



**HAL**  
open science

## Évaluation de la version tropicale du modèle FarmSim

Raphaël Martin, Vincent V. Blanfort, Katja Klumpp

► **To cite this version:**

Raphaël Martin, Vincent V. Blanfort, Katja Klumpp. Évaluation de la version tropicale du modèle FarmSim. [Rapport Technique] Livrable 2.3.2., Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD). 2014. hal-02792608

**HAL Id: hal-02792608**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02792608v1>**

Submitted on 5 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# PROJET EPAD

## EFFICIENCE ENVIRONNEMENTALE ET PRODUCTIONS ANIMALES POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

*Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Agence Nationale de la Recherche portant  
la référence **ANR-09-PSTRA-01***

**Livrable 2.3.2.** Évaluation de la version tropicale du modèle  
FarmSim

**Auteurs :** Raphaël Martin<sup>1</sup>, Vincent Blanfort<sup>2</sup>, Katja Klumpp<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRA, Unité de Recherches sur l'Écosystème Prairial, UR 874, 63039 Clermont-Ferrand Cédex 2

<sup>2</sup> CIRAD, UMR Systèmes d'Élevage en Milieux Méditerranéens et Tropicaux / UMR ECOFOG, BP 701 - 97387 Kourou Cedex – Guyane

Année 2014

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Objectif et description du travail réalisé</b>	<b>3</b>
1.1	Description de FarmSim . . . . .	3
1.2	Site de l'étude : le dispositif CARPAGG en Guyane . . . . .	4
1.3	Résultats synthétiques . . . . .	6
1.4	Utilisation des données dans le cadre du projet EPAD . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Résultats</b>	<b>7</b>
2.1	Paramétrage de PaSim . . . . .	7
2.1.1	Données générales . . . . .	7
2.1.2	Données météo . . . . .	7
2.1.3	Données sol . . . . .	7
2.1.4	Données gestion . . . . .	11
2.2	Résultats . . . . .	12
2.2.1	Échelle parcelle . . . . .	12
2.2.2	Échelle ferme . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Conclusion</b>	<b>15</b>
	<b>Table des figures</b>	<b>18</b>
	<b>Liste des tableaux</b>	<b>19</b>
<b>A</b>	<b>Résultats échelle parcelle</b>	<b>20</b>
A.1	Bergère . . . . .	20
A.2	Mornand . . . . .	23

# Chapitre 1

## Objectif et description du travail réalisé

Ce livrable s'inscrit dans la continuité des livrables « 2.2.3. Tropicalisation du modèle FarmSim » et « 2.3.1. Proposition et évaluation d'une solution de prédiction des émissions de  $CH_4$  en zone tropicale ». L'objectif de cette tâche est de réaliser une première évaluation de la version tropicale du modèle FarmSim. L'évaluation consiste à comparer les principales sorties produites par trois versions du modèle PaSim incluses toutes trois dans le modèle FarmSim avec des données mesurées. Bien que cette validation ait été prévue initialement sur des données d'exploitation de la Réunion, il a été montré dans le livrable 2.2.2 que le modèle PaSim, qui permet de modéliser les parcelles de prairies au sein de FarmSim, ne pouvait fonctionner correctement sur ces situations sans un travail non négligeable qui n'entraîne pas dans les délais du projet. Il a donc été décidé de recourir à d'autres données mesurées en contexte tropical en Guyane dans le cadre du dispositif de recherche CIRAD/INRA « CarPaGG » (Carbone des Pâturages de Guyane et GES) en Guyane.

### 1.1 Description de FarmSim

FarmSim est un modèle d'exploitation agricole qui a été développé au sein de l'INRA dans le cadre du projet GREENGRASS (2002-2004). Depuis, il a subi plusieurs modifications comme c'est le cas, par exemple, du portage du modèle, du Visual Basic au Java (en 2007). Il permet de modéliser une ferme dans son intégralité ainsi que ses flux de GES. Pour cela, il se base sur deux autres modèles : PaSim et CERES, ainsi que sur la méthodologie IPCC.

Les améliorations explicitées dans le livrable 2.2.3 ont permis d'intégrer aisément au sein de FarmSim trois versions distinctes du modèle PaSim :

- PaSim standard (milieu tempéré)
- PaSim végétation tropicalisé (livrable 2.2.2)
- PaSim végétation et équation  $CH_4$  tropicalisé (livrables 2.2.2 et 2.3.1)

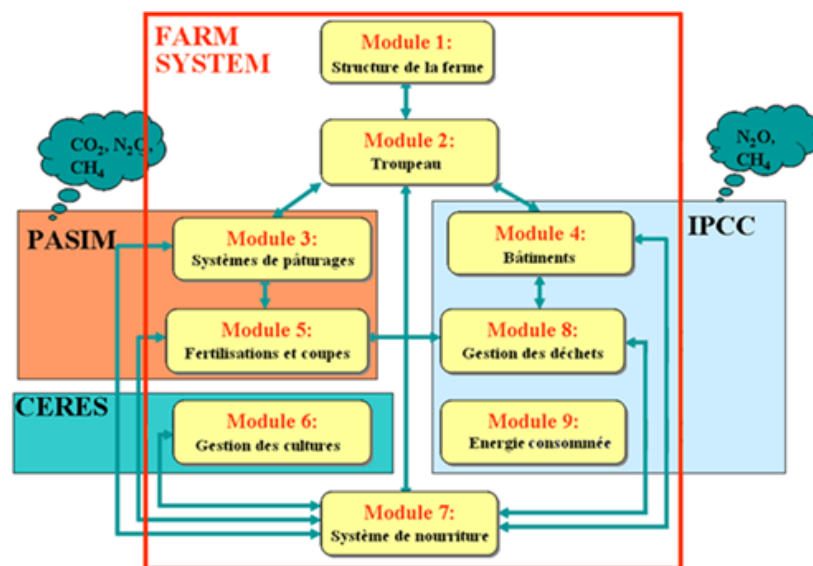


FIGURE 1.1 – Représentation de la structure de FarmSim

## 1.2 Site de l'étude : le dispositif CARPAGG en Guyane

Le dispositif de recherche « CarPaGG » (Carbone des Pâturages de Guyane et GES) mis en place en 2010 repose sur un ensemble de dispositifs de mesures et d'observation sur les flux et stocks de carbone dans des systèmes herbagers issues de déforestation. Son originalité repose sur la comparaison à des sites forestiers voisins (témoins) dont certains sont des sites de recherches instrumentés (Guyaflux, réseau Guyafor, dispositif de Paracou). L'ensemble constitue une plateforme originale de recherche visant à produire des connaissances sur les bilans C et GES en forêt et en zones issues de déforestation. Il s'appuie sur un partenariat diversifié avec des équipes de recherche de Guyane (CIRAD / INRA / UMR ECOFOG), de métropole (INRA UREP Clermont-Ferrand Unité de Recherche sur l'Ecosystème Prairial), des Antilles (INRA Unité de Recherche Zootechnique) et des acteurs locaux.

