

PROGRAMME D'AMENAGEMENT DURABLE DES FORETS OUTAOUAIS

Rapport final

DOCUMENTATION DE L'ENJEU « IMPACT DE LA MACHINERIE FORESTIERE DE RECOLTE SUR LA REGENERATION ET LES SOLS DANS LES TRAITEMENTS DE COUPES PARTIELLES DE L'OUTAOUAIS

Présenté à :

MRC de Pontiac

Charles Blais, Coordonnateur TRGIRTO
Raymond Barrette, Coordonnateur TRGIRTO
Bernard Roy, Directeur Général de la MRC

Par :



Centre d'enseignement et de recherche
en foresterie de Sainte-Foy inc.

Guy Lessard, ing.f M.SC
Gilles Joanisse, biol. Ph.D
François Morin, ing.f, Ph.D
Claudie-Maude Canuel, ing.f, M.Sc,
Jean Marchal, Ph.D

16 mai 2022

Mots-clés : coupes partielles, petites tiges marchandes, sondage, revue de littérature,

Référence à citer :

Lessard, G., Joanisse, G., Morin, F, Canel, C.-M. et J. Marchal. 2021. DOCUMENTATION DE L'ENJEU « IMPACT DE LA MACHINERIE FORESTIERE DE RECOLTE SUR LA REGENERATION ET LES SOLS » DANS LES TRAITEMENTS DE COUPES PARTIELLES DE L'OUTAOUAIS. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2022-24. 137 pages + 2annexes.

BÉNÉFICIAIRE DU PROJET

- **MRC de Pontiac**

Charles Blais, ing.f., MBA, Coordonnateur *Table régionale de gestion intégrée des ressources et du territoire de l'Outaouais*

Raymond Barette, ing.f., Coordonnateur *Table régionale de gestion intégrée des ressources et du territoire de l'Outaouais*

PARTENAIRES DU PROJET

- **Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO)**

Guy Lessard, ing.f., M. Sc,

Gilles Joannisse, biol., Ph.D.

François Morin, ing.f, Ph.D

Claudie-Maude Canuel, ing.f, M.Sc, candidate Ph.D.

Jean Marchal, Ph.D

- **Comité de travail sur l'impact de la machinerie, Table régionale de gestion intégrée des ressources et du territoire de l'Outaouais**

TABLE DES MATIÈRES

PROGRAMME D'aménagement durable des forêts Outaouais	1
BÉNÉFICIAIRE DU PROJET	i
PARTENAIRES DU PROJET	i
Table des matières	ii
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Remerciements	x
RÉsumÉ.....	1
Introduction	3
Objectifs	5
1. Méthode.....	6
1.1. Coupes partielles, grands types de cas et procédés de récolte	6
1.2. Étape 1. Rencontres prévues.....	6
1.3. Étape 2. Documentation des strates forestières représentatives	6
1.4. Étape 3. Revue de littérature.....	7
1.5. Étape 4. Corrélations entre les performances observées et la problématique	7
1.6. Étape 5. Veille technologique des solutions	7
1.7. Étape 6. Discussion et applicabilité des solutions	8
2. Revue de littérature	9
2.1. Protection des tiges résiduelles.....	9
2.1.1. Sélection du système de récolte	10
2.1.2. Sélection des équipements pour un système donné	13
2.1.3. Design des sentiers de débardage et schéma d'abattage (<i>felling pattern</i>).....	15
2.1.4. Saison	19
2.2. Sols	19
2.2.1. Principaux impacts de la machinerie sur les sols	19
2.2.1.1. Compaction du sol	20
2.2.1.2. Orniérage.....	21
2.2.1.3. Bris racinaire	21
2.2.2. Extraits du Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'état	22
2.3. Faune	24
2.3.1. Sapinière à BOJ.....	24

2.3.1.1.	Martre d'Amérique	24
2.3.1.2.	Grand pic.....	24
2.3.1.3.	Grand polatouche	24
2.3.2.	Érablière	24
2.3.2.1.	Pékan.....	24
2.3.2.2.	Grand pic.....	25
2.3.2.3.	Grand polatouche	25
2.3.2.4.	Paruline couronnée.....	25
2.3.3.	Faune du sol	26
2.4.	Proposition d'une matrice d'applicabilité des systèmes de récolte	28
2.5.	Références de la section	29
3.	Documentation des strates et analyses de chantier.....	32
3.1.	Portrait des différentes strates forestières traitées en coupes partielles.....	32
3.1.1.	Portrait général des UA	32
3.1.2.	Portrait des interventions réalisées depuis 2014	37
3.2.	Méthodes et mesures mises en place pour la protection des sols et de la régénération...43	
3.2.1.	RADF	43
3.2.2.	Méthode de contrôle et de suivis.....	43
3.2.2.1.	Suivi et contrôle inscrit dans les prescriptions sylvicoles.....	43
3.2.2.2.	Procédure des industriels et obligations.....	44
3.3.	Analyse des Secteurs d'intervention 2017-2021	46
3.3.1.	Impact de la machinerie sur les petites tiges marchandes : hypothèses de travail pour l'analyse des secteurs d'intervention	46
3.3.2.	Méthode d'analyse	46
3.3.3.	Secteurs d'interventions retenus.....	48
3.3.3.1.	49	
3.3.3.2.	Description des modalités de récolte à l'étude	50
3.3.4.	Critères de suivi.....	51
3.3.5.	Portrait des petites tiges marchandes	54
3.3.6.	Évaluation de la protection des petites tiges en fonction des types de forêts.....	73
3.3.7.	Blessures.....	81
3.3.8.	Analyse de contraintes terrain : Pentas	84
3.3.9.	Impact des sentiers sur les petites tiges marchandes.....	85
3.3.9.1.	Localisation des PTM détruites selon les données d'inventaires de bois sur pied	85

3.3.9.2.	Mesures de sentiers avec des virées terrain	88
3.3.9.3.	Évaluation de l'occupation des sentiers avec les pistes d'abatteuses	88
3.4.	Analyse simulation MERIS et Artemis	92
3.4.1.	Méthode.....	92
3.4.1.1.	Type de récolte.....	92
3.4.1.2.	Évolution de peuplement	92
3.4.2.	Érablière FE22 avec HEG en sous-couvert.....	93
3.4.3.	Érablière à CHR avec HEG en sous-couvert (16605).....	98
3.4.4.	Pinède avec en sous-couvert SAB et ERR (16098)	103
3.4.5.	Érablière à BOJ avec HEG en sous-couvert (14975).....	108
4.	Veille technologique	113
4.1.	Méthode	113
4.2.	Résultats.....	114
4.2.1.	Pratiques sylvicoles utilisées concernant les petites tiges marchandes.....	114
4.2.1.1.	Sélection des petites tiges marchandes	114
4.2.1.2.	Méthode de récolte des petites tiges marchandes	115
Résultats du sondage	115	
Expérience outaouaise récente.....	117	
4.2.1.3.	Suivi après la coupe	118
4.2.2.	Pratiques sylvicoles utilisées concernant les gaules.....	119
4.2.2.1.	Sélection de tiges au stade gaulis.....	119
4.2.2.2.	Outils utilisés pour le traitement des gaules	120
4.2.3.	Autres solutions.....	121
5.	Discussion	123
5.1.	Synthèse des impacts de la machinerie sur les petites tiges marchandes	123
5.1.1.	Les modes opératoires	123
5.1.2.	Les types de peuplements et les caractéristiques dendrométriques.....	125
5.1.3.	Les prescriptions sylvicoles et les traitements	126
5.1.4.	Les contraintes physiques.....	127
5.2.	Synthèse des impacts de la machinerie sur les sols	127
5.3.	Quelques autres impacts de la machinerie.....	128
5.3.1.	Sur la faune.....	128
5.3.2.	Sur la succession	129
5.4.	Synthèse des mesures d'atténuation	130

6. Recommandations	132
Conclusion.....	134
RÉFÉRENCES.....	136
ANNEXE 1. Questionnaire.....	138
Annexe 1 – Questionnaire	138
ANNEXE 2. Relations entre les PTM et les Types forestiers.....	140

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Comparaison des coûts d'utilisation (axe vertical) et du seuil de rentabilité (lignes horizontales pleines) pour une petite abatteuse multifonctionnelle (Small CTL) et une plus grosse (Large CTL). Tiré de Ledoux et Huylar (2001).....	14
Figure 2. Relation entre la distance des sentiers de débardage et la probabilité de dommage aux tiges résiduelles. On observe que la probabilité de dommage diminue en s'éloignant du sentier de débardage. Tiré de Fajvan et coll. (2002).....	16
Figure 3. Relation entre la taille des tiges au DHP et la probabilité de dommage aux tiges résiduelles. On observe que la probabilité de dommage diminue en s'éloignant du sentier de débardage. Tiré de Fajvan et coll. (2002).....	17
Figure 4. Dommages infligés aux tiges résiduelles (courbe pointillée) et non marchandes (courbe continue) selon la densité de sentier de débardage. Tiré de Kosir (2008).....	18
Figure 5. Densité moyenne de petites tiges marchandes par industriels et traitements de récolte.....	55
Figure 6. Densité moyenne de petites tiges marchandes totales et désirées vigoureuses par industriels et traitement de récolte initial et après la récolte.....	59
Figure 7. Proportions moyennes de petites tiges marchandes renversées et coupées non prévues par industriels et traitement de récolte.	59
Figure 8. Relations entre le pourcentage de petites tiges détruites et a) la surface terrière totale récoltée par industriel et modalités, b) au global par surface terrière récoltée et c) la proportion de surface terrière récoltée.	63
Figure 9. Relations entre le pourcentage de petites tiges détruites et a) le nombre de tiges à l'hectare récoltées totales , b) le nombre de tiges récoltées par traitement et c) la proportion des tiges récoltées	64
Figure 10. Relations entre le nombre de tiges détruites (a) et b) pourcentage de petites tiges détruites et la surface terrière des 24 cm et plus récoltée par industriel et modalités, C) nombre de tiges détruites et la surface terrière totale récoltée.	65
Figure 11. Relation entre le % de PTM d'essences désirées détruites (a) pourcentage de tiges récoltées et b) le nombre de tiges récoltées.	66
Figure 12. Relations entre le nombre de tiges détruites (a) et b) pourcentage de petites tiges détruites en fonction du nombre de petites tiges prévues à la récolte.	67
Figure 13. Relation entre le nombre de tiges détruites a-b)totales et c-d)essences désirées en fonction de la proportion réelle de tiges 10-22cm coupées sur ce qui était prévue de couper.....	68
Figure 14. Relation entre le nombre de tiges d'essences désirées détruites (a) et b) la surface terrière récoltée et c) le nombre de tiges 10-22 cm prévues à la récolte.	69
Figure 15. Relation entre a) le % de tiges désirées détruites et b) le nombres de tiges désirées résiduelles en fonction du nombre de tiges désirées initiales.	70
Figure 16. Relation entre les tiges désirées vigoureuses résiduelles et initiales pour a) la surface terrière et b) le nombre de tiges par hectare.	71
Figure 17. Moyennes des petites tiges totales initiales et récoltes prévues par traitement et types de forêt pour la CPIrl-3i	76
Figure 18. Moyennes des petites tiges totales initiales et récoltes prévues par traitement et types de forêt pour la CPIrl-2i	77

Figure 19. Moyennes des petites tiges totales initiales et récolte prévues par traitement et types de forêt pour la CPI_CP	78
Figure 20. Moyennes des petites tiges détruites totales et d'essences désirées par industriel et traitement et types de forêt. Seuls les cas avec un minimum de 5 répétitions sont présentés ici.....	79
Figure 21. Moyenne des petites tiges résiduelles totales et d'essences désirées par traitement et types de forêt. Seuls les cas avec un minimum de 5 répétitions sont présentés ici.....	80
Figure 22. Relations entre le nombre de tiges blessées et la modalité de récolte et le nombre de tiges récoltées ou à récolter.....	82
Figure 23. Relations entre le pourcentage de tiges d'essences désirées blessées de 10-22 cm de DHP, la modalité de récolte et le nombre de tiges récoltées et la surface terrière récoltée.....	83
Figure 24. Proportions de tiges de 10-22 cm coupées et renversées non prévues en fonction des classes de pentes.....	84
Figure 25. Étapes d'estimation d'occupation des sentiers à partir des données de suivis de pistes des abatteuses.....	90
Figure 26. Proportion initiale de surface terrière par essence pour l'érablière à HEG	93
Figure 27. Évolution de la proportion de surface terrière par essence par scénario pour l'érablière à HEG	95
Figure 28. Évolution de la surface terrière totale, du HEG et des feuillus désirés selon le scénario et la classe de DHP pour l'érablière à HEG.	96
Figure 29. Valeur totale du bois sur pied pour l'érablière à HEG dans le temps.....	97
Figure 30. Proportion initiale de surface terrière par essence	98
Figure 31. Évolution de la proportion de surface terrière par essence par scénario pour l'érablière à chêne.....	100
Figure 32. Évolution de la surface terrière totale, du HEG et des feuillus désirés selon le scénario et la classe de DHP pour l'érablière à chêne	101
Figure 33. Valeur totale du bois sur pied pour l'érablière à CHE dans le temps	102
Figure 34. Proportion initiale de surface terrière par essence	103
Figure 35. Évolution de la proportion de surface terrière par essence par scénario pour la pinède.....	105
Figure 36. Évolution de la surface terrière totale, du PIB et ERO et SAB selon le scénario et la classe de DHP pour la pinède	106
Figure 37. Valeur totale du bois sur pied pour la pinède dans le temps.....	107
Figure 38. Proportion initiale de surface terrière par essence dans l'érablière à boj	108
Figure 39. Évolution de la proportion de surface terrière par essence par scénario pour l'érablière à BOJ	110
Figure 40. Évolution de la surface terrière totale, du HEG et des feuillus désirés selon le scénario et la classe de DHP pour l'érablière à boj	111
Figure 41. Valeur totale du bois sur pied pour l'érablière à boj dans le temps.....	112
Figure 42. Nombre de répondants par type d'organisation et localisation.....	113
Figure 43. Répartition des réponses concernant la récolte des petites tiges marchandes simultanément à l'opération principale de récolte et les équipements utilisés.....	115

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Facteurs de qualité de la planification opérationnelle influençant la protection des tiges résiduelles (Murphy et Adams, 2005).	10
Tableau 2. Synthèse des informations concernant les besoins des espèces sensibles à l'aménagement forestier retenu et les besoins pour les petites tiges marchandes.	26
Tableau 3. Matrice d'applicabilité des systèmes de récolte. Adapté de Ledoux (2011).	28
Tableau 4. Superficies par grands types de forêts par UA.	33
Tableau 5. Superficies par types de forêts pour les feuillus tolérants par UA.	34
Tableau 6. Superficies par types de forêts pour les feuillus tolérants à résineux par UA.	35
Tableau 7. Superficies par types de forêts pour les pinèdes blanches par UA.	36
Tableau 8. Superficie par types de coupes partielles de 2014-2019 par UA	37
Tableau 9. Superficie par grands types pour les CJPG de 2014-2019 par UA	38
Tableau 10. Superficies par grands types de forêts traitées en CPI_CP de 2014 à 2019.	39
Tableau 11. Superficies par principaux types de forêts traitées en CPI_CP de 2014 à 2019.	40
Tableau 12. Superficies par grands types de forêts traitées en CPI_RL de 2014 à 2019.	41
Tableau 13. Superficies par types de forêts traitées en CPI_RL de 2014 à 2019.	42
Tableau 14. Nombre de chantiers et secteurs d'interventions utilisés dans les analyses.	48
Tableau 15. Liste des secteurs d'interventions retenus pour analyse	49
Tableau 16. Type de modalité de récolte par traitement.	50
Tableau 17. Fréquence des secteurs d'intervention selon la classe de pourcentage de petites tiges détruites.	52
Tableau 18. Fréquence des secteurs d'intervention selon la classe de pourcentage de petites tiges détruites et modalités de récoltes des petites tiges.	53
Tableau 19. Résultats d'analyses de comparaison entre les modalités de récolte de petites tiges marchandes pour la CPIcp de l'industriel 1.	56
Tableau 20. Résultats d'analyses de comparaison entre les modalités de récolte de petites tiges marchandes pour la CPIcp de l'industriel 2.	57
Tableau 21. Résultats d'analyses de comparaison entre les modalités de récolte de petites tiges marchandes pour la CPIrl_3i de l'industriel 2.	58
Tableau 22. Résultats d'analyses des proportions de petites tiges détruites selon la modalité de récolte	60
Tableau 23. Résultats d'analyses des proportions de petites tiges détruites entre les industriels selon la modalité de récolte	60
Tableau 24. Proportion des secteurs avec des tiges d'essences désirées vigoureuses initialement et après intervention	72
Tableau 25. Proportion des placettes d'inventaires par traitements, grands types de forêts et UA	74
Tableau 26. Proportion des placettes d'inventaires par traitements, types de forêts et UA ...	75
Tableau 27. Proportion de placettes d'inventaire avec présence de tiges 10-22 cm récoltées dans le sentier.	86
Tableau 28. Portrait des tiges coupées renversées dans les sentiers et non prévues à la coupe.	87
Tableau 29. Mesure de largeur de sentier et d'interbandes avec des virées de suivies	88

Tableau 30. Proportions de sentiers calculées à partir des pistes d'abatteuses pour quelques secteurs d'intervention.....	91
Tableau 31. Description dendrométrique pour l'érablière à HEG	94
Tableau 32. Synthèse de l'analyse financière pour l'érablière à HEG	97
Tableau 33. Description dendrométrique pour l'érablière à chêne	99
Tableau 34. Synthèse de l'analyse financière pour l'érablière à CHE	102
Tableau 35. Description dendrométrique	104
Tableau 36. Synthèse de l'analyse financière pour la pinède	107
Tableau 37. Description dendrométrique pour l'érablière à BOJ	109
Tableau 38. Synthèse de l'analyse financière pour l'érablière à boj	112
Tableau 39. Distribution des répondants par localisation	114
Tableau 40. Outil utilisé pour le traitement des gaules par les répondants	120
Tableau 41. Résumé des approches utilisées afin de limiter les blessures aux petites tiges marchandes et aux gaules en coupe partielle	122
Tableau 42. Résumé des approches utilisées afin de limiter les blessures aux petites tiges marchandes et aux gaules en coupe partielle	131

REMERCIEMENTS

Le CERFO désire d'abord remercier les membres de la TGIRTO pour leur confiance pour la réalisation de ce projet et pour l'octroi du PADF. Nos remerciements s'adressent aussi à M. Raymond Barrette pour nous avoir guidés avec doigté et pertinence, tout au long de la réalisation du travail, et au nouveau coordonnateur, M. Charles Blais, qui a pris le relais.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres industriels du projet qui nous ont sensibilisés à la problématique, nous ont fourni toutes les données nécessaires et nous ont émis des commentaires soit :

CCPL, Christian Picard

Lauzon : Charles St-Julien

Forespect Inc., Robbin Legget

Produits Forestiers Résolu, Dominik Chartier, ing.f., MBA

Nous remercions le personnel du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec (MFFP région 07 et UG) pour leur support et leurs précieux commentaires au long du projet, notamment :

Vanessa Joannis, M.Sc, Gestion intégrée et consultation publique

Sébastien Meunier, ing.f. M.Sc., Direction de la gestion des forêts de l'Outaouais

Line Laferrière, ing.f., coordonnatrice aux opérations forestières, Direction générale du secteur Sud-Ouest

Solajo Couturier, ing.f. Direction de la gestion des forêts, direction générale secteur sud-ouest

RÉSUMÉ

En forêt publique québécoise, le contrôle et la diminution de l'empreinte écologique liés à la circulation de l'imposante machinerie forestière préoccupent de plus en plus les aménagistes et les intervenants du territoire. Dans les diverses coupes partielles, des efforts sont faits pour limiter l'empiètement de la machinerie sur le parterre. Plusieurs facteurs auraient un impact sur la régénération et les sols. La TGIRTO a ajouté cet enjeu à sa liste et désire le documenter.

Le but du projet est de chercher des pistes de solutions pour diminuer l'impact de la machinerie disponible en Outaouais de sorte que les diverses dimensions de l'aménagement durable des forêts soient améliorées. Ce projet comprend les objectifs suivants 1) Documenter ce que la littérature décrit et analyse sur le sujet ; 2) Contextualiser et donner la portée des résultats par des portraits généraux de la situation des coupes partielles et des types de peuplements affectés ; 3) Analyser les performances industrielles dans divers chantiers afin de documenter les éléments sensibles des impacts, tels le renversement de tiges ou le pourcentage de sentiers) ; 4) effectuer une veille technologique auprès d'autres juridictions hors Québec et auprès des chercheurs de différents organismes du Québec ; 5) Identifier et analyser les solutions potentielles aux différentes thématiques traitées ; et 6) Recommander des solutions potentielles à l'enjeu.

L'approche de triangulation de l'information a bien fonctionné et quelques faits saillants des impacts peuvent être dégagés de l'analyse:

- Sur les petites tiges marchandes (10-22 cm (PTM)), qui ont été analysées comme haute régénération, l'enjeu est présent, car, parmi les secteurs d'intervention analysés, 23 % ont plus de 25% de PTM détruites et 40% ont plus de 20% de PTM détruites. Plusieurs liens sont faits avec le procédé de récolte par arbre entier utilisé, avec les modalités (Industriel 1 moyennes de 13 à 20 % et Industriels 2, moyennes de 22 à 24 %), le peuplement initial relié à la composition, la prescription sylvicole (% de tiges désirées renversées plus élevées avec modalités de récolte de PTM non désirées et avec une augmentation de prélèvement total) et même la manière de faire le suivi des travaux, tel que d'inclure ou non la proportion de sentiers dans le calcul.
- Sur les sols, l'enjeu est peu présent. Un système est en place pour vérifier et contrôler les respects des règlements, des mesures sont en place pour atténuer. Il faut tout de même continuer à surveiller les bas de pente et les dépressions en périodes de fortes pluies. Quant à l'érosion, elle est peu présente dans les parterres, mais plutôt liée aux chemins. La compaction est probablement présente dans les sentiers.
- Sur la faune, l'enjeu est limité, notamment grâce au maintien d'un couvert partiel et au fait, qu'étant une forêt de seconde venue, la strate de gaule est abondante. Il peut y avoir un effet de diminution de protection liée à la diminution de l'obstruction latérale, sur une courte durée. Les espèces sensibles au dérangement évitent ce type de couvert.
- Sur la succession et l'évolution des peuplements, l'enjeu est important selon ce qui est mis en valeur ou désiré sous couvert. Actuellement, les efforts sont principalement consentis à limiter la présence du hêtre, très affectée par la maladie, et les simulations en démontrent l'intérêt. Une optimisation de la sélection d'espèces pour la résistance aux changements climatiques et pour bonifier la production de bois pourrait être consentie.

Plusieurs recommandations sont proposées concernant notamment :

- L'adaptation de machines et des procédés, la formation et l'accompagnement des opérateurs, notamment à la manière d'utiliser le procédé par arbres entiers (placements des tiges, exploration

de l'étêtage partiel ou entier, utilisation de sentiers espacés et linéaires, la gestion des branches, l'abandon des petites tiges sur le parterre, etc.).

- La bonification des prescriptions sylvicoles en proposant la réalisation de la récolte en deux opérations distinctes avec des objectifs différents. Il y a aussi l'exigence de devoir récolter de petites tiges marchandes qui augmenterait les sorties de l'abatteuse-groupeuse du sentier principal et les déplacements de son bras, entraînant directement une augmentation des bris dans le peuplement résiduel (arbres et régénération) et des risques de dommage au sol.
- L'amélioration des suivis notamment, en lien plus étroit avec les objectifs de production et de protection, la vérification de l'adéquation avec le % des sentiers.
- Pour les sols, la bonification possible de certains suivis en période de pluie, sur les bas de pente.
- Pour la faune, poursuite des évaluations à l'échelle du paysage pour les espèces sensibles aux dérangements.

Enfin, tout le volet main-d'œuvre mérite qu'on s'y attarde dans la prévention et l'atténuation des impacts. La formation et la sensibilisation des opérateurs de récolte et de débardage à la protection des petites tiges et de la régénération sont ressorties de la littérature comme des éléments importants pour diminuer les taux de blessures/bris. Qui plus est, la mobilisation de la main-d'œuvre (social) demeure des axes essentiels à cultiver et qui nous permettront de mettre en place les recommandations proposées. Pour terminer, on ne saurait insister trop sur la mise en œuvre d'un projet pilote ou deux types d'approches pour récolter, dont l'une spécifiquement pour les PTM, pour diminuer les bris et surtout faire une meilleure sélection pour la production de bois et l'augmentation de la résistance face aux changements globaux.

L'ensemble du dossier devrait faire l'objet d'une démarche holistique d'amélioration continue avec une approche de prescription sylvicole combinant deux méthodes de récolte, l'une pour les petites tiges marchandes et l'autre, pour les autres tiges marchandes.

INTRODUCTION

En forêt publique québécoise, le contrôle et la diminution de l’empreinte écologique liés à la circulation de l’imposante machinerie forestière préoccupent de plus en plus les aménagistes et les intervenants du territoire. Dans les diverses coupes partielles, des efforts sont faits pour limiter l’empiètement de la machinerie sur le parterre. Plusieurs facteurs auraient un impact sur la régénération et les sols. Si au départ, le débusquage par arbre entier, le déplacement de la machinerie dans les sentiers et les méthodes de travail ont un impact évident, il y a aussi l’exigence de devoir récolter de petites tiges marchandes qui augmenterait les sorties de l’abatteuse-groupeuse du sentier principal et les déplacements de son bras, entraînant directement une augmentation des bris dans le peuplement résiduel (arbres et régénération) et des risques de dommage au sol. Mais la TGIRTO a ajouté cet enjeu à sa liste et désire le documenter.

Considérant que

- la pénurie de main-d’œuvre manuelle pour la coupe (bûcheron) a entraîné une forte mécanisation de la récolte;
- La forêt feuillue Outaouaise est une forêt de seconde venue. Elle est structurée différemment comparativement aux interventions précédentes : il y a une plus grande abondance des tiges de 10-22 cm au DHP, petites tiges marchandes aussi appelées les « sprinters » puisqu’elles sont en pleine croissance ;
- Le parc de machinerie dans l’Outaouais est limité : on retrouve une domination autour de 90% des procédés de récolte combinant une abatteuse-groupeuse et un débusqueur à grappin. Particulièrement puissante, l’abatteuse-groupeuse récolte assez facilement les tiges de 24 à 100 cm. Jusqu’à environ 50 cm, elle peut même soulever verticalement l’arbre récolté et le déplacer.

Une série de sous-thèmes de cette problématique ont été identifiés avec leurs questions respectives, dans le cadre d’une expertise exécutée pour la TGIRTO :

- En opérations forestières. Il est difficile d’imaginer un engin performant pour manipuler aussi efficacement à la fois les arbres de plus de 50 cm de diamètre et ceux de 10 cm. Même dans les situations où il est nécessaire de récolter ou de sélectionner des petites tiges, plusieurs difficultés demeurent ou des solutions opérationnelles sont recherchées. Quels sont les impacts sur la faisabilité du travail à effectuer ? Les peuplements sont souvent hétérogènes en densité, en composition ou en structure, ce que l’on peut déceler dans les placettes-échantillons. Est-ce possible de mettre en relation les blessures, les renversements et les oublis

de tiges avec la capacité réelle des abatteuses-groupeuses ? Quels sont les impacts des modalités utilisées, dont la largeur et l'espace des sentiers ?

- En sylviculture. Quels sont les effets sur le peuplement résiduel (blessure, croissance) ? Pourquoi et quand faut-il couper les tiges de 10-22 cm ? Quelles seraient les manières idéales de procéder pour le choix des tiges d'avenir à maintenir et leur protection ? Peut-on à la fois couper les hêtres et protéger les essences désirées, de manière fine ?
- En écologie. Quels sont les effets sur les sols du passage répété de la machinerie pour la récolte des tiges de 10-22 cm (compactage, orniérage, bris racinaires, lien avec l'hydrologie, lessivage ou captation des éléments nutritifs, fertilité) ? Quel est l'effet de l'utilisation du procédé de récolte par arbre entier, avec le parc de machinerie actuel, sur la biomasse forestière, en fonction du gradient de fertilité des sites ?
- En aménagement faunique. Les petites tiges complètent habituellement la structure des peuplements. Elles favoriseraient une meilleure obstruction latérale pour permettre la dissimulation et une certaine protection contre les prédateurs et aussi un habitat favorable pour certaines espèces. La protection d'ilots de résineux pourrait-elle permettre une fonction de refuge ?
- En aménagement forestier. Lorsque ces tiges sont nombreuses et de qualité, c'est la relève qui contribue à ériger la future forêt qui peut être compromise si elles sont brisées lors de la récolte. Quel effet serait alors l'effet sur la production future de bois et sur la biodiversité végétale ?

OBJECTIFS

Le but du projet est de chercher des pistes de solutions pour diminuer l'impact de la machinerie disponible en Outaouais de sorte que les diverses dimensions de l'aménagement durable des forêts soient améliorées : bénéfiques économiques, la biodiversité (structure et composition végétale) ainsi que la protection des sols (environnemental), la fierté du travailleur devant la récolte accomplie et la mobilisation de la main-d'œuvre (social).

Afin de documenter l'enjeu « Impact de la machinerie forestière de récolte sur la régénération et les sols » dans les traitements en coupes partielles de l'Outaouais, ce projet comprend les objectifs suivants :

- 1) Documenter ce que la littérature décrit et analyse sur le sujet,
- 2) Réaliser des portraits généraux de la situation des coupes partielles et des types de peuplements affectés afin de contextualiser et donner la portée des analyses statistiques réalisées dans les étapes ultérieures,
- 3) Analyser les performances industrielles¹ dans divers chantiers afin de documenter les éléments sensibles des impacts, tel le renversement de tiges ou le pourcentage de sentiers.
- 4) Réaliser des entrevues dans d'autres juridictions hors Québec et auprès des chercheurs de différents organismes du Québec (veille technologique),
- 5) Identifier et analyser les solutions potentielles aux différentes thématiques traitées,
- 6) Recommander des solutions potentielles à l'enjeu.

Il est important de mentionner que, pour des questions de disponibilités de données pour les chantiers, les mesures de l'impact sur la régénération est extrapolé à partir des données de blessures ou de renversement sur les petites tiges marchandes.

¹ On peut définir la performance industrielle par la capacité à protéger le peuplement résiduel incluant les petites tiges et les sols lors des opérations, dans des conditions faisables et économiquement raisonnables.

1. MÉTHODE

1.1. COUPES PARTIELLES, GRANDS TYPES DE CAS ET PROCÉDES DE RECOLE

Le projet s'intéresse aux coupes partielles (coupes progressives, coupes progressives irrégulières (à couvert permanent, à régénération lente), coupes de jardinage, coupes d'amélioration, coupes d'assainissement, à l'exception des éclaircies commerciales. Il se penche principalement sur les grands types de peuplements forestiers suivants : érablières, feuillus tolérants, feuillus tolérants à résineux, pinèdes blanches, cédrières. La représentativité en hectare sera l'un des principaux paramètres de sélection.

Le projet étudie *a priori* le procédé dominant de la région (90 %), qui consiste dans le jumelage d'une abatteuse-groupeuse avec deux débardeurs à pince (« grapple »). Il s'agit d'un procédé intermédiaire entre arbre entier et tronc entier où les grosses branches sont sectionnées et groupées avec les arbres. Parfois, un débardeur à câbles est utilisé.

