



HAL
open science

**Efficiencia ambiental de l'elevebo bovino en
Amazonia brasileña: construcción de l'outil de bilan
energético y de emisiones de gas a efecto de serro “
ACCT-Pará ”**

Margot Moniot

► **To cite this version:**

Margot Moniot. Efficiencia ambiental de l'elevebo bovino en Amazonia brasileña: construcción de l'outil de bilan energético y de emisiones de gas a efecto de serro “ ACCT-Pará ”. Agronomía. 2021. dumas-04552220

HAL Id: dumas-04552220

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04552220>

Submitted on 3 May 2024

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.



Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome

Option : Systèmes d'élevage



Efficiéce environnementale de l'élevage bovin en Amazonie brésilienne

Construction de l'outil de bilan énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre « ACCT-Pará »



Margot Moniot

Année de soutenance : 2021

Mémoire préparé sous la direction de Claire Aubron, tutrice SupAgro

Présenté le 13/09/2021

Devant le jury Mathieu Vigne (CIRAD), Vincent Blanfort (CIRAD), René Pocard-Chapuis (CIRAD), Claire Aubron (SupAgro) et Jean-Baptiste Menassol (SupAgro)

Organisme d'accueil : CIRAD

Maîtres de stage : Vincent Blanfort, René Pocard-Chapuis

RESUME

Ce stage a eu pour objectif de mettre au point un outil de mesure de l'impact environnemental de l'élevage bovin d'Amazonie brésilienne et de le tester sur un échantillon d'exploitations. C'est l'outil créé par l'association SOLAGRO, « ACCT-DOM » qui a été utilisé et adapté au contexte de l'Amazonie brésilienne. Il se présente sous forme d'un tableur Excel en libre accès et donc modifiable. Il a été certifié par l'ADEME, utilisé lors d'un grand projet européen réunissant 4 pays et dans les DOM Français dont la Guyane dernièrement. L'adaptation au contexte de l'Amazonie brésilienne, et spécifiquement à l'élevage bovin de Paragominas dans l'état du Pará, a mené à un certain nombre de changements de l'outil de base et de la méthode de diagnostic. Les principales adaptations ont porté sur la digestibilité des fourrages pour les émissions de méthane entérique, les stocks de carbone pour les émissions liées à la déforestation, les intrants, matériels et bâtiments spécifiquement utilisés dans notre contexte. L'outil adapté rebaptisé « ACCT-Pará » a été utilisé sur 20 exploitations de Paragominas représentant la diversité des élevages bovins de l'Amazonie brésilienne. Les résultats ont été exprimés avec et sans les émissions liées à la déforestation, amorties sur 20 ans. Selon ACCT-Pará, les exploitations de l'échantillon ont un bilan énergétique positif de 772 GJ/an et d'émissions de -740 t eqCO₂ (sans les émissions liées à la déforestation) en moyenne. Autrement dit, elles fabriquent plus d'énergie via la viande ou le lait qu'elles n'en consomment au travers des énergies fossiles. Ce différentiel provient de l'énergie solaire mobilisé dans les fourrages. Aussi, leur système est capable de stocker du carbone, ce qui compense leurs émissions de CO₂. Ce statut de « puit de carbone » ne pourra s'exprimer que lorsqu'elles auront remboursé leurs émissions dues à la déforestation, amortissable pendant 20 ans.

(Mots clés : Elevage bovin en Amazonie, bilan énergétique, bilan d'émissions de gaz à effet de serre, déforestation, stockage carbone)

AVIS AU LECTEUR

Ce stage s'inscrit dans le projet Terramaz coordonné par le CIRAD en partenariat avec AVSF qui vise à l'étude des moyens de lutte contre la déforestation et à la transition vers des modes durables de développement sur 5 territoires pilotes de la région amazonienne : Paragominas et Cotriguaçu au Brésil, Guaviare en Colombie, le parc Yasuni en Equateur et Madre De Dios au Pérou. Mon stage marque le lancement du projet qui s'étalera sur une durée de 4 ans.

La première partie s'est déroulée en France au sein de l'UMR Selmet au CIRAD Montpellier. C'est pendant cette période de trois mois que l'outil « ACCT-DOM » a été adapté au contexte de l'Amazonie brésilienne pour devenir « ACCT-Pará ». Un départ à Paragominas dans l'état du Pará a pu être organisé fin juin afin de tester et d'utiliser le nouvel outil. J'ai été accueillie dans les locaux de l'Embrapa Amazonie Oriental. Les entretiens avec les éleveurs se sont déroulés sur les mois de juillet et d'août, pour un retour en France à la mi-septembre.



ACCT-DOM est un outil relativement complexe. Un effort a été fait pour guider le lecteur dans la compréhension de son fonctionnement et des enjeux liés à son adaptation au contexte local.

Une attention particulière doit être apportée sur la différence entre « **stock de carbone** », qui représente une quantité exprimée en tC/ha, et « **stockage de carbone** », qui représente un flux exprimé en tC/ha/an. Aussi, il faudra prêter attention à la différence entre **stock de biomasse**, exprimé en tonne de matière sèche la plupart du temps, et **stock de carbone**. Par défaut, la fraction de carbone de la matière sèche est fixée à 0,5 tC/tMS (GIEC, 2006). C'est le facteur utilisé pour passer de l'un à l'autre. Enfin, le passage d'une **quantité de CO₂** à une **quantité de carbone** se fait grâce au rapport massique moléculaire du CO₂ par rapport au carbone qui est de 44/12.

Afin de simplifier le traitement des données, les exploitations n'ont pas encore été anonymisées. Elles le seront par la suite. En attendant, merci de ne pas diffuser ce rapport.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie tous les éleveurs qui ont bien voulu participer aux entretiens. Outre l'aspect professionnel, merci pour leur gentillesse et leur sens de l'accueil, qui ont rendu mon expérience sur le terrain encore plus agréable.

Je remercie mes deux maîtres de stage pour m'avoir donné l'opportunité de vivre une expérience comme celle-ci.

Je remercie Jair, mon chauffeur, professeur de portugais, d'agronomie et d'élevage, de sciences politiques, et ami. Sans lui, les trajets auraient paru plus longs. Merci à Amanda également, étudiante en zootechnie, qui nous a parfois accompagné sur le terrain et avec qui nous avons fait un très bon trio.

Merci à Juliana, simple collègue de travail devenue une grande amie.

A Bastien Dallaporta, ancien stagiaire du CIRAD ayant travaillé sur ACCT-DOM et qui m'a aidé à en comprendre certains aspects. Également à Jean-Luc Bochu de Solagro, qui a contribué à l'adaptation de l'outil en Europe et dans les DOM, pour le temps accordé.

Enfin, je voudrais remercier toutes les personnes avec qui j'ai pu débattre parfois ardemment. Elles ont largement contribué à mes réflexions sur les valeurs de l'élevage que je voulais défendre, autant dans ma vie professionnelle que personnelle.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	3
LISTE DES ILLUSTRATIONS.....	4
LISTE DES ABBREVIATIONS.....	6
I - Contexte et problématique	8
1) Emissions de gaz à effet de serre du Brésil	8
2) L'élevage bovin à Paragominas.....	9
3) Problématiques et objectifs de l'étude.....	11
II - Matériel et méthode.....	13
1) Outils de bilan énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre à l'origine d'ACCT-DOM	13
2) Fonctionnement de l'outil ACCT-DOM et de la méthode de diagnostic	13
3) Adaptation de l'outil et de la méthode au contexte de Paragominas	21
4) Mise en pratique de l'outil dans les exploitations	22
5) Analyse des résultats	23
III – Résultats 1 : adaptation de l'outil et de la méthode au contexte de Paragominas	24
1) Emissions de méthane entérique.....	24
2) Emissions liées à la déforestation.....	25
3) Amortissement des pratiques.....	26
4) Période d'inventaire.....	28
5) Stockage de carbone dans les forêts	28
6) Autres adaptations	29
7) Evolution de l'outil.....	33
8) Saisies des données dans ACCT-Pará	33
IV – Résultats 2 : efficacité environnementale des exploitations d'élevage bovin de Paragominas	35
1) Descriptif de l'échantillon	35
2) Résultats du diagnostic ACCT-Pará : bilans énergétiques et d'émissions de gaz à effet de serre des exploitations de l'échantillon.....	37
V – Discussions	44
1) Discussions sur l'adaptation de l'outil et de la méthode au contexte de Paragominas.....	44
2) Discussion autour des résultats.....	45
3) Limites et avantages de l'outil ACCT-DOM pour le diagnostic environnemental des exploitations d'Amazonie brésilienne.....	46
4) Pistes d'amélioration et perspectives.....	47
VI - Conclusion	49

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure

Figure 1 : Emissions de gaz à effet de serre de 1990 à 2016 au Brésil	8
Figure 2 : Localisation de Paragominas à l'échelle du Brésil, de l'Etat du Para et de l'ALB ainsi que quelques photos du paysage	9
Figure 3 : Evolution de la surface déforestée par an pour les états de l'ALB de 1988 à 2020 et carte de location des zones de déforestation en 2020 en ALB	10
Figure 4 : Capture d'écran d'une partie du feuillet des résultats d'émissions de GES d'ACCT-DOM	14
Figure 5 : Capture d'écran de la partie résultats de bilan énergétique.....	14
Figure 6 : Extrait du tableau des coefficients énergétiques et d'émissions des aliments achetés	15
Figure 7 : Capture d'écran du feuillet introduction de l'outil ACCT-DOM	15
Figure 8 : Capture d'écran de la partie « semences achetées »	16
Figure 9 : Capture d'écran d'un extrait du feuillet « animaux »	17
Figure 10 : Schéma de l'évolution de la biomasse vivante pour une conversion d'une forêt en prairie	18
Figure 11 : Schéma du devenir de la biomasse vivante aérienne forestière défrichée	19
Figure 12 : Photographie du dispositif forestier Guyaflux installé à Paracou en Guyane depuis 2003	20
Figure 13 : Carte des types de forêts présents à Paragominas fonction de leur degré de dégradation ..	21
Figure 14 : Photographie d'une prairie à Paragominas	24
Figure 15 : Photographie des 2 pâtures de Paragominas, l'une dite « (très) dégradée » (à gauche) et « propre »	27
Figure 16 : Coefficients d'émissions pour la mise à disposition de l'électricité sur site.....	29
Figure 17 : Photographie de quelques matériels agricoles rencontrés pendant les entretiens	32
Figure 18 : Corral en bois de l'une des exploitations de l'échantillon	32
Figure 19 : Capture d'écran du bilan des émissions directes de N ₂ O par les sols agricoles.....	33
Figure 20 : Balance énergétique, entrées et sorties d'énergie par UGB et par an pour les 20 exploitations de l'échantillon.....	37
Figure 21 : Part des entrées d'énergie allouées aux différentes activités pour les 20 exploitations de l'échantillon.....	38
Figure 22 : Emissions nettes de gaz à effet de serre par UGB et par an sans comptabiliser le secteur CATF pour les 20 exploitations de l'échantillon.....	39
Figure 23 : Part des émissions brutes allouées aux différentes activités pour les 20 exploitations de l'échantillon.....	39
Figure 24 : Emissions nettes/UGB (sans le secteur CATF) en fonction de la balance énergétique/UGB des 20 exploitations de l'échantillon	40
Figure 25 : Emissions nettes/ha (sans le secteur CATF) en fonction de la balance énergétique/UGB des 20 exploitations de l'échantillon	40
Figure 26 : Efficacité d'émissions de gaz à effet de serre en fonction de l'efficacité énergétique des 13 exploitations de l'échantillon possédant une activité bovin lait	41
Figure 27 : Efficacité d'émissions de gaz à effet de serre en fonction de l'efficacité énergétique des 11 exploitations de l'échantillon possédant une activité bovin viande.....	41
Figure 28 : Bilan d'émissions par ha en fonction du bilan énergétique par ha pour les 4 typologies d'exploitations	
Figure 29 : Bilan d'émissions par UGB en fonction du bilan énergétique par UGB pour les exploitations intensifiées et extensives.....	42
Figure 30 : Bilan d'émissions par ha en fonction du bilan énergétique par ha pour les exploitations intensifiées et extensives.....	42
Figure 31 : Bilan d'émissions par UGB en fonction du bilan énergétique par UGB pour les 4 typologies d'exploitations.....	42
Figure 32 : Système de roue à aube de l'exploitation São Lucas.....	48

Encadrés

Encadré 1 : Qu'est-ce que la « déforestation illégale » ?	9
Encadré 2 : La Nelore, blason de l'élevage Amazonien.....	10
Encadré 3 : Le pâturage tournant, 1 ^{er} levier d'intensification de l'élevage amazonie.....	11

Equations

Équation 1 : Variation totale des stocks de carbone des terres converties en prairies.....	18
Équation 2 : Variation annuelle de carbone des sols des terres converties en prairies	20

Tableaux

Tableau 1 : Facteurs influençant le stock de carbone du sol forestier.....	20
Tableau 2 : Digestibilité des espèces fourragères présentes dans les pâturages de Paragominas	24
Tableau 3 : Stocks de carbone dans la biomasse vivante aérienne et le sol des compartiments biomasse vivante aérienne et sol des forêts primaires exploitées de Paragominase.....	25
Tableau 4 : Facteurs de combustion choisis dans ACCT-Para.....	26
Tableau 5 : Amortissement des différents intrants lors de la réforme d'un pâturage	27
Tableau 6 : Extrait de la nouvelle trame d'entretien	28
Tableau 7 : Descriptif des exploitations de l'échantillon par caractéristiques communes.....	34
Tableau 8 Schéma des pratiques de renouvellement des pâturages de l'exploitation Josiane.....	35
Tableau 9 : Niveaux d'intensification des exploitations de l'échantillon.....	35
Tableau 10 : Résultats de bilan énergétique et d'émissions avec et sans secteur CATF totaux, par UGB et par ha pour l'ensemble de l'échantillon.....	43
Tableau 11 : Résultats d'efficacités énergétiques et d'émissions avec et sans secteur CATF pour l'ensemble des ateliers bovins allaitants et bovins laitiers.....	43
Tableau 12 : Résultats de bilan énergétique et d'émissions sans CATF moyen pour les exploitations identifiées dans les 4 typologies.....	43
Tableau 13 : Résultats de bilan énergétique et d'émissions sans CATF moyen pour les exploitations de l'échantillon identifiées comme extensives et comme intensifiées.....	43
Tableau 14 : Tableau comparatif des résultats d'efficacité énergétique et d'émissions des différents outils dans différents pays pour des exploitations de bovins allaitants.....	47
Tableau 15 : Les différents niveaux méthodologiques proposés par le GIEC pour le calcul des émissions de gaz à effet de serre	48

LISTE DES ABBREVIATIONS

ALB : Amazonia Legal Brasileira

ACCT : AgriClimate Change Tool

CAR : Cadastro Ambiental Rural

CATF : Changement d'Affectation des Terres et Foresterie

DAIA : Documento Autorizativo para Intervenção Ambiental

IBAMA : Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE : Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE : Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

LULUCF: Land Use, Land-Use Change, and Forestry

MCTI : Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

SEMAS : Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade

UTCATF : Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie

Les accords de Paris sur le climat ont fêté leurs 5 ans en décembre 2020. A l'époque, cet accord réunissant (presque) tous les pays du monde pour limiter ensemble le réchauffement planétaire à 2 degrés d'ici 2100 avait créé ferveur et enthousiasme.

Pourtant, 5 ans après, les experts scientifiques, sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UN environment programme), sont très clairs : les actions menées depuis ces accords, et les prévisions d'émissions de gaz à effet de serre des pays clés comme les Etats-Unis, la Russie et l'Inde (2^e, 3^e et 4^e plus gros émetteurs mondiaux de gaz à effet de serre), ne permettront pas de respecter les objectifs fixés à Paris. Le monde se dirige actuellement vers un scénario de réchauffement de 3,2 degrés d'ici 2100 (UN environment program, 2020). Le 6^e rapport des experts du climat de l'ONU publié le 9 août 2021 n'a fait que de rappeler ce constat alarmant.

La place de l'élevage dans ces émissions est controversée, notamment depuis la publication de l'ouvrage « *Livestock's Long Shadow* » de la FAO en 2006, dont les données furent précisées dans « *Tackling Climate Change Through Livestock* » en 2013 : le secteur de l'élevage contribue à 14,5 % des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique. Avec son système digestif ruminal, ses besoins alimentaires élevés et son rythme de croissance lent par rapport aux autres animaux d'élevage, le bovin représente à lui seul 8,8 % de ces émissions (FAO, 2006 ; FAO, 2013).

Certains diront ainsi que l'élevage doit disparaître pour répondre à l'urgence climatique. Pourtant, quand la FAO publie en février 2010 « *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Le point sur l'élevage* », elle montre que l'élevage est essentiel au moyen de subsistance d'environ un milliard de personnes pauvres sur la planète (FAO, 2010). L'activité fournit des revenus, des patrimoines, des aliments de qualité, du biogaz, de la traction animale, des engrais, etc. contribuant ainsi à la sécurité alimentaire et à la nutrition, y compris dans des territoires disposant de peu de ressources naturelles. Pour de nombreux petits exploitants agricoles, l'élevage fournit également un filet de sécurité économique important en cas de besoin, essentiel dans les Etats où les instruments de prise en charge et d'appuis aux populations sont absents.

Par ailleurs, la dernière publication de l'UN nutrition (experts des questions d'agriculture, alimentaire et santé au niveau mondial) de l'ONU dans « *Livestock-derived foods and sustainable healthy diets* » assure que les produits de l'élevage ont un rôle majeur à jouer pour lutter contre la faim dans le monde (UN nutrition, 2021).

Aussi, l'élevage bovin conduit à l'herbe spécifiquement produit de nombreux services écosystémiques, et serait l'un des secteurs les plus prometteurs dans l'une des réponses au changement climatique : la séquestration carbone. Blanford et al. (2015) montrent que le sol des prairies guyanaises de plus de 24 ans peut stocker entre 1,8 tC/ha/an et 5,3 tC/ha/an. Les systèmes sylvopastoraux sont également prometteurs : Silva et al. (2018) révèlent que leur composante peut neutraliser les émissions de méthane entérique de 6,06 UA¹/ha/an dans le nord du Brésil.

Quoi qu'il en soit, l'élevage a de fortes conséquences sur l'environnement et l'activité ne cesse de s'accroître. Selon la FAO, la production mondiale de viande devrait augmenter de 13 % d'ici 2028 (FAO, 2019). Améliorer la production de services écosystémiques et atténuer les impacts de l'élevage sur l'environnement semble indispensable. Cette nécessité paraît encore plus évidente pour le Brésil qui détient à la fois l'un des plus grands stocks de carbone, la forêt amazonienne, et le plus grand cheptel bovin commercial du monde.

¹ « Unité Animal ». Unité utilisée au Brésil remplaçant l'UGB utilisée en Europe. 1 UA = 1 vache de 450 kg. 1 UGB = 1 vache laitière européenne (soit environ 650 kg).

I - Contexte et problématique

1) Emissions de gaz à effet de serre du Brésil

Dans les classements classiques des plus gros émetteurs mondiaux de gaz à effet de serre, le Brésil ne se distingue pas particulièrement. Lorsque le secteur « Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie » (UTCATF) est pris en compte, il devient le 6^e plus gros émetteur, derrière la Chine, les USA, l'Europe, l'Inde, la Russie et le Japon (World Resources Institute, 2020). Ce secteur comptabilise toutes les émissions liées à un changement d'utilisation d'une terre, affectant particulièrement le stock de carbone présent, et dont les variations sont traduites en émissions de CO₂.

Le 31 décembre 2020, le ministère des Sciences, de la Technologie et de l'Innovation du pays (MCTI) a publié son 4^e inventaire nationale d'émissions de gaz à effet de serre². Dans cet inventaire, l'agriculture est le 1^{er} secteur émetteur en 2016 (voir figure 1, « agropecuária »). La fermentation entérique y contribue à 56,5 %. Elle est suivie par les émissions des sols agricoles (36,0 %) contenant les émissions liées aux déjections au pâturage, à la gestion des déjections (4,1 %), à la culture de riz (2,2 %) et au brûlage des résidus de récolte (1,1 %) (MCTI, 2020).

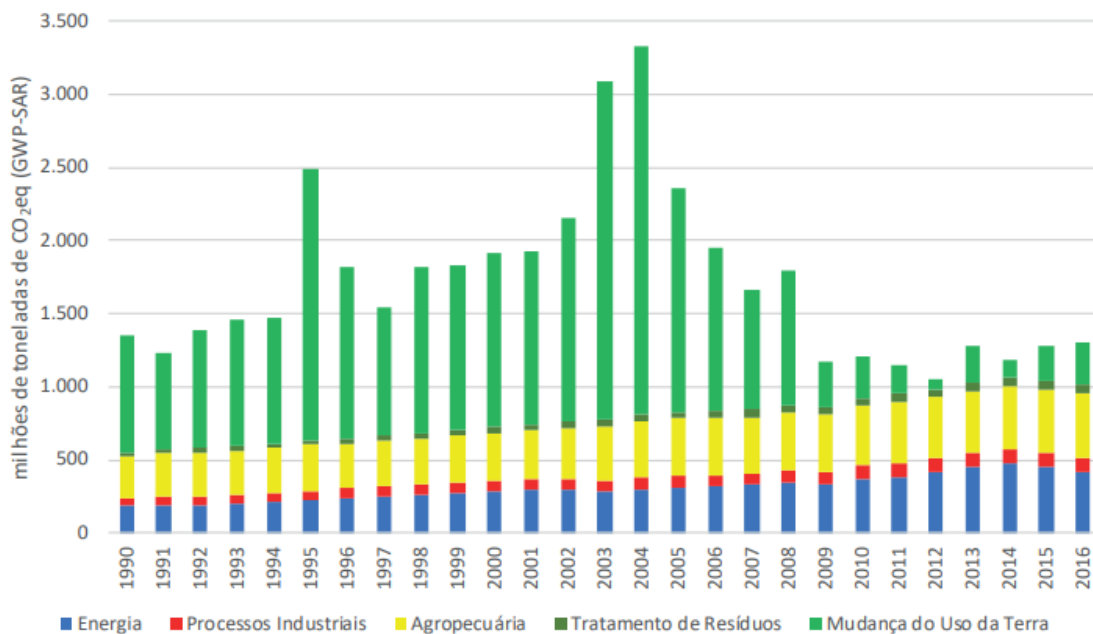


Figure 1 : Emissions de gaz à effet de serre de 1990 à 2016 (Mt eqCO₂) (MCTI, 2020) au Brésil

Le secteur de l'agriculture est suivi de près par le secteur de l'énergie moins polluant que dans les pays européens grâce aux centrales hydroélectriques et la production de biocarburants du Brésil. Le secteur UTCATF arrive en 3^e position (voir figure 1, « mudança de uso da terra »). Les émissions du biome³ Amazonie représentent 81,2 % des émissions du secteur et impliquent directement l'élevage bovin puisque 80 % des terres déforestées sont converties en pâturages dans cette région (Tourrand et al. 2004).

² En 1992, lors de la Convention Cadre sur le Changement Climatique, les pays signataires se sont engagés à publier régulièrement des inventaires nationaux d'émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropiques. Cet engagement est fixé par le Protocole de Kyoto. Le Brésil en est à son 4^{ème} inventaire publié depuis cette époque.

³ Milieu écologique étendu et homogène. Le rapport du MCTI comptabilise 6 biomes pour les émissions de gaz à effet de serre du secteur UTCATF : l'Amazonie, le Cerrado, la forêt Atlantique, la Caatinga, le Pantanal et la Pampa.

La population bovine brésilienne est plus nombreuse que la population humaine (220 millions de têtes en 2020 selon l'IBGE, l'Institut Brésilien de Géographie et de Statistiques). La réduction de ces émissions est donc un fort enjeu pour le pays. En 2015, lors de la COP21, le gouvernement de Dilma Rousseff a promis de les réduire de 37 % d'ici 2025 et de 43 % d'ici 2030 (par rapport à l'année de référence 2005). Il a également annoncé atteindre 0 déforestation illégale d'ici 2030 (voir encadré 1), reforester 12 millions d'hectares et assumer 45 % d'énergie renouvelable.

Encadré 1 : Qu'est-ce que la « déforestation illégale » ?

Au Brésil, c'est le code forestier, voté en 2012, qui définit les règles en terme de couverture forestière. Il stipule notamment que chaque ferme doit maintenir une Réserve Forestière Légale (voir I.3). Des Aires de Préservation forestière Permanente (APP) sont également obligatoires autour des cours d'eau et des reliefs dans toutes les exploitations. Des Zones Protégées, telles que des parcs nationaux ou des réserves de biosphère, sont définies dans toute la région. Cela ne signifie pas que toute déforestation est illégale mais qu'elle doit faire l'objet d'une demande spécifique auprès des organismes publics et respecter ces règles très contraignantes. Plusieurs systèmes de monitoring par satellite quantifient les déforestations en temps réel. Cependant, ils ne permettent pas de distinguer le caractère légal ou illégal.

2) L'élevage bovin à Paragominas

La commune de Paragominas se trouve dans la région Nord et l'état du Para, 2e plus grand état du pays derrière celui d'Amazonas son voisin (1,246 millions et 1,559 millions de km² respectivement) (voir figure 2). La capitale de l'état est Belém qui se situe à 300 km au nord de Paragominas. Avec ses étendues de forêts et surtout de pâturages, c'est seulement le 7e état le plus peuplé avec 8,7 millions personnes (contre par exemple l'état de São Paulo qui compte 46,3 millions de personnes).

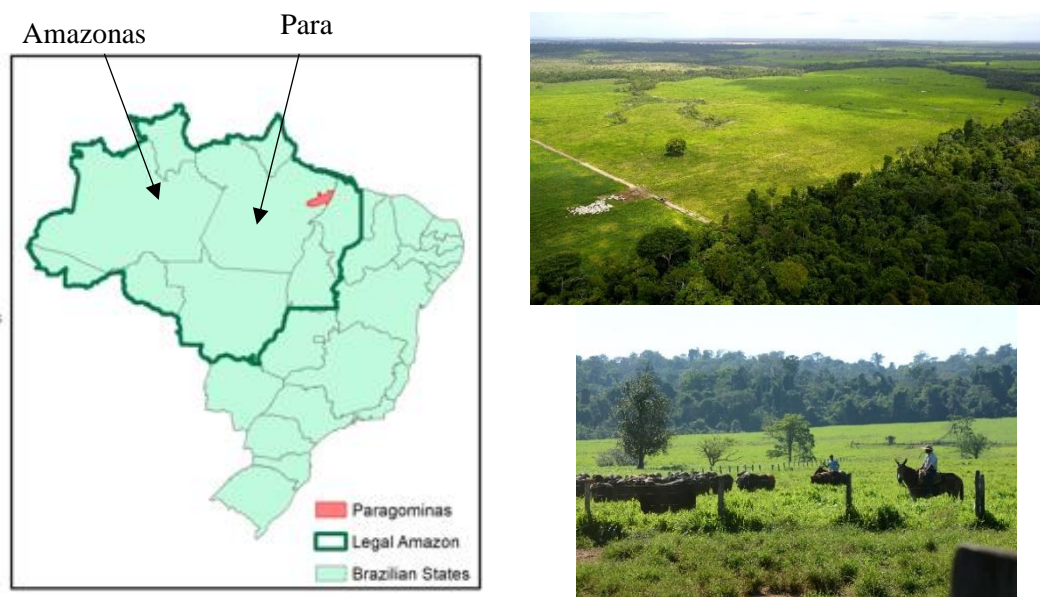


Figure 2 : Localisation de Paragominas à l'échelle du Brésil, de l'Etat du Para et de l'Amazonie Légale Brésilienne ainsi que quelques photos du paysage (élaboration : René Pocard-Chapuis)

L'histoire économique et sociale, la culture et les paysages de Paragominas sont très fortement marqués par l'élevage bovin, 1^{er} troupeau de la commune en 2019 (IBGE, 2019). En zone rurale, la forêt a laissé place à des étendues de pâturages à perte de vue (voir figure 2). En ville, le parc des expositions accueille les fêtes agricoles. Les magasins d'équipements traditionnels fournissent chapeaux, bottes en cuir, selles de cheval achetés par les vachers de la région.

