



CIRRELT

Centre interuniversitaire de recherche
sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport

Interuniversity Research Centre
on Enterprise Networks, Logistics and Transportation

Réduire les émissions de gaz à effets de serre par une meilleure gestion des centres de tri et des cours de transit de bois

**Edith Brotherton
Marie-Lou Gravel
Luc LeBel
Marta Trzcianowska**

Juillet 2017

CIRRELT-2017-44

Bureaux de Montréal :
Université de Montréal
Pavillon André-Aisenstadt
C.P. 6128, succursale Centre-ville
Montréal (Québec)
Canada H3C 3J7
Téléphone : 514 343-7575
Télécopie : 514 343-7121

Bureaux de Québec :
Université Laval
Pavillon Palasis-Prince
2325, de la Terrasse, bureau 2642
Québec (Québec)
Canada G1V 0A6
Téléphone : 418 656-2073
Télécopie : 418 656-2624

www.cirrelt.ca

Réduire les émissions de gaz à effets de serre par une meilleure gestion des centres de tri et des cours de transit de bois

Edith Brotherton^{1,2,3,*}, Marie-Lou Gravel^{2,4}, Luc LeBel^{1,2,4},
Marta Trzcianowska^{1,2,4}

1. Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT)
2. Consortium de recherche FORAC, Université Laval, Québec, Canada G1V 0A6
3. Département de génie mécanique, Pavillon Adrien-Pouliot, 1065, avenue de la Médecine, Université Laval, Québec, Canada G1V 0A6
4. Département des sciences du bois et de la forêt, Pavillon Abitibi-Price, 2405, rue de la Terrasse, Université Laval, Québec, Canada G1V 0A6

Résumé. Ce rapport présente une méthodologie développée pour estimer les réductions des émissions de GES liées à une meilleure gestion des centres de tri et des cours de transit de bois. Elle s'appuie sur la visite d'un sous-ensemble de cours à bois du Québec qui opèrent en forêt mixte et traitent un volume de bois entre 25 000 et 600 000 m³ par an. L'information récoltée a permis d'évaluer la performance des cours visités sous la forme d'un benchmark selon 18 indicateurs de performance répartis dans 7 catégories. Des cibles ont été définies pour chaque indicateur. Ainsi une cour peut évaluer sa performance selon son rang parmi les cours échantillonnées ou selon son atteinte de la cible fixée. Un guide de bonnes pratiques a ainsi été élaboré. Parmi les indicateurs utilisés, trois ont un impact quantifiable sur les GES, soit : le carburant lié au transport Forêt-Cour, au transport Cour-Client, et aux manutentions. En adoptant les bonnes pratiques élaborées lors de notre étude, les résultats des cours visités pour ces trois indicateurs devraient atteindre les cibles fixées. Cela auraient le potentiel de réduire les émissions de GES de 1 374 TCO₂eq/an, soit 8,7% des émissions actuelles (qui sont de 15 845 TCO₂eq/an). Ces gains se traduiraient par des économies de 615 560\$ de carburant/an, soit 0,28\$/m³ pour le transport Forêt-Cour, 0,20\$/m³ pour les expéditions Cour-Client et 0,19\$/m³ pour les manutentions dans la cour. Quelques avenues de recherche se dessinent à la suite des résultats obtenus. Du côté exploratoire, l'évaluation du potentiel de réduction de l'humidité du bois en est un exemple. Du côté démonstration, l'implantation d'un centre partagé de tri et de transit serait l'occasion d'appliquer les bonnes pratiques observées et de réduire de façon non négligeable les GES.

Mots-clés : Cour à bois, gaz à effets de serre, indicateurs de performance, benchmark, guide des bonnes pratiques.

Remerciements. Les auteurs souhaitent remercier le Consortium de recherche FORAC et ses partenaires, de même que le Centre d'innovation en logistique et chaîne d'approvisionnement durable (CILCAD) pour le soutien financier au projet. Ce projet n'aurait pas été un succès sans la participation de nos collaborateurs et partenaires industriels tout au long du projet.

Results and views expressed in this publication are the sole responsibility of the authors and do not necessarily reflect those of CIRRELT.

Les résultats et opinions contenus dans cette publication ne reflètent pas nécessairement la position du CIRRELT et n'engagent pas sa responsabilité.

* Auteure correspondante : Edith.Brotherton@cirrelt.ca

1. Introduction

Les forêts mixtes publiques du Québec posent des défis au niveau des opérations de récolte, du marchandisage des produits forêts, du transport et du stockage. Les mouvements de fibres sont complexes et rendent difficile la traçabilité des produits. Le contexte légal actuel, le profil de l'industrie de première transformation du bois ainsi que les caractéristiques inhérentes aux forêts mixtes se traduisent par* :

- ❖ Une ressource qui ne répond pas aux besoins spécifiques de toutes les usines,
- ❖ Une diversité de preneurs,
- ❖ Une collaboration plus ou moins facile,
- ❖ Une multiplication des flux de bois,
- ❖ Une sous-récolte de la possibilité forestière feuillue.

Un **centre de tri** (ou cour de triage) a pour but de maximiser la valeur du bois. C'est un lieu où le bois est concentré, où le potentiel de chaque tige est examiné, où une décision est prise à savoir quelles parties de la tige conviennent le mieux à quels produits finis et où la tige est coupée en billes selon la décision prise (Blinn, 1984).

Une **cour de transit** vise principalement à réduire les coûts de transport et à améliorer les opérations. C'est un lieu où le bois est entreposé de façon temporaire avant d'être redirigée vers sa destination.

Une cour à bois procure des avantages qui peuvent être résumés ainsi (Dramm, Jackson, & Wong, 2002) :

- ❖ Améliore l'approvisionnement,
- ❖ Améliore l'utilisation de la ressource,
- ❖ Améliore les activités de classification, de mesurage et tri,
- ❖ Améliore le tronçonnage,
- ❖ Permet de capturer de nouveaux marchés,
- ❖ Concentre les produits pour l'expédition.

Les centres de tri et les cours de transit sont des maillons sous-estimés de la chaîne d'approvisionnement du bois. L'idéal serait d'avoir un site partagé qui combine les fonctions de « centre de tri » et de « cour de transit » dans un même lieu. Or **un tel centre n'existe pas au Québec**. Des sites sont actuellement en fonction, mais ils traitent un nombre limité d'essences et desservent un nombre limités d'usines.

Le produit qui nous intéresse ici est tout le bois rond (aussi appelé billes, billots ou bois long). La Figure 1 illustre une chaîne de valeur générique actuelle du bois rond en forêt mixte. La distinction est faite entre le résineux et le feuillu pour mieux comprendre les différents usages des deux groupes d'essences. Certains bois passent déjà par des centres de tri ou une cour de transit, mais aussi beaucoup de flux de bois usine-usine créent du transport inutile résultant en émissions GES (le bois ne va pas au bon endroit du premier coup).

La Figure 2 permet d'illustrer le nouveau fonctionnement du réseau lors qu'un **site partagé de tri et de transit** est mis en place. Dans ce nouveau scénario proposé, tous les flux et les relations entre les usines de 1^e transformation et la forêt sont redéfinis. Ceci serait un scénario idéal où le bois est mieux classé, moins manipulé et transporté inutilement. Tout gain obtenu en lien avec le réseau existant se traduirait par des économies pouvant représenter des quantités importantes de gaz à effet de serre (GES). Ces bénéfices économiques et environnementaux auraient l'avantage de profiter aux industriels et à la population en général. En collaboration avec un groupe d'industriels, nous avons exploré les opportunités offertes par l'utilisation d'un tel centre pour le secteur des produits forestiers.

* *Constats découlant de l'analyse de données du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, du Bureau de Mise en Marché des Bois et du Conseil de l'Industrie Forestière du Québec.*

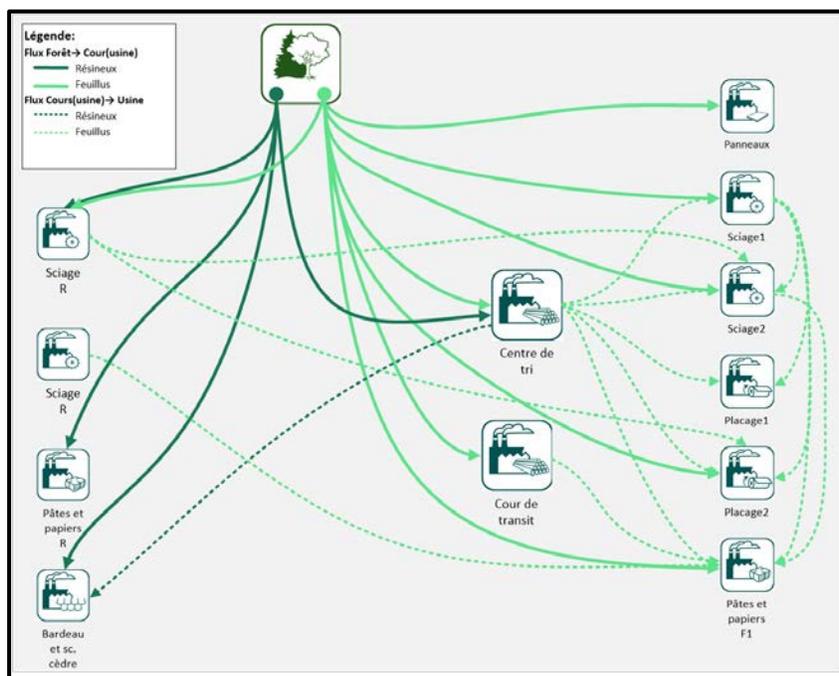


Figure 1 : Schématisation d'une chaîne de valeur générique forêt→usines de 1e transformation actuelle

CONSTATS SUR LES FLUX DE BOIS ROND (ACTUEL)

- Multiplication des flux originaires de la forêt
- Non-redirection des produits entre les usines (gaspillage de bois)
- Redirection de produits entre les usines (flux inutiles)
- Les papetières reçoivent du bois du plus grand nombre de sources
- Flux de résineux plus simples que le feuillu

