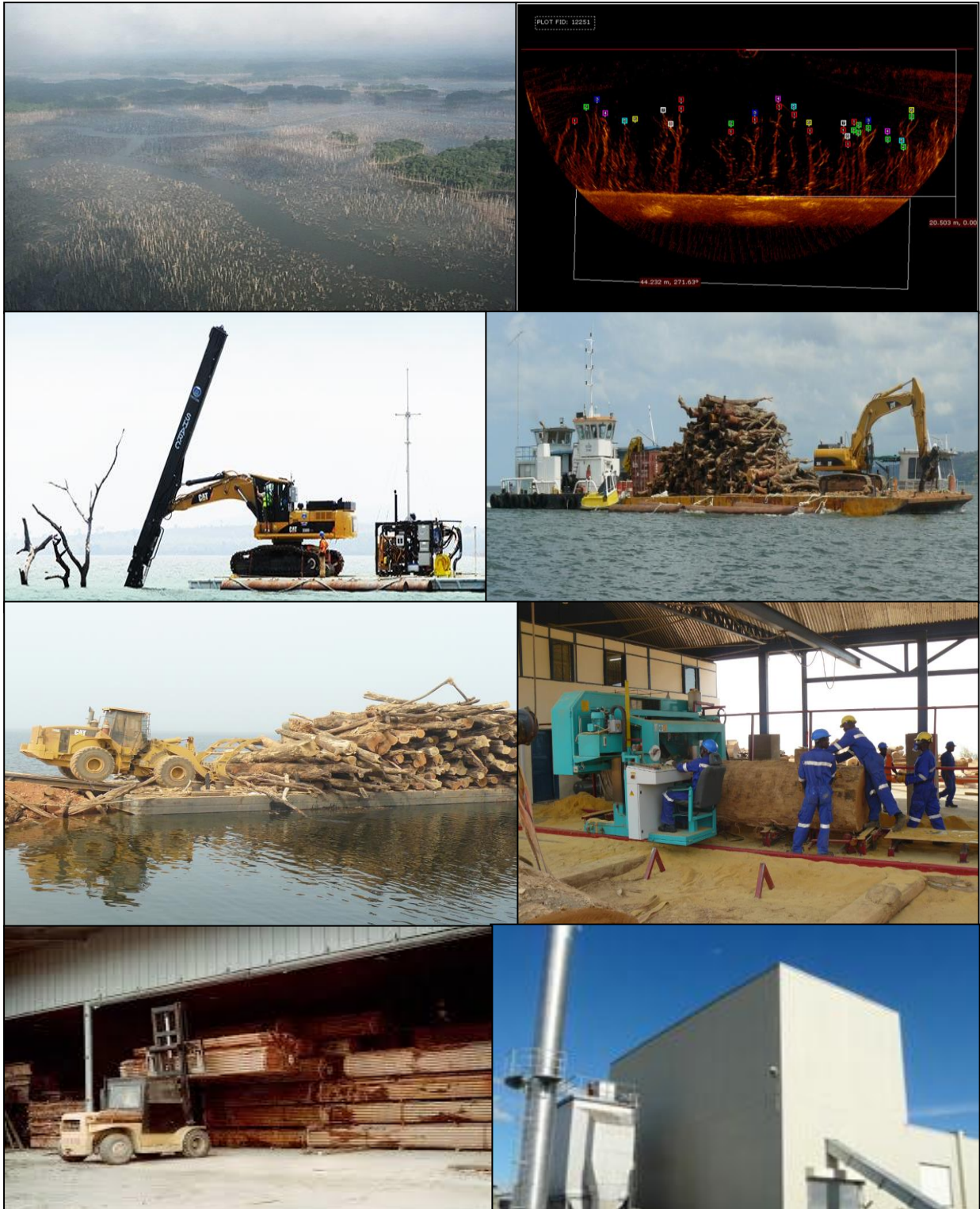


# VALORISATION DES BOIS DU LAC DE PETIT-SAUT

## BILAN CARBONE DU PROJET



## Sommaire

### 1. Introduction

### 2. Description du projet ..... p 5

- 2.1. Historique ..... p 5
- 2.2. Contexte énergétique ..... p 6
- 2.3. Localisation du projet ..... p 7
- 2.4. Cadrage réglementaire ..... p 10
- 2.5. Enjeux industriels et énergétiques ..... p 11
- 2.6. Enjeux sociétaux et économiques ..... p 12
- 2.7. Evaluation du potentiel forestier du lac ..... p 13
- 2.8. Volumes pris en compte pour le bilan carbone ..... p 15
- 2.9. Itinéraire technique de récupération du bois immergé ..... p 16

### 3. Bilan carbone du projet ..... p 20

- 3.1. Approche méthodologique ..... p 21
- 3.2. Scénario de projet ..... p 22
- 3.3. Scénario de référence ..... p 24
- 3.4. Estimation des émissions de GES liées au deux scénarios ..... p 27
- 3.5. Bilan carbone global ..... p 42

### 4. Discussion ..... p 43

- 4.1. Taux de décomposition à 100 ans du bois submergé ..... p 43
- 4.2. Choix du scénario de référence ..... p 45
- 4.3. Définition du scénario de référence ..... p 45
- 4.4. Facteurs d'émissions du diesel et de l'essence ..... p 45
- 4.5. Consommation des machines ..... p 46

### 5. Conclusion ..... p 47

### Bibliographie ..... p 48

## Sigles et abréviations

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
CH <sub>4</sub>	Méthane
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
EDF	Électricité de France
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
MDP	Mécanisme de développement propre
PRG	Pouvoir de réchauffement global
REDD	Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VCS	Verified Carbon Standard
GWh	Giga-Watt-heure
h	heure
ha	hectare
kg	kilogramme
km	kilomètre
kVA	Kilo Volt-Ampère
kWh	Kilo Watt heure
L	litre
m <sup>2</sup>	mètre carré
m <sup>3</sup>	mètre cube
MW	MegaWatt
t	tonne
tCO <sub>2</sub> e	tonne de CO <sub>2</sub> équivalent
TJ	TeraJoule
tms	tonne de matière sèche

## 1. Introduction

Le besoin énergétique de la Guyane est en forte progression. Cela est dû principalement à la croissance démographique exceptionnelle du territoire. Dans le cadre de la loi de transition énergétique, dans le cadre de la programmation pluriannuelle de l'énergie qui en découle, et plus récemment dans le cadre du plan climat, il est prévu d'accroître encore les efforts en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Grâce à ses ressources forestières, la Guyane possède un certain potentiel pour répondre favorablement à cet objectif. Cependant, la question de l'empreinte environnementale de la filière bois se pose. Au cours des dernières années, la filière bois guyanaise, sous l'impulsion de l'ONF, a réalisé d'importants progrès, en instaurant une charte d'exploitation forestière à faible impact. Cette charte vise à préserver au mieux la biodiversité forestière et à réduire les rejets de gaz à effet de serre. Le projet de valorisation des arbres submergés de la retenue du barrage de Petit-Saut peut lui aussi s'inscrire dans cette volonté de minimiser l'impact de la production de bois sur la forêt et sur le climat.

Le projet a été initié il y a cinq ans. Il s'appuie sur des études menées par l'ONF, par HYDRECO, par BIOTOPE, par VOLTALIA et par TRITON. En parallèle, un échange continu avec les services de la DEAL, de l'ADEME, de la Préfecture, avec EDF et avec le comité scientifique de PETIT-SAUT a été engagé. Cela a permis d'avancer en tenant compte des spécificités de la Guyane et du contexte global dans lequel le projet s'inscrit. Le porteur du projet a ainsi décidé de réaliser plusieurs études sur le sujet de l'environnement, et ce alors même que l'exploitation forestière aquatique ne relève d'aucune réglementation environnementale spécifique (ICPE, loi sur l'eau...). Cette note concerne plus particulièrement le bilan carbone du projet.

## 2. Description du Projet

### 2.1. Historique

Le barrage de Petit-Saut a été construit en 1994. La retenue d'eau occupe une superficie de 310 km<sup>2</sup>, assurant une alimentation en électricité pour 50% des foyers du littoral guyanais. Une grande superficie forestière s'est retrouvée submergée lors de la création de la retenue, transformant un écosystème fluvio-forestier en un écosystème lacustre occupé par une forêt morte.

En 2012, EDF a lancé une démarche visant à valoriser les arbres submergés de la retenue de Petit Saut. L'entreprise souhaitait utiliser cette ressource « perdue » pour mettre en œuvre une capacité de production d'énergie supplémentaire en Guyane. Pour se faire, EDF a contacté TRITON, entreprise spécialisée dans l'exploitation mécanisée des forêts immergées. En janvier 2013, des représentants d'EDF se sont rendus au Ghana pour observer les opérations d'exploitation et de sciage des bois de TRITON sur le lac Volta. Cette visite a été concluante. EDF a apprécié l'efficacité des processus mis en œuvre ainsi que la rigueur avec laquelle l'exploitation était menée, tant sur le plan technologique que sur le plan environnemental et humain.

En juin puis en décembre 2013, TRITON a déployé des équipes en Guyane pour mener un inventaire de la ressource de Petit Saut. Ces deux périodes de l'année ont été choisies car le lac y est respectivement à ses plus haut et plus bas niveaux, permettant ainsi d'obtenir une vision la plus complète possible de la situation. Dès 2014, une première analyse de ces inventaires a permis de conclure à la présence d'une ressource en quantité et qualité suffisante pour réaliser à la fois une production de bois d'œuvre et de biomasse énergie.

Fin 2014, suite à une évolution stratégique du groupe, EDF a décidé de ne plus investir dans la biomasse. L'entreprise a alors recommandé à TRITON de développer ce projet avec un autre énergéticien. TRITON a contacté VOLTALIA et les deux entreprises ont poursuivi ensemble le développement du projet.

Entre 2015 et 2016, les inventaires ont été approfondis. Ils ont notamment été croisés avec les données d'inventaire historiques de l'Office National des Forêts. De même, la viabilité du projet a été regardée sous tous ses aspects. Par ailleurs, dès début 2015, TRITON a lancé une réflexion sur la démarche environnementale la mieux adaptée à l'activité. La DEAL s'est vu présenter le projet à l'été 2015 et a émis ses premières recommandations sur le sujet. La relation avec la DEAL s'est poursuivie en 2016, notamment pour fixer le cadre légal et réglementaire dans lequel le projet se situe, tant sur un plan environnemental qu'urbanistique (les deux étant liés notamment par la loi littorale). En parallèle de ces réflexions, les démarches d'identification d'un site terrestre adapté à l'activité ont été menées.

En 2016, TRITON a conclu avec l'ONF un contrat d'approvisionnement pour l'exploitation de la biomasse du lac. TRITON et VOLTALIA ont également signé un contrat d'achat du bois énergie. De même, en 2016, dans la continuité des instances précédentes, le projet a fait l'objet d'une présentation de protocole environnemental en Comité Scientifique de Petit Saut (pour la partie lacustre de l'activité). L'objet était de traiter des deux volets principaux de ce protocole, à savoir la biodiversité aquatique et le bilan carbone. A la suite du comité scientifique, le protocole

environnemental pour la faune/flore a été lancé (en août 2016), en lien avec BIOTOPE et HYDRECO. Deux missions d'analyse terrain de la faune du lac ont été réalisées par HYDRECO, visant à évaluer l'impact de la coupe des arbres sur la chaîne trophique du lac.

En 2017, fort d'un cadrage réglementaire clarifié, disposant de protocoles pour les différentes composantes environnementales et industrielles du projet, TRITON et VOLTALIA ont engagé les études de terrain nécessaires à la constitution d'un dossier de demande d'autorisation. Par ailleurs, les deux porteurs du projet ont réalisé un bilan carbone pour l'ensemble du projet ainsi qu'une analyse concernant l'avifaune.

Les porteurs du projet envisagent dorénavant une saisine de l'autorité environnementale au début de l'année 2018, dans l'optique de démarrer l'exploitation aquatique en 2019.

### 2.2. Contexte énergétique

A l'échelle nationale, la Loi sur la Transition Énergétique publiée au Journal Officiel le 18 août 2015 fixe les objectifs des prochaines années en matière énergétique. Cette loi a pour objectif d'atténuer le réchauffement climatique en orientant la France sur une trajectoire de croissance durable et d'autonomie énergétique. De même, en juillet et septembre 2017, le gouvernement a établi un plan climat ambitieux visant à accélérer le rythme des démarches de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le projet de centrale biomasse valorisant le bois de Petit Saut vient s'inscrire dans l'effort national pour atteindre ces objectifs.

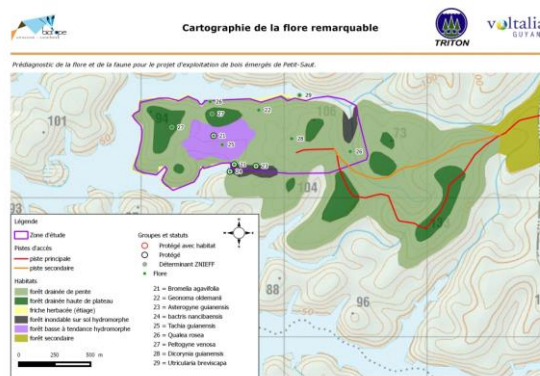
La loi de 2015 revoit le processus de programmation (tous secteurs énergétiques confondus) au travers de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE). En Guyane, la PPE établit la stratégie énergétique dans le but d'atteindre les objectifs de la loi. A ce titre, le projet de TRITON et VOLTALIA s'inscrit pleinement dans la deuxième phase de cette programmation, c'est-à-dire dans la période qui s'étend de 2019 à 2023, en participant à l'objectif d'une production énergétique biomasse de 40 MW à l'horizon 2023. Une centrale de production d'électricité basée sur la biomasse submergée du lac Petit-Saut, serait capable de produire approximativement 76 GWh par an, soit 8% de la production électrique actuelle nécessaire à l'alimentation de la Guyane. Elle pourrait contribuer à la marche en avant du territoire dans l'atteinte d'une autonomie énergétique à l'horizon 2030 ainsi qu'à la mise en place d'une filière biomasse de niveau industriel.

### 2.3. Localisation du projet

Mi-2015, TRITON et VOLTALIA ont lancé la démarche de sélection d'un site en bordure de lac, avec pour objectif de trouver un emplacement adéquat pour aménager un quai, des aires de stockage et d'égouttage, une scierie ainsi qu'une centrale biomasse (et toutes les infrastructures associées). Des reconnaissances au sol et des mesures topographiques aériennes (LIDAR) ont sous-tendu cette démarche. L'enjeu du projet est de récupérer le bois mort pour le transformer en bois d'œuvre et pour valoriser les connexes d'exploitation et de scierie en biomasse énergie, tout ceci de la manière la plus efficiente. Les porteurs ont donc cherché à implanter les trois activités industrielles (récolte du bois, production de bois d'œuvre et production d'électricité) sur un même site situé au bord de la retenue.

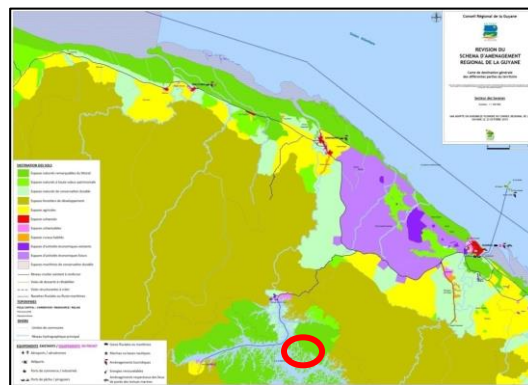
Pour faire ce choix d'implantation, de nombreuses informations ont été prises en compte, telles que les données cartographiques du lac, l'existence d'installations autour du lac, les infrastructures en place (route, pistes et réseaux électriques), les zonages ZNIEFF et réglementaires, les exigences du projet de SAR (validé depuis par le Conseil d'Etat), le POS de la commune de Sinnamary, les exigences de la loi littoral, des relevés LIDAR effectués sur deux zones élargies (conduits par ALTOA début 2015), des campagnes de relevés bathymétriques, le PPRI de Guyane ainsi que des analyses de la topographie et de l'accessibilité des zones. Une analyse multicritères a ensuite été menée afin de sélectionner le meilleur site, basée sur les critères principaux suivants : l'accessibilité (lac <1km, route <5km et raccordement <25 km), la surface disponible (environ 20 ha en continu), les enjeux environnementaux, l'économie du projet et la compatibilité avec les documents d'urbanisme.

