

*Livrable H*

*Application des méthodes ICAT utiles  
à Madagascar (cas de GACMO)*

## DISCLAIMER

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, electronic, photocopying, recording or otherwise, for commercial purposes without prior permission of Madagascar. Otherwise, material in this publication may be used, shared, copied, reproduced, printed and/or stored, provided that appropriate acknowledgement is given of Madagascar and ICAT as the source. In all cases the material may not be altered or otherwise modified without the express permission of Madagascar.

## PREPARED UNDER

The Initiative for Climate Action Transparency (ICAT), supported by Austria, Canada, Germany, Italy, the Children's Investment Fund Foundation and the ClimateWorks Foundation.



Supported by:



on the basis of a decision  
by the German Bundestag



Federal Ministry  
Republic of Austria  
Climate Action, Environment,  
Energy, Mobility,  
Innovation and Technology



Environment and  
Climate Change Canada

Environnement et  
Changement climatique Canada

The ICAT Secretariat is managed and supported by the United Nations Office for Project Services (UNOPS)



# Livrable H

## *Application de méthodes ICAT utiles à Madagascar (cas de GACMO)*

*Initiative for Climate Action  
Transparency – ICAT*

**Auteur :**

**Bureau National des Changements Climatiques et de la Réduction des émissions  
dus à la déforestation et à la dégradation des forêts (BNCCREDD+)**

**Décembre 2024**

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Inventaire des actions d'atténuation de GES de la CDN2 et du PMO .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Options de réduction utilisables dans GACMO .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Section 4. Emissions de GES de tous les secteurs.....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Analyse des résultats .....</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Suivi des actions des CDN .....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Usages de GACMO pour les Politiques d'atténuation .....</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>Evaluation des actions des CDN (usage ex-ante) .....</b>	<b>13</b>
<b>9</b>	<b>Suivi des actions (usage ex-post).....</b>	<b>13</b>
<b>10</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>13</b>

## Tableaux

<b>Table 1</b>	<b>Mesures d'atténuation recommandées par la CDN2 (Novembre 2022)2 et son PMO .....</b>	<b>5</b>
<b>Table 2:</b>	<b>Options technologiques de réduction retenues dans GACMO .....</b>	<b>7</b>
<b>Table 3 :</b>	<b>Projection des émissions de GES du scénario de référence par sous-secteur économique.....</b>	<b>8</b>
<b>Table 4 :</b>	<b>Projection des émissions de GES du scénario d'atténuation (17 actions) par sous-secteur économique.....</b>	<b>9</b>
<b>Table 5 :</b>	<b>Emissions de GES en 2030 .....</b>	<b>9</b>
<b>Table 7</b>	<b>Réduction d'émissions par option et son Revenu d'Atténuation Marginal .....</b>	<b>11</b>

## Figures

<b>Table 1</b>	<b>Mesures d'atténuation recommandées par la CDN2 (Novembre 2022)2 et son PMO.....</b>	<b>5</b>
<b>Figure 1</b>	<b>Emissions de GES des secteurs Agriculture, Foresterie et Energie et autres.....</b>	<b>8</b>
<b>Figure 2</b>	<b>Projection des émissions du scénario de référence (BAU) par sous-secteur économique .....</b>	<b>9</b>
<b>Figure 3</b>	<b>Emissions des Sc. BAU, Sc. conditionnel et réalisation du secteur Agriculture .....</b>	<b>12</b>
<b>Figure 4</b>	<b>Emissions des Sc. BAU, Sc. conditionnel et réalisation du secteur Foresterie.....</b>	<b>12</b>
<b>Figure 5</b>	<b>Emissions des Sc. BAU, Sc. conditionnel et réalisation des secteurs Energie - Transport .....</b>	<b>13</b>

# 1 Introduction

Madagascar a établi en 2022, sa Deuxième Contribution Déterminée Nationale (CDN2) pour la réduction des émissions de GES ainsi que le Plan de Mise en Œuvre (PMO) associé. Cependant, le choix des options d'atténuation et l'évaluation de la réduction des émissions de GES ne sont pas suffisamment explicités dans ces documents. C'est pourquoi une amélioration du mécanisme d'évaluation et de suivi des politiques d'atténuation s'avère nécessaire. Le présent projet ICAT fait partie des opportunités pour ce faire.