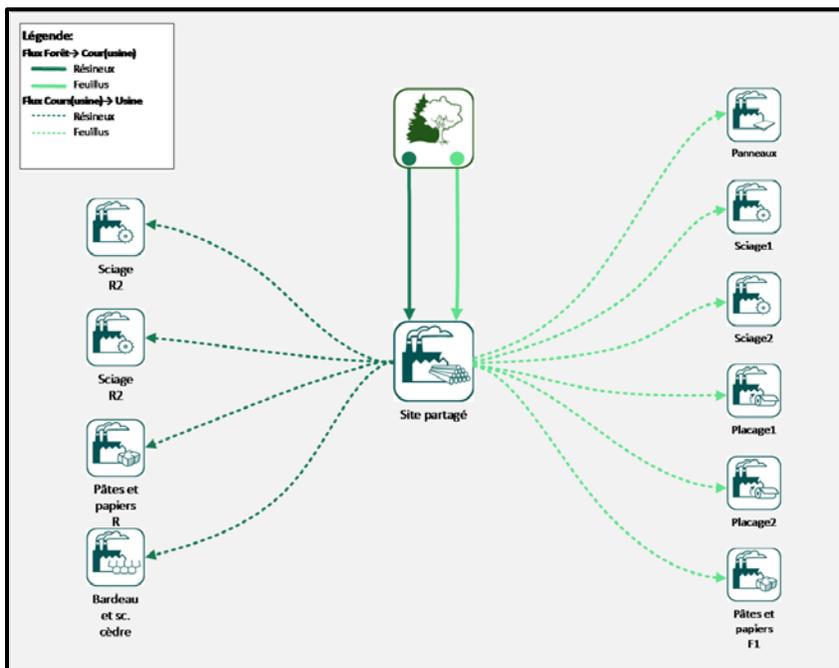


Figure 2 : Schématisation d'une chaîne de valeur générique forêt→usines de 1e transformation avec site partagé de tri et de transit

CONSTATS SUR LES FLUX DE BOIS ROND (SITE PARTAGÉ)

- Concentration des flux de bois
- Simplification des flux de bois pour le feuillu,
- Possibilité d'utiliser des camions spécialisés (Hors-Norme, B-Train)
- Livrer le bon produit, au bon endroit, au bon moment (maximiser la création de valeur à partir de la forêt)

1.1 Objectif

Financé par le Centre d'innovation en logistique et chaîne d'approvisionnement durable (CILCAD), cette étude exploratoire visait à réduire les gaz à effet de serre (GES) par une meilleure gestion des activités logistiques forêt-usines, intra-usine et inter-usine. L'atteinte de cet objectif requérait une compréhension approfondie des centres de tri et des cours de transit ainsi que de leur fonctionnement.

1.2 Méthodologie

Pour tirer avantage d'un centre qui combine les fonctions de tri et transit dans un même lieu, il est nécessaire de comprendre le fonctionnement des cours (de tri et de transit) existantes. La Figure 3 illustre la méthodologie utilisée pour le projet. Celle-ci s'insère dans une démarche plus large de maximisation de la valeur et de réductions des émissions de GES liés à une meilleure gestion des centres de tri et des cours de transit de bois[†].

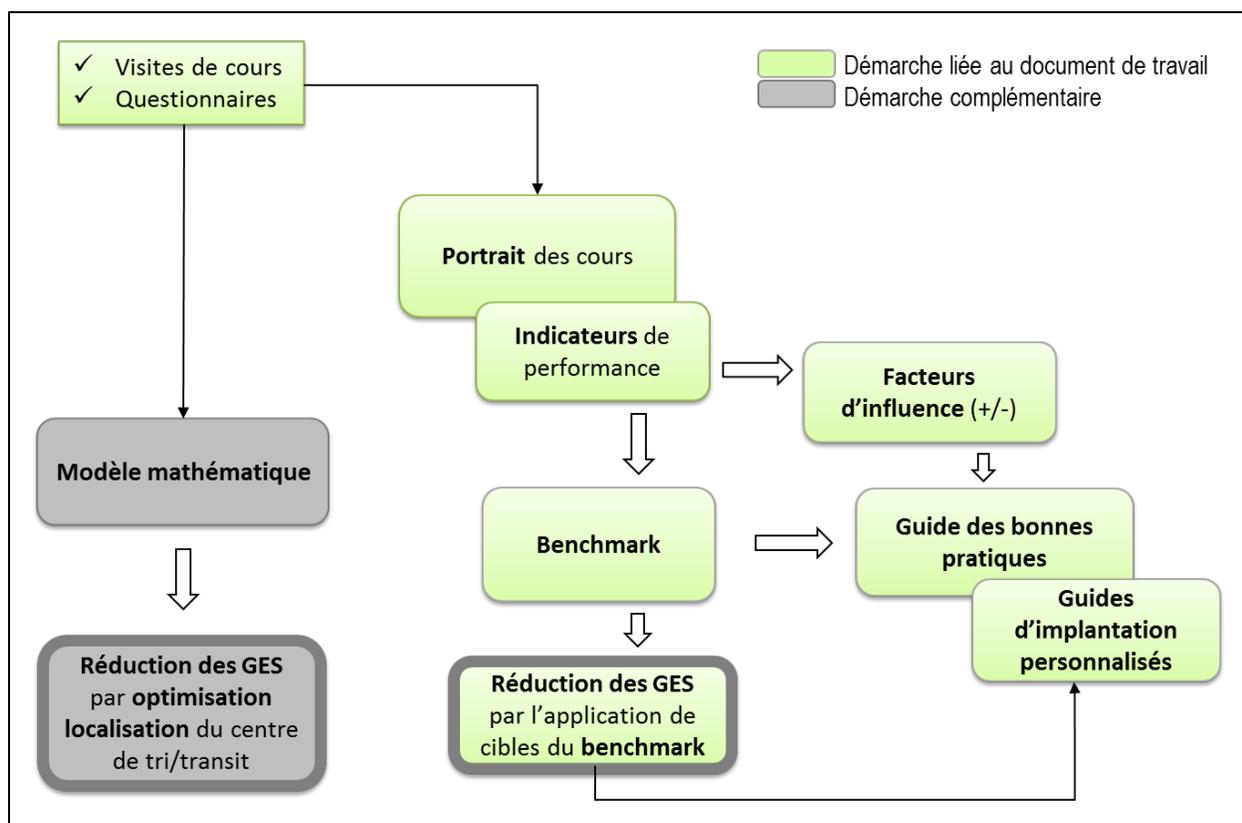


Figure 3 : Méthodologie utilisée pour évaluer les réductions de GES par l'application des cibles du benchmark

- ❖ Notre méthodologie s'appuie sur la **visite** de huit cours à bois en forêt mixte du Québec sélectionnées en collaboration avec les partenaires de l'étude.
- ❖ À partir des données recueillies, nous avons dressé un **portrait** des cours visitées qui regroupe les principales caractéristiques et pratiques observées selon 7 catégories[‡]. En parallèle, 18 **indicateurs** ont été calculés à partir

[†] La réduction des GES via l'optimisation de la localisation d'un site partagé (partie ombragée) est approfondie dans le cadre du projet Vers une conception fonctionnelle d'une centre logistique commun à plusieurs entreprises forestières (Sarrazin, 2017)

[‡] Les catégories seront présentées plus en détail dans la section 2. Résultats

des mêmes données pour évaluer la performance globale de chaque cour. Ces indicateurs sont répartis dans 7 catégories correspondant à celles du portait.

- ❖ Le croisement des indicateurs et l'ensemble des éléments du portrait a été fait pour trouver des **facteurs d'influence** significatifs. Ces facteurs permettent une évaluation plus réaliste des cours et aident à l'élaboration du guide des bonnes pratiques.
- ❖ Un **benchmark** des cours visitées a ainsi été réalisé selon les indicateurs définis. La performance d'une cour est évaluée selon son rang par rapport aux autres cours et son atteinte de la cible. Les cibles sont, lorsque possible, basées sur les meilleures pratiques des cours à bois SEPM[§].
- ❖ Les caractéristiques et les pratiques des cours les plus performantes ont pu être mise en relief. Lorsque possible, les exemples de la pratique ont été confrontées aux écrits existants. C'est ainsi qu'a été développé un **guide des bonnes pratiques** à adopter pour améliorer l'opération des centres de tri et des cours de transit dans un contexte de forêt mixte.
- ❖ L'application des bonnes pratiques proposées vise à aider les cours visitées à atteindre les cibles fixées. La comparaison du scénario actuel à un autre supposant l'atteinte des cibles définies a permis **d'estimer la réduction des émissions de GES par l'application des cibles du benchmark** aux cours visitées.
- ❖ Des guides **d'implantation personnalisés** sont en développement pour orienter les actions de chaque cour visitée compte tenu de ses réductions de GES potentielles, des résultats obtenus au benchmark et de ses particularités. Ces guides sont fournis exclusivement aux participants industriels du projet.

Calcul des émissions de GES

Les émissions de GES présent en compte dans cette étude sont celles reliées au transport de bois rond et celles reliées aux activités de manutention dans les cours à bois.

Les émissions de GES sont intimement liées à la consommation de carburant. Les émissions proviennent du CO₂, du CH₄ et N₂O. En général, le CO₂ est responsable de 97% des émissions dans le transport et est lié au contenu en carbone du carburant utilisé. Les autres gaz, malgré des potentiels de réchauffement climatiques supérieurs, sont moins significatifs. Comme l'information requise sur les équipements pour pouvoir calculer tous les gaz précisément n'était pas disponibles, nous nous sommes concentrés sur le CO₂.

Les références utilisées pour le calcul des émissions sont celles du gouvernement du Québec et de l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Le facteur d'émissions du diesel ainsi que les potentiels de réchauffement climatique des principaux gaz sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Facteur d'émissions (adapté de (Transition Énergétique Québec (TEQ), 2014)) et Potentiel de réchauffement climatique de 3 gaz (adapté de (IPCC, 2007))

Forme d'énergie	Conversion	GES	PRC (GWP)
	(g/L) CO ₂ eq		
Diesel	0,2790	CO ₂ CH ₄ N ₂ O	1 25 298

[§] Dans le cadre du projet Développement d'une méthodologie systématique de conception de cours à bois (Trzcianowska, 2017)

L'estimation de la quantité de carburant liée au transport dans ce projet est faite à partir des flux de bois et du CO₂ émanant du diesel seulement et est formulé comme suit (Équation 1):

Équation 1: Émissions de GES liées au transport de bois pour le projet

$$E = FW \sum_i \sum_j \sum_k N_{ijk} D_i \sum_n P_{in} C_{jkn}$$

Où

E = Émissions totales (gCO₂eq)

F = Facteurs canadiens d'émissions canadien du diesel (g/L)

W = Potentiel de réchauffement climatique du CO₂ (gCO₂eq/g)

N_{ijk} = Nombre de voyages sur la paire Origine/Destination i, du type de camion j, vide ou chargé k

D_i = Longueur de la paire Origine/Destination i (km/100)

C_{jkn} = Consommation du type de camion j, vide ou chargé k, sur route classée n (L/100km)

i = Paire origine/destination

j = Type de camion

k = Chargé ou Vide

n = Classe de route

L'estimation de la quantité de carburant liée aux maintenitions dans ce projet est faite à partir des heures de travail prévues et de la consommation de diesel des équipements (Équation 2).

Équation 2 : Émissions de GES liées aux maintenitions pour le projet

$$E = FW \sum_j C_j H_j$$

où

E = Émissions totales (gCO₂eq)

F = Facteurs d'émissions canadien du diesel (g/L)

W = Potentiel de réchauffement climatique du CO₂ (gCO₂eq/g)

C_j = Consommation du type d'équipement j, (L/h)

H_j = Heures-machines prévues du type d'équipement j (h)

j = Type d'équipement (tronçonneuse, chargeuse...)