Au delà de l'effet indéniable de la déforestation et du changement du mode d'occupation des sols sur les pertes de carbone, les travaux de recherche visent à comprendre les mécanismes biologiques et les pratiques des éleveurs impliquées dans le maintien / la reconstitution des stocks de C après déforestation et mise en place de pâturages. La prise en compte de ces processus et leur caractérisation constitue un point clé de la réalisation de bilans de carbone dans les systèmes herbagers de Guyane.

**Les flux de  $CO_2$  entre les prairies et l'atmosphère sont mesurés depuis 2010** par des « tours à flux » installées dans 2 prairies pâturées (en comparaison d'un dispositif similaire voisin en forêt). Ces parcelles sont situées dans deux exploitations d'élevage typiques des systèmes herbagers bovins du littoral guyanais. De type semi-extensif (faible utilisation d'intrants), ils sont en grande partie issus de déforestation avec mise en place de prairies implantées



FIGURE 1.2 – Pâturage issu de déforestation

avec la graminée fourragère dominante *Brachiaria humidicola*. Les mesures y sont effectuées en continu (20 mesures par seconde) par la méthode des corrélations turbulentes ([Aubinet et al., 2012]; [Blanfort and Stahl, 2013]). Les deux sites sont équipés d'une station météorologique automatique. L'ensemble permet de quantifier la capacité de stockage en carbone des prairies issues de déforestation sur différents pas de temps.

**L'inventaire des stocks de C organique des sols** des deux sites prairies de référence a été réalisé lors d'une campagne de prélèvement de sol dans les 2 sites prairies ainsi que sur le site témoin en forêt. Un dispositif expérimental constitué de 5 blocs a été constitué dans les zones d'empreinte des 3 tours à flux. Au total 217 prélèvements de sol et de racines y ont été prélevés par carottage sur 3 horizons de profondeur (0-20; 20-50; 50-100 cm). Sur chaque échantillon de terre, les 3 compartiments du sol ont été séparés : terre fine ( $\varnothing < 2\text{mm}$ , matières organiques particulières (MOP  $< 200\mu\text{m}$ ) et racines sur lesquelles sont analysées les teneurs en C et en N (azote). La teneur en C de terre fine rapporté à la densité apparente permet de calculer un stock de C pour chaque horizon afin d'obtenir un stock de C par hectare sur 1m de profondeur.

**Les entrées et les pertes de carbone dans le sol** des prairies passent par la végétation et les racines qui font l'objet d'un suivi mensuel depuis 2010 dans la zone d'empreinte de la tour à flux de chacun des 2 sites prairies. La croissance de la végétation a été quantifiée par la pesée de prélèvements mensuels de fourrages dans des cages de mises en défens. La mesure de la biomasse non pâturée (sous cage de mise en défens est équivalente à la productivité de la végétation en place, elle renseigne directement sur le potentiel productif du site, sans l'effet du pâturage). La croissance racinaire est étudiée par un dispositif "ingrowth cores" consistant à faire des prélèvements de carotte de sol tous les 30 jours. Les pertes de nutriments et de carbone du sol sont mesurées dans la solution du sol. Des prélèvements de la solution du sol ont réalisés à 60 cm de profondeur (bougies poreuses) en saison des pluies depuis 2010. Ils ont pour

objectif de quantifier les pertes en carbone (Carbone Organique Dissout), en Azote (nitrate) et en Phosphore non utilisables par les végétaux. Une sélection d'échantillons est analysée à l'Institut Pasteur de Cayenne.

Afin de contribuer à l'établissement de bilan GES dans le contexte guyanais, **les émissions de  $CH_4$  entérique ont été estimées** par des méthodes indirectes basées sur l'analyse de la composition des fèces des bovins ([Boval et al., 2004] ; [Sauvant et al., 2011]). **Les flux d'oxyde nitreux ont été mesurés** par des analyseurs de gaz en chambres statiques sur les sites tour à flux ([Blanfort and Stahl, 2013]). Pour prendre en compte l'effet de la gestion du système agricole sur ces processus, les pratiques d'exploitation sont enregistrées sur les prairies où sont effectuées ces différentes mesures réalisées in situ dans des fermes d'élevages bovins.

### 1.3 Résultats synthétiques

Les mesures de flux de  $CO_2$  pour 2011-2012 atteignent  $1.8 \pm 0.5 t[C].ha^{-1}.an^{-1}$  pour une prairie de 33 ans. En revanche, la prairie jeune (5 ans) montre un bilan nul avec  $-0.43 \pm 0.63 t[C].ha^{-1}.an^{-1}$ . Les résultats d'estimations de méthane sur nos sites ont conduit à des productions journalières comprises entre 0,3 et 0,4 g de  $CH_4$  par kilogramme de poids vif suivant les différents modèles de prédiction, soit 40 à 58 kg  $CH_4$  par an pour des bovins allaitants (poids moyen de 400 kg). Le flux moyen d'oxyde nitreux ( $N_2O$ ) observé sur notre site ( $4.4 g[N - N_2O].ha^{-1}.jour^{-1}$ ) est comparable à la bibliographie avec des conditions similaires de pâturage extensif. Il reste faible vis-à-vis de systèmes herbagers intensifs plus utilisateurs d'engrais azotés.