Les objectifs du Projet ICAT Madagascar sont notamment de renforcer les capacités des experts nationaux et de mettre en place un mécanisme pérenne pour évaluer (ex-ante) et suivre (ex-post) les impacts des actions d'atténuation des CDN. Pour ce faire l'outil GACMO a été mis en œuvre sur les actions de la CDN2 et de son PMO, afin d'identifier les options technologiques de réduction pertinentes prévues par l'outil et d'identifier les lacunes et les besoins complémentaires.

# 2 Inventaire des actions d'atténuation de GES de la CDN2 et du PMO

Les actions prévues dans la CDN2 et consolidées dans le PMO, pour l'atténuation des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES), sont récapitulées dans le tableau suivant :

Table 1 Mesures d'atténuation recommandées par la CDN2 (Novembre 2022)2 et son PMO

SECTEUR	Mesures d'atténuation CDN2	Mesures d'atténuation PMO
AGRICULTURE	<p>Source : CDN2 page 9</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mettre en place des initiatives respectant de l'environnement comme les initiatives Intégrées et l'agriculture biologique</li> </ul>	<p>Source : PMO : pages 20 à 22</p> <p>Mise à l'échelle des Modèles Intégrés d'Agriculture Résilientes, comprenant la mise à l'échelle des Modèles Intégrés de Riziculture Résiliente (MIRR), Riz pluvial, Systèmes de Riziculture Intensive (SRI)(culture de riz et Systèmes de Riziculture Améliorée (SRA), la modernisation et l'innovation des modèles d'exploitations existants et le développement et la promotion de l'agriculture biologique couvrant les principales commodités alimentaires produites dans le pays</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mettre à l'échelle les innovations agricoles basées sur les nouvelles technologies de production comme le MIAR, l'Agriculture biologique, l'Agriculture Intelligente face au Climat), l'Agroforesterie et l'Agro</li> </ul>	

	écologie, tout en déployant la mise à disposition des intrants	
<b>FORESTERIE (UTCAF)</b>	<i>(CDN2 Page 10)</i> • Reboisement forestier	<i>(PMO Pages 25 à 26)</i> Effectuer des reboisements massifs de bois industriel sur les réserves foncières
	• Restauration mangroves	
	• Restauration des forêts naturelles dégradées	
	• Restauration paysages agroforestiers	
<b>ENERGIE - TRANSPORT</b>	<i>(CDN2 Page 12)</i> • Développer des projets et programmes favorisant les innovations vertes en appuyant la production de biodiesel, en développant des projets minigrid hydroélectriques, en progressant vers les voitures électriques, en basculant vers l'éolienne et le solaire	<i>(PMO Pages 28 à 32)</i> -Appui à la production du biodiesel pour la substitution (carburant durable)
	• Apporter des innovations technologiques à moindre émission dans le secteur du transport incluant le transport par câble, tramway de Tana	-4.5 km de Ligne de TRAMWAY opérationnelle
	• Mettre à l'échelle les initiatives de foyers améliorés	-75000 tonnes de bagasse et 75000 tonnes de balle riz valorisées par an
		-Basculement vers énergie renouvelable (solaire, éolienne), infrastructure et opération
		-Mise en place d'une usine d'incinération de déchets ménagers pour la production d'électricité (Analamanga)
		-Renforcement du réseau de distribution électrique de Toamasina : -Renforcement du réseau de distribution de la JIRAMA / Réduction des pannes d'exploitation
		- MEDIUM RING TANA TOAMASINA
		-Centrales solaires avec stockage (Communes : Imerintsiatosika, Behenjy, Ambohijanaka)
		- Électrification Rurale ER 2019-2030 (MINI-GRID HYDRO, MINI-GRID SOLAIRE, MINI-GIRD BIOMASSE, EXTENSION RESEAU, SHS)
		-1 réseau urbain de Transport par Câble

