintes de l'exploitation. Sur chaque parcelle suivie, il sera réalisé un diagnostic floristique, par Expedite Rivière, afin de définir les espèces en présence et leur taux de présence. Il sera également réalisé un échantillon de sol pour analyse complète. L'échantillonnage sera réalisé en début d'essai, au minimum 4 semaines après le dernier passage des bêtes sur la parcelle, ou 2 mois après le dernier épandage d'engrais, d'amendements ou de toutes substances susceptibles d'apporter des éléments fertilisant ou

ayant un effet sur le pH. L'échantillon sera composé de 10 carottes par hectare, avec un minimum de 20 prises individuelles (carotte) en prairies temporaires et de 30 prises pour les prairies permanentes. Les prélèvements seront réalisés à la tarière, sur une profondeur de 20 cm. Les prélèvements seront effectués de manière aléatoire, de sorte à couvrir l'entièreté

de la parcelle, en arpentant la parcelle en diagonal. On évitera les zones particulières (entrées de parcelles, bordures, sous les arbres, près des abreuvoirs des haies et des ruisseaux, lieu de piétinement des animaux, sur un ancien lieu de stockage d'amendements ou de fumer, dans une bouse). Les prélèvements seront

mélangés au fur et à mesure dans un seau. La terre sera homogénéisée et débarrassée au maximum des gros débris (feuilles, pierres...). Un échantillon de 500g sera prélevé dans un sachet pour analyse. Chaque échantillon sera identifié par une étiquette indiquant l'exploitation, la parcelle, la date de prélèvement, et le code parcelle. Les échantillons seront analysés au laboratoire d'analyse de Saint Denis.

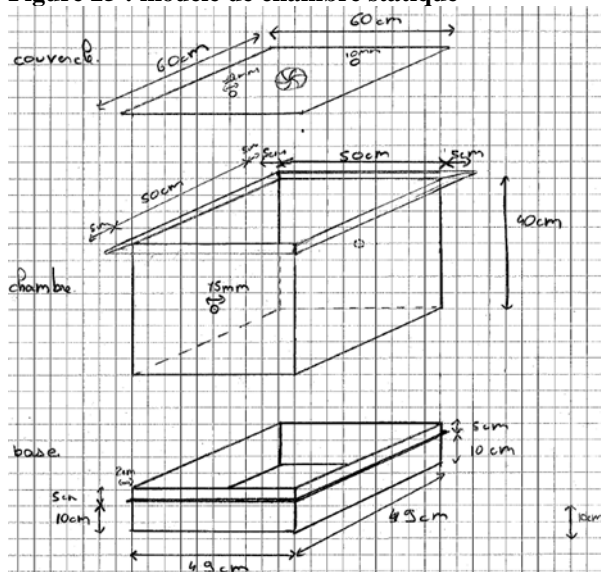
Pour ce suivi, de nouvelles chambres pourront être construites afin d'être mieux dimensionnées, selon les recommandations de De Klein *et al* 2011, et Rochette 2011. Il est envisagé des chambres en PVC carrés, de 50 cm de côté et 40 cm de hauteur (Figure 25). Elles s'ajusteront sur un socle enfoui de façon permanente dans le sol. Les chambres seront percées à deux endroits par des septa afin de permettre les prélèvements de gaz. Les couvercles seront placés sur les chambres puis fixés le temps de la manipulation à l'aide de pinces. Les émissions de N<sub>2</sub>O seront mesurées au champ à un pas de temps mensuel / bimensuel avec, en complément, un suivi plus intensif au cours des périodes suivant les fertilisations azotées et les périodes de pâture. Cinq chambres seront positionnées de manière ponctuelle sur les prairies exploitation.

## 5.2. QUANTIFICATION DES EMISSIONS DE NH<sub>3</sub> EN PRAIRIE

A la Réunion, les données liées aux émissions d'ammoniac sont peu nombreuses. L'étude menée sur prairie par Genermont et al. (2003), à la Plaine des Cafres, a mis en avant des pertes s'élevant à 39 % de l'azote ammoniacal apporté dans les tous premiers jours suivant

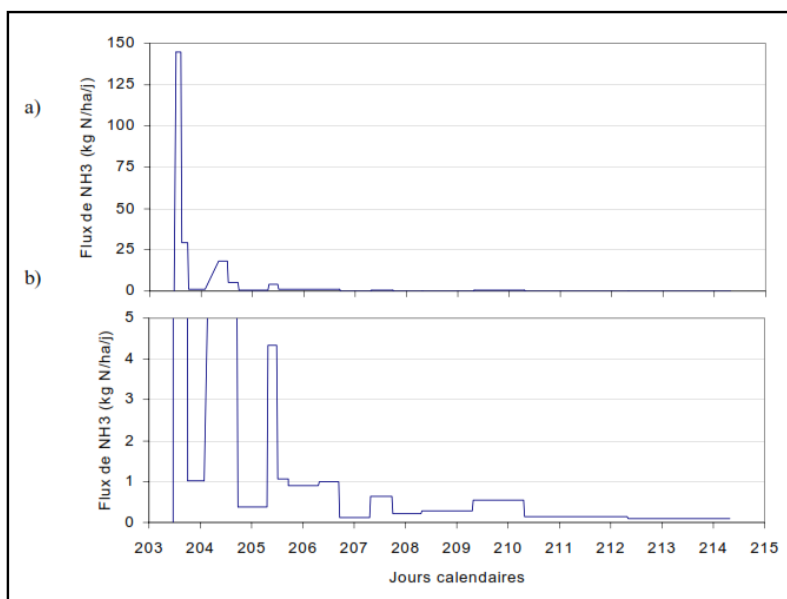
*Première approche des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*

Figure 25 : modèle de chambre statique



l'épandage de lisier de bovin. Ce qui est un peu inférieur aux résultats obtenues en régions tempérées en conditions d'apport comparables (Stevens et al., 1997; Thompson, Pain et Lockyer, 1990; Bussink, Huijmans et Ketelaars, 1994).

Les dynamiques de volatilisation observées présente des flux élevés dans la journée, maximaux à midi (rayonnement global, températures et vitesses de vent élevés) et des flux faibles la nuit (rayonnement global nul, températures basses, vitesses de vent faibles), voire quasiment nuls. Les flux sont forts au début, atteignant ponctuellement des valeurs de près de 150 kg de N-NH<sub>3</sub> /ha/j le jour de l'épandage, diminuent ensuite très rapidement, avec des valeurs maximales légèrement inférieures à 20 puis à 5 kg de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> /ha/j le lendemain et le surlendemain, puis inférieures à 1 kg de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> /ha/j. 83% des pertes ont lieu le premier jour, et 91% les deux premiers jours, résultat comparable à ceux obtenus en Europe sur prairie (Stevens et Logan, 1987 ; Thompson, Pain et Lockyer, 1990 ; Bussink, Huijmans et Ketelaars, 1994 ; Frost, 1994). Les pertes se stabilisent dès le troisième jour après l'apport, avec maintien d'une dynamique jour-nuit observable encore plusieurs jours après.