Suite à cette analyse, deux sites ont été retenus. Le premier site a été sélectionné dès 2015, proche de la Crique Plomb, localisé à environ 10 km du barrage, et à 2 km environ de la piste forestière de Crique Plomb. Ce premier site est intéressant car il nécessite des terrassements raisonnables pour des plateformes continues et il est propice à l'implantation d'un débarcadère. Par ailleurs, il n'est sujet à aucun conflit d'usage et reste éloigné des zones de passage. Une campagne de mesures de terrain a alors été confiée à BIOTOPE lors de la saison sèche de 2015. Cette campagne a révélé la présence de nombreuses espèces rares, protégées et endogènes. (Cf. figure 1 ci-dessous)



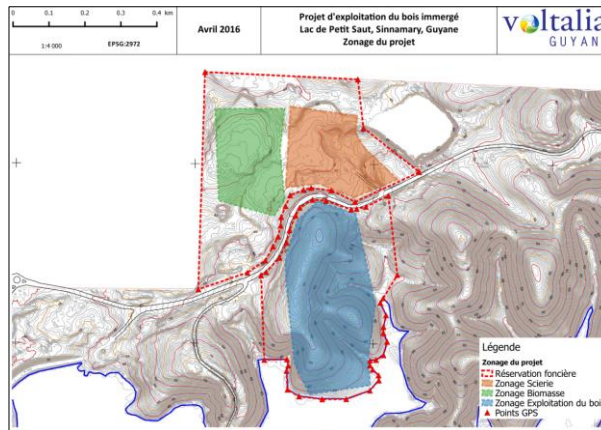
**Figure 1 - Cartographie des espèces trouvées par BIOTOPE sur le site de Crique Plomb**

De même, l'analyse du SAR en projet a mis en avant que ce site se situait dans une future zone à haute valeur patrimoniale (Cf. emplacement du site sur la figure ci-dessous).



**Figure 2 - Localisation du premier site sur le projet de SAR Guyane**

Le second site dit de « Crique Crabe» a alors été analysé (présenté sur la carte suivante). Il s'agit d'un terrain du domaine privé de l'Etat dont la gestion est confiée à l'ONF.



**Figure 3 – Seconde zone d'implantation du projet**

Ce site présente une complexité supérieure en matière de terrassement (notamment aux abords du lac) mais il est moins problématique en matière environnementale (site majoritairement situé sur les anciennes carrières ayant servi à l'extraction des matériaux du barrage). Il sera cependant nécessaire de prêter une attention particulière aux sujets suivants :

- La mise en œuvre d'une plateforme proche du lac ;
- Le croisement avec la route de Petit Saut ;
- La proximité avec des activités utilisant le dégrad public (dégrad utilisé par les sociétés minières AUPLATA et SMSE et par les opérateurs touristiques) ;
- La proximité du barrage.

Ces points feront l'objet d'études de solutions, notamment en termes de sécurité et d'intégration paysagère.



**Figure 4 - Aperçu du site de crique crabe**

Quant à la zone d'exploitation lacustre, elle concerne à priori la totalité du lac de Petit Saut, sachant que cette exploitation se fera sur des parties du lac ne couvrant pas l'ensemble du réservoir, et ce pour des considérations principalement environnementales (Cf. paragraphe spécifique sur le sujet), notamment en ce qui concerne les zones ayant probablement un rôle important dans la chaîne

trophique. Après analyse détaillée, le site de Crique Crabe (Cf. Figure 5 et Figure 6) a été retenu pour son impact environnemental potentiellement plus faible et pour sa proximité avec les installations de réseau électrique public.



Figure 5 - Localisation du projet

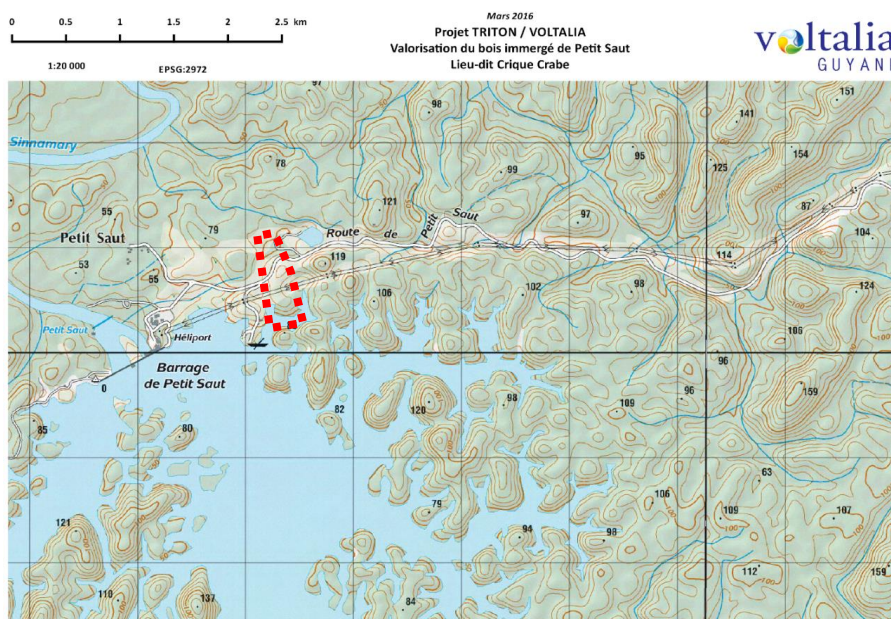


Figure 6 - Site du projet

## 2.4. Cadrage réglementaire

En septembre 2015, les porteurs du projet ont adressé à la DEAL une demande de pré-cadrement environnemental. L'objectif était de définir le cadre s'appliquant en matière de législation environnementale et urbanistique. En mars 2016, un partage a été réalisé entre la DEAL et les porteurs afin de mieux cerner les exigences réglementaires et législatives applicables au projet. Ces échanges ont permis de statuer sur la démarche à réaliser en matière d'instruction environnementale, à savoir :

Le projet est soumis de fait à deux autorisations ICPE: La première pour la centrale biomasse (« Combustion » avec plus de 20 MW thermiques de capacité de la chaudière) et la seconde pour le broyage du bois. En ce qui concerne la loi sur l'eau, cette dernière ne prévoit rien en matière d'exploitation forestière aquatique, ce qui pourrait donc laisser toute latitude à une exploitation immédiate. Cependant, il a été décidé de mener des études d'impacts (notamment faune-flore) afin de déterminer quelles pourraient être les mesures à prendre pour éviter, réduire ou compenser certains impacts de l'exploitation aquatique sur le milieu concerné. Un protocole a alors été établi avec HYDRECO pour réaliser un état faune-flore et physico chimique du milieu et une analyse des impacts potentiels de la coupe du bois submergé. Il a par ailleurs été décidé de travailler avec une structure compétente afin de mieux appréhender la question de l'avifaune du lac de Petit Saut. Le GEPOG (groupe d'étude et de protection des oiseaux de Guyane) s'est vu confié cette analyse.

En parallèle, en 2016 et 2017, la réflexion s'est prolongée entre DEAL et porteurs afin de réfléchir à l'application de la loi littorale concernant le futur site terrestre du projet. Les échanges ont conduit aux orientations suivantes: Les dispositions relatives à la zone des 50 pas géométriques ne sont pas applicables au lac de Petit-Saut. Celles relatives aux zones proches du rivage sont applicables. En conséquence, la partie nord du site d'implantation (située au nord de la route) ne sera pas considérée comme un espace proche du rivage sous certaines conditions d'absence de co-visibilité avec le lac. La mise en œuvre des infrastructures du projet est donc possible au regard de la loi littorale. Sur la partie sud, il est possible d'implanter des constructions à partir du moment où ces dernières relèvent exclusivement de l'exploitation forestière (quai de déchargement, zones de stockage).

En conclusion, il est possible d'établir les activités d'exploitation du lac sur la partie sud et les activités de sciage, broyage et production d'électricité sur la partie nord. Le projet global est soumis à autorisations ICPE et l'exploitation lacustre, bien que non visée par la loi, fera l'objet d'une étude d'impact.

### 2.5. Enjeux industriels et énergétiques

Le lac artificiel de Petit-Saut, formé par le barrage hydroélectrique d'EDF, s'étend sur quelques 34 000 hectares, submergeant de grandes quantités de forêt. Après plus de 20 ans d'enneigement, le bois est toujours présent dans le lac et il représente une quantité importante de biomasse morte et en décomposition lente. L'enjeu du projet est de récupérer une partie de ce bois pour le transformer en bois d'œuvre et pour valoriser les connexes d'exploitation et de scierie en biomasse pour la production d'électricité.

Les enjeux énergétiques en Guyane sont importants car le besoin de la population est croissant, contrairement à la métropole, et la capacité de production existante, qui date de plus de vingt ans, nécessite d'être renouvelée. Ce projet à lui seul permettrait de répondre à ce besoin croissant en amenant sur le réseau électrique un volume d'électricité correspondant à 8% de la production actuelle (base énergie nette livrée au réseau en 2014). De plus, l'énergie biomasse étant produite de manière garantie et en base, elle permettrait d'éviter à hauteur de 76 GWh l'utilisation de groupes diesel et de turbines à combustion, moyens coûteux, émetteurs de GES et qui rendent la Guyane dépendante de ses importations de combustible. De même, au-delà de l'évitement d'une énergie fossile importée, ce projet, basé sur une énergie garantie, permettrait d'accroître le potentiel d'intégration d'énergies

intermittentes (solaire et éolien), énergies dont le taux de pénétration est légalement et techniquement limité à 30% (arrêté ministériel du 23 avril 2008).

Sur le plan stratégique, ce projet s'inscrit également dans le renforcement de la filière biomasse en Guyane. L'utilisation de 14 000 tonnes de biomasse issues du lac à la centrale biomasse existante de Kourou (exploitée par VOLTALIA), permettrait d'assurer la continuité de la production de cette unité (à hauteur de 6 GWh) et faciliterait la mise en place du plan d'approvisionnement de la future centrale biomasse de Cacao. En effet, à l'heure actuelle, la moitié des besoins de la centrale de Kourou est assurée par de la biomasse venant de la scierie de Cacao, située à 112 km. Demain, cette biomasse sera utilisée par la nouvelle centrale biomasse de VOLTALIA, située à côté de la scierie de Cacao. Approvisionner la centrale de Kourou par une ressource venant de Petit Saut permettrait donc de réduire le circuit logistique de plus de 60 km et donc les émissions de carbone en résultant. Cette mise en place contribuerait donc à l'efficacité énergétique et économique du réseau d'approvisionnement en biomasse du territoire.

TRITON a une expérience d'exploitation de bois immergé dans plusieurs pays, tels que le Ghana et le Panama. Après plusieurs années d'activités liées à la coupe de bois immergé dans un but d'aménagement de lacs (voies de circulation, amélioration de la sécurité des usagers...), essentiellement en Amérique du Nord, TRITON a démarré en 2011 une activité d'exploitation à grande échelle sur le lac Volta, et ce dans une logique de valorisation en bois d'œuvre. Sur une partie de ce lac immense, TRITON a obtenu une concession d'exploitation. La valorisation du bois en biomasse n'a pas été envisagée au départ, principalement parce que la gouvernance de l'énergie est peu mature dans ce pays. Par exemple, les infrastructures électriques susceptibles d'accueillir une centrale sont soit absentes, soit très régulièrement défectueuses. Par ailleurs, en 2014, TRITON a également démarré une activité d'exploitation à vocation de bois d'œuvre au Panama, ceci dans le cadre d'une prestation d'exploitation forestière effectuée pour le compte d'une société ayant la concession sur une zone bien définie.

L'exploitation de la retenue de Petit Saut, avec son double objectif bois d'œuvre/bois énergie, serait donc une première. Cependant, la technologie et les processus organisationnels mis en œuvre sont en tous points identiques à ceux mis en œuvre au Ghana et au Panama.

VOLTALIA développe depuis plusieurs années des projets de production d'électricité biomasse sur le territoire guyanais. Un premier projet est sorti en 2009 à Kourou, pour une puissance installée de 1,7 MW, permettant de produire environ 12 GWh par an. Cette centrale a été le projet biomasse pionnier de VOLTALIA en Guyane, permettant d'assurer à la société un retour d'expérience en matière de développement, de conception et d'exploitation de ce type de centrale dans les conditions spécifiques du territoire. Suite à cela, plusieurs projets ont germé, notamment celui de Cacao, utilisant les connexes de l'exploitation forestière de l'Est guyanais, les connexes de la scierie de Cacao, ainsi que la défriche du bassin agricole voisin. Un autre projet moins avancé est celui d'Iracoubo, basé sur l'aménagement du bassin agricole de la commune, sur la récupération de la défriche, sur la production de biomasse d'origine agricole et sylvicole et sur la valorisation des connexes d'exploitation forestière de la forêt de COUNAMAMA.

## 2.6. Enjeux sociétaux et économiques

La Guyane se développe et a besoin d'énergie électrique pour alimenter sa population et pour sécuriser le réseau existant. Il y a trente ans, préalablement à l'enneigement du barrage, la biomasse de Petit-Saut a fait l'objet d'une réflexion. Ce sont principalement l'impossibilité de récupérer en peu de temps une telle quantité de bois (14 millions de m<sup>3</sup> évalués à l'époque) et les risques liés à l'injection sur le marché d'un tel volume dans un délai court qui ont notamment prévalu dans la décision de ne pas récupérer la ressource. Les installations prévues par VOLTALIA et TRITON permettront de valoriser une partie de cette ressource locale de manière lissée sur 25 ans et ainsi d'apporter une partie de la réponse aux besoins du territoire, tout en participant à la diversification des sources de production d'énergie. Il est important de préciser que cette production se fera à un coût inférieur au coût actuel de production du mix énergétique guyanais, contribuant à réduire le coût du service public de l'électricité.

La Guyane est confrontée à l'heure actuelle à un taux de chômage très élevé (notamment chez les jeunes). En moyenne annuelle, sur l'ensemble de la population, le taux de chômage en Guyane était de 21,9% en 2015, très supérieur au taux métropolitain (10,4 %). Les jeunes sont les plus touchés, les moins de 25 ans subissent un taux de chômage de 46,5%. Le projet dans son ensemble répond à cette problématique en créant environ 70 emplois directs (exploitation du bois submergé, transport, broyage, scierie et centrale) auxquels s'ajouteront les emplois liés à la phase de construction.

VOLTALIA souhaite également profiter de sa centrale de Kourou pour y former des jeunes (pendant la phase de construction) aux métiers de techniciens et d'opérateurs de centrale biomasse. Cela permettra de renforcer les compétences et l'emploi local de manière à ce que ces jeunes puissent être opérationnels lors de la mise en service de la centrale de Petit-Saut. L'exploitation du bois permettra aussi un renforcement de la filière bois guyanaise avec l'entrée d'un nouvel acteur et une production endogène de matière première. Une première évaluation des retombées financières directes (Taxe foncière CFE, CVAE, redevances ONF...) permet d'estimer à environ 2 M€/an le montant de ces retombées pour le territoire, auxquelles vont s'ajouter la fiscalité sur les bénéfices et les retombées induites liées aux activités connexes et emplois créés.

En ce qui concerne la navigabilité, la mise en place de l'exploitation du bois submergé du lac de Petit Saut permettra de libérer des espaces sur le lac, ouvrant des opportunités pour des activités touristiques et nautiques mais également scientifiques. Le CNES, contacté en 2013, avait émis l'idée de s'impliquer (via sa mission Guyane) dans la mise en œuvre de projets d'aménagement sur cette zone.

Le projet présente donc un intérêt fort pour le territoire. Il repose exclusivement sur l'exploitation d'une ressource endogène, permet de renforcer une filière qui s'établit progressivement, et met en action deux acteurs ayant de fortes compétences techniques. Il apporte une contribution à l'économie guyanaise, notamment par la création d'environ 70 emplois temps plein en régime établi et en répondant aux besoins électriques du territoire.

## 2.7. Evaluation du potentiel forestier du lac

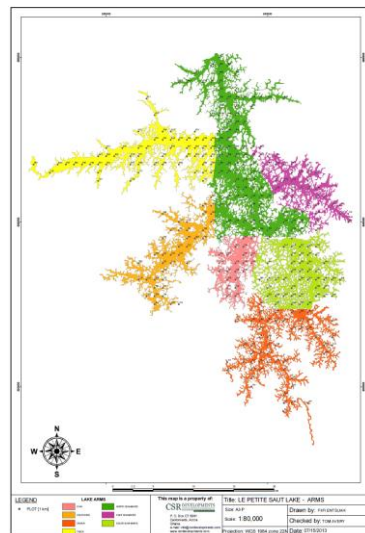
Lorsque le réservoir de Petit Saut a été mis en eau en 1994, environ 35 000 ha de forêt primaire ont été submergés. Triton a réalisé une évaluation approfondie du bois contenu dans le lac en s'appuyant à la fois sur les inventaires forestiers réalisés avant inondation et sur les études de la biomasse forestière de Guyane, mais aussi sur des inventaires forestiers menés par l'entreprise elle-même tout au long de l'année 2013. Les résultats de ces inventaires et études ont été croisés et analysés afin de déterminer de la manière la plus adaptée la quantité de biomasse submergées dans Petit Saut.