Pour les années 2011-2012, en intégrant les 3 GES ( $CO_2, N_2O$  et  $CH_4$ ), la prairie ancienne avec un faible chargement instantané moyen annuel de 1.3 UGB s'avère être un puits de carbone entre de  $-1.2 \pm 0.5 t[C].ha^{-1}.an^{-1}$ . Durant cette même période, la prairie jeune avec un fort chargement instantané moyen annuel de 3.5 UGB est une source de carbone de  $0.9 \pm 0.5 t[C].ha^{-1}.an^{-1}$ . Cette première estimation relève encore d'un cadre exploratoire demande de plus à être confortée par d'autres mesures et traitements sur les flux de  $CO_2$  et par une meilleure appréciation des incertitudes.

### 1.4 Utilisation des données dans le cadre du projet EPAD

Dans le cadre du partenariat entre le dispositif CARPAGG et le projet EPAD, ces données ont été utilisées pour réaliser une première phase de test visant à confronter les prédictions des modèles PaSim/FarmSim (en l'état) avec les références terrains obtenues en Guyane afin d'initier une démarche de validation.

## Chapitre 2

# Résultats

### 2.1 Paramétrage de PaSim

#### 2.1.1 Données générales

Latitude N	0.0738 rad
Pente	0 rad
Exposition	0 rad
Altitude	20 m a.s.l.
Fraction de légumineuse	0.051

TABLE 2.1 – Données générales des sites de Bergère et Mornand

#### 2.1.2 Données météo

<i>Type de donnée</i>	<i>Moyenne annuelle</i>	<i>Ecart type journalier</i>	<i>Ecart type annuel</i>
<b>Température minimum</b> ( $^{\circ}C$ )	23.2	1.12	0.62
<b>Température maximum</b> ( $^{\circ}C$ )	28.35	1.37	0.76
<b>Pluviométrie</b> ( $mm.d^{-1}$ )	8.6	16.55	0.85
<b>Rayonnement</b> ( $J.cm^{-2}.d^{-1}$ )	1636	457	88
<b>Vitesse du vent</b> ( $m.s^{-1}$ )	1.59	0.49	0.05
<b>Humidité relative</b> (%)	86.46	5.13	0.95
$CO_2$ (ppm)	360	0	0
$NH_3$ (ppm)	1.1	0	0

TABLE 2.2 – Données météo pour le site de Bergère

#### 2.1.3 Données sol



<i>Données météo pour le site de Bergère</i>			
<i>Type de donnée</i>	<i>Moyenne annuelle</i>	<i>Ecart type journalier</i>	<i>Ecart type annuel</i>
<b>Température minimum</b> ( $^{\circ}C$ )	23.1	0.68	0.03
<b>Température maximum</b> ( $^{\circ}C$ )	28.23	0.83	0.03
<b>Pluviométrie</b> ( $mm.d^{-1}$ )	8.72	15.87	0.43
<b>Rayonnement</b> ( $J.cm^{-2}.d^{-1}$ )	1559	495.6	83.31
<b>Vitesse du vent</b> ( $m.s^{-1}$ )	1.94	0.7	0.09
<b>Humidité relative</b> (%)	83.97	4.02	1.13
$CO_2$ (ppm)	360	0	0
$NH_3$ (ppm)	1.1	0	0

TABLE 2.3 – Données météo pour le site de Mornand

<i>Données sol du site Bergère</i>									
Profondeur d'enracinement (m)	0.3								
pH du sol (sans unité)	6.8								
Profondeur de la couche limite du sol (mm)	450								
Profondeur des couches (mm)	20	40	60	100	200	300			
Densité apparente ( $kg.L^{-1}$ )	1.5	1.52	1.53	1.53	1.54	1.54			
Fraction de sable (sans unité)	79.4	77.4	71.4	68.4	61.7	59.5			
Fraction d'argile (sans unité)	15.6	18.1	25.2	29.2	34.7	36.6			
Fraction de limon (sans unité)	5	4.5	3.4	2.4	3.6	3.9			
Teneur en eau à saturation ( $m^3.m^{-3}$ )	0.433	0.427	0.421	0.42	0.426	0.429			
Capacité au champs ( $m^3.m^{-3}$ )	0.176	0.197	0.249	0.254	0.316	0.33			
Point de flétrissement ( $m^3.m^{-3}$ )	0.109	0.126	0.166	0.166	0.217	0.228			
Entrée d'air potentiel (mm)	-94.8	-102	-128	-145	-179	-192			
Entrée d'air potentiel de la couche limite (mm)	-192								
Paramètre b (-)	4.46	4.98	6.57	7.49	8.8	9.22			
Paramètre b de la couche limite (-)	9.22								
Conductivité hydraulique à saturation ( $mm.d^{-1}$ )	929.76	670.56	284.16	163.2	77.04	55.68			
Conductivité hydraulique à saturation de la couche limite ( $mm.d^{-1}$ )	55.68								
Fraction de matière sèche issue des racines dans chaque couche (-)	0.226	0.222	0.195	0.158	0.125	0.074			

TABLE 2.4 – Données sol du site Bergère

<i>Données sol du site Mornand</i>									
Profondeur d'enracinement (m)	0.3								
pH du sol (sans unité)	6.8								
Profondeur de la couche limite du sol (mm)	450								
Profondeur des couches (mm)	20	40	60	100	200	300			
Densité apparente ( $kg.L^{-1}$ )	1.5	1.51	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52
Fraction de sable (sans unité)	79	76	72.5	69	61	58			
Fraction d'argile (sans unité)	15	17	20	23	30	32			
Fraction de limon (sans unité)	6	7	7.5	8	9	10			
Teneur en eau à saturation ( $m^3.m^{-3}$ )	0.433	0.43	0.428	0.426	0.429	0.456			
Capacité au champs ( $m^3.m^{-3}$ )	0.176	0.193	0.218	0.241	0.293	0.309			
Point de flétrissement ( $m^3.m^{-3}$ )	0.109	0.121	0.138	0.155	0.194	0.205			
Entrée d'air potentiel (mm)	-94.5	-103.0	-116.0	-129.0	-168.0	-183.0			
Entrée d'air potentiel de la couche limite (mm)	-183								
Paramètre b (-)	4.38	4.87	5.58	6.27	7.89	8.35			
Paramètre b de la couche limite (-)	8.35								
Conductivité hydraulique à saturation ( $mm.d^{-1}$ )	929.76	735.6	515.52	359.04	143.52	109.44			
Conductivité hydraulique à saturation de la couche limite ( $mm.d^{-1}$ )	109.44								
Fraction de matière sèche issue des racines dans chaque couche (-)	0.226	0.222	0.195	0.158	0.125	0.074			