Flux d'ammoniac après épandage de lisier de bovin sur prairie d'altitude à la Plaine des Cafres en 2000 ; a) échelle faisant apparaître les émissions des jours suivant l'épandage ; b) échelle faisant apparaître la dynamique jour-nuit des flux. (Genermont, Morvan et al, 2003)

Les émissions de NH<sub>3</sub> à l'épandage peuvent être quantifié selon la méthode des badges alpha (Sutton et al., 2001). Ils seront positionnés sur les parcelles en séquence de détermination post-épandage J0-J4 (15 au total, 5 à J1, 1 à N1, 3 à J2, 2 à J3, 1 à J4) par période de mesure (extraction KCL, analyse au laboratoire de l'UR Recyclage et Risque du Cirad à St Denis). Ces données pourront être intégrées dans le modèle FIDES pour estimer les émissions par modélisation inverse (Loubet et al., 2011).

### 5.3. QUANTIFICATION DES PERTES DE NITRATES PAR LA LIXIVIATION EN PRAIRIE

Les pertes d'azote par lixiviation concernent principalement les formes minérales nitriques et ammoniacales du fait de leur forte solubilité et de leur faible rétention par une majorité de sols, à l'exception notable des sols volcaniques et de nombreux sols tropicaux. Les risques de pertes de nitrates sous prairie ont longtemps été considérés comme négligeables, les mesures étant réalisées principalement sous couvert fauché (Hénin, 1980 cité par Verte et al., 2007). Ces trente dernières années, de nombreuses études, réalisées en Europe (bassins versants laitiers intensifs d'Europe du Nord) et en France (Grand Ouest, Auvergne, Lorraine) ont

montré que les pertes par lixiviation en prairie pouvaient atteindre 100 kg N/ha/an, en fonction de l'intensité de fertilisation. A l'inverse, très peu d'études sont disponibles en contexte tropical. Saragoni et al. (1990) ont montré qu'au Togo, entre 20 et 32 % de la pluviosité est drainée à la base du sol et perdue pour les cultures, entraînant des pertes en azote pouvant atteindre 100 kg/ha/an. À la Réunion, en contexte insulaire tropical et volcanique, sur des sols typiques aux propriétés andiques, jusqu'à 70 % de l'azote apporté sous forme de lisier de porc peut être lixivié au-delà de la profondeur racinaire en année pluviométrique normale, soit près de 110 kg/ha (Payet, 2005).

A la Réunion, les résultats de suivi analytique sur différents captages ont globalement confirmé le faible niveau de contamination des eaux par les nitrates, mis à part un secteur particulier où le maraîchage et l'élevage sont très développés. Mais dans l'ensemble, on observe l'augmentation progressive des teneurs depuis 10 ans. Il y a donc lieu de se préoccuper de ce problème. Les ressources souterraines en eau nécessitent des aménagements et des mesures de protection : les teneurs en nitrates nécessitent à la fois une surveillance spécifique et la mise en place de périmètres de protection des captages encore trop rares actuellement (environ 30% des captages). Les perspectives d'évolution montrent une augmentation des besoins à l'horizon 2015. L'équilibre ressource/besoins risque de ne pas être toujours respecté surtout pour les territoires de l'Ouest et du Sud de l'île. Les pollutions d'origine agricole ne sont pas aussi importantes que sur certains bassins métropolitains mais leur augmentation constante depuis quelques années, malgré une diminution globale de l'usage d'intrants par la profession agricole (liée à une augmentation des prix, à une gestion raisonnée, à des contrôles plus rigoureux...) et les concentrations parfois importantes en pesticides ou nitrates retrouvées dans les analyses sont autant de signes d'alerte à considérer.

Mesurer la lixiviation des nitrates implique de mesurer conjointement le flux d'eau drainée ainsi que la quantité d'éléments dans la solution du sol à la profondeur considérée. Les méthodes **lysimétriques** et de **drainage à grande échelle** permettent de mesurer directe de la qualité de l'eau recueillie sous les racines. Précises et fiables, celles-ci sont particulièrement pertinentes sur des sites expérimentaux lourds du fait de leur coût, de la lourdeur d'installation. Les méthodes des bougies poreuses et des profils d'azote, sont des méthodes plus légères et abordables, dont la fiabilité dépend largement de la qualité de l'échantillonnage spatio-temporel, particulièrement pour les mesures des stocks d'azote minéral. Les méthodes classiques (plaques lysimétriques, Muller, 1996) étant trop lourdes à mettre en œuvre et trop perturbantes il leur sera préféré la méthode des profils de sols, pour suivre l'évolution des stocks d'azote minéral dans le sol, associée à la méthode des bougies poreuses, qui permettra de mesurer la teneur en nitrates dans la solution du sol. Un profil d'azote minéral sera réalisé toutes les trois semaines, avec des dosages du nitrate dans 4 couches différents (0-40, 40-60, 60-90 et 90-120 cm), en faisant l'hypothèse que la couche la plus profonde se trouve sous la profondeur racinaire maximale. En parallèle, des prélèvements de solution du sol seront réalisés en dessous de l'horizon de surface, à l'aide de bougies poreuses. Les flux d'eau seront mesurés de façon indirecte, sur chaque micro parcelle suivie, en couplant des mesures d'humidité (méthode TDR; Topp et al., 1980; Topp et Davis, 1985) et de potentiel de l'eau dans le sol (méthode tensiométrique), puis en calculant un flux d'eau à une profondeur déterminée sur la base de l'équation de Richards (Musy et Soutter, 1991).

## 6. ANNEXES

### 6.1. LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1: Exemples de flux de N <sub>2</sub> O sur prairie .....	7
Figure 2 : Flux d'azote à l'échelle de la parcelle.....	10
Figure 3 : Localisation du site expérimental de la Ferme de la SICALAIT, à la plaine des Cafres .....	11
Figure 4 : Pluviométrie et Température de l'air mensuelle moyenne à la Plaine des Cafres (2004-2012).....	12
Figure 5 : Granulométrie et densité apparente du sol de la parcelle de la SICALAIS (source : INRA UREP).....	13
Figure 6: Dispositif expérimental, plan en bloc complet .....	17
Figure 7 : Schémas des chambres statiques .....	18
Figure 8 : Schéma électrique du dispositif de ventilation .....	18
Figure 9 : Embase de chambre statique.....	18
Figure 10 : Principe de prélèvement des échantillons de gaz .....	19
Figure 11 : Chronologie des dates des séquences de mesure .....	20
Figure 12 : Dispositif expérimental de l'essai test (Cgn0) .....	20
Figure 13 : Dispositif expérimental de suivi des émissions de gaz.....	21
Figure 14: Graphiques de corrélations entre dT300, dT600 et dT6030 .....	25
Figure 16 : Teneurs moyennes en nitrate du sol, par campagne et par traitement.....	31
Figure 17 : teneurs moyennes en azote minérale du sol, par traitement .....	31
Figure 18 : Azote organique apporté et composition des engrais organiques, par coupe. ....	32
Figure 19 : Emissions de CO <sub>2</sub> par campagne de mesure.....	33