Provenance des données et hypothèses de calcul

L'information nécessaire au calcul des émissions de GES provient de trois sources :

- ❖ Données réelles obtenues auprès des partenaires (questionnaires et visites),
- ❖ Données provinciales obtenues auprès du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP),
- ❖ Données génériques obtenues à partir de FPInterface**.

L'année prise en compte pour le projet est 2015.

Carburant :

Le facteur moyen utilisé pour le prix du diesel est de 1,25\$/L diesel.

Camions :

- Les spécifications de charge et de consommation de carburant des camions sont fournies par le catalogue intégré à la plate-forme FPInterface.
- Le type de camion hors-norme utilisé est le 12 pi.
- Le type B-train n'est utilisé que pour le transport COUR-USINE.

Paires origines destinations :

La couche numérique des chemins provient du MFFP. Quatre classes de routes sont utilisées : Pavée, I, II et Opérationnelle (Opérationnelle = classe III et pire).

Nous faisons l'hypothèse que tout le bois qui origine de la forêt publique est distribué sur le territoire comme le bois de GA^{††}, c'est-à-dire par zone de tarification selon la récolte de GA 2015^{††}.

Les trajets proposés ont été obtenus via FPInterface. Pour les flux originaires de la forêt, un centre de gravité a été créé pour chaque zone de tarification à partir de la PRAN^{§§} 2015-2016.

Dans le cas d'une paire Origine Destination qui permet le transport hors-norme, nous supposons que 50% du volume est transporté en camion hors-norme et 50% en camions 4 essieux. Cette hypothèse est un estimé réaliste qui découle des informations reçues lors des visites.

Le bois reçu dans une cour et transformé sur place n'est pas pris en compte dans le calcul des émissions de GES liées au transport Cour-Client.

** Plate-forme de simulation pour les activités d'approvisionnement forestier utilisant des données basées sur plusieurs études menées dans le passé au Québec et au Canada (FPInnovations, 2012).

†† La Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier prévoit que la garantie d'approvisionnement confère à son bénéficiaire le droit d'acheter annuellement un volume de bois en provenance de territoires forestiers du domaine de l'État d'une ou de plusieurs régions, et ce, en vue d'approvisionner l'usine de transformation du bois pour laquelle cette garantie est accordée. La garantie indique les volumes annuels de bois, par essence ou groupe d'essences, qui peuvent être achetés annuellement par le bénéficiaire, en provenance de chacune des régions visées par la garantie (Ministère des forêts, de la faune et des parcs, s.d.).

‡‡ Fournie par le MFFP via MESUBOIS. On y trouve le volume déclaré/groupe d'essence/qualité/BGA, et ce pour chaque zone de tarification.

§§ Programmation annuelle d'intervention forestière

2. Résultats

Cette section synthétise les résultats des étapes ayant mené à l'estimation des réductions des GES par l'application des cibles du benchmark. Cette façon d'estimer les réductions de GES se limite aux cours visités. Les différentes étapes sont documentées dans les pages suivantes.

2.1 Visites de cours

Cette étape a permis de comprendre le fonctionnement des sites et de recueillir les valeurs numériques pour le calcul des GES. Un questionnaire pré-visite couvrant 6 aspects des cours a été remis à chaque cour sélectionnée. Les visites ont permis de compléter les informations supplémentaires au questionnaire. Un kit de visite a été conçu pour s'assurer de comprendre l'aménagement du site, les séquences possibles d'opérations, et de se questionner sur la performance actuelle, l'avenir et des idées d'améliorations.

Une cartographie des activités a pu être produite, accompagnée d'une analyse préliminaire de l'utilisation des superficies. Ce document de 7 pages personnalisé a été remis à chaque partenaire du projet. Un exemple générique de cartographie des activités est présenté à la Figure 4.

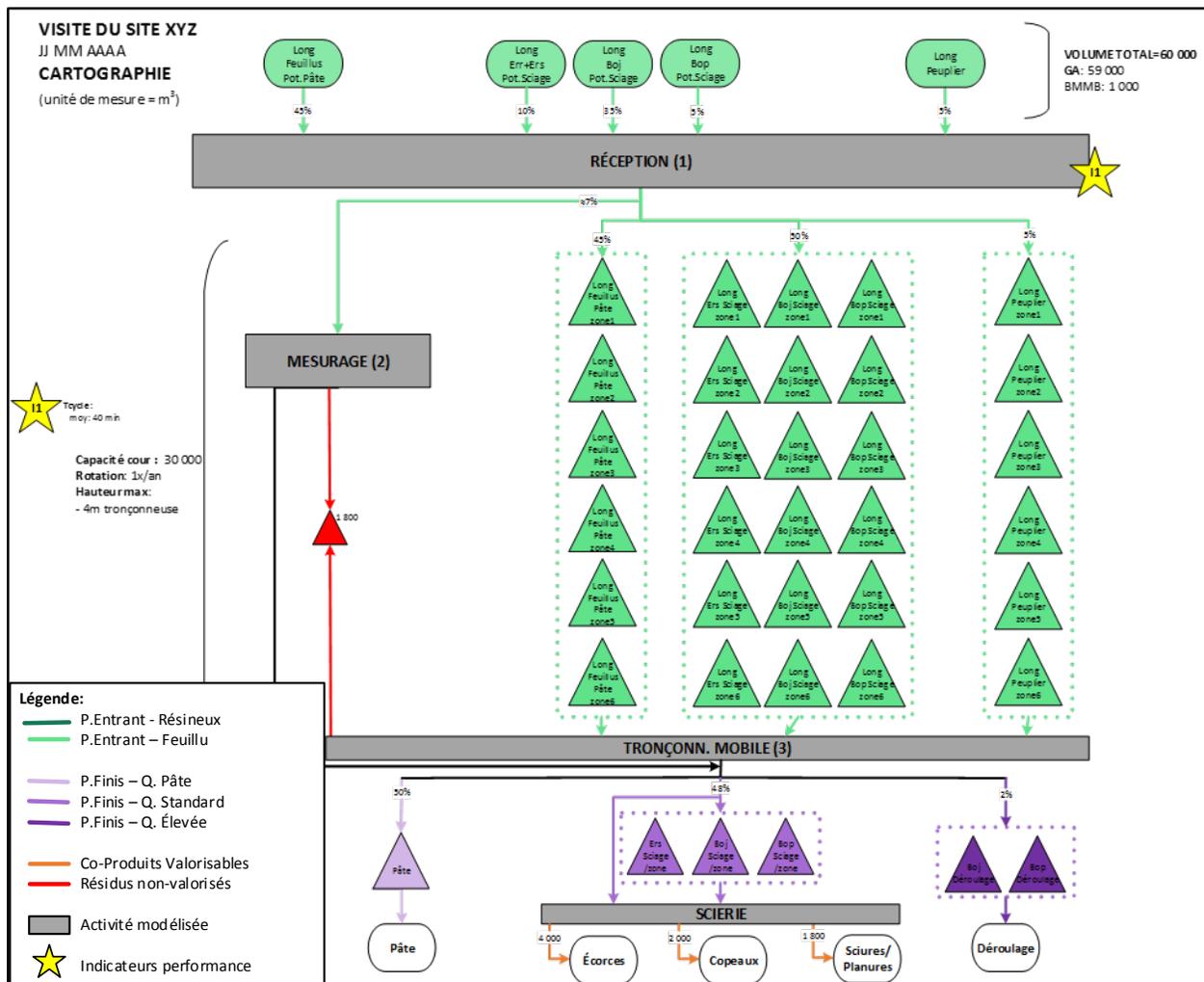


Figure 4 : Exemple générique de cartographie des activités

Pour chaque site, quatre cartes avec des superficies ont été produites, puis comparées avec les moyennes des sites visités. Nous avons analysé à la fois les contraintes physiques du site (infrastructure et surface), l'utilisation actuelle (activités et inventaires) faite par l'industriel qui opère la cour ainsi que les possibilités d'expansion (superficie projet). Un exemple d'analyse pour une cour générique est présenté aux figures 5 à 8.