L'évaluation du potentiel effectuée par TRITON a été établie sur la base des informations d'inventaire mises à la disposition par l'Office National des Forêts (ONF) et des études menées sur les forêts de Guyane. Les inventaires et études suivants ont été utilisés pour l'établir. Un rapport ONF réalisé en mars 1984 intitulée « Projet d'aménagement hydroélectrique de Petit-Saut sur la Sinnamary – Guyane Française, Etude d'impact sur la forêt », inventorie une section de 4,4 ha située sur la future zone d'enneigement de Petit Saut. Le rapport permet de déduire que le volume moyen par Ha est de 261 m<sup>3</sup>. L'étude se projette ensuite sur un spectre plus large et conclut à un volume moyen de ressource utilisable en tant que bois d'œuvre de 308 m<sup>3</sup>/ha et à un volume total de bois immergé de 14 000 000 m<sup>3</sup>. Ses conclusions sont basées sur une taille de réservoir de 30 000 ha. Le deuxième inventaire utilisé est un inventaire statistique 1/1000 réalisé par l'ONF de 1962 à 1970. L'inventaire couvre quelques 3 000 000 ha dans la partie nord de la Guyane Française et prend en compte les arbres dont le diamètre est supérieur à 20 cm. Les données fournies à TRITON sont un sous-ensemble de cet inventaire correspondant aux surfaces comprises dans la zone de retenue de Petit Saut. L'analyse de ces données par TRITON aboutit à un volume de 185 m<sup>3</sup>/ha de biomasse aérienne présente au sein du réservoir. Ce volume par hectare est le plus bas des inventaires forestiers passés en revue, et ce pour des raisons expliquées dans l'analyse de TRITON. Le troisième ensemble de données d'inventaire forestier examiné comprend « les Inventaires Papetiers - 1974-1976 » qui ont été menés sur 547 000 ha dans le nord de la Guyane. Là encore, une partie de cet inventaire a été fourni à TRITON en fonction de la proximité avec Petit Saut. L'ensemble des données inclut plus de 47 000 arbres répertoriés au sein de 364 parcelles et conclut à un volume moyen de 304 m<sup>3</sup>/ha.

TRITON a également pris en compte deux études de la biomasse qui portent sur la Guyane française et plus spécifiquement sur Petit Saut. L'étude intitulée "*The Spatial Structure of Above Ground Biomass Limits Accuracy of Carbon Mapping in Rainforest but Large Scale Forest Inventories Can help to Overcome*" réalisée par S.Guitet en Septembre 2015, analyse les données du Centre Technique Forestier Tropical (CTFT) collectées entre 1974 et 1976 et les données d'inventaire de l'ONF recueillies entre 2006 et 2013. Les données du CTFT concernent 1172 parcelles de 0,5 ha et les données de l'ONF concernent 1335 parcelles de 0,4 ha, soit un total de 2507 parcelles. Après une série d'analyses, S.Guitet conclut que la forêt primaire est constituée d'une biomasse aérienne de 325 tonnes/ha. Pour approfondir les résultats de S.Guitet, TRITON a analysé le rapport intitulé "*Estimation of Biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability*" réalisé par J. Chave en 2001. Cette analyse se concentre sur la forêt tropicale humide de plaine et répertorie les arbres de diamètre supérieur à 10 cm sur une zone d'étude totale de 22 ha, étendue par la suite à une zone de 82 ha. Sur la zone de 22 ha, J.Chave aboutit à une quantité de biomasse moyenne de 309 tonnes/ha (avec une précision de ± 32 tonnes/ha et un indice de confiance de 95%). Sur l'ensemble

de la zone de 82 ha cette estimation chute à 284 tonnes/ha, avec une précision de +/- 55 tonnes/ha et des valeurs extrêmes situées entre 28 et 432 tonnes/ha.

TRITON a également réalisé son propre inventaire en effectuant des relevés à l'aide d'un sonar haute résolution au sein de la forêt submergée de Petit Saut, et ce sur la base d'un quadrillage de 1000m\*1000m. L'objectif était de confirmer la présence de la forêt et de déterminer la hauteur des arbres, le diamètre des troncs, le volume des arbres, et le nombre et le volume d'arbres par hectare. L'inventaire a permis de relever des données sur 235 parcelles d'un kilomètre carré parmi les 350 parcelles représentant le réservoir de 34 805 ha. Sur la base des données inventoriées et analysées, les auteurs concluent à un volume immergé en grumes de 172 m<sup>3</sup>/ha pour un volume total de 3,9 millions de m<sup>3</sup>, et ce sur les 22 623 ha du réservoir dont la profondeur est supérieure à 11 m. Cette valeur inclut tous les arbres dont le diamètre est supérieur à 20 cm mais ne comprend pas les houppiers et les parties des troncs d'arbres situées au-dessus de la surface de l'eau. Il ne distingue pas les espèces et ne prend pas en compte la détérioration et les défauts.



**Figure 7 : Quadrillage du lac pour les inventaires de TRITON**

A l'issue de cette analyse, les auteurs ont conclu à un volume de bois valorisable de 5,3 millions de m<sup>3</sup>, volume localisé sur une superficie d'environ 22 623 hectares. Ceci est un volume brut. Il inclut l'intégralité des arbres (troncs et houppiers) présents dans les zones du réservoir de profondeur supérieure à 11 mètres et dont le tronc a un diamètre supérieur à 10 cm. Les arbres contenus dans une zone dont la profondeur est inférieure à 11 m ont été exclus de l'inventaire dès le départ car TRITON est parti du postulat que ces zones, proches des berges, peu profondes et totalement oxygénées, sont plus propices à la vie aquatique que les zones profondes et moins alimentées en oxygène et en nutriments terrestres, postulat renforcé par une étude menée en 2013 par HYDRECO et par des réflexions réalisées dans le cadre du Comité Scientifique de Petit Saut. De plus, même si le bois présent sur ces zones est partiellement valorisable, il l'est en proportion plus faible que sur des zones plus profondes, car il est dégradé du fait de l'oxygénation de l'eau et du marnage de la retenue.

Le volume brut de grumes au sein de ces 5,3 millions de m<sup>3</sup> de bois est estimé à 3,9 millions de m<sup>3</sup>. Il correspond à la partie des troncs qui est immergée quand le niveau est le plus élevé (35 m), et ce

pour les troncs de plus de 20 cm de diamètre et sans aucune distinction d'espèce. La répartition grumes/biomasse énergie est établie uniquement sur la base de critères de dimensions, sans qu'aucune distinction d'espèce ne soit réalisée. Si l'on parle de volumes finaux de bois d'œuvre et de bois énergie, la répartition s'inverse, principalement parce que seule une partie du volume de grumes correspond à des espèces valorisables en bois d'œuvre mais également parce que les deux tiers des volumes de grumes envoyés en scierie sont ensuite réorientés vers la filière biomasse.

### 2.8. Volumes pris en compte pour le bilan carbone

Le plan d'approvisionnement prévu par VOLTALIA est basé sur l'exploitation du lac de Petit Saut qui sera faite par TRITON. Seule la grume est intéressante pour la valorisation en bois d'œuvre, laissant donc les houppiers et grosses branches des grumes uniquement valorisables en biomasse énergie. De plus, pour récolter ces grumes, il faut créer des accès pour une barge qui mesure 10m par 17m. Cela génère donc des connexes d'exploitation valorisables également uniquement en biomasse. A cela s'ajoute le fait qu'il est très difficile de juger de l'intérêt d'un bois (en dehors de ses mensurations) tant qu'il n'est pas sorti de l'eau. Ainsi, pour le bois d'œuvre, TRITON doit abattre tous les arbres ayant des mensurations adéquates, créer les voies d'accès et transporter le bois à terre pour triage afin d'exclure les grumes de bonne dimension mais non valorisables en bois d'œuvre, c'est à dire ayant une valeur marchande faible de par leurs caractéristiques (défauts importants, espèces non commercialisables, irrégularité de diamètre, haute dureté, fragilité). Enfin, la production de bois d'œuvre en scierie génère des connexes de scierie (dosses et sciures).

Le premier niveau d'exploitation envisagé se base sur l'extraction annuelle de 130 000 m<sup>3</sup> de bois. Sur ces 130 000 m<sup>3</sup> une partie est à destination du sciage (environ 30 000 m<sup>3</sup>) et le reste correspond aux connexes d'exploitation. Ainsi, VOLTALIA peut compter sur la récupération de 100 000 m<sup>3</sup> de connexes d'exploitation aquatique et 20 000 m<sup>3</sup> de connexes de scierie. Ainsi, par l'exploitation du lac de Petit Saut, VOLTALIA sécurise un approvisionnement sur 25 ans pour la fourniture de biomasse sous forme de plaquettes P100 à 45% d'humidité, avec un PCI de 2,5 MWh<sub>th</sub>/tonne et une densité de 1 en moyenne. TRITON sécurise son activité de bois d'œuvre en valorisant la totalité du bois exploité avec un volume contracté avec VOLTALIA de 120 000 tonnes par an.

VOLTALIA compte valoriser 106 000 tonnes de bois avec son projet de centrale biomasse à Petit Saut et 14 000 tonnes avec la centrale existante de Kourou. Ce bois sera issu des connexes d'exploitation du lac et des connexes de scierie, et ne nécessitera aucun transport (mis à part pour les 14 000 tonnes à destination de Kourou).

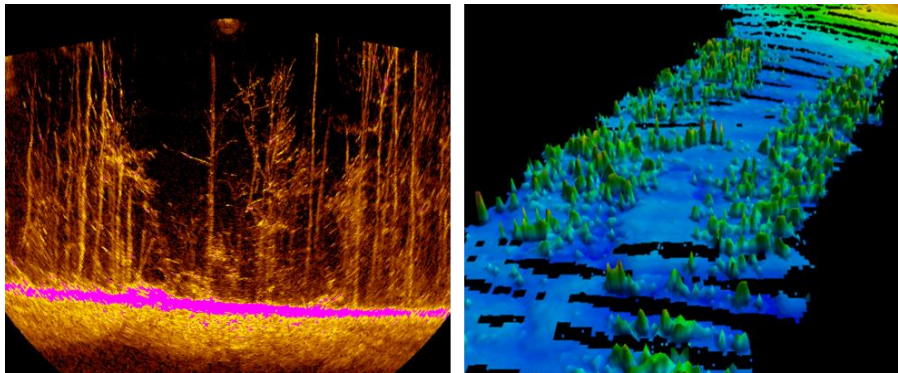
### 2.9. Itinéraire technique de récupération du bois immergé

D'après l'étude d'évaluation de la ressource bois, le lac de Petit Saut présente un potentiel intéressant pour une exploitation telle que TRITON la pratique habituellement. Les opérations aquatiques sont divisées en 4 phases : la planification, l'exploitation, le transport et enfin le tri. Chacune de ces phases est décrite dans les sections suivantes. Chacune des opérations est guidée par des procédures relatives à la préservation de la santé et de la sécurité des intervenants, par des procédures d'urgence, et par un programme de responsabilité sociale et environnementale. Tous ces éléments

sont synthétisés dans ce chapitre, accompagnés d'explications sur la manière dont ils sont intégrés dans les activités opérationnelles de Triton.

### 2.9.1. Planification

Cette première étape opérationnelle consiste à élaborer un plan de récolte qui fixe le lieu exact et la date pour chaque zone d'exploitation. Cette planification est basée sur l'information donnée par les cartes constituées avant la mise en eau de la retenue et par les inventaires forestiers réalisés avant et après cette mise en eau. De même, des équipements sonars spécifiques, des GPS et des logiciels d'établissement de cartographie sont utilisés pour établir les itinéraires. Toute cette information est analysée et compilée au sein d'un ensemble de données d'inventaire qui permettent de savoir précisément où et en quelle quantité la matière est accessible dans la retenue pour les opérations de coupe.



*Figure 8 - Exemple d'images SONAR réalisées lors d'inventaires (Petit-Saut et Ghana)*

Le planning d'exploitation prend également en compte les exigences réglementaires et les standards environnementaux et sociaux sur lesquels l'entreprise a été certifiée ainsi que ceux imposés par les autorités locales ou d'autres parties prenantes. Les plannings d'exploitation sont composés de documents et de cartes papier et électroniques. Toutes les données nécessaires sont téléchargées directement dans l'interface opérateur des SHARC (modules d'exploitation décrit dans la suite du document) appelée la "Heads Up Display", permettant ainsi l'accès en temps réel aux données d'exploitation. La carte d'exploitation, est alors établie et permet d'identifier les caractéristiques principales de la zone telles que les lits des rivières originelles et la localisation GPS des arbres fléchés pour l'exploitation, ainsi que les zones d'ancrage sécurisées disponibles, les chenaux navigables pour les machines, les informations concernant les évacuations d'urgence et les données telles que la profondeur du lac. La carte donne également la localisation précise de chaque SHARC opérant sur la zone. Les plannings et cartes d'exploitation sont réalisés spécifiquement en fonction de chaque réservoir.

### 2.9.2. Exploitation

Le SHARC™, module d'extraction sous-marine du bois, est une technologie brevetée conçue pour extraire les arbres dans des retenues relativement peu profondes. Le SHARC est composé des

éléments principaux suivants: une barge auto propulsée, une grue, un bras télescopique, une tête de coupe et un système intégré de pilotage et de contrôle de l'ensemble.



**Figure 9 - Le SHARC remontant une grume**

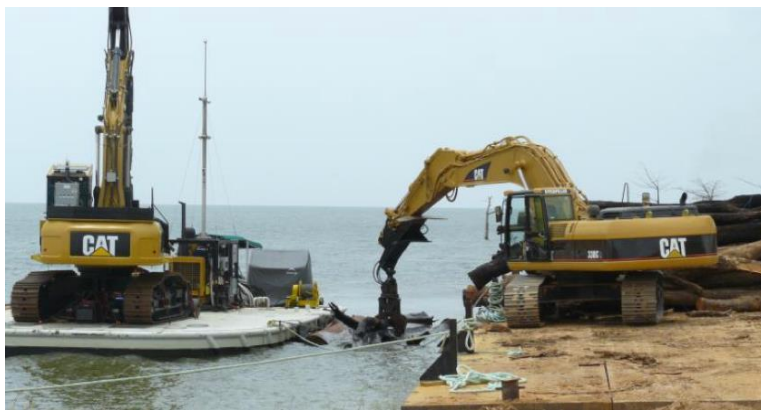
La barge est conçue spécifiquement pour les opérations d'extraction sous-marines. Le design de cette barge facilite son transport par voie maritime et elle peut être démontée et logée dans des containers standards. Cette barge est propulsée par 3 moteurs pivotant à 360° de 105 kW. Ces moteurs sont pilotés par un module de puissance hydraulique central qui comprend un groupe de 275 CV et deux pompes à piston de 190 cm<sup>3</sup>. Le module de puissance fournit la puissance hydraulique nécessaire à trois ensembles de vannes/moteur correspondant aux trois moteurs de la barge. Le système de propulsion de cette barge est contrôlé par un système électronique de pilotage intégré et ceci afin de fournir efficacité, manœuvrabilité, réactivité et au final de permettre le pilotage de l'ensemble par un seul opérateur. La grue est une machine modifiée de 30 tonnes. Les modifications comprennent l'interface opérateur qui guide l'opérateur dans la localisation et la récolte des arbres. La grue est également modifiée sur le plan hydraulique afin de disposer de modules additionnels nécessaires aux opérations d'exploitation. Le bras télescopique est conçu sur mesure pour travailler sur des profondeurs allant de 12 à 32 mètres. Il peut se déployer de sa position rétractée à sa position maximale en 20 secondes environ. La tête de coupe est un composant standard adapté afin de satisfaire aux exigences d'une exploitation sous-marine. Ces modifications comprennent l'intégration de caméras et sonars qui permettent de localiser précisément les arbres. Le système de pilotage et de contrôle intégré est doté de fonctionnalités telles que la visualisation des opérations d'exploitation par l'opérateur situé en cabine, le suivi des paramètres d'état des équipements, les systèmes d'alarme correspondant aux composants principaux du SHARC, les outils d'aide à la navigation permettant de garantir que l'opérateur déplace la barge dans les limites d'exploitation prévues, et de multiples aides qui facilitent l'identification des arbres.