Figure 20 : Emissions de CO <sub>2</sub> par séquence de mesure .....	33
Figure 21: Emissions de CO <sub>2</sub> par traitement .....	33
Figure 22 : Emissions de N <sub>2</sub> O par campagne de mesure .....	34
Figure 23 : Emissions de N <sub>2</sub> O par séquence de mesure.....	34
Figure 24 : Emissions de N <sub>2</sub> O par traitement .....	34
Figure 24 : Chronologie des dates des séquences de mesure.....	35
Figure 25 : modèle de chambre statique.....	37
---	
Tableau 1 : Caractéristiques du site de la SICALAIT.....	11
Tableau 2 : Caractéristiques physiques de la parcelle de la SICALAIT .....	13
Tableau 3 : Caractéristiques chimiques de la parcelle de la SICALAIT à l'implantation de l'essai (2004).....	13
Tableau 4 : Caractéristiques agronomiques des lisiers et composts de bovin à la Réunion (Chabalier, Van de Kerchove et al. 2006).....	15
Tableau 5 : Coefficients équivalent engrais des lisiers et composts de bovin à la Réunion (Chabalier, Van de Kerchove et al. 2006).....	15
Tableau 6 : Modalités de fertilisation testées .....	16
Tableau 7 : Modalités de fertilisation suivi dans le cadre de la campagne de mesure des émissions de GES.....	20
Tableau 9 : Analyse chimique des sols pour chaque traitement .....	30
Tableau 10 : Caractéristiques physico-chimiques des sols .....	30
Tableau 11 : Composition moyenne des engrais organiques apportés par coupe.....	32

## 6.2. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bouwman, A. F., A. H. W. Beusen and G. Billen (2009). "Human alteration of the global nitrogen and phosphorus soil balances for the period 1970–2050." Global Biogeochem. Cycles, **23**.

Chabalier, P.-F., V. Van de Kerchove and H. Saint Macary (2006). Guide de la fertilisation organique à la Réunion. Sainte-Clotilde, La Réunion, CIRAD.

DAF and CIRAD (2007). Atlas des matières organiques issues des activités d'élevage et d'assainissement urbain à la Réunion. Saint Denis, DAF Réunion / CIRAD: 70.

De Klein, C., M. Harvey and S. Letica (2011). Nitrous Oxide Chamber Methodology Guidelines. Lincoln, New Zealand: 27.

Espagnol, S. and P. Leterme (2010). Elevage et environnement. Paris, France.

Fillols, E. and P. Chabalier (2007). Les sols de la Réunion : caractéristiques, analyse de sol. Guide de la fertilisation de la canne à sucre à la Réunion. C. CIRAD, CIRAD, CTICS: 30-37.

Flechard, C. R., A. Neftel, M. Jocher, C. Ammann and J. Fuhrer (2005). "Bi-directional soil/atmosphere N<sub>2</sub>O exchange over two mown grassland systems with contrasting management practices." Global Change Biology **11**(12): 2114-2127.

Fowler, D. (1999). Experimental designs appropriate for flux determination in terrestrial and aquatic ecosystems. Developments in Atmospheric Science. A. F. Bouwman, Elsevier. **Volume 24**: 101-121.

Gac, A. B., F.; Bioteau, T. (2006). Flux de gaz à effet de serre (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) liés à la gestion des déjections animales: synthèse bibliographique et élaboration d'une base de données. , Cemagref ADEME: 79 p. + annexes. .

Germon, J.-C., C. Hénault, P. Cellier, D. Chèneby, O. Duval, P. Laville, B. Nicoulaud, L. Philippot and B. Gabrielle (2003). "Les émissions de protoxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) d'origine agricole. Évaluation au niveau du territoire français." Étude et Gestion des Sols **10**(4): 16.

Guay, V. (2008). Evaluation des émissions de protoxyde d'azote, gaz à effet de serre, à partir des parcelles agricoles de la ferme expérimentale d'AgroParisTech. AgroParisTech, AgroParisTech: 47.

Hall, S. J. and P. A. Matson (1996). "NO<sub>x</sub>emissions from soil: Implications for air quality modeling in agricultural regions." Annu. Rev. Energy Environ. **21**: 311-346.

Linn. D.M and Doran. J.W (1984). "Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils." Soil Sci. Soc. Am. J. **48**: 1267-1272.

*Première approche des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*

Morvan, T, P. Chabalier, S. M. H and J.-M. Paillat (2003). Biotransformations résultant de l'apport de produits organiques sur des sols de la Réunion Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité - cas de la gestion des effluents d'élevage à l'île de la Réunion. F. Guerrin and J.-M. PAILLAT. Montpellier, France: 10.

Pellerin, S., L. Bamière, D. Angers, F. Béline, M. Benoît, J.-P. Butault, C. Chenu, C. Colnenne-David, S. De Cara, N. Delame, M. Doreau, P. Dupraz, P. Faverdin, F. Garcia-Launay, M. Hassouna, C. Hénault, M.-H. Jeuffroy, K. Klumpp, A. Metay, D. Moran, S. Recous, E. Samson, I. Savini and L. Pardon (2013). Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Paris, France, INRA: 94.

Rochette, P. (2011). "Towards a standard non-steady-state chamber methodology for measuring soil N<sub>2</sub>O emissions." Animal Feed Science and Technology **166–167**(0): 141-146.

Smil, V. (1999). "Nitrogen in crop production." Global Biogeochemical Cycles **13**: 647–662.

Team., R. C. (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.

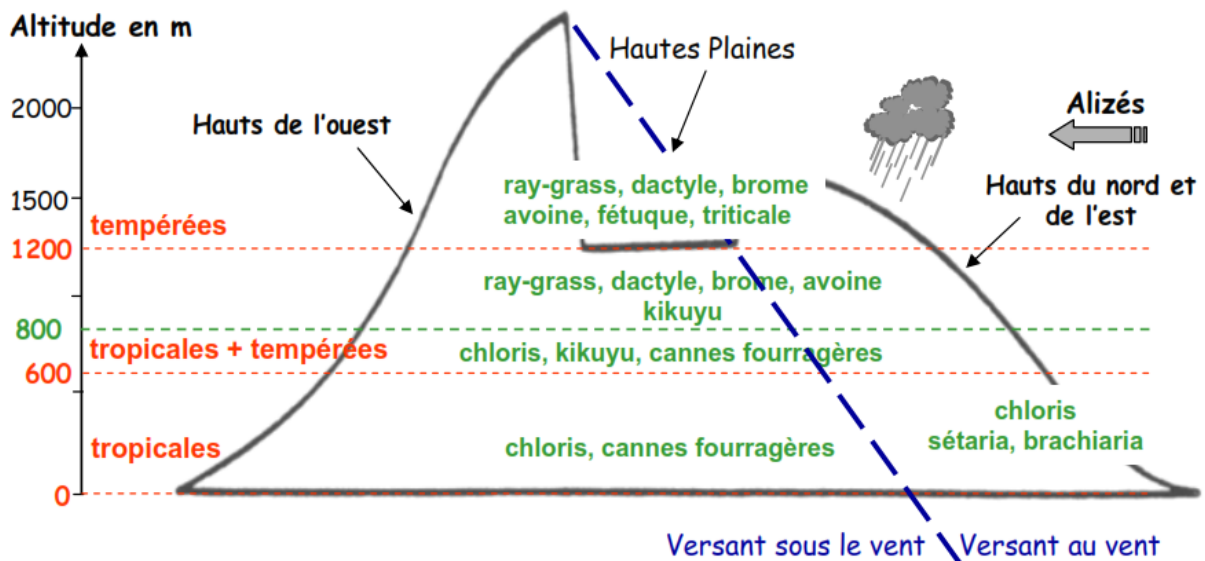
Vayssières, J. and M. C. Rufino (2012). Managing nutrients cycles in crop and livestock systems with green technologies. Green Technologies in Food Production and Processing. A. Y. B. J.I. New York, USA, : 151-182.