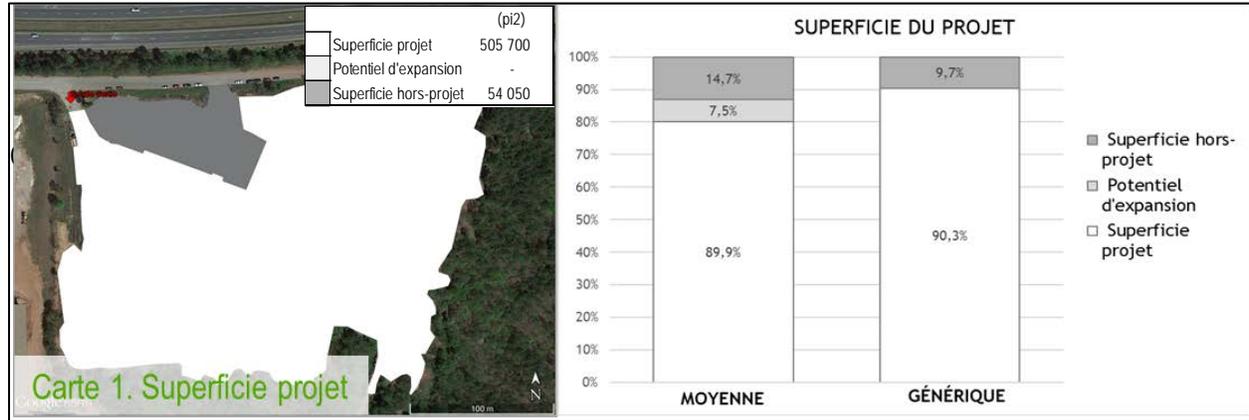


Figure 5 : Superficie du projet

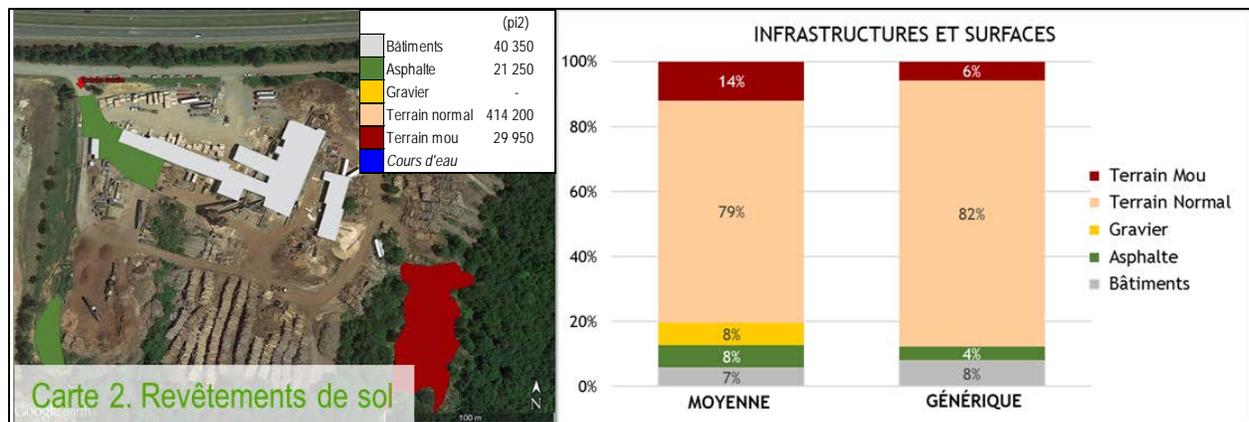


Figure 6 : Infrastructures et surfaces

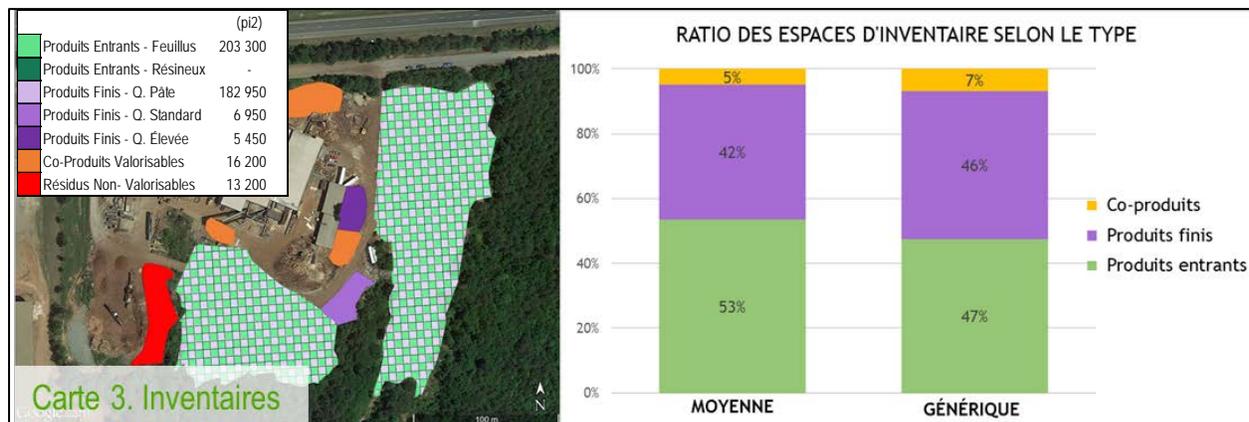


Figure 7 : Type d'inventaires

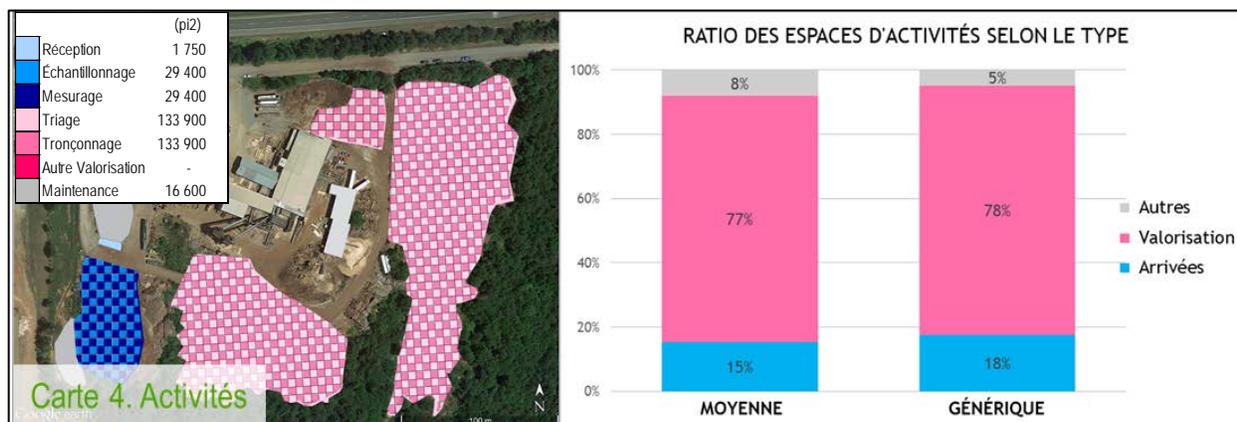


Figure 8 : Type d'activités

2.2 Portrait des cours visitées

À partir des questionnaires et de l'information recueillie durant les visites de cours, un **portrait des cours** visitées a été dressé. Ce document de 15 pages qui synthétise le portrait des cours visitées a été remis aux partenaires de l'étude. Nous y retrouvons les caractéristiques des cours ainsi que les pratiques de gestion qui ont été regroupées selon les 7 catégories suivantes :

1. APPROVISIONNEMENT : Activités en amont de la cour
2. INVENTAIRES : Stockage de produits entrants ou sortants
3. CLIENTS : Variété des produits finis et leur expédition
4. RESSOURCES HUMAINES (RH) : Employés et superviseurs de la cour
5. MACHINES : Équipements mobiles de la cour
6. UTILISATION DU SITE (SITE) : Aménagement physique de la cour
7. OPÉRATIONS : Processus de la cour

Afin de comptabiliser les caractéristiques et pratiques des centres, qui sont souvent des éléments descriptifs, nous avons utilisé un format avec des cases à cocher tel qu'illustré dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Exemples de format pour comptabiliser les caractéristiques et pratiques

	Accès hors-norme (O/N)		Critères de stockage			
	Oui	Non	Essence	Grosueur	Potentiel	...
Cour A	x		x			...
Cour B	x		x		x	...
Cour C		x	x	x		...
Cour D		x				...
Cour E	x		x		x	...
...
Total	4/8 = 50%	4/8 = 50%	7/8 = 88%	1/8 = 13%	4/8 = 50%	...

Toutes les valeurs indiquées dans la ligne « Total » sont comptabilisées en nombre de cours ($n \leq 8$). Il est important de noter que pour certains éléments, il est impossible d'avoir plus d'un choix par cour (ex : présence d'un accès hors-norme O/N) alors que pour d'autres éléments il est possible qu'une cour ait plus d'une caractéristiques (ex : critères de stockage, cour B, C et E). Quelques constats-clés du portrait sont présentés dans les figures suivantes.

La Figure 9 montre que dans notre échantillon, 50% des cours traitent moins de 50 000 m³ (petite envergure). La Figure 10 montre que les cours dédiées aux feuillus sont les plus fréquentes pour 62% des cours visitées. Les autres traitent des volumes mixtes (feuillus et résineux) avec respectivement 25% pour les cours à dominance feuillue et 13% pour celles à dominance résineux.

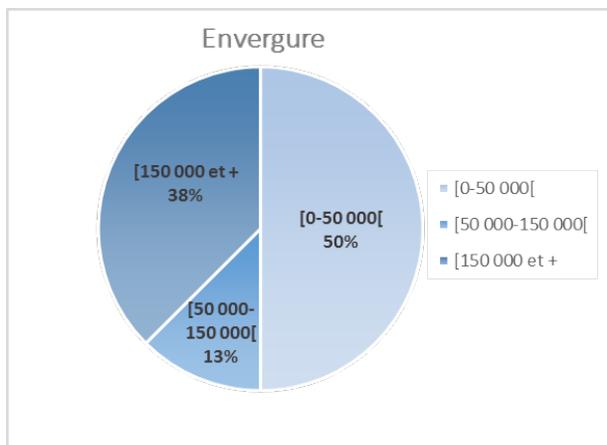


Figure 9 : Envergure des cours visitées

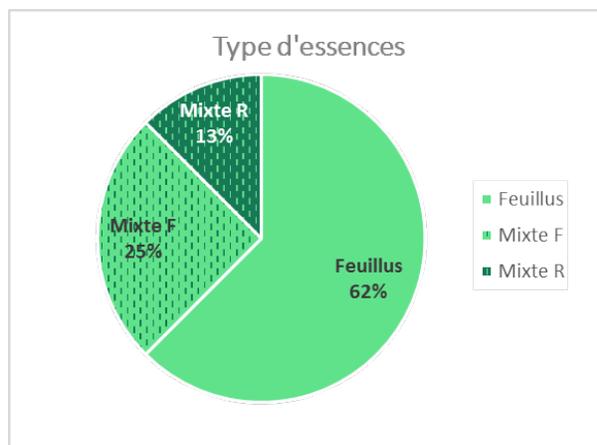


Figure 10 : Types d'essences traitées dans les cours visitées

Les cours doivent réaliser un ensemble d'activités (Figure 11) qui peuvent être classifiées en deux catégories : les activités de réceptions (en bleu) et les activités de valorisation (en rose). L'échantillonnage et le mesurage liés à l'approvisionnement en forêt publique ainsi que le tronçonnage touchent la majorité des cours. L'activité de cirage est spécifique aux billes de déroulage. Ce bref aperçu du portrait permet de mieux comprendre le type de cours échantillonnées dans le cadre du projet.

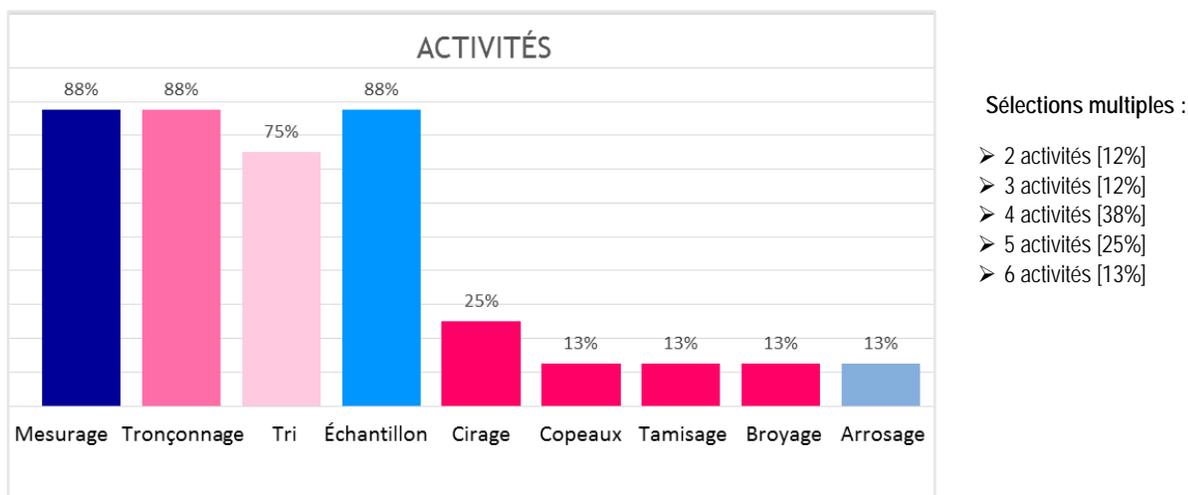


Figure 11 : Activités effectuées dans les cours visitées

2.3 Indicateurs de performance et facteurs d'influence

En parallèle du portrait des cours, des indicateurs ont été sélectionnés pour évaluer la performance globale de chacune des cours. Chaque indicateur est lié à une des 7 catégories présentées dans le portrait. Le Tableau 3 présente les indicateurs retenus par catégorie. Chaque indicateur a sa codification composée du nom de sa catégorie, du # de sa catégorie et d'un numéro unique [CATEGORIE #Cat. #unique].