En fonction de sa taille, de la profondeur et de la densité de la forêt immergée, un SHARC peut généralement récolter un arbre toutes les 3 à 5 minutes. Le diamètre maximum d'un arbre récolté est de 1,2 m. Il est important de préciser que le fond du lac n'est jamais touché pendant le processus de collecte. Ainsi la partie enterrée de l'arbre est laissée totalement intacte au fond du réservoir et elle n'est pas « secouée ». TRITON prévoit de déployer à minima deux SHARC sur le réservoir de Petit Saut (base 130 000 m<sup>3</sup>/an récoltés). Les SHARC seront épaulés par diverses barges et bateaux support pour assurer un flux efficace de troncs récoltés et acheminés vers les infrastructures terrestres. Les principales caractéristiques du SHARC sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 1 - Caractéristiques du SHARC**

CARACTERISTIQUES DU SHARC	SPECIFICATIONS DU SHARC
Arbres coupés et soulevés de manière à minimiser les perturbations au fond du lac	Une grue de 30 tonnes.
Fluides hydrauliques biodégradables	10,000 kg de capacité de traction.
Tête de coupe opérant à proximité du fond pour maximiser la récupération de bois	Coupe à 25 m de profondeur.
Système de navigation incluant les données de cartographie pour garantir le respect des parcours prévus	Plus de 1,25 m d'ouverture des grappins.
Manœuvrabilité et contrôle de haut niveau permettant des opérations sans danger au sein de sites confinés	Une tronçonneuse de plus de 125 cm.
Infrastructure totalement autonome et nécessitant peu d'infrastructures externes	Une barge de 10 m de large et 17 m de long.
Conception basée sur des équipements existants afin de maximiser la fiabilité	Une vitesse maxi de barge de 8km/h.
	Deux treillis de stockage de 40 m <sup>3</sup> associés à chaque barge, situés de part et d'autre de la barge.

Dès qu'un SHARC a fini de remplir un treillis flottant (situé de part et d'autre de la barge), ce dernier est remplacé par un treillis vide, alors même que le treillis plein est remorqué vers une barge de regroupement, puis déchargé sur cette barge. Un petit bateau remorqueur appelé le « Sidewinder » est utilisé pour transférer les treillis des SHARC vers la barge de regroupement. Une grue équipée d'un grappin est située sur la barge de regroupement afin de décharger les treillis et de transférer en toute sécurité les arbres du treillis sur la barge.



**Figure 10 - Grue équipée d'un grappin déchargeant un treillis sur la barge de regroupement**

### 2.9.3. Transport

L'un des avantages majeurs de l'exploitation forestière d'arbres submergés sur l'exploitation forestière classique est le fait qu'aucune piste n'est nécessaire pour accéder à la ressource et pour déplacer les engins, et ce à partir du moment où l'intégralité de la ressource se trouvant sur le chemin du SHARK

est prélevée et valorisée (cas d'une exploitation couplée bois d'œuvre/ bois énergie). Par ailleurs, de gros volumes de bois peuvent ainsi être collectés tout au long de l'année, sans se soucier des problèmes de météo et de saison des pluies, et ce de manière économiquement viable et avantageuse sur le plan environnemental.



*Figure 11 - Barge de regroupement poussée vers le quai de débarquement des arbres*

### Tri du bois

Le bois récolté est livré sur un quai de débarquement situé sur la partie sud du site terrestre (pour être trié selon le calibre (houppiers, grosses branches, déchets de petits calibre et grumes) pour ensuite être égoutté pendant une durée de 2 à 3 semaines lui permettant d'atteindre un taux d'humidité équivalent à celui d'avant ennoisement. Tout le bois collecté est entreposé et mesuré au sein d'un parc d'inventaire et trié selon son potentiel (bois d'œuvre ou bois énergie). Les bois sont ensuite orientés selon le potentiel vers la zone au nord pour valorisation en scierie ou en biomasse.

Le bois valorisable en bois d'œuvre doit répondre à plusieurs critères déterminés par TRITON. D'après l'étude de potentiel menée par Triton, sur une base de 130 000 m<sup>3</sup> extraits du lac, 30 000 m<sup>3</sup> de bois seront travaillés par an en scierie. La scierie sera équipée de deux lignes de travail, chacune d'entre elle contenant les matériels pour transformer les troncs en bois prêt à être travaillé. De la même manière que dans une scierie classique de Guyane, le bois sera alors façonné sur différentes machines de sciage selon les contrats obtenus, selon les spécifications fixées par les clients et selon les possibilités offertes par chaque grume.

La manutention des grumes et des produits finis (planches) se fera au sein de la scierie via une combinaison d'engins roulants de manutention et de transporteurs à courroie. Le bois transformé sera stocké dans des hangars ou des aires de séchage, et ce pour un flux annuel estimé à 10 000 m<sup>3</sup>. Les produits finis seront ensuite acheminés par camion par la route de Petit Saut en fonction des commandes.

Les connexes de scierie et le bois énergie directement issu du lac totaliseront une biomasse valorisable de 120 000 t/an, pour une production d'électricité annuelle d'environ 76 GWh.

## 3. Bilan carbone du projet

Le projet peut être décomposé en trois sous projets:

- l'exploitation du bois submergé,
- la production de bois d'œuvre,
- la production d'électricité.

Les installations de broyage et la centrale biomasse, conformément à la réglementation en vigueur, feront l'objet d'une étude d'impact visant à obtenir l'autorisation d'exploiter au titre des ICPE. En revanche, le cas de l'exploitation du bois submergé n'est pas pris en compte dans le code de l'environnement. Les sociétés partenaires ont cependant choisi de développer une stratégie en propre pour répondre aux enjeux de préservation et de protection de l'environnement du lac. Cette stratégie se décline selon la logique Eviter-Réduire-Compenser (ERC) du code de l'environnement.

Trois volets principaux ont été relevés comme susceptibles de faire l'objet d'études approfondies:

- le bilan carbone global du projet,
- l'impact de l'exploitation lacustre sur la biodiversité aquatique,
- L'impact des installations terrestres.

### 3.1. Approche méthodologique

Il existe plusieurs méthodes permettant d'évaluer l'impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre (GES) d'une activité donnée.

#### 3.1.1. Présentation des méthodologies existantes

##### La méthode Bilan Carbone ®

La méthode Bilan Carbone est une méthode développée par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) dont l'objectif est de mesurer l'ensemble des émissions, directes et indirectes, associées à une activité. Cette méthode globale d'évaluation est disponible depuis 2004. Elle mesure à la fois les émissions directes (combustion de carburant par exemple) et indirectes (émissions associées à la fabrication des véhicules, émissions liées à l'extraction des produits pétroliers, etc.) qu'elles aient lieu ou non sur le territoire considéré. En revanche, cette méthode ne prend pas en compte les émissions associées au changement d'usage des sols dans le secteur forestier.

##### La méthode du GIEC

Au titre de ses engagements dans le cadre du protocole de Kyoto, la France est tenue de réaliser un inventaire national de ses émissions de GES. Seuls les gaz retenus dans le cadre du protocole de Kyoto sont pris en compte. Ce type d'inventaire est normalisé au niveau international et des guides de bonnes pratiques sont développés par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) pour aider les pays à réaliser leurs inventaires. Ce type d'inventaire permet une

approche en termes de territoire – et ne comptabilise que les émissions qui ont lieu sur le territoire considéré (contrairement à la méthode Bilan Carbone ® de l'ADEME, par exemple).

### Les méthodes standardisées des projets MDP et REDD+

De nombreuses méthodologies sont reconnues au niveau international et standardisées pour évaluer l'impact carbone d'un projet visant à réduire les émissions de GES d'une activité sur un territoire donné, dans l'objectif d'obtenir des crédits carbone permettant le financement et la pérennité de ce projet. Ces méthodologies s'appuient sur les méthodes de comptabilisation établies par le GIEC et reposent sur la comparaison entre un niveau d'émissions de référence (scénario de référence ou *baseline*) et un niveau d'émissions de projet (scénario de projet). Chaque activité dans le scénario de référence ou dans le scénario de projet donne lieu à une méthode de calcul spécifique. Les méthodes les plus connues dans ce domaine sont celles du standard VCS (Verified Carbon Standard) pour les projets de Réduction des émissions liées à déforestation et à la dégradation des forêts (REDD) et celles développées par la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) pour les projets de Mécanisme de développement propre (MDP). Seuls les gaz considérés au titre du protocole de Kyoto sont pris en compte dans ces méthodologies.

#### 3.1.2. Choix de la méthodologie de comptabilisation carbone

Le projet de centrale biomasse tel qu'il est présenté ne peut pas être identifié en tant que projet MDP: En effet, le projet étant localisé en France (donc en dehors des pays hôtes potentiels pour accueillir un projet MDP selon le protocole de Kyoto), il ne peut pas bénéficier de crédits carbone. Toutefois les méthodologies restent adaptées au contexte et peuvent appuyer la démarche de comptabilisation des émissions de GES. Dans le cadre de la présente étude, il a été choisi de s'appuyer sur la logique des méthodologies standardisées habituellement utilisées dans les projets MDP et REDD+. Ces méthodologies permettent de comparer un scénario de référence (ici : absence d'exploitation des bois et absence de centrale biomasse, électricité produite dans une centrale thermique) à un scénario de projet. En effet, l'objectif n'est pas uniquement de comptabiliser l'ensemble des émissions (directes et indirectes) de GES liées au projet mais bien d'évaluer l'intérêt de ce projet comparativement à une situation dans laquelle le projet ne se ferait pas. L'approche méthodologique doit donc consister à comparer deux projets et non à effectuer un bilan carbone sur un cycle de vie intégral.

Aucune des méthodologies existantes n'étant en parfaite adéquation avec le projet, certaines équations ont été développées spécifiquement; elles sont établies de manière cohérente avec les prescriptions du GIEC. Nous nous sommes appuyés par ailleurs sur les facteurs d'émissions développés par l'ADEME, spécifiques aux départements d'Outre-mer, pour certains postes d'émissions comme le transport. Nous nous sommes également appuyés sur des publications scientifiques, notamment pour modéliser la dynamique de décomposition de la biomasse immergée.

## 3.2. Scénario de projet : valorisation de la biomasse immergée du lac en bois d'œuvre et en bois énergie

### 3.2.1. Description du scénario de projet

Le bilan carbone sera établi pour un scénario dans lequel TRITON prévoit de collecter 130 000 m<sup>3</sup> de bois par an dans la retenue, de valoriser 30 000 m<sup>3</sup> de bois en scierie pour produire 10 000 m<sup>3</sup> de produit fini. Les connexes de scierie (2/3 du bois entré en scierie) rejoindront ensuite le bois énergie pour alimenter la centrale biomasse. La ci-dessous synthétise l'itinéraire technique du plan d'approvisionnement.

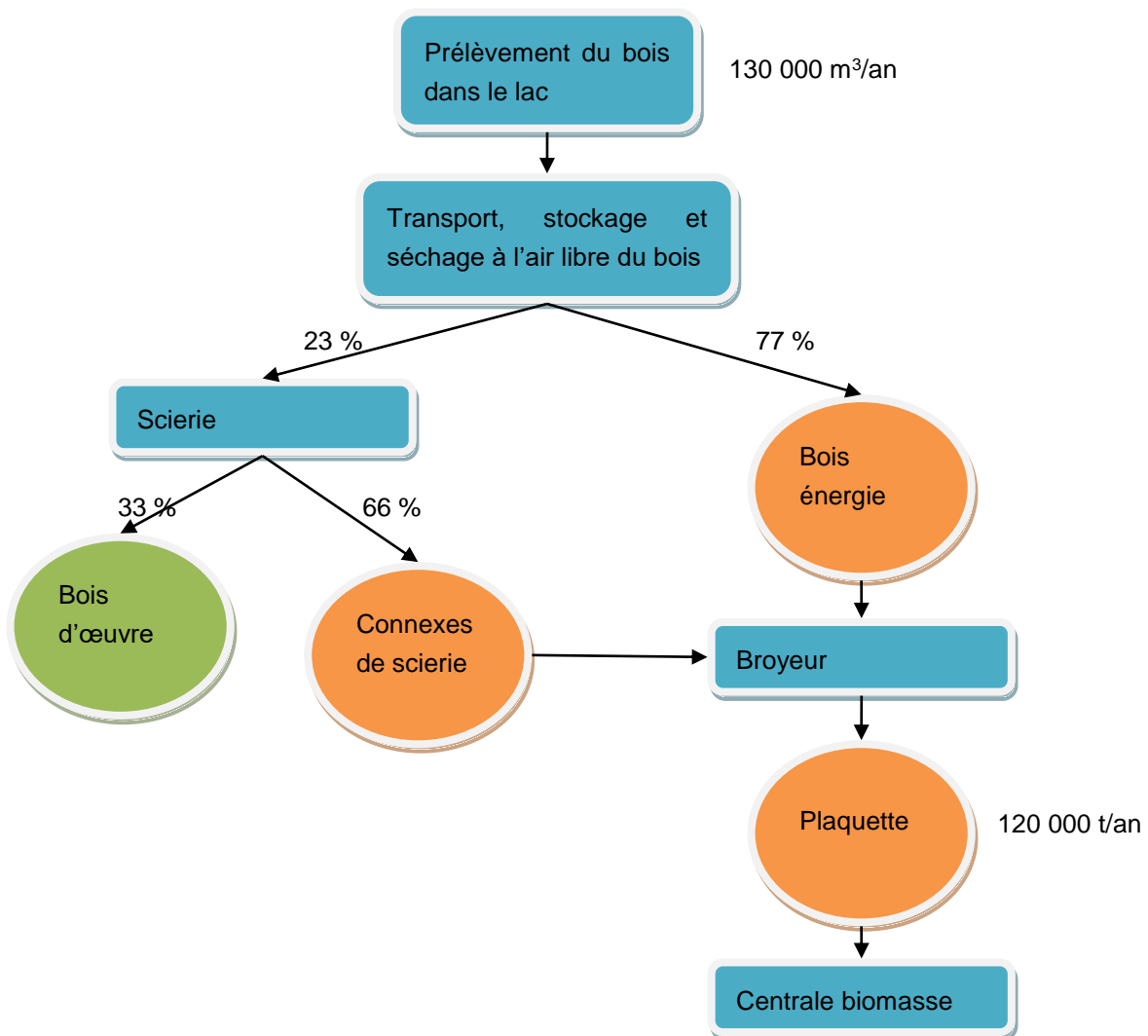


Figure 12 : Itinéraire de valorisation du bois du lac de Petit-Saut

Dans le présent rapport, nous avons considéré que le premier prélèvement serait réalisé en 2018 (et le dernier 25 ans plus tard, soit en 2042).

La biomasse prélevée est transportée sur une plateforme de stockage. Les bois sont ensuite triés en fonction de leur potentiel de valorisation : TRITON considère qu'à terme il est possible de valoriser jusqu'à 35% du bois prélevé (soit 45 500 m<sup>3</sup>/an) en bois d'œuvre. Par soucis de conservatisme, mais aussi parce que l'entreprise devra progressivement développer sa connaissance de la ressource disponible et des marchés du bois d'œuvre issus de Petit-Saut, il est considéré que 30 000 m<sup>3</sup>/an de bois d'œuvre sont extraits du lac, le reliquat étant orienté vers la production de biomasse énergie.

Tous les volumes de bois extraits sont laissés à l'air libre sur la plateforme pendant 2 à 3 semaines afin de s'égoutter et d'atteindre une teneur en humidité de 45% (soit une teneur en humidité semblable à celle du bois vert frais). Après égouttage, les bois valorisables en bois d'œuvre sont transportés vers une scierie ; Les émissions dues à la transformation du bois d'œuvre (ainsi que l'ensemble des émissions connexes: construction de la scierie, processus de transformation, transport des sciages produits vers le lieu de commercialisation, décomposition des produits ligneux) ne sont pas estimés dans le scénario de projet dans la mesure où on les retrouve à l'identique dans le scénario de référence.

Le processus de transformation entraîne environ 2/3 de pertes, c'est-à-dire 20000 m<sup>3</sup>/an de connexes de scierie qui sont valorisés en bois énergie dans la centrale biomasse : ils sont directement broyés avec le bois énergie pour alimenter la chaudière de la centrale biomasse.