Les bovins sont au pâturage toute l'année. La plupart des petits éleveurs produisent du lait avec des animaux appelés « mesticas » (en français « métis ») car issus de nombreux croisements. Les plus grands élèvent majoritairement des animaux de race bouchère (voir encadré 2). La taille de ces « grands » (quelques milliers de têtes) reste modérée par rapport à d'autres communes de l'Etat, notamment dans le sud où ils peuvent aller jusqu'à 100 000 têtes. Ainsi, Paragominas compte seulement 6 % du cheptel bovin du Para avec 1 267 705 têtes de bovins (IBGE, 2019).

Encadré 2 : La Nelore, blason de l'élevage Amazonien

En parcourant les paysages de Paragominas, il n'est pas rare de voir ce bovin blanc originaire d'Inde. C'est une race particulièrement adaptée à la région : la couleur de son pelage n'absorbe pas les rayons solaires et sa peau noire évite les coups de soleil. Ses muscles sous-cutanés permettent de légères vibrations de la peau qui empêchent les parasites externes de s'accrocher. En plus, elle est particulièrement appréciée par les abattoirs et les bouchers car elle possède un bon rendement carcasse par rapport à d'autres zébus.



La ville, construite seulement dans les années 1960-1970, a connu son essor dans l'exploitation de la forêt amazonienne : d'abord en termes d'espace avec l'installation de pâturages pour sécuriser le foncier, puis en termes de ressources avec une forte exploitation du bois à partir des années 1990 (Poccard-Chapuis et al. 2011, Poccard-Chapuis et al. 2015). L'INPE, l'Institut National de Recherche Spatiale, publie chaque année la surface déforestée sur le territoire de l'Amazonie Legale Brésilienne (ALB)⁴ calculée à partir d'images satellites. L'état du Para est depuis 2006 l'état qui déforeste le plus avec 45,15 % de la déforestation en 2020, soit 4 899 km² (voir figure 3). C'est une situation qui ternit l'image de l'élevage amazonien et qui est parfois due à une poignée de propriétaires.

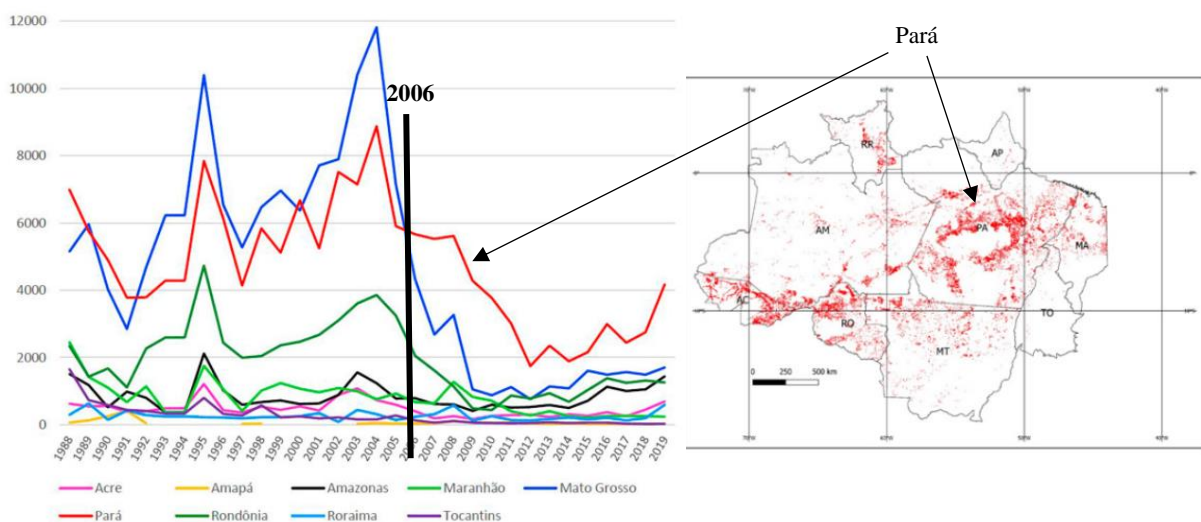


Figure 3 : Evolution de la surface déforestée par an pour les états de l'ALB de 1988 à 2020 et carte de location des zones de déforestation en 2020 en ALB (INPE, 2020)

⁴ Territoire regroupant les 9 états Amazoniens : l'Acre, l'Amazonas, l'Amapá, Le Maranhão, le Mato Grosso, le Para, le Rondônia, le Roraima et Tocantins. Il a été délimité en 1953 afin de déterminer les régions éligibles aux aides de développement programmées pour l'Amazonie.

Pourtant, Paragominas est une ville engagée dans des initiatives de protection environnemental. Après avoir inventé le concept de « Municipale Vert », elle a développé le projet « Pecuaría Verde » à l'initiative du Syndicat des Producteurs Ruraux (SPRP) en 2011, poussant littéralement les éleveurs vers un « élevage vert » (Silva et al. 2014). La ville a été choisie comme ville pilote du projet TerrAmaz financé par l'AFD qui vise au développement territorial tout en luttant contre la déforestation de la forêt amazonienne.

Des efforts d'intensification de l'élevage pour une meilleure gestion de l'espace sont déjà en place (voir encadré 3). C'est en effet une solution clé dans la lutte contre la déforestation en augmentant la productivité des surfaces déjà ouvertes. Ce processus permet également de lutter contre la dégradation des pâturages et le gaspillage des ressources naturelles, problème reconnu en Amazonie brésilienne depuis les années 1990 (Poccard-Chapuis et al. 2011).

Encadré 3 : Le pâturage tournant, 1^{er} levier d'intensification de l'élevage amazonien



Photographie aérienne d'un pâturage tournant, avec un abreuvoir central

Depuis le début de sa conquête, de grandes surfaces de la forêt amazonienne sont rasées, et quelques animaux y sont installés afin de sécuriser le foncier. C'est le système de pâturage extensif traditionnel. Avec une offre fourragère importante, les animaux n'ont pas le temps de tout consommer : des touffes vieillissent et sont abandonnées à cause de leur perte de digestibilité. Au contraire, les touffes en repousse sont surpâturées, car plus jeunes, plus digestibles et donc plus appétissantes. Avec une surface foliaire constamment réduite, elles finissent par mourir : les trous laissent place aux adventices, jusqu'alors étouffés par le couvert herbager. C'est le début de la dégradation de la pâture contre laquelle le pâturage tournant est un moyen de lutte efficace

Les animaux sont sur des petites surfaces et y restent suffisamment longtemps pour tout consommer de manière uniforme sans surpâturer l'herbe. Pendant ce temps, les autres parcelles sont au repos. Le temps de retour sur parcelle est d'environ 20 jours, âge pour lequel l'herbe est à son pic de digestibilité. Cette technique permet donc aussi de contrôler la qualité de l'alimentation afin de maintenir un bon poids et de réduire les émissions de méthane entérique (voir II.2.b) (Poccard-Chapuis, 2020).

3) Problématiques et objectifs de l'étude

L'élevage d'Amazonie brésilienne traîne l'image de la déforestation depuis son apparition aux yeux du monde entier. Or, il faut rappeler que les experts du climat de l'ONU, le GIEC, considèrent que les émissions de gaz à effet de serre issues de la déforestation sont à amortir sur 20 ans. Comme le montre la figure 3, beaucoup de zones ont été déforestées avant les années 2000 dans l'état du Pará et des exploitations ont donc déjà fini d'en rembourser le prix dans leur bilan carbone.

Sans ces émissions liées à la déforestation, cette région semble particulièrement bien adaptée à un élevage bas carbone en réponse à l'urgence climatique. Avec un environnement chaud, humide et un fort ensoleillement, la ressource fourragère pousse très vite. L'élevage peut se faire à l'extérieur toute l'année avec une source d'alimentation naturelle énorme nécessitant peu d'intrants issus d'une énergie fossile. Au contraire, c'est plutôt l'énergie solaire mobilisée dans les fourrages qui est utilisée. De plus, la loi brésilienne pourrait jouer. Depuis 1965, chaque propriété agricole de plus de quatre « modules fiscaux » (MF) sur le territoire de l'ALB doit présenter 80 % de sa surface totale en forêts. Ce pourcentage est abaissé à 50 % pour certaines communes, comme c'est le cas à Paragominas. Les exploitations présentent donc une capacité de stockage de carbone dans la biomasse forestière importante.

Le contexte environnemental mondial, la responsabilité de l'agriculture, ainsi que les différents accords internationaux (Mercosul, CETA) ont déjà mené à la création de divers outils permettant d'évaluer les performances environnementales des exploitations agricoles. Avec l'urgence climatique liée aux émissions de gaz à effet de serre, « l'empreinte carbone » de la production de viande ou de lait est un indicateur particulièrement ciblé. Aussi, la demande énergétique d'une production est intéressante à mesurer à l'heure où la course à la réduction des consommations des énergies fossiles est lancée

Au niveau Français, l'outil CAP'2ER développé par l'Idelc permet d'évaluer les émissions de gaz à effet de serre des exploitations d'élevage herbivore. Au niveau international, EX-ACT (Ex-Ante Carbon-balance Tool) de la FAO permet de réaliser le même bilan pour tous les types d'exploitations agricoles. Cependant, l'accès à la mécanique de ces outils n'est pas possible et leur adaptation à un contexte spécifique semble difficile.

L'efficacité énergétique est définie comme étant « le ratio entre un apport d'énergie et un bien produit » (ADEME, 2015). De la même manière, on définit l'efficacité d'émissions de gaz à effet de serre comme le ratio entre des émissions et un bien produit. Grâce à l'outil ANERPAAM (voir II.1), Clerc (2012) montrait que les exploitations d'élevage bovin allaitant de type « grands » (entre 650 et 3 700 têtes) de Paragominas avaient une efficacité énergétique de 9 724 MJ/t poids vif produit/an et une efficacité d'émissions de 19,8 t eqCO₂/t poids vif produit/an en moyenne. A l'époque, cet outil ne prenait pas en compte le stockage de carbone dans les forêts. Or, les affirmations précédentes témoignent de capacités de stockage importantes à prendre en compte.

ACCTools est un outil qui calcule le bilan énergétique et les émissions de gaz à effet de serre d'une exploitation agricole sur l'année en prenant en compte le stockage de carbone. Il est issu de Planète, l'outil français certifié par l'ADEME, adapté pour une utilisation européenne par SOLAGRO au cours du grand projet européen Life + AgriClimateChange réalisé en partenariat avec 4 pays (Solagro, 2013). L'outil a ensuite été « tropicalisé » par SOLAGRO en collaboration avec l'UMR SELMET du CIRAD pour une utilisation dans les DOM français. En particulier, sa dernière adaptation en Guyane a mené à la création d'« ACCT-DOM Guyane », incluant les émissions liées à la déforestation, élément primordial pour le diagnostic carbone des exploitations brésiliennes.

Il s'agit donc d'un outil certifié en France et Europe, adapté au contexte tropical, qui prend en compte le stockage de carbone et les émissions du secteur CATF. Qui plus est, il se présente sous forme d'un tableur Excel. Il est donc modifiable et adaptable à une autre situation que la France, l'Europe ou les DOM. En effet, élaboré pour un cadre européen, les options méthodologiques et coefficients de calculs sont adaptés à son contexte réglementaire et agronomique, parfois loin du cadre brésilien. L'adaptation d'ACCT, plus spécifiquement d'ACCT-DOM Guyane, au contexte de l'élevage bovin d'Amazonie brésilienne a été le 1^{er} objectif de ce travail.

Paragominas était une zone d'étude particulièrement adaptée pour tester les adaptations. En effet, la commune réunit une diversité d'exploitations et de technologies typiques de l'élevage d'Amazonie. Il y a des exploitations de type « familial » et de type « patronal ». Elles se distinguent en termes d'origine de la main d'œuvre, de taille, de technicité (insémination artificielle, complémentation en concentrés). Aussi, Paragominas réunit des exploitations très extensives et d'autres en cours d'intensification. En effet, en rapport avec la lutte contre la déforestation et l'augmentation de la productivité, l'Amazonie brésilienne voit apparaître certaines pratiques d'intensification nécessitant plus d'intrants. Ces pratiques concernent le pâturage tournant (voir I.2), mais également le renouvellement cyclique des pâtures dégradées, l'utilisation d'engrais, etc.

Le diagnostic énergétique et d'émissions d'un échantillon d'exploitation à Paragominas permettrait d'appréhender les performances de l'élevage bovin d'Amazonie brésilienne et la comparaison des diagnostics entre elles d'identifier les pratiques les plus pertinentes. Cela a été le 2^e objectif de ce travail.

II - Matériel et méthode

1) Outils de bilan énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre à l'origine d'ACCT-DOM

Planète est un outil qui a été créé en France à la fin des années 90 par SOLAGRO⁵ avec le soutien de l'ADEME. Il permet de réaliser le diagnostic énergétique d'une exploitation agricole, utile lors de la mise en place du Plan de Performance Energétique⁶ par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation en 2009. De Planète naît Dia'terre, laissant la possibilité de calculer en plus les émissions de gaz à effet de serre. ACCT (AgriClimate Change Tool) est construit à partir de Dia'terre pour une utilisation à l'échelle européenne. L'outil a été testé dans plus de 120 fermes en Europe.

En 2010, pour les besoins du projet EPAD⁷, ANERPAAM (Analyse Energétique des Propriétés Agricoles d'Amazonie), adaptation de Planète au contexte de l'Amazonie brésilienne, est créée. Plus spécifiquement, le travail d'adaptation est fait à Paragominas et l'outil est utilisé sur place pour calculer les performances environnementales des exploitations d'élevage bovin de Paragominas.

En parallèle, en France, sous la demande de l'ADEME, ACCT est adapté par SOLAGRO au contexte de certains départements d'Outre-Mer en zone tropicale : d'abord à la Réunion (en collaboration avec l'UMR SELMET du CIRAD, puis en Guadeloupe et à la Martinique. Il devient « ACCT-DOM ». En 2015, il est adapté au contexte Guyanais, également avec la collaboration de SELMET dans le cadre plus général d'une étude sur les impacts carbone des systèmes herbagers de Guyane (Blanfort et al. 2013). Des diagnostics sont réalisés sur ce territoire d'Outre-Mer avec pour la première fois la prise en compte des émissions de gaz à effet de serre liées la déforestation. « ACCT-DOM Guyane » a donc été mobilisé dans le cadre de notre étude pour une adaptation à un autre contexte amazonien, celui de Paragominas.

2) Fonctionnement de l'outil ACCT-DOM et de la méthode de diagnostic

a- Fonctionnement général

De manière générale, ACCT-DOM est un fichier Excel qui calcule le bilan énergétique et les émissions nettes de gaz à effet de serre à l'échelle d'une exploitation agricole, pour tout type de production et sur une année. Les résultats sont donnés pour l'exploitation dans son ensemble et par activité (bovin lait, poulet de chair, tomate, etc.).

L'outil calcul l'énergie fossile⁸ qui a été consommée par l'exploitation (les « entrées ») et l'énergie qui a été produite (les « sorties »). Elles sont exprimées en MJ/an. L'énergie qui a été produite correspond à la quantité de lait, de viande ou de cultures convertie en joule grâce à des coefficients de conversion énergétique (voir annexe 1).

Les émissions nettes calculées par l'outil correspondent à la différence entre les émissions brutes de gaz à effet de serre et le stockage de carbone (voir figure 4). Elles sont exprimées en kg eqCO₂/an. Les gaz pris en compte pour les émissions sont le CO₂, CH₄, N₂O et halocarbures. La conversion de chacun de ces gaz en eqCO₂ se fait selon le potentiel de réchauffement à 20 ans (voir annexe 2). La conversion du stockage de carbone, exprimé en tC/an, en kg CO₂/an se fait grâce au rapport massique moléculaire du CO₂ par rapport au carbone qui est de 44/12.

⁵ Entreprise associative pour le développement agro-écologique.

⁶ Dispositif d'aide aux investissements liés aux économies d'énergie, à la production d'énergie renouvelable et à la réduction des gaz à effet de serre.

⁷ Projet réalisé au Brésil et dans plusieurs pays d'Amérique Latine pour développer l'efficacité environnementale des exploitations

⁸ Sauf pour l'électricité, où la production peut venir de sources renouvelables

2) Stockage de carbone

3) Emissions nettes =
Emissions brutes – Stockage

1) Emissions brutes de l'exploitation

SAU : 0,0 ha		UGB tot : 0 UGB				
Récapitulatif émissions GES et stockage de carbone						
		Scope 1	Scope 2	Scope 3		
Situation actuelle (tCO ₂ / an)		Périmètre interne	Périmètre intermédiaire	Périmètre global	Ensemble	
Emissions dues à l'énergie utilisée et halocarbures		0	0	0	0	#DIV/0!
CH4 et N2O émis par la fermentation entérique et la gestion des DA		0	Sans objet	Sans objet	0	#DIV/0!
Emissions N2O par les sols agricoles et CH4 (riziculture)		0	Sans objet	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Stockage Additionnel de Carbone		0	Sans objet	0	0	#DIV/0!
Total CO ₂ net / an		0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
Energies renouvelables		0	0	0	0	#DIV/0!
Ratios Emissions Brutes :		en tCO ₂ / ha SAU :		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
		en tCO ₂ / UGB tot :		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Figure 4 : Capture d'écran d'une partie du feuillet des résultats d'émissions d'ACCT-DOM

NB : Les énergies renouvelables sont à titre indicatif et ne sont pas prises en compte dans le bilan. Périmètre interne : émissions directes libérées sur l'exploitation. Périmètre global : émissions indirectes libérées hors site. Périmètre intermédiaire : émissions indirectes libérées hors site de l'électricité (explications à suivre)

Pour la consommation d'énergie et les émissions, ACCT-DOM prend en compte l'énergie et les gaz à effet de serre directement consommée/libérés sur l'exploitation : le CO₂ et l'énergie issus de l'utilisation de combustibles (bois, essence, diesel, etc.), le CH₄ entérique, le CH₄ et N₂O libérés par le système de gestion des déjections, le N₂O libéré de manière directe et indirecte⁹ par les sols, les halocarbures des systèmes frigorifiques et les gaz à effet de serre libérés lors de la déforestation. Ils sont dits « directs » (voir figure 5).

ACCT-DOM prend également en compte l'énergie et les émissions issues de la mise à disposition des intrants sur site (animaux, combustibles et électricité, aliments, pesticides, engrais, semences, engins agricoles, bâtiments). Elles sont dites « indirectes » (voir figure 5). Le périmètre de l'outil va donc de la fabrication des intrants jusqu'à la vente des produits puisque le transport des produits jusqu'au premier acheteur est pris en compte.

Répartition de l'énergie par poste		par an			par ha SAU					
usages professionnels postes		GJ	TEP	éq.-litres fioul	GJ	part	Coût (€HT)	€/ EGF	dont MAD (GJ)	
Entrées	directes	Fioul agricole (carburant ou combustible)	0	0,00	0	0,0	0%	1 €	#DIV/0!	0
		Autres carburants	6	0,14	163	0,0	6%	0 €	0	1
		Electricité	0	0,00	0	0,0	0%	0 €	#DIV/0!	0
		Energie / eau	0	0,00	0	0,0	0%	0 €	#DIV/0!	0
		Autres énergies directes	0	0,00	0	0,0	0%	0 €	#DIV/0!	0
		Intraconsommation d'ENR pour la prod agricole	0	0,0	0	0,0	0%	0 €	#DIV/0!	
Entrées	indirectes	Achats aliments bétail	0	0,0	0	0,0	0%	0 €	#DIV/0!	
		Engrais et amendements	91	2,2	2 583	0,5	93%	0 €	0	
		Phytoprotecteurs	0	0,0	0	0,0	0%	5 076 €	#DIV/0!	
		Semences	0	0,0	0	0,0	0%	0 €	#DIV/0!	
		Jeunes animaux	0	0,0	0	0,0	0%	0 €	#DIV/0!	
		Matériels agricoles	1	0,0	36	0,0	1%	0 €	0	
		Bâtiments et infrastructures	0	0,0	0	0,0	0%	0 €	#DIV/0!	
		Autres achats : animaux, plastiques, huiles	0	0,0	0	0,0	0%	0 €	#DIV/0!	
ENTREES		98	2,3	2782	0,6	100%			1	
Sorties		lait	0	0,0	0	0,0	#DIV/0!			
		viande	0	0,0	0	0,0	#DIV/0!			
		Cultures	0	0,0	0	0,0	#DIV/0!			
		autres	0	0,0	0	0,0	#DIV/0!			
SORTIES		0	0,0	0	0,0	#DIV/0!				

Figure 5 : Capture d'écran de la partie résultats de bilan énergétique

NB : Dans la figure 4, les émissions indirectes des intrants se trouvent dans la colonne « périmètre global » de la ligne « émissions dues à l'énergie utilisée et halocarbures »

⁹ Les émissions directes de N₂O sont dues aux phénomènes naturels de nitrification/dénitrification de l'azote du sol. Les émissions indirectes de N₂O sont dues à la volatilisation de l'azote du sol en NH₃, émis en N₂O par nitrification/dénitrification. Elles sont aussi dues à la lixiviation de l'azote, émis en N₂O par nitrification/dénitrification.

Chaque intrant, machine agricole et type de bâtiment utilisé est associé à un coefficient énergétique et à un coefficient d'émissions exprimés respectivement en MJ et kg eqCO₂/unité de quantité (kg, L d'intrants, m² de surface ou machine). Ils traduisent la quantité d'énergie et de gaz à effet de serre consommée/libérée pendant tout le processus de fabrication et de transport jusqu'à l'exploitation, avec un système d'amortissement pour le matériel et les bâtiments. Comme ACCT-DOM a déjà été utilisé en Europe et dans les DOM français, un certain nombre de coefficients sont présents dans l'outil sous forme de tableaux et correspondent aux intrants, machines et bâtiments classiquement rencontrés sur les zones précédemment citées (voir figure 6). Ces coefficients sont issus de données d'Analyses de Cycle de Vie trouvées dans la littérature et incluent un facteur transport jusqu'à la zone d'étude calculé en fonction du nombre de km et du type de transport (bateau, camion, etc.).

Achats d'aliments pour les animaux - Fourrages Grossiers, d'après Diaterre - ref3-45, TVA102 et CIRAD-Solagro	Coefficient énergétique		Coefficient d'émissions				
	LA REUNION	LA REUNION	MARTINIQUE	MARTINIQUE	GUADELOUF	GUADELOUF	
code compilé	CE (MJ / t)	FE (kg eCO ₂ / t)	CE (MJ / t)	FE (kg eCO ₂ / t)	CE (MJ / t)	FE (kg eCO ₂ / t)	Unité
FG-Avoine	2524	542	2503	462	2503	462	TMB
FG-Betteraves fourragères	2790	261	2769	181	2769	181	TMS
FG-Blé tendre	2622	574	2601	494	2601	494	TMB
FG-Choux fourrager	4859	281	4838	201	4838	201	TMS

Figure 6 : Extrait du tableau des coefficients énergétiques et d'émissions des aliments achetés d'ACCT-DOM

NB : Généralement pour les îles françaises, l'alimentation du bétail achetée est importée depuis le territoire métropolitain. C'est la distance, et donc le coefficient lié au transport, qui change.

Plus concrètement, l'outil Excel se présente en plusieurs feuillets : 1 feuillet d'introduction permettant de renseigner les données générales de l'exploitation, 9 feuillets de saisie de données par thématique (animaux, stockage carbone, cultures, directe¹⁰, intrants, matériel, bâtiments, froid¹¹, secteur CATF¹²), 2 feuillets de résultats (bilan énergétique et bilan GES), et quelques feuillets complémentaires (figure 7).

Figure 7 : Données supprimées : Non conforme RGPD

Figure 7 : Capture d'écran du feuillet introduction de l'outil ACCT-DOM

NB : Pour des questions de liens complexes entre cellules de l'outil, tous les nouveaux coefficients calculés qui suivront ont été ajoutés à la liste des coefficients de la Réunion. C'est pourquoi la région choisie en cellule F10 est la Réunion.

¹⁰ Lié à l'utilisation des combustibles et de l'électricité

¹¹ Lié à l'utilisation de systèmes frigorifiques à l'origine d'émissions d'halocarbures

¹² Changement d'Affectation des Terres et Forceries

Chaque feuillet de saisies de données contient un ensemble de cases colorées en jaune qui indiquent des données de l'exploitation à renseigner par l'auditeur. Ils contiennent également un ensemble de cases blanches à ne pas toucher par l'auditeur avec les facteurs de calculs fixés ou les listes de coefficients évoqués précédemment (voir figure 8). Pour chaque intrant (essence, aliments, semences, etc.), pour l'utilisation du matériel et des bâtiments, on renseigne la quantité allouée aux différentes activités de l'exploitation (bovin lait, bovin viande, etc.) en pourcentage afin que l'outil calcule le bilan et les émissions de chacune d'entre elles.

Surface semée en ha par semence		Quantités utilisées (kg/ha) (les chiffres indiqués sont modifiables)		% de semences semées attribuées à l'activité bovin viande				Coefficient énergétique unitaire par type de semences achetées		
Type de semences achetées	surf. semées	quantité	Quantité consommée	retour ACCUEIL				Source	intitulénrj	Energ
	kg / ha	kg	(nb doses)	bovin viande						MU / u
7 - Semences achetées (non comprises autoproduction)										
Blé tendre	0,0 ha	130,0 kg	0 kg					Diate	Blé tendre	3,46
Blé dur	0,0 ha	110,0 kg	0 kg					Diate	Blé dur	4,13
prairie 1 : Bracharia	0,0 ha	8,0 kg	0 kg						prairie 1 : Bracharia	9,40
prairie 2 : Desmodium	0,0 ha	1,5 kg	0 kg						prairie 2 : Desmodium	9,40
Mais (dose 50 000 gr = 17	0,0 ha	17,0 kg	0 kg					Diate	Mais (dose 50 000 g	12,28
tournesol (dose 150 000 gr	0,0 ha	5,0 kg	0 kg					Diate	tournesol (dose 150	11,98
sorgho (dose 800 000 gr =	0,0 ha	21,0 kg	0 kg						sorgho (dose 800 00	18,00
Pois protéagineux	0,0 ha	200,0 kg	0 kg					Diate	Pois protéagineux	2,60
colza, autres oléagineux	0,0 ha	10,0 kg	0 kg					Diate	colza, autres oléagin	8,50
Pomme de terre consomma	0,0 ha	0,0 kg	0 kg					Diate	Pomme de terre con	1,60
betteraves (sucrières, fourr	0,0 ha	1,0 kg	0 kg					Diate	betteraves (sucrières	90,30

Figure 8 : capture d'écran de la partie « semences achetées » du feuillet intrants

NB : les coefficients visibles dans cette capture d'écran sont des coefficients pour des semences cultivées en France

La collecte des informations et des données de l'exploitation se fait par un ou plusieurs entretiens directs menés par un auditeur certifié par l'ADEME ou SOLAGRO. Le diagnostic porte sur une année, généralement l'année comptable qui suit l'année civile : elle commence le 1^{er} janvier et se termine le 31 décembre. Une trame d'entretien permet de suivre les données quantitatives à récolter. Il est recommandé à l'enquêteur d'utiliser les bilans comptables ce qui facilite l'inventaire des achats et des productions sur l'année considérée.

Ce qui faut retenir ...

- ACCT-DOM est un outil français **certifié par l'ADEME et l'Europe**
- Il permet de calculer le bilan **énergétique** et les **émissions nettes de gaz à effet de serre**
- Son échelle spatiale est **l'exploitation agricole** et son échelle temporelle est **une année complète**
- Les gaz à effet de serre pris en compte sont le **CO₂, le CH₄, le N₂O et les halocarbures.**
- Il prend en compte les émissions et besoins énergétiques **liés à la mise à disposition des intrants**
- Il prend en compte le **stockage de carbone**
- Un travail de « **tropicalisation** » a déjà été réalisé dans les DOM français

a- Calcul des émissions liées à la fermentation entérique

Les calculs d'émissions de méthane entérique d'ACCT-DOM suivent les indications des experts du climat de l'ONU, le GIEC. Elles se trouvent au chapitre 6 de la publication « *Les lignes directrices du GIEC* », publiée en 2006. Ce chapitre se nomme « *Emissions imputables au bétail et à la gestion du fumier* » (GIEC chapitre 6, 2006).

Les émissions de méthane entérique sont calculées par catégories d'animaux : vaches allaitantes, taureaux reproducteurs, génisses 0-1 an, etc. (voir annexe 3, équation 1). Pour chaque catégorie, l'auditeur renseigne le poids moyen, la quantité de matière sèche moyenne ingérée par jour et le temps de présence moyen des animaux sur l'exploitation sur l'année exprimé en jours (voir figure 9).