TABLE 2.5 – Données sol du site Mornand

### 2.1.4 Données gestion

Il n'y a pas de fauche ni de fertilisation. Voici la gestion du troupeau plus en détail :

<i>Gestion du troupeau sur Bergère</i>			
Année	Jour	Durée	Chargement ( $LSU.m^{-2}$ )
1	11	38	0.0005
1	74	35	0.0005
1	137	29	0.0005
1	206	16	0.0005
1	248	43	0.0005
1	352	30	0.00038
2	65	30	0.00038
2	143	30	0.00038
2	215	30	0.00038
2	315	30	0.00038
3	10	30	0.00038
3	74	30	0.00038
3	161	30	0.00038
3	191	30	0.00038

TABLE 2.6 – Gestion du troupeau sur Bergère

<i>Gestion du troupeau sur Mornand</i>			
Année	Jour	Durée	Chargement ( $LSU.m^{-2}$ )
1	14	7	0.001333
1	59	22	0.001333
1	110	20	0.001333
1	162	31	0.001333
1	232	21	0.001333
1	321	20	0.001333
2	25	13	0.0015
2	76	10	0.0015
2	142	11	0.0015
2	209	28	0.0015
2	244	15	0.0015
2	275	19	0.0015
2	315	15	0.0015
3	20	12	0.001
3	38	21	0.001
3	74	78	0.001
3	163	28	0.001
3	211	21	0.001

TABLE 2.7 – Gestion du troupeau sur Mornand

## 2.2 Résultats

### 2.2.1 Échelle parcelle

Les graphiques présentés ici montrent l'évolution de la GPP ainsi que de l'émission du méthane par les animaux simulé sur les deux sites. Ils sont exprimés en  $kgC.m^{-2}$ . En abscisse sont exprimés en jour les 3 années sur lesquelles nous disposons des données. Sur chaque figure, trois courbes sont représentées :

- *standard* qui représente FarmSim sans les équations de photosynthèses ni les nouvelles équations d'émission de méthane en condition tropicale.
- *sans CH<sub>4</sub>* qui représente FarmSim avec les équations de photosynthèses mais sans les nouvelles équations d'émission de méthane.
- *avec CH<sub>4</sub>* qui représente FarmSim avec les équations de photosynthèses et les nouvelles équations d'émission de méthane en condition tropicale.

Le reste des résultats sont présentés dans les annexes.

#### Bergère

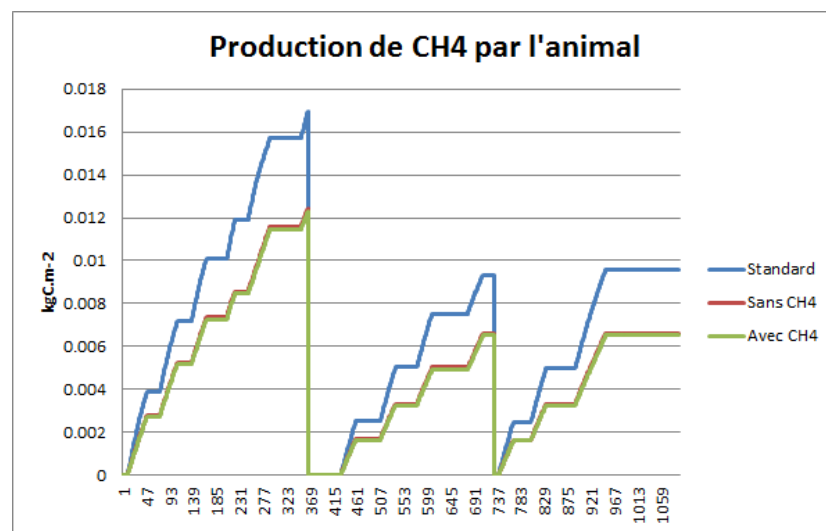


FIGURE 2.1 – Production de CH<sub>4</sub> par l'animal sur le site de Bergère

#### Mornand

### 2.2.2 Échelle ferme

Les résultats suivants ont été produits avec les trois versions de FarmSim. Chaque figure contient de gauche à droite les résultats *standard*, *sans CH<sub>4</sub>* et *avec CH<sub>4</sub>*.