Veldkamp, E., M. Keller and M. Nuñez (1998). "Effect of pasture management on N<sub>2</sub>O and NO emissions from soils in the humid tropics of Costa Rica. ." Global Biogeochemical cycles **12**: 71-79.

Vilain, G., J. Garnier, B. Mercier, G. Tallec, P. Ansart and P. Cellier (2011). Emissions de N<sub>2</sub>O dans le paysage agricole : un continuum plateau-fond de vallée de l'Orgeval: 20.

### 6.3. LES ESPECES FOURRAGERES A LA REUNION (SOURCES : GUIDE TECHNIQUE POUR LA CREATION, LA GESTION ET LA VALORISATION DES PRAIRIES A LA REUNION)

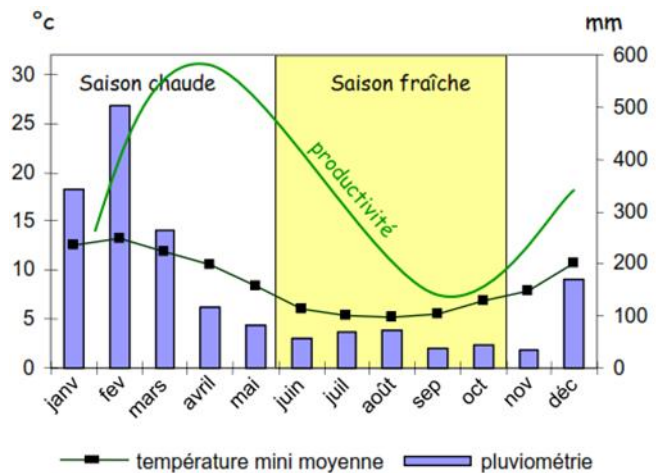
A la Réunion, les prairies représentent la deuxième surface agricole de l'île (29 %). Elles sont présentes sur toute l'île, entre 0 et 1500 m d'altitude. La répartition des principales espèces fourragères à la Réunion se fait en fonction de l'altitude, et de leur caractère « tempéré » et « tropical ».



Source : Guide technique pour la création, la gestion et la valorisation des prairies à la Réunion, 2004, Union des Ass. Foncières Pastorales, CIRAD

La **production fourragère** est fortement influencée par une saisonnalité marquée. En saison fraîche, la baisse des températures et de pluviométrie est responsable d'un ralentissement de la croissance des plantes. Cela peut entraîner un excédent fourrager en saison chaude et/ ou un déficit en saison fraîche.

Espèce	Rendement moyens annuels (t MS / ha)
Dactyle	10 - 15
Fétuque	7 - 9
Brome	12 - 15
Ray-grass hybride	10 - 15
Kikuyu	> 15
Trèfle blanc	



sources : guide technique pour la création, la gestion et la valorisation des prairies à la Réunion, 2004, UAAP, CIRAD,

Première approche des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.

Pour une production annuelle avoisinant les 12 tonnes de matière sèche étalée sur 12 mois, le **plan de fertilisation** suivant peut être appliqué :

- 342 unités d'azote / ha / an,
- 235 unités de phosphore / ha / an,
- 144 unités de potassium / ha / an.

Les prairies de fauche à exploitation intensive doivent être fertilisées à chaque coupe en fonction de la production espérée. Le calendrier de fertilisation est donc calqué sur celui de la production, avec notamment davantage d'apports en saison des pluies lorsque la pousse de l'herbe et les exportations d'éléments minéraux du sol sont à leur maximum. 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.

### **Le Brome cathartique (Bromus catharticus)**

**Description :** le brome est une graminée fourragère tempérée de taille moyenne poussant en grosses touffes. Les feuilles sont de couleur vert clair, plus ou moins poilues et pliées lorsqu'elles sont jeunes. Les inflorescences sont largement ouvertes et retombantes et portent de grands épillets ovales, plats et fortement comprimés.



**Répartition :** le brome est cultivé en altitude (à partir de 1200 m).

**Utilisation :** en culture pure, le brome est préférentiellement fauché. Néanmoins, il peut être cultivé en association avec une ou plusieurs autres graminées dans des prairies de pâture.



**Dose de semis :** 60 kg/ha en culture pure.

### **Le dactyle (Dactylis glomerata)**

**Description :** le Dactyle pelotonné est une graminée vivace tempérée de grande taille formant de grosses touffes d'un vert bleuâtre. Ses tiges et ses feuilles sont aplaties. Les jeunes feuilles sont pliées avant de sortir. Ses inflorescences (« fleurs ») sont ramifiées et se terminent en petits glomérules compacts. Il résiste généralement bien à la sécheresse grâce à un système racinaire développé.



**Répartition :** le dactyle est une graminée tempérée cultivée à partir de 800 mètres d'altitude.

**Utilisation :** seul ou en association avec une autre graminée (raygrass, kikuyu,...), ou une légumineuse (trèfle, lotier,...).



Le dactyle peut être pâturé et/ou fauché.

**Dose de semis :** 30 kg/ha en culture pure, 20 kg/ha en association avec du ray-grass (20kg/ha).

### **Le kikuyu (*Pennisetum clandestinum*)**

**Description :** le kikuyu est une graminée tropicale d'altitude originaire des hauts plateaux du Kenya. C'est une graminée fourragère cultivée présentant une pérennité remarquable qu'elle doit à son port rampant. Grâce à ses stolons superficiels, le kikuyu s'enracine à chaque nœud pour former un épais gazon couvrant entièrement le terrain.



**Répartition :** le kikuyu est très largement répandu entre 600 et 1600 m d'altitude, surtout dans les Hauts de l'ouest où il constitue l'essentiel des pâturages. Au-delà de 1600 m, il ne résiste pas aux basses températures

hivernales et se caractérise donc en saison fraîche par un arrêt végétatif.



**Utilisation :** très agressif, le kikuyu possède une résistance exceptionnelle au piétinement, aux adventices ainsi qu'au surpâturage. Il est donc principalement pâturé, parfois fauché.

**Implantation :** la mise en place des prairies de kikuyu se fait par bouturage.

### **Le trèfle blanc (*Trifolium repens*)**

**Description :** le trèfle blanc est une légumineuse herbacée pérenne tempérée dont les tiges sont des stolons rampant ramifiés sur le sol. Ces stolons portent des nœuds d'où partent des racines et des feuilles à trois folioles. Les racines portent des nodosités dans lesquelles vivent des bactéries (*Rhizobium*) qui donnent au trèfle la capacité de fixer l'azote de l'air. La fleur est blanche.



**Répartition :** le trèfle blanc pousse en altitude à partir de 500 m

**Utilisation :** le trèfle blanc est cultivé en association dans les prairies de graminées fourragères où lorsqu'il est présent en bonnes proportions (au moins 20 à 30% de recouvrement), il améliore sensiblement la qualité de l'herbe.

**Dose de semis :** 2,5 à 3 kg/ha en association après inoculation par un *Rhizobium*.

## Les ray-grass : d'Italie et hybrides (*Lolium multiflorum* et *Lolium hybridum*)

**Description :** le ray-grass d'Italie est une graminée fourragère tempérée aux feuilles généralement larges, longues et souples de couleur verte. Leur face inférieure est lisse et brillante. L'inflorescence du ray-grass d'Italie est allongée, en forme d'épi et porte des épillets régulièrement répartis de part et d'autre de l'axe de l'inflorescence. Le ray-grass hybride résulte de l'hybridation entre un ray-grass anglais et un ray-grass d'Italie. Les variétés actuelles sont proches du ray-grass d'Italie.