		(TPC) à Antananarivo
		- Mise en œuvre du plan d'action Madagascar pour la réduction des émissions de CO <sub>2</sub> de l'aviation civile
		- Promotion de la mobilité douce en milieu urbain
		- Opérationnalisation du programme d'économie de bois-énergie par dissémination de foyers économes

### 3 Options de réduction utilisables dans GACMO

Dans le cadre du projet ICAT Madagascar, l'outil GACMO a été utilisé pour évaluer l'impact de certaines actions d'atténuation définies dans la CDN2 et son PMO et estimer les coûts correspondant. Il a été également utilisé initier le suivi de ces actions d'atténuation depuis l'année de référence (2019).

GACMO dispose d'options technologiques de réduction des émissions de GES pour les secteurs concernés par le projet : Agriculture, Foresterie et Energie-Transport. Pour chaque secteur, les options de réduction les plus pertinentes ont été sélectionnées sur la base des informations disponibles dans la CDN2 et son PMO.

Le tableau ci-après présente les 17 options de réduction de GACMO sélectionnées à l'issue des réunions de travail en particulier, entre les consultants nationaux du projet ICAT et les inventorisistes impliqués dans le développement du BUR1.

Table 2: Options technologiques de réduction retenues dans GACMO

SECTEUR	OPTIONS DE REDUCTION RETENUES DANS GACMO
<b>AGRICULTURE</b>	Réduction du CH <sub>4</sub> des cultures de riz
	Culture sans labour
	Couverture de cultures
<b>FORESTERIE</b>	Reboisement
	REDD : déforestation évitée
	Reboisement avec agroforesterie
<b>ENERGIE</b>	Poêles à charbon de bois efficaces
	Réseaux électriques efficaces
	Hydroélectricité connectée au réseau principal
	Mini hydroélectricité connectée au réseau principal
	Mini hydroélectricité hors réseau
	PV solaires, grand réseau
	PV solaires, grand réseau avec stockage 24h
<b>TRANSPORT</b>	Mélange de 10% de biodiesel dans tout le diesel
	Voiture électrique
	Déplacement des passagers de la voiture vers le rail (1 Million de personnes, km/jour)
	Trois-roues électriques

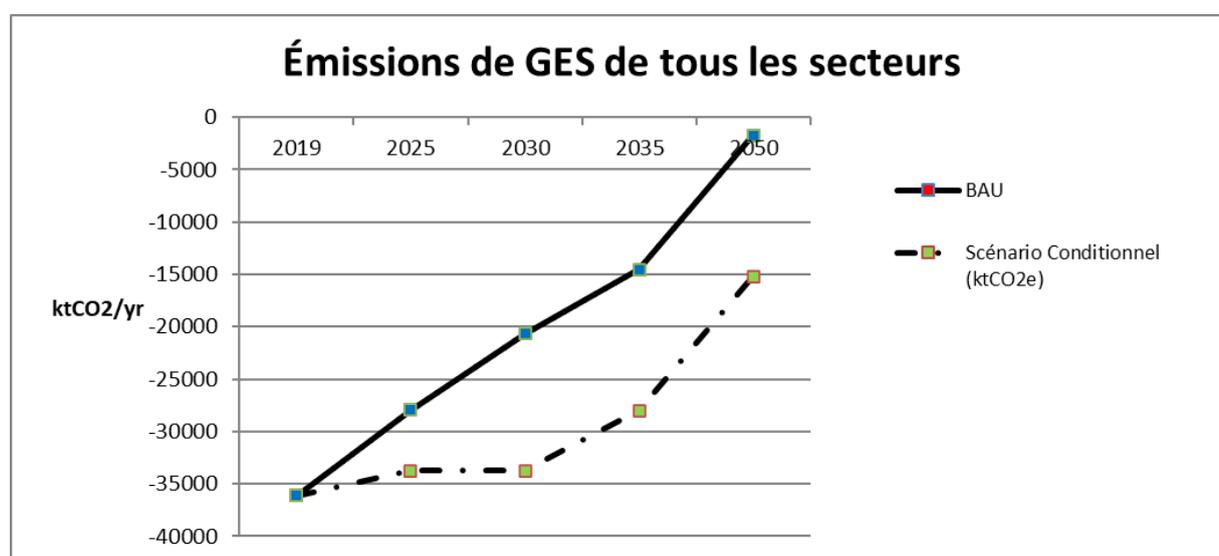
Les données obtenues pour alimenter GACMO sont présentées dans le livrable C2 du projet ICAT. Les