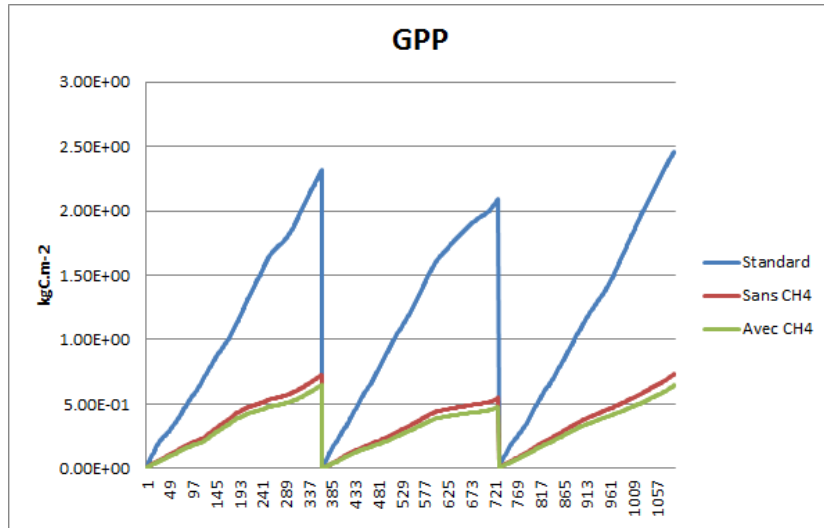


FIGURE 2.2 – Production primaire brute (GPP) sur le site de Bergère

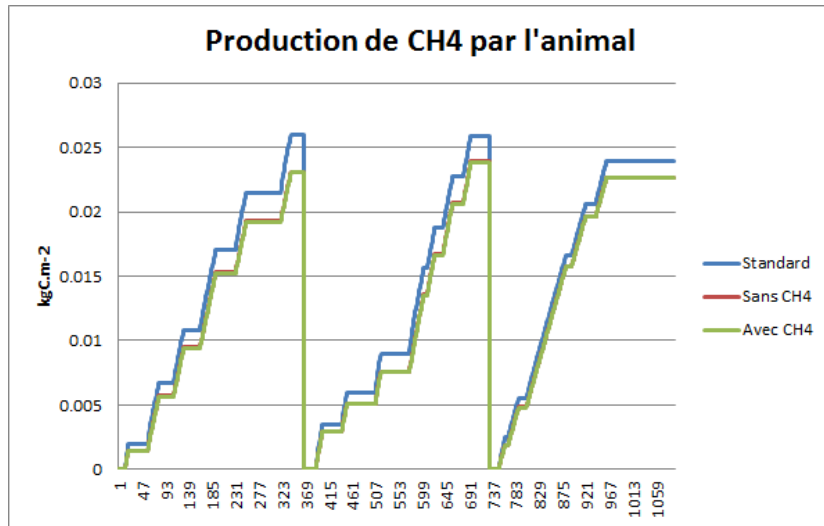


FIGURE 2.3 – Production de CH4 par l'animal sur le site de Mornand

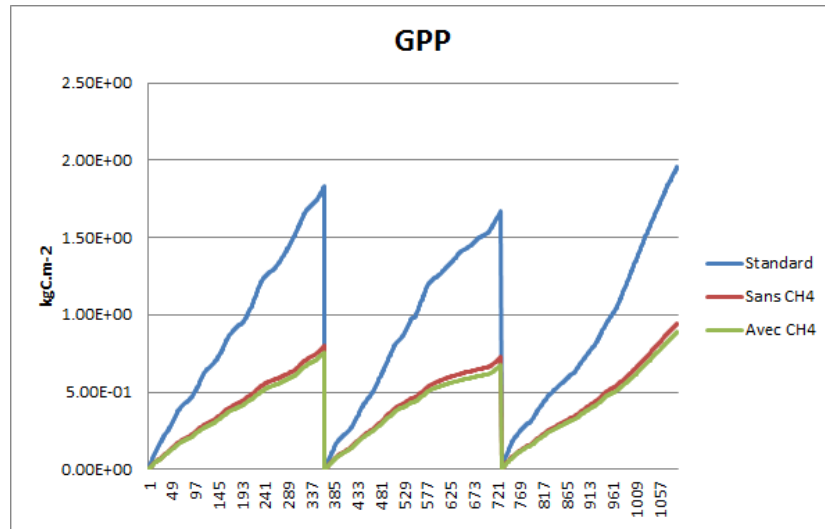


FIGURE 2.4 – Production primaire brute (GPP) sur le site de Mornand

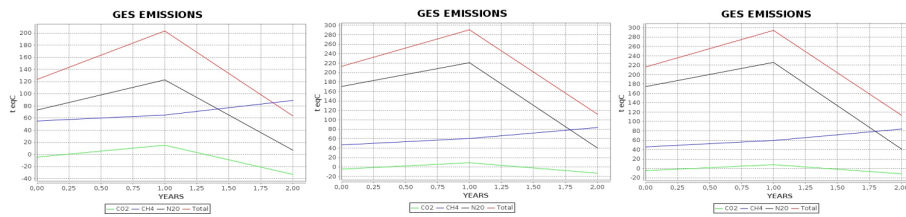


FIGURE 2.5 – Bilan GES sur les 3 ans pour les trois versions du modèle pour le site Bergère

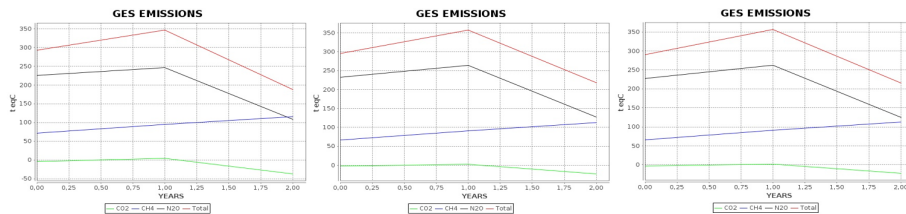


FIGURE 2.6 – Bilan GES sur les 3 ans pour les trois versions du modèle pour le site Mornand

## Chapitre 3

# Conclusion

Force est de constater qu'à l'heure actuelle, PaSim tropicalisé (et par voie de fait FarmSim tropical) n'est pas capable de simuler correctement un couvert végétal en condition climatique tropicale. Comme explicité dans le livrable 2.2.2, la version tropicale actuelle de PaSim tend à simuler une respiration aussi grande, voire supérieure, à la photosynthèse notamment du fait d'un paramétrage du sol inadapté à la texture sableuse dominante. Il sera donc nécessaire d'adapter le paramétrage du sol de PaSim à ces conditions afin de réaliser les vérifications. Cela n'a pu être fait dans le cadre du projet EPAD mais les liens établis avec d'autres projets en zone tropicale vont permettre de compléter les résultats obtenus conformément aux objectifs de la tâche 2.2.2 « Parameterisation and test of PASIM on data of tropical pastures » qui fait l'objet de ce livrable.

L'idée était d'initier une adaptation aux conditions tropicales de modèles d'estimation de l'émission de GES et de flux-stock de C et N. Les travaux réalisés sur les modèles PaSim et FarmSim dans le cadre du projet EPAD ont permis de réaliser une étude poussée visant à définir les équations de photosynthèse et d'émissions de méthane par les animaux dans de telles conditions. Ces études ont permis d'intégrer au sein de PaSim ces mécanismes et permettre ainsi le passage à une seconde étape du travail : la vérification et la paramétrisation du modèle.

La démarche va désormais se poursuivre en 2015 dans le cadre du dispositif de recherche CIRAD/INRA « CarPaGG » (Carbone des Pâturages de Guyane et GES) en Guyane. Une étude va être réalisée à partir de mars 2015. Elle permettra de tester les versions en cours de reparamétrage des modèles PaSim et FarmSim issues des travaux réalisés dans le cadre du projet EPAD. Cette étude, co-réalisée par le CIRAD SELMET et l'INRA UREP, pourra s'appuyer sur les données du dispositif CarPaGG, mais sur une période plus complète couvrant 4 années. La comparaison détaillée des bilans C simulés aux bilans C mesurés sur les sites tours à flux Carpagg permettra de valider/faire évoluer la paramétrisation tropicale du modèle PaSim et conséquemment celle de FarmSim.