4 Ruminants - herbivores								
		Nombre d'animaux présents	Temps de présence sur l'exploitation en jours	Temps en extérieur (pâturage, parcours) en % du temps de présence sur la SAU	Nombre d'animaux produits	Poids vif moyen en kg	kgMS ingéré total /jour/tête	
5								
36	Bovins viande	nb	temps (j/an)	pâturage %	nb vendus	Poids vif	kg MS/j	let
37	Vaches allaitantes					420 kg	10,50 kg	
38	Vaches (type Créole croisée)						0,00 kg	
39	Taureaux reproducteurs					600 kg	15,00 kg	
40	génisses 0-1 an					100 kg	2,50 kg	

Figure 9 : Capture d'écran d'un extrait du feuillet « animaux »

Le facteur d'émission de chaque catégorie, exprimé en kg CH₄/tête/an, est calculé à partir de l'énergie brute consommée par jour, du facteur de conversion du méthane¹³ et du nombre de jours passés sur l'exploitation (voir annexe 3, équation 2).

L'énergie brute consommée est obtenue grâce à la matière sèche ingérée quotidiennement et à l'énergie de l'alimentation (voir annexe 3, équation 3). Cette dernière est fixée à 18,45 MJ/kg selon les recommandations du GIEC (valeur par défaut, quelle que soit l'alimentation). Afin de palier la difficulté d'évaluer la quantité de fourrages consommée par des animaux au pâturage, la matière sèche ingérée est calculée grâce à la relation de Craptlet (1960), et dont l'adéquation en contexte tropical a été démontrée par Boudet (1968) et plus récemment par Archimède (2009) (voir annexe 3, équation 4).

Le facteur de conversion du méthane est calculé en fonction de la digestibilité de l'alimentation qui représente la part d'énergie brute de l'alimentation non excrétée dans les matières fécales (voir annexe 3, équation 5). Cette dernière dépend du type de fourrage, de leur âge, de la proportion de concentrés dans l'alimentation, du type de concentrés utilisés, etc. Elle est à renseigner dans ACCT-DOM, et ce sous forme d'une unique valeur fixe sur l'année, quelles que soit les variations de mode d'alimentation en fonction des saisons.

b- La prise en compte des émissions liées à la déforestation

ACCT-DOM Guyane calcule les émissions de gaz à effet de serre liées à la déforestation en suivant les indications du GIEC dans leur publication de 2003, « *Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur CATF*¹⁴ » du GIEC (GIEC, 2003). Certaines données sont à renseigner par l'auditeur au moment du diagnostic. D'autres, difficilement appréciables par ce dernier, ont été étudiées et fixées au moment de la construction d'ACCT-DOM Guyane, en cohérence avec le contexte local.

Dans l'outil, les émissions sont amorties de façon linéaire sur 20 ans, comme l'indique explicitement le GIEC : « lors du changement d'affectation d'une superficie terrestre, celle-ci est suivie dans cet « état modifié » pendant vingt ans, avec notification des effets sur les émissions et absorptions de CO₂ et de gaz sans CO₂ pour l'année initiale (1) et finale (20) » (GIEC, 2003). Ce choix a été retenu pour rester conforme et comparable à un standard international reconnu par la communauté scientifique. Il implique pour l'outil ACCT-DOM de ne retenir que les surfaces déforestées il y a moins de 20 ans. De plus, les émissions liées aux surfaces déforestées sur 20 ans sont divisées par 20 avant d'être intégrées au bilan.

¹³ Le pourcentage de l'énergie brute consommée converti en méthane.

¹⁴ Changement d'Affectation des Terres et Forêt

Selon les recommandations, le calcul des émissions se fait en 2 étapes : 1) Calcul des variations de carbone entre l'état forestier et l'état prairial. La conversion en CO₂ se fait via le rapport massique moléculaire du CO₂ et du carbone qui est de 44/12. 2) Calcul des émissions de gaz sans CO₂ (CH₄ et N₂O) émis lors de la combustion de la biomasse forestière.

Les variations de carbone entre l'état forestier et l'état prairial se calculent dans les compartiments « biomasse vivante¹⁵ » et « sol¹⁶ », et ce de manière indépendante (voir équation 1).

$$\Delta C(\text{TP}) = \Delta C(\text{TP biomasse vivante}) + \Delta C(\text{TP sols})$$

$\Delta C(\text{TP})$ = variation totale des stocks de carbone des terres converties en prairies (tC/an)

$\Delta C(\text{TP biomasse vivante})$ = variation des stocks de carbone de la biomasse vivante des terres converties en prairies (tC/an)

$\Delta C(\text{TP sols})$ = variation des stocks de carbone des sols des terres converties en prairies (tC/an)

Équation 1 : Variation totale des stocks de carbone des terres converties en prairies (source : GIEC, 2003)

La variation de carbone dans le compartiment biomasse vivante est égale à la différence entre le stock de carbone dans la biomasse vivante « avant la conversion » (la forêt) et le stock de carbone dans la biomasse vivante « immédiatement après la conversion¹⁷ ». On y ajoute le carbone stocké dans la biomasse de la prairie 1 an après conversion, en faisant l'hypothèse qu'elle arrive à un équilibre entre croissance, sénescence et consommation par les animaux et que son **stockage net** est nul (voir figure 10 et annexe 4, équation 3.4.13).

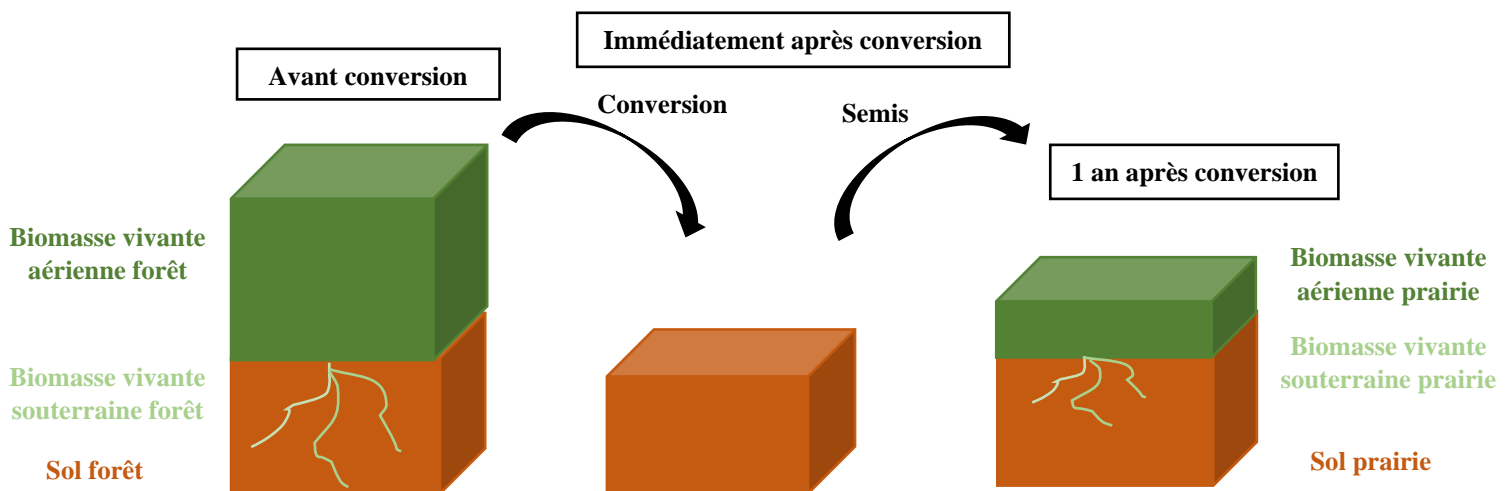


Figure 10 : Schéma de l'évolution de la biomasse vivante pour la conversion d'une forêt en prairie

NB : On suppose que toute la biomasse vivante forestière est défrichée, soit par brûlage, soit par décomposition. En réalité, la décomposition totale de la biomasse, peut prendre 10 ans. Le GIEC invite cependant à considérer que ce stock est perdu au cours de l'année de la conversion. Ainsi, stock de carbone immédiatement après conversion = 0. Au final, variation de C dans le compartiment biomasse vivante = C biomasse vivante forêt – C biomasse vivante prairies

¹⁵ Bassin détenant la biomasse aérienne (y compris tiges, souches, branches, écorces, semences et feuillage) et la biomasse souterraine c'est-à-dire les racines vivantes).

¹⁶ Bassin incluant le carbone organique des sols minéraux et organiques (y compris la tourbe) à une profondeur spécifiée.

¹⁷ La « conversion » correspond à la suppression de l'état « forêt », c'est-à-dire le processus de défrichage et de brûlage dans la plupart des cas.

Les émissions de gaz sans CO₂ libérées lors de la combustion de la biomasse forestière sont calculées à partir du stock de carbone brûlé et réellement consommé par le feu et de facteurs d'émissions (voir annexe 4, équation 3.2.19 et tableau 3A.1.15). Le stock de carbone brûlé est calculé à partir de la biomasse à brûler disponible, du facteur de conversion carbone/biomasse fourni par le GIEC (0,5¹⁸) et des facteurs de combustions liés au contexte de la zone d'étude (expliqués par la suite).

La méthodologie du GIEC suivie par ACCT-DOM fait l'hypothèse que seule la biomasse vivante aérienne forestière est brûlée, sur l'exploitation ou hors exploitation. De plus, si elle n'est pas brûlée elle est décomposée jusqu'à sa disparition. Ces parts se traduisent par la « **fraction brûlée sur site** », la « **fraction brûlée hors site** » et la « **fraction décomposée** » (voir figure 11). Ces valeurs sont à indiquer dans ACCT-DOM selon les modalités de la combustion lors d'un feu de déforestation. Parmi la biomasse forestière brûlée, une partie est oxydée et du carbone s'échappe effectivement dans l'atmosphère sous forme de gaz. Une autre partie n'est pas oxydée et reste sous forme de charbon stable. La partie oxydée s'appelle la « **fraction brûlée oxydée** » (voir figure 11).

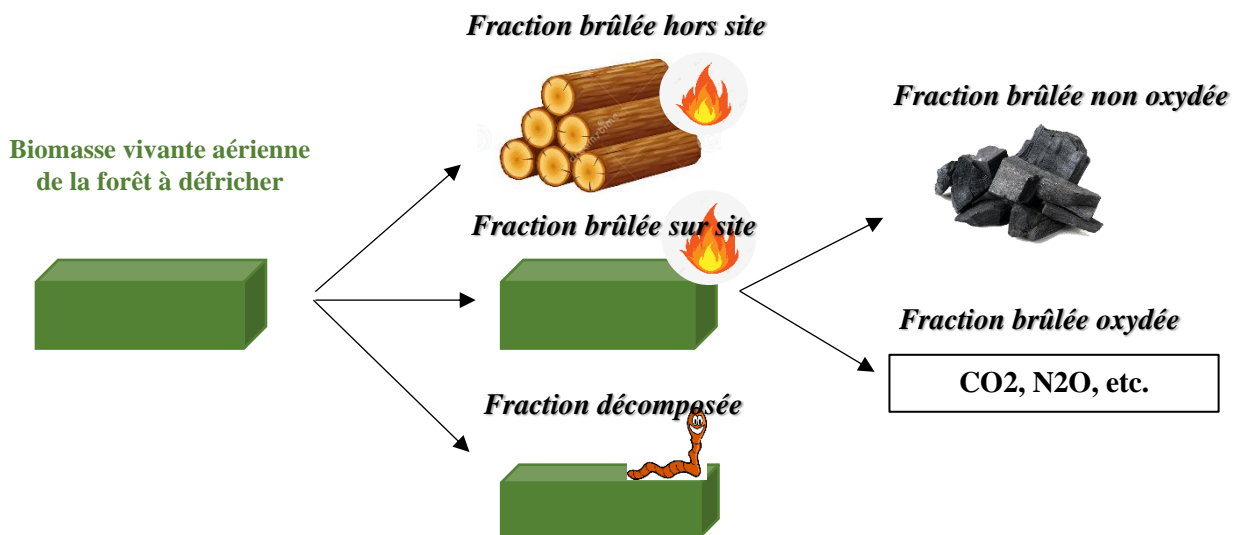


Figure 11 : Schéma du devenir de la biomasse vivante aérienne forestière défrichée

NB : Les fractions brûlées et décomposées sont des variables importantes à définir puisqu'elles permettent de calculer le stock de carbone brûlé, valeur de base pour le calcul des émissions des gaz sans CO₂

Pour le calcul des variations de carbone dans le compartiment sol, la profondeur considérée est de 30 cm, valeur par défaut du GIEC. Après défrichage, l'exploitation des terres a une influence sur le carbone organique des sols, et cette influence est différente pour les **sols minéraux**¹⁹ et les **sols organiques**²⁰ (voir équation 2).

¹⁸ Le GIEC considère que la biomasse vivante végétale renferme 50 % de carbone.

¹⁹ Sols obtenus à partir de la dégradation de la roche mère.

²⁰ Sols obtenus à partir de l'accumulation et décomposition des débris animaux et végétaux.

$$\Delta C(TP_{sols}) = \Delta C(TP_{minéraux}) - \Delta C(TP_{organiques})$$

$\Delta C(TP_{sols})$ = variation annuelle des stocks de carbone des sols des terres converties en prairies (tC/ha)

$\Delta C(TP_{minéraux})$ = variation annuelle des stocks de carbone des sols minéraux convertis en prairies (tC/ha)

$\Delta C(TP_{organiques})$ = variation annuelle des stocks de carbone des sols organiques convertis en prairies (tC/ha)

Équation 2 : Variation annuelle de carbone des sols des terres converties en prairies (Source : GIEC, 2003)

La variation de carbone dans les sols minéraux est égale à la différence entre le stock de carbone à l'état initial (la forêt) et le stock de carbone à l'état final (la prairie). En réalité, ce dernier est calculé grâce au stock de carbone à l'état initial affecté de facteurs l'ayant fait évoluer (voir annexe 4, équation 3.4.8). Les facteurs sont à choisir par l'auditeur en fonction de la gestion des prairies et des apports d'engrais, et sur l'appréciation de la personne réalisant le diagnostic (voir tableau 1).

Facteur	Modalité à choisir dans ACCT-DOM	Valeurs associées (adimensionnelles)
FRG (Gestion)	Prairies fortement dégradées	0,7
	Prairies moyennement dégradées	0,97
	Prairies non dégradées	1
	Prairies améliorées	1,11
FUT (Utilisation des terres)		1
FA (Apports)	Prairies non améliorées	1
	Nominal	1
	Elevé	1,1

Tableau 1 : Facteurs influençant le stock de carbone du sol forestier (source : GIEC, 2003)

Pour la variation de carbone dans les sols organiques, le drainage, ou autres perturbations dues à la gestion pour adapter les anciens sols forestiers en prairies gérées, peuvent entraîner des pertes de carbone dans ce type de sol. Elles s'expriment selon le GIEC via un unique « facteur d'émission » en tC/an/an et défini en fonction du climat. Il est estimé à 0,5 tC/ha/an en climat tropical.

c- Zoom sur le stockage de carbone

ACCT-DOM comptabilise le stockage de carbone par le recensement des pratiques de stockage dans les sols (non labour en semis direct, cultures intermédiaires, conversion de prairies en boisement, etc.) et des sources de variation de stock (présence de haies, de forêt ou de vieilles prairies). Chaque pratique ou source est associée à un coefficient de stockage exprimé en tC/ha/an et issu de diverses études. Des mesures faites par deux tours à flux²¹ présentes en Guyane (voir figure 12) ont permis de montrer que des forêts primaires tropicales et des sols de prairies de plus de 20 ans pouvaient stocker 2,5 tC/ha/an et 1,22 tC/ha/an respectivement (STAHL et al. 2015). Ces valeurs ont été implémentées dans l'outil au moment de la construction de ACCT-DOM Guyane.



Figure 12 : photographie du dispositif forestier Guyaflux installé à Paracou en Guyane depuis 2003

²¹ Dispositif permettant de mesurer les flux nets de CO₂ entre un système et l'atmosphère à l'aide de capteurs positionnés sur un mat positionné au-dessus du couvert végétal.

3) Adaptation de l'outil et de la méthode au contexte de Paragominas

Pour rappel, c'est ACCT-DOM Guyane qui a été utilisé. Ses coefficients étaient donc adaptés au contexte guyanais. Par exemple, pour le calcul des émissions de méthane entérique, il avait été fait l'hypothèse de prairies composées à 100 % de l'espèce de graminée *Bracharia humidicola*, possédant une digestibilité de 53,2 %. C'est une espèce qui a complètement disparue en Amazonie brésilienne. Les pâturages de Paragominas sont constitués de ressources fourragères différentes aux caractéristiques spécifiques, notamment de digestibilité. Or, comme le souligne le GIEC, l'estimation exacte de la digestibilité du régime alimentaire est particulièrement importante puisqu'une plage d'erreur de 10 % entraînera des erreurs de 12 à 20 % sur les émissions de méthane, gaz 25 fois plus puissant que le CO₂ (GIEC, 2006).

Pour le calcul des émissions de gaz à effet de serre liées à la déforestation, ACCT-DOM Guyane propose différents stocks de carbone de biomasse vivante forestière en fonction des types de forêts de Guyane et c'est à l'auditeur de choisir pour chaque diagnostic : forêts du littoral et de la plaine côtière à 156,95 tC/ha, forêts des plateaux bas à Moni, Goupi et palmiers à 173,4 tC/ha, etc.

Les forêts de Paragominas sont constituées de nombreuses espèces diversifiées : *Manilkara huberi*, *Hymenaea courbaril*, *Astronium lecointei*, *Parkia pendula* et *Couratari oblongifolia*, etc (Hasan, 2019). Contrairement à la Guyane, aucune forêt primaire intacte ne persiste à Paragominas (source : René Pocard-Chapuis, communication personnelle). A minima, les gros arbres des espèces commerciales ont déjà été prélevés et renfermaient un stock de carbone important. On parle de « **forêts primaires exploitées** ». A maxima, la forêt a déjà été déforestée à une époque plus antérieure, avant que la forêt ne repousse. On parle de « **forêt secondaire** » (voir figure 13). Dans les 2 cas, les stocks de carbone dans la biomasse des forêts est plus faible. Or, c'est un facteur primordial dans le calcul des variations de carbone lors de la déforestation.

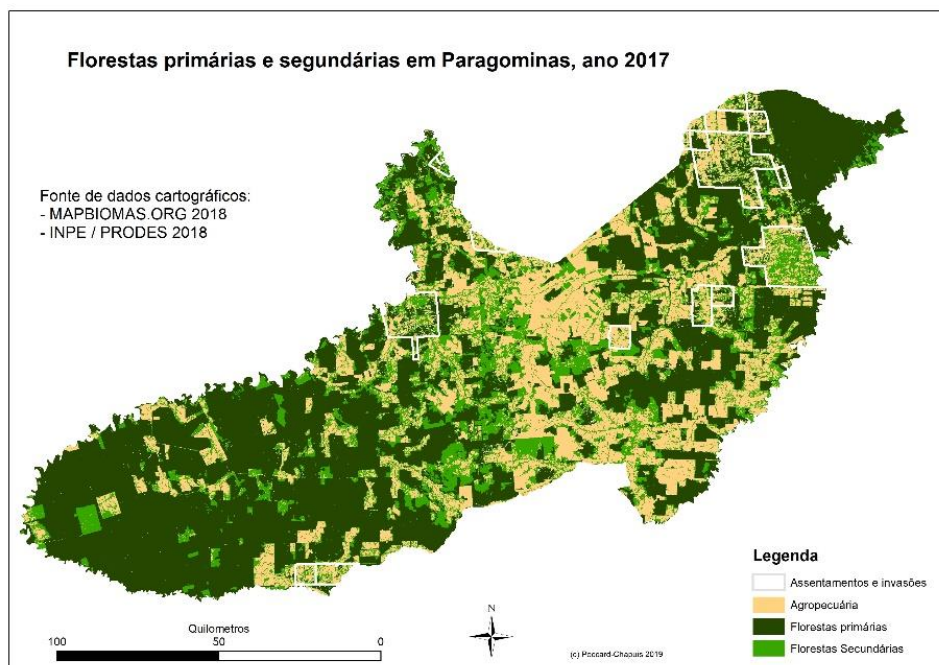


Figure 13 : Carte des types de forêts présentes à Paragominas en 2017 (élaboration : René Pocard)

NB : Les forêts « primaires » correspondent à des « forêts primaires et exploitées » (source : René Pocard, communication personnelle)

Compte tenu de ces éléments, des adaptations à la digestibilité des espèces fourragères et aux stocks de carbone dans les forêts ont dû être effectuées. Aussi, des coefficients énergétiques et d'émissions de gaz à effet de serre pour la mise à disposition d'intrants, de machines agricoles et de bâtiments sur site ont dû être calculés pour mieux correspondre au contexte de Paragominas : l'électricité issue d'une centrale hydroélectrique, des aliments du bétail produits sur place avec des pratiques agricoles différentes, etc. Certains intrants qui n'étaient même pas dans les listes de l'outil puisqu'ils n'ont jamais été rencontrés en Europe ont dû être ajoutés (le tourteau de palme par exemple).

Ainsi, après avoir identifié les premiers besoins en adaptations (caractéristiques des fourrages pour les émissions de méthane entérique, stocks de carbone des forêts pour les émissions liées à la déforestation), un travail de recherche bibliographique a été fait et les données de l'outil adaptées. La conduite des premiers entretiens, dans le but de tester et d'utiliser l'outil, a mis en lumière la nécessité d'adapter la méthode de diagnostic afin de correspondre à un système d'élevage différent, où les pratiques varient d'une année à l'autre par exemple. Pour rappel, l'inventaire des entrées et sorties de l'exploitation dans le but de réaliser un diagnostic ACCT-DOM se fait sur 1 an.

L'adaptation de l'outil a été faite au fur et à mesure des entretiens, qui ont également permis de connaître les intrants (aliments, engrais, etc.), machines agricoles et bâtiments utilisés pour calculer leurs coefficients. Certains ont été réutilisés d'ANERPAAM, adaptation de Planète à l'élevage bovin de Paragominas et pour lequel un travail d'adaptation avait déjà été fait. En l'absence de données spécifiques au Brésil, d'autres ont été réutilisés de Dia'terre et Planète, outils « fondateurs » d'ACCT-DOM réunissant un grand nombre de références calculées par des experts (pour un contexte français néanmoins). **L'outil final adapté et prêt à être utilisé sur les exploitations de Paragominas a été baptisé « ACCT-Pará »**

4) Mise en pratique de l'outil dans les exploitations

Au vu des précédentes expériences d'utilisation ACCT-DOM Guyane, il a été établi au préalable un objectif d'environ 2 jours d'enquêtes par exploitation, comportant : un premier entretien, un 2^e entretien éventuel pour compléter les données, la saisie des données dans ACCT-Pará et la rédaction d'un descriptif de l'exploitation. 40 jours de travail ont été comptabilisés entre les mois de juillet et d'août, soit un objectif de 20 entretiens à réaliser durant cette période.

La sélection des exploitations a été faite sur des critères de représentativité des élevages de Paragominas, sur la base d'une liste de fermes connues par le CIRAD ou l'Embrapa (le centre de recherche brésilien pour l'agriculture et l'élevage). Une quarantaine avaient déjà été entrevues et diagnostiquées avec l'outil ANERPAAM, de 2010 à 2015.

20 fermes ont été enquêtées. Pour faciliter les déplacements, plusieurs exploitations du même bassin de production ont été entrevues : 10 autour de la communauté Nova Jerusalem, à 150 km de Paragominas et 4 autour de la communauté Mandacarau à 30 km de Paragominas. 2 exploitations entrevues ont été écartées de l'analyse des résultats, l'une trop récente et l'autre par manque d'informations. Elles ont été remplacées par le diagnostic ACCT-Pará de 2 fermes entrevues en 2010 et 2015 dans le cadre d'un diagnostic ANERPAAM.

Ces 20 exploitations sont représentatives de la diversité des productions de Paragominas avec 10 élevages de **bovins laitiers** spécialisés, 6 élevages de **bovins allaitants spécialisés** (dont 3 naisseurs, 2 naisseurs-engraisseurs et 1 engraisseur spécialisé), 3 élevages à **double activité** c'est-à-dire possédant un troupeau laitier et un troupeau allaitant et 1 exploitation « **d'amélioration génétique** », vendant uniquement des taureaux reproducteurs.

Ces 20 exploitations représentent également une diversité en termes de taille (de quelques hectares à quelques milliers) et d'organisation avec des exploitations de type **familial** et de type **patronal** (« **fazendas** »). Ces dernières se distinguent par une main d'œuvre salariée et un propriétaire présent ou non sur l'exploitation²². En général, leurs techniques sont plus avancées. Aussi, des moyens financiers plus importants permettent d'acheter plus d'intrants.

Dans le but de tenter d'identifier les systèmes les plus performants, une typologie a été proposée à la suite des entretiens qui ont permis de voir des caractéristiques communes entre les exploitations. Nous avons identifié 8 « **petites exploitations familiales laitières** », 2 « **propriétés laitières** », 2 « **petits exploitants naisseurs de bovins allaitants** » et 3 « **grandes exploitations de bovins allaitants** ». 5 autres n'ont pas été classées car elles présentaient des caractéristiques intermédiaires.

Enfin, les exploitations de l'échantillon représentent une diversité de niveaux d'intensification, des systèmes de **pâturages extensifs traditionnels** aux systèmes tournants et enrichies en engrais, **plus intensifiées**. Afin d'évaluer l'impact du processus d'intensification sur les performances de l'élevage amazonien, 4 niveaux ont été identifiés à la suite des entretiens et les exploitations classées dans ces niveaux. Ils sont indépendants de la typologie précédemment établie. En effet, on retrouve des grandes exploitations de bovins allaitants très intensifiées et d'autres très extensives.

5) Analyse des résultats

Les entretiens ont été réalisés avec les personnes les mieux placées pour connaître le fonctionnement de l'exploitation : des propriétaires ou bien des vachers. Pour les exploitations à double activité, bovin viande et bovin lait, le bilan énergétique et les émissions de gaz à effet de serre sont présentés pour l'exploitation dans son ensemble et par activité.

Dans la partie IV, les bilans énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre totales de toutes les exploitations de l'échantillon dans son ensemble sont présentés. Ils sont aussi présentés par UGB et par ha de pâturages afin de pallier l'effet taille. Avec l'objectif à termes de comparer les résultats de performances environnementales avec des fermes européennes, l'UA (Unité Animale) n'a pas été utilisée. Les émissions sont présentées avec et sans celles liées à la déforestation afin de pouvoir comparer les systèmes entre eux. Elles ont en effet un impact très fort sur les bilans et ne sont pas forcément liées aux systèmes d'élevage en soit (laitier, allaitant, intensif, extensif, etc.).

Pour une approche intégrée, les bilans d'émissions des exploitations sont représentés en fonction des bilans énergétiques. Cette approche permet d'évaluer les exploitations combinant de bons résultats sur les 2 types de performances environnementales. Aussi, l'efficacité d'émissions est représentée en fonction de l'efficacité énergétique. Elles ont été calculées par tonne de viande pour les exploitations allaitantes, par 1000 litres de lait produits pour les exploitations laitières. Pour les exploitations à double activité, la consommation énergétique et les émissions émises sont celles de l'activité bovin lait lorsque l'efficacité est exprimée en litres de lait et de l'activité bovin viande lorsque l'efficacité est exprimée en tonne de viande produite.

Enfin de comparer les performances des différentes typologies établies précédemment, le bilan énergétique moyen des exploitations identifiées dans chaque catégorie est exprimé en fonction du bilan énergétique par ha et par UGB.

²² Souvent dans ce genre d'exploitation, le propriétaire ne prend pas part aux travaux de la ferme. Ils sont confiés aux vachers, voir à des gestionnaires. Il a d'ailleurs un autre métier la plupart du temps.

III – Résultats 1 : adaptation de l’outil et de la méthode au contexte de Paragominas

1) Emissions de méthane entérique

Les entretiens, ainsi que des sources locales ont permis d’évaluer que les prairies de Paragominas sont majoritairement constituées des espèces de graminées *Bracharia brizantha* et *Panicum maximum* (voir figure 14). L’Embrapa Gado de Corte dans le Mato Grosso fournit leur digestibilité, mesurée en saison sèche et en saison humide (voir tableau 1). Pour rappel, il s’agit de la part de l’énergie ou de la matière sèche du fourrage non excrétée dans les matières fécales.