Nous considérons pas ailleurs que la masse volumique du bois à 45% d'humidité est de 1. Au final, pour l'évaluation du bilan carbone, nous nous basons donc sur un modèle dans lequel TRITON valorise 120 000 tonnes de biomasse par an en centrale biomasse et produit 10 000 tonnes/an de bois scié.

### 3.2.2. Compartiments « carbone et GES considérés dans le bilan carbone du projet

Les postes d'émissions, les compartiments « carbone » et les GES considérés dans le bilan carbone de cette étude, de même que les méthodologies employées, sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les parties suivantes du rapport expliquent en détail les calculs effectués.

**Tableau 2: Postes d'émissions, compartiments carbone, GES et méthodologies considérés pour l'établissement du bilan carbone du scénario de projet**

Poste d'émissions considérés	Compartiment carbone	GES	Méthodologie utilisée
<b>Mobilisation et transport de la biomasse</b>	Combustion de combustibles fossiles	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O	GIEC (2006)
<b>Broyage</b>	Combustion de combustibles fossiles	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O	GIEC (2006) et UNFCCC (MDP)
<b>Séchage de la biomasse</b>	Bois mort	(CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)	Adaptée de GIEC (2006)
<b>Combustion contrôlée dans la centrale</b>	Bois mort	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	ACM0018

### 3.3. Scénario de référence : Production de bois d'œuvre par la filière forestière « terrestre » et production thermique d'électricité

#### 3.3.1. Description du scénario de référence

La mise en eau de la retenue du barrage hydroélectrique a été réalisée en 1994. La biomasse n'a jamais été valorisée avant la mise en eau ni après celle-ci, et ce jusqu'à aujourd'hui. Nous considérerons donc qu'aucun prélèvement de bois n'est réalisé dans le lac. Ce bois va donc continuer à se dégrader lentement au cours des prochaines décennies.

L'approvisionnement en bois d'œuvre équivalent au scénario de projet repose donc sur l'exploitation forestière classique. Par ailleurs, depuis quelques années, la filière forestière guyanaise, sous l'impulsion de VOLTALIA, a développé un modèle de « recyclage » des connexes de scierie en énergie. Dans le scénario de référence, les connexes de scierie issus de la transformation du bois d'œuvre sont donc valorisés en énergie et non plus brûlés à l'air libre comme cela l'est depuis des décennies. Enfin, en matière de production énergétique, l'équivalent restant de production d'énergie est réalisé par de la production thermique fuel afin d'atteindre la production énergétique prévue dans le scénario projet, à savoir 76 GWh par an.

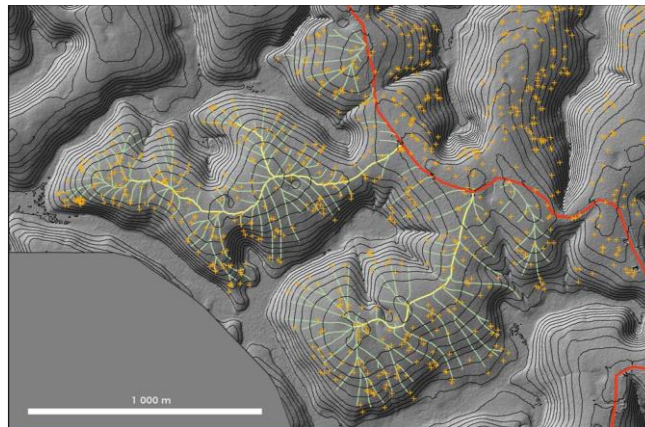
Les postes d'émissions, les compartiments « carbone » et les GES considérés pour le scénario de référence, de même que les méthodologies employées, sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les parties suivantes du rapport expliquent en détail les méthodes utilisées et les calculs effectués.

**Tableau 3: Postes d'émissions, compartiments carbone, GES et méthodologies considérés pour l'établissement du bilan carbone du scénario de référence**

Poste d'émissions considérés	Compartiment carbone	GES	Méthodologie utilisée
Décomposition de la biomasse immergée	Bois mort	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	Abril et al. (2013) et Serça et al. (2014), GIEC (2006)
Mobilisation et transport du bois d'œuvre	Combustion de combustibles fossiles	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O	GIEC (2006)
Décomposition des dégâts d'exploitation	Bois mort	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	ECOFOG/ONF/CIRAD GIEC (2006)
Reconstitution de la biomasse forestière	Repousse de la forêt après exploitation	Aucun	ECOFOG/ONF/CIRAD
Broyage	Combustion de combustibles fossiles	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> et N <sub>2</sub> O	GIEC (2006) et UNFCCC (MDP)
Combustion contrôlée dans les centrales biomasse	Bois mort	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	GIEC (2006) et ACM0018
Production thermique à partir de combustible fossile (fuel)	Combustion de combustibles fossiles	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	Base carbone ADEME (PRERURE)

### 3.3.2. Filière forestière guyanaise

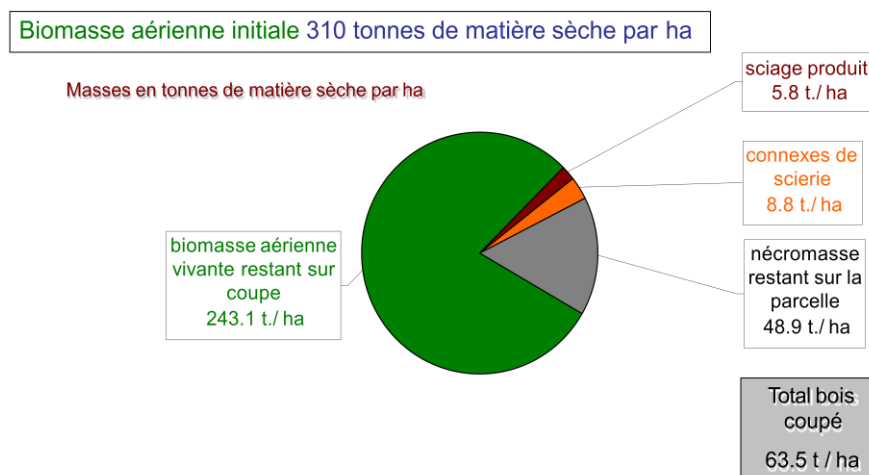
Depuis plusieurs années, la filière forestière cherche à mieux appréhender les différentes composantes « carbone » de son activité. Nous nous sommes appuyés sur les données disponibles concernant cette filière et notamment sur les évolutions récentes liées à l'exploitation forestière à faible impacte. Actuellement, la filière bois d'œuvre de Guyane sort de forêt environ 80 000 m<sup>3</sup> de bois par an, à raison de 4 à 5 arbres / Ha. Cela représente une production à l'Ha de 20 à 25 m<sup>3</sup>/an. Les itinéraires techniques associés (Cf. figure ci-dessous) ont pour conséquence de générer des dégâts d'exploitation assez conséquents.



**Figure 13 : Schéma type d'une zone d'exploitation forestière**

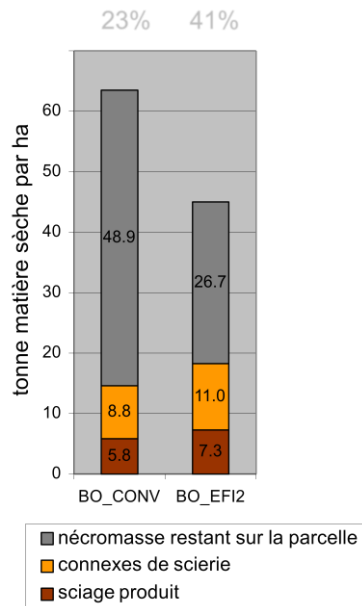
Pour aller chercher un arbre commercialisable, il est nécessaire de réaliser des routes forestières ONF (En rouge sur la figure) ainsi que des itinéraires secondaires d'exploitant forestier (en jaune). A cela s'ajoutent les dégâts causés par les engins d'abattage et de manutention, ainsi que les dégâts causés lors de la chute des arbres coupés.

Le bilan des volumes générés par l'activité d'exploitation forestière classique a été établi par l'ONF en lien avec les exploitants forestiers. Le schéma suivant, extrait d'une présentation réalisée par l'ONF en 2013, donne la distribution des différents volumes.



**Figure 14 : Répartition des volumes dans une exploitation forestière conventionnelle**

Soucieuse de préserver la ressource et de minimiser les impacts, la filière a mis en place une exploitation optimisée, permettant de réduire sensiblement les volumes de nécromasse générés (Cf. figure ci-dessous). En appliquant ce standard d'exploitation, la filière génère 26,7 tonnes de dégâts pour 18,3 tonnes de bois extrait (ratio de 1,45), contre 48,9 tonnes pour 14,8 tonnes de bois extrait dans les méthodes d'exploitation historiques (ratio de 3,3).



**Figure 15 : Exploitation Forestière à faible impact, Réduction des dégâts d'exploitation**

C'est ce schéma d'une exploitation forestière à faible impact qui sera retenu pour établir le bilan carbone du scénario de référence.

### 3.4. Estimation des émissions de GES liées aux deux scénarios

Dans le scénario de référence, du bois d'œuvre est prélevé en forêt et transformé en sciages ; les connexes de scieries dus à la transformation du bois d'œuvre sont valorisés au sein d'une centrale biomasse présente en Guyane. En revanche des quantités importantes de bois mort (1,45 m3 de bois mort pour un m3 de bois d'œuvre récolté) sont laissés en forêt et se décomposent. Les 76 GWh d'électricité lié au projet sont produits pour partie dans une centrale biomasse (avec les connexes de scierie) et pour le reste dans les infrastructures thermiques d'EDF (centrale thermique et moyens de secours).

Dans le scénario de projet, l'activité de prélèvement de bois d'œuvre dans le lac est réalisée conjointement avec un prélèvement de bois énergie afin d'alimenter une centrale électrique. La décomposition évitée de cette biomasse induit donc des évitements d'émissions qui seront calculés dans le présent rapport. Par ailleurs, les connexes de scierie sont également valorisés : au lieu d'être brûlés à l'air libre, ils rejoignent la biomasse énergie provenant du lac et subissent une combustion contrôlée dans la centrale VOLTALIA. En revanche, des émissions sont générées par la mobilisation du bois issu du lac, par le broyage de la biomasse et par la combustion contrôlée de l'ensemble de la biomasse énergie.

Le différentiel d'émissions de carbone entre le scénario de projet et le scénario de référence est donc basé sur les postes d'émissions listés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 4 : Postes d'émissions considérés dans le bilan carbone du projet d'approvisionnement en biomasse immergée**

Poste d'émissions	Scénario de référence	Scénario de projet
<b>Décomposition de la biomasse submergée</b>	Décomposition en milieu aquatique de la biomasse non prélevée dans le lac de Petit-Saut	Aucun
<b>Mobilisation et transport de la biomasse</b>	Récolte de 30 000 T de bois en forêt + transit jusqu'aux scieries	Récolte de 130 000 T de bois immergé + transit jusqu'à la plateforme de stockage en bord du lac
<b>Décomposition des dégâts d'exploitation forestière</b>	Décomposition de 100 000 T de dégâts d'exploitation forestiers	Aucun
<b>Reconstitution de la biomasse forestière</b>	Repousse de la forêt après exploitation	Aucun
<b>Séchage du bois</b>	Aucun	Séchage du bois extrait du lac (130 000 T)
<b>Sciage du bois</b>	Sciage de 30 000 T de grumes	Sciage de 30 000 T de grumes
<b>Broyage</b>	Broyage du bois énergie par un broyeur électrique (20 000 T)	Broyage du bois énergie par un broyeur électrique (120 000 T)
<b>Combustion du bois énergie</b>	Combustion des connexes de scierie (20 000 T) dans les centrales biomasses présentes en Guyane	Combustion du bois énergie (120 000 T) dans la centrale biomasse
<b>Combustion contrôlée de fuel</b>	Production thermique fuel de 63 GWh (5/6 de 76 GWh)	Aucun

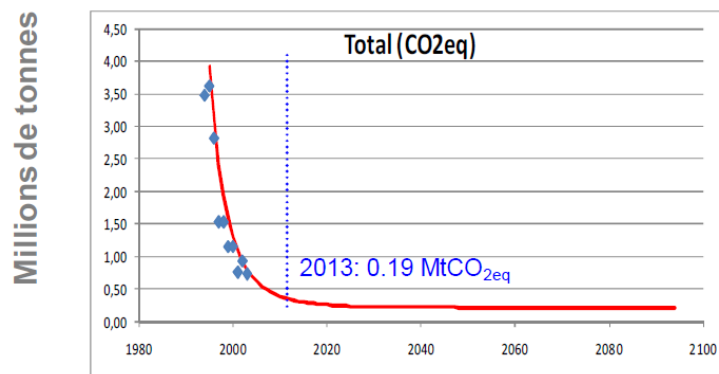
### 3.4.1. Emissions dues à la décomposition de la biomasse submergée (scénario de référence)

Différentes études ont été réalisées pour évaluer les émissions de GES dues à la mise en eau d'une retenue d'un barrage hydro-électrique. VOLTALIA et TRITON ont sollicité un cabinet spécialisé en activités forestières (FRM- Forest Resources Management) pour l'aider à travailler sur cette question. Ce cabinet s'est appuyé sur la thèse de Frédéric Guérin (2006), sur la synthèse de Serça et al. (2014) et sur l'article d'Abril et al. (2013), qui concernent spécifiquement le barrage de Petit-Saut. Il

s'est également appuyé sur les annexes 2 et 3 des guides méthodologiques du GIEC (2006) concernant les émissions de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> issues de terres submergées de manière permanente.

Selon l'annexe 2 de GIEC (2006), les émissions de CO<sub>2</sub> d'une retenue d'eau peuvent être négligées dix ans après la mise en eau. La mise en eau a été réalisée en 1994. Nous pourrions donc considérer que les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> de la biomasse submergée sont négligeables. De plus, d'après Serça et al. (2014), les ¾ des émissions de GES d'une retenue d'eau proviennent du compartiment carbone du sol. Ce compartiment reste inchangé entre le scénario de référence et le scénario de projet, puisque seule une partie de la biomasse aérienne des arbres submergés sera prélevée.

Toutefois, le GIEC cite spécifiquement le cas du barrage de Petit-Saut comme un cas particulier. Selon Serça et al. (2014), 50% des émissions totales (sur 100 ans) sont réalisées les 20 premières années (voir 16 ci-dessous).



**Figure 16 : Emissions annuelles de GES de la retenue de Petit-Saut (Serça et al., 2014)**

Il paraît important de considérer l'échelle du projet : les 130 000 m<sup>3</sup> qui seront annuellement prélevés par TRITON représentent un volume total de 3 250 000 m<sup>3</sup> de bois prélevés sur la durée du projet (25 ans), Il s'agit donc d'un volume de bois important qui se serait progressivement décomposé en l'absence de projet de valorisation, et aurait donc généré des émissions. Il s'agit notamment de la partie du bois qui est émergée et qui d'après toutes les études touchant aux barrages tropicaux, se dégrade rapidement sous l'effet du marnage et des termites. Hors, d'après les inventaires réalisés par TRITON, il s'avère que cette fraction de bois émergée reste encore significative à Petit-Saut, avec un ratio de 26% (3,9 millions de tonnes de bois immergé pour 1,4 millions de tonnes de bois émergée lorsque le réservoir est à 35m).

Nous avons donc finalement choisi de comptabiliser les émissions évitées liées au prélèvement d'une biomasse en cours de décomposition. Il s'agit d'une proposition d'approche méthodologique: il ne s'agit pas d'une méthodologie officiellement reconnue, et l'incertitude sur le résultat final, bien que non quantifiable, est réelle.

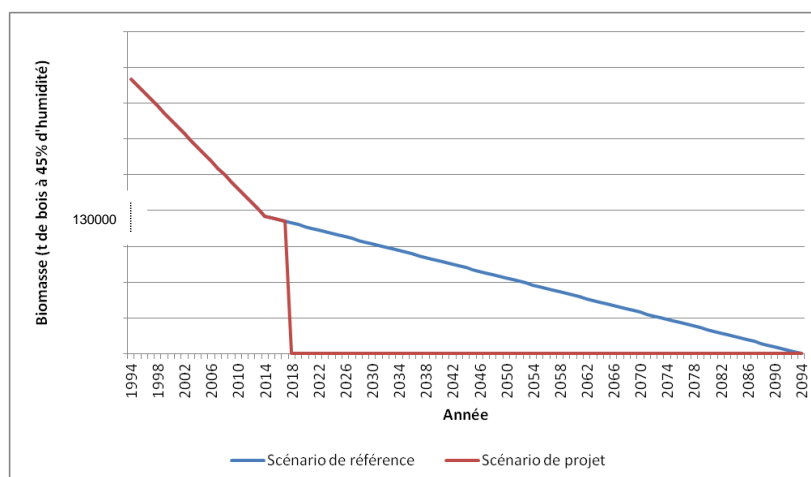
### Estimation des émissions générées par la biomasse submergée

L'objectif de cette section est de comptabiliser les émissions dues à la décomposition de la biomasse submergée dans le scénario de référence, émissions qui ne se produiront pas dans le scénario de projet dans la mesure où cette biomasse aura été extraite.