Par ailleurs, le dispositif CarPaGG est désormais intégré à l'Observatoire du Carbone et des GES de Guyane en charge depuis 2014 d'établir des bilans territoriaux et sectoriels en Guyane intégrant en particulier la gestion des forêts, le développement agricole et l'aménagement du territoire qui constituent a priori des secteurs significatifs de ces bilans. . Les résultats participeront à



alimenter l'Observatoire du Carbone et GES de Guyane (<http://www.oredd-guyane.fr/mission-carbone-et-climat>).

# Bibliographie

- [Aubinet et al., 2012] Aubinet, M., Vesala, T., and Papale, D. (2012). *Eddy Covariance : a practical guide to measurement and data analysis*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- [Blanfort and Stahl, 2013] Blanfort, V. and Stahl, C. (2013). No Title. In *Le carbone en forêt et en prairies issues de déforestation en Guyane, processus, bilans et perspectives*, page 76, Cayenne.
- [Boval et al., 2004] Boval, M., Coates, D., Lecomte, P., Decruyenaere, V., and Archimède, H. (2004). Faecal near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to assess chemical composition, in vivo digestibility and intake of tropical grass by Creole cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 114(1-4) :19–29.
- [Sauvant et al., 2011] Sauvant, D., Giger-Reverdin, S., Serment, A., and Broudiscou, L. (2011). Influences des régimes et de leur fermentation dans le rumen sur la production de méthane par les ruminants. *INRA Production Animale*, 24(5) :433–446.

# Table des figures

1.1	Représentation de la structure de FarmSim . . . . .	4
1.2	Pâturage issu de déforestation . . . . .	5
2.1	Production de CH <sub>4</sub> par l'animal sur le site de Bergère . . . . .	12
2.2	Production primaire brute (GPP) sur le site de Bergère . . . . .	13
2.3	Production de CH <sub>4</sub> par l'animal sur le site de Mornand . . . . .	13
2.4	Production primaire brute (GPP) sur le site de Mornand . . . . .	14
2.5	Bilan GES sur les 3 ans pour les trois versions du modèle pour le site Bergère . . . . .	14
2.6	Bilan GES sur les 3 ans pour les trois versions du modèle pour le site Mornand . . . . .	14
A.1	Émission de N <sub>2</sub> O sur le site de Bergère . . . . .	20
A.2	Émission de NH <sub>3</sub> via volatilisation sur le site de Bergère . . . . .	21
A.3	Respiration animale sur le site de Bergère . . . . .	21
A.4	Respiration du couvert végétal sur le site de Bergère . . . . .	22
A.5	Respiration du sol sur le site de Bergère . . . . .	22
A.6	Émission de N <sub>2</sub> O sur le site de Mornand . . . . .	23
A.7	Émission de NH <sub>3</sub> via volatilisation sur le site de Mornand . . . . .	23
A.8	Respiration animale sur le site de Mornand . . . . .	24
A.9	Respiration du couvert végétal sur le site de Mornand . . . . .	24
A.10	Respiration du sol sur le site de Mornand . . . . .	25

# Liste des tableaux

2.1	Données générales des sites de Bergère et Mornand . . . . .	7
2.2	Données météo pour le site de Bergère . . . . .	7
2.3	Données météo pour le site de Mornand . . . . .	8
2.4	Données sol du site Bergère . . . . .	9
2.5	Données sol du site Mornand . . . . .	10
2.6	Gestion du troupeau sur Bergère . . . . .	11
2.7	Gestion du troupeau sur Mornand . . . . .	11