Tableau 3 : Indicateurs sélectionnés pour évaluer les cours visitées (par catégorie)

CATÉGORIES	INDICATEUR 1	INDICATEUR 2	INDICATEUR 3
1. APPRO	[APPRO 1.1] Volume moyen des camions (m ³)	[APPRO 1.2] Variation des réceptions (%)	[APPRO 1.3] Carburant Forêt-Cour (L/m ³ 100km)
2. INVENTAIRES	[INVENTAIRES 2.1] Ratio (Tris stockage produits entrants/ Tris stockage produits finis)	[INVENTAIRES 2.2] Densité de stockage maximale (m ³ /m ²)	[INVENTAIRES 2.3] Durée moyenne de stockage (sem)
3. CLIENTS	[CLIENTS 3.1] Carburant Cour-Client (L/m ³ 100km)	[CLIENTS 3.2] Nb de "qualités-client" produites	
4. RH	[RH 4.1] Nb postes de travail / 10 000m ³ d'approvisionnement	[RH 4.2] Postes de supervision / Postes d'opérateurs de machines	
5. MACHINES	[MACHINES 5.1] Nb machines principales / 10 000 m ³ d'approvisionnement	[MACHINES 5.2] Coûts des équipements de la cour (\$/m ³ d'appro.)	[MACHINES 5.3] Carburant lié aux maintenions (L/m ³)
6. SITE	[SITE 6.1] Évaluation de l'utilisation des superficies	[SITE 6.2] Superficie de la cour / m ³ d'approvisionnement	
7. OPÉRATIONS	[OPÉRATIONS 7.1] Nb moyen de maintenions	[OPÉRATIONS 7.2] Temps de cycle moyen (min)	[OPÉRATIONS 7.3] Ratio des résidus non-valorisables

Nous avons fait le croisement entre les indicateurs et l'ensemble des éléments du portrait de cour pour trouver des facteurs d'influence significatifs. Ces facteurs nous ont permis d'ajuster les cibles des indicateurs pour le benchmark lorsque nécessaire. À titre d'exemple, la Figure 12 présente l'indicateur *Nombre moyen de fois que le bois est manutentionné* en fonction du facteur d'influence *Type de cour (tri ou transit)*. Elle montre qu'une cour de transit manutentionne moins son bois qu'une cour de tri.

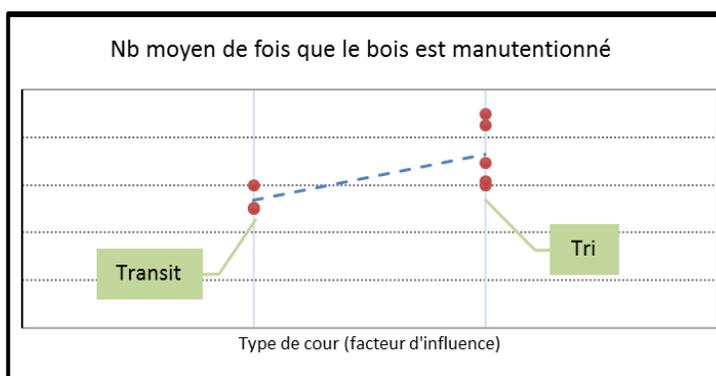


Figure 12 : Exemple d'un facteur d'influence

Trois facteurs d'influence ont été identifiés :

- ❖ Le **type de cour** : Transit (plus de 90% de la production est du bois de pâte) ou Tri (toute autre cour)
- ❖ L'**envergure** : Se définit comme le volume annuel d'approvisionnement (en m³)
- ❖ Le **taux de transit**: Le rapport [bois rond vendu annuellement / volume annuel d'approvisionnement]

Le détail des facteurs d'influence et des indicateurs touchés a été fourni aux partenaires de l'étude.

2.4 Benchmark des cours

Les 18 indicateurs sélectionnés dans la section précédente (2.3) ont permis d'évaluer la performance des cours. Les indicateurs ont été liés à des cibles basées sur des observations et la littérature existante. Chaque cour a été évaluée selon son rang par rapport aux autres cours et son atteinte de la cible. Un document personnalisé d'environ 15 pages qui détaille la performance des cours visitées a été remis aux partenaires de l'étude.

Pour chaque indicateur, un classement a été fait du meilleur au moins performant (rang 1 au rang 8). Les trois meilleurs rangs obtiennent des points comme suit :

- ❖ Rang 1 = 3 points
- ❖ Rang 2 = 2 points
- ❖ Rang 3 = 1 point
- ❖ Rangs 4+ = aucun point***

En situation d'égalité, le même rang est donné aux cours concernées.

Chaque figure est accompagnée d'une remarque générale sur la moyenne des cours visitées ainsi que du rang personnalisé (lorsque disponible). Un « VOUS » sur la série indique qu'il s'agit des données de la cour évaluée. La Figure 13 résume la méthode utilisée.

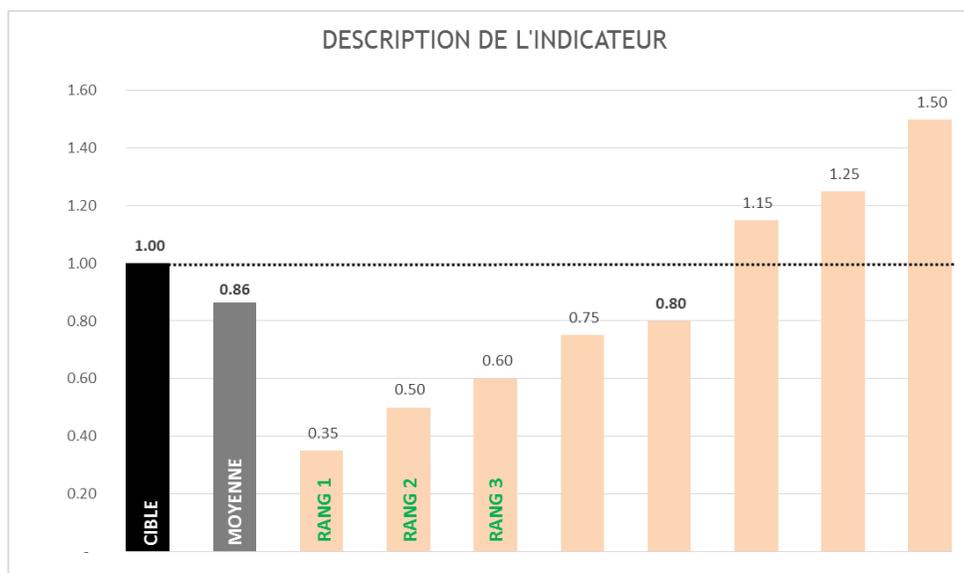


Figure 13 : Explication des cibles et rangs pour un indicateur

Un aperçu de la performance des cours visitées pour un indicateur est présenté à la page suivante.

*** Un score de « 0 point » est automatiquement attribué pour une donnée non-fournie ou non-disponible.

Indicateur : Temps de cycle moyen [OPÉRATIONS 7.2]

Calcul de l'indicateur : Cet indicateur correspond au temps de déchargement d'un camion, incluant le temps d'attente.

Cible : Basé sur les bonnes pratiques des cours SEPM^{†††}, nous avons déterminé la valeur cible à 22 minutes.

Remarque : Aucune cour n'atteint la cible. Les deux cours les plus performantes ont des temps de 30 minutes.

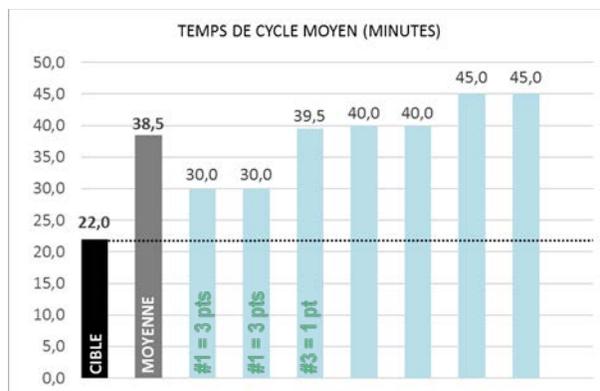


Figure 14 : Classement selon l'indicateur Temps de cycle

Le score de chaque catégorie est la somme des scores des indicateurs qui la composent. La conversion des rangs en scores a été faite selon la méthodologie présentée à la Figure 13. Dans le cas où plusieurs éléments entrent dans le calcul d'un même indicateur, nous avons calculé le score associé comme la moyenne des éléments qui le composent. Voici un exemple de score global pour les cours visitées (Figure 15) et un exemple fictif de détail de la performance par catégorie (Figure 16).

RANG	SCORE GLOBAL	1. Appro.	2. Inventaires	3. Clients	4. RH	5. Machines	6. Site	7. Opérations
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Figure 15 : Classement global des cours

CATÉGORIES	Pire score	Score fictif	Meilleur score
1. Appro	0	2	6
2. Inventaires	0	6	6
3. Clients	0	1	4
4. RH	0	1	3
5. Machines	0	4	8
6. Site	0	3,0	4
7. Opérations	0	0	7
GLOBAL	5,7	17,0	33,0

Figure 16 : Détail de la performance par catégorie (exemple fictif)

Ce benchmark a permis l'évaluation des cours visitées selon 18 indicateurs et est à la base de l'élaboration du guide des bonnes pratiques en lien avec les sept catégories évaluées.

^{†††} Dans le cadre du projet Développement d'une méthodologie systématique de conception de cours à bois (Trzcianowska, 2017)

2.5 Guide des bonnes pratiques et guide d'implantation personnalisés

Le guide des bonnes pratiques identifie et partage les bonnes pratiques à adopter pour améliorer l'opération des centres de tri et des cours de transit dans un contexte de forêt mixte

Le format de présentation des bonnes pratiques est illustré à la Figure 17. Une page est dédiée à chaque pratique. Nous y présentons la valeur ajoutée et les améliorations attendues au niveau des indicateurs de performance. Des éléments de la littérature et du benchmark sont ensuite amenés pour justifier le choix de la pratique. Nous y retrouvons également des conseils et mises en garde utiles au lecteur.