1.2. ÉTAPE 1. RENCONTRES PREVUES

Au démarrage, des échanges de courriels ont permis de finaliser le transfert des bases de données nécessaires aux analyses du projet, soit les fichiers de suivis d'intervention, les contours des secteurs d'intervention et les données d'inventaires après interventions (fichier TICO.dbf ou arbres.dbf). Les données cartographiques ont été téléchargées à partir de forêt ouverte (<https://www.foretouverte.gouv.qc.ca/>). Les industriels impliqués dans des chantiers de coupe partielle comme Planchers Lauzon, La Compagnie Commonwealth Plywood ou Forespect ont fourni leurs données de planification et de suivi. Des cinq chantiers diversifiés prévus au départ, il a plutôt été convenu de retenir tous les chantiers de toutes les unités d'aménagement du territoire de l'Outaouais (voir étape 2). Des rencontres ont été réalisées avec un comité *ad hoc* issu de la TGIRTO pour détailler les méthodes, les résultats et mettre en perspective par rapport à la réalité régionale.

1.3. ÉTAPE 2. DOCUMENTATION DES STRATES FORESTIERES REPRESENTATIVES

Devant la grande hétérogénéité des peuplements, mentionnée dans la mise en contexte, une analyse des peuplements assujettis aux différentes coupes partielles a permis d'identifier les différents cas types en présence et leur importance relative quant à l'abondance des arbres de 10 à 22 cm de diamètre pour l'ensemble de l'Outaouais. Ensuite, quelques chantiers réalisés par des bénéficiaires de garantie d'approvisionnement illustrant les principaux cas de la problématique sont décrits et analysés selon leurs résultats (volumes récoltés, taux de réussite, blessures, tiges renversées, etc.). Les cas suivants, identifiés par types forestiers, de petites tiges marchandes sont notamment à l'étude :

- Petites tiges marchandes dominées par le hêtre dans les érablières

- Petites tiges marchandes dominées par le sapin et l'érable rouge dans les pinèdes
- Petites tiges marchandes dominées par le sapin et l'érable rouge dans les feuillus tolérants à résineux.
- Petites tiges marchandes en essences désirées dans les érablières.

Les méthodes de compilations et d'analyses sont présentées directement dans la section résultats.

1.4. ÉTAPE 3. REVUE DE LITTÉRATURE

La revue de littérature sert à documenter les différents sous-thèmes de l'enjeu, listés dans la section contexte au début de ce texte. À partir de mots-clés et des références des principaux ouvrages synthèses et le Web.

1.5. ÉTAPE 4. CORRELATIONS ENTRE LES PERFORMANCES OBSERVEES ET LA PROBLEMATIQUE

Quelques portraits sont également dressés pour documenter les problématiques. Puisque toutes les superficies sont vérifiées à l'aide d'inventaires après coupe transmis et envoyés au MFFP, il est possible de calculer les corrélations entre les caractéristiques des peuplements et les critères de performance. En parallèle, certaines données supplémentaires sont récoltées par les industriels et ont été utilisées; par exemple, Planchers Lauzon fait un calcul assez précis des largeurs de sentiers et des espacements dans ses chantiers des dernières années.

1.6. ÉTAPE 5. VEILLE TECHNOLOGIQUE DES SOLUTIONS

Une veille technologique des solutions possibles est réalisée notamment par l'interview et la récolte d'information. Le réseau de contacts du CERFO a été mis à contribution, au Québec, d'abord pour atteindre les chercheurs québécois, à la suggestion de Raymond Barrette, avec notamment l'ISFORT, l'Université Laval, FPInnovations puis, pour atteindre des praticiens et des chercheurs à l'extérieur du Québec, avec l'Institut de recherche sur les feuillus nordiques (NB), l'Université de Moncton (NB), La « Ottawa Forest Valley » (ON), le USDA Forest service (É-U), l'Université du Maine (É-U) et *Nipissing Forest Resource Mgmt. Inc* (ON).

Trois exemples peuvent ici alimenter notre réflexion (hypothèses de travail) pour la gestion de ces tiges.

1. D'abord, dans le cadre de traitement de jardinage cultural, il existe une intervention bien définie en Europe, qu'on appelle le petit jardinage (Allgaier Leuch et al., 1997). Ces travaux s'intéressent justement à l'éducation de ces étages particuliers (ex. : *crop tree management*).

2. Plus près de nous, au parc Algonquin en Ontario, il avait été observé que les interventions étaient divisées entre deux interventions distinctes d'une même prescription :
 - a. Les tiges marchandes sont récoltées par la machinerie
 - b. Les petites tiges marchandes sont abattues par un bûcheron, employé par l'administration du Parc, pour aller compléter le traitement à la main, dans une opération distincte.
3. En 2020, au chantier McGillivray_B., CCPL a exploré l'utilisation d'une équipe d'abatteurs manuels pour finaliser le prélèvement dans les tiges de 10-22 cm. Fait important à noter, les autres critères de performance étaient déjà satisfaits.

1.7. ÉTAPE 6. DISCUSSION ET APPLICABILITE DES SOLUTIONS

Des recommandations sont proposées pour donner suite aux discussions sur les résultats et inscrites dans un rapport livré à la TGIRTO.

2. REVUE DE LITTÉRATURE

L'objectif de la section est de documenter l'impact de la machinerie forestière sur les tiges marchandes résiduelles, les petites tiges marchandes et la régénération (principalement les gaules). La protection des sols et des écosystèmes forestiers est également abordée de manière à bonifier le résultat des démarches portant plus spécifiquement sur la protection des tiges résiduelles.

Les prochains paragraphes présentent donc, dans un premier temps, la revue de littérature portant sur la protection des tiges résiduelles pour ensuite présenter la protection des sols. L'impact sur certaines espèces fauniques identifiées comme représentatives du niveau de santé des écosystèmes forestiers est brièvement abordé ; cet impact ne faisait pas partie de l'étude, mais un intérêt a été soulevé par un membre de comité *ad hoc* de la TGIRTO.

2.1. PROTECTION DES TIGES RESIDUELLES

La revue de littérature a porté de manière générale sur la protection des tiges résiduelles en contexte de coupes partielles. Les études réalisées dans le nord-est des États-Unis et du Canada ont été privilégiées en raison de la facilité à transposer les résultats à l'aire d'étude. Des études provenant d'ailleurs dans le monde ont également été ajoutées pour compléter le portrait. Notons ici que notre attention était orientée vers la protection des petites tiges marchandes, mais puisque ce sujet n'occupe pas une place très large dans la littérature, des recherches ont également été réalisées sur les dommages causés aux tiges résiduelles de manière générale.

La qualité de la planification opérationnelle et l'expérience des opérateurs ont été mentionnées dans la grande majorité des études consultées comme un élément influençant grandement la protection des tiges résiduelles. Face à ce constat, des facteurs influençant la qualité de la planification forestière opérationnelle ont été relevés dans la littérature. Plus spécifiquement, Murphy et Adams (2005) en proposent treize (13) :

Tableau 1. Facteurs de qualité de la planification opérationnelle influençant la protection des tiges résiduelles (Murphy et Adams, 2005).

Facteurs	
1.	Sélection du système de récolte
2.	Sélection des équipements pour un système donné
3.	Design des sentiers de débardage
4.	Schéma d'abattage (<i>felling pattern</i>)
5.	Saison d'opération
6.	Réseau routier et point de chute (<i>landing location</i>)
7.	Niveau d'utilisation des arbres (arbres entiers, bois tronçonnés, biomasse forestière)
8.	Protection des tiges résiduelles
9.	Gestion des résidus de coupe
10.	Transport des billes par les airs
11.	Considérations après coupe
12.	Protection des zones riveraines et humides
13.	Labourage des sentiers de débardage et des points de chute (<i>landings</i>)

Les prochaines sous-sections présentent les facteurs retenus et leur influence sur la protection des tiges résiduelles.

2.1.1. Sélection du système de récolte

Tout d'abord, de manière générale, la récolte de bois long (arbres entiers et bois en longueur) cause davantage de dommage aux tiges résiduelles que la récolte par bois court (procédé par bois tronçonnés) (Picchio et coll., 2020). Ce constat est expliqué par le mode d'extraction des tiges dans les sentiers de débardage avec des débardeurs (à câble ou à grappin), pour lequel les billes sont transportées en frottant sur le sol et accrochent plus facilement les tiges résiduelles. Il a été constaté dans plusieurs études à travers le monde que l'extraction des tiges récoltées avec ce type de machinerie brise davantage que par l'utilisation d'un porteur dans le système « bois courts » (bois tronçonnés) (Tavankar et coll., 2013 ; Allman et al., 2016 ; Bakinowska et coll., 2016).

Ce constat doit toutefois être nuancé. En effet, l'utilisation d'une abatteuse-groupeuse comparativement à l'abattage manuel et à l'abattage par une abatteuse multifonctionnelle est souvent décrite comme moins dommageable pour les tiges résiduelles. Par exemple, Hiesl et Benjamin (2013)

ont étudié les dommages causés aux tiges résiduelles en coupe partielle au Maine par une abatteuse-groupeuse et une abatteuse multifonctionnelle.

Damage was classified in three severity classes – low (bark scuff), medium (cambium broken but sapwood still intact), and high (cambium and sapwood broken) (Ostrofsky and Dirkman 1991; Ostrofsky et al. 1986). Wound size and distance to the bottom of each wound were measured to the nearest 2.5 cm

Ils ont remarqué que les dommages pour l'abatteuse-groupeuse allaient de 7 à 29 % tandis que ceux pour la multifonctionnelle allaient de 25 à 57 %². Ces différences étant significativement différentes ($p = 0,007$), les auteurs sont ainsi en mesure d'affirmer que pour le contexte de coupes partielles dans des forêts du Maine³, le travail de l'abatteuse-groupeuse apparaît comme moins dommageable pour les tiges résiduelles que celui de l'abatteuse multifonctionnelle. Ajoutons que les auteurs mentionnent aussi que bien que les dommages soient plus grands par la multifonctionnelle, ceux-ci demeurent quand même dans le domaine de « l'acceptable »⁴. Comme indiqué plus haut, ils ajoutent que l'expérience de l'opérateur et la qualité de la planification opérationnelle jouent un rôle significatif pour réduire les dommages infligés aux tiges résiduelles. Plus spécifiquement: « *Benjamin et al. (2012) found that an experienced and conscientious cut-to-length (CTL) operator harvesting at 24.4 m trail spacing produced less than 10% stem damage in a thinning operation [dans des peuplements résineux]. Clearly operator experience, machine configurations, site conditions and harvest prescription play an important role in minimizing damage to residual stems.* » (Hiesl et Benjamin, 2013, p. 6).

Toujours au Maine, Nichols et coll. (1994) se sont intéressés aux coupes partielles dans des peuplements de bois franc. L'objectif de l'étude était de comparer les dommages aux tiges résiduelles selon deux systèmes de récolte : conventionnel (bûcherons et débusqueuse à câble) et mécanisé (abatteuse-groupeuse et débardeur à grappin). Pour le système conventionnel, un ou deux bûcherons travaillaient avec une débusqueuse à câble qui sortait elle-même 3 à 5 arbres à la fois. Pour le système mécanisé, la largeur des sentiers était d'environ 6 m, la portée effective du bras était de 6 m et l'espacement entre les sentiers était d'environ 12 m ; le bois était sorti par arbre entier. Le premier résultat d'intérêt est qu'à une intensité de récolte similaire, la récolte mécanisée est moins dommageable pour les tiges résiduelles que par la méthode conventionnelle. La taille des tiges n'est pas apparue comme différente en termes de dommage par procédé d'un point de vue statistique. Autrement dit, il n'est pas possible d'observer une différence significative en termes de système de

² Ces auteurs ne se sont pas intéressés au débardage dans le cadre de leur étude.

³ La composition des peuplements n'est pas spécifiée dans le texte.

⁴ Ndlr. L'hypothèse qui supporterait cette situation est qu'il y a plus de tiges abattues sur le parterre et qu'il y a un effet de fauchage lors du halage des tiges.

récolte en regardant les dommages infligés aux tiges résiduelles selon leurs tailles. Ensuite, concernant la comparaison entre deux intensités de récolte par abattage manuel (procédé conventionnel), une intensité de 50 % de récolte du couvert est apparue comme deux fois plus dommageable pour les tiges résiduelles qu'une intensité de 25 %. Les dommages étaient donc deux fois plus grands en passant d'une intensité de récolte de 25 % à 50 % avec un système de récolte conventionnel.

Une étude récente, réalisée dans le Maine, a démontré que la coupe par arbre entier entraînait généralement plus de blessures faites au cambium des tiges résiduelles, mais généralement moins aux couronnes et aux racines que la méthode de coupe hybride de bois tronçonné et en longueur (Kizha et coll. (2021). Par ailleurs, le type de prescription sylvicole est également un facteur à considérer lorsqu'il s'agit de la quantité de blessures et du type de celles-ci. En effet, le dégagement a causé un nombre de blessures plus important au cambium et moindre aux couronnes, alors que le dégagement d'arbres d'avenir entraînait un nombre de blessures quasiment équivalent à la coupe à diamètre limite et un nombre de blessures aux couronnes supérieur (Kizha et coll. 2021 ; figure 3). En conclusion, la plupart des blessures constatées dans cette étude étaient présentes au niveau du tronc, à moins d'un mètre du sol et elles sont majoritairement attribuées à la phase d'extraction de l'arbre. Par ailleurs, de manière générale, les blessures par hectare étaient plus nombreuses dans les prescriptions sylvicoles CTR que dans les DLC. Enfin, la méthode de coupe hybride infligeait moins de dégâts aux tiges résiduelles que la méthode de coupe par arbre entier (Kinzha et al. 2021).

Il est intéressant d'ajouter qu'en Finlande, dans un contexte de coupes partielles en forêt résineuses, il a été observé que 90 % des dommages avaient été effectués durant les opérations de coupe (Siren et coll., 2015). En outre, 78,5 % des tiges n'avaient pas de dommage, 15,7 % avaient des dommages, mais allaient survivre, tandis que 5,8 % étaient fatalement blessées. Les arbres les plus blessés étaient ceux de 2,5 à 10 m de haut, occupant un espace au niveau de la sous-canopée. Les travaux avaient été réalisés par un système de récolte constitué d'une abatteuse multifonctionnelle et d'un porteur.

Bien qu'il ne s'agisse pas directement d'un constat lié directement à la protection des tiges résiduelles, un autre élément de réflexion important porte sur la sélection du système de récolte. En effet, la faisabilité technique dicte le choix opérationnel sur le terrain et par conséquent elle est également un élément déterminant de la performance industrielle des coupes. À titre d'exemple, la productivité de trois systèmes de récolte dans un contexte de petites tiges marchandes dans le bois franc a été comparée dans les Appalaches centrales, aux États-Unis (Li et coll. 2006). Plus spécifiquement, il s'agit de l'abattage manuel avec débusqueuse à câble, de l'utilisation d'une abatteuse-groupeuse couplée à un débardeur à grappin, et d'une abatteuse multifonctionnelle alliée à un porteur. La

comparaison a été effectuée dans cinq traitements sylvicoles différents (1., coupe totale, 2., coupe progressive (*shelterwood cut*), 3., coupe sélective (*selective cut*), 4., coupe à diamètre limite (*diameter limit cut*) et 5., coupe de détournement (*crop tree release cut*)), et les résultats montrent que l'abatteuse-groupeuse combinée au débardeur à grappin constitue le système de récolte le plus productif et le plus rentable pour la récolte des tiges de petits diamètres dans ces peuplements de bois franc (Li et coll. 2006).

Pour résumer, bien que le système de récolte par bois long soit décrit comme plus dommageable pour les tiges résiduelles, l'abatteuse-groupeuse, utilisée le plus souvent dans ce système, demeure quand même une option intéressante considérant le niveau de dommage plutôt bas qu'elle inflige aux tiges résiduelles. Des modalités sont donc à préciser de manière à atteindre un niveau satisfaisant de blessures durant l'extraction des tiges. Nous y reviendrons dans les prochaines sous-sections. Enfin, si le procédé est si largement utilisé, c'est notamment pour la plus grande facilité de soulever les grosses tiges ainsi que pour l'obtention d'un rendement matière plus élevée par l'optimisation du façonnage en bord de chemin,

2.1.2. Sélection des équipements pour un système donné

La sélection des équipements pour un système donné a un impact notamment sur la productivité, les coûts ainsi que sur la protection des sols (Murphy et Adams 2005). Dans leur étude, Ledoux et Huyler (2001) comparant les coûts d'opération de deux systèmes par bois tronçonnés dans le Vermont en forêt mixte, il a été montré qu'avec un taux d'utilisation de 85 %, le seuil de rentabilité peut être atteint avec de plus petites tiges pour une petite abatteuse multifonctionnelle (comparativement à une plus grosse, Figure 1). La faisabilité avec une petite multifonctionnelle est ainsi identifiée comme une machine intéressante dans le cas où de superficies non négligeables de tiges de petits diamètres sont à récolter (Ledoux et Huyler 2001).

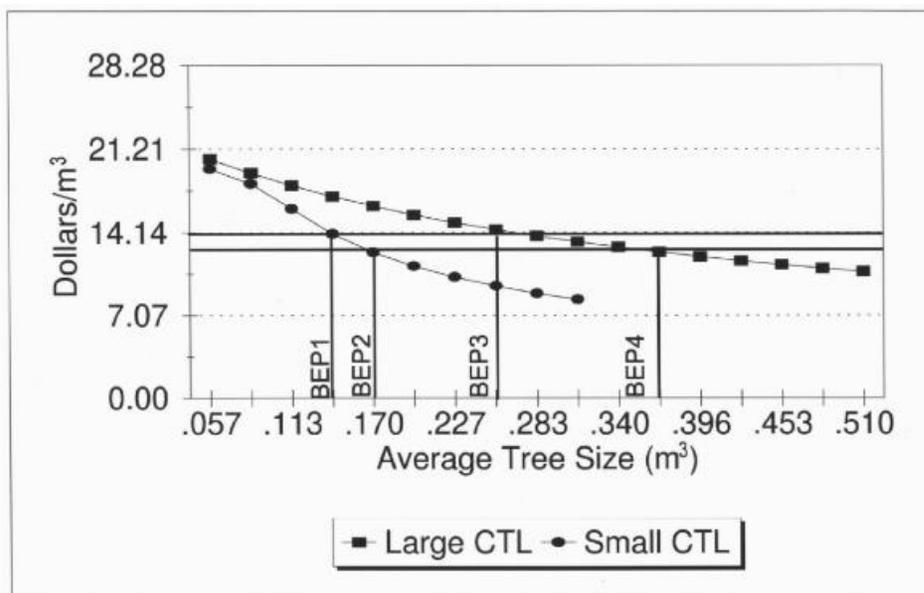


Figure 1. Stump-to-landing logging cost curves and breakeven points for small and large CTL harvesters by average tree size at 85% utilization (hourly machine rates are \$115.00 and \$146.72, respectively).

Figure 1. Comparaison des coûts d'utilisation (axe vertical) et du seuil de rentabilité (lignes horizontales pleines) pour une petite abatteuse multifonctionnelle (Small CTL) et une plus grosse (Large CTL). Tiré de Ledoux et Huyler (2001).

Une autre étude réalisée cette fois par FPInnovations en Ontario s'est intéressée à la possibilité de réaliser des opérations de récolte dans des secteurs de bois franc plus tôt en saison (printemps et début de l'été) (Sutherland, 2009). Un porteur de huit roues a été modifié par un entrepreneur forestier de manière à le transformer en débardeur à grappin. La pression de la machine sur le sol était ainsi réduite de moitié en comparaison à une débusqueuse à câble à quatre roues. Les résultats observés dans cette étude indiquent qu'il est possible d'utiliser une abatteuse-groupeuse combinée à un porteur modifié pour réaliser des coupes partielles plus tôt en saison. Plus spécifiquement, concernant la protection des tiges résiduelles, il a été observé que l'opérateur de l'abatteuse-groupeuse est en mesure de manipuler les tiges de manière à réduire les impacts sur les tiges résiduelles. En outre, les tiges ont été ébranchées sur le parterre de coupe (en bordure des sentiers) afin de réduire les chances de dommage des larges couronnes lors du débardage. Ces résultats montrent qu'il est possible de réduire les dommages causés lors du débardage dans un système de bois en longueur.

2.1.3. Design des sentiers de débardage et schéma d'abattage (*felling pattern*)

Pour commencer, la pente, l'espacement entre les sentiers et la largeur de ceux-ci constituent des facteurs qui influencent la qualité du design des sentiers de débardage (Murphy et Adams, 2005). Akay et coll. (2006) mentionnent dans cet ordre d'idée que les sentiers les plus droits possibles contribuent à réduire l'impact sur les tiges résiduelles.

Ensuite, un constat qui revient fréquemment dans la littérature est que l'intensité la plus élevée des dommages faits aux tiges résiduelles se fait près des sentiers de débardage. Autrement dit, plus on s'éloigne du sentier de débardage, moins les probabilités de dommages aux tiges résiduelles sont importantes (Fajvan et coll., 2002 ; Allman et al., 2016 ; Picchio et coll., 2002).

Par exemple, l'étude de Fajvan et coll. (2002) démontre que dans un contexte de coupes partielles dans le bois franc des Appalaches (Virginie-Occidentale) la probabilité de dommage diminue pour tous les traitements (coupe à diamètre limite à 12 pouces et à 16 pouces ainsi qu'une coupe initiale en coupe progressive), lorsque la taille des tiges résiduelles augmente et que la distance depuis le sentier augmente également. Il faut cependant spécifier que, l'abattage manuel ayant conduit à la coupe de toutes les tiges de moins de 6 pouces au DHP (environ 15 cm), les tiges de 14 cm et moins n'ont pas été considérées dans les analyses statistiques de cette étude. Cette affirmation est illustrée dans la Figure 2. La relation entre la distance au sentier et la diminution de la probabilité de blessure est forte d'un point de vue statistique ($p < 0,0001$, Fajvan et coll. (2002).

Ces résultats sont en accord avec l'étude d'Allman et coll. (2016) qui mettent en évidence que la zone de dommage la plus intense se situe dans les deux premiers mètres en bordure du sentier de débardage (41 % des dommages étaient situés dans les deux premiers mètres).

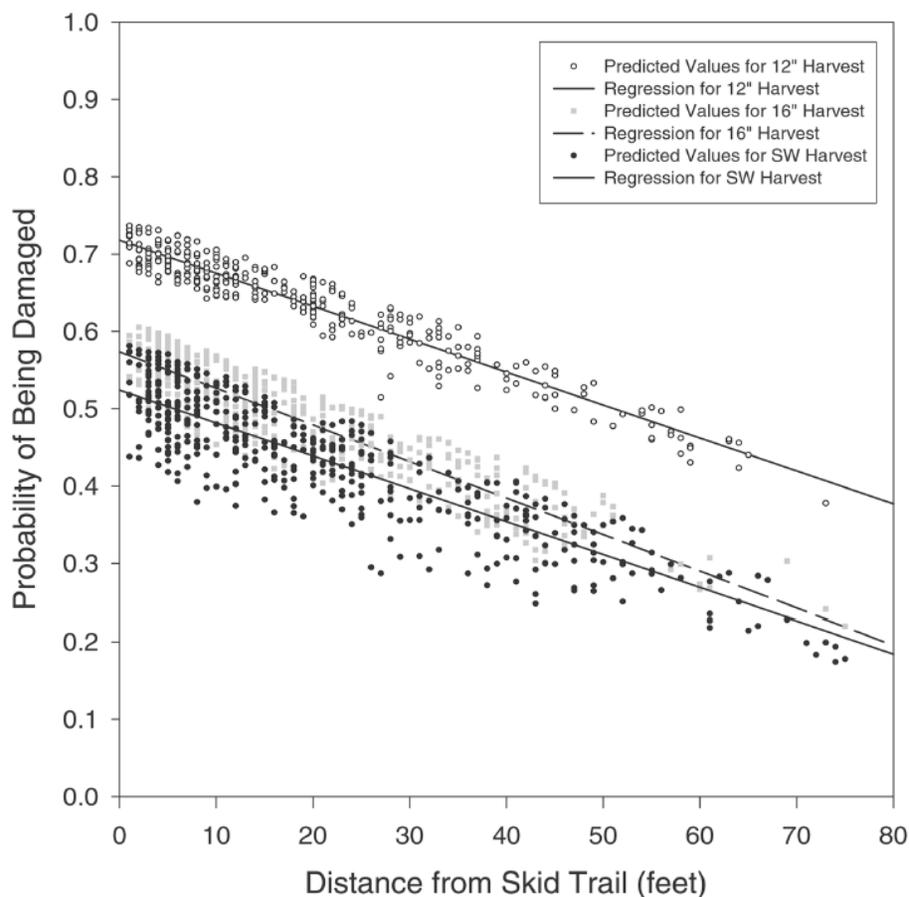


Figure 2. Influence of distance from skid trail on the probability of wounding residual stems. Models were developed with stands harvested using 12 in. diameter limits, 16 in. diameter limits, and the establishment cut of the shelterwood method.

Figure 2. Relation entre la distance des sentiers de débardage et la probabilité de dommage aux tiges résiduelles. On observe que la probabilité de dommage diminue en s'éloignant du sentier de débardage. Tiré de Fajvan et coll. (2002).

Toujours dans les travaux de Fajvan et coll. (2002), il a été observé que la probabilité de dommage aux tiges résiduelles diminue en s'éloignant du sentier. On peut constater sur la Figure 3 que cette relation est moins grande d'un point de vue statistique⁵ ($p < 0,0150$) que la distance par rapport au sentier. Elle demeure tout de même significative. Une explication possible pour expliquer ce résultat serait que les opérateurs portent probablement plus attention aux grosses tiges loin du sentier lors de l'abattage, particulièrement dans un traitement de coupes partielles où ils auront à revenir (Fajvan et coll., 2002).

⁵ On peut constater visuellement le niveau de précision par la distribution des points autour des axes. Lorsque les points sont moins concentrés autour de l'axe, la relation est moins forte statistiquement.

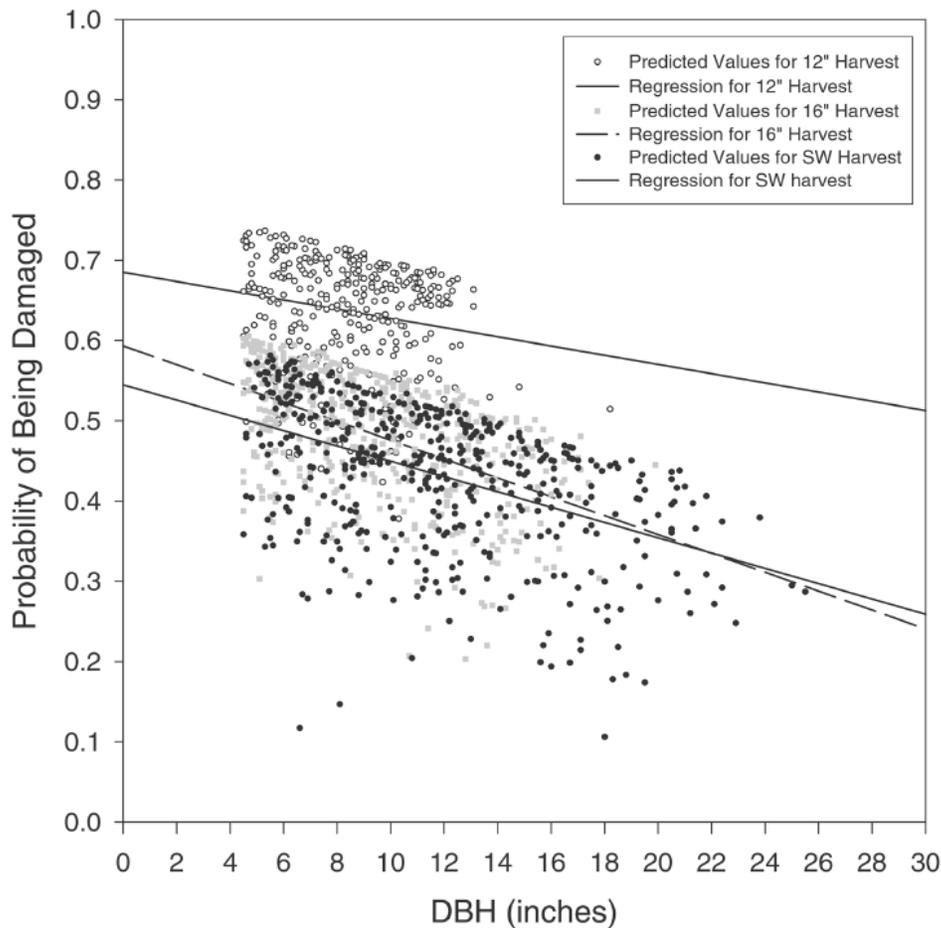


Figure 1. Damage response curves of the effect of dbh on the probability of stem damage. Developed from models of stands harvested using 12 in. diameter limits, 16 in. diameter limits, and the establishment cut of the shelterwood method.

Figure 3. Relation entre la taille des tiges au DHP et la probabilité de dommage aux tiges résiduelles. On observe que la probabilité de dommage diminue en s'éloignant du sentier de débardage. Tiré de Fajvan et coll. (2002)

Plus particulièrement concernant les tiges non marchandes, Kosir (2008) s'est intéressé aux dommages touchant ces dernières dans un système de coupe progressive. Kosir mentionne d'emblée que dans un système de coupe partielle, l'accessibilité des tiges, et par conséquent le réseau de sentiers de débardage, doit être bien établie afin de pouvoir adéquatement réaliser la stratégie d'aménagement. Le résultat le plus intéressant de l'étude pour le projet concerne la densité de chemin par rapport aux dommages causés aux tiges résiduelles. On observe sur la Figure 4 en abscisse la densité de sentier (m/ha) et en ordonnée le pourcentage de dommage causé aux tiges résiduelles. La ligne pointillée montre la relation entre la densité de sentiers et le pourcentage de blessure. On observe que cette courbe est positive, donc que l'augmentation de la densité de chemin à l'hectare correspond à une augmentation des blessures aux tiges résiduelles. Ce résultat est conséquent avec les résultats précédents (probabilité de dommages plus élevée à proximité des sentiers).

Toutefois, si l'on isole les tiges non marchandes (ligne continue), on observe cette fois que l'augmentation de la densité de chemin à l'hectare correspond à une diminution des dommages. Autrement dit, la Figure 4 nous montre qu'une meilleure accessibilité (augmentation de la densité de sentiers de débardage) signifie moins de dommage aux tiges non marchandes, mais plus de dommage aux tiges marchandes. Il y aurait donc une forme de compromis à faire entre densité de sentiers de débardage et dommages aux tiges marchandes et non marchandes.