La biomasse émergée se décompose plus rapidement que la biomasse immergée (Abril et al., 2013). L'article d'Abril et al. (2013) nous incite à penser que la quasi-intégralité du bois du lac est décomposée 100 ans après la mise en eau. En effet, les émissions sur 100 ans sont bien supérieures au potentiel d'émission de la biomasse aérienne initialement envoyée (activité de la microfaune aquatique provenant du réseau hydrographique du bassin versant et décomposition sous forme de méthane de la matière organique du sol). Nous allons donc considérer que la biomasse est intégralement décomposée 100 ans après la mise en eau. Nous ne disposons pas d'équation sur la dynamique de décomposition des arbres. D'après l'article de Guérin (2006), l'équation représentant la dynamique d'émission indiquée dans Serça et al. (2014) et liée à la décomposition des stocks de carbone submergés n'est pas adaptée à notre cas d'étude. On effet, il s'agit:

- d'une équation adaptée à l'ensemble de la biomasse submergée (et non uniquement au bois) constituée en majeure partie (58%) de carbone non biodégradable (ce qui n'est a priori pas le cas du bois) ;
- d'une équation adaptée aux 10 premières années après la mise en eau seulement : selon Guérin cette équation ne peut pas être utilisée pour prédire la future dynamique de décomposition dans le lac de Petit-Saut.

Faute de données précises sur la dynamique de décomposition, nous avons donc choisi de modéliser cette dynamique sous une forme simplifiée avec une décroissance linéaire en 2 phases en nous appuyant sur le document Serça et al. (2014) : Une première phase de décomposition, rapide, menant à la décomposition de 50% de la biomasse initiale en 20 ans, puis une seconde phase, plus lente, menant à la décomposition du reste de la biomasse en 80 ans, pour aboutir ainsi à une décomposition intégrale de la biomasse 100 ans après la mise en eau. Cette décroissance est illustrée par la 17.



**Figure 17 : Stock de biomasse restant au cours du temps dans le lac de Petit-Saut : modélisation de la dynamique de décomposition en 2 phases d'un stock de bois immergé, jusqu'à décomposition intégrale**

L'année 1994 correspond à l'année de mise en eau du lac de Petit Saut ; la rupture de courbe intervient en 2015, c'est-à-dire à la vingt-et-unième année après la mise en eau. En cas d'absence de prélèvement de bois dans le lac (scénario de référence), le stock de bois considéré continuerait donc à se décomposer jusqu'en 2094 (en considérant que le bois sera intégralement décomposé 100 ans après la mise en eau). En cas de prélèvement de bois dans le lac (scénario de projet), le stock de bois est retiré du lac et cesse donc d'émettre par décomposition : les émissions dues à la décomposition entre l'année de prélèvement et l'année 2094 seraient ainsi évitées.

En première approche, nous pouvons considérer que les émissions de CO<sub>2</sub> correspondent au carbone contenu dans le bois. Mais une partie du carbone sera probablement émis sous forme de méthane (CH<sub>4</sub>), un GES au pouvoir de réchauffement global (PRG) plus élevé que celui du CO<sub>2</sub>, étant donné que la décomposition sera principalement anaérobie. Les proportions relatives de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> engendrées par la décomposition de la biomasse ont été estimées à partir d'Abril et al. (2013). L'article indique une décomposition du bois émergé allant d'un ratio CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> minimal de 10, conduisant à des émissions de GES élevées, à un ratio maximal de 1 000, conduisant à des émissions de GES limitées presque exclusivement à du CO<sub>2</sub>. En ce qui concerne la biomasse immergée, aucune distinction n'a été faite entre les différents compartiments de biomasse (notamment, le compartiment bois n'a pas été distingué des autres compartiments biomasse tels que le sol). Nous avons pu calculer le ratio CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> moyen à partir des données indiquées dans l'article : il varie entre 6 et 36 selon les cas (6 dans le cas de Petit-Saut et 36 dans d'autres zones d'étude). Ces ratios faibles (conduisant à des émissions plus élevées de CH<sub>4</sub>) par rapport au bois émergé s'expliquent par le fait que la décomposition de la matière organique du sol est particulièrement émettrice de méthane.

Compte tenu de cette variabilité, nous avons finalement choisi un ratio moyen de 35 (c'est-à-dire proche de la limite inférieure de ce qui est observé dans le bois émergé, mais proche de la limite supérieure de ce qui est observée dans la biomasse immergée).

Les émissions sont ainsi calculées de la manière suivante :

$$E_{Décomposition\ CO2eq} = Q_{an} \times (1 - H) \times FC \times \left( R_{\frac{CO2}{CH4}} \times \frac{16}{12} \times PRG_{CH4} + \left( 1 - R_{\frac{CO2}{CH4}} \right) \times \frac{44}{12} \right)$$

Avec :

**$E_{Décomposition\ CO2eq}$**  : Les émissions annuelles dans le scénario de référence dues à la décomposition du bois qui serait prélevé dans le scénario de projet (en tCO<sub>2e</sub>/an) ;

**$Q_{an}$**  : La quantité annuelle moyenne de biomasse (en tonnes de bois par an à 45% d'humidité) qui se décompose entre l'année du premier prélèvement dans le scénario de projet (2018) et la centième année après la mise en eau de la retenue (2094), soit 42760 t en moyenne.

**$H$**  : La teneur en humidité considérée dans le plan d'approvisionnement, soit 45% ;

**$FC$**  : La fraction carbone de la matière sèche = 0,47 tC/tms par défaut selon le GIEC ;

$R_{CO_2/CH_4}$  : Les proportions relatives de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> engendrées par la décomposition du bois dans le lac de Petit-Saut, ce ratio a été évalué à 1/35 ici ;

$PRG_{CH_4}$  : Le pouvoir de réchauffement global du méthane, évalué à 28 ;

16/12 et 44/12 : Les proportions massiques de carbone dans les molécules de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub>.

Le calcul donne un résultat de 51 100 tCO<sub>2</sub>e/an émis dans le cadre du scénario de référence.

Les résultats des émissions dues à la décomposition de la biomasse non prélevée dans le scénario de référence et projet sont reportés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5 : Emissions liées à la décomposition de la biomasse aquatique (tCO<sub>2</sub>e/an et tCO<sub>2</sub>e)**

	Scénario de référence	Scénario de projet
Décomposition de la biomasse	51 100	0
<b>TOTAL sur 25 ans</b>	<b>1 278 000</b>	<b>0</b>

### 3.4.2. Emissions liées à la mobilisation et au transport de la biomasse (scénario de référence et scénario de Projet)

La récolte du bois immergé et son transit jusqu'à la plateforme de stockage seront réalisés à l'aide des machines listées dans le Tableau ci-dessous.

Engin (diesel)	Nb	Conso
SHARC	2	1000
Bateaux pousseurs	1	200
Pelles mécaniques	2	150
Chargeuses	2	100
Bateaux (essence)	2	25
Manitou	2	40
Camions	4	35

**Tableau 6 : Consommation journalière des machines utilisées pour la récolte et le transport du bois**

Ces machines fonctionneront 250 jours/an pendant les 25 années du projet. Elles fonctionnent au diesel ou à l'essence: leur fonctionnement nécessite donc la combustion de combustibles fossiles, ce qui génère des émissions de GES. A ce titre, les émissions liées à la mobilisation et au transport de la biomasse doivent donc être comptabilisées.

Ces émissions se calculent en intégrant la consommation de carburant par temps de travail et le facteur d'émissions par litre de carburant consommé. Ainsi, pour un engin donné :

$$E_{CO2\ transport} = T \times C_T \times F_C$$

Avec :

$E_{CO2\ transport}$  : Les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> dues au fonctionnement de l'engin considéré (en tCO<sub>2</sub>/an) ;

$T$  : Le temps de travail de l'engin (en jours/an), soit 250 jours/an pour chaque engin ;

$C_T$  : La consommation de carburant (en L/jour), voir Tableau ;

$F_C$  : Le facteur d'émissions du carburant concerné (en tCO<sub>2</sub>/L), voir ci-dessous.

La valeur du facteur d'émissions du diesel varie selon la source bibliographique considérée. Nous appliquerons donc un principe conservatif et utiliserons la valeur la plus élevée. Elle est issue de la base de données de l'ADEME et est de 3,17 kgCO<sub>2e</sub>/L. Elle inclut les émissions « amont » (extraction, transport, raffinage, distribution) et les émissions directes liées à la combustion ; dans ces émissions, sont également incluses les émissions de méthane et de protoxyde d'azote associées à leurs PRG (pouvoirs de réchauffement global) respectifs. Dans les méthodologies usuelles, les émissions indirectes « amont » ne sont pas retenues dans le calcul des émissions liées au transport ; par principe conservatif, elles ont été intégrées ici.

De la même manière, c'est la base de données de l'ADEME qui a été utilisée pour évaluer le facteur d'émissions de l'essence (carburant des bateaux). Celui-ci est de 2,79 kgCO<sub>2e</sub>/L ;

En ce qui concerne l'exploitation forestière terrestre, nous n'avons pas trouvé de note détaillant la liste des machines concernées et leurs consommations respectives. Ces machines sont pour la plupart proches de celles utilisées par TRITON (grues, camions et pelles). La différence réside dans la mise en œuvre de barges stabilisées grâce à des moteurs thermiques dans le cas de TRITON et dans la mise en œuvre de camions de transport des grumes vers les scieries dans le cas de l'exploitation forestière classique. Eu égard au niveau faible des émissions concernées (par comparaison à certains autres postes d'émission estimés dans le présent bilan), nous avons choisi de ne pas approfondir le sujet et de considérer que l'exploitation forestière émet pour chaque tonne de bois collectée la même quantité de carbone que l'exploitation aquatique de Petit-Saut.

Les résultats de l'ensemble des émissions liées à la mobilisation et au transport de la biomasse sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 7 : Emissions liées au transport de la biomasse (tCO<sub>2e</sub>/an et tCO<sub>2e</sub>)**

	Scénario de référence	Scénario de projet
<b>Mobilisation et transport de la biomasse</b>	530 (30 000 tonnes/an)	2300 (130 000 tonnes/an)
<b>TOTAL sur 25 ans</b>	13 200	57 800

### 3.4.3. Emissions liées au séchage de la biomasse (scénario de Projet)

Dans le scénario de projet, la biomasse récoltée est entreposée sur une plateforme de stockage pour sécher à l'air libre. Aucun engin, aucun séchoir industriel n'est utilisé pour procéder au séchage de la biomasse. Nous pouvons donc considérer que l'eau contenue dans le bois est la seule émission liée à cette opération. Or, l'eau n'est pas un GES considéré dans le protocole de Kyoto. Ce poste d'émission est donc considéré comme négligeable.

**Tableau 8 : Emissions liées au séchage de la biomasse (tCO<sub>2</sub>e/an)**

	Scénario de référence	Scénario de projet
<b>Séchage de la biomasse</b>	0	0

### 3.4.4. Emissions liées au broyage de la biomasse (scénario de référence et scénario de Projet)

Le broyage est réalisé par une machine électrique alimentée par le réseau EDF, située sur une plateforme jouxtant la centrale. Les émissions dépendent donc du contenu carbone du mix énergétique utilisé, de la puissance du moteur du broyeur, du nombre d'heures par an de fonctionnement et des pertes d'énergie sur le réseau de distribution. Pour évaluer les émissions liées au broyage de la biomasse par un broyeur électrique, nous avons utilisé l'outil de la CCNUCC (UNFCCC, 2008 : *Tool to calculate baseline, project and/or leakages emissions from electricity consumption*). L'équation est la suivante :

$$E_{CO_2 \text{ broyage}} = CE \times FE \times (1 + P_{TD})$$

Avec :

**$E_{CO_2 \text{ broyage}}$**  : Les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> dues au fonctionnement du broyeur électrique (en tCO<sub>2</sub>/an) ;

**CE** : La consommation d'électricité en MWh/an ;

**FE** : Le facteur d'émissions du mix énergétique de Guyane, en tCO<sub>2</sub>e/MWh ;

**$P_{TD}$**  : Les pertes moyennes d'énergie sur le réseau lors de la transmission et de la distribution de l'électricité (sans dimension).

La puissance **CE** du broyeur indiquée par TRITON est de 1 000 kW. Le temps de travail a été estimé à 200 jours à raison de 7h/jour, soit 1 400 h/an. La consommation annuelle d'électricité par le broyeur électrique de TRITON est donc estimée à 1 400 MWh/an. En ce qui concerne le scénario de référence (Broyage de 20 000 tonnes de bois), nous prenons les mêmes données d'entrée, à savoir un broyeur

de 1000 kW qui fonctionnera donc 6 fois moins que celui correspondant au scénario de projet, soit 233 h/an

Le facteur d'émissions du mix énergétique guyanais a été évalué par l'ADEME à 0,09 kC/kWh (ADEME, 2008) soit 0,33 tCO<sub>2</sub>e/MWh. Cette valeur est relativement faible (équivalente au mix énergétique de la France métropolitaine, c'est-à-dire équivalente à l'électricité issue de centrales nucléaires) étant donné que la majeure partie de l'électricité guyanaise provient de la centrale hydroélectrique de Petit-Saut et que les estimations indiquées par l'ADEME ne prennent pas en compte les émissions dues à la décomposition de la biomasse dans le lac.

Enfin, les pertes d'énergie sur le réseau ont été estimées à 20% (valeur par défaut de la CCNUCC).

Ainsi, les émissions de CO<sub>2</sub> dues au fonctionnement du broyeur électrique sont évaluées à 554 tCO<sub>2</sub>e/an pour le scénario du Projet et 92 tCO<sub>2</sub>e/an pour le scénario de référence.

**Tableau 10: Emissions liées au broyage de la biomasse (tCO<sub>2</sub>e/an et tCO<sub>2</sub>e)**

	Scénario de référence	Scénario de projet
<b>Broyage de la biomasse</b>	92	554
<b>TOTAL sur 25 ans</b>	2 300	13 850

Ces émissions sont probablement surestimées. Les pertes d'énergie liées à la transmission du courant sont par exemple supérieures à la réalité. De plus, il est probable que la consommation annuelle d'électricité du broyeur soit surestimée car ce dernier ne fonctionnera pas à 100% de son régime maximal en permanence.

### 3.4.5. Emissions liées à la décomposition des dégâts d'exploitation forestière (scénario de référence)

Les études et analyses concernant la dynamique de décomposition et de reconstitution de la biomasse en forêt sont nombreuses. En ce qui concerne le cas de l'exploitation forestière guyanaise, une étude récente (Bilan Carbone de l'Exploitation Forestière sur le Domaine Forestier Permanent de Guyane française, GEC, 2015), pilotée par le CIRAD et menée grâce à la collaboration de l'ONF, permet de mieux appréhender cette question. Cette étude propose un bilan Carbone de l'exploitation forestière sur le Domaine Forestier Permanent en Guyane Française. Elle se décline en plusieurs objectifs particuliers :

- Estimer les flux entrants et sortants de l'écosystème forestier à l'échelle de la parcelle.
- Intégrer ces flux dans l'espace et dans le temps pour quantifier les flux et bilans annualisés à l'échelle du Domaine Forestier Permanent.
- Quantifier dans ces bilans la part liée aux trois postes d'émission et de stockage carbone clés dans le processus d'exploitation forestière:

- Emissions liées à la décomposition des dégâts.
- Emissions liées à la décomposition du bois sorti de la parcelle.
- Stockage lié à la reconstitution de la biomasse vivante.

Là où le modèle intéresse le plus notre cas, c'est que les modèles sont notamment basés sur des dispositifs expérimentaux suivis sur le long terme sur des parcelles localisées en Guyane et sur lesquelles des données réelles ont été collectées (dispositif de PARACOU).