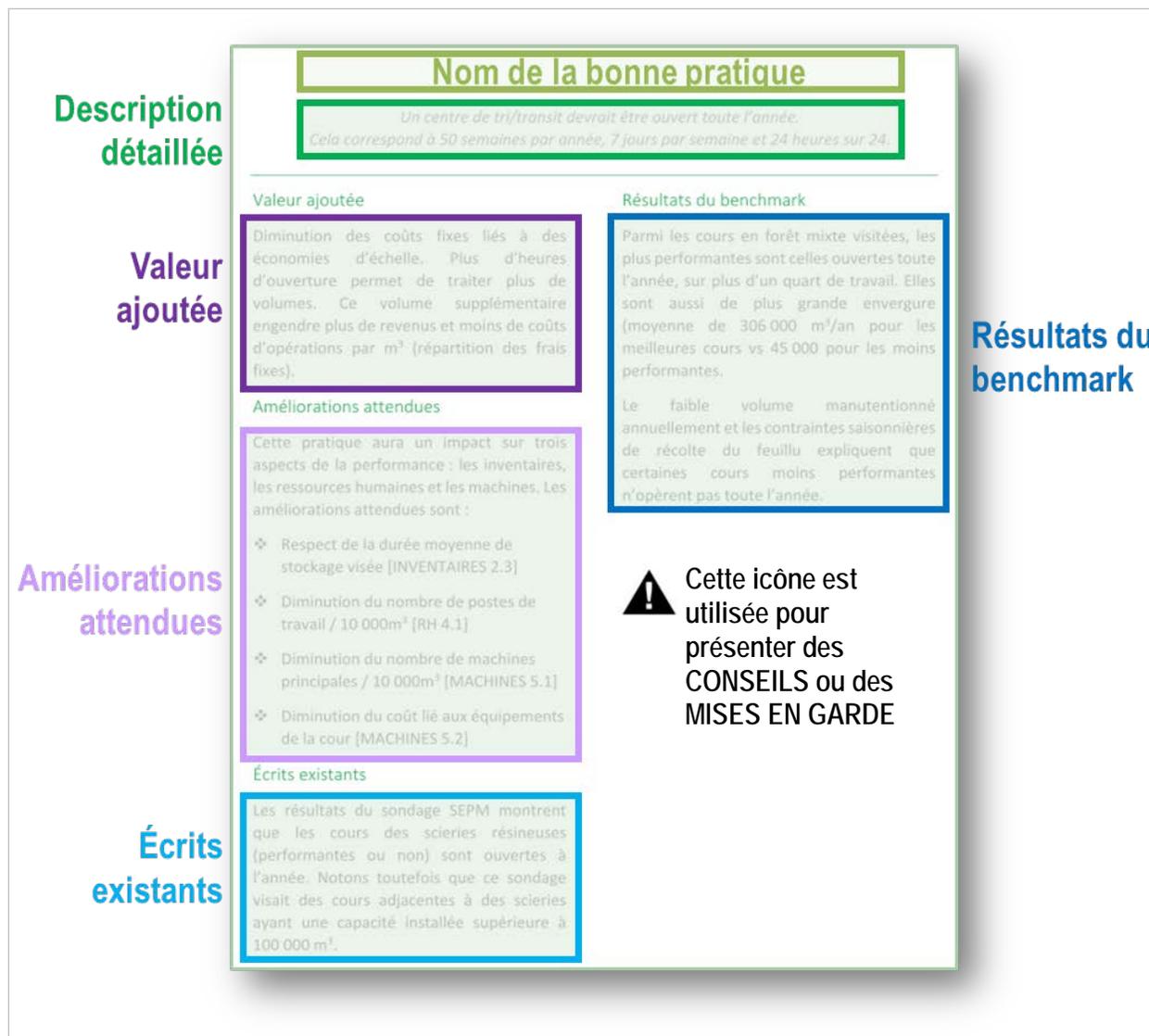


Figure 17 : Format de présentation des bonnes pratiques proposées

La Figure 18 présente le sommaire des bonnes pratiques proposées. Un document comprenant le détail des pratiques a été remis aux partenaires de l'étude. Des guides **d'implantation personnalisés** ont également été remis pour orienter les actions de chaque cour visitée compte tenu des résultats obtenus au benchmark et de ses particularités.

PRATIQUES		CATÉGORIES D'INDICATEURS DE PERFORMANCE						
		APPRO.	INVENTAIRES	CLIENTS	RH	MACHINES	SITE	OPÉRATIONS
# 1	ÉTENDRE LES OPÉRATIONS SUR LA PLUS LONGUE PÉRIODE DE TEMPS POSSIBLE		X		X	X		
# 2	PRIORISER UN APPROVISIONNEMENT EN BOIS EN LONGUEUR		X					
# 3	FAIRE UN PRÉ-TRI EN FORÊT		X	X		X		X
# 4	EXPLOITER AU MAXIMUM LA CAPACITÉ DE TRANSPORT FORÊT-COUR ET COUR-CLIENT	X	X	X				
# 5	MIEUX RÉPARTIR LES RÉCEPTIONS (FORÊT-COUR)	X				X		X
# 6	PRÉVOIR UN ESPACE DE STOCKAGE SUFFISANT		X					
# 7	LOCALISER LES PRODUITS POUR RÉDUIRE LES MANUTENTIONS.					X		X
# 8	VISER UNE COMPLEXITÉ DE STOCKAGE EN LIEN AVEC LA DEMANDE DES CLIENTS		X					
# 9	DIMINUER L'IMPACT DES TÂCHES PARTIELLES				X	X		
# 10	PRIORISER LE TRONÇONNAGE MÉCANISÉ				X		X	X
# 11	VISER UN NOMBRE DE MANUTENTIONS EN LIEN AVEC LA QUALITÉ DU PRODUIT FINI					X		X
# 12	MIEUX GÉRER LES RÉSIDUS							X
# 13	SE DOTER DE CONNAISSANCES ET D'OUTILS DE SUIVI DE LA PERFORMANCE	X	X	X	X	X	X	X
# 14	FORMATION ET RÉMUNÉRATION				X	X		X

Figure 18 : Sommaire des bonnes pratiques proposées

2.6 Réduction des GES par l'application des cibles du benchmark

Si les cours visitées adoptent les bonnes pratiques proposées dans le guide, leurs résultats devraient atteindre les cibles fixées. La réduction des émissions de GES est faite en comparant le scénario actuel des cours visitées à un autre supposant l'atteinte des cibles définies dans le benchmark pour des indicateurs relatifs aux GES. Trois indicateurs utilisés dans le benchmark ont un impact quantifiable sur les émissions de GES :

- ❖ Le **carburant lié au transport Forêt-Cour** (L/m³100km),
- ❖ Le **carburant lié au transport Cour-Client** (L/m³100km),
- ❖ L'estimé du **carburant lié aux manutentions** (L/m³).

Remarquez ici que, compte tenu des données disponibles et des particularités des cours visitées, nous avons considéré seulement un sous-échantillon des 8 cours pour le transport Forêt-Cour et Cour-Client. Ainsi les résultats présentés sont jugés conservateurs.

2.6.1 Réductions des émissions liées au transport FORÊT-COUR

Indicateur utilisé : Le Carburant (L/m³100km) lié au cycle de transport FORÊT-COUR. Quatre sources de données en sont à l'origine. Les questionnaires et visites nous ont fourni l'information sur les types de camions utilisés et les volumes entrants dans les cours. Le MFFP a fourni la distribution du bois récolté et a validé le réseau routier. FPInnovations a fourni un catalogue de camions avec les charges et les consommations de carburant par classes de routes. Un nombre de voyages par type de camions et par provenance circulant sur différentes classes de chemins a pu être déterminé pour quatre cours s'approvisionnant de la forêt. Ainsi, l'intensité de carburant consommé pour approvisionner chaque cour a pu être calculée. La quantité de carburant tient compte du cycle complet de transport. La quantité de carburant est ensuite convertie en émissions de CO₂.

Cible : La cible préliminaire a été fixée à 5% sous le meilleur résultat. Comme la densité du bois varie entre résineux et feuillu, deux cibles ont été établies : 1,95 L/m³100km pour les cours feuillues et 1,57 L/m³100km pour les cours avec proportion élevée de résineux.

Remarques : Les résultats les plus près des cibles sont ceux de cours ayant recours au transport hors norme. Les cours dont les valeurs sont supérieures à 2,10 L/m³100km correspondent à des cours sans accès hors-norme.

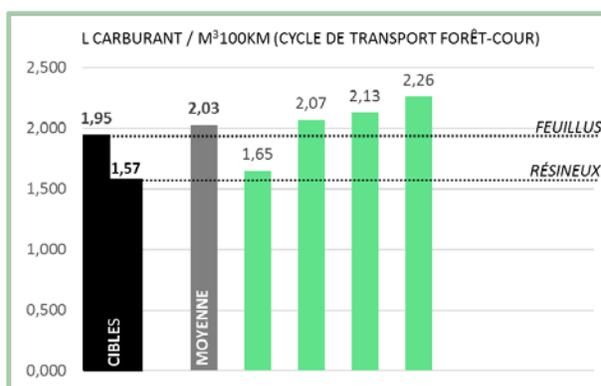


Figure 19 : Carburant lié au transport de matière 1e

En appliquant la cible aux cours évaluées, les réductions potentielles liées à l'application de bonnes pratiques liées à l'approvisionnement sont de 5,7%. Le Tableau 4 présente le détail du calcul effectué^{†††}.

Tableau 4 : Détail du calcul des réductions relatives à l'indicateur Carburant lié au transport Forêt-Cour

RANG	Volume considéré (m ³)	Cycle moyen (km)	Actuel (L/m ³ 100km)	Cible benchm. (L/m ³ 100km)	Carburant initial (L)	GES initial (T CO ₂ eq)	Réduction (L carburant)	Réduction (\$)	Réduction (T CO ₂ eq)
1	941 596	204	1,65	1,57 ou 1,95	2 235 317	6 237	111 766	139 707 \$	312
2			2,07		1 211 459	3 380	72 216	90 269 \$	201
3			2,26		109 375	305	15 048	18 810 \$	42
4			2,13		148 701	415	12 611	15 763 \$	35
					3 704 851	10 337	211 641	264 551 \$	590
									5,7%

RÉDUCTIONS VIA BENCHMARK : TRANSPORT FORÊT-COUR
Volumes considérés = 941 596 m³

Cible = Meilleure cour – 5%

Réductions GES attendues = 5,7% (590 TCO₂eq/an)

^{†††} Certaines valeurs sont masquées pour garder l'anonymat des participants

2.6.3 Réductions des émissions liées aux manutentions

Indicateur utilisé : L'estimé de carburant lié aux manutentions (L/m³). Cet indicateur a pu être appliqué aux 8 cours visitées, contrairement aux précédents. Le gain absolu en est donc plus grand. Cet indicateur présente la consommation de carburant unitaire liée aux manutentions dans la cour. Le calcul est fait à partir de pro-formats fournis par FPInnovations. Les pro-formats considèrent les types d'équipement (chargeuses, tronçonneuse, etc.) et le nombre d'heures de travail. Deux sources de données sont à l'origine de cet indicateur. Les questionnaires ont permis de connaître les types d'équipements utilisés et leur nombre. Il fournit aussi le nombre d'heures prévues au(x) poste(s) de travail associé(s) à la machine. FPInnovations fournit les consommations de carburant (L/h) moyenne pour chaque type d'équipement.

Cible : La cible a été fixée à 1,28 L/m³, soit la moyenne des cours visitées excluant le pire résultat.

Remarques : Les résultats varient de 0,04 à 3,74 L/m³. Les pires résultats sont souvent liés à une surcapacité des équipements dans la cour.