Figure 14 : Photographie d’une prairie à Paragominas (sur l’exploitation Nova Aliança) (élaboration : Margot Moniot)

Espèce fourragère (cultivar)	Digestibilité	
	En saison sèche	En saison humide
Panicum maximum (cultivar Mombaça)	49 à 62 %	52 à 72 %
Bracharia brizantha (cultivars Marandu, Braquiaraio et Brizantao) ²³	50 à 55 %	55 à 65 %
Bracharia brizantha (cultivars Xaraes, MG5 Vitoria, Toledo)	50 à 52 %	53 à 60 %
Panicum maximum (cultivar Massai)	51 à 61 %	48 à 74 %

Tableau 2 : Digestibilité des espèces fourragères présentes dans les pâturages de Paragominas (source : application « Pasto Certo » de l’Embrapa Gado de Corte)

NB : ces valeurs correspondent à l’optimum de digestibilité, donc d’une feuille de 25 à 30 jours suivant les espèces. Seuls les systèmes de pâturages tournants permettent d’exploiter le fourrage à son optimum (voir encadré 3).

Aucune donnée ne permet de déterminer les proportions en surface de ces 4 graminées dans les prairies paragominenses. Il a donc été pris une moyenne. La digestibilité respective de chaque fourrage a été calculée en faisant la moyenne des intervalles de digestibilité en saison sèche et en saison humide, puis une moyenne entre les deux saisons puisqu’elles correspondent à 6 mois de l’année chacune. La valeur retenue est 56,8 %.

²³ L’Embrapa fournit une valeur de digestibilité pour les différents cultivars cités entre parenthèses. Il existe encore d’autres cultivars de *Bracharia Brizantha*, mais qui n’ont pas été rencontrés sur le terrain. Ceux rencontrés sont : MG5, Xaraes et Braquiaraio.

2) Emissions liées à la déforestation

A l'époque où la plupart des exploitations de l'échantillon se sont installées à Paragominas, dans les années 2000, les forêts défrichées en vue d'installer une activité agricole étaient encore majoritairement des forêts primaires. Berenguer et al. (2014) évalue le stock de carbone dans la biomasse vivante aérienne et dans le sol de ces forêts grâce à des mesures prises sur le terrain (voir tableau 3). Nous en avons déduit le stock de carbone dans la biomasse vivante souterraine (les racines) grâce au rapport système racinaire/système foliaire des forêts fourni par le GIEC (voir annexe 5, tableau 3A.1.8). Selon ces experts, la biomasse souterraine représente 24 % de la biomasse aérienne dans une « forêt primaire tropicale ». Grâce aux données de Berenguer et au facteur de conversion biomasse/stock de carbone, nous obtenons 32,13 tC/ha. Ainsi, les forêts déforestées de Paragominas présentent des stocks de 166 tC/ha dans la biomasse vivante (aérienne et souterraine) et de 63,48 dans le sol, données implémentées dans ACCT-Pará.

	Biomasse vivante aérienne	Sol²⁴
Primaire exploitée	133.87/±6.32	63.48/±3.66

Tableau 3 : Stocks de carbone dans la biomasse vivante aérienne et le sol des compartiments biomasse vivante aérienne et sol des forêts primaires exploitées de Paragominas (source : Berenguer et al. 2014). Unité : tC/ha

Les facteurs d'évolution du stock de carbone dans le sol sont à choisir par l'auditeur en fonction de l'état et du mode de gestion des pâturages (voir tableau 1). Le stock de carbone dans la biomasse vivante des prairies un an après conversion est difficile à évaluer. C'est une donnée qui varie en fonction du taux de chargement, des espèces fourragères présentes, du taux de dégradation de la pâture, etc. Pour la biomasse vivante aérienne, il a été pris 8 tC/ha, valeur moyenne fournie par le GIEC en zone tropicale humide (voir annexe 5, tableau 3.4.2). Avec un rapport système racinaire/système foliaire de 1,6 (Annexe 5, tableau 3A.1.3), le stock de carbone total est de 20,8 tC/ha.

Pour la mise à feu, la biomasse aérienne forestière est d'abord mise à terre, puis éventuellement accumulée en andain. Elle est laissée au soleil jusqu'à la fin de la saison sèche, puis est brûlée. Selon Fearnside et al. (2009), 50,8 % de la biomasse vivante aérienne de la forêt sont brûlés et oxydés lors d'un feu de défrichement. 2,2 % sont transformés en charbon de bois et correspondent à la « fraction non oxydée » définie précédemment (voir figure 11). Ces valeurs ont été établies grâce à un panel de mesures faites dans les états du Mato Grosso et du Rondônia, sur des feux de forêts primaires et secondaires, sans distinction de méthode de brûlage. Ces facteurs de combustion de la biomasse vivante aérienne forestière ont été choisis en absence de données spécifiques à Paragominas. De plus, elles correspondent aux recommandations du GIEC (annexe 5, tableau 3A.1.12).

De manière générale, toute la biomasse vivante aérienne est supprimée, soit par le feu, soit par la décomposition de la matière organique. Fraction brûlée sur site + fraction brûlée hors site + fraction décomposée = 1. L'industrie du bois a déjà extrait les gros arbres qui auraient pu être brûlés hors site. Ainsi, si fraction brûlée sur site = 0,58 selon Fearnside et fraction brûlée hors site = 0, alors fraction décomposée = 0,42. Au final, les facteurs de combustion choisis pour ACCT-Pará pour le calcul des émissions de gaz sans CO₂ sont :

²⁴ Les analyses de sol sont faites jusqu'à 30 cm de profondeur

Fraction brûlée sur site	0,58
Fraction brûlée hors site	0
Fraction brûlée non oxydée (charbon)	0,22
Fraction décomposée	0,42

Tableau 4 : Facteurs de combustion choisis dans ACCT-Para

Les premiers entretiens ont montré que la surface déforestée totale il y a moins de 20 ans sur une exploitation était une donnée difficile à obtenir lors d'un entretien. Souvent, les éleveurs se sont installés un peu avant les années 2000 et l'ouverture de l'espace s'est fait sur plusieurs années, à cheval sur les 2 décennies.

Les surfaces déforestées depuis moins de 20 ans ont donc été calculées par analyse cartographique. Le point GPS et le nom des propriétaires ont permis d'accéder au polygone de chaque exploitation dans la base de données publique du « Cadastre Environnemental Rural ». L'agrégation entre le polygone des exploitations et les surfaces forestières fournies par la base de données Prodes depuis 1988 a permis d'obtenir les surfaces en forêts de chaque exploitation d'année en année. Nous avons ensuite fait la différence cumulée de ces surfaces depuis l'an 2000.

3) Amortissement des pratiques

La plupart des éleveurs de l'échantillon se sont installés dans les années 2000 sur une zone forestière qu'ils ont dû ouvrir. Pour ouvrir, la biomasse forestière est défrichée, à la main ou de façon mécanisée avec des bulldozers, puis est brûlée. Le sol peut être travaillé (labour²⁵, correction de l'acidité avec du calcaire²⁶) si les moyens financiers le permettent. Les graminées fourragères sont ensuite semées.

Les conditions environnementales profitent aux graminées fourragères (voir I.2) mais aussi aux adventices. Elles imposent l'usage de moyens de luttés : via des herbicides chimiques, de façon mécanique avec des débroussailleuses manuelles ou tractées, ou par l'utilisation d'engrais pour favoriser la pousse de l'herbe qui étouffera les adventices. Lorsque la pâture est trop dégradée (voir figure 15) et que les conditions financières le permettent, celle-ci est replantée avec les mêmes pratiques qu'évoquées précédemment : labour, calcaire, semis, engrais. On appelle cela le renouvellement de la pâture. Il existe aussi des pratiques de renouvellement appelées « barreirao », qui consistent à planter des cultures (maïs, sorgho ou soja) pendant 1 ou 2 ans avant de ressemer l'herbe. 2 exploitations rencontrées ont déjà utilisé ce système.

²⁵ Le labour entraîne des variations de stocks de carbone dans les sols traduits en émissions CO₂ par ACCT-DOM (dans le feuillet « stockage carbone »). Pour ne pas plus compliquer la saisie des données, il a été décidé de ne pas élargir l'amortissement des intrants aux émissions liées aux variations de carbone. Ainsi, l'inventaire des pratiques ayant un effet sur les stocks de carbone se fait uniquement sur l'année de l'inventaire.

²⁶ L'acidité des sols est un problème universel en Amazonie. Tous les agriculteurs ayant les moyens répandent du calcaire avant le semis.



Figure 15 : Photographie des 2 pâtures de Paragominas, l'une dite « (très) dégradée » (à gauche) et « propre » (à droite) (élaboration : Margot Moniot)

NB : La dégradation d'un pâturage peut prendre 2 formes : perte de biomasse végétale (photo à gauche) ou expansion de la matière végétale jusqu'à l'apparition d'une forêt secondaire

Afin de prendre en compte ces pratiques, un système d'amortissement linéaire des intrants utilisés lors de ces travaux a dû être intégré au diagnostic ACCT-DOM. Pour les semences et les carburants, il a été pris un amortissement de 15 ans, durée de vie moyenne reconnue d'un pâturage (source : René Pocard-Chapuis, communication personnelle). Le calcaire et les engrais ont été amortis sur 6 ans, fréquence moyenne de leur utilisation (voir tableau 5).

Intrant	Amortissement
Essence	15 ans
Semences	15 ans
Calcaire	6 ans
Engrais	6 ans

Tableau 5 : Amortissement des différents intrants lors de la réforme d'un pâturage

La consommation de carburant pour le renouvellement des pâturages est une information qui a été difficile à obtenir lors des entretiens. Elle a été calculée en prenant les surfaces travaillées, le nombre de passage et les références de consommation en fonction des travaux agricoles fournies dans ACCT-DOM et basé sur Dia'terre, bien qu'il s'agisse de valeurs établies en France (voir annexe 6).

L'amortissement des intrants liés à ces travaux a finalement amené à poser des questions sur les pratiques historiques de la ferme, demandant un effort de mémoire considérable. Afin de structurer le plus possible les entretiens, une nouvelle trame a été construite, avec des questions en 3 étapes suivant une logique temporelle, agronomique en cohérence avec le contexte agricole de Paragominas (voir tableau 6 et annexe 7).

		Informations obtenues
Etape 1 : semis des 1^{er} pâturages		
Quand êtes-vous arrivé sur l'exploitation ?		
Avez-vous ouvert des zones forestières pour y planter des pâturages ?	Défrichage avec tractopelle ?	<i>Essence à amortir</i>
	Utilisation du labour ? Combien de passage ?	<i>Essence à amortir</i>
	Quel type de semences utilisées ? Quelle quantité semée (kg/ha) ? Sur combien d'hectares ? Semis à la main ou au distributeur ?	<i>Semences à amortir Matériel de la ferme Essence à amortir</i>
	Utilisation d'engrais ? Quel type d'engrais ? En quelle quantité (kg/ha) ? Sur combien d'hectares ? Avec quelle machine ?	<i>Engrais à amortir Matériel de la ferme Essence à amortir</i>
Etapes 2 : Renouvellement des pâturages		
...		
Etape 3 : Entretien des pâturages		
.....		

Tableau 6 : Extrait de la nouvelle trame d'entretien

4) Période d'inventaire

Spécifiquement au nord du Brésil, la campagne agricole est réfléchi en fonction de la saison sèche et de la saison des pluies. Elles se déroulent respectivement de début juin à fin novembre (6 mois) et de début décembre à fin mai (6 mois) à Paragominas. La saison sèche est creuse en travail car la terre est difficilement maniable. C'est au contraire pendant la saison humide que les pâturages sont renouvelés. Ainsi, pour faciliter le travail de mémoire de la personne interviewée, les diagnostics ont été réalisés non pas sur l'année civile 2020, mais sur l'année agricole du Brésil : de juin 2020 à juin 2021.

5) Stockage de carbone dans les forêts

Aujourd'hui, Paragominas possède beaucoup de forêts secondaires (voir figure 13). Selon Heinrich (2021), les forêts secondaires tropicales stockeraient à l'année plus de carbone que les forêts primaires, due à leur plus grande vitesse d'accroissement. En effet, à l'aide de données satellites récoltées à travers l'Amazonie brésilienne, elle évalue ce stockage à 3 tC/ha/an, 60 % plus que celui des forêts primaires (1,3 tC/ha/an). Ce coefficient de stockage a été ajouté à ACCT-Pará, pour mieux correspondre au type de forêts présentes à Paragominas.

6) Autres adaptations

a- Electricité

Paragominas et sa région sont alimentées en électricité par le barrage de Tucuruí, à 430 km de la ville. Afin de modéliser les émissions indirectes liées à la production d'hydroélectricité, c'est le barrage très étudié de Petit Saut en Guyane qui a été pris comme référence. Selon l'ADEME, le barrage produit 450 GWh/an et libère 358 000 t eqCO₂/an en moyenne (valeur cumulée et amortie sur la durée de vie moyenne d'un barrage, établie à 100 ans). Son empreinte est donc de 0,8 kg eqCO₂/kWh (ADEME, 2016).

Les besoins énergétiques liés à l'utilisation et à la construction de ce barrage n'ont pas été trouvés. Selon Coltro et al. (2003) en revanche, la production d'1 kWh d'électricité pour le mixte énergétique du Brésil, constitué à l'époque de 389 centrales hydrauliques et seulement 29 centrales thermiques, nécessite 5,75 MJ.

Dans ce vaste pays (17 fois la France), les km de fils électriques entraînent des pertes d'énergie énormes. Selon l'EPE, Entreprise de Recherche sur l'Energie, dans son rapport annuel de statistiques sur l'énergie électrique en 2020 (EPE, 2021), les pertes d'énergie dans la région Nord représentent 27,9 %. En France, la moyenne prise est de 10 %. Pour 1 kWh consommé à la ferme, le barrage doit produire 1,28 kWh. Selon les sources précédemment citées, la consommation d'1 kWh sur l'exploitation agricole nécessite donc 7,36 MJ et émet 1,024 kg eqCO₂ hors site, coefficients implémentés à ACCT-DOM et utilisés pour l'énergie et les émissions indirectes de l'électricité (voir figure 17).

Emissions de GES Electricité				
PAYS	Diaterre et base Carbone			
	kg e C/kWh	kg CO ₂ /MWh	kg eq CO ₂ /GJ	
France (métropole)	0,0059	78	21,7	
Guadeloupe	0,0545	719	199,7	
Martinique	0,0265	350	97,2	
La Réunion	0,0591	780	216,7	
Guyane	0,0265	350	97,2	
Canaries	0,04545	600	166,7	
Brésil	0,07758	1024	284,4	

Figure 17 : Coefficients d'émissions pour la mise à disposition de l'électricité sur site pour chaque région où ACCT-DOM a été adapté et utilisé pour des diagnostics

NB : L'empreinte carbone de l'électricité du Brésil, issue à 100 % de l'énergie hydroélectrique, est plus élevée que celle des autres régions incluant l'énergie thermique. Cela remet en question l'image « d'énergie verte » de l'hydroélectricité.

b- Aliments achetés

Même si la plupart des exploitations nourrissent leurs animaux à l'herbe exclusivement, certaines sont amenées à acheter des aliments pour l'engraissement notamment. Ainsi, les aliments du bétail rencontrés au cours des entretiens sont : le maïs (grain), le soja (grain et tourteau), le sorgho (grain), les tourteaux d'huile de palme, les tourteaux de graine de coton, le son de riz et le blé. Les tourteaux de graine de coton n'étaient pas présents dans les listes d'aliments proposées et ont dû être ajoutés.

Selon des sources locales, le maïs, le soja grain et le sorgho sont produits à Paragominas. L'usine de trituration de soja la plus proche se trouve dans la ville de Balsas à 450 km. Les tourteaux de graine de coton sont également produits là-bas. Les tourteaux d'huile de palme sont produits à 100 km, le son de

riz à Belém à 300 km, le blé dans l'état du Paraná à 2 300 et l'urée à Sao Paulo. Ils sont transportés jusqu'à Paragominas en camion, sauf l'urée qui est d'abord transportée en bateau jusqu'à Belém.

Selon la base de données ECO-ALIM²⁷ certifiée par l'ADEME, les graines de soja fabriquées au Brésil (associées à la déforestation) consomment 9 330 MJ/t et émettent 2 060 kg eqCO₂/t. Pour les tourteaux de soja, on comptabilise 8 970MJ/t et 1 710 kgeqCO₂/t.

Selon Duarte (2017) et Martins (2015), les demandes énergétiques de la production de sorgho et de maïs sont de 15 127 MJ/ha et 14 471 MJ/ha respectivement. Avec des rendements moyens de 1,5 t/ha et de 7,2 t/ha de grain en moyenne à Paragominas selon l'Embrapa Amazonie Orientale, nous obtenons 10 085 MJ/t de sorgho et 2 009 MJ/t de maïs.

Selon Guimaraes (2016), les émissions de gaz à effet de serre des phases agricoles liées à la production d'éthanol hydraté de sorgho et de maïs au Brésil sont de 430 kg eqCO₂ et 1 100 kg eqCO₂ par m³ d'éthanol produit. Avec des rendements industriels de 353,3 L/t de sorgho et 361,6 L/t de maïs, valeurs prises par l'étude, l'empreinte d'une tonne de sorgho est de 1 218 kg eqCO₂ et l'empreinte d'une tonne de maïs est de 3 047 kg eqCO₂.

De la même façon, les données issues de l'étude de Sousa et al. (2010), déjà utilisées dans ANERPAAM ont été prises pour le coefficient des tourteaux d'huile de palme. Pour les sons de riz, le blé, les tourteaux de cotons et l'urée, c'est les coefficients fournis par Dia'terre qui ont été gardés en l'absence de données plus récentes. Un tableau en annexe 8 résume l'ensemble de ces coefficients.

c- Semences fourragères

Les semences achetées dans les systèmes étudiés sont uniquement des semences de graminées pour le semis des pâturages. Elles viennent toutes de São Paulo, transportées jusqu'à Belém en bateau puis jusqu'à Paragominas en camion. Aucun travail d'analyse de cycle de vie ne permet de connaître le coût énergétique et carbone de la production de ce genre de semence au Brésil. Les coefficients issus de Planète pour les semences fourragères ont été utilisés (9,4 MJ/kg et 0,86 kg eqCO₂/kg) (voir annexe 9).

d- Animaux achetés

Les entretiens ont montré que certaines exploitations de Paragominas achetaient des animaux, principalement des broutards de 8 mois pour les exploitations allaitantes et des génisses pour les exploitations laitières. Les coefficients énergétiques et d'émissions de ces animaux ont été directement calculés avec ACCT-Pará.

Les broutards type viande proviennent la plupart du temps d'exploitations de type naisseurs extensifs (source : René Pocard-Chapuis). L'exploitation Leal Carvalho représente bien ce genre d'exploitation. Elle consomme 21 GJ/UGB/an et émet 89 t eqCO₂/UGB/an, en comptant le stockage carbone et les émissions liées à la déforestation. Pour un animal de 0,4 UGB²⁸, les coefficients sont de 8,4 GJ et 35,6 kg eqCO₂ par broutard acheté. Le coefficient énergétique est légèrement plus important que celui déjà implémenté dans ACCT pour un broutard guyanais (8,74 GJ/tête). Le coefficient d'émission est

²⁷ Base de données fournissant des valeurs d'impacts environnementaux (acidification, eutrophisation, etc.) en u/kg pour un grand nombre d'aliments du bétail achetés dans les exploitations française. Elle ne figure pas en annexe car n'est pas en libre-service.

²⁸ Taux de conversion pour les bovins de moins d'un an.

beaucoup plus important à cause de la déforestation qui affecte considérablement le bilan de l'exploitation (voir IV).

Les exploitations laitières de l'échantillon qui achètent des génisses sont de manière générale plus grandes (en termes d'hectares et de taille du troupeau), produisent plus de lait et ont plus de moyens que les autres. Elles achètent aux voisins, de petits éleveurs qui vendent leurs animaux de façon ponctuelle lorsqu'ils nécessitent une entrée d'argent. L'exploitation Boa Esperança représente bien ce genre de ferme. Elle a une consommation énergétique de 0,45 GJ/UGB/an et une empreinte de 57 t eqCO₂/UGB/an. Les génisses laitières font 0,8 UGB. Les coefficients sont donc de 0,36 GJ et 25,7 t eqCO₂/tête. D'après ACCT-DOM, une génisse laitière a un coefficient de 13 GJ et 7,6 t eqCO₂, reflétant un système d'élevage avec plus d'investissements et d'intrants (salle de traite, alimentation au maïs, etc.) mais sans déforestation.

e- Engrais et produits phytosanitaires

ACCT-DOM exprime les coefficients des engrais en MJ et kg eqCO₂ par kg N, kg P, kg K, kg CaO et kg SO₃. Ils sont déjà implémentés dans l'outil et correspondent à des moyennes internationales, quel que soit le lieu de fabrication de l'engrais et d'achat. C'est à l'auditeur d'informer la quantité d'engrais utilisée et sa composition en N, P₂O₅, K₂O, CaO et SO₃ en pourcentage. Cette partie n'a donc pas nécessité « d'adaptations ». La composition des principaux engrais rencontrés à Paragominas est indiquée en annexe 10.

De même, les coefficients des produits phytosanitaires sont exprimés en MJ et kg eqCO₂ par quantité de matière active, là encore selon des moyennes internationales en fonction du type de traitement : herbicide, fongicide, insecticides et autres. C'est à l'auditeur d'informer la quantité utilisée et la quantité de matière active du produit. A Paragominas, seuls des herbicides ont été rencontrés et leur composition est présentée en annexe 11.

f- Bâtiments et matériels

La plupart des exploitations de l'échantillon sont peu, voire non mécanisées. Les exploitants familiaux louent le matériel lorsque la situation économique permet de faire des travaux dans les pâturages. Dans les fermes laitières, la traite se fait à la main. 1 seul éleveur possède une machine à traire (mobile), qui n'est même pas utilisée par les vachers.

Néanmoins, du matériel a été rencontré : des tracteurs 4 roues motrices de 70 CV à 110 CV, des gyrobroyeurs tractés pour le désherbage mécanique, des distributeurs d'engrais et de semences de 600 L, des pulvérisateurs de 600 L, des charrues de type « covercrop » avec 12 et 18 disques, des plateaux, des remorques, etc (voir figure 17).

Charrue (nivelante) covercrop 32 disques



Gyrobroyeur tracté



Distributeur d'engrais et semences

Figure 17 : Photographie de quelques matériels agricoles vus pendant les entretiens (élaboration : Margot Moniot et internet)

NB : 2 types de charrues covercrop sont utilisées : la charrue pour retourner la terre et la charrue pour niveler le terrain. Cette dernière possède des disques plus petits.

ACCT-DOM fournit une liste de matériels typiquement rencontrés en Europe avec leurs coefficients déjà calculés. Ils correspondent à des moyennes internationales, quel que soit le lieu de fabrication et d'achat. La charrue covercrop 12 disques et le distributeur à engrais et à semences ont dû être ajoutés à la liste car ils ne correspondaient à aucun matériel proposé. Leurs coefficients ont été calculés grâce à leur poids moyen et aux données Dia'terre, fournissant des coefficients en MJ et kg eqCO₂/kg par type de matériel (voir annexe 12).

Chez tous les éleveurs rencontrés, les animaux sont au pâturage toute l'année. Des corrals en bois, avec un revêtement en béton ou sans, servent pour la traite, les soins et les manipulations (voir figure 18). Ils contiennent souvent d'ailleurs un couloir avec une aire de contention et peuvent être équipés d'une balance. Dans les exploitations mécanisées, un hangar en taule sert à stocker le matériel. De la même façon que pour le matériel, les corrals en bois ont été intégrés aux listes proposées par ACCT-DOM avec les coefficients Dia'Terre, fournis en MJ et kg eqCO₂/m² (voir annexe 12).



Figure 18 : Corral en bois de l'une des exploitations de l'échantillon (élaboration : Margot Moniot)

7) Evolution de l'outil

Le début du stage a été marqué par la publication d'un nouveau rapport du GIEC nommé 2019 « *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* » (GIEC, 2019). Dans celui-ci, un certain nombre des coefficients d'émissions issues des publications de 2006 sont modifiés. Ils concernent notamment les émissions de N₂O par les sols agricoles. Ces facteurs n'ont pas été explicités jusqu'à maintenant car ils n'ont pas nécessité d'adaptations. Ils sont cependant bien utilisés par ACCT-DOM et il a été fait le choix de les « actualiser » (voir annexe 13 pour un tableau comparatif entre les anciens et nouveaux coefficients).

Lors d'un changement d'affectation des terres, la perte de carbone du sol entraîne une minéralisation de l'azote afin de respecter l'équilibre C/N selon l'équation de l'annexe 14 fournie par le GIEC au chapitre sur les émissions liées au secteur CATF. Une partie de cet azote minéralisé est émise dans l'atmosphère sous forme de N₂O par la nitrification/dénitrification (émissions « directes »). Ces émissions font partie des émissions de N₂O par les sols agricoles mentionnées au paragraphe précédent et le facteur d'émission est donné par le GIEC au chapitre sur les émissions des sols agricoles (GIEC Chapitre 10, 2006). Elles sont intégrées dans le bilan d'émissions de gaz à effet de serre d'ACCT-Pará (voir figure 19).

Source du stock d'azote émettable Stock d'azote émettable Facteur d'émissions issus du GIEC 2019

Tab 3 Emissions directes de N ₂ O par les sols agricoles					
Pour le périmètre interne :		Quantité N	FEsols	total sols agricoles	
		par an	kgN ₂ O-N / kg	kg N ₂ O/an	tCO ₂ /an
Emissions directes des sols					
Epandage des engrais	N engrais acheté - NH ₃	0 kg N	1,60%	0	0
Epandage des effluents d'élevage	N bâtiment - NH ₃ - N expo	0 kg N	0,60%	0	0
Résidus de cultures laissés au sol	N des résidus incorporés	0 kg N	0,60%	0,0	0,00
Minéralisation N due à la perte de MO lors du changement d'affectation des terres					
	N minéralisation	0,0 kg N	0,60%	0	0,00
Apports N par le pâturage	N pâture - NH ₃	0 kg N		0	0
Cumul émissions directes des sols agricoles				0	0
Cumul tab 3 / N ₂ O direct :			tCO ₂ / ha SAU :	#DIV/0!	
			tCO ₂ / UGB :	#DIV/0!	

Figure 19 : Capture d'écran du bilan des émissions directes de N₂O par les sols agricoles d'ACCT-Pará

NB : La seule ligne ajoutée est celle encadrée en rouge. Les émissions issues de l'azote des déjections au pâturage font partie des « émissions par les sols agricoles » selon le GIEC, mais sont calculées dans la partie « CH₄ et N₂O émis par la fermentation entérique et la gestion des déjections » dans ACCT-DOM

8) Saisies des données dans ACCT-Pará

ACCT-DOM calcule le bilan énergétique et les émissions de gaz à effet de serre pour l'exploitation dans son ensemble et par atelier. Afin de représenter le fonctionnement de l'activité bovin à Paragominas, il a été décidé que les autres ateliers seraient pris en compte s'ils étaient directement liés à l'atelier élevage (du soja produit pour l'alimentation des animaux par exemple). Cependant, aucune exploitation rencontrée ne possédait une autre activité que l'élevage.

Des factures mensuelles d'électricité renseignent sur la consommation de l'exploitation. Cependant, afin de faire la distinction entre l'utilisation domestique et agricole, c'est un inventaire des postes consommateurs d'électricité qui a été réalisé dans chaque exploitation. Les postes rencontrés au cours des entretiens sont : des ampoules électriques, un tank à lait, des pompes à eau et des congélateurs. La puissance moyenne des objets (voir annexe 15), ainsi que leur utilisation journalière renseignée par l'éleveur, ont permis de calculer la consommation électrique annuelle. Les ampoules installées dans les enclos n'ont pas été comptabilisées, car leur consommation électrique a été considérée comme peu significative (quelques ampoules allumées 1 ou 2 h par jour).

Les motos et camionnettes n'ont pas été comptabilisées dans le matériel de l'exploitation. Il était en effet difficile de faire la distinction entre l'utilisation personnelle et professionnelle. Moins cher, le diesel est largement utilisé comme carburant pour les tracteurs. Les consommations d'essence représentent des volumes peu significatifs qui n'ont pas été pris en compte.