principaux résultats sont présentés et analysés ci-après

## 4 Section 4. Emissions de GES de tous les secteurs

Les émissions du scénario de référence (BAU : Business As Usual /CNA : Cours Normal des Affaires), ainsi que les émissions prenant en compte les 17 actions (scénario conditionnel mis en œuvre en cas de financement) sont présentées dans la figure 1 ci-dessous.

Figure 1 Emissions de GES des secteurs Agriculture, Foresterie et Energie et autres



Les précisions sont dans les tableaux suivants.

Table 3 : Projection des émissions de GES du scénario de référence par sous-secteur économique

Subdivision sectorielle des émissions BAU					
ktCO2e/year	2019	2025	2030	2035	2050
Total	-36 122	-27 972	-20 643	-14 528	-1 724
Énergie	3 196	5 354	7 106	8 611	11 589
Industrie	1 389	2 683	3 579	4 361	5 980
Transport	1 443	2 117	2 819	3 422	4 605
Ménages	98	100	101	101	137
Services	19	12	14	15	20
Agriculture & Pêches	18 518	22 110	25 631	28 298	32 855
Foresterie	-64 020	-64 212	-64 373	-64 534	-65 020
Déchets (solides et liquides)	3 234	3 864	4 481	5 198	8 109

Table 4 : Table 4 Projection des émissions de GES du scénario d'atténuation (17 actions) par sous-secteur économique

Subdivision sectorielle des émissions scénario d'atténuation					
ktCO <sub>2</sub> e/year	2019	2025	2030	2035	2050
Total	-36 122	-33 741	-33 744	-28 021	-15 203
Énergie	3 196	5 149	6 263	7 715	10 831
Industries	1 389	2 683	3 579	4 361	5 980
Transport	1 443	2 119	2 405	3 089	4 147
Ménages	98	45	-333	-752	-717
Services	19	12	14	15	20
Agriculture & Pêches	18 518	21 226	24 384	27 052	31 609
Foresterie	-64 020	-68 840	-74 537	-74 698	-75 184
Déchets (solides et liquides)	3 234	3 864	4 481	5 198	8 109

Remarque : ces tableaux, issus de l'outil GACMO sont par secteur économique et non par secteur de l'inventaire (Exemple : Industrie couvre PIUP + émissions de la consommation d'énergie dans l'industrie).

La figure suivante illustre la projection des émissions de chaque sous-secteur économique pour le scénario de référence.

Figure 2 Projection des émissions BAU) par sous-secteur économique

Le secteur économique le plus émetteur est l'Agriculture, suivie par l'Energie et des Déchets. Le plus faible est celui des Services.

Le tableau suivant présente les émissions du scénario de référence, les réductions liées à la mise en œuvre des 17 actions chiffrables dans GACMO et les émissions du scénario d'atténuations en 2030.

Table 5 : Emissions de GES en 2030

Emissions / Réduction de CO <sub>2</sub> eq en 2030 (ktCO <sub>2</sub> eq)	Emissions du scénario de référence	Réduction (17 actions)	Emissions du Scénario d'atténuation
Centrale électricité	7 106	843	6 263
Industrie	3 579	0	3 579
Transport	2 819	414	2 405
Ménages	101	434	-333
Services	14	0	14
Agriculture & Pêche	25 631	1 246	24 384
Foresterie	-64 373	10 164	-74 537
Déchets	4 481	0	4 481
<b>Total</b>	<b>-20 643</b>	<b>13 101</b>	<b>-33 744</b>