En appliquant la cible aux cours évaluées, les réductions potentielles liées à l'application de bonnes pratiques liées aux équipements sont de 16,9%. Le Tableau 6 présente le détail du calcul effectué. On remarque que les cours respectant déjà la cible fixée se sont vu attribué une nouvelle cible égale à leur performance actuelle.

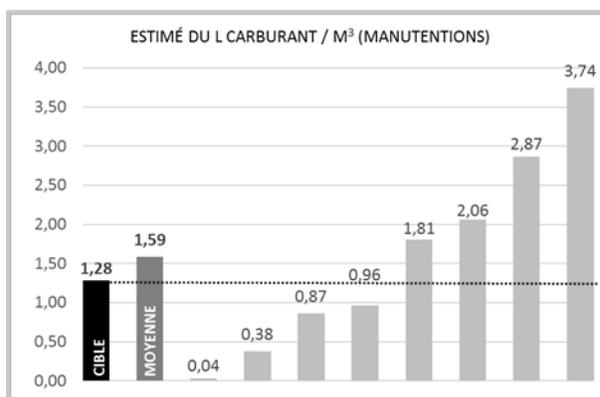


Figure 21 : Carburant lié aux manutentions

Tableau 6 : Détail du calcul des réductions relatives à l'indicateur Carburant lié aux manutentions

RANG	Volume considéré (m ³)	Actuel (L/m ³ 100km)	Cible benchm. (L/m ³)	Carburant initial (L)	GES initial (T CO ₂ eq)	Réduction (L carburant)	Réduction (\$)	Réduction (T CO ₂ eq)
1	1 401 927	1,59	1,28	112 200	313	73 800	92 250 \$	206
2			1,28	192 513	537	72 893	91 117 \$	203
3			1,28	80 010	223	44 326	55 408 \$	124
4			1,28	57 015	159	16 695	20 869 \$	47
5			0,04	1 040	3	-	- \$	-
6			0,38	221 956	619	-	- \$	-
7			0,87	174 000	485	-	- \$	-
8			0,96	392 640	1 095	-	- \$	-
				1 231 375	3 436	207 714	259 643 \$	580
								16,9%

Une bonne pratique soulevée durant cette étude est de diminuer l'impact des tâches partielles. Nous avons observé que les cours performantes manipulent un grand volume de bois et ont des ratios d'environ 1 machine/100 000m³. Cette observation est capitale, car la moitié des cours visitées gèrent moins de 50 000m³/an. La consolidation des bois des cours de faible envergure est à la base des gains élevés liés aux manutentions. Les gains globaux sont mêmes jugés conservateurs compte tenu du calcul de la cible.

RÉDUCTIONS VIA BENCHMARK : MANUTENTIONS
Volumes considérés = 1 401 927 m³

Cible = Moyenne des cours sauf le pire résultat

Réductions GES attendues = 16,9% (580 TCO₂eq/an)

La synthèse des réductions potentielles est présentée dans le Tableau 7. L'application des meilleures pratiques liées au transport et aux manutentions auraient le potentiel de **réduire les émissions de GES de 1 374 TCO₂eq /an, soit 8,7% des émissions actuelles** (qui sont de 15 845 TCO₂eq /an). Ces gains se traduiraient par des économies de 615 560 \$ de carburant / an, soit 0,28\$/m³ pour le transport Forêt-Cour, 0,20\$/m³ pour le transport Cour-Client et 0,19\$/m³ pour les manutentions.

Tableau 7 : Synthèse des réductions potentielles liées au benchmark

	Volume considéré (m ³)	Carburant initial (L)	GES actuels (T CO ₂ eq)	Réduction (L carburant)	Réduction (\$)	Réduction (T CO ₂ eq)
Transport FORÊT-COUR	941 596	3 704 851	10 337	211 641	264 551 \$	590
Manutentions COUR	1 401 927	1 231 375	3 436	207 714	259 643 \$	580
Transport COUR-CLIENT	449 145	742 744	2 072	73 093	91 366 \$	204
TOTAL ANNUEL		5 678 970	15 845	492 448	615 560 \$	1 374
						8,7%

La Figure 22 illustre les réductions calculées pour les trois indicateurs et l'importance de chacun par rapport à l'ensemble des réductions estimées.

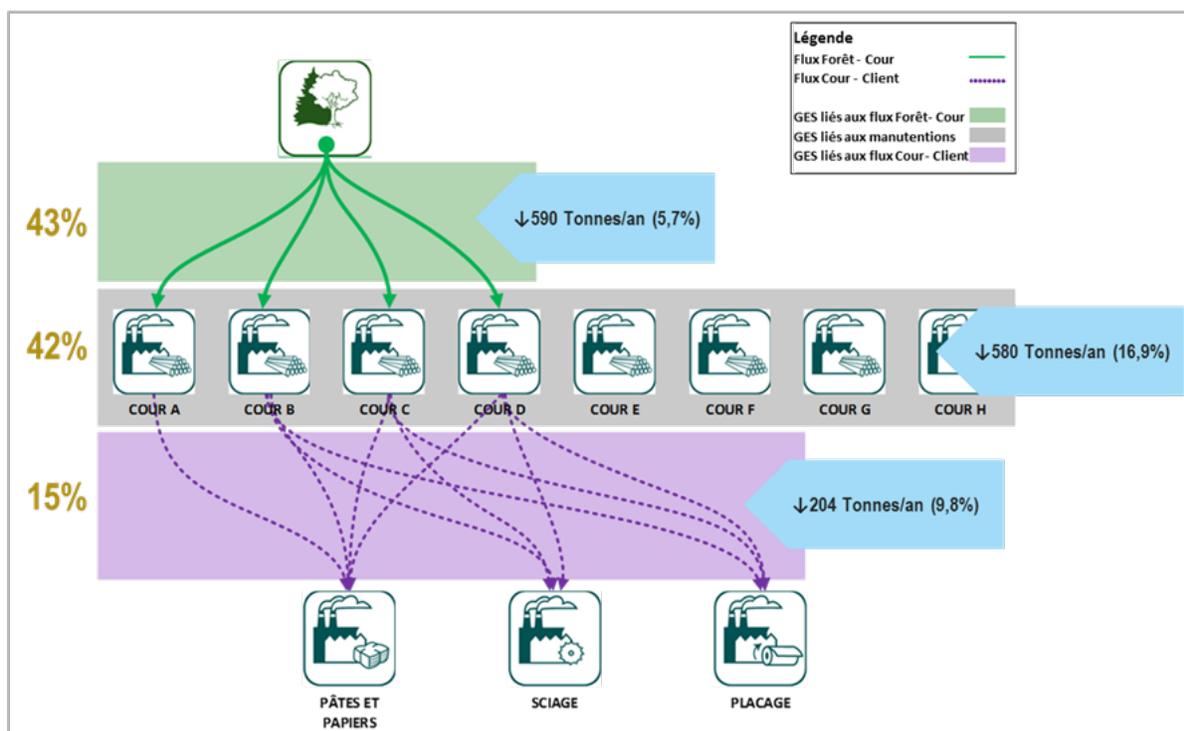


Figure 22 : Importance de chaque indicateur sur les réductions de GES de l'ensemble des cours visitées

RÉDUCTIONS VIA BENCHMARK : TOTAL

Volumes considérés = 941 596 m³ (Transport Forêt-Cour)
 449 145 m³ (Transport Cour-Client)
 1 401 927 m³ (Manutentions)

Réductions GES attendues = 8,7% (1 374 TCO₂eq/an)

3. Discussion

Les résultats obtenus révèlent que dans un contexte complexe de forêt mixte, une meilleure gestion des centres de tri et des cours de transit ainsi que l'implantation d'un tel site partagé entraîneraient des réductions d'émissions de GES significatives. Ces résultats confirment l'idée selon laquelle le concept de centre de tri et de cour de transit est un moyen de mieux utiliser les ressources disponibles tout en maximisant la valeur du réseau.

Constats

En mettant en commun les résultats de l'ensemble des étapes de la méthodologie, quatre constats ont pu être faits en lien avec la réduction des GES (Figure 23). Le texte qui suit la figure approfondit les constats effectués en les associant à des actions possibles, des enjeux à considérer et des impacts potentiels.

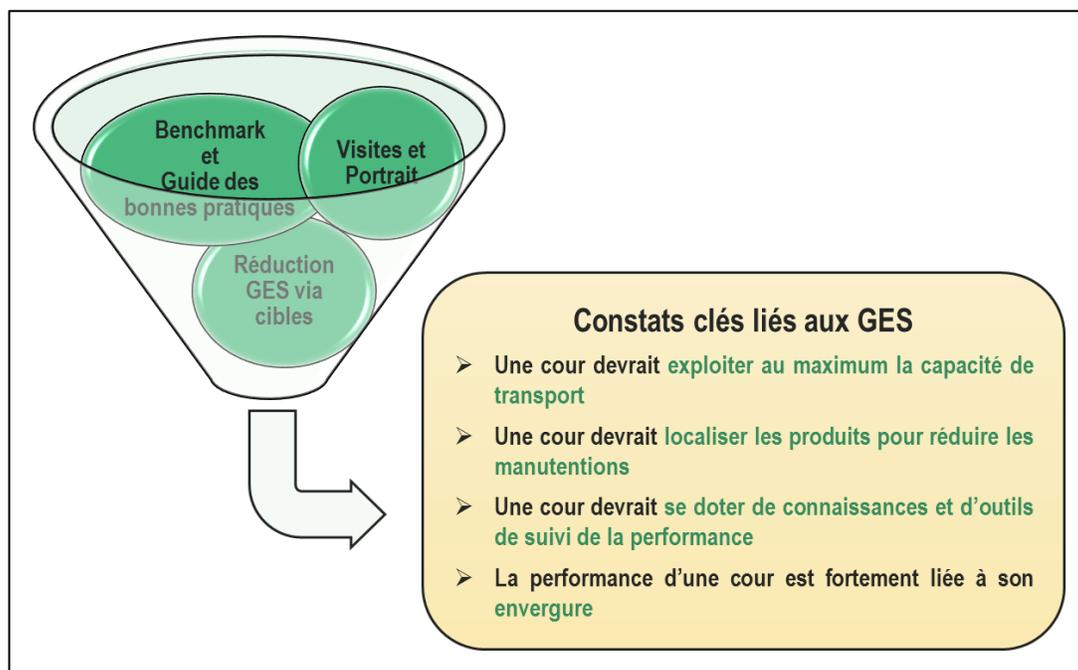


Figure 23 : Constats effectués en lien avec les réductions des GES

Une cour devrait exploiter au maximum la capacité de transport

Une réduction de l'intensité énergétique peut se faire via trois angles différents : le véhicule, sa charge et son trajet.

La maximisation du transport hors-norme Forêt-Cour vise l'augmentation de la capacité de charge. D'après les résultats obtenus, elle représente 5,7% de réduction des GES liés au transport Forêt-Cour pour 43% de l'ensemble des réductions liées au benchmark. L'accès aux chemins forestiers ainsi que la qualité du réseau routier sont des enjeux non négligeables à son application.