ACCT-DOM amortit l'emprunt du matériel en demandant de renseigner son pourcentage d'utilisation sur la ferme par rapport à l'extérieur. Les petits éleveurs qui renouvèlent leurs pâturages louent ou empruntent le matériel qu'ils utilisent quelques heures dans l'année. L'utilisation à l'extérieur était une donnée difficile à obtenir puisqu'ils provenaient en générale de nombreuses exploitations différentes. Dia'terre évalue l'utilisation d'un tracteur 4 roues motrices de 100 CV à 650 h par an. Pour une semaine de location (le maximum rencontré) à 8 h de travail par jours soit 52 h, cela représente un pourcentage d'utilisation sur site de 8 %. En amortissant sur 15 ans, durée de vie moyenne d'un pâturage, nous obtenons 0,5 %. Le matériel emprunté pour le renouvellement des pâturages n'a donc pas été pris en compte car peu significatif dans le bilan et demandant un effort d'enquête supplémentaire.

Pour la majorité des exploitations, la reproduction se fait par monte naturelle. Les taureaux n'ont pas été comptabilisés comme « achat d'animaux », étant donné qu'ils sont gardés environ 3 ans avant d'être revendus afin d'éviter les problèmes de consanguinité.

Pour résumer, ce que nous avons modifié sur l'outil ACCT-DOM....

- La digestibilité des fourrages pour les émissions de méthane entérique
- Le stock de carbone dans la biomasse et dans le sol des forêts pour le calcul des émissions liées à la déforestation
- Les facteurs de combustion de la biomasse aérienne forestière
- Le stock de carbone accumulé dans la biomasse des prairies 1 an après la déforestation
- Le coefficient d'émissions indirectes de l'électricité
- Les coefficients indirects du soja, maïs, sorgho... et des semences
- Les coefficients indirects des brouillards allaitants et génisses laitières achetés
- Les coefficients d'émissions directes et indirectes de N₂O par les sols agricoles

Ce que nous avons ajouté à ACCT-DOM....

- Les capacités de stockage de carbone d'une forêt secondaire
- Les coefficients indirects des tourteaux de coton achetés
- Les coefficients indirects du matériel agricole et des bâtiments de type corrals en bois
- Les émissions directes de N₂O par les sols dues à la minéralisation de l'azote suite à un changement d'affectation des terres

Ce que nous avons modifié dans la méthodologie....

- La méthode d'évaluation des surfaces déforestées
- La période d'inventaire

Ce que nous avons ajouté à la méthodologie....

- Un amortissement des intrants sur 15 ans au maximum

IV – Résultats 2 : efficacité environnementale des exploitations d'élevage bovin de Paragominas

1) Descriptif de l'échantillon

a- Par type

Un descriptif de chaque exploitation se trouve en annexe 16 et 17. Nous avons distingué 4 types fonctionnels sur la base d'une évaluation qualitative de leur système d'élevage :

Type	Caractéristiques	
Petites exploitations laitières familiales (8 exploitations) <i>3 Irmaos, 5 Irmaos, 8 Irmaos, Bom Jesus, Nova Aliança, Boa Esperança, Sao Lucas, Sao Pedro</i>	- Entre 25 et 80 ha - Entre 5 et 45 vaches laitières - 1 200 L à 51 100L de lait/an - 1 chef d'exploitation et sa famille - Non mécanisées	- Animaux de race mixte - Alimentation au pâturage - Reproduction par monte naturelle - Pas d'équilibre du troupeau de vaches laitières (1)
Propriétés laitières (2) <i>Trieste et Josiane</i>	- Entre 63 et 220 ha - 51 à 100 vaches laitières - 65 700 à 83 950 L de lait - 1 propriétaire présent ou non et une main d'œuvre salariée	- Mécanisation possible - Animaux de race croisée avec sang de Girolandaise (2) - Reproduction par monte naturelle ou IA - Equilibre du troupeau
Grandes exploitations naisseurs engraisseurs de bovins allaitants (3) <i>Pau d'Arco, Teolinda, Sao Luis</i>	- 1 000 à 6110 ha (560 à 2 300 ha de pâturages et 300 à 3 500 ha de forêts) - 400 à 1 500 vaches allaitantes - 400 à 1 400 taurillons produits/an	- 1 propriétaire présent ou non et une main d'œuvre nombreuse - Mécanisées - Animaux de race spécialisée Nelore - Reproduction par IA
Petites exploitations naisseurs de bovins allaitants (2) <i>Leal Carvalho et Rancho Uraim</i>	- 350 ha - 130 à 180 vaches allaitantes - 60 à 100 brouards vendus/an - 1 chef d'exploitation présent et une main d'œuvre salariée	- Mécanisation possible - Animaux de race spécialisée Nelore - Reproduction par monte naturelle - Equilibre du troupeau

Tableau 7 : Descriptif des exploitations de l'échantillon par caractéristiques communes

NB : Les fermes Trevo, Sitio Rancho Fundo, Marilia, Rancho Fundo et Carolina n'ont pas été classées car elles ne correspondaient pas exactement aux caractéristiques communes

(1) Ces exploitations gardent toutes les génisses et vendent très peu de vaches de réforme jusqu'au moment où elles auront besoin de vendre les animaux pour une entrée d'argent. Le troupeau représente un filet de sécurité économique. L'offre fourragère n'est jamais en accord avec leur nombre d'animaux

(2) Race typique du Brésil. C'est un croisement entre la race zébuine Gir et la race bovine Prim'Holstein (appelée « Holandesa » au Brésil)

b- Par niveau d'intensification

6 exploitations de l'échantillon ont été identifiées comme « extensives » (voir tableau 8). Elles n'ont jamais renouvelé leurs pâturages, qui se trouve souvent en mauvais état. L'entretien se fait de façon mécanique, en coupant les mauvaises herbes à la faux ou bien avec le gyrobroyeur manuel ou tracté. Aussi, des herbicides peuvent être appliqués de façon localisée sur les adventices. Les animaux restent sur la même parcelle sur de longues périodes et la charge animale est faible.

3 exploitations n'ont jamais réformé leurs pâturages mais initient le processus d'intensification avec du pâturage tournant. 3 exploitations renouvèlent leurs pâturages lorsqu'ils sont en mauvais état et que les conditions économiques le permettent. Les parcelles sont labourées puis semées, généralement à la main. De façon très occasionnelle, du calcaire est utilisé pour corriger l'acidité des sols.

6 exploitations ont été identifiées comme « intensifiées ». Les pâturages sont renouvelés de manière régulière et mécanisée comme le présente la figure 8. Le cycle de réforme selon les exploitations. La plupart du temps, des analyses de sol sont faites pour identifier les besoins en correction de l'acidité de sol et en micronutriments.

Etape	Descriptif
1) Travail du sol/nettoyage	2 passages de charrue 1 passage charrue nivelante
2) Correction de sol	1,5 t/ha de calcaire
3) Semis	27 kg/ha
4) Apports	140 kg/ha de MAP

Tableau 8 : Schéma des pratiques de renouvellement des pâturages de l'exploitation Josiane

+ extensive

+ intensive

Pratiques	- Aucun renouvellement - Entretien mécanique ou/et usage de pesticides en application localisée - Pâturage classique	- Aucun renouvellement - Entretien mécanique et usage de produits phytosanitaires - Pâturage tournant	- Renouvellement ponctuel - Entretien mécanique et par produits phytosanitaires - Pâturage tournant ou classique	- Renouvellement régulier, avec apports (calcaire, engrais) - Entretien mécanique et par produits phytosanitaires - Pâturage tournant
Exploitations de l'échantillon	Carolina, 8 Irmaoes, Leal Carvalho, Sao Lucas, Bom Jesus, Pau D'Arco (6)	Sao Pedro, 3 Irmaos, Boa Esperança (3)	Nova Aliança, 5 Irmaos, Rancho Uraim (3)	Teolinda, Rancho Fundo, Sao Luis, Trieste, Josiane, Marilia

Tableau 9 : Niveaux d'intensification des exploitations de l'échantillon

NB : 2 exploitations sont en cours d'installation et n'ont pas été classées (Trevo et Sitio Rancho Fundo)

2) Résultats du diagnostic ACCT-Pará : bilans énergétiques et d'émissions de gaz à effet de serre des exploitations de l'échantillon

Pour rappel, le bilan énergétique correspond à la différence entre les sorties d'énergie et les entrées. Autrement dit, un bilan positif témoigne d'une production d'énergie (via le lait et la viande) supérieure à la consommation. Le bilan d'émissions correspond à la différence entre les émissions de gaz à effet de serre et le stockage de carbone. Un bilan négatif témoigne d'un stockage supérieur aux émissions. Les résultats des bilans énergétiques et d'émissions de chaque exploitation se trouve en annexe 18 et 19

a- Bilan énergétique

Exprimé à l'échelle de la ferme, les exploitations de l'échantillon présentent une consommation énergétique de 714 GJ/an et une production de 1 487 GJ/an pour un bilan énergétique positif de 772 GJ/an en moyenne. Autrement dit, elles produisent plus d'énergie qu'elles n'en consomment. Il y a une très grande variabilité (voir annexe 20). La ferme Josiane présente un bilan négatif. Elle consomme donc plus d'énergie qu'elle n'en produit. Marilia et Rancho Durain ont toutes deux des bilans quasi neutres et consomment donc autant qu'elles ne produisent. Les 17 autres exploitations montrent des bilans énergétiques positifs. Parmi elles, 13 exploitations présentent au moins 2 fois plus de sorties que d'entrées (Carolina, Pau d'Arco, Sao Luis, 5 Irmaoes, Leal Carvalho Rancho Fundo, Trevo, 3 Irmaoes, 8 Irmaoes, Boa Esperança, Bom Jesus, Sao Lucas et Sao Pedro).

Exprimé par UGB, le bilan énergétique est de 1,6 GJ/UGB/an en moyenne avec une consommation de 1,12 GJ/UGB/an et une production de 2,72 GJ/UGB/an. 2 exploitations se distinguent avec des balances fortement positives par rapport aux autres : Pau d'Arco et Sao Luis avec 5,2 GJ/UGB/an et 6,2 GJ/UGB/an. Les bâtons d'entrées et de sorties d'énergie montrent qu'elles présentent des valeurs de sorties particulièrement importantes par rapport aux entrées (voir figure 20).

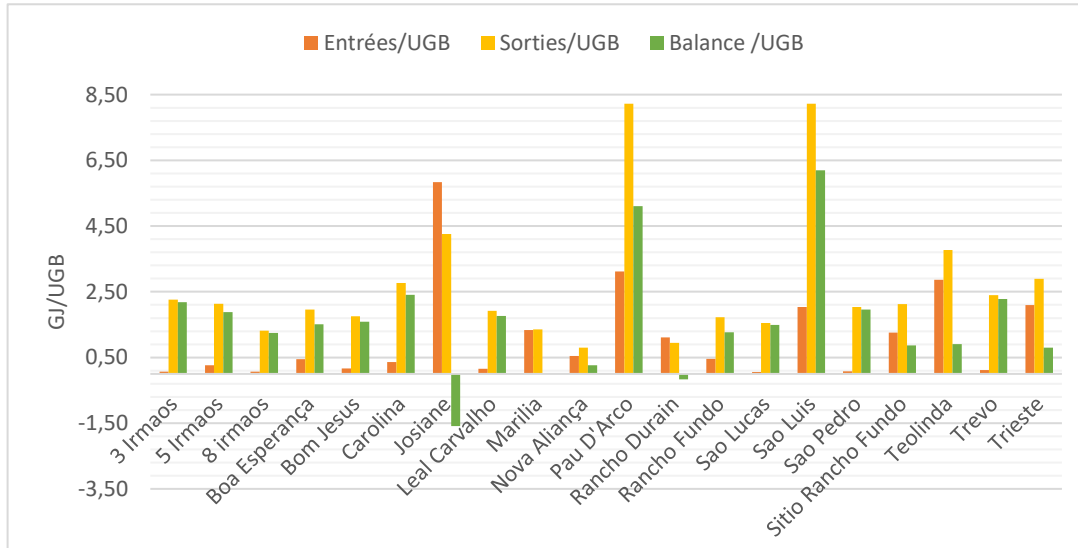


Figure 20 : Bilan énergétique, entrées et sorties d'énergie par UGB et par an pour les 20 exploitations de l'échantillon

Exprimé par hectare productif, c'est-à-dire par hectare de pâturage, les exploitations de l'échantillon ont un bilan moyen positif de 1,5 GJ/ha, avec une consommation de 1 GJ/ha et une production de 2,5 GJ/ha. Des exploitations qui ne se distinguaient pas particulièrement avant apparaissent, comme les exploitations Sao Pedro, 3 Irmaos et 5 Irmaos qui ont des bilans par unité de surface particulièrement élevés. La représentation de la consommation d'énergie et la production par ha montrent une forte production pour une faible consommation (voir annexe 21).

En moyenne sur l'échantillon, 54 % des entrées d'énergie sont liées à l'achat d'aliments, d'animaux ou aux frais d'élevage (vétérinaire, sel). 19 % sont liées à l'achat d'engrais, de phytosanitaires ou de semences. 25 % sont liées à l'utilisation de l'énergie (combustibles ou électricité). L'énergie allouée à l'utilisation de matériels et de bâtiments représente un très faible pourcentage de 2 %.

En observant plus précisément la part des entrées d'énergie allouées aux différentes activités pour chaque exploitation, on remarque que cette dernière reste d'ailleurs inférieure à 10 % pour 17 exploitations (voir figure 21). La part allouée à l'achat d'aliments/d'animaux/frais d'élevage représente plus de 80 % dans 6 exploitations : 3 irmaos, Boa Esperança, Leal Carvalho, Pau D'Arco, Sao Lucas, Sitio Rancho Fundo. Il permet également de voir que la ferme Trieste se distingue avec une très forte consommation d'énergie due à l'utilisation des carburants et de l'électricité.

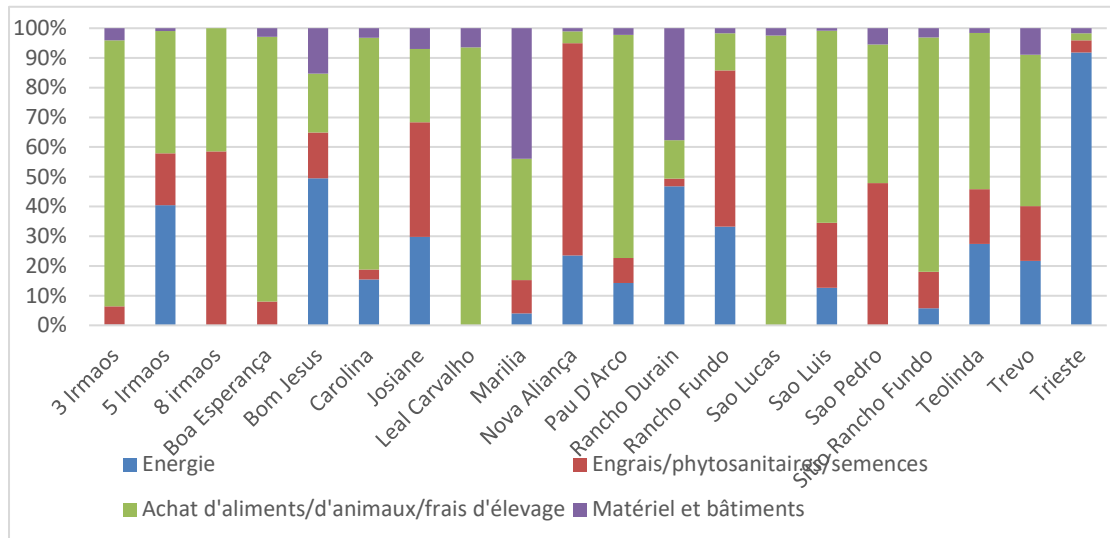


Figure 21 : Part des entrées d'énergie allouées aux différentes activités pour les 20 exploitations de l'échantillon

b- Bilan d'émissions

Les exploitations de Paragominas présentent un bilan d'émissions nettes de -740 t eqCO₂/an, avec 2 151 t eqCO₂/an d'émissions brutes et un stockage de 2 891 t eqCO₂/an, sans compter les émissions dues à la déforestation. Autrement dit, l'ensemble de l'échantillon stocke plus de carbone qu'il n'en émet. Là encore, il y a une très grande variabilité dans l'échantillon (voir annexe 22). 7 exploitations ont des émissions négatives et stockent donc plus qu'elles n'émettent. 13 ont des émissions positives et stockent donc moins qu'elles n'émettent. Teolinda se distingue par un fort bilan positif d'émissions à l'échelle de l'exploitation.

Même si elles n'ont pas déforesté dans l'année 2020, les fermes sont toutes situées dans des zones déforestées, dont une partie il y a moins de vingt ans. Ces émissions sont donc en cours d'amortissement selon les normes du GIEC. En comptant cet amortissement de la déforestation sur 20 ans, c'est-à-dire en incluant dans le calcul le secteur CATF, la moyenne des émissions brutes passe à 9 081 t eqCO₂/an, dépassant largement les capacités de stockage de carbone des exploitations. Les émissions nettes deviennent positives et atteignent 6 190 t eqCO₂/an en moyenne.

Exprimé par UGB, les émissions brutes sont de 5 t eqCO₂/UGB/an et les émissions nettes de -1 t eqCO₂/UGB/an, sans le secteur CATF. 2 exploitations se distinguent particulièrement, Sao Luis et Trevo avec des émissions particulièrement négatives par rapport aux autres de -1 t eqCO₂/UGB/an et -18 t eqCO₂/an r par rapport aux autres de -1 t eqCO₂/UGB/an et -18 t eqCO₂/an respectivement (voir figure 22). Avec le secteur CATF, on passe à 48 t eqCO₂/UGB/an d'émissions nettes en moyenne.

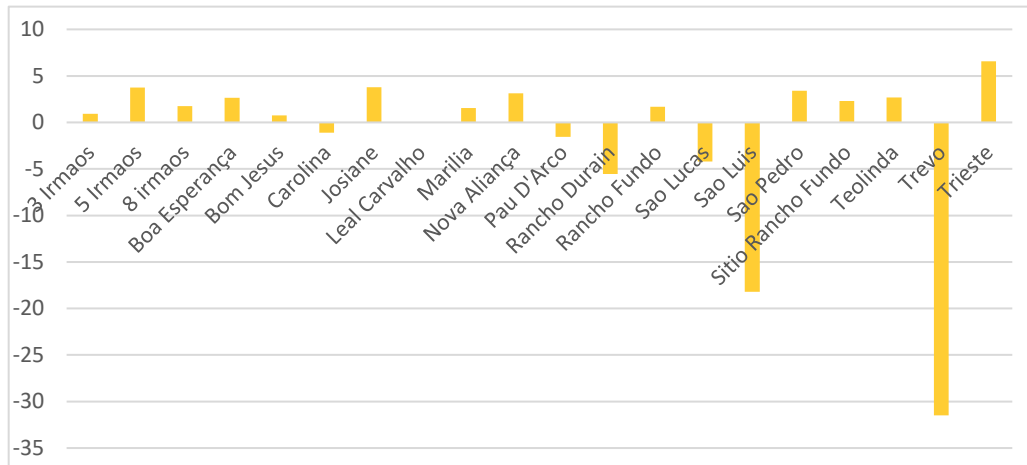


Figure 22 : Emissions nettes de gaz à effet de serre par UGB et par an sans comptabiliser le secteur CATF pour les 20 exploitations de l'échantillon

Lorsque la déforestation a moins de 20 ans et que ces émissions sont encore à amortir, elles représentent plus de 90 % des émissions brutes pour 13 exploitations de l'échantillon (voir annexe 23). Pour les fermes Bom Jesus et Nova Aliança par exemple, les émissions brutes passent de 6 t eqCO₂/UGB/an à 166,4 t eqCO₂/UGB/an et à 145,7 t eqCO₂/UGB/an respectivement.

Exprimé à l'hectare de pâturage, les exploitations ont un bilan d'émissions nettes négatives, avec une moyenne -0,13 t eqCO₂/ha (5 t eqCO₂/ha de stockage et 4,8 t eqCO₂/ha d'émissions brutes). 2 exploitations qui n'apparaissent pas avant ressortent particulièrement avec de plus fortes émissions par ha. Il s'agit de Sao Pedro et 5 Irmaos (voir annexe 24).

Lorsque ce secteur CATF n'est pas pris en compte, 49 % des émissions brutes sont issues des émissions du CH₄ et N₂O des animaux et des déjections. 30 % sont issus des émissions par les sols agricoles. Enfin, 21 % proviennent de l'utilisation de l'énergie et des halocarbures. Même s'il y a des disparités, les émissions issues des animaux représentent toujours une part importante, avec plus de 60 % dans 10 exploitations (voir figure 23).

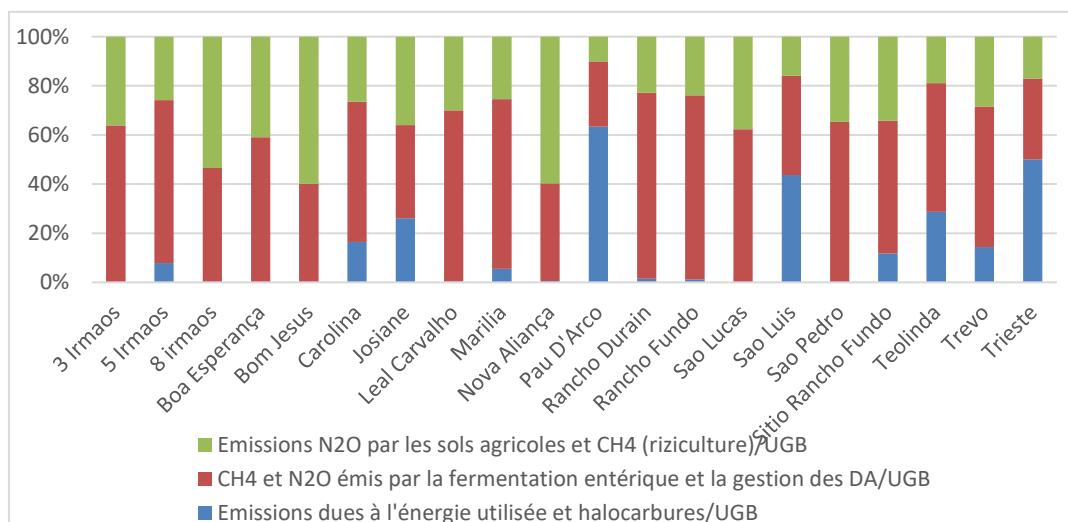


Figure 23 : Part des émissions brutes allouées aux différentes activités pour les 20 exploitations de l'échantillon

c- Approche intégrée

En combinant les 2 types de performances environnementales par UGB et sans compter les émissions issues de la déforestation, 13 exploitations de l'échantillon ont un bilan énergétique négatif et un bilan d'émissions positif (voir figure 24). Ainsi, la plupart des exploitations entrevues produisent plus d'énergie par animal qu'elles n'en utilisent, mais émettent des gaz à effet de serre. 2 exploitations ont un bilan énergétique franchement positif et un bilan d'émissions franchement négatif et se distinguent par leur bonne performance donc : Trevo et Sao Luis. Elles produisent plus d'énergie qu'elles n'en consomment, et agissent comme puits de carbone. Josiane se distingue également avec une bilan énergétique négatif et des émissions plus fortement positives par rapport à l'ensemble des exploitations.

En raisonnant à l'hectare, les exploitations de l'échantillon sont beaucoup plus dispersées mais on retrouve la même tendance (voir figure 25). Trieste apparaît avec de fortes émissions. Sao Pedro et 5 Irmaos identifiés auparavant n'apparaissent plus. Leurs émissions par hectares ou par UGB sont compensés par un bon bilan énergétique.

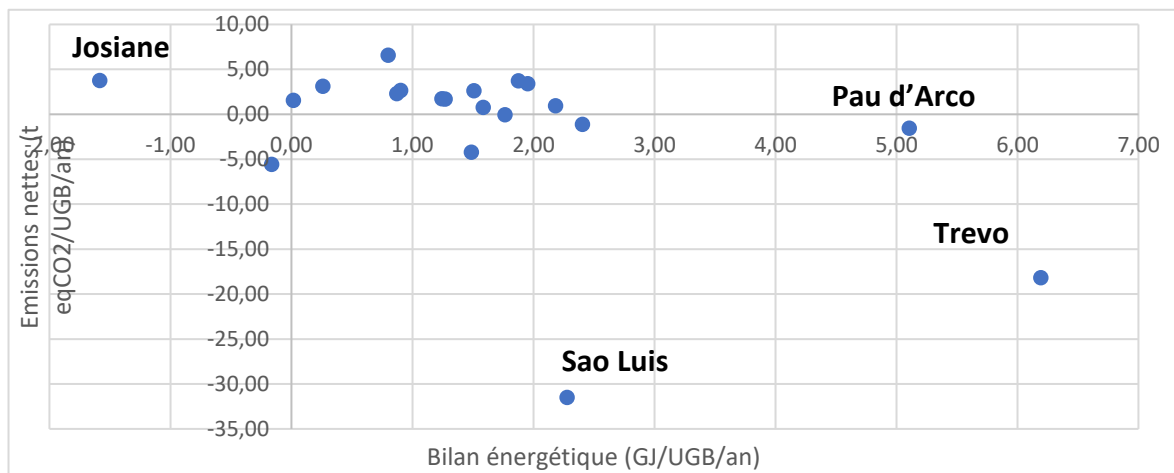


Figure 24 : Emissions nettes de GES/UGB (sans le secteur CATF) en fonction du bilan énergétique/UGB des 20 exploitations de l'échantillon

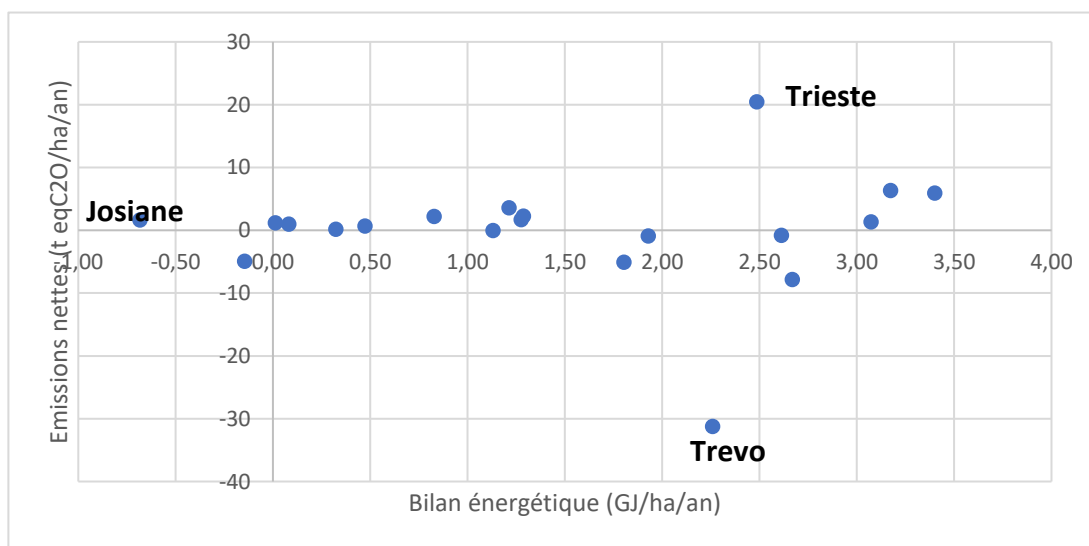


Figure 25 : Emissions nettes de GES/ha (sans le secteur CATF) en fonction du bilan énergétique/ha des 20 exploitations de l'échantillon

Pour les laitiers (13 activités dans l'échantillon), la vente de 1000 L de lait nécessite en moyenne 1,57 GJ/an et émet 0,4 t eqCO₂/an, sans le secteur CATF. Avec, on a passé à une empreinte moyenne de 524,8 t eqCO₂/an. 8 exploitations ont une demande énergétique faible pour de faibles émissions de gaz, voire des émissions négatives. Josiane se distingue avec une plus forte demande énergétique par litre de lait. Trevo se distingue par un fort stockage de carbone par litre de lait et une faible demande énergétique (voir figure 26). Elle est la plus efficiente.