## 5 Analyse des résultats

### Analyse des projections GACMO

La Table 3 présente les résultats de GACMO concernant le scénario de référence. Elle met en évidence une réduction importante du puits entre 2019 et 2030 en l'absence d'actions, passant de  $-36\,122$  Gg CO<sub>2</sub>éq. en 2019 à  $-20\,643$  Gg CO<sub>2</sub>éq. en 2030, soit -42%. Cependant, selon cette première estimation qui reste à améliorer, même en absence d'actions d'atténuation, Madagascar resterait un puits jusqu'environ de 2050, comme le montre la Figure 1.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les résultats de GACMO concernant le scénario d'atténuation conditionnel. Elle met en évidence une légère réduction du puits entre 2019 et 2030, passant de  $-36\,122$  Gg CO<sub>2</sub>éq. en 2019 à  $-33\,744$  Gg CO<sub>2</sub>éq. en 2030.

Néanmoins, la Table 1 montre que la prise en compte des 17 actions dans GACMO résulte en une réduction de  $13\,101$  Gg éq CO<sub>2</sub> par rapport à au scénario de référence (dont une augmentation du puits de  $10\,164$  Gg éq CO<sub>2</sub>).

Dans le cadre de la CDN2 des estimations de réduction d'émissions ont été réalisées afin de fixer un objectif de réduction nationale. Pour 2030 la CDN2 vise une réduction de  $41\,902$  Gg éq CO<sub>2</sub> et une séquestration additionnelle de  $-37\,809$  Gg éq CO<sub>2</sub><sup>1</sup> par rapport aux émissions de 2010, soit une réduction totale de  $79\,911$  Gg éq CO<sub>2</sub>.

Les 17 actions, dont l'impact a été estimé dans GACMO, semblent loin de permettre d'atteindre les objectifs de la CDN2.

L'écart observé entre l'évaluation de la CDN et les résultats de GACMO peuvent avoir plusieurs causes :

- L'année de référence de la CDN2 est 2010 et celle utilisée dans GACMO est 2019 ;
- Les estimations ex-ante de la CDN2 s'appuyaient sur des méthodologies d'inventaire basées sur les Lignes Directrices 1996 du GIEC et le Guide des Bonnes Pratiques de 2000 alors que GACMO est basé sur les Lignes Directrices 2006 ;
- L'inventaire servant de base à la CDN2 étaient très incertain et a été amélioré en termes d'exhaustivité et d'exactitude pour le BUR1 (qui sert de base à GACMO pour l'année de référence) ;
- Toutes les actions n'ont pas pu être prises en compte dans GACMO, ou de façon non satisfaisante (notamment concernant la foresterie dont le poids est particulièrement important dans l'inventaire de Madagascar) ;
- De nombreuses hypothèses ont dû être faites pour la mise en œuvre de GACMO et son application reste à améliorer ;

---

<sup>1</sup> Deuxième Contribution Déterminée au Niveau National de la République de Madagascar – Septembre 2022 – Ministère de l'Environnement et de Développement Durable

## Analyse des coûts des mesures

GACMO propose un calcul de coût des options d'atténuation afin de sélectionner les actions les plus efficaces grâce à la Courbe de Revenu d'Atténuation Marginal (RAM). Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants.

Table 7 Réduction d'émissions par option et son Revenu d'Atténuation Marginal

Options incluses dans la courbe RAM		
Option de réduction	US\$/tonCO2	Réduction d'émissions par options en 2030 ktCO2e/an
Hydroélectricité connectée au réseau principal	444,06	407,82
PV solaires, grand réseau	392,26	73,54
PV solaires, grand réseau avec stockage 24h	300,59	168,35
Poêles à charbon de bois efficaces	110,83	433,96
Reboisement avec agroforesterie	3,10	129,80
REDD : déforestation évitée	2,01	1234,20
Reboisement	1,42	8800,00
Réduction du CH4 des cultures de riz	-1,20	1341,27
Couverture de cultures	-16,43	16,80
Réseaux électriques efficaces	-111,11	183,03

Options exclues de la courbe RAM		
Option de réduction	US\$/tonCO2	Réduction d'émissions par options en 2030 ktCO2e/an
Mini hydroélectricité connectée au réseau principal	276,21	8,74
Mini hydroélectricité hors réseau	46,57	1,58
Trois-roues électriques	-39,11	0,16
Voiture électrique	-80,61	-52,48
Mélange de 10% de biodiesel dans tout le diesel	-309,72	452,94
Déplacement des passagers de la voiture vers le rail (1 Million de personne, km/jour)	-1238,74	13,09

Les meilleurs ratios pour les 3 secteurs, appartiennent à l'option « Reboisement » et à l'option « Réduction du CH<sub>4</sub> des cultures de riz ». Les options de réduction « Poêles à charbon de bois efficaces » et « REDD : déforestation évitée » ont des ratios intéressants.