**Répartition :** les ray-grass sont des graminées tempérées cultivées à partir de 800 mètres d'altitude.

**Utilisation :** seul ou en association avec une autre graminée (dactyle, kikuyu,...), ou une légumineuse (trèfle, lotier,...) le ray-grass hybride peut être pâturé et/ou fauché. Le ray-grass d'Italie est préférentiellement fauché.

**Dose de semis :** 30 kg/ha en culture pure, 20 kg/ha en association avec du dactyle (20kg/ ha).

## La féтуque élevée (*Festuca arundinacea*)

**Description :** la féтуque élevée est une graminée fourragère tempérée vivace de grande taille (50 à 70 cm, 120 cm avec l'inflorescence) poussant en grosses touffes et pouvant également émettre de très courts stolons. Ses feuilles toujours vertes sont longues, coriaces et revêches au toucher, à nervures très marquées et très légèrement poilues à leur base. L'inflorescence est lâche et étalée.



**Répartition :** la féтуque est cultivée en altitude (à partir de 1200 m), principalement à la Plaine des Palmistes en raison de sa rusticité qui lui permet de résister aux conditions les plus difficiles : inondation, sécheresse, froid ou fortes chaleurs. Elle est donc naturellement appréciée dans les zones humides de la Plaine des Cafres.

**Utilisation :** résistante au piétinement, la féтуque élevée peut être pâturée. Du fait de sa bonne aptitude à la dessiccation, elle est également fauchée et ensilée.



**Dose de semis :** 20 à 25 kg/ha. Son implantation est lente et difficile.

## 6.4. LISTE DES PARAMETRES MESURES ET UTILISES DANS LE CADRE DE L'ETUDE

Paramètres mesurés dans le cadre de l'essai fertilisation

Variables	Diminutif	Unité	PERIODICITE	Table
<b>BIOMASSE AERIENNE</b>				
Age à la récolte	Age_jours	jours	à chaque fauche (6 -7 /an)	biomasse
Poids de biomasse verte récoltée	Poids_vert	g MV/4 m <sup>2</sup>		
Taux de matière sèche	Taux_MS	%		
Quantité de matière sèche par ha	Qt_MS_Hectare	kg MS/ha		
Hauteur d'herbe ITCF	Hteur_ITCF	mm		
Recouvrement de la parcelle par espèce		%		composition- floristique
Matières azotées totale	MAT	% de la MS		valeur-alimentaire
<b>PRO (lisier, compost)</b>				
matière sèche r à 105°C	MSr 105°C		à chaque fertilisation (3 -7 /an)	engrais_organique
matière sèche à 60°C	MS 60°C	g/100g MB		
matière sèche à 105°C	MS 105°C	g/100g MB		
Azote total Kjeldahl	N_TKJ	gN/kg MB		
Azote total Dumas	N Dumas	gN/kg MS105		
azote ammoniacal	N_NH4	gN/kg MB		
Carbone	C orga	gC/100g MS105		
phosphore total	P			
potassium total	K			
<b>SOL</b>				
Carbone organique	C org	g/100g sec	un fois par an	Sol_Chimique
Azote total Dumas	N tot	g/kg sec		
capacité d'échange cationique	CEC	mé/100g sec		
pH eau	pH			
pH kcl	pH kcl			
Potassium	K	mé/100g sec		
Magnesium	Mg	mé/100g sec		
Sodium	Na	mé/100g sec		
Phosphore O-Dabin	P	mg/kg sec		
Calcium	Ca	mé/100g sec		
m <sub>sr</sub> 105°C	MSr 105			
Sables Grossiers	SG	%		
Sables Fins	SF	%		
Limons Grossiers	LG	%		
Limons Fins	LF	%		
Argiles	Ag	%		
Total des 5 fractions en %	FT	%		



<b>METEO</b>				
Pluviométrie horaire	rr	mm de pluie	horaire	meteo_horaire
Rayonnement global horaire	glot	W/m <sup>2</sup>		
Température horaire	tm	°C		
Vitesse du vent horaire	vt	m/s		
humidité relative horaire	um	%		
Pluviométrie journalière	pluie	mm	journalière	meteo_jour
Température moyenne journalière	tm	°C		
Température minimum journalière	tmin	°C		
Température maximum journalière	tmax	°C		
Rayonnement global journalier	rayonnement	W/m <sup>2</sup>		
Vitesse du vent moyenne journalière	vitesse_vent	m/s		
Evapotranspiration journalière	etp	mm		

Paramètres mesurés dans le cadre de l'essai « émissions de N<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub> en prairie »

Variables	Diminutif	Unité	PERIODICITE	Table
<b>GAZ</b>				
quantité de carbone dans les chambres	C_mg_chb	mg	20 dates	Gaz_N2O_CO2
quantité de azote dans les chambres	N_ug_chb	ug		
<b>SOL</b>				
matière sèche à 105°C	MS	g/100g MB	4 dates	T-Sol_Nmin
pH eau	pH			
azote nitrique	N_NO3	mgN/kg MS105		
azote ammoniacal	N_NH4	mgN/kg MS106		
<b>METEO</b>				
Pression atmosphérique des chambres statiques	Pa	hPa	20 dates	Gaz_ClimPrelevt_chb
Humidité de l'air des chambres statiques	H°	%RH		
Température de l'air des chambres statiques	T°	C°		
Pression atmosphérique de la parcelle	Pa	hPa	20 dates	Gaz_ClimPrelevt_Par
Humidité de l'air de la parcelle	H°	%RH		
Température de l'air de la parcelle	T°	C°		
Humidité du sol	H_sol	%RH	20 dates	Gaz_ClimSolPrelevt_chb
Température du sol	T_sol	C°		
Densité apparente du sol	Da	g.cm-3	1 date	Sol_Da

## 6.5. FICHES DE SAISIE

### Fiche de saisie Horaire

Saisi le (par) :

date	seq	parc	chb	ech	code_etiquette	h_ech	Remarque
26/04/2013	J+15	P29	P29C1	T0	26/04/13_P29C1_T0	..:..	
26/04/2013	J+15	P29	P29C2	T0	26/04/13_P29C2_T0	..:..	
26/04/2013	J+15	P27	P27C1	T0	26/04/13_P27C1_T0	..:..	
26/04/2013	J+15	P27	P27C2	T0	26/04/13_P27C2_T0	..:..	
26/04/2013	J+15	P22	P22C1	T0	26/04/13_P22C1_T0	..:..	
26/04/2013	J+15	P22	P22C2	T0	26/04/13_P22C2_T0	..:..	
26/04/2013	J+15	P29	P29C1	T30	26/04/13_P29C1_T30	..:..	
26/04/2013	J+15	P29	P29C2	T30	26/04/13_P29C2_T30	..:..	
26/04/2013	J+15	P27	P27C1	T30	26/04/13_P27C1_T30	..:..	
26/04/2013	J+15	P27	P27C2	T30	26/04/13_P27C2_T30	..:..	
26/04/2013	J+15	P22	P22C1	T30	26/04/13_P22C1_T30	..:..	
26/04/2013	J+15	P22	P22C2	T30	26/04/13_P22C2_T30	..:..	
26/04/2013	J+15	P29	P29C1	T60	26/04/13_P29C1_T60	..:..	
26/04/2013	J+15	P29	P29C2	T60	26/04/13_P29C2_T60	..:..	
26/04/2013	J+15	P27	P27C1	T60	26/04/13_P27C1_T60	..:..	
26/04/2013	J+15	P27	P27C2	T60	26/04/13_P27C2_T60	..:..	
26/04/2013	J+15	P22	P22C1	T60	26/04/13_P22C1_T60	..:..	
26/04/2013	J+15	P22	P22C2	T60	26/04/13_P22C2_T60	..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	
						..:..	