Chez les allaitants (10 activités dans l'échantillon), la vente d'1 tonne de viande nécessite en moyenne 7,3 GJ/an et émet 7,14 t eqCO₂/an sans le secteur CATF et 478,8 t eqCO₂/an avec. La représentation des émissions nettes en fonction de la demande énergétique par tonne de viande vendue montre des exploitations particulièrement dispersées, sans tendance particulière (voir figure 27). Rancho Durain consomme beaucoup d'énergie par tonne de viande mais stocke du carbone. Nova Aliança consomme et émet beaucoup. Leal Carvalho semble être la plus efficiente.

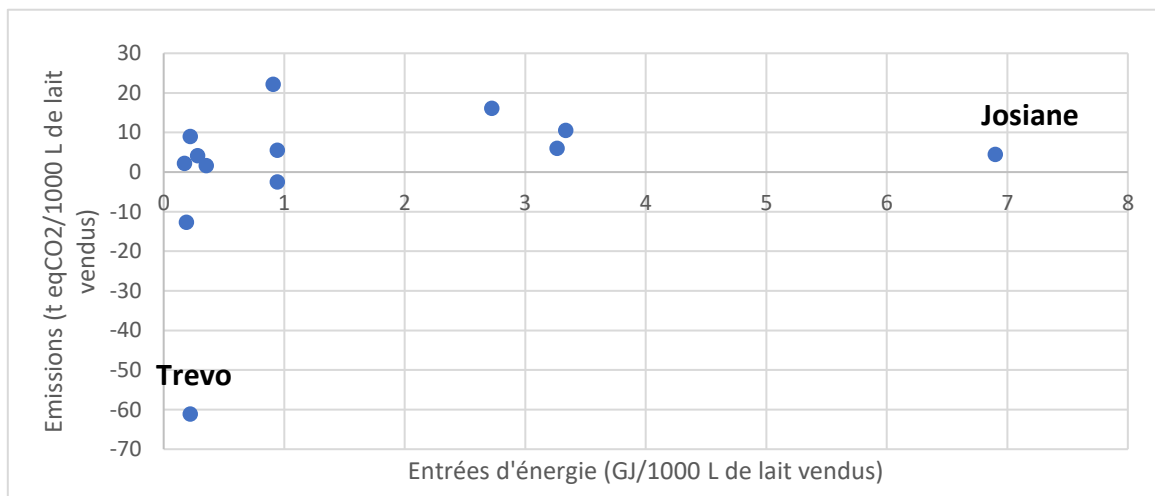


Figure 26 : Efficacité d'émissions de gaz à effet de serre en fonction de l'efficacité énergétique des 13 exploitations de l'échantillon possédant une activité bovin lait

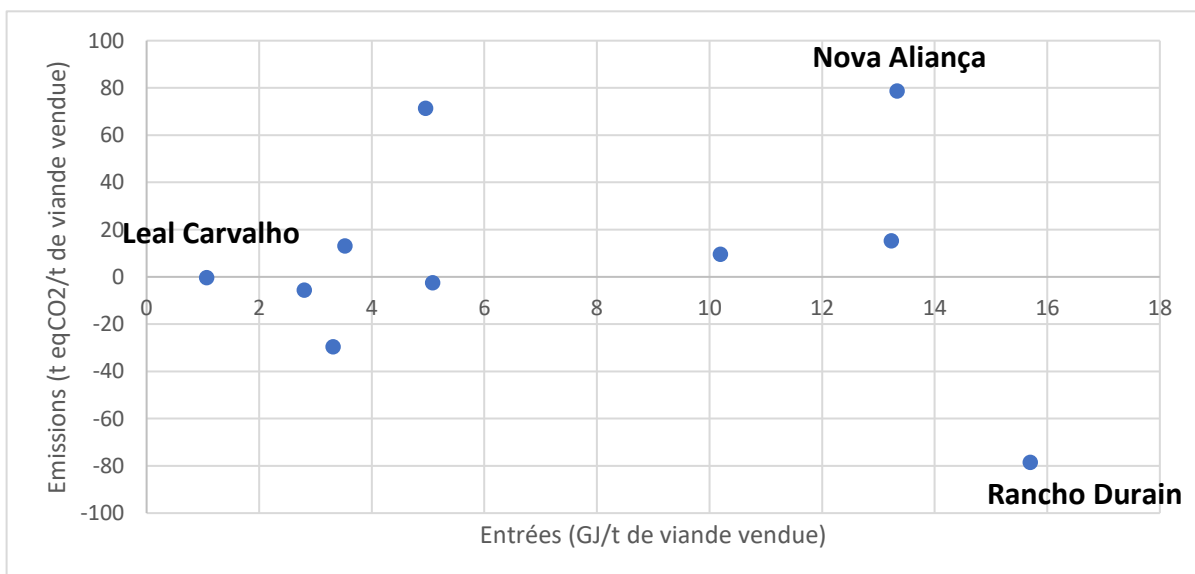


Figure 27 : Efficacité d'émissions de gaz à effet de serre en fonction de l'efficacité énergétique des 11 exploitations de l'échantillon possédant une activité bovin viande

En représentant le bilan d'émissions en fonction du bilan énergétique pour les typologies d'exploitations établis (figure 28 et 29), on remarque que les grandes exploitations de naisseurs-engraisseurs de bovins allaitants (GEN) sont les plus efficaces, que cela soit par ha ou par UGB, avec un bilan énergétique positif et des émissions négatives donc un stockage de carbone. Les petites exploitations de naisseurs de bovins allaitants (PN) ont une meilleure capacité de stockage de carbone que les exploitations familiales laitières (FL) mais ont un plus faible bilan énergétique. Enfin, les propriétés laitières (PL) semblent avoir le pire bilan à UGB et à l'hectare. Ce sont les seules à avoir à la fois un bilan énergétique négatif et un bilan d'émissions positif à l'UGB. A l'hectare, elles ont un meilleur bilan énergétique que les petits naisseurs (PN) mais de fortes émissions.

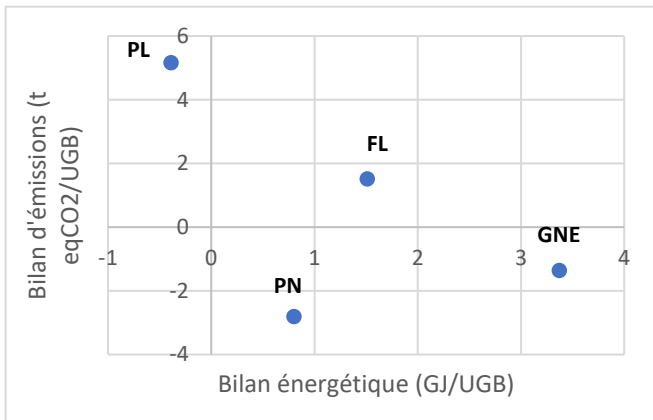


Figure 28 : Bilan d'émissions par UGB en fonction du bilan énergétique par UGB pour les 4 typologies d'exploitations

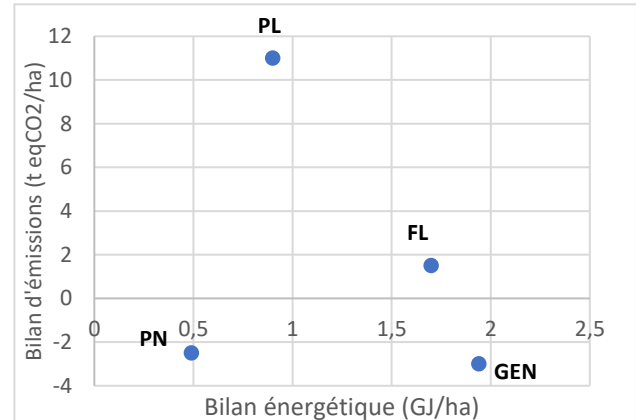


Figure 29 : Bilan d'émissions par ha en fonction du bilan énergétique par ha pour les 4 typologies d'exploitations

Il a été fait le même genre de comparaison entre les exploitations clairement identifiées comme extensives et comme intensifiées (voir figure 15). Par UGB et par ha, les résultats montrent que les exploitations intensifiées sont très légèrement plus efficaces d'un point de vue du carbone, et légèrement moins efficaces d'un point de vue énergétique (voir figures 31 et 32).

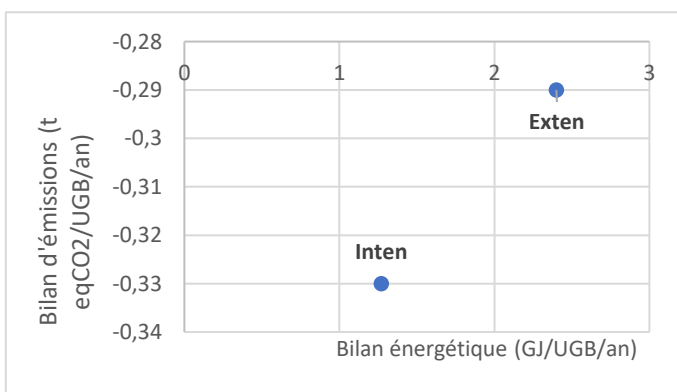


Figure 30 : Bilan d'émissions par UGB en fonction du bilan énergétique par UGB pour les exploitations intensifiées et extensives

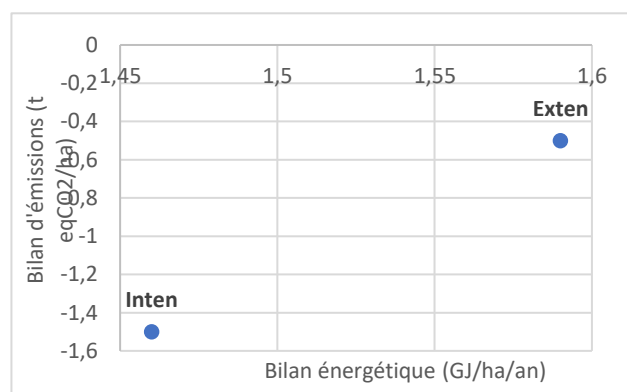


Figure 31 : Bilan d'émissions par ha en fonction du bilan énergétique par ha pour les exploitations intensifiées et extensives

Les tableaux 10, 11, 12 et 13 résument l'ensemble des résultats les plus importants de ces deux dernières parties.

	Bilan énergétique (GJ/an)			Bilan d'émissions (t eqCO ₂ /an)					
	Total	Par UGB	Par ha	Total		Par UGB		Par ha	
				Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans
Moy	772	1,6	1,46	-740	6 190	-1,36	48	-0,12	33
Max	7 767 (Sao Luis)	6,19 (Sao Luis)	3,4 (Sao Pedro)	8 277 (Teolinda)	39 166 (Sao Luis)	6,57 (Trieste)	167 (Bom Jesus)	20,4 (Trieste)	78 (Sao Lucas)
Min	-123 (Josiane)	-1,58 (Josiane)	-0,68 (Josiane)	-22 818 (Sao Luis)	-1 010 (Trevo)	-31,48 (Trevo)	-20 (Trevo)	-31,2 (Trevo)	-20 (Trevo)

Tableau 10 : Résultats de bilan énergétique et d'émissions avec et sans secteur CATF totaux, par UGB et par ha pour l'ensemble de l'échantillon

		Efficacité énergétique (GJ/tpV ou 1000 L/an)	Efficacité d'émissions (t eqCO ₂ /tpV ou 1000 L/an)	
			Sans CATF	Avec CATF
Allaitants	Moy	7,3	7,1	559
	Max	15,7	78,7	3 775
	Min	1,1	-78,5	-2,54
Laitiers	Moy	1,57	0,4	560
	Max	6,9	22,2	3 782
	Min	0,17	-61,1	-40

Tableau 11 : Résultats d'efficacités énergétiques et d'émissions avec et sans secteur CATF pour l'ensemble des ateliers bovins allaitants et bovins laitiers

	Bilan énergétique (GJ/an)			Bilan d'émissions sans CATF (t eqCO ₂ /an)		
	Total	Par UGB	Par ha	Total	Par UGB	Par ha
Grands allaitants	4130	3,37	1,94	-740	-1,36	-3
Petits allaitants	108	0,8	0,49	-373	-2,8	-2,5
Grands lait	172	-0,39	0,9	585	5,17	11
Petits lait	62	1,51	1,7	41	1,52	1,5

Tableau 12 : Résultats de bilan énergétique et d'émissions sans CATF moyen pour les exploitations identifiées dans les 4 typologies

	Bilan énergétique (GJ/an)			Bilan d'émissions sans CATF (t eqCO ₂ /an)		
	Total	Par UGB	Par ha	Total	Par UGB	Par ha
Extensives traditionnelles	710	2,4	1,59	5303	-0,29	-0,5
Intensifiées	1877	1,27	1,46	1332	-0,33	-1,5

Tableau 13 : Résultats de bilan énergétique et d'émissions sans CATF moyen pour les exploitations de l'échantillon identifiées comme extensives et comme intensifiées

V – Discussions

1) Discussions sur l’adaptation de l’outil et de la méthode au contexte de Paragominas

- La biomasse et le carbone des racines après déforestation pose question

Initialement ACCT-DOM Guyane ne prenait pas en compte le carbone contenu dans les racines des forêts pour le calcul des variations de carbone dans la biomasse vivante suite à la déforestation. Or, c’est un compartiment qui subit bien des modifications. Selon Raphael Manlay (enseignant chercheur à AgroParisTech), « ne pas compter les variations de carbone contenues dans la biomasse vivante souterraine pourrait sous-estimer les émissions de gaz à effet de serre liées à la conversion de forêt en pâturage » (communication personnelle).

Dans les calculs de Fearnside (2000), on considère que cette biomasse disparaît complètement par décomposition et la perte de carbone est traduite en émissions de CO₂. Dans ses inventaires nationaux de gaz à effet de serre, le gouvernement brésilien procède de la même manière (MCTI, 2020). C’est cette méthode qui a été utilisée dans ACCT-Pará. Or, cela revient à dire que tout le carbone de la biomasse racinaire forestière est minéralisé par les micro-organismes, et certains chercheurs contestent cette hypothèse. Selon Fontaine et al. (2007), une partie ne serait pas minéralisée mais plutôt accumulée à long termes dans les sols, configurant donc un stockage efficace du carbone racinaire après déforestation. Cela reflète peut-être un problème de méthodologie du GIEC, qui propose de calculer les variations de carbone dans la biomasse vivante et dans le sol de manière complètement indépendante.

Aussi, les spécialistes du carbone du sol remettent en question les 20 cm de profondeur pris compte comme valeur de référence pour le calcul des variations de carbone dans le sol pour le secteur CATF, mais aussi dans la plupart des études sur le stockage de carbone. Par exemple Stahl et al. (2016) montrent que les sols entre 20 et 100 cm de profondeur contribuent de manière significative à la séquestration.

- Imprécisions dans les coefficients indirects des aliments achetés liées à la déforestation

Les coefficients indirects de l’alimentation achetée déjà implémentés dans ACCT-DOM prennent en compte les émissions d’une déforestation éventuelle dans les exploitations où ils ont été produits. Par exemple, on considère que le soja acheté par les exploitations françaises provient du Brésil et de zones déforestées, ce qui se traduit par un coefficient d’émissions indirectes plus élevé par kg de soja acheté. Afin de rester cohérent avec l’outil, ceux intégrés dans ACCT-Pará ont été choisis parmi des ACV prenant en compte la déforestation. En réalité, aucune traçabilité de l’alimentation du bétail n’est faite pour savoir si elle est issue d’anciennes terres forestières rasées depuis moins de 20 ans puisque pour rappel, le GIEC considère que la déforestation est amortissable sur 20 ans.

2) Discussion autour des résultats

- Les résultats sont cohérents et comparables avec les études antérieures

Nos résultats sont cohérents avec ceux de Clerc (2012), qui évaluait l'efficacité énergétique moyenne de 8 grandes exploitations de naisseurs-engraisseurs de Paragominas à 9,724 GJ/tPV/an grâce à l'outil ANERPAAM. ACCT-Pará l'évalue à 6,2 GJ/tPV/an en moyenne pour les 3 exploitations identifiées dans cette catégorie (Sao Luis, Teolinda et Pau d'Arco).

Aussi, ils sont cohérents avec les résultats de Pachoud (2016), qui évaluait l'efficacité d'émissions des petites exploitations laitières à 7,8 t eqCO₂/ha avec le même outil (sans stockage carbone et sans le secteur CATF).

- Les résultats montrent des élevages plus efficaces à Paragominas qu'en Guyane ou en métropole

Les exploitations de bovins allaitants de notre échantillon ont une efficacité énergétique de 7,3 GJ/tPV/an et une efficacité carbone de 7,1 t eqCO₂/tPV/an sans le secteur CATF. En outre, il apparaît que certaines exploitations de bovins allaitants de Paragominas soient nettement plus efficaces que celles de Guyane, diagnostiquées à 36 GJ/tvv/an et de 30 t eqCO₂/tvv/an par ACCT-DOM (Dallaporta, 2015). Autrement dit, pour une tonne de viande produite, celles-ci consomment et émettent 4 fois plus d'énergie et de gaz à effet de serre que les exploitations. Cette meilleure efficacité d'émissions s'explique par la législation brésilienne qui, au contraire de la législation française, impose une réserve forestière sur chaque exploitation : celle-ci offre une imposante capacité de stockage et transforme la ferme en puit de carbone.

De même, elles sont plus efficaces que les fermes de Métropole dont la production d'une tonne de poids vif nécessite 30 GJ/an et émet 14 t eqCO₂/an (Bordet et al. 2010). Une meilleure efficacité énergétique peut s'expliquer par un plus faible besoin en matériels et en bâtiments grâce au climat. Cela serait cohérent avec la demande énergétique des exploitations de bovins allaitants au Congo où l'élevage peut se faire à l'extérieur toute l'année et qui demande là encore peu d'investissements traduit par une efficacité énergétique de 6,5 GJ/tvv/an (Duclos et al. 2013), valeur proche de nos résultats.

L'efficacité énergétique à Paragominas et au Congo renvoie directement aux systèmes fourragers, lesquels parviennent à convertir l'énergie solaire en aliments pour le bétail, ceci en utilisant peu d'intrants, d'équipements et d'énergies non-renouvelables. Souvent la principale dépense énergétique est celle des achats d'animaux (veaux, bovins maigres).

	Guyane (ACCT- DOM)	Métropole (Planète)	Congo (ACCT- DOM)	Brésil (ACCT- Pará)
Efficacité énergétique (GJ/tPV/an)	36	30	6,5	7,3
Efficacité carbone (t eqCO ₂ /tPV/an)	30	14	30	7,1

Tableau 14 : Tableau comparatif des résultats d'efficacité énergétique et d'émissions des différents outils dans différents pays pour des exploitations de bovins allaitants

NB : Les émissions du secteur CATF n'ont pas été pris en compte afin de pouvoir comparer le fonctionnement des systèmes en soit

- Les résultats montrent une grande diversité de situations

Tous les élevages ne sont pas uniformément efficaces à Paragominas car les principaux facteurs influant les bilans varient en fonction des pratiques, des systèmes d'élevage et de l'historique d'usage des sols.

Les exploitations d'engraisés spécialisés de bovins allaitants (Teolinda et Pau d'Arco) ont un bilan énergétique positif particulièrement haut. Il s'agit de systèmes d'élevage où le turn-over des animaux est rapide et où les bêtes qui en sortent pèsent 500 kg. La quantité de viande et donc l'énergie annuelle produite sont particulièrement hautes. Elles permettent largement de compenser l'énergie fossile utilisée.

Au contraire, la production de lait de certaines propriétés laitières ne permet pas de compenser l'énergie investie dans les intrants pour l'entretien des pâturages, ce qui se témoigne par un bilan particulièrement négatif comme c'est le cas de la ferme Josiane qui renouvelle ses pâturages particulièrement souvent (tous les 7 ans environ), avec beaucoup d'engrais (calcaire et MAP) et les entretient avec de grosses quantités de produits phytosanitaires.

Les grands naisseurs-engraisés de bovins allaitants peuvent être gros stockeurs de carbone si leur surface forestière leur permet de compenser leurs émissions (voir Sao Luis, figure). Ils peuvent aussi être gros émetteurs s'ils n'en possèdent pas suffisamment (voir Teolinda, figure). Une importante consommation d'électricité permet difficilement d'obtenir de bons résultats d'émissions, de surcroît lorsque l'exploitation ne possède aucune surface en forêts permettant de stocker du carbone comme c'est le cas de l'exploitation Trieste qui utilise beaucoup d'électricité pour son tank à lait (voir Trieste, figure).

A l'hectare et à l'UGB, des plus petites exploitations se distinguent. Trevo est emblématique d'une ferme efficace, parvenant à des hauts niveaux de production, en mobilisant peu d'intrants et d'énergies non renouvelables (voir figure 11). Elle produit 25 000 L de lait à l'année contre 17 000 en moyenne pour la catégorie. Surtout, 70 % de sa surface est recouverte de forêts lui permettant de stocker beaucoup de carbone.

Enfin, l'inclusion du secteur CATF dans le bilan des émissions de gaz à effet de serre des exploitations montre qu'elles ne sont pas liées au système d'élevage, puisque des fermes au bilan d'émissions précédemment quasi nul ressortent (Sao Lucas, Bom Jesus).

3) Limites et avantages de l'outil ACCT-DOM pour le diagnostic environnemental des exploitations d'Amazonie brésilienne

ACCT-Pará a mis en évidence une meilleure efficacité environnementale pour les exploitations extensives de l'échantillon. L'outil ne permet pas de montrer toutes les conséquences d'une mauvaise gestion des pâturages, caractéristiques de ces systèmes. On peut citer la perte des nutriments du sol comme le souligne Pocard-Chapuis (2020) et la perte de sol par érosion. Elle pourrait même être avantageuse dans le bilan carbone de l'exploitation puisqu'une pâture dégradée peut se caractériser par une importante biomasse végétale, mais représentée par les adventices donc. Par exemple, le 4^e inventaire national de gaz à effet de serre du Brésil (MCTI, 2020) considère un stock de 10 tC/ha pour les pâturages dégradés²⁹ et de 3,67 tC/ha pour les non dégradés, valeurs prises en compte dans le calcul des variations de carbone de la biomasse vivante lors d'un changement d'affectation des terres. En outre, la variation de carbone dans la biomasse vivante pour le passage d'une forêt à un pâturage dégradé est moins importante que pour le passage d'une forêt à un pâturage non dégradé alors que d'un point de vue agronomique, elles deviennent tout simplement improductives.

²⁹ Il semble important de préciser que le rapport n'indique pas la signification de dégradé/non dégradé

Aussi, l'inventaire des entrées et des sorties pour un diagnostic ACCT-DOM est usuellement fait sur une année. Cela est adapté à des systèmes agricoles cycliques, comme on peut le retrouver en France et en Europe. Ils utilisent les mêmes quantités d'intrants, possèdent le même nombre d'animaux et produisent les mêmes quantités d'une année sur l'autre. Or, nous avons vu que la plupart des exploitations rencontrées à Paragominas ont des pratiques très ponctuelles basées sur des cycles plus long. Cela concernait notamment les pratiques de renouvellement des pâturages. Nous avons donc dû intégrer un système d'amortissement des intrants achetés et utilisés (essence pour les travaux de labour amortie sur 15 ans, semences amorties sur 15 ans, engrais et calcaire amortis sur 6 ans) afin de pouvoir leur impact sur le bilan énergétique et d'émissions de l'exploitation dans un outil où l'inventaire des intrants se fait normalement sur une seule année. Cela relève d'un grand changement dans le concept même de l'outil.

Cependant, ACCT-Pará reste un outil permettant de mettre en avant 2 éléments majeurs de l'élevage bovin d'Amazonie : leur capacité à utiliser l'énergie solaire pour la transformer en une autre source d'énergie, à travers la viande ou le lait produit, et leur capacité à stocker du carbone dans les forêts permettant d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre de l'exploitation.

4) Pistes d'amélioration et perspectives

Comme évoqué dans ce rapport, le calcul des émissions de gaz par les animaux et leurs déjections, par les sols et par la déforestation suivent les indications et les facteurs donnés par les experts du climat de l'ONU, le GIEC. Leurs rapports méthodologiques sont des indications précieuses lorsque les pays doivent établir leurs inventaires de gaz à effet de serre dans le cadre des conventions sur le climat.

Pour chaque secteur d'émissions de gaz à effet de serre, le GIEC propose plusieurs méthodologies de calculs et elles sont classées selon 3 niveaux, de la plus précise à la moins précise (voir tableau 15). Le niveau 1 est le moins précis. Il utilise des données génériques fournies par le GIEC. Il en fournit un certain nombre en fonction du climat, de la région, etc. Le niveau 2 est un niveau intermédiaire. Il utilise des calculs intermédiaires où des facteurs peuvent être pris d'études menées localement ou du GIEC. Le niveau 3 est le plus précis. Il utilise les valeurs d'émissions directement mesurés dans un contexte proche. C'est à l'utilisation de choisir son niveau de méthodologie en fonction des données scientifiques dont il dispose et du niveau de précision qu'il veut attendre.

Niveaux ou tiers	Exemple pour la fermentation entérique
1	Emissions catégorie génisses 0-1 an = nombre d'animaux dans la catégorie * facteur d'émission de la catégorie donné par le GIEC
2	Méthodologie ACCT-DOM suivie en II.2
3	Emissions catégorie génisses 0-1 an = nombre d'animaux dans la catégorie * facteur d'émissions de la catégorie mesurés dans le contexte local

Tableau 15 : Les différents niveaux méthodologiques proposés par le GIEC pour le calcul des émissions de gaz à effet de serre

Pour l'instant, ACCT-DOM suit des méthodologies de niveaux 2, en utilisant des calculs intermédiaires et des facteurs à échelle nationale ou régionale (les facteurs de combustion données par Fearnside par exemple) ou bien issus du GIEC (la biomasse racinaire). Le développement des études scientifiques faites en Amazonie brésilienne permettrait d'affiner les résultats.

La saison sèche, les fourrages deviennent fibreux et la digestibilité baisse comme le montre la figure ... La digestibilité de l'alimentation est un facteur important à prendre en compte puisqu'il influe sur les émissions de méthane. Aussi, en saison sèche, certains éleveurs à Paragominas utilisent des compléments dans l'alimentation comme l'urée pour améliorer les capacités de digestion des animaux. Il serait intéressant que l'outil ACCT-DOM laisse la possibilité d'informer 2 valeurs de digestibilité de l'alimentation, en saison sèche et en saison humide, et que l'outil calcule les émissions de méthane de façon distincte pour ces 2 saisons.

Pour évaluer l'évolution du stock de carbone dans le sol des forêts converties en pâturages, l'auditeur doit évaluer leur niveau de dégradation. C'est un diagnostic difficile puisqu'il nécessite de parcourir l'ensemble de l'exploitation et même dans ce cas, la proportion de pâturages dégradés par rapport aux pâturages propres serait difficile à mesurer notamment dans des exploitations à plus de 1 000 ha. Ainsi, il serait intéressant d'apprécier cette donnée par analyse cartographique avec l'appui de la télédétection.

ACCT-DOM ne prend pas en compte les émissions de CO₂ issues du chaulage. En effet, SOLAGRO considère que les émissions libérées au moment de l'application de carbonates dans les sols sont compensées par le stockage fait au moment de la fabrication de la chaux (voir annexe). Or, la « chaux » utilisée à Paragominas correspond en fait à du calcaire naturel et ces émissions auraient dues être prises en compte.

Il est possible de renseigner l'utilisation d'énergies renouvelables dans ACCT-DOM. L'outil calcule l'énergie et les émissions « économisées » si une énergie fossile était utilisée à la place. 2 exploitations rencontrées au cours des entretiens utilisent des énergies renouvelables : panneaux solaires, méthanisation et roues à aube. La roue à aube est un système intéressant. La rotation de la roue met un piston sous pression grâce à un système d'aimant. De l'eau est alors envoyé jusqu'à des centaines de mètre, en général dans des réservoirs placés en hauteur. Ils servent à stocker l'eau pour alimenter les abreuvoirs ou les habitations par gravité (voir figure 32).