Pour la production d'électricité, le meilleur ratio Réduction d'émissions - RAM revient à l'hydroélectricité suivie des PV solaires, grand réseau avec stockage 24h.

Pour le Transport, le meilleur est le mélange au Biocarburant

## 6 Suivi des actions des CDN

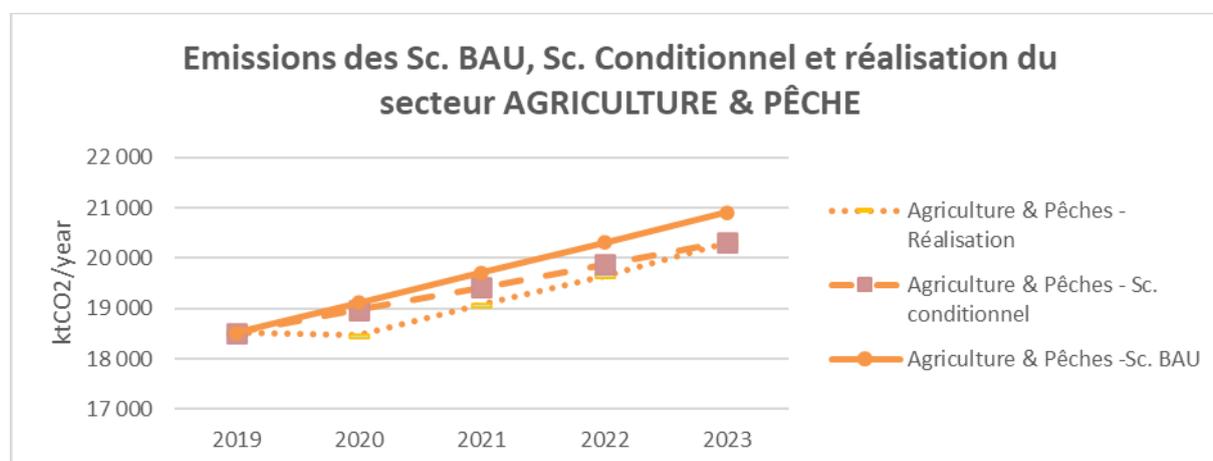
GACMO a été utilisé comme outil de suivi des actions de la CDN2 pour vérifier la faisabilité. L'année de référence étant 2019, le suivi n'a pu être réalisé que pour les années 2020 à 2023.

Une feuille de calcul complémentaire, intitulée « Résultats », a été créée dans GACMO pour faciliter l'interprétation des résultats de suivi. Les émissions des années intermédiaires des scénarios de référence et du scénario d'atténuation sont des interpolations linéaires entre celle de 2019 et les résultats de GACMO pour 2025.

Les émissions des Scénarii BAU, Scénario d'atténuation et réalisation des secteurs Agriculture, Foresterie et Energie sont présentées successivement dans les figures suivantes puis sont analysées brièvement.

## 6.1 Secteur Agriculture

Figure 3 Emissions des Sc. BAU, Sc. conditionnel et réalisation du secteur Agriculture



Concernant le secteur « Agriculture », les émissions de la Réalisation rejoignent celles de la réduction scénario conditionnel en 2023.

La mise à jour du « suivi des actions » les prochaines années permettra de s'assurer que Madagascar est sur la trajectoire estimée par GACMO pour les actions du secteur agriculture.

## 6.2 Secteur Foresterie

Figure 4 Emissions des Sc. BAU, Sc. conditionnel et réalisation du secteur Foresterie

Concernant le secteur « Foresterie », la réalisation s'écarte des émissions BAU et scénario Conditionnel et le puits est plus important que prévu entre 2019 et 2023. La trajectoire est donc bonne.