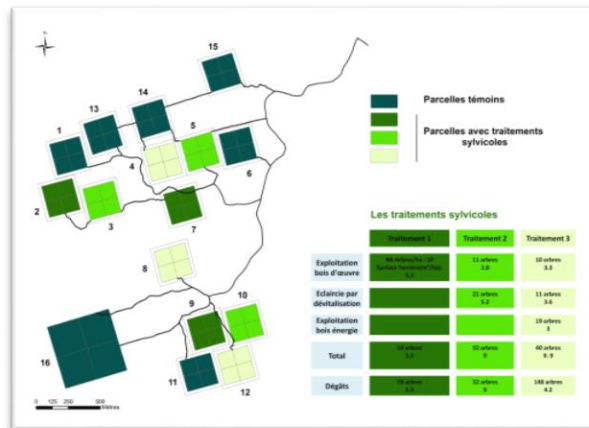


Figure 18: Le dispositif de Paracou est installé depuis 1984 sur la commune de Sinnamary. Les arbres sont inventoriés tous les 1-2 ans, fournissant des données d'une qualité inégalée pour calibrer les modèles de décomposition / reconstitution des stocks de Carbone dans les forêts tropicales après exploitation.

En ce qui concerne la décomposition des dégâts d'exploitation, le modèle est le suivant:

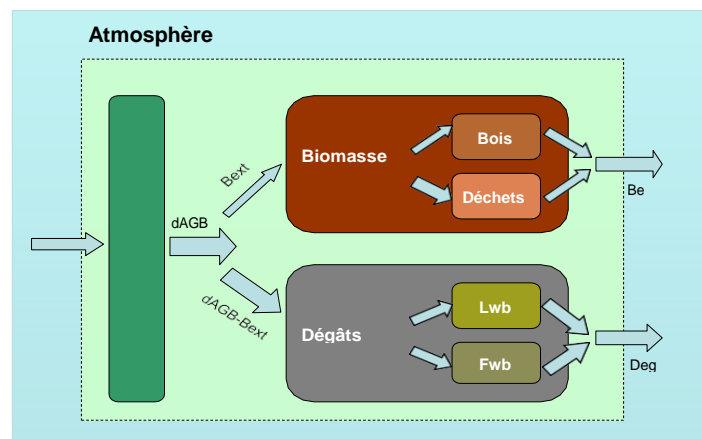


Figure 19: Modèle conceptuel utilisé pour établir le bilan carbone d'une parcelle  $p$  à un temps  $t$ . Ce modèle est ensuite intégré dans le temps et l'espace pour établir le bilan carbone de l'exploitation forestière sur le Domaine Forestier Permanent de 1974 à 2012.

Le modèle distingue deux types de dégâts :

- Les petits bois ( $Fwb$ )
- Les gros bois ( $Lwb$ )

Nous ne détaillerons pas le modèle dans ce document et renvoyons vers l'étude du CIRAD.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- La portion de petits bois dans les dégâts d'exploitation est  $Fwb_p = 0,151$
- La portion de gros bois dans les dégâts d'exploitation est  $Lwb_p = 0,849$

La décomposition de la fraction de dégâts composée de petits bois suit le modèle suivant :

$$Fwb_{pt} = Fwb_p \times \exp(-0,19 \times (t - t_0))$$

La décomposition de la fraction de dégâts composée de gros bois suit le modèle suivant :

$$Lwb_{pt} = Lwb_p \times \exp(-0,073 \times (t - t_0))$$

En ce qui concerne le gros bois, la demi vie est donc de  $\log(0,5) / -0,19 = 9,5$  années

En ce qui concerne le petit bois, la demi vie est de  $\log(0,5) / -0,073 = 4,1$  années

La dégradation du bois mort en forêt équatoriale est donc rapide. La décomposition d'une tonne de dégâts après une année est égale à :

$D$  annuelle =  $0,151 \exp(-0,19) + 0,849 \exp(-0,073) = 0,914$ , soit 8,6 % des dégâts décomposés au bout d'une année.

Sur la durée du projet de Petit-Saut, le reliquat après décomposition d'une tonne de dégâts d'exploitation sera donc :

$D = 0,151 \exp(-0,19 \times 25) + 0,849 \exp(-0,073 \times 25) = 0,138$ , soit 86,2% du bois décomposé 25 années après que le dégât ait été généré.

Sur la base d'une exploitation de type EFI (Cf. paragraphe précédent), le ratio de dégâts d'exploitation est de 1,45. Cela signifie que pour 30 000 tonnes de bois extraits chaque année, 43500 tonnes de dégâts sont générés. Sur les 25 années du projet, la quantité de bois décomposé sera :

$$43500 * 25 - 43500 * [0,151 \exp(-0,19) + 0,849 \exp(-0,073)] - 43500 * [0,151 \exp(-0,19 * 2) + 0,849 \exp(-0,073 * 2)] - \dots - 43500 * [0,151 \exp(-0,19 * 25) + 0,849 \exp(-0,073 * 25)]$$

$$= 43500 * 25 - 43500 * 0,151 * [\exp(-0,19) + \exp(-0,19 * 2) + \dots + \exp(-0,19 * 25)] - 43500 * 0,849 [\exp(-0,073) + \exp(-0,073 * 2) + \dots + \exp(-0,073 * 25)]$$

$$= 1\,087\,500 - 31\,200 - 448\,831 = 607\,469 \text{ tonnes.}$$

En tenant compte de la fraction carbone de la matière sèche donnée par le GIEC (0,47 tC/tms) et du taux d'humidité du bois (45%), la quantité de carbone libérée équivalente est la suivante :

$$Q = (1 - 0,45) * 0,47 = 157\,030 \text{ tonnes de carbone émis.}$$

Il est alors nécessaire d'analyser la forme sous laquelle ce carbone est émis, et notamment le ratio entre les émissions de méthane et celles de CO<sub>2</sub>. L'étude la plus étayée en la matière a été réalisé

sur le sujet de l'impact des termites en milieu tropicale (les mécanismes de production de méthane par les Termites en forêt tropicale, Laboratoire d'Ecophysiologie des invertébrés, université de Paris-XII, 1995). Elle analyse les mécanismes par lesquels la décomposition de la biomasse morte génère des gaz à effet de serre. En résumé, cette étude stipule que 50% de la nécromasse tropicale est consommée, avec en milieu tropical une très faible présence de termites xylophages (émettrices de CO<sub>2</sub>) et une très forte présence de termites champignonistes et humivores méthanogènes.

Si l'on se réfère à cette étude, sur la base d'un PRG du méthane de 28, cela signifierai que les émissions de carbones liées à la génération de nécromasse d'exploitation forestière seraient de

$$157\ 030 * (0,5 * 44/12 + 0,5 * 28 * 16/12) = 3\ 219\ 000 \text{ Tco2eq sur 25 années.}$$

Le tableau suivant récapitule le bilan des émissions liées à la décomposition de la nécromasse :

**Tableau 10 : Emissions liées à la décomposition de la biomasse (tCO<sub>2</sub>e)**

	Scénario de référence	Scénario de projet
<b>Décomposition des dégâts d'exploitation forestière (TOTAL sur 25 ans)</b>	3 219 000	0

### 3.4.6. Emissions liées à la création d'infrastructures routières (scénario de référence)

L'ONF crée chaque année environ 40 km de routes forestières d'exploitation, permettant de collecter annuellement environ 80 000 tonnes de bois d'œuvre. Au total, la surface concernée représente 80 Ha de défriche totale. Sur une base de 310 Tonnes/Ha de biomasse anhydre, le volume total défriché est de 24 800 tonnes/an.

Si l'on rapporte ces informations au volume de bois produit dans le cadre du scénario de Projet, cela représente chaque année 9300 tonnes de biomasse anhydre coupée dans le scénario de référence, et pour l'essentiel laissée en forêt. Avec le même raisonnement que pour les dégâts d'exploitation, nous parvenons à une émission annuelle de :

$$9300/43500 * 3\ 219\ 000 = 688\ 000 \text{ Tco2eq sur la durée du projet}$$

**Tableau 11 : Emissions liées à la décomposition des dégâts d'infrastructures routières (tCO<sub>2</sub>e)**

	Scénario de référence	Scénario de projet
<b>Décomposition des dégâts liés aux infrastructures routières forestières (sur 25 ans)</b>	688 000	0

### 3.4.7. Emissions (séquestration) liées à la reconstitution de la biomasse forestière (scénario de référence)

En ce qui concerne l'absorption de carbone liée à la reconstitution de la biomasse, le CIRAD a également mesuré et modélisé in situ les mécanismes en question.

La encore nous ne détaillerons pas le modèle dans ce document et nous renvoyons vers l'étude du CIRAD. Les résultats obtenus sont les suivants :

La biomasse reconstituée  $AttBr_{pt}$  au temps  $t$  sur la parcelle  $p$  exploitée est donnée par l'équation:

$$AttBr_{pt} = (t-t_0) * \text{biomasse totale perdue} / RT_p$$

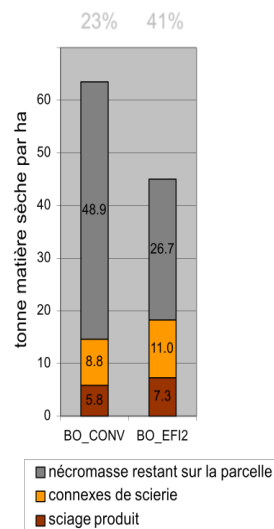
$t$  étant le nombre d'années écoulées depuis l'exploitation

La biomasse totale perdue étant la somme de la biomasse extraite et des dégâts générés.

$RT_p$  étant un coefficient calculé ainsi :

$$RT_p = (100 * \text{biomasse perdue} / \text{biomasse initiale}) \exp 1,1$$

Dans notre cas, la situation est la suivante :



La biomasse perdue correspond à 45 tonnes de matière sèche / Ha

La biomasse totale présente initialement est de 310 tonnes de matière sèche / Ha.

$$RT_p = 12$$

$$AttBr_{pt} = (t-t_0) * 45/12 = 3,75 (t-t_0)$$

Chaque année, 3,75 tonnes de biomasse sèche sont reconstituées sur chaque Ha exploité.

Dans notre scénario, le volume total de biomasse reconstitué sur 25 ans sera donc:

$$Q AttBr_{pt} = [(30\ 000 * 45/12,3) + 2 * (30\ 000 * 45/12,3) + \dots + 24 * (30\ 000 * 45/12,3)] / 12 = 1844000 \text{ t}$$

1 844 000 tonnes de biomasse à 45% seront donc reconstitués sur la durée du projet (25 ans).

Ceci correspond à  $1\,844\,000 \times (1-0,45) \times 0,47 = 476\,000$  t de carbone séquestré, soit  $476\,000 \times 44/12 = 1\,745\,000$  Tco2eq sur 25 années.

**Tableau 12 : Emissions liées à la reconstitution de la biomasse (tCO<sub>2e</sub>)**

	Scénario de référence	Scénario de projet
<b>Reconstitution de la biomasse forestière (TOTAL sur 25 ans)</b>	-1 745 000	0

### 3.4.8. Emissions liées à la combustion de la biomasse (scénario de référence et scénario de Projet)

La combustion contrôlée de la biomasse dans la chaudière de la centrale émet du méthane et du dioxyde de carbone. En effet, selon la méthodologie ACM0018, les émissions de méthane doivent être prises en compte ici étant donné qu'elles sont comptabilisées au niveau du scénario de référence (décomposition de la biomasse).

Pour le scénario de Projet, nous calculons les émissions dues à la combustion de l'ensemble de la biomasse énergie, c'est-à-dire 120 000 t/an, sans distinguer la biomasse issue directement du lac et celle issue des connexes de scierie.

Ainsi, dans le scénario de projet, les émissions de méthane dues à la combustion contrôlée de la biomasse peuvent être estimées de la manière suivante (équation 28 de la méthodologie ACM0018) :

$$E_{CO2\ méthane} = GWP_{CH4} \times EF_{CH4} \times Q_{bm} \times (1 - H) \times NCV \times f_{cons}$$

Avec :

$E_{CO2\ méthane}$  : Les émissions de méthane (converties en CO<sub>2e</sub>), en tCO<sub>2e</sub>/an

$GWP_{CH4}$  : Le pouvoir de réchauffement global du méthane (en tCO<sub>2</sub>/tCH<sub>4</sub>): il est évalué à 28 selon le rapport 2013 du GIEC ;

$EF_{CH4}$  : Le facteur d'émissions du méthane(en tCH<sub>4</sub>/GJ) ; une valeur par défaut est indiquée dans le tableau 5 de la méthodologie ACM0018 pour la combustion de bois dans une centrale biomasse : elle est de 30 kgCH<sub>4</sub>/TJ avec une incertitude notable de 300% ;

$Q_{bm}$  : La quantité de biomasse brûlée dans la centrale (en tonnes de bois après séchage sur la plateforme) soit ici 120 000 tonnes dans le scénario projet et 20 000 tonnes dans le scénario de référence.

$H$  : La teneur en humidité du bois après séchage sur la plateforme, ici 45% ;

$NCV$  : La valeur calorifique nette de la biomasse (en GJ/tms), évaluée ici à 0,015 TJ/tms ;

$f_{cons}$  : Le facteur de conservatisme destiné à contrebalancer l'incertitude élevée du facteur d'émission du méthane, Par principe conservatif, la méthodologie ACM0018 préconise en effet l'utilisation de ce facteur, qui est ici d'une valeur de 1,37 au vu de l'incertitude de 300% sur le facteur d'émission.

Par ailleurs, par simplification, nous considérons que le reste du carbone de la biomasse brûlée est émis immédiatement sous forme de CO<sub>2</sub>. L'équation est donc la suivante :

$$E_{CO2} = [(Q_{bm} \times (1 - H) \times F) - (E_{CO2\ méthane} \div (GWP_{CH4} \times 16/12))] \times 44/12$$

Avec :

$E_{CO2}$  : Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la combustion contrôlée de la biomasse, en tCO<sub>2</sub>/an ;

$E_{CO2\ méthane}$  : Les émissions de méthane dues à la combustion contrôlée de la biomasse (converties en CO<sub>2</sub>e), en tCO<sub>2</sub>e/an (voir paragraphe précédent)

$GWP_{CH4}$  : Le pouvoir de réchauffement global du méthane (en tCO<sub>2</sub>/tCH<sub>4</sub>): il est évalué à 28 selon le rapport 2013 du GIEC ;

$Q_{bm}$  : La quantité de biomasse brûlée dans la centrale (en tonnes de bois après séchage sur plateforme) soit ici 120 000 tonnes dans le scénario projet et 20 000 tonnes dans le scénario de référence.

$H$  : La teneur en humidité du bois après séchage sur la plateforme, ici 45% ;

$F$  : La fraction carbone de la matière sèche = 0,47 tC/tms par défaut selon le GIEC.

**16/12** et **44/12** : la proportion de carbone dans les molécules de méthane et de dioxyde de carbone.

Les résultats de ces calculs sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 13: Emissions liées à la combustion contrôlée du bois énergie (tCO<sub>2</sub>e/an et tCO<sub>2</sub>e)**

	Scénario de référence	Scénario du Projet
<b>Méthane</b>	189	1138
<b>Dioxyde de carbone</b>	18938	113 628
<b>Total (tCO<sub>2</sub>e/an)</b>	19127	114 766

<b>TOTAL sur 25 ans</b>	478 175	2 869 150
-------------------------	---------	-----------

### 3.4.9. Emissions liées à la combustion de fuel en centrale thermique (Scénario de référence).

En Guyane, les deux tiers de l'électricité proviennent du barrage hydroélectrique de Petit-Saut. Il s'agit d'une énergie produite à partir d'une ressource renouvelable, non émettrice de GES (l'ADEME ne prenant pas en compte les émissions de méthane générées par la décomposition du bois mort déposé dans le fond du réservoir) (ADEME, 2008). Le contenu carbone de l'électricité guyanaise est donc relativement faible : 0,090 kgC/kWh (soit 330 tCO<sub>2e</sub>/GWh), c'est-à-dire une valeur proche de celle calculée pour la métropole où l'essentiel de l'électricité est produite dans des centrales nucléaires.

Toutefois, les besoins énergétiques de la Guyane sont en forte croissance. Le barrage de Petit-Saut ne peut pas produire plus d'électricité qu'il n'en fournit déjà. Si aucune centrale biomasse n'était construite, compte tenu de la demande énergétique en forte hausse, le scénario de référence le plus probable d'après la tendance historique serait la production thermique. D'après le PRERURE Guyane établi par l'ADEME (réactualisation de 2012) (Explicit-Alter, 2012), le facteur d'émissions de l'électricité produite à partir d'une énergie fossile est de 883 gCO<sub>2e</sub>/kWh. Cette valeur inclut la part dite « amont » des émissions liées à l'extraction, la production et le transport des produits pétroliers. C'est cette valeur qui sera retenue pour le scénario de référence.