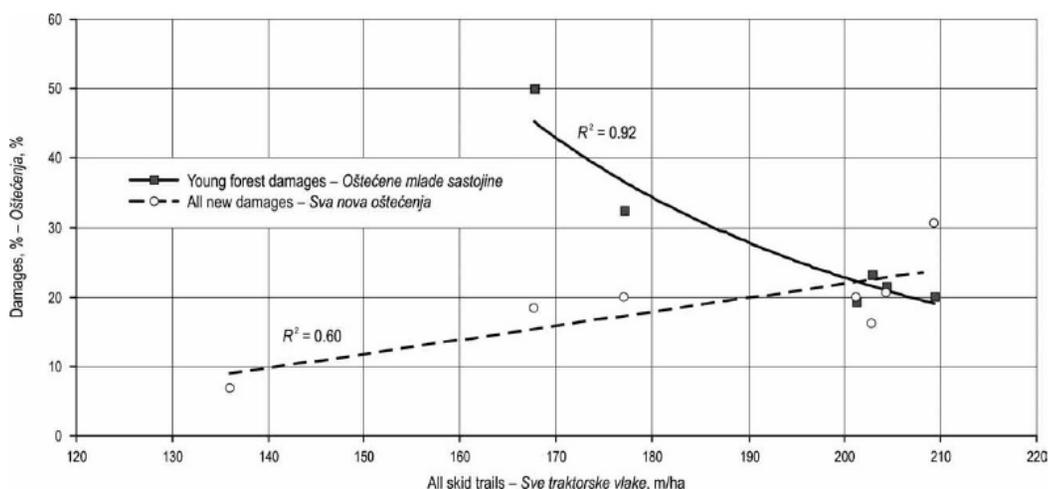


Fig. 6 Damages to a productive stand (DBH>10 cm) and young forest in relation to skid trail density

Slika 6. Ovisnost oštećenja proizvodnoga dijela sastojine (DBH>10 cm) i mlade sastojine o gustoći traktorskih vlaka

Figure 4. Dommages infligés aux tiges résiduelles (courbe pointillée) et non marchandes (courbe continue) selon la densité de sentier de débardage. Tiré de Kosir (2008).

Cette figure montre les dommages causés à un peuplement productif en fonction de la densité des pistes de débardage. Le principal constat qui s'en dégage est qu'une meilleure accessibilité des peuplements forestiers avec des pistes de débardage signifie moins de dommages causés à la jeune forêt, et à l'inverse des dommages légèrement plus nombreux causés au peuplement mature. Les deux courbes (pleine et pointillée) correspondent à une densité de piste de débardage correspondant à 200 m/ha ou légèrement plus.

Ce résultat témoigne de la complexité de l'aménagement en forêts feuillues et mixtes dans des stratégies de coupes partielles. La recherche d'un équilibre entre prélèvement (ce qui inclut les moyens retenus pour extraire la matière ligneuse de la forêt) et rétention (ce qui fait référence à la matière ligneuse qui demeure en forêt, et par conséquent la quantité et la qualité de celle-ci) de manière à pouvoir miser sur des récoltes régulières de bois de qualité dans l'avenir.

2.1.4. Saison

Concernant l'effet de la saison sur les probabilités de dommage aux tiges résiduelles, le nombre de tiges totales endommagées, le nombre de tiges endommagées durant l'abattage ainsi que durant l'extraction sur les sentiers de débardage est tout plus grand en été qu'en hiver (Grzywiński *et coll.*, 2019). En outre, la fréquence des dommages aux tiges résiduelles près des sentiers de débardage est deux fois plus grande en été qu'en hiver. Selon les auteurs, ce résultat s'explique par la présence plus faible d'eau dans la partie inférieure de l'arbre durant l'hiver, ce qui entraînerait une solidité supérieure des tissus ainsi qu'une susceptibilité réduite aux dommages. L'étude a été réalisée en Pologne dans des peuplements d'aulne glutineux. Dans un contexte de forêts résineuses en Suède, des dommages plus grands en été qu'en hiver ont été observés (Bobik, 2008).

Concernant l'effet de la saison sur les probabilités de dommage aux tiges résiduelles, le nombre de tiges totales endommagées, le nombre de tiges endommagées durant l'abattage ainsi que durant l'extraction sur les sentiers de débardage est tout plus grand en été qu'en hiver (Grzywiński *et coll.*, 2019). En outre, la fréquence des dommages aux tiges résiduelles près des sentiers de débardage est deux fois plus grande en été qu'en hiver. Selon les auteurs, durant l'hiver, la présence d'eau dans la partie circonférentielle de l'arbre est plus faible et au contraire l'adhérence de l'écorce aux tissus est plus forte, ce qui entraînerait une solidité supérieure des tissus ainsi qu'une susceptibilité réduite aux dommages. L'étude a été réalisée en Pologne dans des peuplements d'aulne glutineux. Dans un contexte différent de forêts résineuses en Suède (pinèdes), des dommages plus nombreux en été qu'en hiver ont également été observés (Bobik, 2008).

2.2. SOLS

2.2.1. Principaux impacts de la machinerie sur les sols

Les principaux impacts sur le sol en forêt que peut occasionner le passage de la machinerie sont le compactage élevé, l'érosion, l'orniérage surtout le long des sentiers de débardage et des routes. La sévérité de ces impacts dépend notamment du type de machinerie utilisée lors des opérations de récolte, du procédé de récolte utilisé, de la quantité de débris qui pourront servir à supporter le poids de la machinerie dans les sentiers ainsi que les caractéristiques des sols et conditions des sites forestiers (Curzon *et al.* 2014). De plus, bien que ce ne soit pas strictement un impact sur le sol, le bris de racine est intrinsèquement relié au passage de la machinerie, surtout lors d'opérations de récolte en dehors de la saison hivernale. En effet, les impacts au sol seront différents si le sol est gelé

ou recouvert de neige. Dans de telles conditions, il supporte généralement mieux le passage de la machinerie.

Les impacts sur les sols associés au passage de la machinerie peuvent affecter l'aménagement forestier de manière non négligeable. Pour la régénération, ils peuvent donc contribuer à créer des conditions défavorables pour l'établissement et la croissance de la régénération, notamment des conditions d'anaérobie. À l'inverse, la machine peut occasionner un brassage de l'humus forestier qui peut être profitable pour l'installation de semis de certaines essences comme le bouleau jaune. Il demeure que les dommages les plus fréquents sont retrouvés parmi la régénération et les jeunes arbres d'un peuplement résiduel (Picchio et al.al. 2016). Au niveau de l'hydrologie, la création d'ornières peut notamment engendrer du ruissellement qui favorisera l'apport en sédiment dans les cours d'eau. Au niveau de la faune, les ornières peuvent toutefois créer des habitats propices favorisant certaines populations d'amphibiens.

Jusqu'à ce jour, plusieurs paramètres ont été étudiés pour pouvoir contribuer à réduire les dommages aux sols dus aux opérations forestières. Quelques-uns de ces paramètres sont la densité apparente du sol, la résistance à la pénétration et au cisaillement, la réduction de l'érosion et le déplacement latéral du sol (Picchio et al.al. 2020). Ces paramètres peuvent aussi être un indicateur de durabilité pour le compactage du sol ainsi que la qualité du sol, la répartition de la charge de la machine, la circulation et la structure et la texture du sol (Schweier et al.al. 2019). Toutes machines à roues causent la même quantité de compactage du sol dans les ornières. De plus, la conception appropriée des routes forestières joue un rôle important dans la réduction des perturbations du sol. Les dommages les plus fréquents sont retrouvés parmi la régénération et les jeunes arbres d'un peuplement résiduel (Picchio *et al.*. 2016).

2.2.1.1. Compaction du sol

La compaction est une modification de la structure engendrée par les compressions, les tractions et les vibrations exercées par la machinerie sur le sol au moment des opérations forestières (Manuel de foresterie)

- Elle apparait dans les sentiers de débardages.
- Elle dépend du type de machine, son poids et sa portance
- Le nombre de passages intervient aussi dans la compaction.
- Elle nuit à la germination puisque les graines peuvent avoir de la difficulté à atteindre l'eau dans le sol.
- Il y a corrélation entre le nombre de passages des machines et le taux de germination ainsi que leur croissance en sentier.

- La scarification du sol et l'ouverture de la canopée peuvent aider à la germination
- La hauteur des pousses de régénération observée est plus haute hors sentier qu'en sentier de débardage.

Plusieurs paramètres ont été étudiés pour pouvoir réduire les dommages aux sols dus aux opérations forestières. Quelques-uns de ces paramètres sont la densité apparente du sol, la résistance à la pénétration et au cisaillement, la réduction de l'érosion et le déplacement latéral du sol (Picchio et al. 2020). Ces paramètres peuvent aussi être un indicateur de durabilité pour le compactage du sol ainsi que la qualité du sol, la répartition de la charge de la machine, la circulation et la structure et la texture du sol (Schweier et al. 2019). Toutes machines à roues causent la même quantité de compactage du sol dans les ornières. De plus, la conception appropriée des routes forestières joue un rôle important dans la réduction des perturbations du sol.

2.2.1.2. Orniérage

L'orniérage est une trace creusée dans le sol par les roues ou les chenilles d'un engin forestier affecté à la préparation de terrain ou aux opérations de récolte, de débardage, d'empilement ou de chargement du bois et qui mesure au moins 4 m de long (RADF).

- En sol organique, le tapis végétal déchiré est considéré comme une ornière.
- En sol minéral, une ornière a une profondeur de plus de 200 mm mesurée à partir du sol minéral non perturbé par l'engin forestier.

L'orniérage est fréquemment caractérisé par deux dépressions parallèles et continues le long d'une route ou d'un sentier. Elle se forme en condition d'humidité élevée et est le fruit d'une granulométrie mal distribuée et d'un drainage inadéquat (Manuel de foresterie). La saison automnale, mais particulièrement lors des périodes de pluviométrie importantes, présente un potentiel plus élevé d'orniérage. Enfin, l'orniérage a un impact sur la productivité des écosystèmes, sur la qualité visuelle des paysages et crée une problématique d'érosion lors des ruissellements.

2.2.1.3. Bris racinaire

La compaction du sol est en lien avec les bris racinaires.

- Selon une étude en érablière réalisée par Rock Ouimet, couper une tranchée à la limite de la canopée d'un arbre blesse 20% de ses racines.
- La référence pour la distance de l'arbre selon son DHP dans cette recherche varie dans un ratio de 6 à 12 cm.
- La règle de 10 est proposée soit le rapport entre la distance à l'arbre sur le diamètre à hauteur de poitrine. $R = 2m \text{ DHP} = 20 \text{ cm}$

2.2.2. Extraits du Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'état

Le Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'état (RADF) mentionne quelques articles qui visent la protection du sol (source : Solajo Couturier et Vanessa Joannis, MFFP, communications personnelles)

<https://mffp.gouv.qc.ca/RADF/guide/chapitre-iii/article-45/>
<https://mffp.gouv.qc.ca/RADF/guide/chapitre-iii/article-46/>
<https://mffp.gouv.qc.ca/RADF/guide/chapitre-iii/article-33/>
<https://mffp.gouv.qc.ca/RADF/guide/chapitre-vii/article-153/>
<https://mffp.gouv.qc.ca/RADF/guide/chapitre-vii/article-147/>

Par ailleurs, il y a plusieurs articles qui traitent du maintien du drainage naturel du sol et de la gestion de l'eau lors des travaux de voirie (p. ex. art. 74, ou 82 pour les chemins d'hiver).

- L'article 45 mentionne que les ornières formées dans les sentiers d'abattage et de débardage ne doivent pas apparaître sur plus de 25 % de la longueur des sentiers par aire de coupe totale :
 - Lors des suivis, il y a d'abord une évaluation visuelle à partir de photos aériennes et ensuite, s'il y a constat, un inventaire terrain est réalisé pour mesurer et quantifier les ornières. Un maximum de 25% est autorisé;
 - Il ne semble pas y avoir beaucoup de secteurs qui dépassent le seuil;
 - Les industriels ont habituellement des plans de suivi pour stopper les opérations en cas de pluies abondantes pour éviter la création d'ornières.
 - Cet article s'adresse aux coupes à blanc et ne couvre pas les coupes partielles.

- L'article 153 porte sur la protection de la régénération :
 - Cet article interdit toute coupe sans la protection de la régénération et des sols.
 - Cette protection de la régénération s'établit lors de la planification des prescriptions sylvicoles du MFFP (par exemple : protéger 60% de régénération désirée)
 - Suivi à court terme par visite de terrain avec échantillonnage.

- L'article 46 porte sur la fertilité des sols :
 - Superficie minimale de 2 ha maintenant (officieusement utilisé depuis 2-3 ans; il n'y avait pas de superficie minimale avant)
 - Guide d'application du RADF pour sélection des sites et indiquer dans les prescriptions; les branches doivent être retournées en forêt;
 - Évaluation par photos aériennes et visites terrain. Secteur choisi aléatoire.

- Avantage d'une abatteuse multifonctionnelle est que les branches restent en forêt; sinon la débuseuse à *grappin* doit ramener les branches en forêt; est-ce qu'il y a un risque de blesser/renverser des tiges lorsque les branches sont ramenées? Ceci n'est pas documenté.
 - Les industriels ont un certain délai avant de remettre les branches en forêt.
- L'article 147 mentionne que la coupe des arbres doit s'effectuer à une hauteur maximale de 25 cm au-dessus du plus haut niveau du sol.
- L'article 33 mentionne que la récolte est interdite dans les marécages arborescents riverains pour les types écologiques suivant :
1. Érablière argentée et ormaie-frênaie (F018);
 2. Frênaie noire à sapin hydrique (MF18);
 3. Bétulaie jaune à sapin et érable à sucre hydrique (MJ18);
 4. Sapinière à bouleau jaune hydrique (MS18);
 5. Sapinière à érable rouge hydrique (MS68);
 6. Sapinière à thuya (RS18).

2.3. FAUNE

Concernant les enjeux associés à la faune, des espèces sensibles à l'aménagement forestier ont été sélectionnées en se référant au PAFI-T de la région de l'Outaouais. En procédant ainsi, il a été possible d'identifier les enjeux les plus importants pour les petites tiges marchandes. Les prochains paragraphes présentent la synthèse de nos recherches.

2.3.1. Sapinière à BOJ

2.3.1.1. Martre d'Amérique

La martre d'Amérique habite dans des peuplements matures résineux et mixtes. Elle utilise les séparateurs de coupes pour se déplacer. Elle a besoin de débris ligneux au sol pour pouvoir se déplacer sous la neige et utilise les chicots pour la mise bas. Elle fréquente les jeunes peuplements ayant subi une épidémie légère ou un chablis partiel (Cheveau 2015). Les petites tiges marchandes permettent de garder un peuplement dense qui abrite une plus grande diversité de proie pour la martre. Les petites tiges marchandes fournissent aussi une protection face aux prédateurs ainsi qu'une protection du froid.

2.3.1.2. Grand pic

Le grand pic utilise des arbres de gros diamètres pour la nidification ayant une hauteur de plus de 15 m. Il préfère les peuplements avec des couverts denses (Cheveau 2015). La présence abondante de chicots de gros diamètre est essentielle pour son alimentation. Les petites tiges marchandes ne sont pas utilisées par le grand pic, mais en les protégeant adéquatement, il est possible de penser que son habitat lui sera davantage favorable par le maintien d'un peuplement avec un couvert dense.

2.3.1.3. Grand polatouche

Le grand polatouche préfère les gros arbres matures pour son alimentation et ses sites de repos. Il a besoin de feuillus avec des cavités et de résineux pour leur nid. Il utilise des forêts résiduelles proches de coupes récentes, car les forêts sont moins denses, ce qui lui permet de se déplacer plus facilement. Il est plus présent dans de jeunes forêts issues de coupe (Cheveau 2015). Même si le polatouche préfère les arbres de gros diamètre, les petites tiges marchandes permettent d'avoir une bonne couverture du sol, ce qui lui permet de se créer un abri contre les prédateurs.

2.3.2. Érablière

2.3.2.1. Pékan

Le pékan a besoin de forêts denses de mi-succession, matures et âgées. Il utilise les gros arbres avec des cavités pour les sites de repos et la mise bas. Il préfère un peuplement avec un couvert dense pour ses abris (Doyon et coll. 2002). Il peut utiliser les peuplements jeunes, mais préfère les peuplements matures. Il évite les milieux ouverts et les coupes récentes de moins de 10 ans (Cheveau 2015). Les petites tiges marchandes permettent de garder un couvert forestier avec des abris ainsi qu'un bon niveau d'obstruction latérale.

2.3.2.2. Grand pic

Le grand pic a besoin de forêts matures avec des arbres de gros diamètre pour la nidification et de chicots de gros diamètre pour l'alimentation. Il préfère les peuplements avec un couvert dense (Cheveau 2015). Le grand pic permet de créer de nombreuses cavités en forêt feuillue et mixte qui sont utilisées pour la nidification d'autres espèces. Bien que le grand pic n'utilise pas les petites tiges marchandes pour son alimentation ni pour la nidification, elles permettent de garder un couvert arbustif dense. Le grand pic a besoin d'arbres et de chicots pour utiliser un peuplement.

2.3.2.3. Grand polatouche

Le grand polatouche a besoin de gros arbres feuillus avec des cavités pour les nids. Il fréquente des peuplements peu denses avec des trouées qui facilitent ses déplacements en planant. Il est présent dans des forêts jeunes issues de coupe ainsi que dans les forêts résiduelles à côté de coupes récentes (Cheveau 2015). Les petites tiges marchandes permettent de garder un bon couvert pour son alimentation, ses sites de repos et ses déplacements.

2.3.2.4. Paruline couronnée

La paruline couronnée préfère des peuplements avec un couvert dense ainsi que des peuplements ayant un sous-étage dispersé. Elle fréquente les peuplements de stade perchis, mais les peuplements matures sont plus utilisés. Elle préfère les forêts feuillues et mixtes (Blanchette et Larue, 1993). Les petites tiges marchandes peuvent être un bon moyen de garder un couvert forestier dense ainsi qu'une meilleure protection des prédateurs.

Tableau 2. Synthèse des informations concernant les besoins des espèces sensibles à l'aménagement forestier retenu et les besoins pour les petites tiges marchandes.

Zones forestières	Espèces	Structure d'âge	Besoins		
			Type de peuplements	Composition végétale	Structure interne et bois mort
Sapinière à BOJ	<i>Martre d'Amérique</i>	Peu retrouvée dans les jeunes peuplements	Évite les milieux ouverts	Peuplements mixtes	Couvert dense. Utilise des débris ligneux au sol pour sites de repos.
	<i>Grand pic</i>	Peu retrouvé dans les jeunes peuplements	Évite les peuplements sans chicot	Peuplements mixtes	Couvert dense. Chicots pour l'alimentation.
	<i>Grand polatouche</i>	Présent dans des forêts jeunes issues de coupe	Fréquente peuplements peu denses et jeunes forêts	Peuplements mixtes	Couvert avec des trouées. Chicots et débris ligneux.
Érablière	<i>Pékan</i>	Peut utiliser les peuplements jeunes	Divers peuplements forestiers (habitat de ses proies)	Évite les peuplements purs de feuillus	Couvert dense. Chicots pour la mise bas et débris ligneux pour des terriers.
	<i>Grand pic</i>	Peu retrouvé dans les jeunes peuplements	Évite les peuplements sans chicot	Peuplements feuillus	Couvert dense. Chicots pour l'alimentation.
	<i>Grand polatouche</i>	Présent dans des forêts jeunes issues de coupe	Fréquente peuplements peu denses et jeunes forêts	Arbres feuillus avec cavités	Couvert avec des trouées. Chiots et débris ligneux.
-	<i>Paruline couronnée</i>	Présente dans les peuplements de stade perchis	Peuplements avec sous-étage dispersé	Forêts dominées par les feuillus	Couvert dense pour protection contre prédateurs.

2.3.3. Faune du sol

La faune du sol est par nature peu visible et souvent peu considérée. Nous n'avons retenu ici que deux groupes d'espèces, les salamandres et les arthropodes ; il s'agit, respectivement, d'un groupe d'espèces sensibles et d'un groupe dont les taxons sont fortement reliés aux diverses perturbations

Salamandres terrestres

Parmi les amphibiens, les salamandres terrestres, dont la salamandre cendrée qui est une des plus abondantes en Amérique du Nord, occupent un rôle très important dans l'écosystème forestier, car ils sont les plus importants prédateurs de la chaîne alimentaire des détritivores (Hairston, 1987) et sont également des proies pour plusieurs espèces animales (Pough et coll., 1987). La salamandre cendrée est un animal fouisseur, c'est-à-dire qu'il creuse les sols, la litière et les débris ligneux (Davic et Welsh, 2004). Cette salamandre est dépourvue de poumons et dépend de milieux humides pour respirer par la peau (Heatwole et Lim, 1961). Cette salamandre se trouve à la surface du sol forestier, dans la litière et les débris ligneux, surtout les gros en décomposition, où une certaine humidité est présente (DeMaynadier and Hunter, 1995). Ce sont donc des conditions d'habitats essentielles qui peuvent être modifiées par le passage de la machinerie et la coupe forestière. Lors de coupes partielles, une ouverture du couvert peut entraîner une augmentation de température au sol et aussi une diminution de débris ligneux au sol, précisément des gros débris en décomposition, suggérant une diminution d'habitat propice pour la salamandre terrestre (Bunnell et Houde, 2010). Une diminution de débris ligneux peut aussi être occasionnée par les travaux de préparation terrain (scarifiage) qui peuvent alors détruire les gros débris et les regrouper en amas. Par contre, il semble y avoir une rétention importante de débris ligneux dans la plupart des coupes partielles en forêts feuillues et mélangées réalisées au Québec (Joanisse et coll. 2014a, Joanisse et coll. 2014b), du moins lors de la première intervention et à court terme, une étude n'a pas montré d'effet significatif entre les coupes partielles et témoins (Lapointe St-Pierre, 2018). Plusieurs études montrent que l'impact des coupes partielles se fait sentir à court terme et pas nécessairement sur l'ensemble du secteur (Moore et coll. 2002, Knapp et al. 2003).

Lors des opérations forestières et de la préparation terrain subséquente (scarifiage), la circulation de la machinerie peut augmenter la compaction du sol ce qui peut limiter la disponibilité et la possibilité de création de trous et de migration verticale par les salamandres (Steinbrenner, 1995, Rothermel and Luhring, 2005, Grialou 2000). Cependant, certaines études ont démontré que dans des coupes partielles, même si le sol est plus compacté localement, par exemple dans des trouées ou bandes coupées où la machinerie a circulé, il y avait peu d'impact, après 5 ans à 7 ans, sur l'abondance de salamandre terrestre (Lapointe St-Pierre, 2018). Même si les salamandres ont un petit domaine vital (quelques m²), si la perturbation de sol n'est pas grande, exemple un sentier, elle peut se réfugier dans la forêt adjacente.

Donc, pour minimiser l'impact des coupes partielles, du moins à court terme, sur l'habitat des salamandres terrestre, il faut minimiser la superficie occupée par les sentiers, maintenir des débris ligneux au sol et maintenir un certain couvert forestier.

Arthropodes Les macroarthropodes ont une importance écologique majeure en tant que décomposeurs, herbivores, pollinisateurs, prédateurs et recycleurs d'éléments nutritifs, et plusieurs taxa sont de bons indicateurs de l'état des forêts (Westby-Gibson *et coll.*, 2017). Dans une coupe progressive d'une forêt feuillue de qualité intermédiaire, une étude a comparé les portions récoltées et les témoins pour déterminer si, et comment, la composition, la richesse et la biomasse des macroarthropodes terrestres différaient. L'abondance et la biomasse sèche des macroarthropodes totaux et de la plupart des ordres ou des familles n'ont pas été touchées par la coupe progressive malgré des réductions importantes après la récolte de la densité des arbres, du couvert forestier et de la couverture et de la profondeur de la litière de feuilles, du moins à court terme. Il y a des différences selon les taxons⁶. Les résultats pourraient différer selon les sites, l'importance de la perturbation et le climat.

2.4. PROPOSITION D'UNE MATRICE D'APPLICABILITE DES SYSTEMES DE RECOLTE

Ledoux (2011) propose une matrice d'applicabilité des systèmes de récolte. Nous en proposons une adaptation qui permettra de synthétiser une portion de l'information proposée dans cette revue de la littérature (tableau 3).

Tableau 3. Matrice d'applicabilité des systèmes de récolte. Adapté de Ledoux (2011).

Système	Composante	Scie à chaîne	Coût initial	Productivité	Impact sur les tiges résiduelles
Traditionnel	Bûcheron		Faible	Faible	Moyen à élevé
	Débusqueuse à câble		Moyen	Moyen	Élevé
	Système traditionnel	Oui	Faible à moyen	Faible à moyen	Moyen à élevé
Mécanisé 1	Abatteuse-groupeuse		Élevé	Élevée	Faible à moyen
	Débusqueuse		Moyen	Moyenne	Élevé
	Système mec 1	Oui/Non	Moyen à élevé	Moyenne à élevée	Moyen
Mécanisé 2	Multifonctionnelle		Élevé	Élevée	Faible à moyen
	Porteur		Élevé	Élevée	Faible
	Système mec 2	Non	Élevé	Élevée	Faible à moyen

⁶ 'Parmi les taxa, l'abondance et la biomasse sèche des opiliones (tous les Phalangidae) et des lépidoptères (principalement des larves) étaient plus grandes dans les parties récoltées que dans les témoins, tandis que l'abondance et la biomasse sèche des orthoptères (principalement des Rhabdophoridae) étaient plus grandes chez les témoins'.

2.5. REFERENCES DE LA SECTION

- Akay, A. E., Yilmaz, M., & Tonguc, F. (2006). Impact of mechanized harvesting machines on forest ecosystem: Residual stand damage. *Journal of applied sciences*, 6(11), 2414-2419.
- Allman, M., Allmanová, Z., Jankovský, M., Ferenčík, M., & Messingerová, V. (2016). Damage of the remaining stands caused by various types of logging technology. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64(2), 379-85.
- Bakinowska, E., Mederski, P. S., Szczepańska-Alvarez, A., Karaszewski, Z., & Bembenek, M. (2016). The parallel application of two probability models, logit and probit, for the accurate analysis of spruce timber damage due to thinning operations. *Drewno: prace naukowe, doniesienia, komunikaty*, 59.
- Bobik, M. (2008). Damages to residual stand in commercial thinnings. *Mémoire de maîtrise*. Swedish university of agricultural sciences.
- Bunnell, F.L. et Houde, I., 2010. Down wood and biodiversity: implications to forest practices. *Environ. Rev.* 18:397–421. DOI: 10.1139/A10-019
- Chmielewski, S., & Porter, B. (2012). Valorization of the selected methods of harvesting and skidding of the pine stands in pre-final cut. *Tech. Roln. Ograd. Les*, 3, 23-26.
- Davic, R. D. et Welsh, H. H., 2004. On the ecological roles of salamanders. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35: 405–434
- Demaynadier, P. G. et Hunter M. L., 1995. The relationship between forest management and amphibian ecology: a review of the North American literature. *Environ. Rev.* 3: 230–261
- Fajvan, M. A., Knipling, K. E., & Tift, B. D. (2002). Damage to Appalachian hardwoods from diameter-limit harvesting and shelterwood establishment cutting. *Northern Journal of Applied Forestry*, 19(2), 80-87.
- Grialou, J. A., West S. D. et Wilkins R. N., 2000. The effects of forest clearcut harvesting and thinning on terrestrial salamanders. *J. Wildl. Manag.* 64: 105–113
- Grzywiński, W., Turowski, R., Naskrent, B., Jelonek, T., & Tomczak, A. (2019). The effect of season of the year on the frequency and degree of damage during commercial thinning in black alder stands in Poland. *Forests*, 10(8), 668.
- Hairston, N. G., Sr., 1987. *Community ecology and salamander guilds*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom
- Heatwole, H. et Lim, K., 1961. Relation of substrate moisture to absorption and loss of water by the salamander, *Plethodon cinereus*. *Ecology*. 42: 814-819
- Hiesl, P., & Benjamin, J. (2013). Assessment of feller-buncher and harvester caused stand damage in partial harvests in Maine. In *Proceedings of the Council on Forest Engineering annual meeting*. (pp. 1-8).
- Košir, B. (2008). Damage to young forest due to harvesting in shelterwood systems. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 29(2), 141-153.
- Joanisse, G. et G. Lessard. 2014. Évaluation de l'efficacité de la coupe progressive irrégulière à répondre aux enjeux de biodiversité dans l'UAF 82-51. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2014-11. 59 pages + 3 annexes.
- Joanisse, G., Suffice, P., Lessard, G., et Imbeau, I., 2014. Effets de la coupe progressive irrégulière sur la dynamique forestière : succès d'installation de la régénération en bouleau jaune - installation du dispositif, 2e secteur. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO) et Université du Québec en Abitibi- Témiscamingue (UQAT). Rapport 2014-03. 97 pages + 5 annexes

- Kizha, A.R.; Nahor, E.; Coogen, N.; Louis, L. T.; George, A.K. Residual Stand Damage under Different Harvesting Methods and Mitigation Strategies. *Sustainability* 2021, 13, 7641.
<https://doi.org/10.3390/su13147641>
- Knapp, S. M., Haas, C. A., Harpole, D. N., et Kirkpatrick, R. L. 2003. Initial effects of clearcutting and alternative silvicultural practices on terrestrial salamander abundance. *Conserv. Biol.* 17: 752–762. DOI : 10.1046/j.1523-1739.2003.02061.
- Lapointe St-Pierre, M. 2018. L’impact des coupes progressives irrégulières sur les populations de salamandre cendrée (*Plethodon cinereus*) dans les peuplements mixtes. Mémoire de Maîtrise en sciences forestières, Université Laval, 68p.
- LeDoux, C. B., & Huyler, N. K. (2001). Comparison of two cut-to-length harvesting systems operating in eastern hardwoods. *Journal of Forest Engineering*, 12(1), 53-60.
- LeDoux, C. B. (2011). Harvesting systems for the northern forest hardwoods.
- Li, Y., Wang, J., Miller, G., & McNeel, J. (2006). Production economics of harvesting small-diameter hardwood stands in central Appalachia. *Forest Products Journal* 56 (3): 81-86, 56(3).
- Moore, J.-D., Ouimet, R., Camiré, C., et Houle, D., 2002. Effects of two silvicultural practices on soil fauna abundance in a northern hardwood forest, Quebec, Canada. *Canadian J. Soil Science.* 82: 105–113
- Murphy, G., Adams, P. W., Harrington, C. A., & Schoenholtz, S. (2005). Harvest planning to sustain value along the forest-to-mill supply chain. Productivity of Western Forests: A Forest Products Focus. General Technical Report PNW-GTR-642. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR, 17-23.
- Nichols, M. T., Lemin Jr, R. C., & Ostrofsky, W. D. (1994). The impact of two harvesting systems on residual stems in a partially cut stand of northern hardwoods. *Canadian Journal of Forest Research*, 24(2), 350-357.
- Pough, H. F., Smith, E. M. Rhodes, D. H. et Collazo, A., 1987. The abundance of salamanders in forest stands with different histories of disturbance. *For. Ecol. Manag.* 20: 1–9
- Picchio, R., Mederski, P. S., & Tavankar, F. (2020). How and How Much, Do Harvesting Activities Affect Forest Soil, Regeneration and Stands?. *Current Forestry Reports*, 6(2), 115-128.
- Rothermel, B. et Luhring, T., 2005. Burrow availability and desiccation risk of mole salamanders (*Ambystoma talpoideum*) in harvested versus unharvested forest stands. *J. Herpetol.* 39: 619–626. DOI: /10.1670/251-04A.
- Schweier, J., Magagnotti, N., Labelle, E. R., & Athanassiadis, D. (2019). Sustainability impact assessment of forest operations: A review. *Current Forestry Reports*, 5(3), 101-113.
- Sirén, M., Hyvönen, J., & Surakka, H. (2015). Tree damage in mechanized uneven-aged selection cuttings. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 36(1), 33-42.
- Steinbrenner, E. C., 1995. The effects of repeated tractor trips on the physical properties of forest soils. *Northwest sci.* 41:155-15
- Sutherland, B. J. (2009). Mechanized harvesting to reduce soil and stem damage during selection harvesting in tolerant hardwoods. Forest Engineering Research Institute of Canada.
- Tavankar, F., Majnounian, B., & Bonyad, A. E. (2013). Felling and skidding damage to residual trees following selection cutting in Caspian forests of Iran. *Journal of Forest Science*, 59(5), 196-203.
- Westby-Gibson, John, Jr.; Greenberg, Cathryn H.; Moorman, Christopher E.; Forrest, T.G.; Keyser, Tara L.; Simon, Dean M.; and Warburton, Gordon S. 2017. Short-term response of ground-dwelling macroarthropods

to shelterwood harvests in a productive Southern Appalachian upland hardwood forest. e-Res. Pap. RP-SRS-59. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station. 10 p

3. DOCUMENTATION DES STRATES ET ANALYSES DE CHANTIER

Cette section présente tout d'abord un portrait général des strates forestières traitées en coupes partielles des UA de l'Outaouais, ensuite une description des mesures existantes et de suivi pour la protection des sols et de la régénération et finalement une analyse à partir des données de suivis de secteurs d'intervention récent.