# Annexe A

## Résultats échelle parcelle

### A.1 Bergère

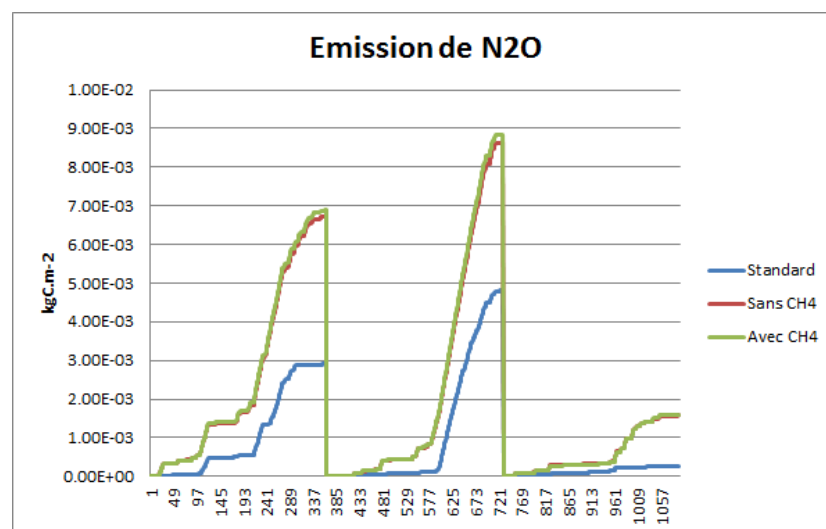


FIGURE A.1 – Émission de N<sub>2</sub>O sur le site de Bergère

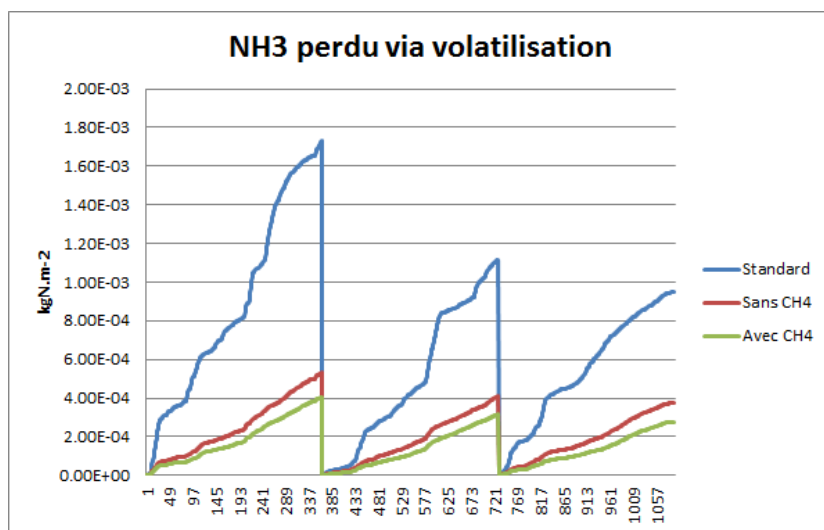


FIGURE A.2 – Émission de  $NH_3$  via volatilisation sur le site de Bergère

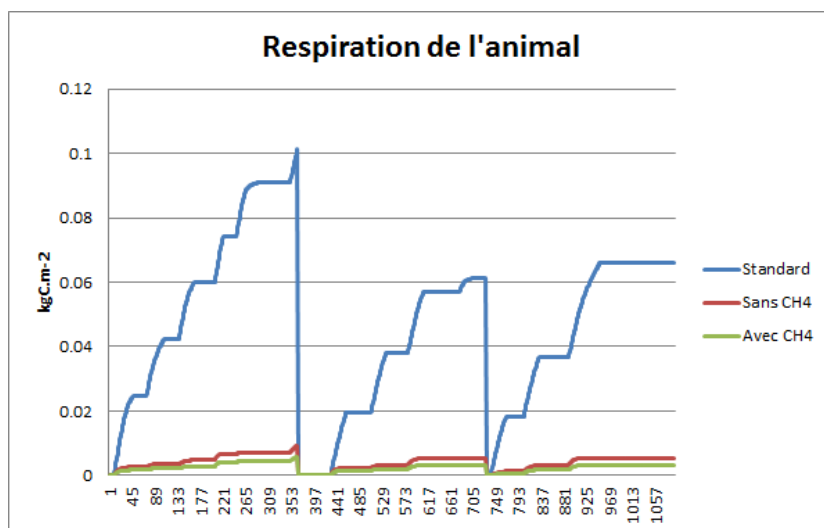


FIGURE A.3 – Respiration animale sur le site de Bergère

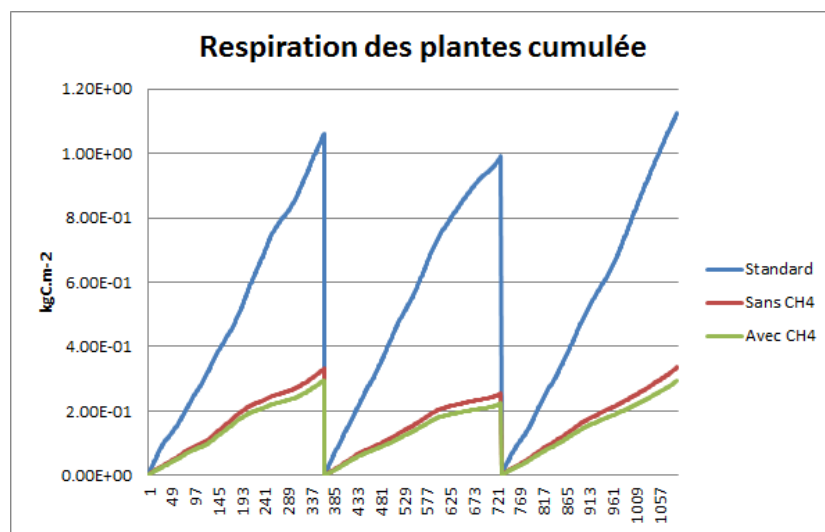


FIGURE A.4 – Respiration du couvert végétal sur le site de Bergère

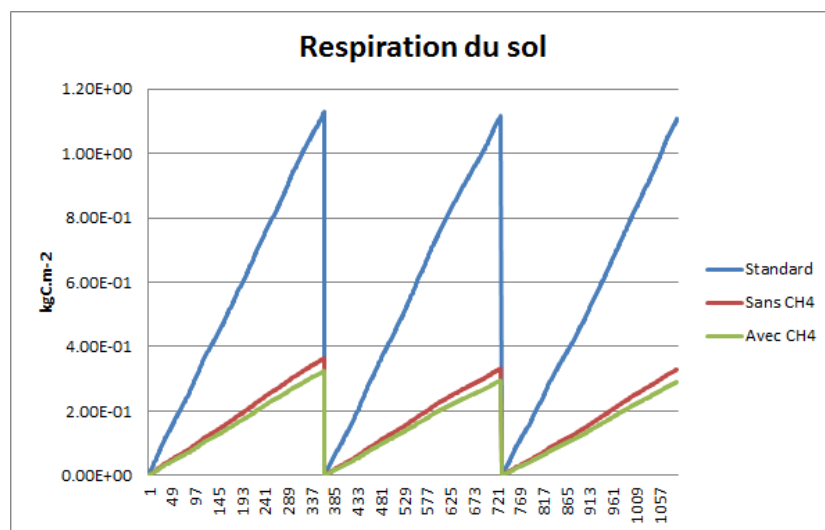


FIGURE A.5 – Respiration du sol sur le site de Bergère