Dans le scénario de référence, 5/6 de l'énergie correspondant au scénario de Projet est produite par une centrale thermique. En l'occurrence, cela correspond à  $76 * 5/6 = 63$  GWh.

L'émission correspondante est donc de 55 629 tCO<sub>2e</sub>/an

**Tableau 14: Emissions liées à la production thermique (tCO<sub>2e</sub>/an et tCO<sub>2e</sub>)**

	Scénario de référence	Scénario de projet
<b>Production thermique</b>	55 629	0
<b>TOTAL sur 25 ans</b>	1 390 725	0

### 3.5. Bilan carbone global

Le tableau ci-dessous synthétise les émissions liées au projet d'exploitation et de valorisation des bois de Petit Saut par comparaison à un scénario de référence d'exploitation forestière et de production thermique « conventionnelles ».

**Tableau 15 : bilan carbone du Projet (tCO<sub>2</sub>e) sur 25 ans**

	Scénario de référence	Scénario de projet
<b>Décomposition de la biomasse submergée</b>	1 278 000	0
<b>Mobilisation et transport de la biomasse</b>	13200	57800
<b>Décomposition des dégâts liés aux infrastructures routières forestières</b>	688 000	0
<b>Décomposition des dégâts d'exploitation forestière</b>	3 219 000	0
<b>Reconstitution de la biomasse forestière</b>	- 1 745 000	0
<b>Séchage du bois d'oeuvre</b>	0	0
<b>Sciage du bois d'oeuvre</b>	Non calculé (identique dans les deux scénarios)	
<b>Broyage du bois énergie</b>	2 300	13 850
<b>Combustion du bois énergie</b>	478 000	2 869 000
<b>Combustion contrôlée de fuel</b>	1 390 000	0
<b>TOTAL</b>	<b>5 323 000 tCO<sub>2</sub>e</b>	<b>2940 000 tCO<sub>2</sub>e</b>

Le scénario de Projet permet donc d'éviter 2 383 000 tCO<sub>2</sub>e sur 25 ans. En moyenne annuelle, cela donne une réduction d'émission de gaz à effet de serre de 95 320 tCO<sub>2</sub>e/an.

## 4. Discussion

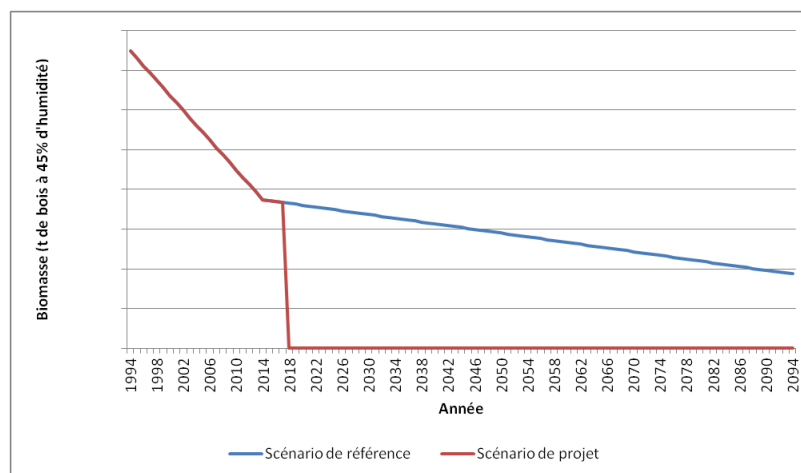
La méthode présentée ici repose sur un certain nombre d'hypothèses et d'options de départ qui peuvent influencer sur le résultat final. C'est notamment le cas de la dynamique de décomposition de la biomasse submergée. Nous présentons donc ici les facteurs essentiels et leur influence possible sur le calcul final, dans le cadre d'une analyse de sensibilité.

### 4.1. Taux de décomposition à 100 ans du bois submergé

Faute de données et par simplification, nous avons considéré dans le scénario de référence que l'intégralité du bois submergé était décomposée 100 ans après la mise en eau (soit en 2094). En effet, d'après Serça (2014) et Abril (2013):

- 50% de la biomasse est décomposée 20 ans après la mise en eau ;
- la quasi-intégralité du bois émergé est décomposée *bien avant* 100 ans ;
- les émissions dues à la décomposition de la biomasse immergée en 100 ans sont nettement supérieures à la biomasse initialement envoyée (cela étant principalement dû à l'activité de la micro-faune aquatique),

Ces trois informations laissent supposer que la quasi-intégralité du bois s'est décomposée en 100 ans. Toutefois, il est également possible qu'une partie du bois immergé ne soit pas dégradable en 100 ans. Nous considérons donc ici une autre hypothèse : 75% seulement du bois serait décomposé en 2094. Ce scénario serait donc plus conservatif que celui proposé dans le document. Le graphe présenté serait donc différent, et la dynamique de décomposition, plus lente, serait représentée par le graphique ci-dessous.



**Figure 20 : Dynamique de décomposition d'un stock de bois submergé, hypothèse d'une décomposition à 75% 100 ans après la mise en eau**

Les émissions annuelles étant plus faibles, le scénario de référence devient moins émetteur: En considérant cette hypothèse, le projet de valorisation des bois submergés serait donc moins favorable. Ainsi, une diminution de 25% du taux de décomposition à 100 ans (75% au lieu de 100%) générerait des réductions d'émissions de moitié (pour la partie décomposition aquatique du bilan) par

rapport à l'étude effectuée ci-dessus (640 000 tCO<sub>2</sub>e au lieu de 1 278 000 tCO<sub>2</sub>e). Le projet resterait toutefois favorable par rapport au scénario de référence.

### **Ratio méthane / dioxyde de carbone lié à la décomposition du bois submergé**

Une autre hypothèse a dû être établie pour évaluer les émissions annuelles dues à la décomposition du bois submergé: La proportion de carbone émis sous forme de méthane lors du processus de décomposition. D'après l'article d'Abril, ce ratio pourrait varier en 10 et 1 000 pour le bois émergé (« *above water* ») et entre 6 et 36 pour le bois immergé (« *below water* »). Or, un ratio faible entraîne une proportion plus importante de méthane, c'est-à-dire (étant donné le PRG élevé du méthane), des émissions en équivalent CO<sub>2</sub> plus élevées. L'utilisation d'un ratio élevé est donc conservatrice. Nous avons utilisé en première hypothèse un ratio de 35.

Afin de tester la sensibilité du bilan carbone à ce ratio, nous proposons ici de modéliser le résultat avec un ratio différent de 10 au lieu de 35. Ainsi, avec une diminution du ratio à 10 (10% de méthane émis pour 90% de CO<sub>2</sub>), nous assistons à une augmentation des émissions du scénario de référence de 660 000 tCO<sub>2</sub>e/an.

## **4.2. Choix du scénario de référence**

Comme dans tout exercice reposant sur la comparaison de scénarios, le bilan dépend fortement du scénario de référence considéré. Dans ce document, nous avons comparé le scénario bois de Petit-Saut à un scénario bois classique telle qu'il est pratiqué en Guyane. Une autre possibilité aurait pu être considérée en matière de scénario de référence, à savoir un scénario reposant non pas sur l'exploitation forestière mais sur la mise en œuvre de matériaux alternatifs au bois. En effet, nous aurions pu considérer qu'en l'absence de bois disponible, la filière construction recourrait à des matériaux telles que le béton, moins difficile à trouver et plus flexible d'utilisation. Il aurait alors fallu calculer le bilan carbone de la filière correspondante, pour sa partie amont (extraction et fabrication des matériaux et du ciment) et pour sa partie aval (transport et mise en œuvre des matériaux). L'extraction de matériaux et la fabrication de ciment étant des processus très énergivores, il est probable que le scénario de référence eu été la aussi peu favorable. Cependant, le scénario de référence le plus vraisemblable reste bien celui qui a été choisi, car l'exploitation forestière à vocation de bois d'œuvre est bien l'une des filières économiques prépondérantes de Guyane et la fédération interprofessionnelle concernée a pour objectif de tripler les volumes produits dans les prochaines années. C'est donc bien dans ce cadre là que le projet s'inscrit.

## **4.3. Définition du scénario de référence**

Nous avons considéré dans cette note les hypothèses selon lesquelles la filière bois d'œuvre guyanaise mettrait en œuvre systématiquement la charte d'exploitation à faible impact. Hors, cette charte fait passer le taux de dégâts d'exploitation à 1,45 au lieu de 3,3 dans une exploitation classique. Etant donné l'importance que revêt le poste d'émission lié à la décomposition des dégâts, nous pouvons donc considérer que ce choix est conservatif car il considère que l'intégralité des acteurs de la filière est en mesure d'appliquer la charte et de tenir les objectifs associés.

#### 4.4. Facteur d'émissions du diesel et de l'essence

La mobilisation et le transport de la biomasse sont effectués par des machines à moteur thermique émettant des GES pris en compte dans le bilan carbone total. Celui-ci peut donc varier selon les facteurs d'émissions du diesel et de l'essence considérés. Les valeurs choisies sont issues de la base de données de l'ADEME. Elles sont conservatives puisqu'elles sont élevées : elles tiennent compte des émissions des GES autres que le CO<sub>2</sub> (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) et du facteur d'émissions « amont ».

Afin d'observer la sensibilité du bilan carbone à ce facteur d'émissions, nous avons testé la sensibilité à cette hypothèse : une diminution de ce facteur d'émissions de 20% (2,54 kg CO<sub>2</sub>/L au lieu de 3,17 pour le diesel et 2,23 kg CO<sub>2</sub>/L au lieu de 2,79 pour l'essence) entraîne une augmentation des émissions évitées de 4%.

Nous pouvons donc considérer qu'une variation de ce facteur n'influence pas de manière significative le résultat final. Ceci est dû au fait que les facteurs les plus importants d'émissions de GES dans les scénarios sont la décomposition de la biomasse terrestre et aquatique et la combustion de la biomasse dans la centrale.

#### 4.5. Consommation des machines effectuant la mobilisation et le transport de la biomasse

L'évaluation de la consommation des différentes machines qui serviront à la mobilisation et au transport de la biomasse fournis par TRITON repose probablement sur des hypothèses conservatives, dans le sens où il semble que ces consommations aient été surestimées par rapport aux conditions réelles d'utilisation. Par exemple, la consommation indicative des 4 camions qui transporteront la biomasse est de 35 L/jour pendant 250 jours/an. D'après les chiffres de consommation de carburant au km pour un camion fournis par l'ADEME pour la Guyane (chiffres qui tiennent donc compte de l'état de la desserte guyanaise et de la potentielle utilisation de la climatisation), cela signifie que chacun des 4 camions parcourra environ 70 km/jour pendant 250 jours/an. Etant donné que l'approvisionnement a été prévu de manière à minimiser le transport sur route, cela paraît largement surestimé.

Afin d'observer la sensibilité du bilan carbone à la consommation des engins utilisés, nous avons testé la sensibilité à cette hypothèse : en diminuant de 50% la consommation quotidienne de chacun des engins, les réductions d'émissions de GES du scénario de Projet seraient négligeables au final eu égard à l'importance d'autres postes d'émission. Nous pouvons donc considérer qu'il n'est pas utile d'approfondir cette variable.

## 5. Conclusion

Le processus et la technologie développés par TRITON sont une innovation à laquelle aucune autorité environnementale n'a pensé à ce jour. Il n'existe donc pas de contraintes réglementaires concernant l'exploitation aquatique de forêts submergées et l'entreprise pourrait donc s'atteler à l'exploitation sans délais. Cependant, TRITON a décidé de réaliser plusieurs études concernant la biodiversité et l'impact potentiel du projet en matière de gaz à effet de serre.

En ce qui concerne les gaz à effet de serre, le bilan carbone du projet est favorable. La valorisation des bois morts de Petit-Saut permettra d'éviter l'émission de 2 383 000 tCO<sub>2</sub>e sur 25 ans par comparaison à un scénario équivalent réalisé selon des processus conventionnels (exploitation forestière terrestre et production thermique) ayant les mêmes objectifs en matière de bois d'œuvre et d'énergie. En moyenne annuelle, cela donne une réduction d'émission de gaz à effet de serre de 95 320 tCO<sub>2</sub>e/an.

L'évaluation carbone a été réalisée sur la base d'hypothèses conservatives sur de nombreux postes d'émissions. Cependant, l'hypothèse la plus aléatoire concerne la dynamique de décomposition du bois submergé et les émissions qui en résultent. Un cabinet spécialisé a proposé un modèle à cet effet, conduisant à une émission de 1 278 000 tCO<sub>2</sub>e sur 25 ans liée aux bois submergés. Si l'on considérait que ces arbres mort ne se décomposent pas et/ou ne génèrent pas de gaz à effet de serre, le bilan carbone passerait d'une réduction de 2 383 000 tCO<sub>2</sub>e sur 25 ans à une réduction de 1 105 000 tCO<sub>2</sub>e, soit environ 44 000 tCO<sub>2</sub>e/an.

Au-delà de la composante GES liée à la décomposition des bois submergés, la différence entre la l'exploitation aquatique et l'exploitation terrestre réside principalement dans le fait que la première ne génère pas de dégâts générateurs de gaz à effet de serre par comparaison à la seconde qui, pour chaque m<sup>3</sup> de matière prélevée, génère environ 1,4 m<sup>3</sup> de dégâts, dégâts qui se dégradent très rapidement dans en milieu tropical ou équatorial.

Récupérer et valoriser une partie des bois submergés de Petit-Saut présente donc un intérêt sur le plan climat. Cela permet d'améliorer encore le bilan carbone d'une filière bois de Guyane qui a déjà réalisé des progrès conséquents au cours des dernières années grâce à la mise en place d'une charte d'exploitation à faible impact.

\*\*\*\*\*

## Bibliographie

**Abril G., Parize M., Pérez M., Filizola N. (2013)** – Wood decomposition in Amazonian hydropower reservoirs: Na additional source of greenhouse gases– *Journal of South American Earth Sciences* 44 (2013) – pp. 104-107

**ADEME (2008)** – Complément au guide des facteurs d'émissions v 5.0 pour les DOM, la Corse et la Nouvelle-Calédonie. Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées. – 143 p.

**Bonjour I. (2009)** – *La filière Forêt & Bois en Guyane* – Guyane Export. Mission Filière Bois de la CCI – Diaporama, 21 p.

**Carbon Planet Limited (2011)**– Methodology for Improved Forest Management – Logged to Protected Forest: Calculating GHG Benefits from Preventing Planned Degradation. Approved VCS Methodology VM0011 v1.0. Sectoral Scope 14. – Phua S., Sharma S., Telfer M., Chandler H. – Verified Carbon Standard (VCS) Association. Disponible sur [www.v-c-s.org](http://www.v-c-s.org)

**GIEC (2006)** – *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre*, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre – Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. (éds). Publié : IGES, Japon.

**Guérin F. (2006)** – Emission de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) par une retenue de barrage hydroélectrique en zone tropicale (Petit-Saut, Guyane française) : expérimentation et modélisation – Océan, Atmosphère. Université Paul Sabatier Toulouse III – 246 p.

**Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie (2015)** – Méthode pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre, conformément à l'article L. 229-25 du code de l'environnement, version 3.d – République française – 78 p.

Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura et H. Zhang (2013) – « Chapter 8: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing Supplementary Material » In : *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Disponible sur [www.climatechange2013.org](http://www.climatechange2013.org) et [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).

**ONF-CIRAD (2007)** – Etude technico-économique sur les possibilités de la biomasse pour l'alimentation électrique de la Guyane, Rapport final – 110 p.

**Serça D., Guérin F., Galy-Lacaux C., Richard S. (2014)** – *Retour d'expérience après 20 ans d'études à Petit-Saut* – Comité scientifique de Petit-Saut, Université Toulouse III Paul Sabatier – 21 p.

**UNFCCC (2008)** – Tool to calculate baseline, project and/or leakage emissions from electricity consumption. Version 1 – 16 p.

**UNFCCC (2013)** – ACM0018: Electricity generation from biomass residues in power-only plants. Version 3.0 – 66 p.

**VCS (2013)** – Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Requirements, Version 3.4 – 63 p.

**Winjum J.K., Brown S., Schlamadinger B. (1998)** – Forest harvests and wood products: sources and sinks of atmospheric carbon dioxide – Forest Science 44: 272-284 31

Webographie

<http://bilans-ges.ademe.fr/>

<http://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/>

<http://www.v-c-s.org/methodologies/find>