3.1. PORTRAIT DES DIFFERENTES STRATES FORESTIERES TRAITÉES EN COUPES PARTIELLES

3.1.1. Portrait général des UA

Le tableau suivant présente les superficies par UA et les grands types de forêts. Les superficies ont été calculées en intersectant la couche des unités d'aménagement avec les cartes écoforestières à jour de 2019.

On note que les grands types forestiers de feuillus tolérants sont dominants dans les UA 07151, 07251 et 07351 (plus de 40% de la superficie), et près de 25% pour la 07152. Les autres grands types d'importance et d'intérêts sont les pinèdes et pinèdes mixtes. Les tableaux suivants présentent les types de forêts pour les grands types dominants.

Tableau 4. Superficies par grands types de forêts par UA.

Grand_type	07151		07152		07251		07351		07352		07451		Total hect	
	hect	%	hect	%										
Feuillus_indetermines	3	0.00%	176	0.03%	28	0.02%	119	0.03%	301	0.08%	323	0.03%	950	0.04%
Betulaies_blanches	859	0.34%	12898	2.38%	115	0.08%	8240	2.02%	18053	4.86%	56497	6.05%	96662	3.65%
Betulaies_blanches_a_resineux	908	0.36%	15584	2.88%	76	0.05%	7879	1.93%	21745	5.85%	75916	8.13%	122107	4.62%
Erablieres_rouges	4228	1.70%	13170	2.43%	1905	1.34%	8568	2.10%	4470	1.20%	7283	0.78%	39624	1.50%
Peupleraies	13044	5.24%	17925	3.31%	3346	2.35%	25582	6.28%	4734	1.27%	31883	3.41%	96515	3.65%
Peupleraies_a_resineux	2271	0.91%	7869	1.45%	1121	0.79%	7791	1.91%	2936	0.79%	17899	1.92%	39887	1.51%
Feuillus_a_resineux	2509	1.01%	14538	2.69%	781	0.55%	8748	2.15%	7605	2.05%	12019	1.29%	46201	1.75%
Feuillus_intolerants	33	0.01%	71	0.01%		0.00%	196	0.05%		0.00%	7	0.00%	307	0.01%
Feuillus_intolerants_indetermines	2805	1.13%	11270	2.08%	791	0.56%	6626	1.63%	3540	0.95%	4700	0.50%	29733	1.12%
Feuillus_tolerants	103249	41.49%	134928	24.93%	81139	56.95%	173025	42.48%	49630	13.36%	84408	9.04%	626379	23.68%
Feuillus_tolerants_a_resineux	18191	7.31%	54697	10.11%	13185	9.25%	32161	7.90%	33138	8.92%	49918	5.35%	201290	7.61%
Cedrieres	1532	0.62%	15568	2.88%	2537	1.78%	5669	1.39%	8116	2.18%	7819	0.84%	41242	1.56%
Melezaies	88	0.04%	1361	0.25%	17	0.01%	159	0.04%	1345	0.36%	4413	0.47%	7383	0.28%
Pessieres	6439	2.59%	37294	6.89%	3019	2.12%	13395	3.29%	57008	15.35%	192590	20.63%	309744	11.71%
Pinedes_blanches	14279	5.74%	19821	3.66%	493	0.35%	7467	1.83%	4286	1.15%	2626	0.28%	48972	1.85%
Pinedes_blanches_mixtes	32966	13.25%	38869	7.18%	2013	1.41%	15114	3.71%	4800	1.29%	4558	0.49%	98321	3.72%
Pinedes_grises	333	0.13%	2699	0.50%		0.00%	3563	0.87%	4109	1.11%	21831	2.34%	32535	1.23%
Pinedes_rouges	727	0.29%	1713	0.32%	85	0.06%	691	0.17%	529	0.14%	756	0.08%	4502	0.17%
Prucheraies	1332	0.54%	1662	0.31%	11392	8.00%	1029	0.25%		0.00%		0.00%	15415	0.58%
Sapinieres	620	0.25%	11520	2.13%	780	0.55%	3648	0.90%	14642	3.94%	44276	4.74%	75485	2.85%
Resineux_a_feuillus	10731	4.31%	65912	12.18%	4362	3.06%	25677	6.30%	71435	19.23%	166686	17.85%	344803	13.04%
plant_exotiques	174	0.07%	118	0.02%	73	0.05%	525	0.13%	216	0.06%		0.00%	1106	0.04%
Indéterminé	633	0.25%	4624	0.85%	331	0.23%	3366	0.83%	6337	1.71%	11635	1.25%	26925	1.02%
(vide)	30922	12.42%	56975	10.53%	14887	10.45%	48039	11.80%	52475	14.13%	135673	14.53%	338970	12.82%
Total général	248875	100.00%	541264	100.00%	142474	100.00%	407275	100.00%	371451	100.00%	933717	100.00%	2645058	100.00%

Tableau 5. Superficies par types de forêts pour les feuillus tolérants par UA.

		07151		07152		07251		07351		07352		07451		Total hect
Grand_type	type_foret	hect	% superficies	hect	% superficies	hect	% superficies	hect	% superficies	hect	% superficies	hect	% superficies	
Feuillus_tolerants	Bj	408	0.4%	3209	2.4%	213	0.3%	2052	1.2%	3981	8.0%	13733	16.3%	23597
	BjFi	53	0.1%	1145	0.8%	24	0.0%	1562	0.9%	1434	2.9%	6331	7.5%	10549
	BjFt	10234	9.9%	25073	18.6%	3709	4.6%	23349	13.5%	15199	30.6%	24875	29.5%	102440
	BjFx	8	0.0%	2	0.0%		0.0%		0.0%		0.0%		0.0%	10
	Ch	12153	11.8%	3249	2.4%	2921	3.6%	7892	4.6%		0.0%		0.0%	26215
	CrFt	9696	9.4%	5858	4.3%	2110	2.6%	8800	5.1%	7	0.0%	39	0.0%	26510
	CrFx	227	0.2%	92	0.1%	20	0.0%	103	0.1%		0.0%		0.0%	443
	ErFt	65	0.1%	71	0.1%	47	0.1%	253	0.1%		0.0%		0.0%	435
	Es	695	0.7%	12263	9.1%	16663	20.5%	8714	5.0%	5824	11.7%	5480	6.5%	49640
	EsBj	6232	6.0%	20564	15.2%	5874	7.2%	18191	10.5%	11019	22.2%	12629	15.0%	74509
	EsFi	11639	11.3%	17503	13.0%	5564	6.9%	18448	10.7%	5150	10.4%	12476	14.8%	70780
	EsFn	322	0.3%	250	0.2%	59	0.1%	1183	0.7%		0.0%		0.0%	1814
	EsFt	43234	41.9%	32647	24.2%	33625	41.4%	68996	39.9%	4781	9.6%	4657	5.5%	187939
	EsFx	2562	2.5%	7595	5.6%	6015	7.4%	5777	3.3%	2236	4.5%	4189	5.0%	28374
	EsHg	5461	5.3%	5311	3.9%	4222	5.2%	7478	4.3%		0.0%		0.0%	22472
	Fh	0	0.0%	6	0.0%	7	0.0%	6	0.0%		0.0%		0.0%	19
FhFi	259	0.3%	88	0.1%	67	0.1%	220	0.1%		0.0%		0.0%	634	
Total		103249	100.0%	134928	100.0%	81139	100.0%	173025	100.0%	49630	100.0%	84408	100.0%	626379

Tableau 6. Superficies par types de forêts pour les feuillus tolérants à résineux par Ua.

Grand_type	type_foret	07151		07152		07251		07351		07352		07451		Total hect
		hect	% superficies											
Feuillus_tolerants_a_resineux	BjRx	5441	29.91%	27896	51.00%	4126	31.30%	15192	47.24%	21781	65.73%	32566	65.24%	107004
	ChPb	2806	15.43%	1961	3.58%	231	1.75%	911	2.83%		0.00%		0.00%	5910
	ChRx	603	3.32%	757	1.38%	235	1.78%	879	2.73%		0.00%		0.00%	2474
	CrRx	1533	8.43%	2171	3.97%	654	4.96%	1344	4.18%		0.00%	9	0.02%	5712
	ErBjRx	803	4.41%	2873	5.25%	2366	17.95%	1532	4.76%	1267	3.82%	847	1.70%	9689
	ErBjTo	229	1.26%	894	1.63%	80	0.61%	225	0.70%	138	0.42%	72	0.15%	1638
	EsBjRx	28	0.16%	18	0.03%	46	0.35%	51	0.16%		0.00%		0.00%	143
	EsRx	1621	8.91%	4068	7.44%	2698	20.46%	1656	5.15%	1739	5.25%	1303	2.61%	13085
	FhRx	524	2.88%	312	0.57%	168	1.28%	410	1.27%		0.00%		0.00%	1414
	FtRx	4600	25.29%	13747	25.13%	2559	19.41%	9961	30.97%	8213	24.78%	15120	30.29%	54201
	Plantations	1	0.01%		0.00%	19	0.15%		0.00%		0.00%		0.00%	21
Total Feuillus_tolerants_a_resineux		18191	100.00%	54697	100.00%	13185	100.00%	32161	100.00%	33138	100.00%	49918	100.00%	201290

Tableau 7. Superficies par types de forêts pour les pinèdes blanches par Ua.

Grand_type	type_foret	07151		07152		07251		07351		07352		07451		Total hect
		hect	% superficies											
Pinedes_blanches	Pb	7412	15.69%	7969	13.58%	204	8.12%	2935	13.00%	861	9.48%	408	5.67%	19788
	PbRx	6105	12.92%	9379	15.98%	197	7.88%	3916	17.34%	239	26.31%	146	20.34%	23449
	RxPb	762	1.61%	2473	4.21%	92	3.67%	616	2.73%	103	11.38%	757	10.54%	5735
	Total Pinedes_blanches	14279	30.22%	19821	33.77%	493	19.67%	7467	33.07%	4286	47.17%	2626	36.56%	48972
Pinedes_blanches_mixtes	FiFiPb	2111	4.47%	3673	6.26%	95	3.80%	2388	10.58%	580	6.38%	615	8.56%	9463
	FtFxPb	6009	12.72%	5088	8.67%	360	14.36%	1830	8.10%	396	4.36%	312	4.34%	13994
	PbCr	5403	11.44%	4339	7.39%	538	21.47%	1941	8.59%		0.00%		0.00%	12220
	PbFi	6005	12.71%	9104	15.51%	210	8.37%	4166	18.45%	147	16.28%	140	19.51%	22365
	PbFt	1033	21.87%	9015	15.36%	517	20.61%	2593	11.48%	9	3.11%	195	2.71%	22935
	PbFx	127	0.27%	82	0.14%		0.00%	23	0.10%	23	0.26%		0.00%	256
	RxPbFi	1654	3.50%	6037	10.29%	115	4.61%	1619	7.17%	176	19.39%	177	24.66%	12959
	RxPbFt	1324	2.80%	1532	2.61%	178	7.11%	554	2.45%	1	3.06%	262	3.65%	4129
Total Pinedes_blanches_mixtes	32966	69.78%	38869	66.23%	2013	80.33%	15114	66.93%	4800	52.83%	4558	63.44%	98321	
Total	47245	100.00%	58690	100.00%	2506	100.00%	22581	100.00%	9087	100.00%	7184	100.00%	147293	

3.1.2. Portrait des interventions réalisées depuis 2014

Cette section présente les superficies traitées en coupes partielles de 2014 à 2019 en Outaouais. Le fichier INTERV_FORES_PROV a été intersecté avec les UA de l'Outaouais pour les coupes partielles de 2014-2019 (date de mise à jour du fichier provincial). L'objectif de cette section est de documenter les principaux types d'intervention par grands types de forêt et types de forêt. Ceci afin de permettre de cibler des secteurs d'interventions représentatifs de ce qui se fait sur le territoire.

Les types d'intervention de coupes partielles principales de 2014 à 2019 sont des CJPG, des CPI_CP et CPI_RL.

Tableau 8. Superficie par types de coupes partielles de 2014-2019 par UA

PERTURB	07151	07152	07251	07351	07352	07451	Total général
CJPG	927.0	229.7	430.6	1589.6			3176.8
CJT	460.7			326.8			787.5
CPI_CP	2657.4	177.3	2052.0	7729.9		203.7	12820.3
CPI_RL	3633.9	771.8	494.9	6017.2	164.3	366.4	11448.5
CPR_BA	13.3					8.5	21.8
CPR_U	128.6		210.0	113.9			452.5
CPRS_BA-P					21.8	20.8	42.6
CPS				44.3			44.3
EC			97.6				97.6
EC_SEL	435.1	124.5	249.7				809.4
EJ				181.2			181.2
RECUP_C-P				15.1			15.1
Total général	8255.9	1303.4	3534.8	16017.9	186.1	599.4	29897.5

Les superficies en CJPG ont diminué depuis 2014, passant de 1026 ha en 2014 à moins de 200ha en 2019 et surtout remplacés par des CPI_CP et des CPI_RL. Les CJPG ne seront pas discutés, puisque les superficies traitées sont de plus en plus faibles.

Tableau 9. Superficie par grands types pour les CJPG de 2014-2019 par UA

PERTURB_1	Grand_type	07151	07152	07251	07351	Total général
CJPG	Betulaies_blanches	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.3%
	Betulaies_blanches_a_resineux	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.1%
	Erablieres_rouges	0.8%	0.1%	0.4%	4.4%	2.5%
	Feuillus_a_resineux	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%
	Feuillus_intolerants_indetermines	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Feuillus_tolerants	93.1%	78.7%	94.1%	87.4%	89.3%
	Feuillus_tolerants_a_resineux	2.0%	11.9%	2.7%	4.9%	4.3%
	Pessieres	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Peupleraies	0.3%	0.0%	0.6%	0.5%	0.4%
	Peupleraies_a_resineux	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	Cedrieres	0.2%	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%
	Pinedes_blanches	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%
	Pinedes_blanches_mixtes	1.4%	1.6%	1.8%	0.7%	1.1%
	Prucheraies	0.3%	0.0%	0.3%	0.0%	0.1%
	Resineux_a_feuillus	1.5%	7.3%	0.0%	0.8%	1.4%
	Sapinières	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%
	Indéterminé	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	(vide)	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%
Total CJPG		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

La CPI_CP est réalisée principalement dans les grands types feuillus tolérants et feuillus tolérants à résineux. Plus précisément, les principaux types de forêts sont Es, ESFt, EsBj, EsHg et même avec du chêne.

Tableau 10. Superficies par grands types de forêts traitées en CPI_CP de 2014 à 2019.

PERTURB_1	Grand_type	07151	07152	07251	07351	07451	Total général
CPI_CP	Betulaies blanches	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.2%	0.3%
	Betulaies blanches_a_resineux	0.0%	0.4%	0.0%	0.2%	0.8%	0.2%
	Erablières rouges	0.2%	3.0%	0.1%	1.2%	0.0%	0.8%
	Feuillus_a_resineux	0.3%	0.1%	0.0%	0.2%	0.1%	0.2%
	Feuillus_intolerants	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Feuillus_intolerants_indetermines	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Feuillus_tolerants	84.5%	70.5%	88.0%	86.9%	83.4%	86.3%
	Feuillus_tolerants_a_resineux	6.6%	17.2%	6.9%	6.8%	10.4%	7.0%
	Melezaies	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Pessières	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%
	Peupleraies	1.1%	0.2%	1.0%	1.1%	0.0%	1.0%
	Peupleraies_a_resineux	0.1%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.2%
	Cedrières	0.1%	3.0%	0.2%	1.0%	0.2%	0.7%
	Pinedes blanches	1.0%	0.9%	0.1%	0.1%	0.0%	0.3%
	Pinedes blanches_mixtes	2.8%	1.8%	0.1%	0.5%	0.0%	0.9%
	Pinedes rouges	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Prucheraies	0.9%	0.0%	2.9%	0.1%	0.0%	0.7%
	Resineux_a_feuillus	2.2%	2.6%	0.5%	1.0%	4.8%	1.3%
	Sapinières	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%
	Indéterminé	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	(vide)	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%
Total CPI_CP		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tableau 11. Superficies par principaux types de forêts traitées en CPI_CP de 2014 à 2019.

PERTURB	Grand_type	Type forêt	07151	07152	07251	07351	07451	Total général
CPI_CP	Feuillus_tolérants	Bj	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	1.5%	0.1%
		BjFi	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
		BjFt	7.9%	1.3%	1.4%	7.4%	10.1%	6.5%
		Ch	3.5%	20.0%	1.3%	1.2%	0.0%	1.9%
		CrFt	7.3%	31.6%	1.7%	2.1%	0.0%	3.5%
		CrFx	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
		ErFt	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Es	0.8%	0.0%	21.6%	5.2%	0.0%	6.8%
		EsBj	5.9%	3.9%	5.0%	11.3%	45.8%	9.7%
		EsFi	3.6%	0.0%	2.7%	3.9%	3.5%	3.6%
		EsFn	0.2%	0.0%	0.1%	0.6%	0.0%	0.4%
		EsFt	57.3%	21.2%	49.9%	48.6%	19.6%	49.8%
		EsFx	0.5%	0.0%	2.6%	2.5%	8.5%	2.2%
		EsHg	5.8%	2.3%	6.4%	9.8%	0.0%	8.2%
		FhFi	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Total Feuillus_tolerants		92.7%	80.4%	92.8%	92.8%	88.9%	92.5%
	Feuillus_tolerants_a_resineux	BjRx	3.7%	6.1%	1.2%	2.8%	8.2%	2.8%
		ChPb	0.1%	3.5%	0.0%	0.2%	0.0%	0.2%
		ChRx	0.4%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.2%
		CrRx	0.9%	2.7%	0.9%	0.1%	0.0%	0.4%
		ErBjRx	0.0%	0.0%	2.0%	1.2%	0.0%	1.1%
		ErBjTo	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%
		EsRx	1.5%	7.1%	1.4%	1.0%	0.0%	1.2%
		FhRx	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		FtRx	0.8%	0.2%	1.6%	1.6%	2.9%	1.5%
	Total Feuillus_tolerants_a_resineux		7.3%	19.6%	7.2%	7.2%	11.1%	7.5%
Total CPI_CP			100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Le tableau suivant présente les proportions de grands types en CPI_RL de 2014 à 2019. On note que le grand type feuillu tolérant, feuillu tolérant à résineux et pinèdes blanches sont les principaux. Dans les feuillus tolérants, on note que les principaux types de forêts sont ERS-FT, avec chêne (Ch, CrFt), et BjFt et EsBj). Il y a aussi 10% de EsHg dans l'Ua 07151.

Tableau 12. Superficies par grands types de forêts traitées en CPI_RL de 2014 à 2019.

PERTURB_1	Grand_type	07151	07152	07251	07351	07352	07451	Total général
CPI_RL	Betulaies_blanches	0.0%	0.1%	0.0%	1.3%	5.6%	1.2%	0.8%
	Betulaies_blanches_a_resineux	0.2%	0.7%	0.0%	1.3%	2.9%	2.1%	0.9%
	Erablieries_rouges	0.1%	1.1%	2.4%	2.7%	1.0%	0.0%	1.6%
	Feuillus_a_resineux	0.4%	1.1%	0.6%	0.5%	0.1%	0.0%	0.5%
	Feuillus_intolerants	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%
	Feuillus_intolerants_indetermines	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.3%	0.0%	0.0%
	Feuillus_tolerants	73.5%	14.1%	52.8%	60.9%	0.2%	30.4%	59.6%
	Feuillus_tolerants_a_resineux	8.1%	10.2%	22.3%	13.3%	18.5%	26.6%	12.3%
	Melezaies	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	0.0%
	Pessieres	0.1%	1.6%	1.5%	0.9%	4.8%	7.7%	1.0%
	Peupleraies	2.8%	0.4%	1.1%	4.4%	0.0%	0.0%	3.3%
	Peupleraies_a_resineux	0.0%	0.4%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.5%
	Cedrieres	0.2%	1.5%	3.2%	1.7%	0.0%	6.3%	1.4%
	Pinedes_blanches	4.2%	23.3%	0.0%	2.7%	35.9%	0.0%	4.8%
	Pinedes_blanches_mixtes	6.6%	39.5%	0.2%	5.9%	13.1%	1.2%	8.1%
	Pinedes_grises	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	1.2%	0.0%	0.2%
	Pinedes_rouges	0.1%	0.0%	0.0%	0.2%	2.7%	0.0%	0.2%
	Prucheraies	0.5%	0.0%	10.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%
	Resineux_a_feuillus	3.0%	5.6%	5.3%	2.6%	11.9%	16.2%	3.6%
	Sapinières	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	1.8%	7.3%	0.3%
	Indéterminé	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%
	(vide)	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%

Tableau 13. Superficies par types de forêts traitées en CPI_RL de 2014 à 2019.

PERTURB_1	Grand_type	type_foret	07151	07152	07251	07351	07352	07451
CPI_RL	Feuillus_tolerants	Bj	0.0%	0.0%	0.0%	1.5%	0.0%	19.1%
		BjFi	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%
		BjFt	9.4%	0.2%	4.0%	10.5%	0.1%	15.4%
		Ch	10.5%	10.3%	0.9%	7.3%	0.0%	0.0%
		CrFt	9.1%	16.8%	0.0%	6.0%	0.0%	0.0%
		ErFt	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
		Es	0.0%	0.0%	12.3%	1.5%	0.0%	0.0%
		EsBj	3.8%	0.0%	9.2%	8.6%	0.5%	8.5%
		EsFi	2.4%	13.4%	13.2%	7.5%	0.6%	3.1%
		EsFn	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%
		EsFt	44.8%	17.1%	27.2%	30.7%	0.0%	6.9%
		EsFx	0.4%	0.0%	2.6%	2.8%	0.0%	0.3%
		EsHg	9.8%	0.3%	0.9%	4.7%	0.0%	0.0%
		FhFi	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
	Total Feuillus_tolerants		90.1%	58.1%	70.3%	82.1%	1.2%	53.3%
	Feuillus_tolerants_a_resineux	BjRx	6.2%	1.5%	10.4%	8.5%	44.4%	32.4%
		ChPb	0.4%	23.2%	0.2%	0.6%	0.0%	0.0%
		ChRx	0.0%	1.4%	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%
		CrRx	0.6%	11.4%	0.0%	1.2%	0.0%	0.0%
		ErBjRx	0.4%	0.0%	8.4%	1.2%	0.0%	0.0%
		ErBjTo	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%
		EsRx	0.6%	2.2%	1.8%	0.7%	0.3%	0.0%
		FhRx	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
		FtRx	1.8%	2.1%	8.8%	4.6%	54.0%	14.3%
	Total Feuillus_tolerants_a_resineux		9.9%	41.9%	29.7%	17.9%	98.8%	46.7%
Total CPI_RL			100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Total général			100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

3.2. METHODES ET MESURES MISES EN PLACE POUR LA PROTECTION DES SOLS ET DE LA REGENERATION

Cette section présente brièvement les mesures mises en place pour limiter les impacts des opérations forestières sur les sols et la régénération.

3.2.1. RADF

La section 2.2.2 de la revue de littérature fait état de quatre articles pertinents concernant la protection des sols et de la fertilité (Solajo Couturier, communication personnelle).

Des suivis sont prévus pour la protection des sols et la régénération, mais il y a peu d'informations existantes et elles ne sont pas disponibles au MFFP pour des raisons de confidentialité. Les procédures effectives ont été récoltées auprès de deux bénéficiaires majeurs.

3.2.2. Méthode de contrôle et de suivis

Des procédures de suivi et contrôle sont établies par les industriels pour suivre les exigences du RADF.

Les bénéficiaires (BGAD) doivent détenir et fournir au MFFP une directive d'arrêt des travaux, pour obtenir l'autorisation de les débiter, selon l'exigence contractuelle supplémentaire ID#14 :

Fournir, avant le début des travaux et lors de toute mise à jour, la directive d'arrêt des travaux en cas d'impact grave sur l'environnement (orniérage sévère, détection d'une caractéristique sociale ou environnementale non répertoriée (CSENR), etc.) ou sur les parties intéressées et les autochtones.

La mise en œuvre est couverte par leur certification ISO ou CEAF qu'ils ont l'obligation de détenir selon la clause 5.3.4 de l'entente de récolte :

Détenir un certificat d'enregistrement de la norme ISO 14001 en vigueur, ou être inscrit à un programme pour l'obtention d'un tel certificat, ou détenir une attestation ou un certificat du Bureau de normalisation du Québec (BNQ) dans le cadre du programme de certification des entreprises d'aménagement forestier (CEAF).

3.2.2.1. Suivi et contrôle inscrit dans les prescriptions sylvicoles

À l'occasion, des instructions sont incluses lors du diagnostic sylvicole par le MFFP qui prescrit. Elles touchent notamment la présence de milieux humides et la présence de sols minces pour le retour des branches.

Le critère Respect de la protection de la régénération a été mis dans le gabarit de prescription du MFFP, mais le devis n'a pas été produit, faute d'une méthode de suivi pour la régénération. Il a été retiré des gabarits de DO du MFFP pour les prescriptions produites en 2021.

3.2.2.2. Procédure des industriels et obligations

Pour Plancher Lauzon (Charles St-Julien, comm. pers.)

Concernant les procédures :

- ⇒ Un guide terrain est remis à tous les travailleurs. Ces directives sont traitées oralement entre le contremaître et le travailleur et lors des inductions annuels. À la page 20, il y a une mention rapide sur l'orniérage.
- ⇒ Les formulaires PRO-446 et INS-446 pour les directives en lien avec l'orniérage.
- ⇒ Les cartes chantier des contremaîtres contiennent une couche identifiant les zones avec contraintes d'orniérage. Cette couche est générée en fonction des types de dépôt de sol.
- ⇒ Les cartes chantier des contremaîtres contiennent une couche identifiant les zones avec sol mince. Cette couche est fournie par le MFFP en lien avec l'article 46 du RADF. Cet article demande de laisser les branches en forêt pour ces zones à sol mince. Puisque leur procédé est en longueur, nous demandons aux opérateurs de rapporter la branche en forêt au fur et à mesure de l'avancement de l'ébranchage.

Concernant les résultats de suivis sur les sols, le retour des branches en forêt pour les sites sensibles

- ⇒ Selon l'article 45 du RADF, le contrôle de l'orniérage n'est à assurer que dans le cas de coupe totale.
- ⇒ Malgré tout, le contrôle de l'orniérage fait tout de même partie des saines pratiques de Lauzon et de ses consignes opérationnelles. Il se fait en grande partie par la mesure de l'espacement des sentiers (à partir de 2019). Comme pour l'après coupe, plus les sentiers sont espacés, plus l'impact de l'orniérage sera limité à l'échelle du chantier.
- ⇒ Les branches sont ramenées en forêt.

Pour Commonwealth Plywood (Christian Picard et André Fortin. Comm. pers.)

Concernant les procédures

- ⇒ CPW possède des processus – et des outils - de planification opérationnelle qui visent spécifiquement à assurer de rencontrer les exigences légales et réglementaires concernant la protection des sols.
- ⇒ Dans leur Système de Gestion environnementale (SGE), on retrouve la Procédure opérationnelle Contrôle de l'orniérage CPW-PRO-446-01-PCO, qui décrit les méthodes qui seront utilisées afin de gérer adéquatement et en conformité avec le SGE de CPW
- ⇒ Cette procédure vise à encadrer les activités de récolte afin de minimiser la dégradation des ressources pédologiques et hydriques que pourrait occasionner le phénomène d'orniérage. Le but ultime est de maintenir le niveau de productivité du territoire forestier. Elle s'applique sur l'ensemble du territoire où des activités forestières ont lieu sous la responsabilité de CPW.
- ⇒ Toute personne agissant au nom de CPW ou pour la compagnie se doit de respecter cette procédure dans les limites décrites précédemment
- ⇒ L'évaluation est faite, comme prévu au RADF, par aire de coupe totale (Procédure p.6)
 - Le contremaître terrain ou le directeur d'opérations assure le suivi de l'orniérage pour les CR en cours d'opération jusqu'à ce que la neige au sol empêche la relecture et que le sol soit gelé. Par la suite, en hiver, l'évaluation de l'orniérage peut se faire de manière oculaire si le résultat apparaît conforme, ou reporté au printemps en cas de doute. Le suivi fait en cours d'opération permet d'adapter la méthode de récolte. •
 - Un formulaire sert au suivi des sentiers de débardage et d'orniérage
 - La méthode préconisée est • Les actions prises pendant les activités de récolte pour éviter l'orniérage lorsque le contremaître est averti ainsi que celles prises lorsque le secteur est très perturbé par l'orniérage doivent être documentées.
 - C'est l'ing.f. responsable qui fait le plan de sondage et l'analyse finale des CR. L'évaluation est faite, comme prévu au RADF, par aire de coupe totale (...ne doivent pas apparaître sur plus de 25 % de la longueur des sentiers par aire de coupe totale, RADF art. 45). Le rapport d'occupation d'orniérage doit être transmis au coordonnateur environnemental.

3.3. ANALYSE DES SECTEURS D'INTERVENTION 2017-2021

Cette section présente les résultats d'analyse des secteurs d'intervention pour déterminer quels sont les facteurs ou variables qui influencent la protection des petites tiges marchandes et des sols. Suivant la revue de littérature et les discussions avec les membres du comité d'étude de l'impact des petites tiges marchandes et des sols, quelques hypothèses de travail ont été émises. Il faut noter que les analyses sont basées sur les données d'inventaire disponibles, soit les petites tiges marchandes (perches de 10-22 cm). Il n'y a pas de suivi immédiat des gaules après intervention.

3.3.1. Impact de la machinerie sur les petites tiges marchandes : hypothèses de travail pour l'analyse des secteurs d'intervention

Dans les coupes partielles de l'Outaouais, dans les peuplements retenus pour l'analyse, la protection des petites tiges marchandes est un enjeu plus présent lorsque :

1. Il y a plus de petites tiges de 10-22 cm à l'hectare;
2. Il y a plus de surface terrière à l'hectare à récolter ;
3. Quand le nombre de tiges de plus de 24 cm à récolter est plus grand
4. Dans certains traitements pour la CPIrl, parce qu'il y a plus de prélèvement de petites tiges ;
5. En lien avec le prélèvement des PTM, quand elles sont nombreuses
6. Quand il y a plus de contraintes terrain comme la pente
7. Quand le nombre de PTM de Hg à récolter est plus élevé
8. Dans certains types de peuplements (composition)
9. La densité de sentiers plus élevée entraîne plus de bris de tige
10. Pour les tiges désirées de 10-22 cm : quand la densité initiale de PTM d'essences désirées est faible, le % détruit est plus grand.