## Fiche de saisie des conditions climatiques

Mesure des conditions climatiques :



Saisi le (par) :

date	seq	parc	trait	chb	H°sol	T°sol	Pa°chb	H°chb	T°chb
26/04/2013	J+15	P29	T1	P29C1					
26/04/2013	J+15	P29	T1	P29C2					
26/04/2013	J+15	P27	T8	P27C1					
26/04/2013	J+15	P27	T8	P27C2					
26/04/2013	J+15	P22	T2	P22C1					
26/04/2013	J+15	P22	T2	P22C2					
26/04/2013	J+15	P21	T3	P21C1					
26/04/2013	J+15	P21	T3	P21C2					
26/04/2013	J+15	P20	T3	P20C1					
26/04/2013	J+15	P20	T3	P20C2					
26/04/2013	J+15	P17	T2	P17C1					
26/04/2013	J+15	P17	T2	P17C2					
26/04/2013	J+15	P16	T8	P16C1					
26/04/2013	J+15	P16	T8	P16C2					
26/04/2013	J+15	P12	T1	P12C1					
26/04/2013	J+15	P12	T1	P12C2					
26/04/2013	J+15	P5	T1	P5C1					
26/04/2013	J+15	P5	T1	P5C2					
26/04/2013	J+15	P4	T3	P4C1					
26/04/2013	J+15	P4	T3	P4C2					
26/04/2013	J+15	P3	T8	P3C1					
26/04/2013	J+15	P3	T8	P3C2					
26/04/2013	J+15	P2	T2	P2C1					
26/04/2013	J+15	P2	T2	P2C2					

**Remarques générales :**

**Valeurs Parcelle :**

Pa : hPa  
H° : %RH  
T° aire : C°  
T° sol : C°

*parc : parcelle; trait : traitement; chb : chambre statique; H°sol : humidité du sol; T°sol : température du sol; Pa chb : pression atmosphérique dans la chambre; H°chb : humidité dans la chambre; T°chb : température dans la chambre*

## Fiche de saisie de la densité apparente du sol

Mesure des conditions climatiques :

Date de mesure :



Saisi le (par) :

parc	trait	n° prélèv	n° cylindre	V cylindre (cm3)	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Da (g/cm3)
29	1	1		98,13			0
29	1	2		98,13			
29	1	3		98,13			
27	8	1		98,13			
27	8	2		98,13			
27	8	3		98,13			
22	2	1		98,13			
22	2	2		98,13			
22	2	3		98,13			
21	3	1		98,13			
21	3	2		98,13			
21	3	3		98,13			
20	3	1		98,13			
20	3	2		98,13			
20	3	3		98,13			
17	2	1		98,13			
17	2	2		98,13			
17	2	3		98,13			
16	8	1		98,13			
16	8	2		98,13			
16	8	3		98,13			
12	1	1		98,13			
12	1	2		98,13			
12	1	3		98,13			
5	1	1		98,13			
5	1	2		98,13			
5	1	3		98,13			
4	3	1		98,13			
4	3	2		98,13			
4	3	3		98,13			
3	8	1		98,13			
3	8	2		98,13			
3	8	3		98,13			
2	2	1		98,13			
2	2	2		98,13			
2	2	3		98,13			

**Liste des échantillons:**

date	seq	parc	chb	ech	code_etiquette	ref_trait	T_cloches (C°)	P_moy (hPa)	V_flacon (L)	Probleme de tube
09/04/2013	J-1	1 P29	P29C1	T0	09/04/13_P29C1_T0	0 fumure	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	1 P29	P29C1	T30	09/04/13_P29C1_T30	0 fumure	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	1 P29	P29C1	T60	09/04/13_P29C1_T60	0 fumure	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	1 P29	P29C2	T0	09/04/13_P29C2_T0	0 fumure	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	1 P29	P29C2	T30	09/04/13_P29C2_T30	0 fumure	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	1 P29	P29C2	T60	09/04/13_P29C2_T60	0 fumure	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	2 P27	P27C1	T0	09/04/13_P27C1_T0	12 t composte	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	2 P27	P27C1	T30	09/04/13_P27C1_T30	12 t composte	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	2 P27	P27C1	T60	09/04/13_P27C1_T60	12 t composte	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	2 P27	P27C2	T0	09/04/13_P27C2_T0	12 t composte	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	2 P27	P27C2	T30	09/04/13_P27C2_T30	12 t composte	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	2 P27	P27C2	T60	09/04/13_P27C2_T60	12 t composte	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	3 P22	P22C1	T0	09/04/13_P22C1_T0	70 kg engrais minéral	24,9	840	20	
09/04/2013	J-1	3 P22	P22C1	T30	09/04/13_P22C1_T30	70 kg engrais minéral	24,9	840	20	
09/04/2013	J-1	3 P22	P22C1	T60	09/04/13_P22C1_T60	70 kg engrais minéral	24,9	840	20	
09/04/2013	J-1	3 P22	P22C2	T0	09/04/13_P22C2_T0	70 kg engrais minéral	25,3	840	20	
09/04/2013	J-1	3 P22	P22C2	T30	09/04/13_P22C2_T30	70 kg engrais minéral	25,3	840	20	
09/04/2013	J-1	3 P22	P22C2	T60	09/04/13_P22C2_T60	70 kg engrais minéral	25,3	840	20	
09/04/2013	J-1	4 P21	P21C1	T0	09/04/13_P21C1_T0	40 m <sup>3</sup> lisier	26,1	840	20	x
09/04/2013	J-1	4 P21	P21C1	T30	09/04/13_P21C1_T30	40 m <sup>3</sup> lisier	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	4 P21	P21C1	T60	09/04/13_P21C1_T60	40 m <sup>3</sup> lisier	26,1	840	20	x
09/04/2013	J-1	4 P21	P21C2	T0	09/04/13_P21C2_T0	40 m <sup>3</sup> lisier	26,1	840	20	
09/04/2013	J-1	4 P21	P21C2	T30	09/04/13_P21C2_T30	40 m <sup>3</sup> lisier	26,1	840	20	