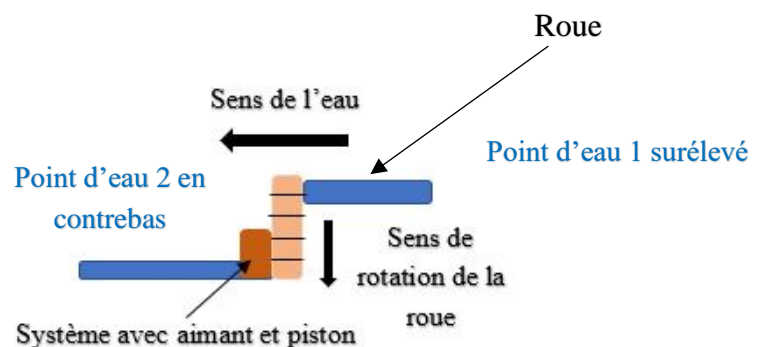


Figure 32 : Système de roue à aube de l'exploitation São Lucas

L'énergie générée par une roue à aubes est donnée par la formule de Seixas et al. (1982). Elle s'exprime par $P = 9,8 \times Q \times H$ où Q est le débit de l'eau et H la hauteur de chute en m. L'auditeur pourrait s'équiper de matériel portatif simple pour évaluer la vitesse de l'eau et donc le débit, comme un courantomètre. Avec l'augmentation du prix de l'énergie dans tout le Brésil, il est probable de voir le développement des énergies renouvelables dans les exploitations et il serait intéressant de mesurer l'énergie générée et d'évaluer leur impact sur leurs bilans.

VI - Conclusion

L'élevage bovin d'Amazonie est très souvent résumé au sol mot de « déforestation ». Or, derrière cette image se cache des systèmes potentiellement adaptés à l'urgence climatique, liée aux émissions de gaz à effet de serre, et à la course à la diminution de l'utilisation des énergies fossiles.

La mesure de ces performances environnementales, traduites par le bilan énergétique (énergie produite – énergie fossile utilisée) et le bilan d'émissions de gaz à effet de serre (émissions en eqCO₂ – stockage carbone) d'un échantillon d'exploitation d'élevage bovin en Amazonie a été faite grâce à l'outil de base ACCT-DOM. Il a été adapté au contexte de l'élevage bovin de Paragominas, dans l'état du Pará, zone regroupant la diversité des exploitations de ce type d'élevage en Amazonie. Les principales adaptations ont porté sur la digestibilité des fourrages pour les émissions de méthane entérique, les stocks de carbone dans les forêts et leurs sols pour les émissions liées à la déforestation, les intrants, matériels et bâtiments spécifiquement utilisés dans notre contexte, le stockage de carbone des forêts et la méthode de diagnostic.

Les exploitations de Paragominas diagnostiquées avec ACCT-Para ont un bilan énergétique moyen positif. La plupart d'entre elles produisent plus d'énergie qu'elles ne consomment d'énergie fossile. Par ailleurs, ce sont majoritairement des systèmes utilisant peu d'intrants. Elles mobilisent ainsi l'énergie solaire stockée dans la ressource fourragère pour en faire de la viande ou du lait. C'est particulièrement le cas pour les grands systèmes naisseurs engraisseurs de bovins allaitants. De plus, nos résultats montrent que les exploitations de l'échantillon ont un bilan d'émissions moyen négatif (sans compter celles issues de la déforestation). La plupart des exploitations sont émettrices de CO₂ mais ces émissions sont compensées par quelques exploitations qui ont une très grande capacité de stockage de carbone grâce à leur surface forestière, montrant l'importance de la séquestration carbone dans l'atténuation de l'impact de l'élevage sur le changement climatique.

Même si les exploitations n'ont pas déforesté dans l'année 2020, elles sont toutes situées dans des zones déforestées dont une partie il y a moins de vingt ans. Ces émissions sont donc en cours d'amortissement selon les normes du GIEC et impactent considérablement le bilan d'émission. L'intensification des systèmes pâturants s'étend en Amazonie et est un moyen de lutte contre la déforestation. Elle met en œuvre plus d'intrants, et nos résultats ont montré que cela n'avait pas d'impact significatif sur le bilan environnemental des exploitations en voie d'intensification.

Afin de mieux caractériser l'élevage bovin d'Amazonie brésilienne, ACCT-Para pourra ainsi être mobilisé sur un échantillon plus grand et de nouveau adapté à d'autres contextes dans le cadre de projets répondant également à des enjeux de développement durable de l'agriculture en Amazonie, notamment dans la prolongation du projet Terramaz. L'impact de l'agriculture en Amazonie nécessite une évaluation raisonnée pour dépasser des visions souvent stéréotypées liées à la déforestation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME (2016), Emission GES du barrage de Petit Saut. Disponible sur : <https://www.guyane.ademe.fr/sites/default/files/note-emission-ges-barrage-petit-saut.pdf>
- BLANFORT V., STAHL C. (2013), Carbone des pâturages de Guyane et Gaz à effet de serre
- BORDET A., BOCHU JL., TOUCHEMOULIN O. (2010), Références PLANETE 2010. Fiche 10- Production « Bovin Viande », p.9
- CLERC A.S, BONAUDO.T, NAHUM B., DIAS DE CASTRO R., POCCARD-CHAPUIS R. (2012) Efficacité énergétique et émissions de GES de systèmes d'élevage bovin viande en Amazonie
- COLTRO L., GARCIA E. C., QUEIROZ G. (2003), Life Cycle Inventory for Electric Energy System in Brazil. International Journal of LCA vol. 8, n°5, p.291-296
- Dallaporta B. (2015.), Bilans énergétique et gaz à effet de serre des élevages de ruminants issus de déforestation en Amazonie française. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du titre d'ingénieur de bordeaux sciences agro, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques de Bordeaux, p.88
- DUARTE C. , PEREIRA L., CUNHA J., COSTA A. (2017), Demanda energética na produção de sorgo (Sorghum Bicolor) para silagem. Apresentado no XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Disponible sur : <https://conbea.org.br/anais/publicacoes/conbea-2017/anais-2017/maquinas-e-mecanizacao-agricola-mma/658-demanda-energetica-na-producao-de-sorgo-sorahum-bicolor-para-silagem/file>
- DUCLOS A. (2012), Analyse du bilan énergie et carbone d'un ranch d'élevage sur les savanes de la zone tropicale humide. Mémoire de fin d'études : Lille : ISA ; CIRAD.
- EPE (2021), Anuario estatístico de energia elétrica 2021 (ano base 2020)
- FAO (2006), Livestock's long shadow. Environmental issues and option
- FAO (2010), La situation Mondiale de l'alimentation et de l'agriculture : 2010 - 2011
- FAO (2013), Tackling Climate Change Through Livestock
- FAO (2019), Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2019 – 2028
- FEARNSIDE P., RIGHI C., LIMA DE ALENCASTRO GRACA P., KEIZER E., CERRI C. (2009), Biomass and Greenhouse-gaz emissions from land-use change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and Rondônia, Forest Ecology and Management vol. 258, p.1968-1978
- FONTAINE S., BAROT S., BARRE P., BDIYOU N., MARY B., RUMPEL C. (2007), Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply, Nature vol. 450, p.277–280
- GIEC Chapitre 11 (2006), Lignes directrices 2006 du GIE pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Chapitre 11 : émissions de N2O des sols gérés et émissions de CO2 dues au chaulage et à l'application d'urée
- GIEC Chapitre 10 (2006), Lignes directrices 2006 du GIE pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre Chapitre 10 : émissions imputables au bétail et à la gestion du fumier
- GIEC CATF (2003) Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie

- GIEC (2019), Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse gas inventories
- GUIMAREAS A. (2016), Avaliação de desempenho ambiental e energético da produção de etanol de cana, milho e sorho em uma unidade integrada, segundo a abordagem do ciclo de vida
- HASAN A. (2019), Évaluation de la dégradation des forêts primaires par télédétection dans un espace de front pionnier consolidé d'Amazonie orientale (Paragominas)
- HEINRICH V., DALAGNOL R., CASSOL H. et al. (2021), Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change, *Nat Commun* vol.12, p.1785. Disponible sur : <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22050-1>
- IBGE (2019), Pesquisa da Pecuária Municipal PPM
- INPE (2020), A taxa consolidada de desmatamento por corte raso para os nove estados da Amazônia Legal (AC, AM, AP, MA, PA, RO, RR e TO), publié le 09/06/2020, consulté le 01/07/2021. Disponible sur : http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5465
- MARTINS F., BARBOSA J., DA SILVA CARVALHO R., VELOSO A., MARIN A. (2015), Análise energética da produção de milho para silagem cultivado em diferentes espaçamentos
- MCTI (2020, 1) Estimativas Anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil
- MCTI (2020, 2) Quarto inventário nacional de emissões e remoções antropocenas de gases de efeito estufa, setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas
- Pachoud C., POCCARD-CHAPUIS R., BONAUDO T., TOURRAND J.F., MARTINS MAURICIO R. (2016), Energy Analysis and Measurement of the Greenhouse Gas Emissions of Livestock Systems. A Comparison of Different Livestock Systems in the Eastern Brazilian Amazon, *Journal of Agriculture and Environmental Sciences* vol.6, n°1, p.30-37
- POCCARD-CHAPUIS R. (2011), A pecuária na agenda ambiental da Amazônia brasileira: percepções e representações dos atores locais (non publié)
- POCCARD-CHAPUIS R., BENDAHAN A., CARVALHO S., NAVEGANTES L., FERREIRA L., VAZFR V., PLASSIN S. et TOURRAND J.F. (2015), Amazonie, la forêt qui cache la prairie, *Techniques & Culture* vol.63, p.146-161
- POCCARD-CHAPUIS R. (2020), En Amazonie des solutions simples permettent de démocratiser l'intensification écologique de l'élevage, *CIRAD Brésil et pays du cône sud*, publié le 21/12/2020, consulté le 15/07/2021. Disponible sur : <https://brasil.cirad.fr/actualites/en-amazonie-des-solutions-simples-permettent-de-democratiser-l-intensification-ecologique-de-l-elevage>
- SILVA D., BARRETO P. (2014), O aumento da produtividade e lucratividade da pecuária bovina na Amazônia : o caso do projeto Pecuária Verde em Paragominas, *Imazon*
- SILVA A., RODRIGUES J., CARVALHO E., SANTIAGO A., VELOSO C., MARTINEZ G. (2018), Estoque de carbono e mitigação de metano produzido por bovinos em sistema integração pecuária-floresta (IPF) com eucalipto no Sudeste Paraense, *Brazilian journal of Development* vol.7, n°4, p. 3997-40016
- SOLAGRO (2013) ACCTool, ACCT (simplified version), ACCT-DOM, SOLAGRO, date de dernière consultation : 06/10/2021. Disponible sur : <https://solagro.com/works-and-products/outils/acctool-acct-simplified-version-acct-dom>.
- STAHL C., FONTAINE S., BLANFORT V. et al. (2015), Continuous soil carbon storage of old permanent pastures in Amazonia, *Global Change Biology* vol.23, p.3382-2892

STAHL C., FREYCON V., FONTAINE S., DEZECACHE C., PONCHANT L., PICONCOCHARD C., KLUMPP K., et al. (2016), Soil carbon stocks after conversion of Amazonian tropical forest to grazed pasture: importance of deep soil layers, *Regional environmental Change* vol.16

TOURRAND J., PIKETTY M., OLIVEIRA J., THALES M., ALVES A., VEIGA J., POCCARD-CHAPUIS R. (2004), Elevage bovin, déforestation et développement régional : le cas du Sud du Para, Amazonie brésilienne, *Bois et forêts des tropiques* n°280

UNEP (2020) Emissions Gap Report 2020

UN nutrition (2021) Livestock-derived foods and sustainable healthy diet. Disponible sur ; https://www.unnnutrition.org/wp-content/uploads/UN-Nutrition-paper-Livestock-derived-foods_19may.pdf

World Resources Institute (2020), This interactive charts shows changes in the world's top 10 emitters, publié le 10/12/2020, consulté le 01/07/2021. Disponible sur : <https://www.wri.org/insights/interactive-chart-shows-changes-worlds-top-10-emitters>

ANNEXE 1 : Coefficients de conversion énergétique des produits d'origine animale

		Valeurs énergétiques unitaires (par kg vif)
Bovins lait		
Vaches laitières de ~5000 kg lait		9,08
Vaches laitières de ~6000 kg lait		9,08
Vaches laitières de ~8000 kg lait		9,08
réformes		9,19
jeunes veaux vendus		6,33
génisses 0-1 an		9,08
génisses 1-2 ans		9,08
génisses +2 ans		9,08
males 0-1 an		9,08
males 1-2 ans		9,08
males +2 ans	y c taureaux	9,08
Bovins viande		
Vaches allaitantes		13,40
Vaches (type Créole croisée)		13,40
Taureaux reproducteurs		6,33
génisses 0-1 an		13,40
génisses 1-2 ans		13,40
génisses 2-3 ans		13,40
génisses + 3 ans		13,40
males 0-1 an		13,40
males 1-2 ans		13,40
males 2-3 ans		13,40

2	Productions des animaux	Energie produite par les animaux	
3	Lait :	Lait	MJ/u
4	Vaches laitières	0	3,06

ANNEXE 2 : Potentiel de réchauffement global (PRG) à 20 et 100 ans des principaux gaz à effet de serre

	20 ans	100 ans
CO2	1	1
CH4	72	25
NO2	289	298
Halocarbuures	Varibale	Variable

ANNEXE 3 : Equations du GIEC pour les émissions de méthane entérique

Equation 1 (source : GIEC, 2006 ; Eq.10.19) :

$$Emissions = FE * \left(\frac{N}{10^6}\right)$$

Émissions = émissions annuelles de méthane dues à la fermentation entérique (Gg CH₄/an)

FE = facteur d'émissions de la catégorie de bétail définie (kg CH₄/tête/an)

N = nombre de têtes de l'espèce de bétail

Equation 2 (source : GIEC, 2006 ; Eq.10.21) :

$$FE = \frac{EB * \left(\frac{Ym}{100}\right) * 365}{55,65}$$

EB = consommation d'énergie brute (MJ tête/jour)

Ym = facteur de conversion du méthane

55,65 = valeur énergétique du méthane (MJ/kg CH₄)

365 = nombre de jours passés sur l'exploitation. Peut-être changé

Equation 3 (source : GIEC, 2006 ; Eq. 10.16) :

$$EB = MS \text{ ingérée} * \text{énergie de la ration}$$

MS ingérée = matière sèche ingérée par jours (kg MS/jour/animal)

Energie de la ration =

Equation 4 (source : Craplet (1960) :

$$MS \text{ ingérée} = \frac{2,5 * PV}{100}$$

PV = poids vif (kg)

Equation 5 (ACCT-DOM Guyane) :

$$Ym = 9.75 - (0.05 * \% DA)$$

% DA = digestibilité de l'alimentation

ANNEXE 4 : Equations et tableaux du GIEC pour le secteur CATF

ÉQUATION 3.4.17

VARIATION ANNUELLE DES STOCKS DE CARBONE DES SOLS DES TERRES CONVERTIES EN PRAIRIES (TP)

$$\Delta C_{TP_{Sols}} = \Delta C_{TP_{Minéraux}} - \Delta C_{TP_{Organiques}} - \Delta C_{TP_{Chaulage}}$$

- Où : $\Delta C_{TP_{Sols}}$ = variation annuelle des stocks de carbone des sols des terres converties en prairies, tonnes C an⁻¹
 $\Delta C_{TP_{Minéraux}}$ = variation des stocks de carbone des sols minéraux des terres converties en prairies, tonnes C an⁻¹
 $\Delta C_{TP_{Organiques}}$ = émissions annuelles de carbone par les sols organiques des terres converties en prairies (estimées en tant que flux annuel net), tonnes C an⁻¹
 $\Delta C_{TP_{Chaulage}}$ = émissions annuelles de carbone résultant de l'application de chaux agricole sur les terres converties en prairies, tonnes C an⁻¹

ÉQUATION 3.4.8

VARIATION ANNUELLE DES STOCKS DE CARBONE DES SOLS MINÉRAUX POUR UN SYSTÈME DE PRAIRIES

$$\Delta C_{PP_{Minéraux}} = [(COS_0 - COS_{(0-T)}) \bullet S] / T$$

$$COS = COS_{REF} \bullet F_{UT} \bullet F_{RG} \bullet F_A$$

- Où : $\Delta C_{PP_{Minéraux}}$ = variation annuelle des stocks de carbone des sols minéraux, tonnes C an⁻¹
 COS_0 = stocks de carbone organique des sols pour l'année d'inventaire, tonnes C ha⁻¹
 $COS_{(0-T)}$ = stocks de carbone organique des sols T années avant l'inventaire, tonnes C ha⁻¹
 T = période d'inventaire, années (la valeur par défaut est de vingt ans)
 S = superficie de chaque parcelle, ha
 COS_{REF} = stocks de carbone de référence, tonnes C ha⁻¹ ; voir Tableau 3.4.4
 F_{UT} = facteur de variation des stocks pour le type d'utilisation des terres ou changement d'affectation des terres, adimensionnel ; voir Tableau 3.4.5
 F_{RG} = facteur de variation des stocks pour le régime de gestion, adimensionnel ; voir Tableau 3.4.5
 F_A = facteur de variation des stocks pour l'apport de matières organiques, adimensionnel ; voir Tableau 3.4.5

ÉQUATION 3.4.10

ÉMISSIONS DE CO₂ PAR LES SOLS ORGANIQUES CULTIVÉS DES PRAIRIES RESTANT PRAIRIES

$$\Delta C_{PP_{Organiques}} = \sum_c (S \bullet FE)_c$$

- Où : $\Delta C_{PP_{Organiques}}$ = émissions de CO₂ par les sols organiques cultivés des prairies restant prairies, tonnes C an⁻¹
 S = superficie des sols organiques pour le type de climat c , ha
 FE = facteur d'émissions pour le type de climat c (voir Tableau 3.4.6), tonnes C ha⁻¹ an⁻¹

ÉQUATION 3.2.19
ESTIMATION DES EMISSIONS DE GAZ SANS CO₂ A PARTIR DES EMISSIONS DE C

Émissions de CH₄ = (carbone émis) • (taux d'émission) • 16/12
 Émissions de CO = (carbone émis) • (taux d'émission) • 28/12
 Émissions de N₂O = (carbone émis) • (rapport N/C) • (taux d'émission) • 44/28

TABLEAU 3A.1.15
RAPPORTS D'EMISSIONS POUR LE BRULAGE A L'AIR LIBRE DE FORETS DEFRICHEES
 (A utiliser dans l'Equation 3.2.19)

Composé	Rapports d'émissions
CH ₄	0,012 (0,009-0,015) ^a
CO	0,06 (0,04-0,08) ^b
N ₂ O	0,007 (0,005-0,009) ^c
NO _x	0,121 (0,094-0,148) ^c

Sources : ^aDelmas, 1993, ^bLacaux *et al.*, 1993, et Crutzen et Andreae, 1990. Remarque : Les rapports pour les composés carbonés (CH₄ et CO) sont la masse de composés carbonés émis (en unités de C) par rapport à la masse de carbone total résultant du brûlage. Ceux pour les composés azotés sont exprimés en tant que rapports des émissions (en unités d'azote) par rapport à l'azote total émis par le combustible.

ANNEXE 5 : Equations et tableaux du GIEC utilisés pour l'adaptation du secteur CATF au contexte de Paragominas

TABLEAU 3A.1.8
RAPPORT MOYEN BIOMASSE SOUTERRAINE/AERIENNE (RAPPORT SYSTEME **RACINAIRE/SYSTEME FOLIAIRE, R),**
REGENEREE NATURELLEMENT, PAR GRANDES CATEGORIES (tonnes de matière sèche/tonne de matière sèche)
 (A utiliser pour R dans l'Equation 3.2.5)

	Type de végétation	Biomasse aérienne (t/ha)	Moyenne	SD	Plage inférieure	Plage supérieure	Références
Forêt tropicales/sub-tropicale	Forêt secondaire tropicale/sub-tropicale	<125	0,42	0,22	0,14	0,83	5, 7, 13, 25, 28, 31, 48, 71
	Forêt primaire tropicale/sub-tropicale humide	NS	0,24	0,03	0,22	0,33	33, 57, 63, 67, 69
	Forêt tropicale/sub-tropicale sèche	NS	0,27	0,01	0,27	0,28	65

TABLEAU 3A.1.12
VALEURS DES FACTEURS DE COMBUSTION (PROPORTION DE BIOMASSE PRESENTE AVANT LE FEU CONSUMEE) POUR DES FEUX DE DIVERS TYPES DE VEGETATION.
 (Les valeurs dans la colonne « moyenne » doivent être utilisées pour (1-f_{BL}) dans l'Equation 3.2.9. et pour ρ_{brûlage} sur site dans l'Equation 3.3.10)

Type de végétation	Sous-catégorie	Moyenne	SD	No.m ¹	Plage	No.p ²	Références
Forêt primaire tropicale (brûlis)	Forêt primaire tropicale	0,32	0,12	14	0,20 – 0,62	17	7, 8, 15, 56, 66, 3, 16, 53, 17, 45,
	Forêt primaire tropicale claire	0,45	0,09	3	0,36 – 0,54	3	21
	Forêt primaire tropicale humide	0,50	0,03	2	0,39 – 0,54	2	37, 73
	Forêt primaire tropicale sèche	-	-	0	0,78 – 0,95	1	66
Toutes les forêts primaires tropicales		0,36	0,13	19	0,19 – 0,95	23	

Zone climatique du GIEC	Biomasse vivante aérienne de crête (tonnes m.s. ha ⁻¹)			Production primaire nette aérienne (PPNA) (tonnes m.s. ha ⁻¹ an ⁻¹)		
	Moyenne	Nombre d'études	Erreur ¹	Moyenne	Nombre d'études	Erreur ¹
Boréale - sèche et pluvieuse ²	1,7	3	± 75%	1,8	5	± 75%
Froide tempérée - sèche	1,7	10	± 75%	2,2	18	± 75%
Froide tempérée - pluvieuse	2,4	6	± 75%	5,6	17	± 75%
Chaude tempérée - sèche	1,6	8	± 75%	2,4	21	± 75%
Chaude tempérée - pluvieuse	2,7	5	± 75%	5,8	13	± 75%
Tropicale - sèche	2,3	3	± 75%	3,8	13	± 75%
Tropicale - humide et pluvieuse	6,2	4	± 75%	8,2	10	± 75%

Des données sur la biomasse vivante sur pied sont compilées à partir de moyennes pour plusieurs années notifiées sur des sites de prairies enregistrés dans la base de données ORNL DAAC NPP [http://www.daac.ornl.gov/NPP/html_docs/npp_site.html]. Des estimations pour la production primaire aérienne proviennent de : Olson, R.J., J.M.O. Scurlock, S.D. Prince, D.L. Zheng, et K.R. Johnson (éds). 2001. NPP Multi-Biome : NPP and Driver Data for Ecosystem Model-Data Intercomparison. Sources disponibles en ligne à [http://www.daac.ornl.gov/NPP/html_docs/EMDI_des.html].

¹ Représente une estimation d'erreur nominale, équivalente à deux fois l'écart type, en tant que pourcentage de la moyenne.

² En raison du peu de données, les zones sèches et humides pour le régime climatique boréal et les zones humides et pluvieuses pour le régime climatique tropical ont été combinées.

	Type de végétation	Zone climatique approximative du GIEC ¹	Rapport R:F	n	Erreur ²
Prairie	Steppe/toundra/prairie	Boréale (sèche et pluvieuse), Froide tempérée pluvieuse, Chaude tempérée pluvieuse	4,0	7	± 150%
	Prairie semi-aride	Sèche (froide, tempérée, chaude et tempérée et tropicale)	2,8	9	± 95%
	Prairie sub-tropicale/tropicale	Tropicale humide et pluvieuse	1,6	7	± 130%
Autre	Zone boisée/savane		0,5	19	± 80%
	Zone arborée		2,8	9	± 144%

¹ Les données sources ont été classées par types de biomes de prairies et par conséquent, la correspondance avec les zones climatiques du GIEC est approximative.

² Les estimations d'erreur sont de deux fois l'écart type, en tant que pourcentage de la moyenne.

ANNEXE 6 : Tableau de consommation de carburant

Travail	Consommation (L/ha)
Labour	17,5 L/ha
Semis direct	5 L/ha
Pulvérisation	2 L/ha
Broyage	7 L/ha
Fertilisation	3,5 L/ha

ANNEXE 7 : Extrait du guide d'entretien construit. Pour la partie questions, nous passons de gauche à droite si la réponse est « oui »

Questions		Informations obtenues
Etape 1 : semis des 1^{er} pâturages		
Quand êtes-vous arrivé sur l'exploitation ?		
Avez-vous ouvert des zones forestières pour y planter des pâturages ?	Défrichage avec tractopelle ?	<i>Essence à amortir</i>
	Utilisation du labour ?	Combien de passage ? <i>Essence à amortir</i>
	Quel type de semences utilisées ? Quelle quantité semée (kg/ha) ? Sur combien d'hectares ? Semis à la main ou au distributeur ?	<i>Semences à amortir</i> <i>Matériel</i>
	Utilisation d'engrais ?	Quel type d'engrais ? En quelle quantité (kg/ha) ? Sur combien d'hectares ? Avec quelle machine ? <i>Engrais à amortir</i> <i>Matériel</i>
Etape 2 : renouvellement des pâturages		
Avez-vous rénové les pâturages depuis ? Combien d'hectares ? Quand ?	Utilisation du labour ?	Combien de passage de charrue ? <i>Essence à amortir</i>
	Utilisation de calcaire ?	Quantité (t/ha) ? Sur combien d'hectares ? Avec un distributeur ou à la main ? <i>Calcaire à amortir</i> <i>Matériel utilisé sur la ferme</i>
	Quel type de semences utilisées ? Quelle quantité semée (kg/ha) ? Semis à la main ou au distributeur ?	<i>Semences à amortir</i> <i>Matériel de la ferme</i>
	Utilisation d'engrais ?	Quel type ? Quantité ? A la main ? <i>Engrais à amortir</i> <i>Matériel de la ferme</i>
Etape 3 : entretiens des pâturages		
Utilisation herbicide ?	Marque ? Fréquence de traitement ? Pourcentage de la surface traitée ? Quantité (L/ha) ? Pulvérisateur dorsal ou tracté ?	<i>Matériel</i>
Utilisation engrais ?	Type ? Fréquence d'utilisation ? Quantité (L/ha) ? Machine utilisée ?	