3.3.2. Méthode d'analyse

La sélection des chantiers et secteurs d'intervention s'est d'abord faite avec les fichiers de suivis d'intervention disponibles sur forêt ouverte (RATF_2018-2019.gdb ; RATF_2017-2018.gdb et RATF_2019-2020.gdb). Tous les secteurs ayant eu des CPI depuis 2017 ont été extraits de la base de données et un tableau, sous forme de fichier Excel, a été transmis aux industriels pour savoir la disponibilité des données (Lauzon, LCCPL et Forespect inc., et indirectement à Produits forestiers Résolu par l'intermédiaire de LCCPL). Les industriels ont fourni, pour les secteurs dont ils possédaient les informations, leurs bases de données et fichiers de suivis pour chacun des secteurs d'intervention. Selon l'année, différents formats de données de suivi de bois sur pied ont été fournis,

soit des fichiers de type ti_micro ou pour les secteurs plus récents, les fichiers arbres. Les secteurs conservés pour analyses sont ceux qui avaient les directives de martelage et opérationnelles complètes, le rapport d'exécution, la base de données du suivi des tiges et la localisation des placettes. Les fichiers ont été combinés ensemble et pour chacune des placettes, les surfaces terrières et tiges à l'hectare par classe de DHP (10-22 cm ; 24 cm et plus ; total), Essences/groupes d'essences ont été compilées. Les valeurs pour les tiges initiales, coupes prévues et résiduelles prévues selon les modalités de martelage et opérationnelles, les tiges coupées réelles, les tiges résiduelles réelles, les tiges coupées/renversées excédentaires ont été compilé pour chacune des placettes en fonction des directives opérationnelles.

Les mesures de suivis utilisées sont le nombre de tiges résiduelles, la proportion de petites tiges renversées/coupées non prévue, le pourcentage de blessures. Les informations ont également été extraites des rapports d'exécution en fonction du type opérationnel (martelage, industriel, modalités particulières de récolte de petites tiges marchandes), et plusieurs variables plus générales compilées sur l'ensemble des secteurs d'interventions.

Également, un portrait par analyse des données d'inventaire par type de forêt vs différentes variables a aussi été réalisé : les informations des peuplements écoforestiers ont été extraites pour les secteurs d'intervention et pour les placettes de suivi.

Impact des sentiers : pour évaluer l'impact des sentiers sur la protection des petites tiges marchandes, trois approches ont été utilisées, soit en analysant les relevés GPS pour quelques chantiers, en analysant les données fournies par les industriels des mesures de sentiers et par placette et info tiges de sentier lorsque disponibles. La méthode utilisée est décrite dans la section.

Les analyses statistiques ont été réalisées dans SAS 9.4. Pour la comparaison de variables catégoriques (exemple : industriel, type d'intervention,) des Anovas ont été réalisées. Pour l'évaluation de relations avec des variables continues ou en interactions avec des variables catégoriques, des régressions linéaires simples ont été utilisées. Pour toutes les analyses, le seuil de signification retenue est de 0.05.

3.3.3. Secteurs d'interventions retenus

Cette section analyse les données de suivis dans divers chantiers afin de documenter les éléments sensibles des impacts de la récolte sur les sols et la régénération. Dans l'unité d'aménagement (UA 07151), les secteurs d'interventions de 124 chantiers pertinents de 2017 à 2020, dans les CPicp, les CPirl-3i et les Cpirl-2i, ont été retenus.

Le tableau 14 présente les chantiers et nombre de secteurs d'intervention utilisés pour analyses. Au total, il y a des chantiers dans toutes les UA. Les chantiers ont été récoltés de 2017 à 2021. Il y a un total de 40 chantiers et 124 secteurs d'interventions qui ont été utilisés pour les analyses. Les secteurs d'intervention retenus sont ceux pour lesquelles toutes les données étaient disponibles et utilisables (données d'inventaires de suivi et géolocalisation des placettes). Les données de suivi des rapports d'exécutions ont été compilées ainsi que les données d'inventaire de suivi (fichier ti_micro ou arbre).

Tableau 14. Nombre de chantiers et secteurs d'interventions utilisés dans les analyses

UA	Nombre de CHANTIERS	Nombre de secteurs d'intervention		
		CPI_CP-ENS_U	CPI_RL-2I_ENS	CPI_RL-3I_ENS
07151	10	15	8	7
07152	3	4		6
07251	6	9		4
07351	21	47	4	20
Total général	40	75	12	37

Tableau 15. Liste des secteurs d'interventions retenus pour analyse

NO_UA	CHANTIER	CPI_CP-ENS_U	CPI_RL-2I_ENS	CPI_RL-3I_ENS	Total général
07151	BEAUREGARD	2		2	4
	BRYSO	1		1	2
	DEER_B		1		1
	DUMONT	1		1	2
	HARTY	1	6		7
	LANDON	1		1	2
	LOUTRE			2	2
	MCGILLIVRAY_C	2	1		3
	SINCLAIR	6			6
	TODD	1			1
Total 07151		15	8	7	30
07152	FRILEUX	1		1	2
	NAGARD	1		1	2
	USBORNE_SUD	2		4	6
Total 07152		4		6	10
07251	BATAWA			1	1
	CALLIER	1			1
	FOURCHE	2		2	4
	PETIT_SAINTE-AMOUR	2		1	3
	PORTELANCE	3			3
	ROGERS	1			1
Total 07251		9		4	13
07351	BUCOLIQUE-NORD	5			5
	CLUCK	1		3	4
	CROTCH	1			1
	ELMER	1			1
	FRANCOIS_1	8	2		10
	GAGAMO			2	2
	LAIRD_4	6		1	7
	LOUP_2	1		1	2
	MANCELLE	2		1	3
	MARCHAND			1	1
	MARY	5			5
	NOE	1		1	2
	OBUS	1		2	3
	ONCE	2		1	3
	PAIR_2			2	2
	PETIT_SAVARY	3		2	5
	QUINN	3	2		5
	QUINN_3	3			3
	TRUDEL	1			1
	TRUDEL_2	1		2	3
WILLARD	2		1	3	
Total 07351		47	4	20	71
Total général		75	12	37	124

3.3.3.1.

3.3.3.2. Description des modalités de récolte à l'étude

Les modalités de récoltes des différents secteurs ont été déterminées à partir des directives de martelage et des directives opérationnelles. Le tableau 16 présente le nombre de secteurs d'intervention selon le type de modalité de récolte.

Les CPI_CP-ENS_U sont toutes martelées négativement. Ceci indique que les tiges à récolter sont marquées d'un trait, souvent orange ou rose, qui indique à l'opérateur d'abatteuse les tiges qui doivent être récoltées. Pour certains secteurs, des directives lors des opérations pour récolter des essences non désirées telles que le HEG ou d'autres feuillus sont ajoutées. Parmi les secteurs analysés, 31 sur 75 ont des directives particulières pour récolter les tiges de HEG de 10-22 cm de DHP. Pour la majorité des secteurs, le SAB de 10 ou 16 cm non martelé est à récolter (70 secteurs sur 75 secteurs).

Pour les CPI_RL-2I_ENS, la majorité des secteurs sont martelés positivement. Ceci signifie que des tiges prioritaires à conserver sont martelées d'une couleur différente, généralement en bleues. Ces tiges ne doivent pas être récoltées lors des opérations. Des directives opérationnelles sont ensuite fournies pour récolter les tiges non martelées selon les essences et les DHP. Il y a 2 secteurs de martelés négativement. On note que pour 10 des 12 secteurs, la récolte des tiges de HEG de 10-22 cm est donnée et que pour les 2 autres secteurs, les feuillus intolérants de 10-22 cm sont à récolter.

Pour les CPI_RL-3I_ENS, la majorité des secteurs sont martelés positivement. Il y a 3 secteurs de martelés négativement. On note que pour 23 des 37 secteurs, la récolte des tiges de HEG de 10-22 cm est donnée et que pour 6 autres secteurs, les feuillus intolérants de 10-22 cm sont à récolter. Il y a également un secteur sans martelage qui a été réalisé.

Tableau 16. Type de modalité de récolte par traitement.

Martelage	DO de Récolte de feuillus 10-22 cm	CPI_CP-ENS_U	CPI_RL-2I_ENS	CPI_RL-3I_ENS	Total général
Négatif	HEG1016cm	31	2	3	36
	non	44			44
Total Négatif		75	2	3	80
Positif	FI1016		2	6	8
	HEG1016cm		8	20	28
	non			7	7
Total positif			10	33	43
Aucun	non			1	1
Total général		75	12	37	124

3.3.4. Critères de suivi

Lors des opérations de récolte, plusieurs critères doivent être suivis et respectés selon les prescriptions et directives opérationnelles. En général, il y a le taux de prélèvement, le respect du martelage ou des directives de récolte (la récolte des tiges prévues et la protection des tiges non prévues à la récolte), le pourcentage de tiges blessées, le pourcentage d'arbre de moins de 24 cm non prévus à la récolte qui sont protégés. Selon les prescriptions, il peut y avoir des mesures de largeur et d'espacement de sentiers à respecter pour limiter l'impact sur les sols et la régénération.

Il y a aussi certaines mesures de protection de la régénération indiquées dans les directives de récolte. Par exemple, de protéger 60% des gaules d'essences désirées. Il ne semble y avoir de données de suivis disponibles pour cette mesure par contre.

Plusieurs autres mesures d'harmonisation sont également mises en place, mais ne seront pas présentées ici.

Le critère de protection des petites tiges marchandes (10-22 cm), que nous pouvons considérer comme de la haute régénération sera étudié plus en détail ici. Le seuil utilisé pour les suivis opérationnels est un maximum de 25% de tiges de 10-22 cm non prévues à la récolte qui sont soit coupées ou renversées. Dans le cas de secteur avec des directives opérationnelles de récolte de tiges non martelées, une latitude est généralement accordée quant au DHP mesuré, soit en général de 2 cm. L'objectif de ce critère est de protéger les tiges qui vont constituer le peuplement futur. En général, ce sont les tiges d'essences désirées qui sont à protéger et comptabilisées dans ce calcul, mais ce n'est pas toujours le cas selon les secteurs d'intervention. Le tableau 17 présente un sommaire des résultats. On note que plusieurs secteurs étaient limites ou au-delà de seuil de 25%, et ce, surtout pour l'industriel #2. Au total, sur les 124 secteurs d'intervention compilés, 28 (23%) sont au-delà du critère de 25% et 50 (40%) au-delà de 20%. Au niveau des rapports d'exécution, on ne note pas de différences entre le nombre de secteurs dépassant le seuil si les modalités de récolte prévoyaient la récolte de petites tiges de HEG ou de feuillus.

Pour l'industriel 2, la proportion de secteurs dépassant le seuil de 25% est supérieure dans la modalité de récolte de HEG pour la CPI_CP où 35% des secteurs dépassent le seuil par rapport à 20%. Ceci indique que selon les calculs réalisés dans les rapports d'exécution, il y a des secteurs avec une proportion importante de petites tiges marchandes détruites, mais n'indique pas la quantité restante de petites tiges d'essences désirées. Cependant, le projet n'est pas d'analyser spécifiquement les résultats des rapports d'exécution, mais de déterminer l'impact des opérations sur la protection des tiges

désirées et de déterminer ce qui influence la destruction ou la protection des petites tiges marchandes d'essences désirées.

La suite ne fera plus un lien direct avec les rapports d'exécution, mais avec les compilations réalisées à partir des données d'inventaires. Un portrait est d'abord fait avec le nombre de tiges 10-22 cm par type de traitement et le nombre à récolter selon les modalités de traitement.

Tableau 17. Fréquence des secteurs d'intervention selon la classe de pourcentage de petites tiges détruites

TY_TRAIT2	p1022cm_pl25%	Indus 1		Indust 2		Indust 3		Total	
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	Total %
CPI_CP-ENS_U	>25%		0%	14	26%		0%	14	19%
	20-25%	1	5%	10	19%	1	50%	12	16%
	15-20%	4	20%	14	26%		0%	18	24%
	10 - 15 %	4	20%	11	21%		0%	15	20%
	< 10 %	11	55%	4	8%	1	50%	16	21%
Total CPI_CP-ENS_U		20	100%	53	100%	2	100%	75	100%
CPI_RL-2I_ENS	20-25%	1	11%	1	33%			2	17%
	15-20%	2	22%		0%			2	17%
	10 - 15 %	3	33%	1	33%			4	33%
	< 10 %	3	33%	1	33%			4	33%
Total CPI_RL-2I_ENS		9	100%	3	100%			12	100%
CPI_RL-3I_ENS	>25%	1	9%	13	52%			14	38%
	20-25%	1	9%	5	20%			6	16%
	15-20%	1	9%	2	8%			3	8%
	10 - 15 %	5	45%	3	12%			8	22%
	< 10 %	3	27%	2	8%	1	100%	6	16%
Total CPI_RL-3I_ENS		11	100%	25	100%	1	100%	37	100%
Total général		40	100%	81	100%	3	100%	124	100%

Tableau 18. Fréquence des secteurs d'intervention selon la classe de pourcentage de petites tiges détruites et modalités de récoltes des petites tiges

TY_TRAIT2	Do 10-22 cm	p1022cm_pl25%2	Indus 1		Indust 2		Indust 3		Total Nombre	Total %
			Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%		
CPI_CP-ENS_U	HEG et FI 10 cm plus	>25%		0%	8	35%			8	26%
		20-25%		0%	3	13%			3	10%
		<20 %	8	100%	12	52%			20	65%
	Total HEG et FI 10 cm plus		8	100%	23	100%			31	100%
	NON	>25%		0%	6	20%		0%	6	14%
		20-25%	1	8%	7	23%	1	50%	9	20%
		<20 %	11	92%	17	57%	1	50%	29	66%
	Total (vide)		12	100%	30	100%	2	100%	44	100%
	Total CPI_CP-ENS_U			20		53		2	75	
	CPI_RL-2I_ENS	HEG et FI 10 cm plus	20-25%	1	11%	1	33%		0%	2
<20 %			8	89%	2	67%		0%	10	83%
Total HEG et FI 10 cm plus		9	100%	3	100%		0%	12	100%	
Total CPI_RL-2I_ENS			9	23%	3	4%		0%	12	10%
CPI_RL-3I_ENS	HEG et FI 10 cm plus	>25%	1	9%	9	50%		0%	10	34%
		20-25%	1	9%	5	28%		0%	6	21%
		<20 %	9	82%	4	22%		0%	13	45%
	Total HEG et FI 10 cm plus		11	100%	18	100%		0%	29	100%
	NON	>25%		0%	4	57%		0%	4	50%
		<20 %		0%	3	43%	1	100%	4	50%
	Total (vide)			0%	7	100%	1	100%	8	100%
Total CPI_RL-3I_ENS			11		25		1	37		
Total général			40		81		3	124		

3.3.5. Portrait des petites tiges marchandes

La figure 5 présente le nombre de tiges de 10-22 cm total et de HEG initial et prévu à la coupe par industriel et type de modalités de traitements et de directives opérationnelles pour la récolte de petites tiges. On note que le nombre de petites tiges marchandes initiales est assez variable ainsi que le nombre à récolter qui peut être assez élevé avec des valeurs de plus de 200 tiges à l'hectare.

Une première analyse générale a été réalisée par industriel et traitement de récolte pour déterminer si des différences significatives étaient observées. Pour l'industriel 1, des analyses comparant la récolte de petites tiges ou non ont été faites pour la CPIcp seulement puisque les autres types de CPI ont tous la modalité de récolte des petites tiges de HEG. Pour la CPIcp, on note des différences significatives pour le nombre de tiges 10-22 cm prévus à la récolte et récoltés pour les feuillus et le HEG qui sont significativement plus élevés dans la modalité de récolte des petites tiges non désirées (tableau 19), ce qui est normal puisque la modalité le prévoyait.

Pour l'industriel 2, plusieurs différences sont observées pour la CPIcp avant traitement ; la moyenne des secteurs avec intervention de récolte dans les petites tiges a moins de tiges résineuses, plus de HEG et moins d'essences désirées (tableau 20). Pour la récolte prévue et récoltée, le nombre de tiges de HEG est supérieur dans la modalité de récolte des petites tiges marchandes. Il y a également un nombre de tiges coupées renversées excédentaire supérieur dans la modalité sans récolte des petites tiges marchandes. Pour la CPIrl-3i, peu de différences significatives sont observées, dû à une grande variabilité. Il y a plus de petites tiges feuillues récoltées dans la modalité de récolte de petites tiges (tableau 21).

La compilation des tiges renversées coupées a été recalculée pour chaque secteur d'intervention en divisant le nombre de tiges coupées/renversées excédentaire sur le nombre de tiges résiduelles prévues. Les tiges résiduelles prévues correspondent aux tiges non prévues à la coupe, soit à cause d'un DHP ou de l'essence. Par exemple, si la directive opérationnelle est de récolter tous les HEG de 10 cm et plus et tous les SAB de 10cm et plus, le nombre de tiges 10-22 cm résiduelles prévues égale le nombre de tiges 10-22 cm initiales – le nombre de tiges 10-22 cm de récolte prévue. Le présent calcul est donc fait sur les tiges résiduelles prévues et non sur le nombre de tiges résiduelles réelles, qui peut parfois être supérieur au nombre prévu, car des petites tiges à récolter n'ont pas été récoltées.

De plus, le même calcul a été réalisé pour les tiges d'essences désirées. Les essences désirées exclues le SAB, ERR, BOP, OSV, Peupliers, MEL et le PIG. Les tiges désirées vigoureuses représentent les tiges d'essences désirées qui sont classées C ou R avec le système de classification MSCR. Leur portrait est présenté à la figure 6.

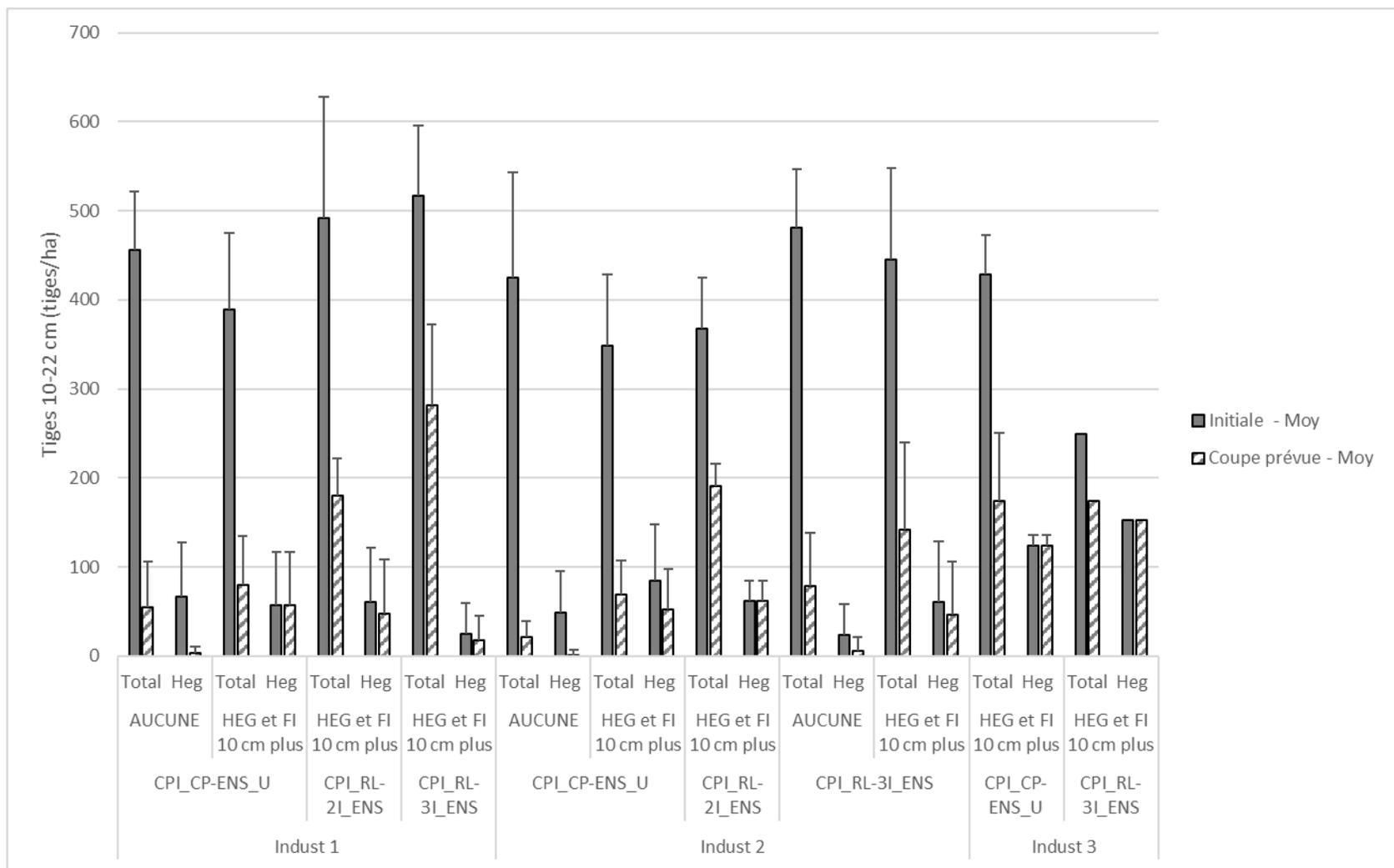


Figure 5. Densité moyenne de petites tiges marchandes par industriels et traitements de récolte

Tableau 19. Résultats d'analyses de comparaison entre les modalités de récolte de petites tiges marchandes pour la CPIcp de l'industriel 1.

Industriel 1 - CPIcp-ENS	Modalités de récolte de petites tiges marchandes						
	AUCUNE			HEG et FI 10 cm plus			
	ESSENCE	Est	IC	DIF	Est	IC	DIF
Initiale	Total	456	45		389	55	
	Feuillus	321	40		300	49	
	Résineux	135	36		90	44	
	HEG	66	37		57	45	
	Essences désirées	185	32		202	39	
	Désirées vigoureuses	153	30		159	36	
Récolte prévue	Total	54	32		80	39	
	Feuillus	7	23	B	58	29	A
	Résineux	48	24		22	29	
	HEG	4	23	B	57	28	A
	Essences désirées	0	1		0	1	
	Désirées vigoureuses	0			0		
Récoltées	Total	88	27		112	33	
	Feuillus	39	19	B	82	24	A
	Résineux	49	22		30	27	
	HEG	10	18	B	49	22	A
	Essences désirées	22	8		31	10	
	Désirées vigoureuses	17	8		20	10	
Coupées/renversées excédentaires	Total	52	14		46	17	
	Feuillus	34	10		33	12	
	Résineux	18	8		13	10	
	HEG	7	4	A	0	5	B
	Essences désirées	22	8		30	10	
	Désirées vigoureuses	17	8		20	10	

Tableau 20. Résultats d'analyses de comparaison entre les modalités de récolte de petites tiges marchandes pour la CPIcp de l'industriel 2.

		Modalités de récolte de petites tiges marchandes						
		AUCUNE			HEG et FI 10 cm plus			
Industriel 2 - CPIcp-ENS		ESSENCE	Est	IC	DIF	Est	IC	DIF
Initiale	Total		425	38	A	349	45	B
	Feuillus		338	34		296	39	
	Résineux		86	21	A	53	25	B
	HEG		49	20	B	84	23	A
	Essences désirées		244	24	A	174	28	B
	Désirées vigoureuses		194	24	A	144	28	B
Récolte prévue	Total		21	10	B	70	12	A
	Feuillus		2	11	B	54	13	A
	Résineux		19	6		16	7	
	HEG		2	11	B	53	13	A
	Essences désirées		0	0		0	0	
	Désirées vigoureuses		0	0		0	0	
Récoltées	Total		102	16		109	19	
	Feuillus		70	14		85	16	
	Résineux		32	10		24	12	
	HEG		12	8	B	42	10	A
	Essences désirées		46	10		37	11	
	Désirées vigoureuses		32	9		29	11	
Coupées/renversées excédentaires	Total		87	15	A	61	17	B
	Feuillus		68	12	A	49	14	B
	Résineux		19	7		11	8	
	HEG		11	4		7	5	
	Essences désirées		45	10		37	11	
	Désirées vigoureuses		32	9		29	11	

Tableau 21. Résultats d'analyses de comparaison entre les modalités de récolte de petites tiges marchandes pour la CPIrl_3i de l'industriel 2.

Industriel 2 - CPIrl_3i	Modalités de récolte de petites tiges marchandes						
	AUCUNE (6)				HEG et FI 10 cm plus (19)		
	ESSENCE	Est	IC	DIF	Est	IC	DIF
Initiale	Total	482	81		445	46	
	Feuillus	256	79		324	44	
	Résineux	225	66	A	121	37	B
	HEG	23	53		61	30	
	Essences désirées	185	63		199	36	
	Désirées vigoureuses	145	56		156	32	
Récolte prévue	Total	78	77		141	43	
	Feuillus	13	61		72	34	
	Résineux	65	50		69	28	
	HEG	6	45		47	25	
	Essences désirées	3	28		10	15	
	Désirées vigoureuses	1	21		8	12	
Récoltées	Total	156	61		180	34	
	Feuillus	59	40	B	114	23	A
	Résineux	96	46		65	26	
	HEG	6	31		38	17	
	Essences désirées	28	24		53	13	
	Désirées vigoureuses	15	20		35	11	
Coupées/renversées excédentaires	Total	103	43		80	24	
	Feuillus	52	36		67	20	
	Résineux	51	20	A	13	11	B
	HEG	1	11		5	6	
	Essences désirées	26	25		50	14	
	Désirées vigoureuses	14	21		33	12	

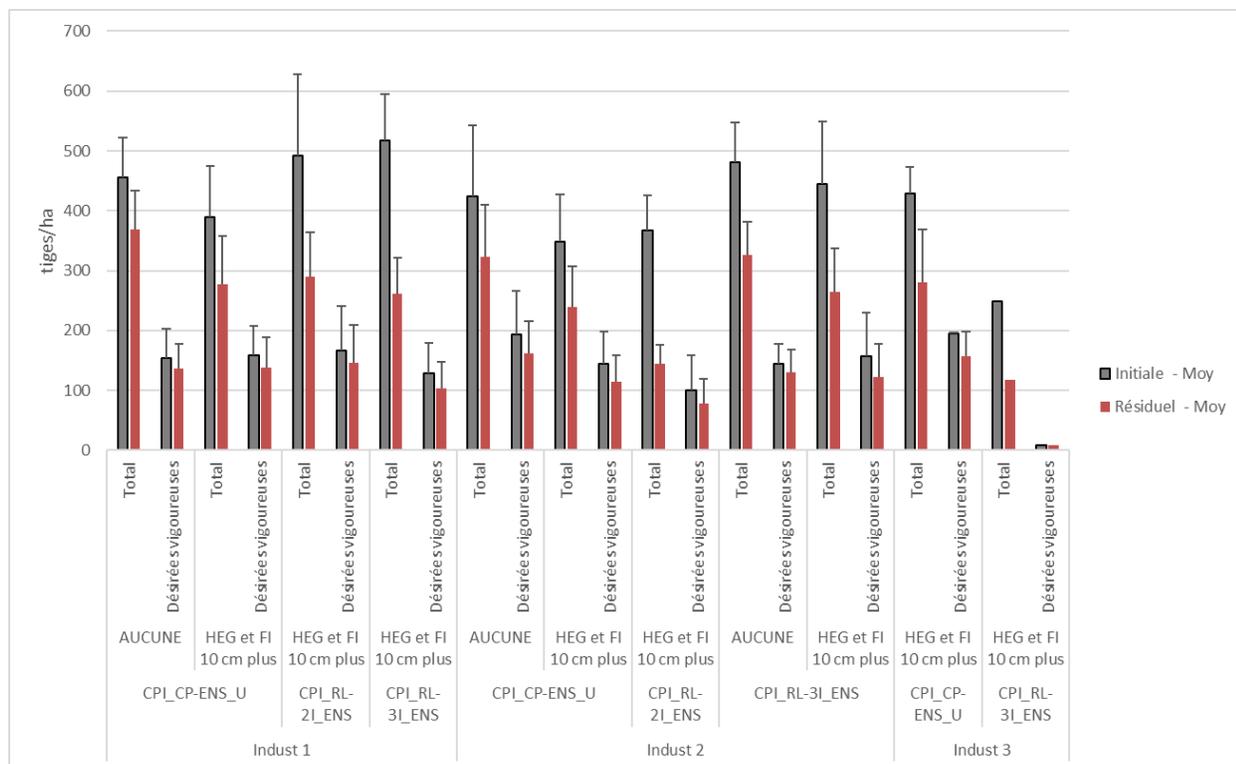


Figure 6. Densité moyenne de petites tiges marchandes totales et désirées vigoureuses par industriels et traitement de récolte initial et après la récolte.

La figure 7 présente les proportions de petites tiges renversées et coupées par traitement et industriels.

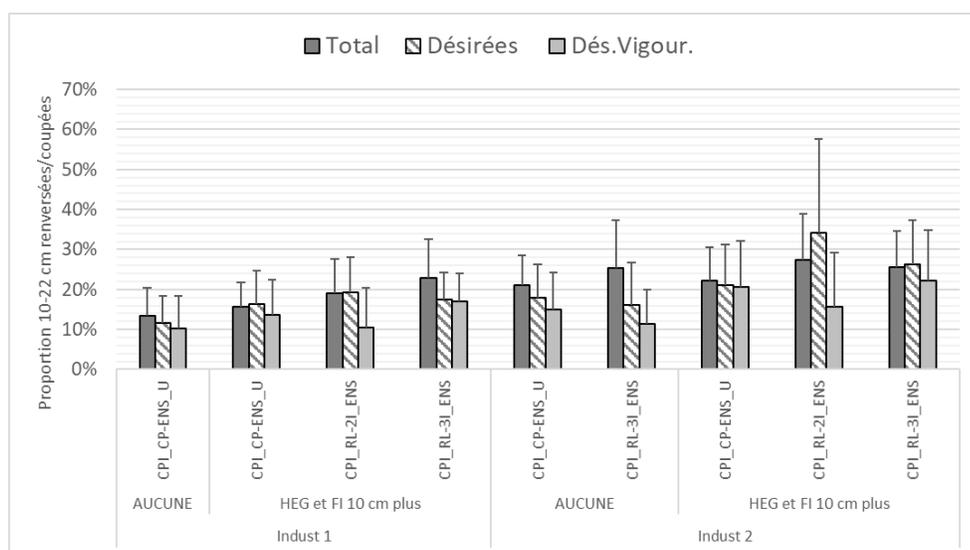


Figure 7. Proportions moyennes de petites tiges marchandes renversées et coupées non prévues par industriels et traitement de récolte.

La proportion de petites tiges détruites est significativement supérieure dans le traitement avec récolte des PTM pour l'ensemble des essences et les essences désirées pour l'industriel 1, et uniquement pour les essences désirées pour l'industriel 2 (tableau 22).

Pour une même modalité de récolte de PTM, une comparaison a été réalisée entre les deux industriels. On note une proportion de tiges détruites supérieures pour l'industriel 2 par rapport à l'industriel 1 (tableau 23).