22/05/2013

## 6.6. FOURNISSEURS

<b>ANZEMBERG</b>	
COORDONNEES :	Dépôt Sud Rue Benoîte Boulard 97450 Saint-Louis Tél. 0262.91.40.54 Fax. 0262.25.68.38
CONTACT :	Jean-Marie NOURRY <i>Technico-commercial Grands comptes Secteur TP Sud</i> Gsm : 06 92 68 21 31 @ : <a href="mailto:jean-marie.nourry@anzemberg.com">jean-marie.nourry@anzemberg.com</a>
<b>Campbell sci</b>	
COORDONNEES :	Campbell Scientific Ltd - Bureau France 3 Avenue de la Division Leclerc, 92160 ANTONY Tel: 01 56 45 15 20 Fax: 01 46 66 26 20 @ <a href="mailto:contact@campbellsci.fr">contact@campbellsci.fr</a>
<b>DIFFUSION</b>	
COORDONNEES :	155, rue Roger PAYET Riviere des Pluies 97438 Ste MARIE Tel: 0262 21 68 70 Fax: 0262 97 02 65
CONTACT :	Frédéric ARNOULT Tel: 0692 86 77 76 @ : <a href="mailto:diffusion.arnoult@laposte.net">diffusion.arnoult@laposte.net</a>
<b>ELECTRONIC'SHOP centre</b>	
COORDONNEES :	46 rue Marius et Ary Leblond 97430 LE TAMPON Tel : 02 62 27 94 90 Fx : 02 62 27 97 15
<b>Labco Limited</b>	
COORDONNEES :	Unit 3, Pont Steffan Business Park Lampeter, Ceredigion SA48 7HH. UK Tel: +44 (0)1570 423745 Fax: +44 (0)1570 423421 @ : <a href="mailto:sales@labco.co.uk">sales@labco.co.uk</a> @ : <a href="mailto:enquiries@labco.co.uk">enquiries@labco.co.uk</a> Website : <a href="http://www.labco.co.uk">www.labco.co.uk</a>
CONTACT :	Joanna NUNN

<b>PROMEDICAL</b>	
COORDONNEES :	142, Rue Stéphane Rebecca B.P.345 ZI N°2 97452 Saint Pierre Cedex Tel : 0262 96 13 68 Fax : 0262 96 04 11
CONTACT :	Amandine GIGAN @: <a href="mailto:amandine.gigan@locate.fr">amandine.gigan@locate.fr</a>
<b>RUNDEV</b>	
COORDONNEES :	20 rue Croix Jubilé - Terre Sainte 97410 Saint-Pierre Tél. : 0262 33 99 99 Site Web: <a href="http://www.rundev.re">www.rundev.re</a>
CONTACT :	Valère AUJOGUE <i>Technico Commercial</i> Tél. : +33 (0)2 62 57 07 17 Mobile : +33 (0)6 92 778 234 Fax. : +33 (0)2 62 57 07 18 @ : <a href="mailto:v.aujogue@rundev.re">v.aujogue@rundev.re</a>
<b>SDEC FRANCE</b>	
COORDONNEES :	ZI de la Gare BP27 - Tauxigny 37 310 REIGNAC SUR INDRE FRANCE - EUROPE Tel: +33 2 47 94 10 00 Fax: +33 2 47 94 17 13 @ : <a href="mailto:info@sdec-france.com">info@sdec-france.com</a> Site Web: <a href="http://www.sdec-france.com">www.sdec-france.com</a>
CONTACT :	Thierry BARDET Département Agronomie

## 6.7. PERSONNES RESSOURCES

- **BLOOR Juliette**

*Chargée de Recherche*

Emissions de gaz à effet de serre et stockage du carbone en prairie

INRA – UR Ecosystème Prairial

Site de Theix

63122 SAINT-GENÈS-CHAMPANELLE

Tél. : +33 (0) 4 73 62 44 25 – Fax : 04 73 62 44 57 –

@ : [juliette.bloor@clermont.inra.fr](mailto:juliette.bloor@clermont.inra.fr)

- **CAZEVIELLE Patrick**

*Responsable de la plateforme technique de l' UPR Recyclage et risque à Montpellier*

Analyses par chromatographie en phase gazeuse (CPG) pour le dosage de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>

CIRAD - dpt Persyst - UPR Recyclage et risque

Bâtiment 1 - Bureau 133B

TA B-78 / 01 Avenue Agropolis 34398 Montpellier Cedex 5 France

Tél : +33 4 67 61 56 13 - Secr. : +33 4 67 61 56 48 - Fax : +33 4 67 61 71 48

@. : [patrick.cazevielle@cirad.fr](mailto:patrick.cazevielle@cirad.fr)

- **CHEVASSU-ROSSET Claire**

*Technicienne de laboratoire, plateforme technique de l' UPR Recyclage et risque à Montpellier*

Analyses par chromatographie en phase gazeuse (CPG) pour le dosage de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>

CIRAD - dpt Persyst - UPR Recyclage et risque

Bâtiment 1 - Bureau 124

TA B-78 / 01 Avenue Agropolis 34398 Montpellier Cedex 5 France

Tél : +33 4 67 61 56 12 - Secr. : +33 4 67 61 56 48 - Fax : +33 4 67 61 71 48

@. : [claire.chevassu-rosset@cirad.fr](mailto:claire.chevassu-rosset@cirad.fr)

- **JUANES Xavier**

*Ingénieur Informaticien*

Bases de Données

CIRAD - dpt Es - UMR SELMET

Bâtiment A - Bureau 110, TA C-112 / A - Campus international de Baillarguet

34398 Montpellier Cedex 5 - France

Tél : +33 4 67 59 39 15 - Fax : +33 4 67 59 38 25

@ : [xavier.juanes@cirad.fr](mailto:xavier.juanes@cirad.fr)

- **LECOMTE Philippe**

Directeur de l'UMR SELMET

Concepteur des essais fertilisation sur prairie fauchée

Es - UMR SELMET

Bâtiment A - Bureau 113

TA C-112 / A - Campus international de Baillarguet - 34398 Montpellier Cedex 5 France

Tél : +33 4 67 59 37 04 - Secr. : +33 4 67 59 38 63 - Fax : +33 4 67 59 38 25

@. : [philippe.lecomte@cirad.fr](mailto:philippe.lecomte@cirad.fr)

- **LEGIER Patrick**

*Responsable du laboratoire d'analyses agronomiques du CIRAD, station de la Bretagne à Saint Denis*

Analyses agronomiques (sol, plante, matières organiques)

CIRAD - dpt Persyst - UPR Recyclage et risque

Station de La Bretagne BP 20 97408 Saint-Denis Messagerie Cedex 9 - Réunion

Tél : +262 2 62 52 80 19 - Secr. : +262 2 62 52 81 00 - Fax : +262 2 62 52 80 01

@. : [patrick.legier@cirad.fr](mailto:patrick.legier@cirad.fr)

- **NABENEZA Serge**

*Première approche des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*



*Technicien de laboratoire, responsable du laboratoire d'analyse SPIR*

Analyses agronomiques, technologie SPIR

Es - UMR SELMET

Bureau Bât. E

Station de Ligne-Paradis - Pôle élevage - 7 chemin de l'IRAT - 97410 Saint-Pierre

Réunion

Tél : +262 2 62 49 92 45 - Secr. : +262 2 62 49 92 02 - Fax : +262 2 62 49 92 95

@ : [serge.nabeneza@cirad.fr](mailto:serge.nabeneza@cirad.fr)

- **NATIVEL Raymond**

*Technicien d'Expérimentation*

Persyst - UPR SCA

Bureau Bât. B - Station de Ligne-Paradis - 7 chemin de l'IRAT - 97410 Saint-Pierre-Réunion

Tél : +262 2 62 49 92 78 - Fax : +262 2 62 49 92 95

@ : [raymond.nativel@cirad.fr](mailto:raymond.nativel@cirad.fr)