Cependant, ce résultat est très dépendant du taux de croissance qui a été pris en compte dans GACMO pour définir le scénario de référence du secteur. Ce taux de croissance (0,01%) de la feuille "Croissance" devra peut-être être affiné pour faire une meilleure analyse de la trajectoire.

## 6.3 Secteur Energie

Figure 5 Emissions des Sc. BAU, Sc. conditionnel et réalisation des secteurs Energie - Transport

Concernant le secteur « Energie », les émissions sont inférieures à celles du scénario d'atténuation et respecte donc les objectifs.

## 7 Usages de GACMO pour les Politiques d'atténuation

## 8 Evaluation des actions des CDN (usage ex-ante)

La finalisation du BUR1 de Madagascar est en cours. Ce travail sera suivi incessamment par la prochaine CDN qui nécessite de définir et quantifier les actions d'atténuation des émissions de GES des secteurs en Agriculture, Foresterie, Energie (dont Transport), Industrie et Déchets.

L'outil GACMO peut répondre aux besoins d'évaluation concernant les émissions des scénarios de référence et de certaines des actions envisagées. Par ailleurs, GACMO présente l'intérêt d'estimer les coûts d'investissement et des coûts annuels y afférents des actions. Son applicabilité comme outil simple de projection a été confirmé sur le cas des actions de la CDN2 du secteur de l'Energie lors du présent projet, d'autant qu'il est largement partagé (réseau d'utilisateur) et fait l'objet d'améliorations fréquentes, voire d'adaptation à la demande. Cependant des limites à son utilisation ont été identifiées notamment concernant la disponibilité des données d'entrée et la possibilité d'évaluer l'impact de mesures précises dans le cas de l'agriculture et la Foresterie.

Pour les cas les plus complexes, Madagascar envisage de compléter GACMO par d'autres outils plus spécifiques (par exemple EXACT ou les guides d'évaluation des Politiques publiés par ICAT).

## 9 Suivi des actions (usage ex-post)

L'usage de GACMO comme outil de suivi des actions de la CDN2 sur la période 2020-2023 a montré l'intérêt de l'outil dans le cadre d'un mécanisme de suivi des actions des CDN.

Pour améliorer et pérenniser les collectes de données pour les outils de calcul d'émissions de GES, il est proposé d'instaurer par voie Gouvernementale et/ou interministérielle, un texte réglementaire régissant l'obligation de transfert ou échange de données entre les départements techniques en charge de la programmation, planification, suivi et évaluation de chaque ministère et sa Cellule Environnementale, division technique.

## 10 Conclusion

Un atelier de formation à GACMO a été organisé dans le cadre du projet ICAT Madagascar. Des canevas de collectes de données ont été définis et complétés lors d'ateliers techniques avec les experts sectoriels et les parties-prenantes.

Le travail effectué avec l'aide de l'outil GACMO a apporté des précisions sur les options d'atténuation d'émission de GES pour les 3 secteurs Agriculture, Foresterie et Energie recommandées par la CDN2 et son PMO. L'évaluation des quantités de GES émis et des réductions à partir du recours aux options technologiques de réduction contenues dans le modèle a été effectuée. L'appréciation des coûts d'atténuation de chaque option et de l'ensemble des options, de chaque secteur et de tous les secteurs a été effective.

Ainsi, il est démontré que l'utilisation de l'outil GACMO est appropriée pour améliorer l'évaluation de l'impact des prochaines CDN avec les précisions et transparence requises.

Cependant, la maîtrise de cet outil par les experts et décideurs nationaux doit encore être renforcée. Les projections intégrées nécessitent des améliorations progressives, certains éléments de base restant sommaires. Les réajustements en cours par l'UNEP-CCC sont attendus avec intérêt pour optimiser et affiner l'utilisation de GACMO. Il s'agira également de développer des onglets qui permettront d'intégrer les mesures des CDN qui ne sont pas encore prises en compte par la version actuelle de GACMO pour mieux répondre aux besoins et au contexte national de Madagascar.