## A.2 Mornand

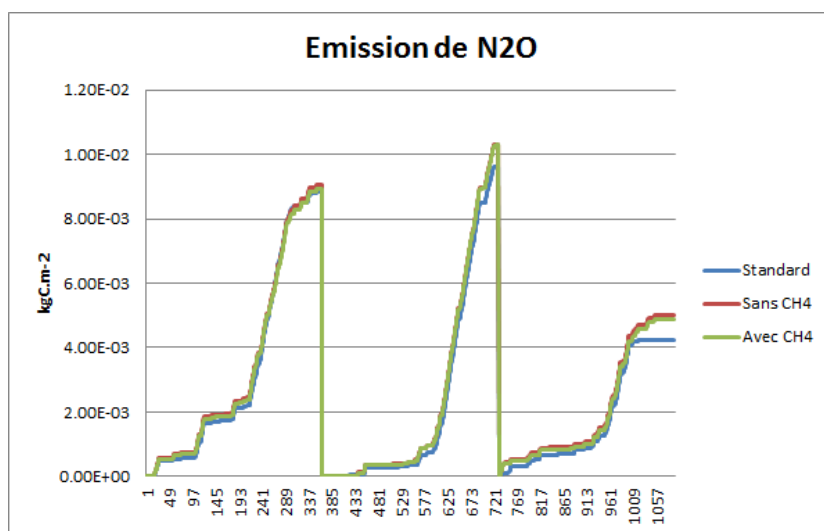


FIGURE A.6 – Émission de  $N_2O$  sur le site de Mornand

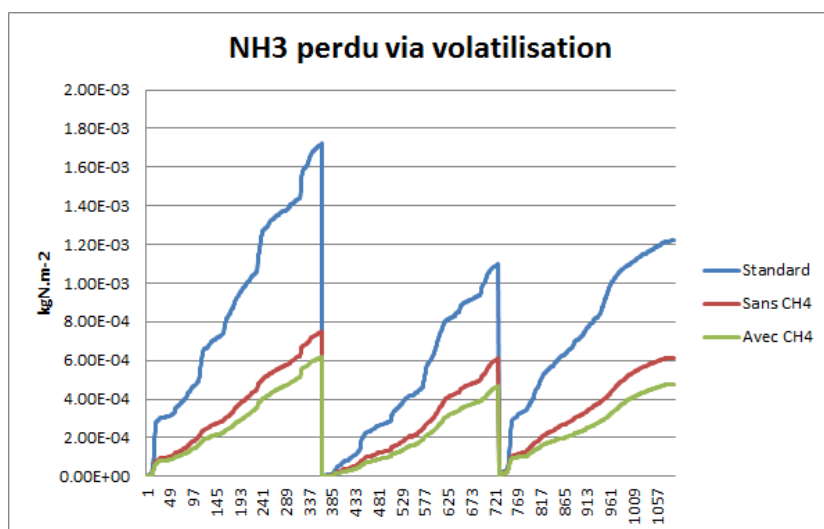


FIGURE A.7 – Émission de  $NH_3$  via volatilisation sur le site de Mornand



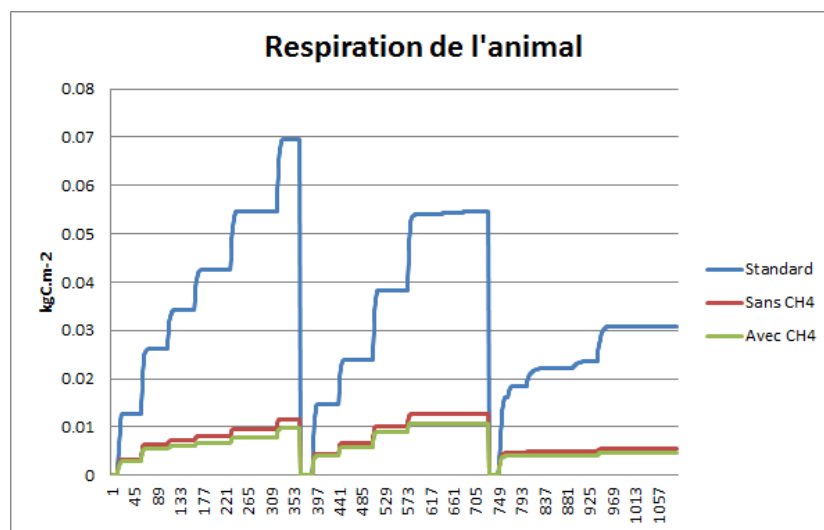


FIGURE A.8 – Respiration animale sur le site de Mornand

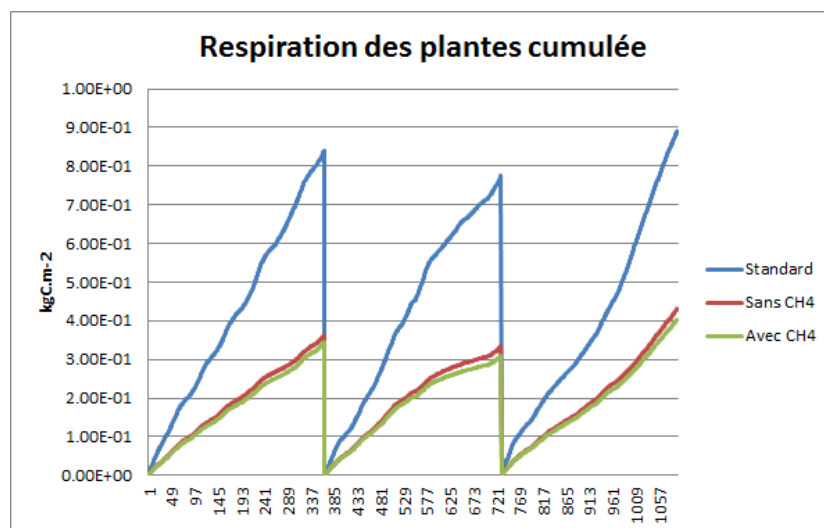


FIGURE A.9 – Respiration du couvert végétal sur le site de Mornand

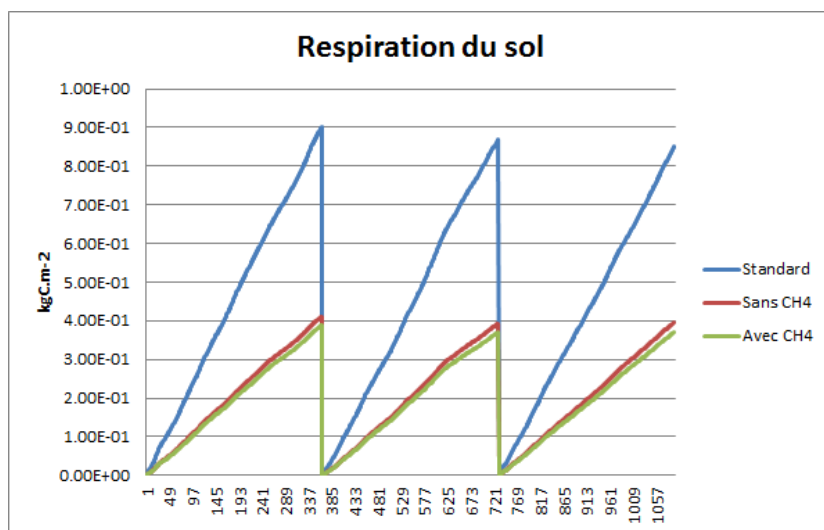


FIGURE A.10 – Respiration du sol sur le site de Mornand