Tableau 22. Résultats d'analyses des proportions de petites tiges détruites selon la modalité de récolte

		Récolte de HEG + FI de 10 cm et plus					
		AUCUNE			HEG et FI 10 cm plus		
industriel	ESSENCE	Est	IC	Dif	Est	IC	Dif
Industriel 1	Total	13.3%	4.8%	B	19.6%	3.1%	A
	Désirées	11.7%	4.3%	B	17.7%	2.8%	A
	Désirées vigoureuses	10.3%	5.0%		13.9%	3.3%	
Industriel 2	Total	21.9%	2.9%		23.9%	2.6%	
	Désirées	17.6%	3.5%	B	24.2%	3.2%	A
	Désirées vigoureuses	14.4%	3.6%	B	20.9%	3.3%	A

Tableau 23. Résultats d'analyses des proportions de petites tiges détruites entre les industriels selon la modalité de récolte

ESSENCE	Modalité PTM	Indust 1			Indust 2		
		Est	IC	Dif	Est	IC	Dif
Total	AUCUNE	13.3%	4.6%	B	21.9%	2.7%	A
	HEG et FI 10 cm plus	19.6%	3.3%	B	23.9%	2.7%	A
Désirées	AUCUNE	11.7%	4.8%	B	17.6%	2.7%	A
	HEG et FI 10 cm plus	17.7%	3.9%	B	24.2%	3.2%	A
Désirées vigoureuses	AUCUNE	10.3%	5.1%		14.4%	3.0%	
	HEG et FI 10 cm plus	13.9%	4.1%	B	20.9%	3.3%	A

Les relations entre le nombre de tiges détruites et différentes variables ont été testées. Au global, il y a une relation significative entre le % de PTM détruite et la récolte totale (m^2/ha , tiges/ha) et le % de récolte totale de m^2/ha et de tiges/ha), mais cette relation est faible ($R^2=0.24-0.26$)(figure 8 et figure 9). Il n'y a pas d'interaction significative entre la surface terrière récoltée et l'industriel. On note sur les figures les intervalles de confiances du modèle qui sont élevés. Il n'y a aussi pas d'interaction entre la modalité de récolte de PTM et les PTM détruites et la surface terrière récoltée et tiges à l'hectare récoltées. Les relations avec la récolte des tiges de 24cm et plus seulement ne s'est pas avérée significative. En termes de petites détruites par hectare, la relation avec la surface terrière récoltée est significative, mais très faible (figure 10). Une interaction significative a été notée entre la modalité de récolte et le pourcentage de tiges récoltées pour le pourcentage de PTM détruites (figure 9c), avec des relations significatives pour la CPI_CP et CPI_CP_HEG. La pente est plus élevée pour la CPI_CP (0.854) que pour la CPI_CP avec modalités de récolte de HEG (0.7513).

Aucune relation significative n'a été trouvée pour le pourcentage ou nombre de tiges détruites et la récolte prévue des 10-22 cm (figure 12) ainsi qu'avec la proportion de tiges 10-22cm réellement récoltée sur la récolte prévue (figure 13).

Au niveau des tiges d'essences désirées détruites, il y a des relations significatives par rapport à la surface terrière totale et tiges à l'hectare récoltées, mais les relations est faiblement expliquée (figure 14 et figure 11a). Pour la proportion de tiges à l'hectare récoltées, il y a des relations significatives pour les CPI_CP seulement (figure 11b). Aucune relation significative avec les tiges 10-22 cm prévues à la récolte n'a été observée et aucune relation significative n'a été observée avec la proportion de petites désirées détruites et le nombre de petites tiges désirées initiales (figure 15). On note une relation significative et positive entre le nombre de tiges désirées résiduelles et le nombre de tiges désirées initiales (figure 15c). Par contre, outre la destruction des tiges désirées, c'est la quantité dans le peuplement qui est importante pour la croissance du peuplement futur. Il ne semble pas y avoir de nombre exact nécessaire défini dans la littérature, car ça dépend de plusieurs facteurs, dont l'objectif de production désiré et le nombre de tiges/volume désiré à maturité. Par contre, l'idéal est d'en conserver le plus possible. Le rapport du CIMTOFF (Saucier et coll. 2014) recommande de maintenir le plus possible les perches feuillues de qualité, car leurs analyses révèlent l'importance pour la production de bois d'œuvre futur dans les 24-40cm. Selon leur équation, pour avoir 4,6 m^2/ha de CFC d'essences désirées feuillus de 24-44cm, il faut maintenir 1,9 m^2/ha de perches d'essences désirées de qualité dans la CPI_CP pour avoir des tiges dans les 24 cm et plus à la prochaine rotation. Donc, en visant au moins 2 m^2/ha de perches désirées vigoureuses après intervention, on pourrait s'assurer d'augmenter la chance d'avoir des bois de qualité dans le futur. Une surface terrière de 2 m^2/ha correspond à 257 pour 10cm, 178 pour 12 cm, 131 pour 14 cm, 79 pour 18 cm et 53 pour 22 cm. La figure 16 présente les relations entre les tiges d'essences désirées résiduelles et les tiges d'essences désirées initiales. Les relations sont similaires à celle pour l'ensemble des tiges

désirées. En supposant un critère minimal de $2\text{m}^2/\text{ha}$ de tiges d'essences désirées vigoureuses résiduelles, on note que plusieurs secteurs d'intervention n'atteignent pas ce seuil et plusieurs ne l'atteignaient pas initialement non plus. Il reste à se demander si le critère de protection des petites tiges devrait s'appliquer lorsque l'objectif est de produire beaucoup de bois d'œuvre de qualité si le seuil de $2\text{m}^2/\text{ha}$ n'est même pas présent avant intervention. Par contre, même si le seuil de $2\text{m}^2/\text{ha}$ initial n'est pas présent, la protection des perches peut avoir d'autres fonctions comme le maintien d'attributs pour la faune. De plus, dans certains cas, la protection des petites tiges pourrait permettre de protéger la régénération en place. Un exercice a été réalisé dans lequel chaque secteur d'intervention a été classé en fonction de la surface terrière d'essences désirées vigoureuses avant et après intervention (tableau 24), soit la classe de $2\text{m}^2/\text{ha}$ initiale et $2.5\text{m}^2/\text{ha}$ initiale (cette dernière représente 25% de plus que le 2m^2 pour choisir un minimum si on suppose que de façon aléatoire, 25% des tiges pourraient être détruites par les sentiers. On note que la proportion de secteurs avec plus de $2\text{m}^2/\text{ha}$ d'essences vigoureuses de 10-22cm est assez variables, mais supérieure à 80% pour la plupart des cas, à l'exception de la CPIrl_3i de l'industriel 1 qui possède seulement 55% des secteurs initiaux avec plus de $2\text{m}^2/\text{ha}$ et pour l'industriel 2, la CPI_CP avec récolte de HEG est à 73% et la CPI_RL_2i avec récolte de HEG est à 67%. Pour les proportions de secteurs avec plus de $2.5\text{m}^2/\text{ha}$, les proportions diminuent davantage. Parmi les secteurs d'interventions après intervention qui avait initialement $2.0\text{m}^2/\text{ha}$ (85% des secteurs), la majorité (85%) des secteurs ont plus de $2\text{m}^2/\text{ha}$ après intervention. On note des valeurs inférieures à 80 % pour les CPIRL_3i avec modalité de récolte de HEG de l'industriel 2. Parmi les secteurs d'interventions après intervention qui avait initialement $2.5\text{m}^2/\text{ha}$ (60% des secteurs), la majorité (99%) des secteurs ont plus de $2\text{m}^2/\text{ha}$ après intervention. L'objectif de cette démarche n'est pas de déterminer le seuil minimal acceptable, mais plutôt de démontrer que peut-être certains secteurs n'ont pas suffisamment de tiges vigoureuses désirées avant intervention pour évaluer leurs pertes après intervention.

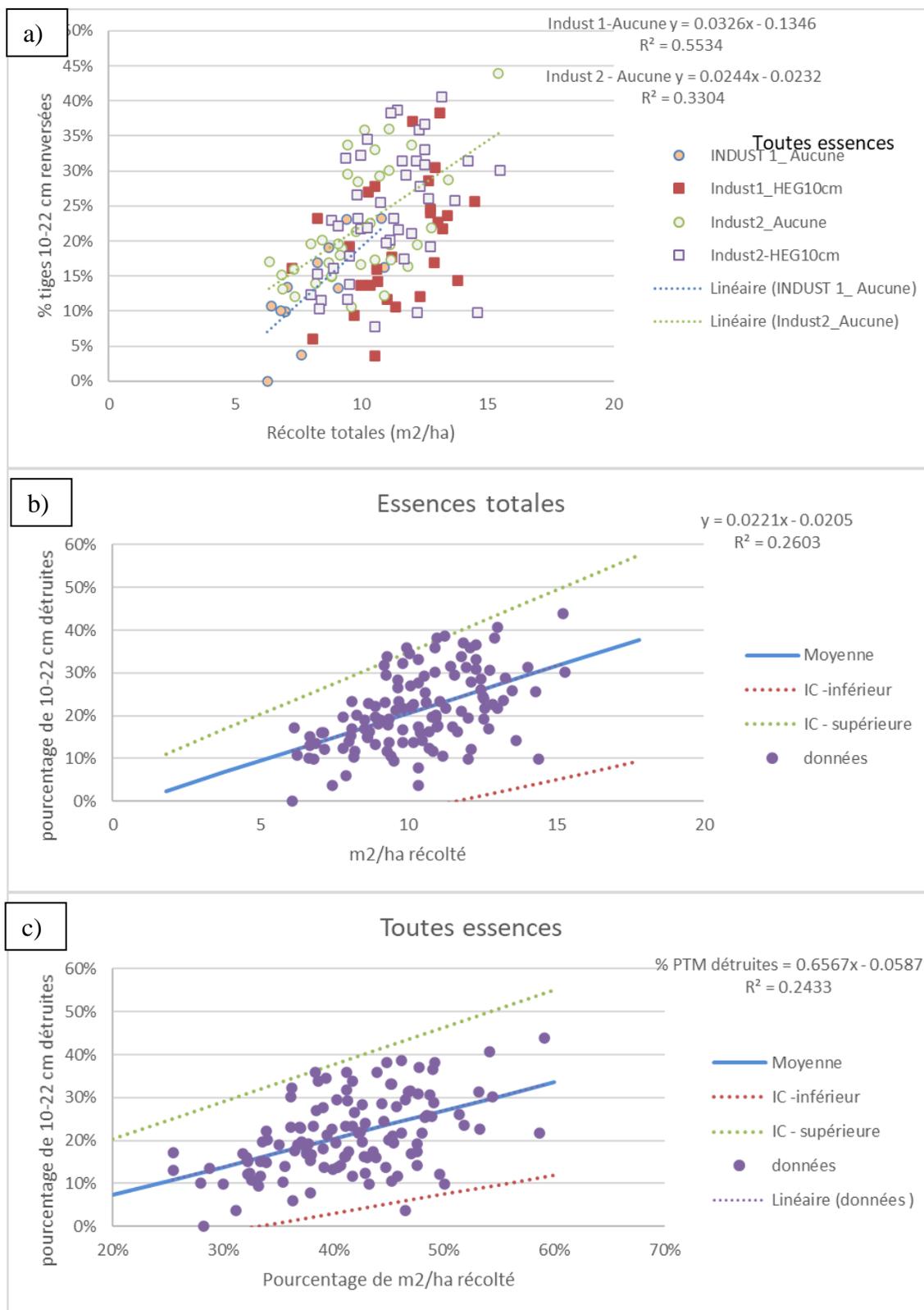


Figure 8. Relations entre le pourcentage de petites tiges détruites et a) la surface terrière totale récoltée par industriel et modalités, b) au global par surface terrière récoltée et c) la proportion de surface terrière récoltée.

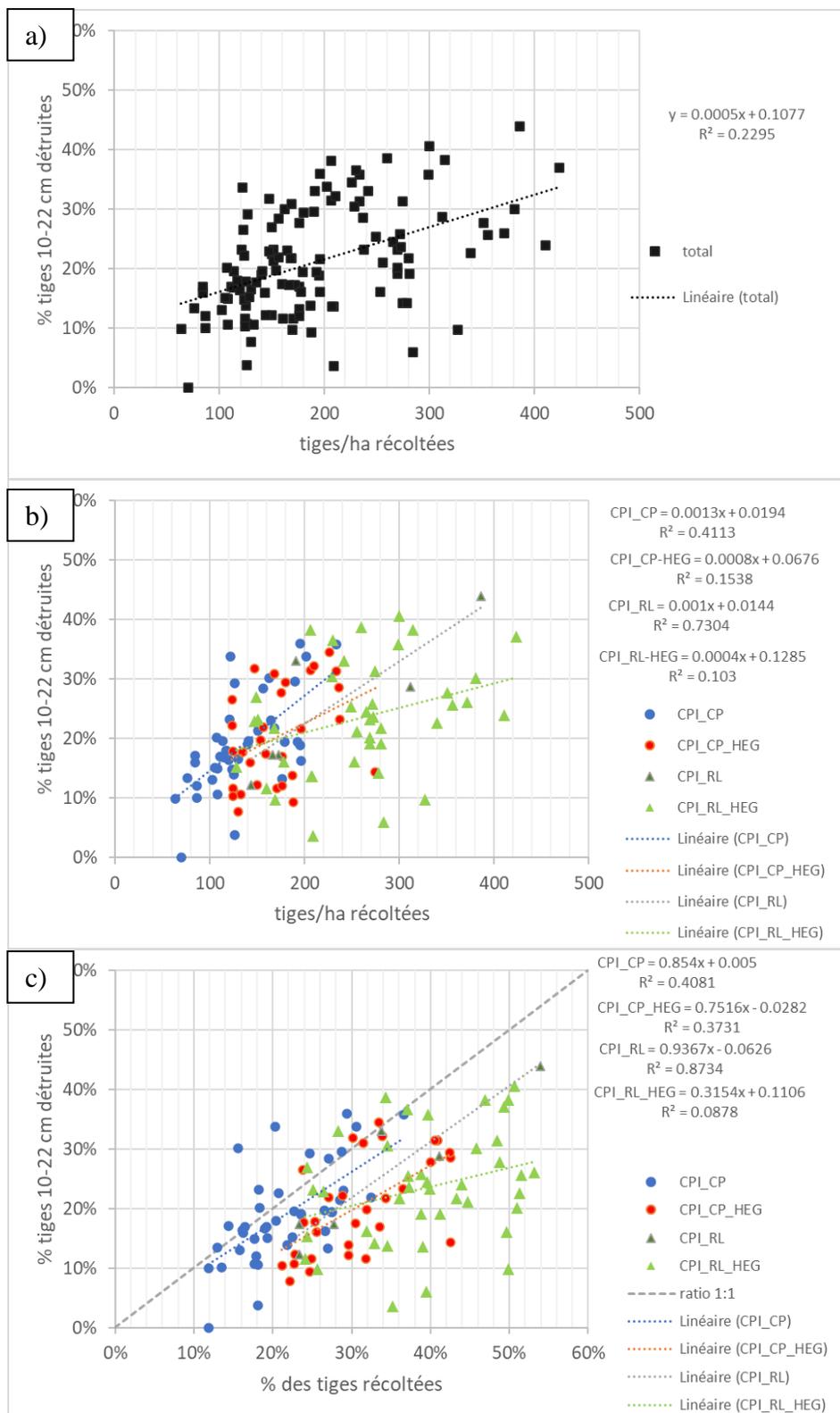


Figure 9. Relations entre le pourcentage de petites tiges détruites et a) le nombre de tiges à l'hectare récoltées totales , b) le nombre de tiges récoltées par traitement et c) la proportion des tiges récoltées

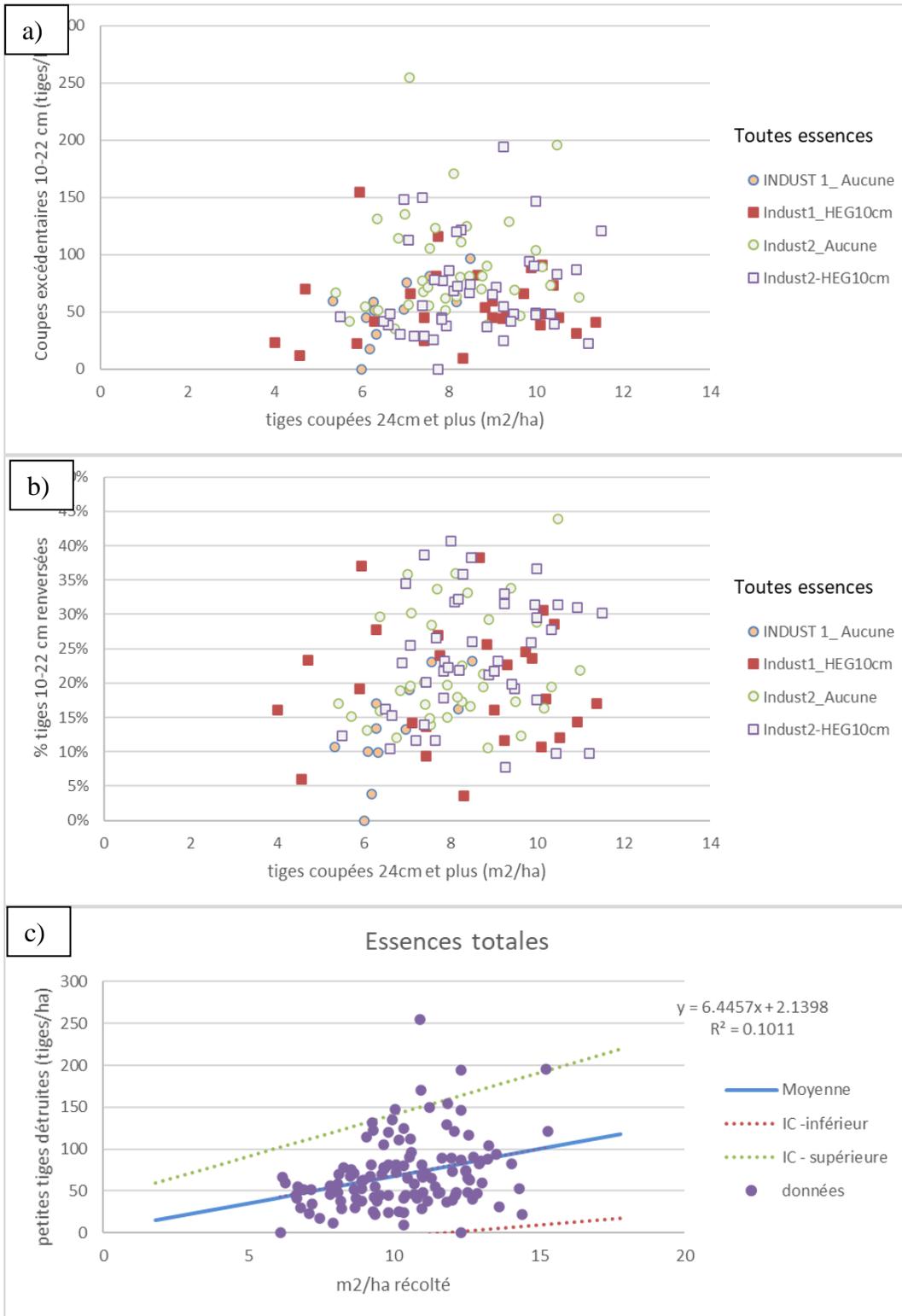


Figure 10. Relations entre le nombre de tiges détruites (a) et b) pourcentage de petites tiges détruites et la surface terrière des 24 cm et plus récoltée par industriel et modalités, C) nombre de tiges détruites et la surface terrière totale récoltée.

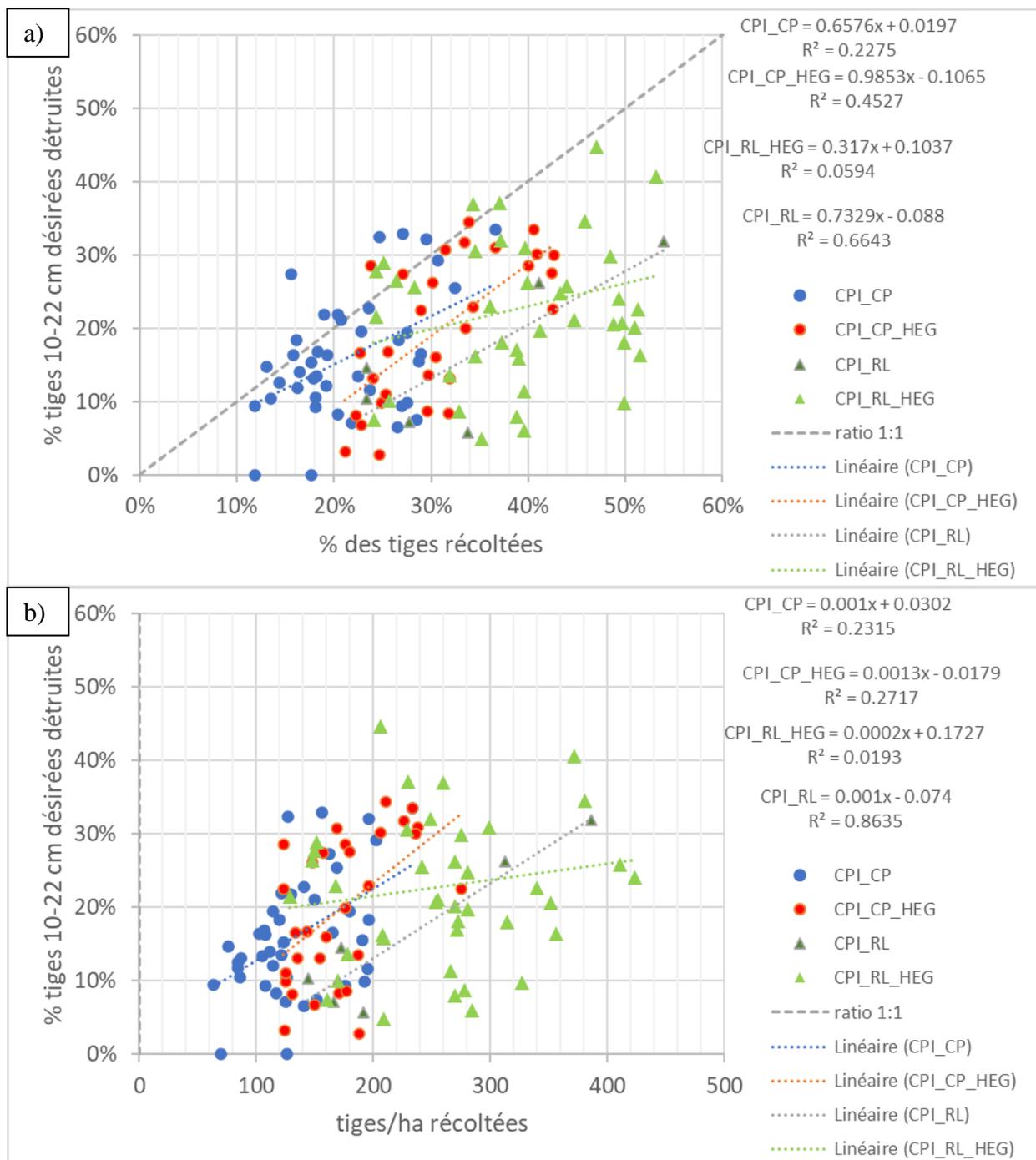


Figure 11. Relation entre le % de PTM d'essences désirées détruites (a) pourcentage de tiges récoltées et b) le nombre de tiges récoltées.

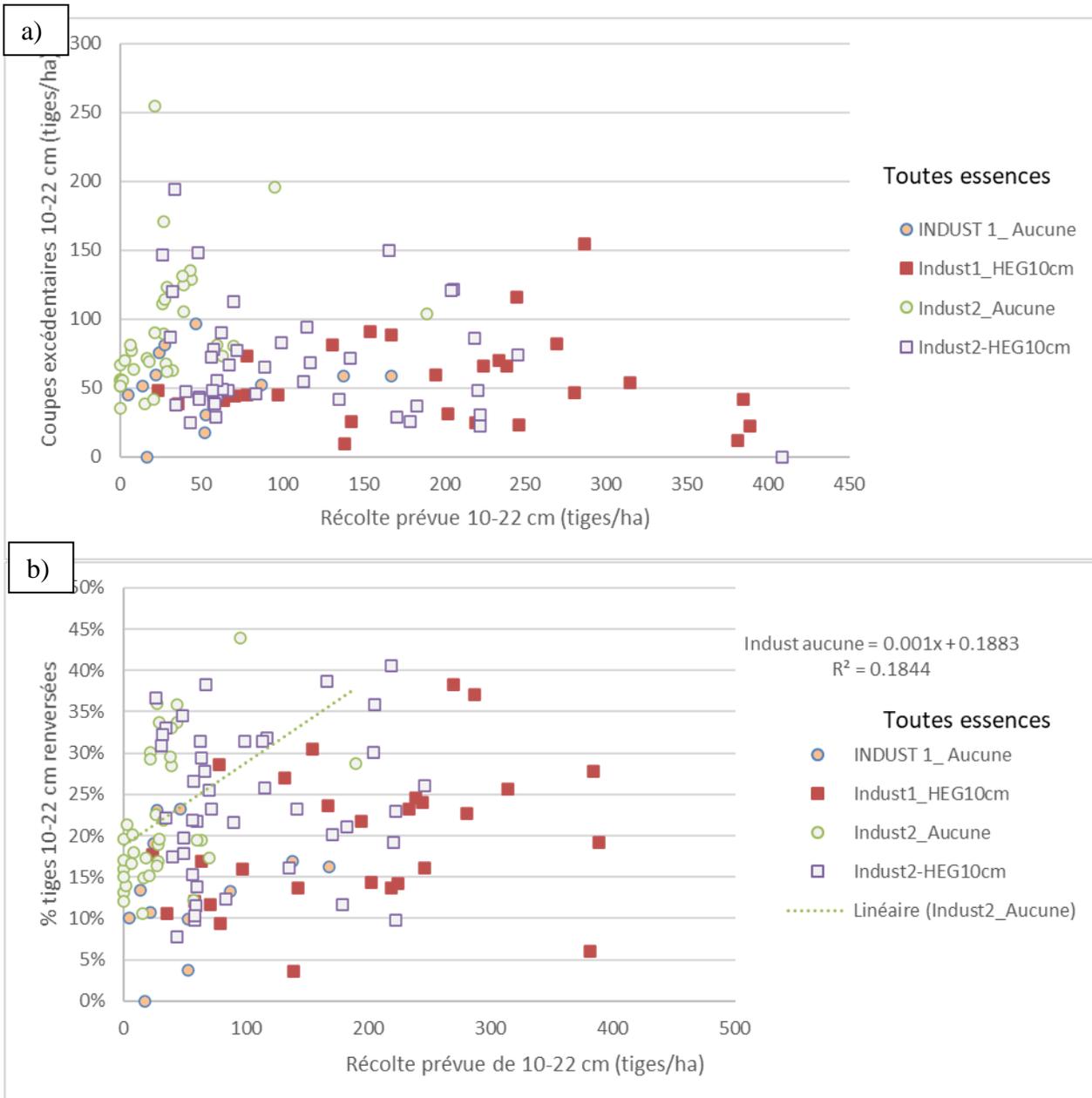


Figure 12. Relations entre le nombre de tiges détruites (a) et b) pourcentage de petites tiges détruites en fonction du nombre de petites tiges prévues à la récolte.



Figure 13. Relation entre le nombre de tiges détruites a-b)totales et c-d)essences désirées en fonction de la proportion réelle de tiges 10-22cm coupées sur ce qui était prévue de couper.

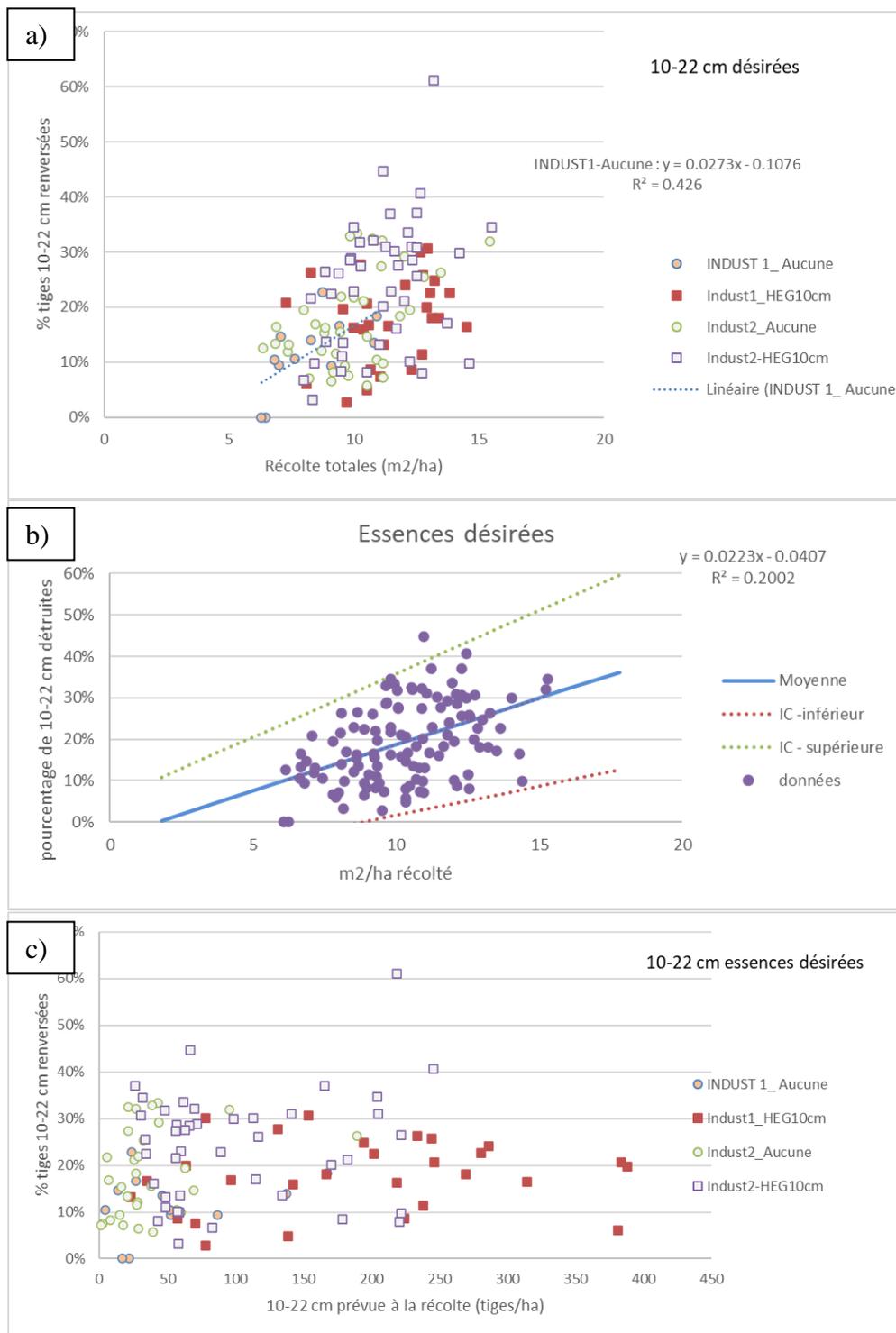


Figure 14. Relation entre le nombre de tiges d'essences désirées détruites (a) et b) la surface terrière récoltée et c) le nombre de tiges 10-22 cm prévues à la récolte.