La réduction de la teneur en humidité et le transport de bois de faible densité en période de dégel visent l'augmentation de la quantité de bois transportée. Une diminution de 6 à 8% de l'humidité du bois peut représenter 4 000 voyages de moins pour un approvisionnement annuel d'environ 2 millions de m³, mais se heurte à des enjeux de détérioration du bois selon la qualité. En ce qui concerne la gestion de la densité du bois, le thuya occidental (faible densité) offre un potentiel de voyages pleins durant une période limitant les charges transportées sur routes publiques.

La maximisation des retours en charge offre un grand potentiel pour le transport Cour-Client. Actuellement, les cours visitées n'y ont pratiquement pas recours. La configuration du réseau routier peut être un obstacle à cette pratique, mais la disponibilité de l'information semble être l'enjeu principal à son implantation.

Une cour devrait localiser les produits pour réduire les manutentions

Aucune cour visitée n'a mentionné avoir fait une analyse approfondie de son aménagement physique. Pourtant, le potentiel de réduction des émissions de GES liées aux manutentions dans la cour représente 42% des réductions potentielles totales (Figure 22).

Une cour devrait se doter de connaissances et d'outils de suivi de la performance

Il faut se mesurer puis se comparer. Tous les indicateurs ont le potentiel d'être améliorés avec des connaissances et un suivi de la performance.

L'utilisation de systèmes d'acquisition pour les équipements roulants a été observée. Ceux-ci servent à récolter des données permettant d'évaluer l'affectation et les distances parcourues. Ces données sont une source importante d'information pour évaluer l'impact des changements d'aménagement ou de méthodes de travail sur les émissions de GES. Le principal enjeu à considérer dans ce cas est le fait que les équipements roulants sont souvent la propriété d'un sous-traitant.

La performance d'une cour est fortement liée à son envergure

Plus de 50% des cours visitées étaient de petite envergure (<50 000 m³). La consolidation des volumes des cours visitées dans un site partagé de tri et de transit permettrait une meilleure utilisation des équipements et des ressources humaines en diminuant l'impact des tâches partielles. L'accès au transport hors-norme réduirait de façon importante les émissions de GES. De plus, cette consolidation offrirait la possibilité d'investir dans des camions plus performants pour le transport Cour-Client. Dans le contexte des cours visitées, les enjeux déterminant à l'implantation d'un site partagé de tri et de transit sont : un approvisionnement en bois long, la refonte des méthodes de mesurage officiel et la gestion des résidus de tronçonnage.

Limites de l'étude

Les résultats de cette étude exploratoire doivent cependant être interprétés avec prudence. Seules huit cours ont été visitées. Les facteurs d'influence de la performance des cours à bois ne sont donc pas appuyés statistiquement. Nous sommes toutefois confiants de la méthodologie utilisée ainsi que des constats effectués, qui permettent d'apporter dès maintenant des améliorations intéressantes auprès des industriels. La bonification de l'échantillon par la visite de cours supplémentaires serait souhaitable pour confirmer statistiquement nos résultats de recherche et s'assurer de son applicabilité à toutes les cours en forêt mixtes au Québec.

Portée de l'étude

Nous avons toutes les raisons de croire que le concept de centres de tri et de cour de transit partagée pourrait s'appliquer à plusieurs régions du Québec et ainsi multiplier les réductions de GES potentielles. Comme nous pouvons le voir à la Figure 24, la Mauricie, l'Abitibi, Chaudières-Appalaches et le Centre du Québec sont des régions type de contexte mixte. Ces régions ont des proportions de forêts feuillues et mélangées vs résineuses à peu près égales (autour de 50%).

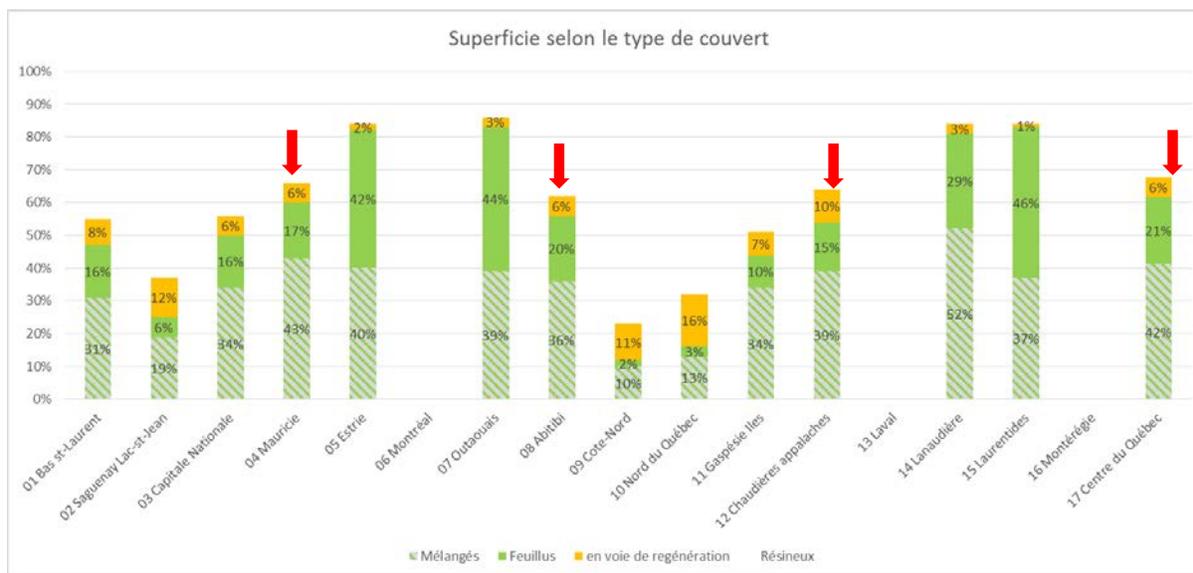


Figure 24: Statistiques forestières par région, adapté: (Conseil de l'industrie forestière du Québec (CIFQ), s.d.)

4. Conclusion

L'exploration du concept de centre de tri et de cours de transit partagée a permis d'avoir une meilleure compréhension du fonctionnement des centres de tri et cours de transit existants par la visite de huit cours. La méthodologie proposée (portrait, benchmark et guide des bonnes pratiques) est un premier pas dans la formalisation de l'évaluation de la performance globale des cours à bois en contexte de forêt mixte. Les résultats de notre étude exploratoire montrent que le concept de centre de tri et de transit en forêt mixte exploitant les **14 bonnes pratiques** identifiées dans notre guide^{§§§} est un moyen efficace pour réduire les émissions de GES.

Plus spécifiquement, nous avons observé que le transport **Forêt-Cour** est l'élément offrant le plus de potentiel au niveau des réductions des émissions de GES (il représente 43% des gains en GES liés au benchmark pour notre échantillon). Les réductions des GES liées au transport **Cour-Client** sont moins significatives car des cours transforment le bois rond sur place. Les **manutentions dans la cour** permettent des gains importants au niveau des GES. Notre étude nous a permis de constater que ces gains seraient attribuables au nombre d'équipements élevés par rapport au volume manutentionné plutôt qu'à la consommation de carburant des équipements. Ce constat est appuyé par le fait que plusieurs cours sont de faible envergure et subissent une saisonnalité importante, accentuant ainsi l'impact des tâches partielles et la surcapacité.

Quelques avenues de recherche se dessinent à la suite des résultats de notre étude. Du côté exploratoire, l'évaluation du potentiel de réduction de l'humidité du bois et des pertes de fibres dans les cours de transit en est un exemple. Du côté démonstration, l'implantation d'un centre partagé de tri et de transit serait l'occasion d'appliquer les bonnes pratiques observées et de réduire les GES, mais les enjeux liés au mesurage officiel et à la gestion des résidus devront être pris en compte.

En terminant, nous tenons à remercier tous les industriels qui ont collaboré à la collecte de données et qui nous ont reçus lors des visites de sites, sans votre implication ce projet n'aurait pas été possible.

^{§§§} (Gravel, Brotherton, LeBel, & Trzcianowska, 2017)

Bibliographie

- Blinn, C. R. (1984). *Current and emerging trends in processing timber*. University of Minnesota.
- Brotherton, E., Gravel, M.-L., LeBel, L., & Trzcianowska, M. (2016). *Benchmark des cours à bois projet GIM*. Québec: Forac, FPInnovations.
- Conseil de l'industrie forestière du Québec (CIFQ). (n.d.). *Portraits forestiers régionaux*. Retrieved from http://www.cifq.com/fr/industrie/portraits-forestiers-regionaux?fancybox=region_4
- Dramm, J. R., Jackson, G. L., & Wong, J. (2002). *Review of log sort yards*. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Environnement Canada. (2011). *National Inventory Report 1990-2009: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada, Part 2*. Library and Archives Canada. Retrieved from <http://www.ec.gc.ca/ges-ghg/>
- FPInnovations. (2012). *FPInterface Manuel de l'utilisateur*. Retrieved from [FPInterface - guide-fr.pdf](#)
- GIEC. (2006). *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre* (Vols. 2, chap.3). Japon: IGES. Retrieved 08 01, 2016, from <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/vol2.html>
- Gravel, M.-L., Brotherton, E., LeBel, L., & Trzcianowska, M. (2017). *Guide des bonnes pratiques : Centres de tri/cours de transit en forêt mixte*. Québec: FORAC, FPInnovations.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>
- Ministère des forêts, de la faune et des parcs. (2005). *Possibilité forestière et récolte sur les terres du domaine de l'état (1989-2004)*. Retrieved from https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/enligne/forets/criteres-indicateurs/5/531/public/531_public.asp
- Ministère des forêts, de la faune et des parcs. (2013). *Unités d'aménagement (UA) - Période 2013-2018, Région d'application des GA de la Mauricie*. Retrieved from <http://mffp.gouv.qc.ca/forets/amenagement/documents/delimitation-region-04.pdf>
- Ministère des forêts, de la faune et des parcs. (n.d.). *La garantie d'approvisionnement (GA)*. Retrieved 08 01, 2016, from Forêts, faune et parcs Québec: <https://mffp.gouv.qc.ca/forets/amenagement/amenagement-planification-droits-GA.jsp>
- Ministère des forêts, de la faune et des parcs. (n.d.). *La possibilité forestière*. Retrieved 09 12, 2016, from <http://www.mffp.gouv.qc.ca/forets/amenagement-planification-possibilites.jsp>
- Sarrazin, F. (2017). *Vers une conception fonctionnelle d'un centre logistique commun à plusieurs entreprises forestières (document en cours)*.
- Transition Énergétique Québec (TEQ). (2014, avril 07). *Facteurs d'émission et de conversion*. Retrieved from http://www.transitionenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/Facteurs_emissions.pdf
- Trzcianowska, M. (2017). *Développement d'une méthodologie systématique de conception de cours à bois (document en cours)*.