Recommencer pour chaque lot de renouvellement

ANNEXE 8 : coefficients des aliments achetés

	Lieux de fabrication	Distance	Type de transport	Coefficient transport (MJ/km.t)	Forfait total transport (MJ/t)	Coefficient processus de fabrication (MJ/t)	Coefficient total (MJ/t)
Maïs	Paragominas	25	Camion	1,19	29,75	2 149	2 179
Soja grain	Paragominas	25	Camion	1,19	29,75	9 330	9 360
Soja tourteau	Balsas	450	Camion	1,19	535,5	8 970	9 506
Sorgho grain	Paragominas	25	Camion	1,19	29,75	12 572	12 602
Tourteau d'huile de palme	Tome Açú	100	Camion	1,19	119	5400	5 519
Tourteau de graine de coton	Balsas	450	Camion	1,19	535,5	5760	6 296
Son de riz	Belem	300	Camion	1,19	357	4000	6 117
Blé	Parana	2 300	Camion	1,19	2737	4000	6 737
Urée	Sao Paulo	2 600	Bateau et camion		0	22019	22 019

	Lieux de fabrication	Distance	Type de transport	Coefficient transport (kg eqCO ₂ /km.t)	Forfait total transport (kg eqCO ₂ /t)	Coefficient processus de fabrication (kg eqCO ₂ /t)	Coefficient total (kg eqCO ₂ /t)
Maïs	Paragominas	25	Camion	0,08	2	3 047	3 049
Soja grain	Paragominas	25	Camion	0,08	2	2 060	2 062
Soja tourteau	Balsas	450	Camion	0,08	36	1 710	1 746
Sorgho grain	Paragominas	25	Camion	0,08	2	1 218	1 220
Tourteau d'huile de palme	Tome Açú	100	Camion	0,08	8	300	308
Tourteau de graine de coton	Balsas	450	Camion	0,08	36	576	612
Son de riz	Belem	300	Camion	0,08	24	542	600
Blé	Parana	2 300	Camion	0,08	184	542	726
Urée	Sao Paulo	2 600	Bateau et camion		0	208	208

ANNEXE 9 : Coefficients des semences achetées

Type semence	Lieu fabrication	Distance (km)	Type de transport	Coefficient transport (MJ/km.t)	Forfait total transport (MJ/kg)	Coefficient processus de fabrication (MJ/kg)	Coefficient total (MJ/kg)
Semence fourragères (bryzantha, massai, mombaça)	Sao Paulo	2 600	Camion	1,19	3,094	9,4	12,494

Type semence	Lieu fabrication	Distance (km)	Type de transport	Coefficient transport (kg eqCO2/km.t)	Forfait total transport (kg eqCO2/kg)	Coefficient processus de fabrication (kg eqCO2/kg)	Coefficient total (kg eqCO2/kg)
Semence fourragères (bryzantha, massai, mombaça)	Sao Paulo	2 600	Camion	0,08	0,208	0,866	1,074

ANNEXE 10 : Composition chimique des engrais rencontrés à Paragominas

	Composition des engrais			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Arade	0%	32%	0%	36%
MAP (phosphate d'ammoniac)	11%	44%	0%	0%
10-30-10	10%	30%	10%	0%
10-00-10	10%	10%	10%	0%
Engrais foliaire	5%	8%	5%	0%
Calcaire	0%	0%	0%	88%

ANNEXE 11 : Caracteristiques des produits phytosanitaires rencontrés à Paragominas

Typ e	Nom	Quantité MA (g/kg ou g/L)	Dose homologuée (produit commercial)	Source
Herbicides	Tractor		3,0 – 5,0 L/ha (pâtures)	https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2020-10/tractor0920.pdf
	Zartan (Po da China)	Metsulforum Méthylique 600 g/kg	6,6 g/ha pour Gervao branco 10 a 13,3 g/ha pour Guanxuma	https://br.uplonline.com/download_links/i37PkLbazJnMsFEfiBNW6l4aOXU6c51rBF2CaTI3.pdf
	Tordon	Picloram : 103,6 g/L 2,4 D : 402 g/L	5 L/ha au maximum	
	Planador XT	Aminopiralide 59,17 g/L Equivalente ácido de Aminopiralide 50 g/L Picloram 115,74 g/L Equivalente Ácido de Picloram 100 g/L Triclopir-butotílico 208,62 g/L Equivalente ácido de Triclopir 150 g/L	5 L/ha au maximum	https://www.corteva.com.br/content/dam/dpageco/corteva/la/br/pt/products/files/Bula_Plana dor_XT_080518.pdf
	Famoso	Picloram 103 g/L 2,4D 406 g/L	3,5 L/ha	
	Round-Up	Glifosato 445 g/L Equivalente acido 370 g/L	5 L/ha au max	
	Lavra	2,4 D : 406 g/L Picloram : 103 g/L	3 L/ha	
	DMA 806	2,4 D : 806 g/L	2 L/ha	

**ANNEXE 12 : Calculs des coefficients indirects de matériel et bâtiments utilisés dans ACCT-
PARA**

Matériel	Poids	Coefficient Dia'terre
Charrue cover crop 12 disques	1 400 kg	68,3 MJ/kg matériel ; 1,657 kg CO2/kg matériel
Semoir/distributeur engrais 600 L	96 kg	64,3 MJ/kg matériel ; 1,641 kg CO2/kg matériel

Matériel	Coefficient Dia'terre
Corral sol bétonné	36,09 MJ/m ² ; 1,87 kg CO2/m ²
Corral sol nu	30,77 MJ/m ² ; 1,33 kg CO2/m ²

ANNEXE 13 : Nouveaux facteurs d'émissions du GIEC

Type d'émission	Emissions	Valeur GIEC 2006	Valeur GIEC 2019	Source
Emissions directes de N₂O par les sols agricoles	Azote épandage des engrais	1 %	1,60 % en climat humide	GIEC 2006 et GIEC 2019 chapitre 11, Tableau 11.1
	Epanrages effluents d'élevage	1 %	0,60 % en climat humide	
	Résidus de cultures laissés au sol	1 %	0,60 % en climat humide	
	Minéralisation N due à la perte de MO lors du changement d'affectation des terres	1 %	0,60 % en climat humide	
	Apports N par le pâturage	2 %	0,6 % en climat humide	
Emissions indirectes de N₂O par les sols agricoles	N des déjections au pâturage volatilisé en NH ₃	10 %	21 %	GIEC 2006 et GIEC 2019, Tableau 11.3
	N des engrais synthétiques volatilisé en NH ₃	10 %	15 % urée 8 % engrais ammoniacés 1 % pour les engrais nitrates 5 % pour les engrais ammono-nitrates	
	NH ₃ redéposé puis émis en N ₂ O	1 %	1,4 % en climat humide	
	N lixivié ³⁰ émis en N ₂ O	0,75 %	1,1 %	

³⁰ ACCT-DOM ne le calcul pas de la même façon que le GIEC

ANNEXE 14 : Emissions dues à la minéralisation de l'azote après la déforestation (source : GIEC 2006)

$$N2O_{min} = FE * N_{min}$$

N2O-Nconv = émissions de N2O à la suite de la perturbation associée à la conversion de terres forestières, prairies ou autres terres en terres cultivées, kg N2O-N an-1

N2O_{net-min-N} = émissions supplémentaires résultant du changement d'affectation des terres, kg N2O-N an-1

N_{net-min} = émissions annuelles d'azote résultant de la minéralisation nette des matières organiques des sols à la suite de la perturbation, kg N an-1

FE1 = facteur d'émissions par défaut du GIEC utilisé pour calculer les émissions par les terres cultivées dues aux apports d'azote, sous forme d'engrais minéraux, fumier, ou résidus de cultures, kg N2O-N/kg N (la valeur par défaut est 0,0125 kg N2O-N/kg N)

$$N_{min} = \Delta C \times \text{Rapport} \frac{N}{C}$$

N_{net-min} = émissions annuelles d'azote résultant de la minéralisation nette des matières organiques des sols à la suite de la perturbation, kg N an-1 "CTC

Minéraux = valeurs obtenues avec l'Équation 3.3.12 (voir aussi Section 3.3.2.2.1.1), dans le cas de l'application à une superficie de terres converties en terres cultivées (voir Section 3.3.2.2.1.), kg C an-1

Rapport C/N = rapport par masse de C et de N dans les matières organiques des sols (MOS), kg C (kg N)-1

$$N2O_{min} = FE * N_{min}$$

N2O-Nconv = émissions de N2O à la suite de la perturbation associée à la conversion de terres forestières, prairies ou autres terres en terres cultivées, kg N2O-N an-1

N2O_{net-min-N} = émissions supplémentaires résultant du changement d'affectation des terres, kg N2O-N an-1

N_{net-min} = émissions annuelles d'azote résultant de la minéralisation nette des matières organiques des sols à la suite de la perturbation, kg N an-1

FE1 = facteur d'émissions par défaut du GIEC utilisé pour calculer les émissions par les terres cultivées dues aux apports d'azote, sous forme d'engrais minéraux, fumier, ou résidus de cultures, kg N2O-N/kg N (la valeur par défaut est 0,0125 kg N2O-N/kg N)

$$N_{min} = \Delta C \times \text{Rapport} \frac{N}{C}$$

N_{net-min} = émissions annuelles d'azote résultant de la minéralisation nette des matières organiques des sols à la suite de la perturbation, kg N an-1 "CTC

Minéraux = valeurs obtenues avec l'Équation 3.3.12 (voir aussi Section 3.3.2.2.1.1), dans le cas de

l'application à une superficie de terres converties en terres cultivées (voir Section 3.3.2.2.1.), kg C an-1

Rapport C/N = rapport par masse de C et de N dans les matières organiques des sols (MOS), kg C (kg N)-1

ANNEXE 15 : Puissance électrique des postes consommateurs d'électricité rencontrés au cours des enquêtes

Objet	Puissance
Ampoule	40 W (1)
Pompe à eau ($\frac{3}{4}$ CV)	700 W (1)
Pompe à eau (2 CV)	15 000 W
Tank à lait (1 000 L)	1 875 W (2)
Congélateur de fromagerie	200 W (1)

- (1) Source : Estimava de consumo mensal dos principais electrodomesticos, Energia, ambiente e desenvolvimento. PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia electrica
- (2) Giverno do estado de Rondonia
- (3) 1 CV = 750 W

ANNEXE 16 : Tableau descriptif des 20 exploitations de l'échantillon

Dénomination	Type de production	SAU (ha)	Surface en pâturage (ha)	Surface en forêt (ha)	UTH	Vaches laitières (têtes)	Vaches allaitantes (tête)	UGB	Lait produit (L)	Viande produite (kg PV)
3 Irmaos	Lait	25	21	7,2	2	17		29,5676712	12600	3100
5 Irmaos	Viande (naisseur) et lait	80	60	0,5	4	45	30	101,5	51100	3075+2420
8 Irmaos	Lait	45	40	4,4	3	5		15,22	1200	1800
Boa Esperança	Lait	54	40	4,3	4	20		34,18	16425	1800
Bom Jesus	Lait	200	190	23,7	1	25		38,84	18250	1625
Carolina	Viande (naisseur engraisseur) et lait	1100	750	383,4	2	100	180	601,708356	91250	38250+77450
Josiane	Lait	220	180	0	2,5	51		77,6380822	65700	14250
Leal Carvalho	Viande	350	210	59	2		130	134,486301		19250
Marilia	Amélioration génétique	350	170	19,9	11,5		70	132,05		13300
Nova Aliança	Viande et lait	92,5	60	6,5	2	5	8	18,76	1470	500+450
Pau D'Arco	Viande (engraisneur)	1000	700	300	5			358,356164		220000
Rancho Durain	Viande (naisseur)	350	150	52,1	2		120	133,6		9450
Rancho Fundo	Viande (naisseur engraisseur)	1049	563	409,4	9,5		450	565,101769		72700
Sao Lucas	Lait	30,45	9	7	2	7		10,9117808	3600	650
Sao Luis	Viande	6110	2910	3492,5	11	0		1254,24658		770000
Sao Pedro	Lait	50	25	0,3	5	25		43,5232877	16425	4225
Sitio Rancho Fundo	Lait	170	100	19	2	50		95,1	36500	9950
Teolinda	Viande (naisseur engraisseur)	4500	2300	1170	18		1500	3096,09589		870625
Trevo	Lait	250	50	177,6	3	33		49,6	25550	4525
Trieste	Lait	63	43	2	1	100		133,863562	83950	14325

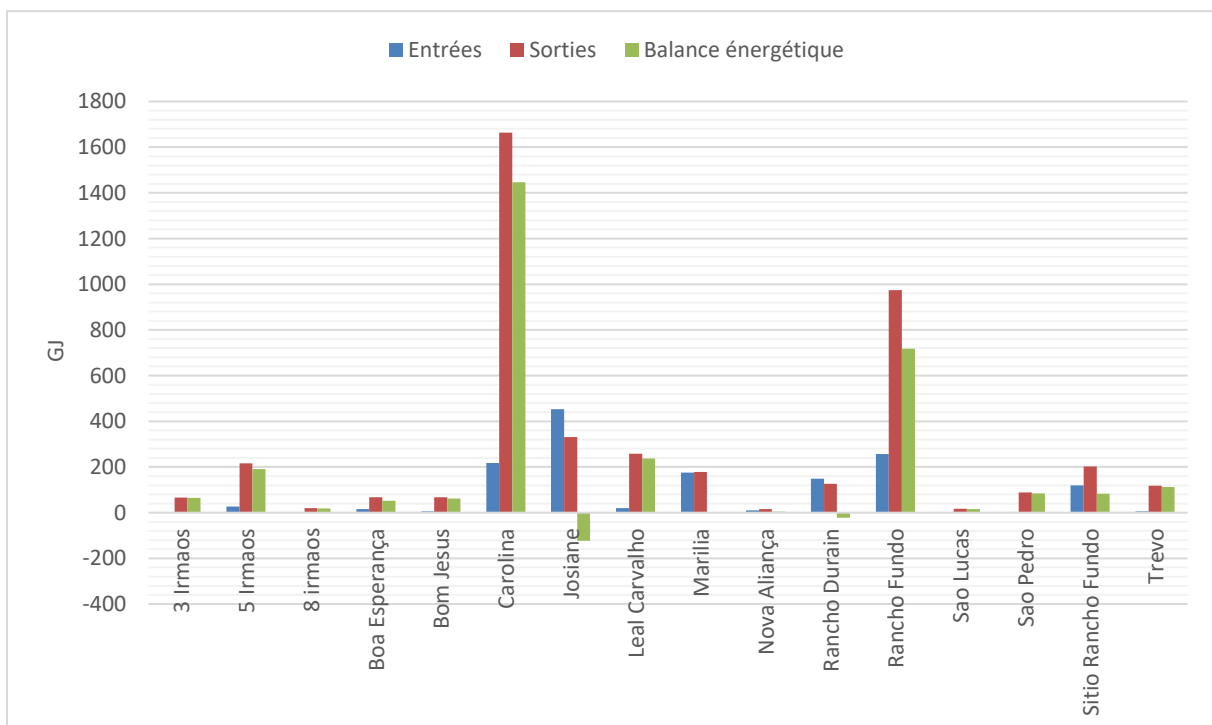
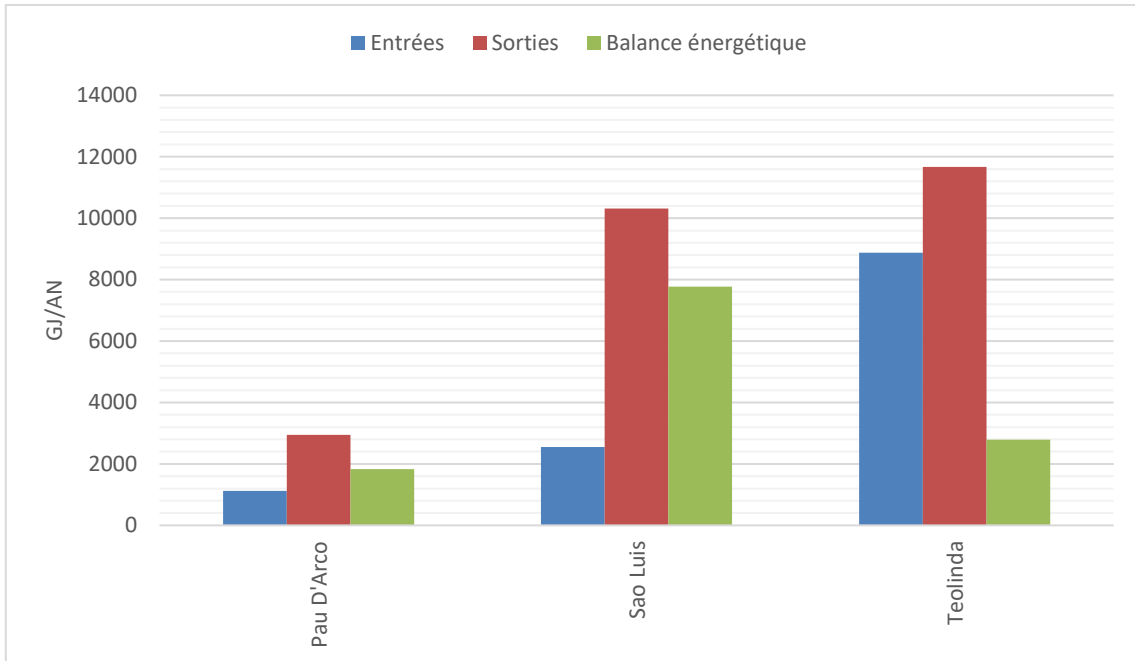
ANNEXE 18 : Résultats du diagnostic d'émissions pour les 20 exploitations de l'échantillon

	Emissions brues (t eqCO2/an)	Stockage carbone (t eqCO2/an)	Emissions nettes/an	Emissions nettes/an	Secteur CATF
3 Irmaos	105,00	77,18	27,82	673,00	645,18
5 Irmaos	380,88	1,65	379,23	3865,90	3486,68
8 irmaos	73,89	47,30	26,59	1671,16	1644,57
Boa Esperança	129,65	39,78	89,87	1941,16	1851,29
Bom Jesus	251,22	221,83	29,39	6493,97	6464,58
Carolina	2939,01	3601,58	-662,58	26854,15	27516,73
Josiane	463,84	171,60	292,24	979,87	687,63
Leal Carvalho	572,02	577,50	-5,48	12007,25	12012,73
Marilia	528,28	325,05	203,23	8720,09	8516,86
Nova Aliança	120,39	61,60	58,79	2792,33	2733,55
Pau D'Arco	5323,67	5881,70	-558,03	-558,03	0,00
Rancho Durain	516,72	1258,80	-742,08	149,11	891,19
Rancho Fundo	2214,17	1258,80	955,36	1391,77	436,41
Sao Lucas	40,88	86,69	-45,82	697,82	743,64
Sao Luis	9811,40	32629,48	-22818,09	39165,76	1708,89
Sao Pedro	150,83	3,12	147,71	1856,60	6739,07
Sitio Rancho Fundo	397,21	177,47	219,74	6958,81	6739,07
Teolinda	17902,27	9625,37	8276,91	8276,91	0,00
Trevo	190,81	1752,30	-1561,49	-1010,23	551,25
Trieste	901,72	22,73	878,99	878,99	0,00

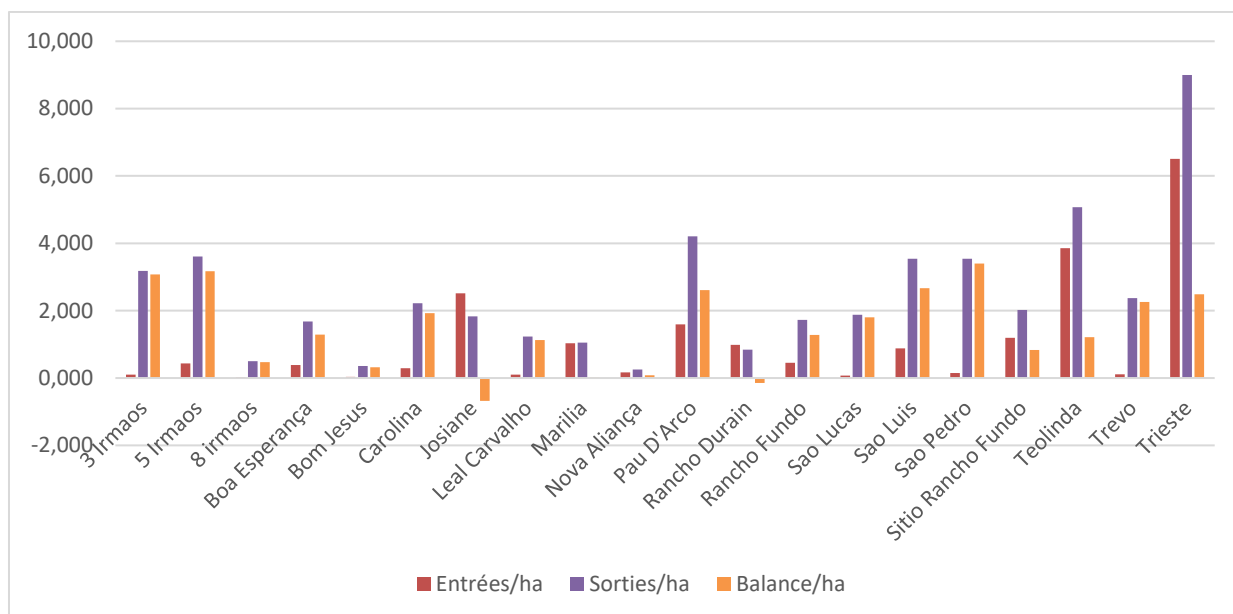
ANNEXE 19 : Résultats du diagnostic énergétique pour les 20 exploitations de l'échantillon

	Consommation énergétique par poste										
	Entrées	Sorties	Balance énergétique	Energie	Achats d'aliments	Engrais	Phytoprotecteurs	Semences	Jeunes animaux	Matériel et bâtiments	Autres achats
3 Irmaos	2,16	66,70	64,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,09	1,93
5 Irmaos	26,30	216,72	190,42	10,64	0,00	0,00	3,00	1,59	8,74	0,25	2,07
8 Irmaos	1,09	20,02	18,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	0,45
Boa Esperança	15,47	67,00	51,53	0,00	0,00	0,00	0,61	0,64	0,00	0,44	13,78
Bom Jesus	6,45	68,00	61,55	3,19	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,98	1,28
Carolina	216,92	1664,00	1447,08	33,41	0,00	5,34	0,00	1,99	104,88	6,98	64,32
Josiane	453,37	330,43	-122,94	135,15	0,00	75,49	95,87	3,31	108,75	31,60	3,19
Leal Carvalho	20,51	258,00	237,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	19,18
Marilia	175,96	178,22	2,26	7,03	55,74	4,08	14,90	0,80	0,00	77,32	16,10
Nova Aliança	10,18	15,07	4,89	2,39	0,00	3,87	3,07	0,32	0,00	0,10	0,41
Pau D'Arco	1118,51	2948,00	1829,49	159,60	485,72	91,13	2,63	0,00	349,60	24,54	5,30
Rancho Durain	148,36	126,63	-21,73	69,46	0,00	0,00	2,25	1,59	0,00	55,93	19,11
Rancho Fundo	256,18	974,18	718,00	85,04	0,00	120,10	13,15	1,59	0,00	4,38	31,91
Sao Lucas	0,68	16,92	16,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,66
Sao Luis	2550,81	10318,00	7767,19	322,58	383,29	488,42	64,59	4,91	1223,60	21,16	42,25
Sao Pedro	3,60	88,62	85,02	0,00	0,00	0,72	0,61	0,40	0,00	0,20	1,68
Sítio Rancho Fundo	119,17	202,04	82,87	6,84	88,13	0,58	14,04	0,00	0,00	3,67	5,91
Teolinda	8873,32	11666,38	2793,05	2434,18	3325,34	1320,26	297,95	12,61	874,00	146,52	462,46
Trevo	5,64	118,64	113,00	1,22	0,00	0,00	0,85	0,18	0,00	0,51	2,88
Trieste	280,05	386,96	106,91	257,19	0,00	3,58	3,80	4,18	0,00	4,65	6,65

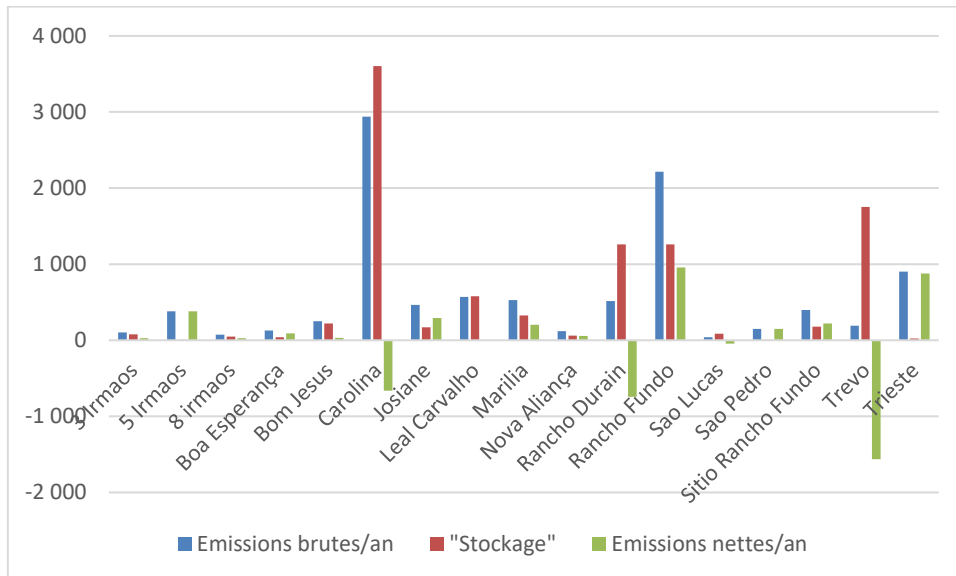
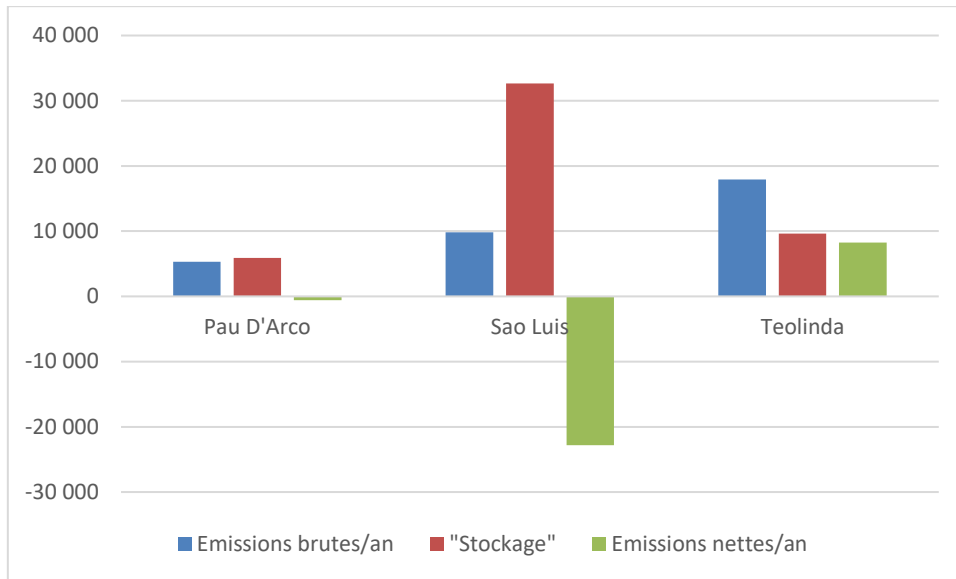
ANNEXE 20 : Bilan énergétique total, consommation d'énergie et production pour les 20 exploitations de l'échantillon



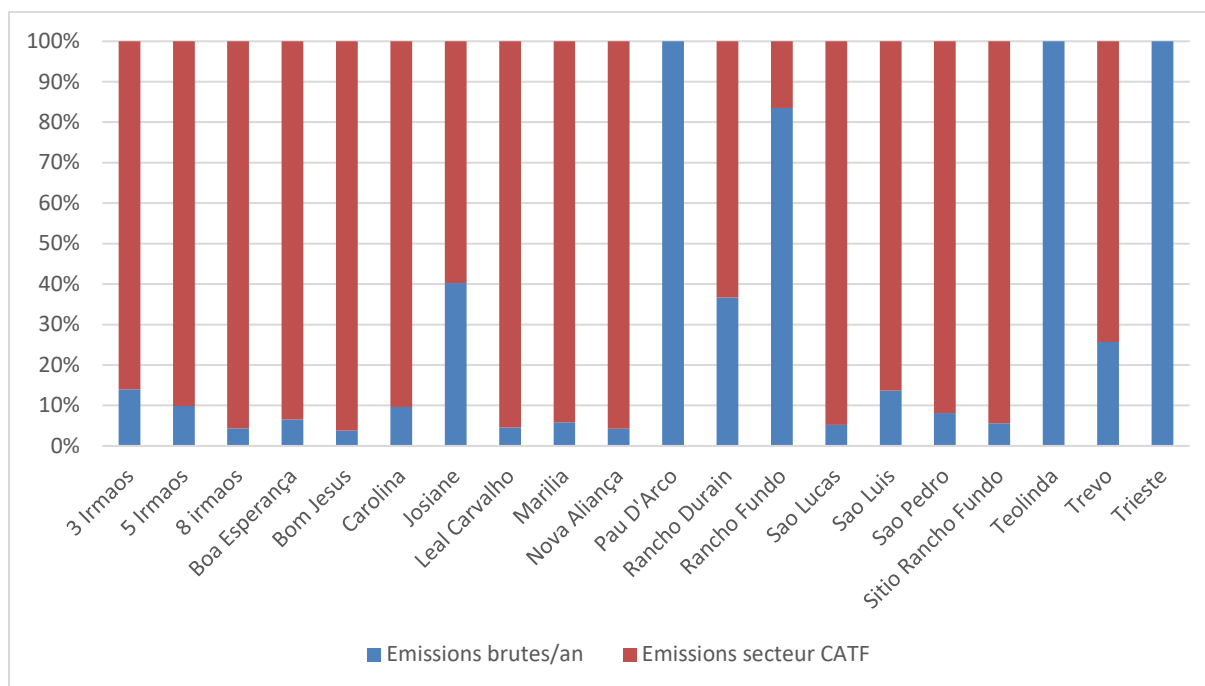
ANNEXE 21 : Bilan énergétique total, consommation d'énergie et production par ha pour les 20 exploitations de l'échantillon



ANNEXE 22 : Emissions nettes, émissions brutes et stockage carbone pour les 20 exploitations de l'échantillon



ANNEXE 23 : Part des émissions du secteur CATF dans les émissions totales des 20 exploitations de l'échantillon



ANNEXE 24 ; Emissions nettes par ha pour les 20 exploitations de l'échantillon