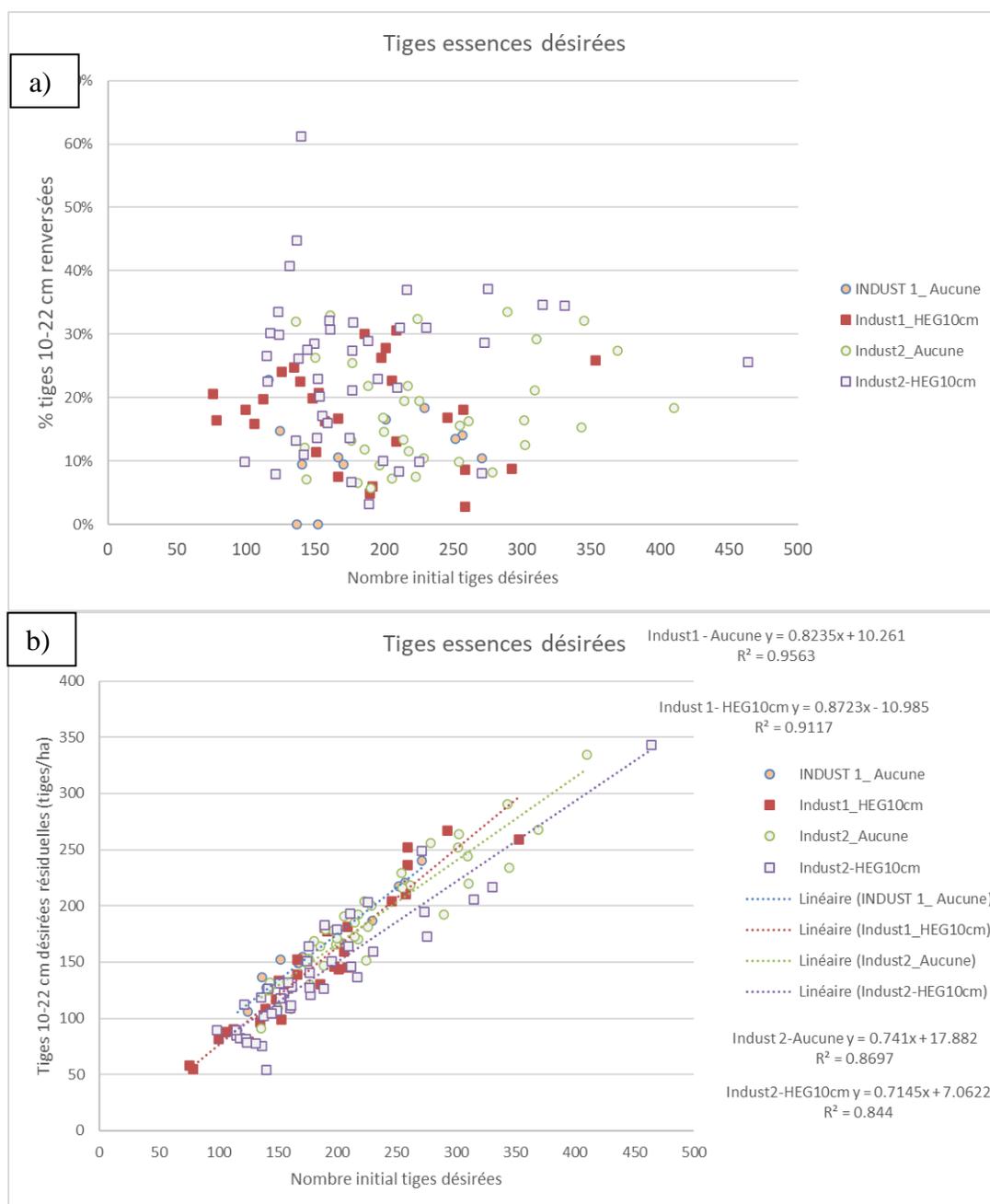


Figure 15. Relation entre a) le % de tiges désirées détruites et b) le nombres de tiges désirées résiduelles en fonction du nombre de tiges désirées initiales.

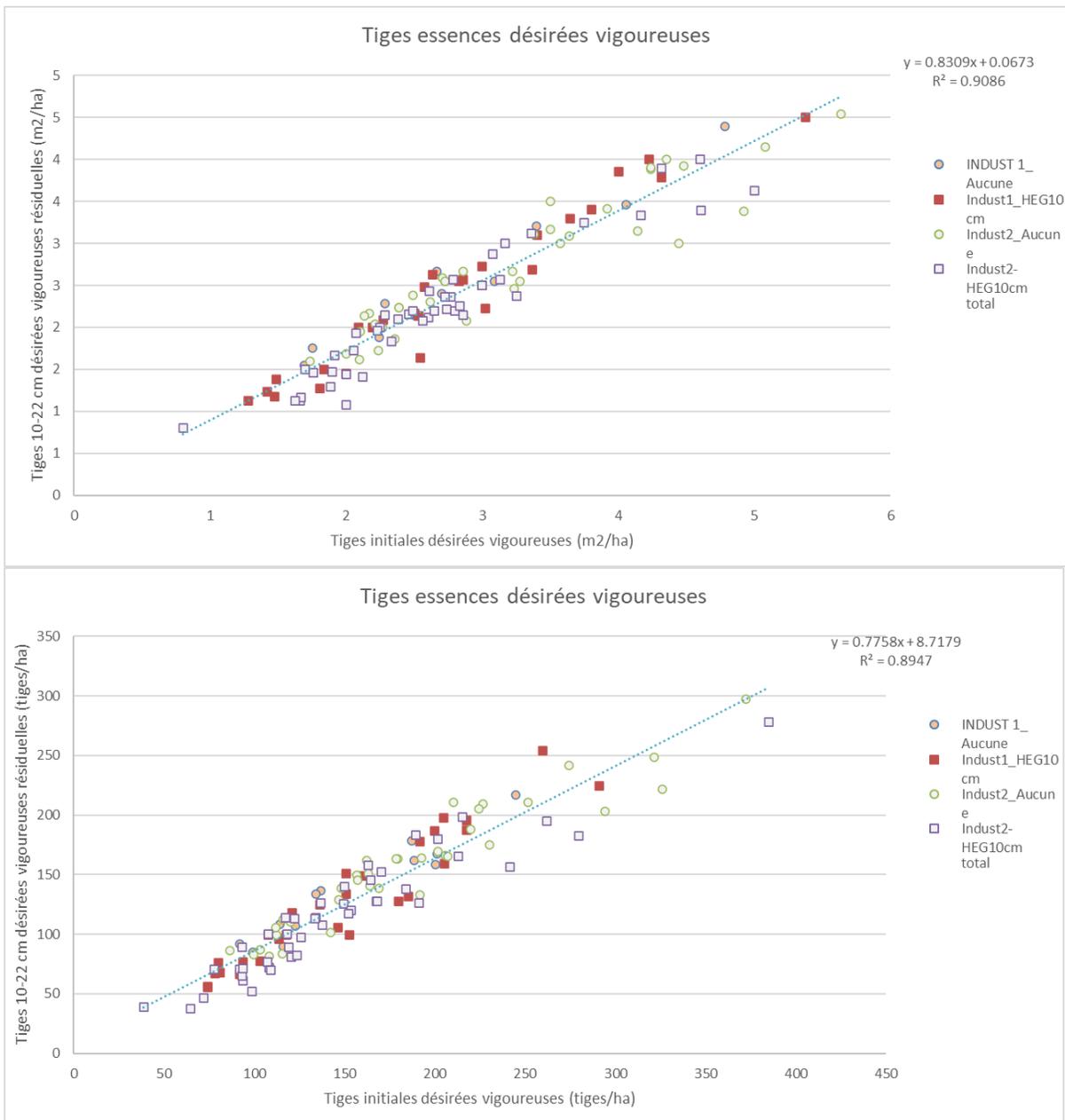


Figure 16. Relation entre les tiges désirées vigoureuses résiduelles et initiales pour a) la surface terrière et b) le nombre de tiges par hectare.

Tableau 24. Proportion des secteurs avec des tiges d'essences désirées vigoureuses initialement et après intervention

			% avec 2m2/ha perches désirées vigoureuses	% avec 2.5m2/ha perches désirées vigoureuses	% total résiduel >=2m2/ha	% total résiduel >=2m2/ha et initial >=2.0	% total résiduel >=2m2/ha et initial >=2.5
industriel	trait2	Modalité					
Industriel 1	CPI_CP-ENS_U	AUCUNE	83%	67%	75%	90%	100%
		HEG et FI 10 cm plus	100%	75%	100%	100%	100%
	Total CPI_CP-ENS_U		90%	70%	85%	94%	100%
	CPI_RL-2I_ENS	HEG et FI 10 cm plus	89%	67%	78%	88%	100%
	CPI_RL-3I_ENS	HEG et FI 10 cm plus	55%	55%	45%	83%	83%
Total 1			80%	65%	73%	91%	96%
Industriel 2	CPI_CP-ENS_U	AUCUNE	100%	70%	87%	87%	100%
		HEG et FI 10 cm plus	73%	55%	64%	88%	100%
	Total CPI_CP-ENS_U		88%	63%	77%	87%	100%
	CPI_RL-2I_ENS	HEG et FI 10 cm plus	67%	33%	67%	100%	100%
	CPI_RL-3I_ENS	AUCUNE	83%	33%	67%	80%	100%
		HEG et FI 10 cm plus	89%	53%	63%	71%	100%
Total CPI_RL-3I_ENS		88%	48%	64%	73%	100%	
Total 2			88%	58%	73%	83%	100%
Total général			85%	60%	73%	85%	99%

3.3.6. Évaluation de la protection des petites tiges en fonction des types de forêts

Le tableau 25 présente la proportion des placettes par grands types de forêts pour les différentes UA et traitements. Comme pour les portraits cartographiques des UA et des coupes de 2014-2019, les proportions des grands types de forêts se rapprochent des valeurs présentées plus haut. L'objectif de cette section est d'évaluer s'il y a des différences dans la protection des petites tiges marchandes selon les principaux types de forêts. Une valeur est attribuée au secteur d'intervention/type de forêt et ensuite des moyennes sont réalisées sur l'ensemble des secteurs. Est-ce qu'il y a des types de forêts plus problématiques pour la protection des petites tiges marchandes ? Même si on observe une variabilité entre les types de forêts par traitements (figures suivantes), les analyses n'ont révélé que peu de différences significatives. La seule différence significative est que pour l'industriel 1, le pourcentage de destruction des petites marchandes dans la CPI_rl2i est supérieur dans le type forestier ERS_BJ par rapport à ERS_FT et ERS_HEG (figure 20).

Au niveau des tiges résiduelles, les résultats sont présentés à la figure 21. Il n'y a pas de tendances ou différences significatives claires entre les types forestiers au sein d'un même traitement de récolte ou selon des modalités de récolte des petites tiges marchandes.

Des relations entre les tiges détruites et différentes variables sont présentées en annexe (Annexe 2). Il y a en général 2 relations qui sortent pour la majorité des types forestiers étudiés ici. La première est que le pourcentage de tiges 10-22 cm détruites est corrélé avec le prélèvement total en surface terrière. La relation n'est pas toujours très forte (R^2 de moins de 0.3 en général). L'autre relation est que la quantité de petites tiges vigoureuses après intervention est fortement reliée à la quantité de petites tiges vigoureuses avant intervention. Il n'y a pas de relations significatives pour le nombre de tiges 10-22 cm initiales et à récolter.

Tableau 25. Proportion des placettes d'inventaires par traitements, grands types de forêts et UA

		Nombre de PE	FI + Fir	Feuillus tolérants	Feuillus tolérants à résineux	Pinèdes blanches	Pinèdes blanches mixtes	Résineux à feuillus	Autres résineux			Total général
NO_UA	trait2		(Bb; BbRx; Eo; Pe;PeRx;Fe-Rx)						Pessières	Prucheraies	Cédrières	
07151	CPI_CP-ENS_U	481	0.6%	85.4%	6.7%	0.4%	2.7%	3%	0.2%	0.8%	0.0%	100%
	CPI_RL-2I_ENS	173	2.9%	80.3%	8.7%	0.6%	2.9%	5%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
	CPI_RL-3I_ENS	198	4.0%	52.0%	5.6%	8.1%	29.3%	0%	0.0%	1.0%	0.0%	100%
Total 07151		852	1.9%	76.6%	6.8%	2.2%	8.9%	3%	0.1%	0.7%	0.0%	100%
07152	CPI_CP-ENS_U	71	5.6%	74.6%	14.1%	0.0%	2.8%	1%	0.0%	0.0%	1.4%	100%
	CPI_RL-3I_ENS	225	0.0%	28.0%	12.4%	16.9%	39.6%	3%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
Total 07152		296	1.4%	39.2%	12.8%	12.8%	30.7%	3%	0.0%	0.0%	0.3%	100%
07251	CPI_CP-ENS_U	240	0.4%	93.3%	3.8%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.8%	1.7%	100%
	CPI_RL-3I_ENS	37	0.0%	62.2%	21.6%	0.0%	2.7%	5%	0.0%	8.1%	0.0%	100%
Total 07251		277	0.4%	89.2%	6.1%	0.0%	0.4%	1%	0.0%	1.8%	1.4%	100%
07351	CPI_CP-ENS_U	1064	2.0%	90.0%	6.9%	0.1%	0.6%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
	CPI_RL-2I_ENS	83	0.0%	92.8%	7.2%	0.0%	0.0%	0%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
	CPI_RL-3I_ENS	408	7.6%	64.0%	16.7%	5.6%	5.1%	1%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
Total 07351		1555	3.3%	83.3%	9.5%	1.5%	1.7%	1%	0.0%	0.0%	0.0%	100%
Total général		2980	2.4%	77.6%	8.7%	2.7%	6.5%	1%	0.0%	0.4%	0.2%	100%

Tableau 26. Proportion des placettes d'inventaires par traitements, types de forêts et UA

Grands types feuillus tolérants et feuillus tolérants à résineux											
NO_UA	trait2	RG_TYF									Total général
		BOJ	BOJ_RX	CH_FX	CH_RX	ERS_BJ	ERS_FT	ERS_FX	ERS_HG	ERS_RX	
07151	CPI_CP-ENS_U	6.3%	3.6%	6.3%	1.1%	2.7%	65.2%	4.7%	7.4%	2.5%	100.0%
	CPI_RL-2I_ENS	4.5%	6.5%	9.7%	0.6%	8.4%	59.7%	0.0%	7.8%	2.6%	100.0%
	CPI_RL-3I_ENS	5.3%	1.8%	65.8%	7.0%	0.9%	12.3%	5.3%	0.9%	0.9%	100.0%
Total 07151		5.8%	3.9%	16.6%	2.0%	3.7%	55.6%	3.8%	6.5%	2.3%	100.0%
07152	CPI_CP-ENS_U	30.2%	4.8%	14.3%	6.3%	22.2%	14.3%	0.0%	3.2%	4.8%	100.0%
	CPI_RL-3I_ENS	33.0%	4.4%	18.7%	22.0%	2.2%	5.5%	9.9%	0.0%	4.4%	100.0%
Total 07152		31.8%	4.5%	16.9%	15.6%	10.4%	9.1%	5.8%	1.3%	4.5%	100.0%
07251	CPI_CP-ENS_U	3.0%	1.3%	4.3%	0.4%	1.7%	81.5%	3.4%	2.1%	2.1%	100.0%
	CPI_RL-3I_ENS	16.1%	9.7%	0.0%	0.0%	0.0%	48.4%	9.7%	0.0%	16.1%	100.0%
Total 07251		4.5%	2.3%	3.8%	0.4%	1.5%	77.7%	4.2%	1.9%	3.8%	100.0%
07351	CPI_CP-ENS_U	6.8%	3.1%	2.6%	0.6%	15.2%	57.3%	7.1%	3.9%	3.4%	100.0%
	CPI_RL-2I_ENS	22.9%	7.2%	0.0%	0.0%	33.7%	32.5%	3.6%	0.0%	0.0%	100.0%
	CPI_RL-3I_ENS	10.6%	14.3%	13.4%	0.3%	7.0%	33.7%	7.6%	7.0%	6.1%	100.0%
Total 07351		8.6%	5.9%	4.9%	0.5%	14.4%	50.5%	7.0%	4.4%	3.8%	100.0%
Total général		8.8%	4.9%	8.7%	1.8%	9.9%	52.2%	5.8%	4.5%	3.4%	100.0%

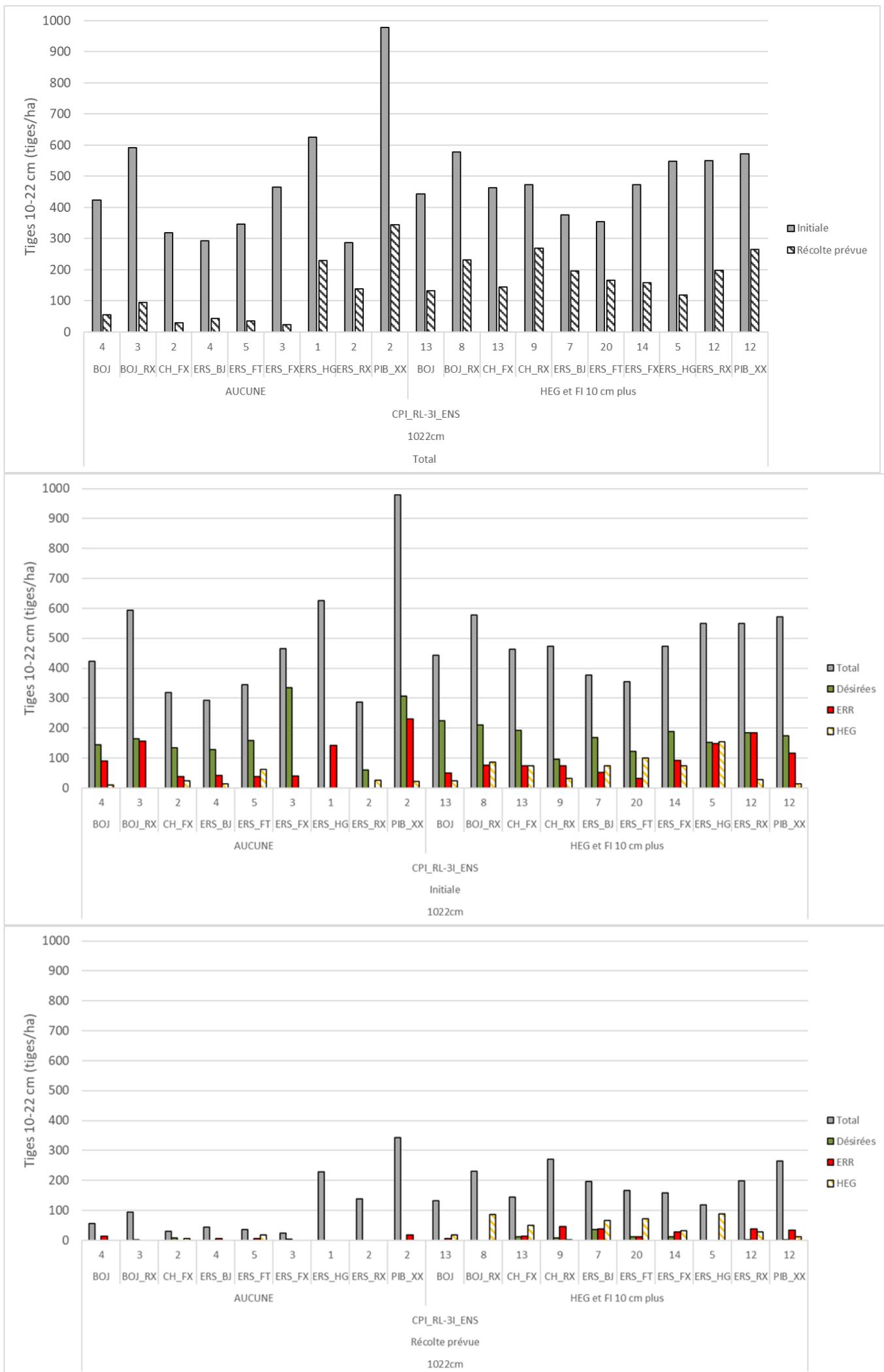


Figure 17. Moyennes des petites tiges totales initiales et récoltes prévues par traitement et types de forêt pour la CPIr1-3i



Figure 18. Moyennes des petites tiges totales initiales et récoltes prévues par traitement et types de forêt pour la CPIrI-2i

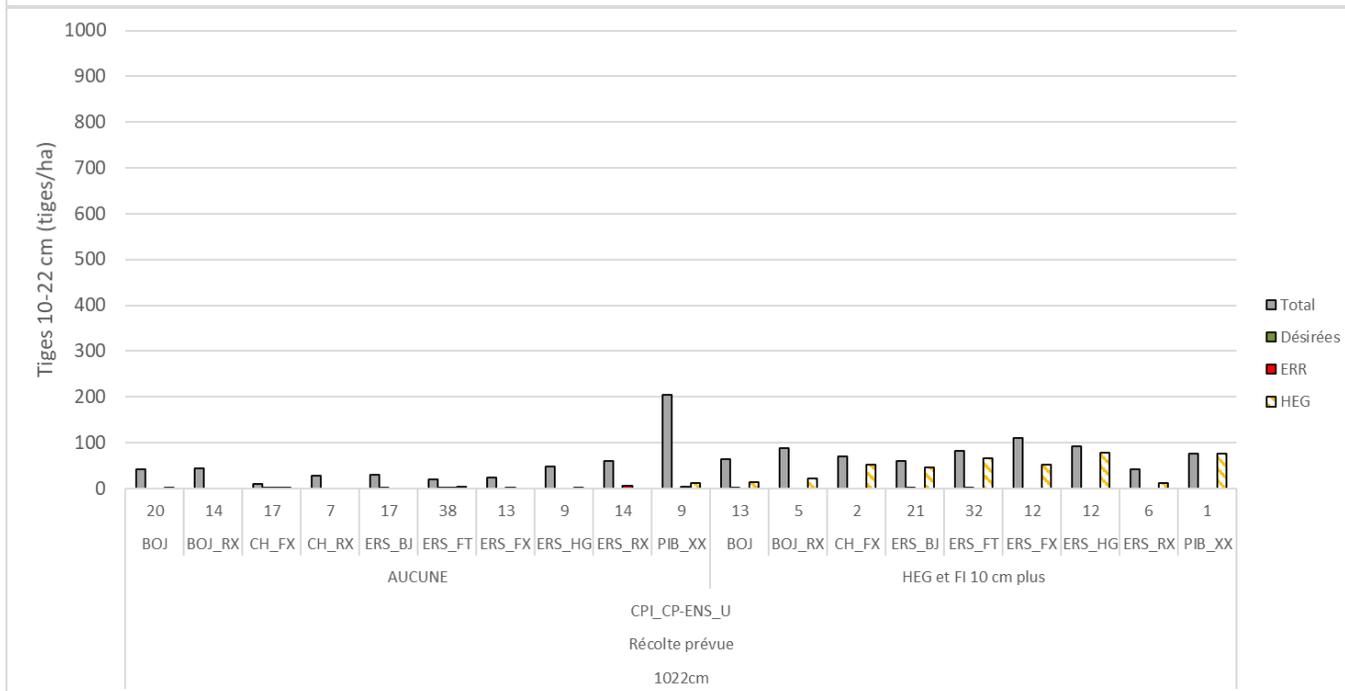
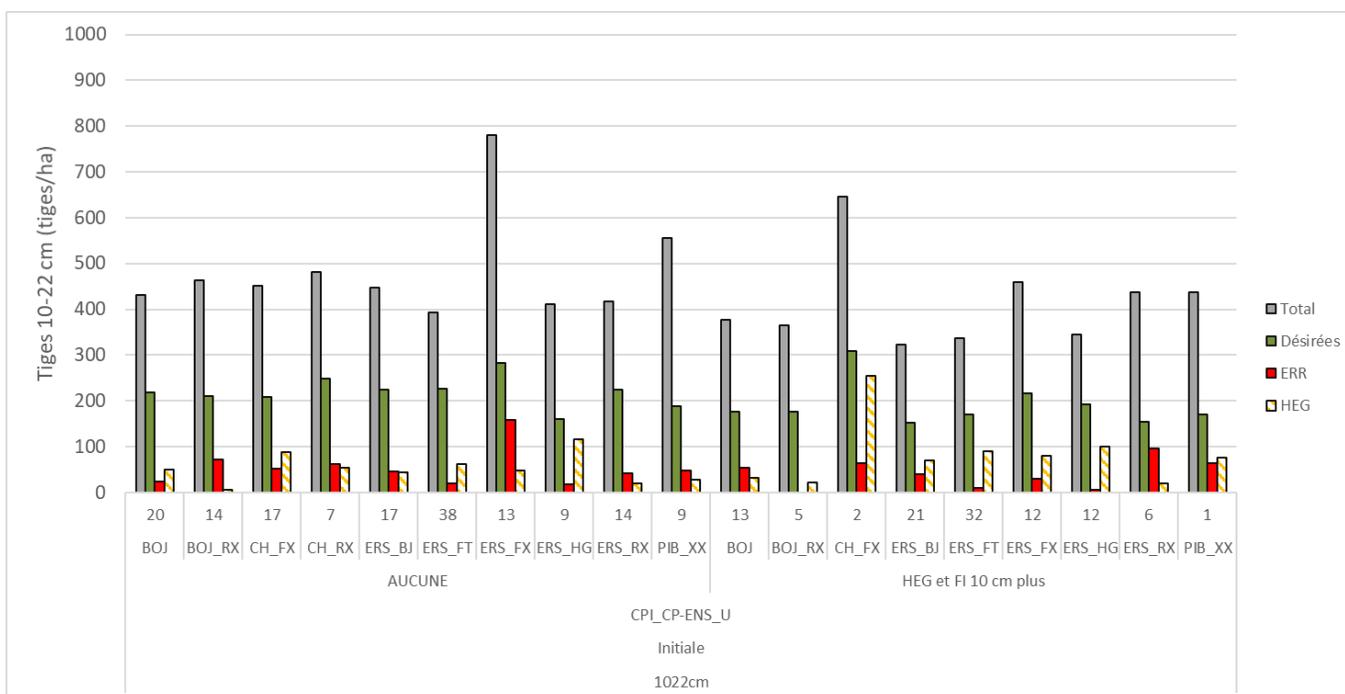
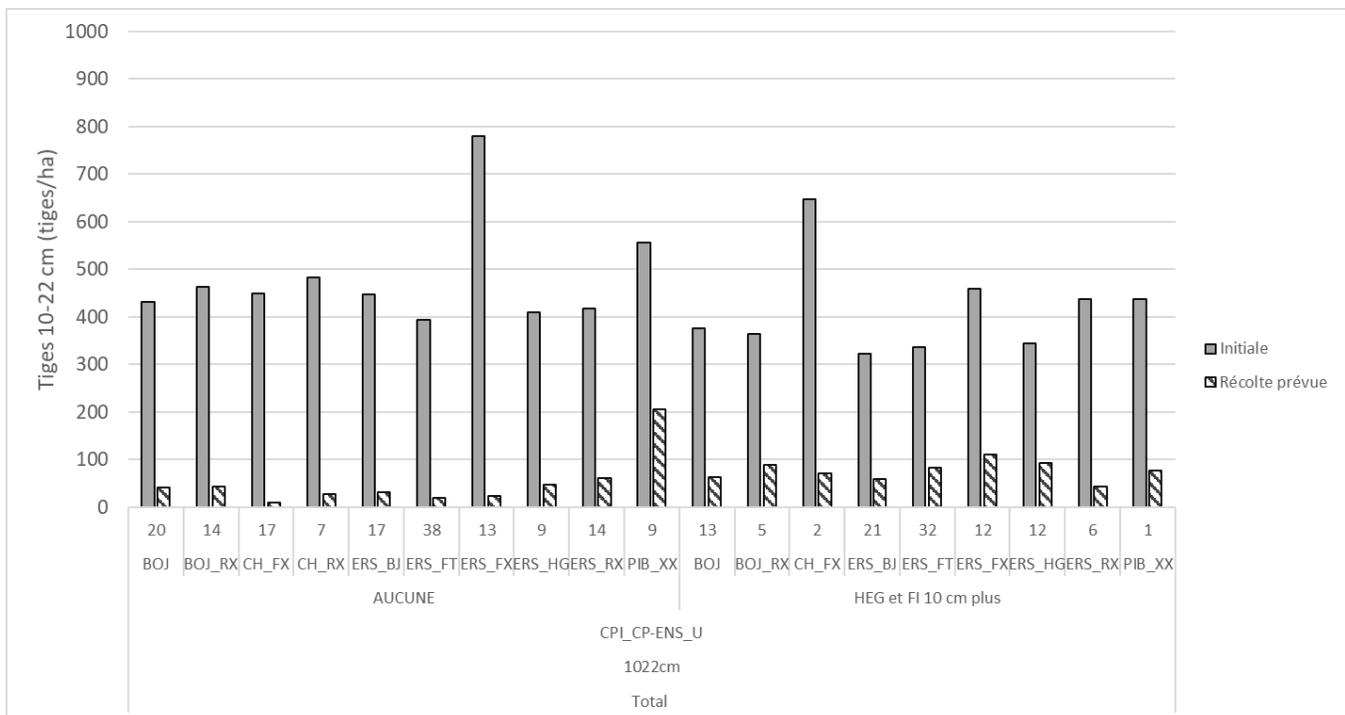


Figure 19. Moyennes des petites tiges totales initiales et récolte prévues par traitement et types de forêt pour la CPI_CP

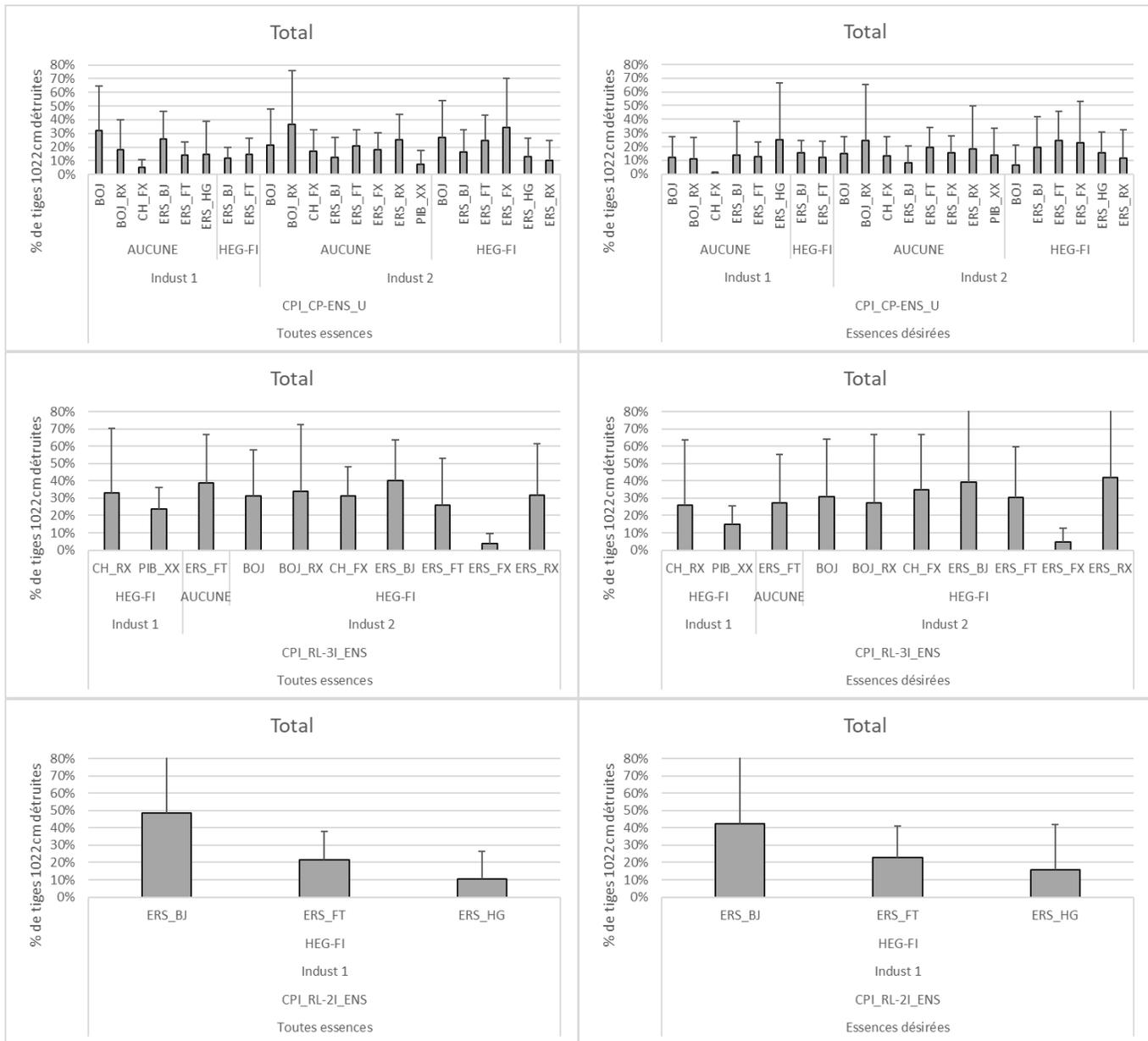


Figure 20. Moyennes des petites tiges détruites totales et d'essences désirées par industriel et traitement et types de forêt. Seuls les cas avec un minimum de 5 répétitions sont présentés ici.