- **PAILLAT Jean-Marie**

*Directeur de l'UR Recyclage et Risque*

Expertise expérimentation agronomiques (sol, plante, matières organiques, gaz), valorisation des PRO

Persyst - UPR Recyclage et risque

Station de La Bretagne - BP 20 - 97408 Saint-Denis Messagerie Cedex 9 - Réunion

Tél : +262 2 62 52 80 26 - Secr. : +262 2 62 52 80 20 - Fax : +262 2 62 52 80 21

@ : [jean-marie.paillat@cirad.fr](mailto:jean-marie.paillat@cirad.fr)

- **PAULIN Louis**

*Technicien d'Expérimentation*

Persyst - UPR SCA

Bureau Bât. B - Station de Ligne-Paradis - 7 chemin de l'IRAT - 97410 Saint-Pierre-Réunion

Tél : +262 2 62 49 92 44 - Secr. : +262 2 62 49 92 02 - Fax : +262 2 62 49 92 95

@ : [louis.paulin@cirad.fr](mailto:louis.paulin@cirad.fr)

- **KLUMP Katja**

*Ingénieur de Recherche*

Emissions de gaz à effet de serre et stockage du carbone en prairie

INRA – UR Ecosystème Prairial

Site de Theix, 63122 SAINT-GENÈS-CHAMPANELLE

Tél. : +33 (0) 4 73 62 45 65 – Fax : 04 73 62 44 57

@ : [katja.klump@clermont.inra.fr](mailto:katja.klump@clermont.inra.fr)

- **RIVIERE Expédite**

*Technicien d'Expérimentation*

Suivi des essais fertilisations sur prairies fauchées et des essais variétaux à la Réunion, Expertise systèmes fourragers à la Réunion

CIRAD - dpt Es - UMR SELMET

Station de Ligne-Paradis - 7 chemin de l'IRAT - 97410 Saint-Pierre - Réunion

Tel : 06 92 31 12 72 - Secr. : +262 2 62 49 92 02 - Fax : +262 2 62 49 92 95

@ : [expedit.riviere@cirad.fr](mailto:expedit.riviere@cirad.fr)

- **SALGADO PAULO**

*Chercheur en charge de l'essai fertilisation*

Expertise agronomiques (sol, plante, matières organiques)

CIRAD - dpt Es - UMR SELMET

Station de Ligne-Paradis - 7 chemin de l'IRAT - 97410 Saint-Pierre - Réunion

Tél : +262 2 62 49 92 02 - Fax : +262 2 62 49 92 95

@ : [paulo.salgado@cirad.fr](mailto:paulo.salgado@cirad.fr)

*Première approche des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) en prairie fauchée, pour différentes modalités de fertilisation, à la Réunion.*

- **SALMACIS Olivier**

*Technicien d'Expérimentation*

Suivi des essais émissions de gaz à effet de serre aux Colimaçons (2007) et à la SICALAIT (2013)

CIRAD - dpt Persyst - UPR Recyclage et risque

Station des Colimaçons CD 3 - Petite Ravine 97416 La Chaloupe Saint-Leu - Réunion

Tél. : 06 93 90 56 48 - Tél : +262 2 62 24 80 42 - Fax : +262 2 62 24 94 24

@. : [olivier.salmacis@cirad.fr](mailto:olivier.salmacis@cirad.fr)

- **TILLARD EMMANUEL**

*Responsable de l'équipe CIEEL, UMR SELMET*

Expertise vétérinaire, statistique

CIRAD - dpt Es - UMR SELMET

Station de Ligne-Paradis - 7 chemin de l'IRAT - 97410 Saint-Pierre - Réunion

Tél : +262 2 62 49 92 54 - Fax : +262 2 62 49 92 95

@. : [emmanuel.tillard@cirad.fr](mailto:emmanuel.tillard@cirad.fr)

- **TODOROFF Pierre**

*Responsable de l'équipe ARTIST, UPR SCA*

Chercheur SIG, télédétection

Persyst - UPR SCA

Bureau Bât. B - Station de Ligne-Paradis - 7 chemin de l'IRAT - 97410 Saint-Pierre-Réunion

Tél : +262 2 62 49 92 61 - Fax : +262 2 62 49 92 95

@. : [pierre.todoroff@cirad.fr](mailto:pierre.todoroff@cirad.fr)

**PREMIERE APPROCHE DES EMISSIONS DE PROTOXYDE F'AZOTE (N<sub>2</sub>O) EN PRAIRIE FAUCHEE,  
POUR DIFFERENTES MODALITES DE FERTILISATION,  
A LA REUNION**

**Mots clés :** Expérimentation, agronomie, élevage, prairie, fertilisation, lisier, composte, effet de serre, émissions, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, système tropical

**Résumé :**

En France, l'élevage bovin contribue majoritairement aux émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), avec 87 % des émissions, tous postes d'émission confondue (pâturage, bâtiment, stockage, épandage), 25 % de ces émissions sont liées à l'épandage. A la Réunion, on estime à 68 et 509 tonnes les émissions de N<sub>2</sub>O liées aux déjections animales et aux sols agricoles. Le développement attendu de l'élevage bovin dans les années à venir, justifie d'acquérir des références sur ces émissions. Particulièrement à l'échelle des prairies, qui représentent 29 % de la surface agricole de l'île.

Cette étude s'est intéressée aux émissions gazeuses de N<sub>2</sub>O à l'échelle de la parcelle, en système de prairies fauchées. Elle a cherchée à quantifier les émissions en lien avec le type de fertilisation azotée. L'essai s'est positionné sur le dispositif expérimental de la ferme de la SICALAIT, de l'UMR SELMET, à la Plaine des Cafres. Le suivi a été réalisé sur quatre types de fertilisation : un témoin non fertilisé (T1), une fertilisation à base d'engrais minéraux (T2), de lisier de bovin (T3) et de compost de bovin (T8). Les émissions de N<sub>2</sub>O ont été mesurées autour des dates de fertilisation. Le suivi a été réalisé sur six mois, durant l'été austral, sur quatre campagnes de fauche.

Les flux de N<sub>2</sub>O mesurés sur les trois campagnes varient entre -10,76 et 187,60  $\mu\text{g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (-9,30 et 162,10  $\text{g N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ ), avec une valeur moyenne de 16,49  $\mu\text{g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (14,24  $\text{g N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ ). On retrouve des valeurs d'émissions comparables à la bibliographie. On observe des émissions très faibles pour le témoin non fertilisé, de l'ordre de 3,08  $\text{g N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ . Les émissions des modalités engrais minéral et compost sont proches et de l'ordre de 12,5  $\text{g N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ . Les émissions sont plus fortes pour la modalité lisier avec 28,6  $\text{g N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ . La dispersion des données étant importante, cela rend difficile la mise en évidence d'effets de traitement. Cela justifie une analyse plus poussée du jeu de données, ainsi que la poursuite du suivi sur une année culturale complète.

Il semble intéressant de continuer à étudier l'impact de la fertilisation (minéral et organique) sur les flux de N<sub>2</sub>O en prairie, à La Réunion, d'autant plus que peu de données sont disponibles pour les sols tropicaux, et que les attentes en la matière sont importantes.

**Auteur :** Maëva MIRALLES-BRUNEAU (CIRAD-UMR SELMET, équipe CIEEL)