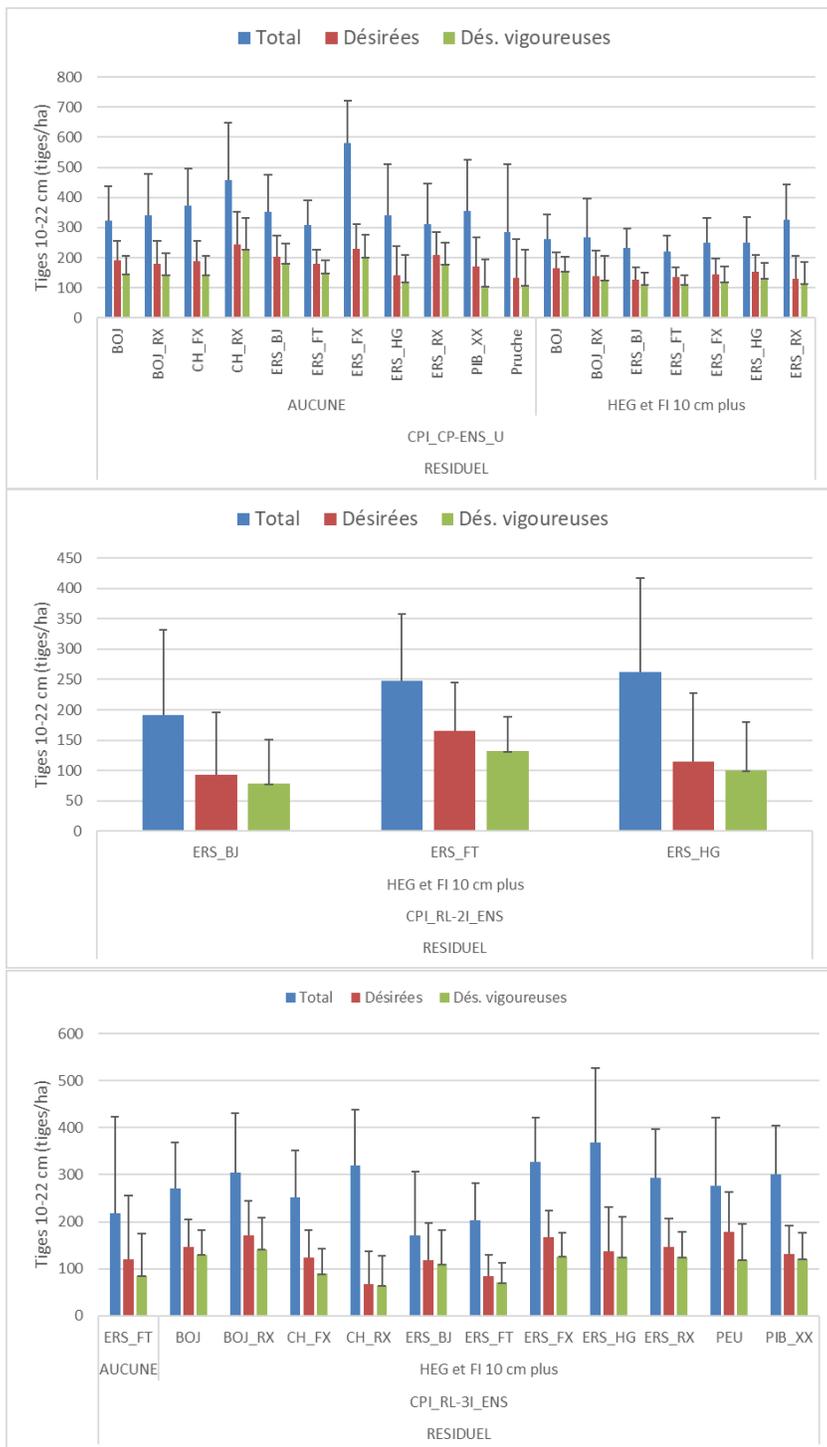


Figure 21. Moyenne des petites tiges résiduelles totales et d'essences désirées par traitement et types de forêt. Seuls les cas avec un minimum de 5 répétitions sont présentés ici.

3.3.7. Blessures

Une hypothèse émise est que la quantité de tiges blessées sera supérieure lorsqu'il faut récolter des petites tiges marchandes, car la machine devra entre autres se déplacer davantage et risque d'accrocher les tiges résiduelles. Pour les deux industriels, aucune différence significative entre les modalités de récolte de petites tiges dans la CPIcp et CPIrl sur la surface terrière des tiges blessées de 10 cm et plus, de 10-22 cm et de 24 cm et plus n'a été détecté (figure 22).

De plus, l'analyse entre les industriels n'a révélé aucune différence significative pour la surface terrière blessée pour la CPIcp et la CPIrl-2i. La seule différence significative observée est une surface terrière de tiges résineuses total supérieure dans la CPIrl-3i pour l'industriel 1 (0.3 m²/ha versus 0.1 m²/ha).

Parmi les secteurs d'intervention étudiés, il n'y a pas de relation avec le pourcentage de surface terrière blessée et les modalités de récolte.

Pour ce qui est des PTM d'essences désirées, il y a des relations faibles entre la récolte et la proportion de tiges blessées pour les CPI_CP et aucune relation pour a CPI_RL_HEG (figure 23) . Pour les CPI_CP, la relation est plus importante pour la CPI_CP_HEG ($r^2=0.35$) qui augmente avec la proportion de tiges récoltées.

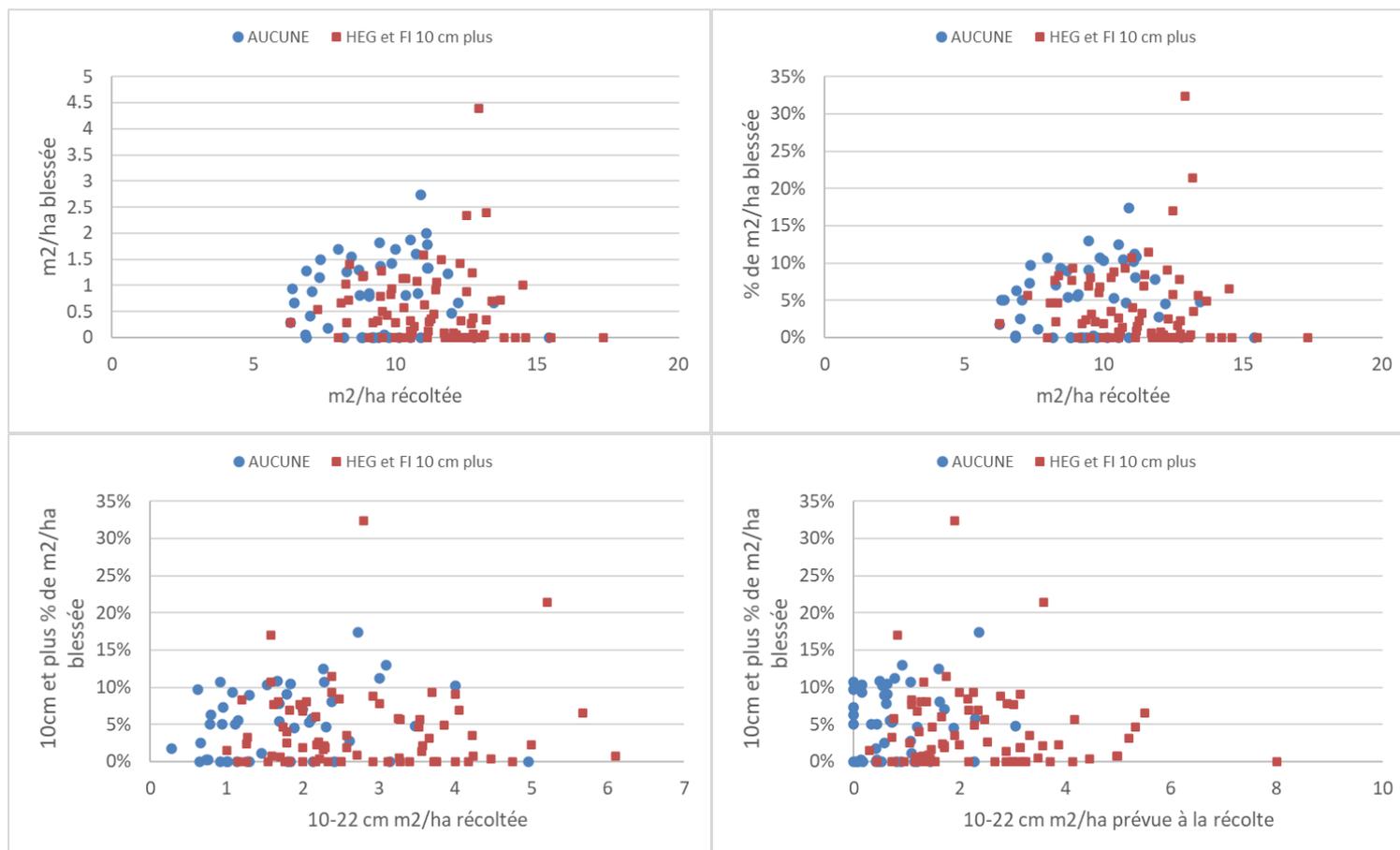


Figure 22. Relations entre le nombre de tiges blessées et la modalité de récolte et le nombre de tiges récoltées ou à récolter.

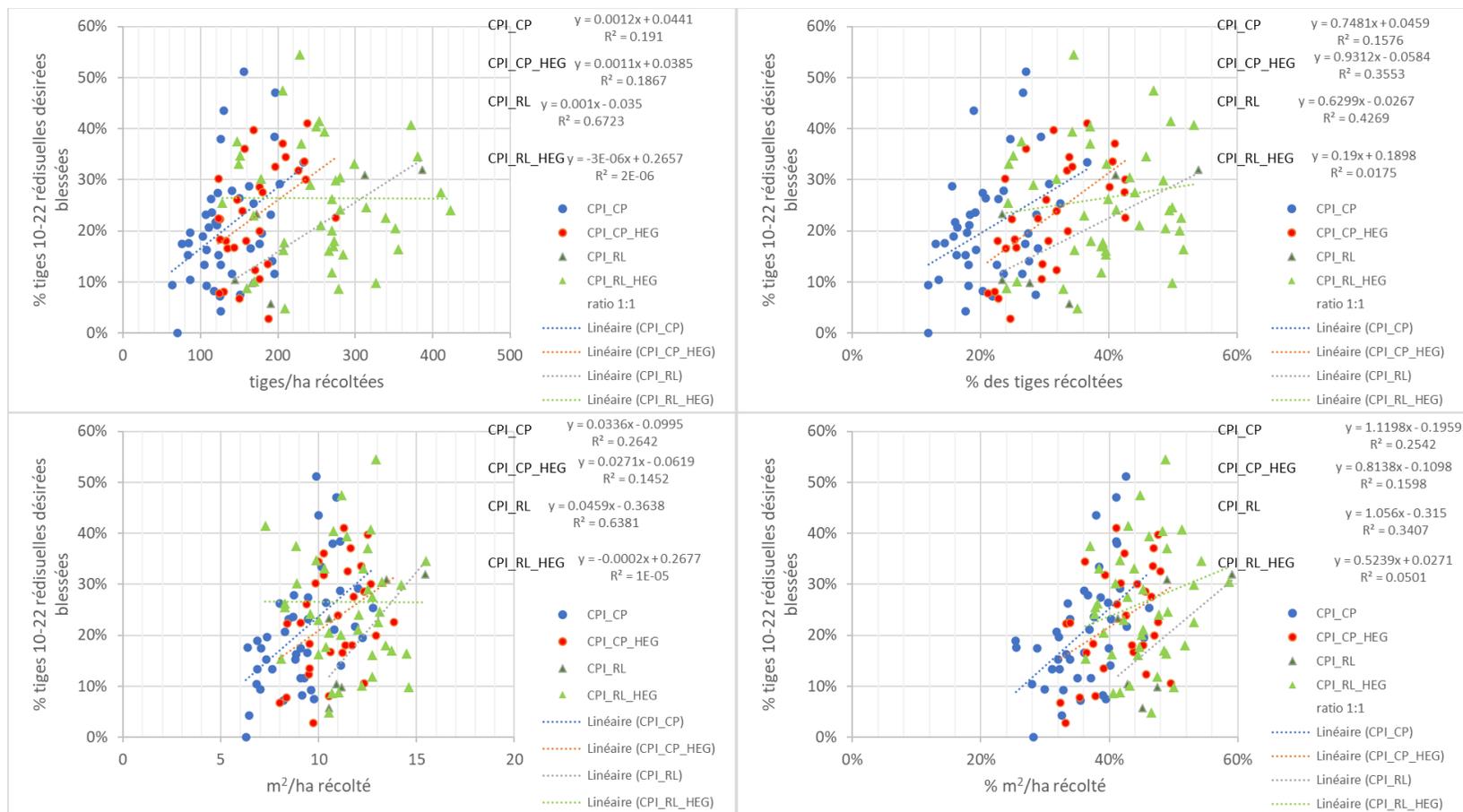


Figure 23. Relations entre le pourcentage de tiges d'essences désirées blessées de 10-22 cm de DHP, la modalité de récolte et le nombre de tiges récoltées et la surface terrière récoltée.

3.3.8. Analyse de contraintes terrain : Pentes

Pour chaque secteur d'intervention, des regroupements ont été réalisés en fonction de la classe de pente cartographique. Ensuite, la moyenne des variables par secteur et classe de pente a été calculée et les analyses statistiques ont été réalisées en comparant les classes de pentes. La seule différence significative qui est ressortie est une proportion plus élevée de tiges 10-22 cm renversées pour l'industriel 2 dans la CPIrl-2i sur pente forte comparativement à des pentes faibles (figure 24). Pour le nombre de tiges renversées avec les modalités de récolte des 10-22 cm, aucune différence significative n'est observée.

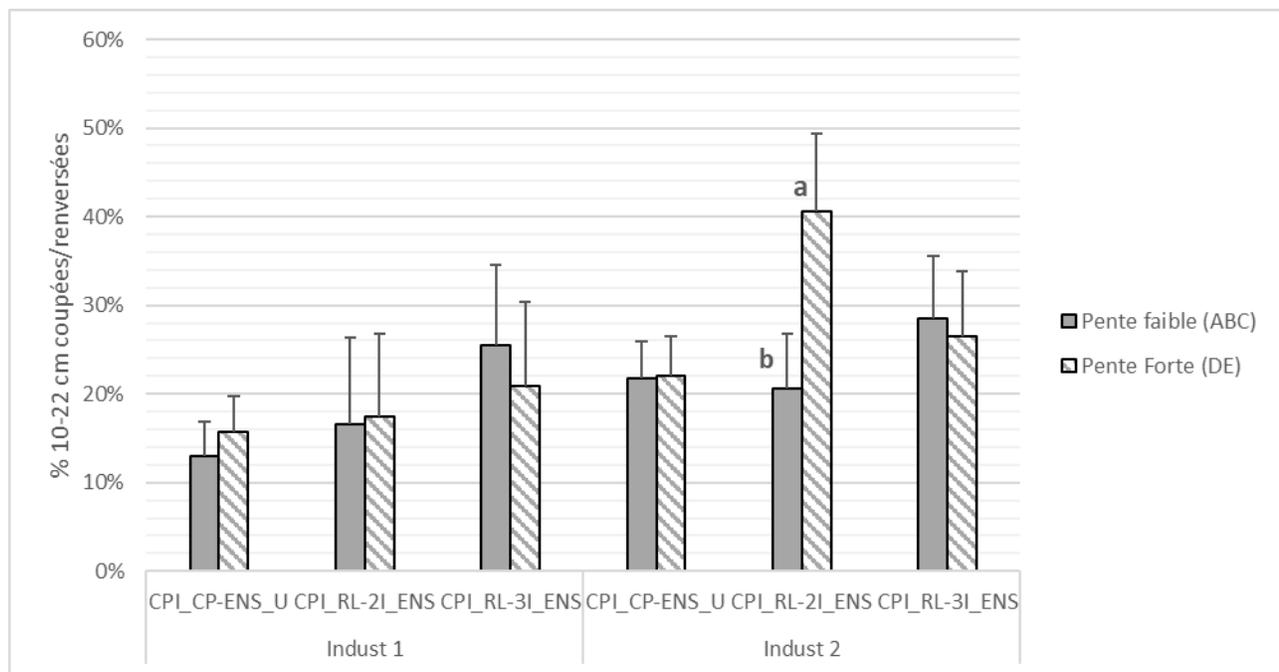


Figure 24. Proportions de tiges de 10-22 cm coupées et renversées non prévues en fonction des classes de pentes.

3.3.9. Impact des sentiers sur les petites tiges marchandes

Lors du passage de la machinerie, toutes les petites tiges se trouvant directement dans le sentier d'abattage et de débusquage seront détruites. Les consignes en coupes partielles sont de limiter la largeur des sentiers et d'espacer les sentiers. Par contre, en général, il n'y a pas d'évaluation directe de l'occupation des sentiers dans les coupes partielles. Parfois, dans les directives opérationnelles, des espacements entre les sentiers sont suggérés. Pour limiter l'impact des sentiers sur les sols et la régénération, l'industriel 2 a mis en place des mesures qui visent à réaliser des sentiers le plus linéaires possible et espacés depuis 2019, selon les contraintes terrain. L'industriel 1 a également mis en place des mesures pour limiter l'impact des sentiers similaire à l'industriel 2, mais peut réaliser des sentiers moins linéaires pour se faufiler entre les tiges lorsque possible.

3.3.9.1. Localisation des PTM détruites selon les données d'inventaires de bois sur pied

Dans certains secteurs d'intervention récents, la position de la tige coupée ou renversée est indiquée dans le champ ETAT_AP_CO par CS ou RS. Parmi les secteurs d'intervention compilés ici, 44 secteurs d'intervention avaient des valeurs de CS ou RS. Pour la compilation des sentiers, le nombre de placettes avec des tiges coupées 10-22 cm dans le sentier a été comptabilisé sur le nombre de placettes totales (tableau 27). Pour l'industriel 1, l'information des sentiers était présente pour 9 secteurs seulement. En moyenne, 12% des placettes d'inventaire avaient des tiges 10-22 cm coupées ou renversées. Pour l'industriel 2, une moyenne de 21 à 24 % des placettes avait des tiges de 10-22 cm coupées dans les sentiers. On note cependant des valeurs maximales observées de 46%, indiquant possiblement une surreprésentation de placette dans des sentiers pour certains secteurs.

Pour la proportion de placettes avec récolte de tiges 10-22cm, la seule différence est que les valeurs sont plus élevées pour l'industriel 2 avec une moyenne de 24% comparativement à 12%. Par contre, en considérant les tiges récoltées dans les sentiers comme conformes, il n'y a pas de différence significative entre les deux industriels (indust 1 : 9.65 % vs indust 2 : 10.80 %) pour le nombre de tiges 10-22 cm coupées et renversées. Pour l'industriel 2, le % de tiges 10-22 détruites est significativement supérieur dans la CPIrl_3i (13.7 %) par rapport à la CPIcp (9.23%). Aucune différence significative n'a été observée par rapport à la modalité de récolte des petites tiges de HEG.

Tableau 27. Proportion de placettes d'inventaire avec présence de tiges 10-22 cm récoltées dans le sentier.

industriel	trait2	Nbre sect	% des placettes avec 10-22cm dans sentier			
			Moy	ET	Min	Max
Indust 1	CPI_CP- ENS_U	3	9%	8%	3%	18%
	CPI_RL- 2I_ENS	2	12%	14%	3%	22%
	CPI_RL- 3I_ENS	4	13%	4%	9%	18%
Total		9	12%	7%	3%	22%
Indust 2	CPI_CP- ENS_U	22	26%	11%	0%	45%
	CPI_RL- 3I_ENS	12	21%	12%	8%	46%
Total		34	24%	11%	0%	46%
Total général		43	21%	12%	0%	46%

Tableau 28. Portrait des tiges coupées renversées dans les sentiers et non prévues à la coupe.

industriel	trait2	Nbre sect	Coupe excédentaire (10-22 cm, tiges/ha)	Coupe excédentaire excluant sentier ((10- 22 cm, tiges/ha))	10-22 cm résiduelles prévues (ti/ha)	% 10-22 renversées - sentiers conformes	% 10-22 renversées	Différence moyenne
Indust 1	CPI_CP- ENS_U	3	62.1	44.7	378	12%	16%	-4%
	CPI_RL- 2I_ENS	2	42.6	23.2	231	10%	18%	-7%
	CPI_RL- 3I_ENS	4	30.7	15.0	179	8%	16%	-9%
Total		9	43.8	26.7	257	10%	17%	-7%
Indust 2	CPI_CP- ENS_U	22	89.2	33.2	369	9%	24%	-15%
	CPI_RL- 3I_ENS	12	93.6	51.5	365	14%	25%	-11%
Total		34	90.8	39.6	368	11%	24%	-14%
Total général		43	80.9	36.9	344.5	11%	23%	-12%

3.3.9.2. Mesures de sentiers avec des virées terrain

Pour certains secteurs d'intervention récents, l'industriel 2 a mesuré des largeurs et espacements moyens de sentiers à partir de virées. La largeur moyenne des sentiers est de 5.0 m et ils occupent 16-18% de la superficie (tableau 29). Il faut noter que cette mesure de largeur de sentier correspond à l'empreinte laissée par la machine sur les sols. Donc, à la mesure de ces résultats, pour les 11 secteurs d'interventions mesurés en 2020, moins de 20% de la superficie est affectée par les sentiers selon les mesures par virées.

Tableau 29. Mesure de largeur de sentier et d'interbandes avec des virées de suivies

TRT	nb virée	Inter-sentier - largeur en m		sentier- largeur en m		% occupation des sentiers(moy par secteur)	
		moy	et	moy	et	moy	et
CPI_CP- ENS_U	182	27.3	7.1	4.9	0.8	16%	1%
CPI_RL- 3I_ENS	15	25.9	10.9	5.0	1.0	16%	-
CPI_RL-3I_SEC	15	23.3	5.3	5.0	0.7	18%	-

3.3.9.3. Évaluation de l'occupation des sentiers avec les pistes d'abatteuses

Le relevé GPS des abatteuses de quelques secteurs d'intervention a aussi été analysé. Considérant l'imprécision des points GPS et le dédoublement des lignes, les valeurs présentées ici sont à titre indicatives. Pour calculer les sentiers et leurs superficies, une zone tampon de 5m de chaque côté des lignes a été créée et fusionnée. Ensuite, avec la fonction « create centerline » de l'outil ETGeo Wizard 12.4, la ligne centrale a été calculée en utilisant une largeur maximale de 9m et une largeur minimale de 5m. Visuellement, on note une simplification du réseau de lignes qui semble se rapprocher des sentiers réels (figure 25). Il peut y avoir un peu de divergence, mais la même méthode a été utilisée pour les secteurs. Le tableau 30 présente les résultats. Parmi les secteurs traités avec cette approche, on note pour l'industriel 2 que l'occupation des sentiers, peu importe le traitement, varie de 23 à 25 % (sauf un secteur à 28.8 %) alors qu'il varie entre 19 et 24 % pour l'industriel 1. Le petit échantillonnage réalisé ici ne permet pas la comparaison directe entre les 2 industriels, mais on constate que la majorité des secteurs ont moins de 25% d'occupation de sentier. Les résultats montrent que l'approche utilisée par l'industriel 2 pour espacer les sentiers permet d'occuper, en général, moins de 25% de la superficie. N'ayant pas de données de suivi de pistes avant l'application de l'espacement des sentiers, il n'est pas possible de déterminer si une amélioration est notée par rapport au passé. Une analyse d'image après intervention permettrait sûrement d'avoir un meilleur estimé de l'occupation des sentiers.

En comparaison avec la fréquence des placettes d'inventaires qui ont des tiges 10-22 cm coupées dans les sentiers, on note pour certains secteurs que la proportion est nettement plus grande que le pourcentage

de sentier calculé (ex. : 35% des placettes pour un secteur comparativement à 23 % de superficie). Ça devrait être une question de hasard qu'une placette soit affectée par un sentier. Dans le cas où une sur-représentativité de placettes se trouve dans les sentiers, ceci pourrait alors sous-estimer la densité de perches résiduelles entre les sentiers et surestimer la destruction par les opérations. Une méthode proposée pour réduire ce biais serait de calculer l'occupation de sentiers selon la méthode décrite plus haut, relire les placettes d'inventaire et calculer la proportion de placettes où des PTM sont renversées dans le sentier. Retirer aléatoirement des placettes avec des PTM détruites dans le sentier pour atteindre 25% et compiler ensuite. Une autre méthode serait de comptabiliser la proportion de PTM détruites au total, dans les sentiers et entre les sentiers. Des seuils pourraient être établis pour la destruction des PTM entre les sentiers.

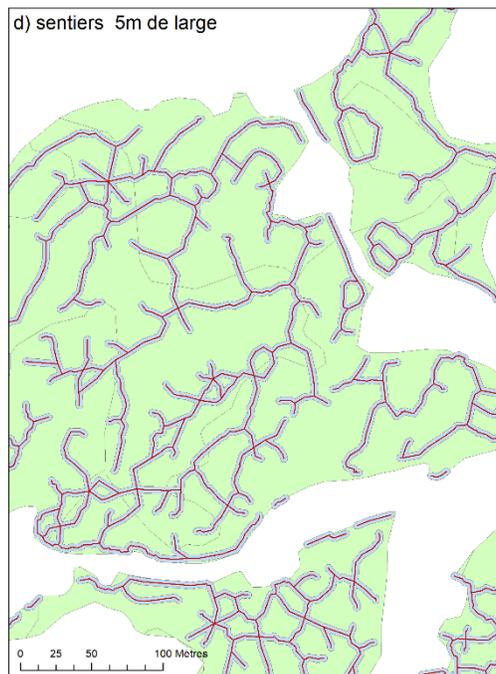
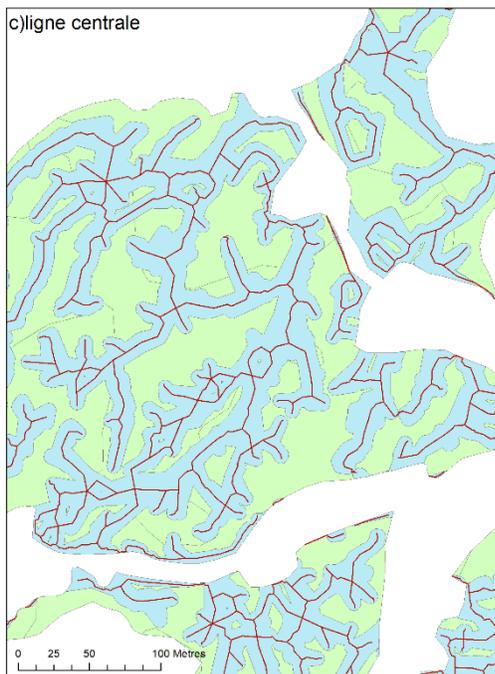
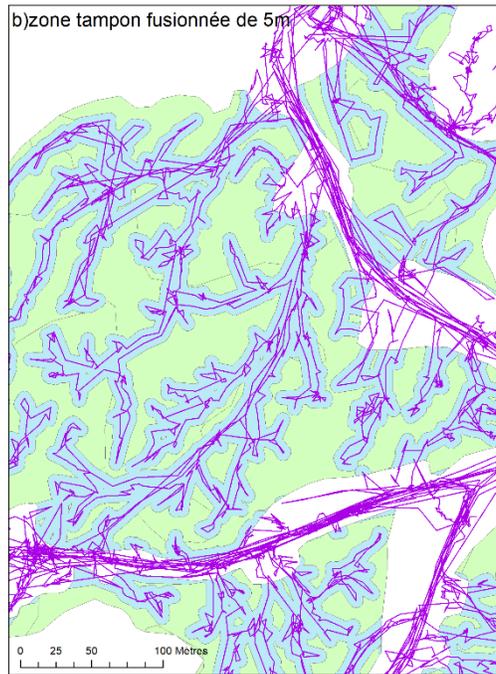
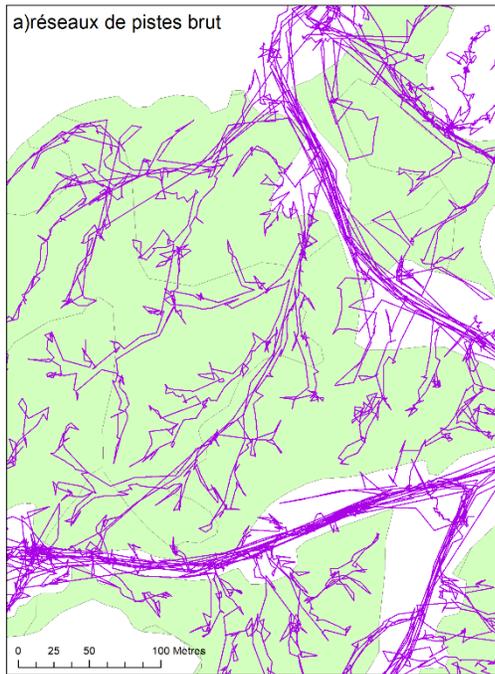


Figure 25. Étapes d'estimation d'occupation des sentiers à partir des données de suivis de pistes des abatteuses.

Tableau 30. Proportions de sentiers calculées à partir des pistes d'abatteuses pour quelques secteurs d'intervention.

Industriel	Secteur	Trait	Analyse ArcGis					Mesures sentiers par virées	Tiges coupées dans sentiers	
			superficie totale	longueur des sentiers (m)	m/ha	superficie (zones 2.5m fusionnées)	% de superficie		% des PE avec tiges 10-22 cm coupées inventaire de sentier	% de PE avec tiges sentiers (tous DHP)
Ind 2	Loutre 17758	CPI_RL-3I_ENS	34.7	21154	610	10.00	28.8%	16.8%	18.75%	25%
	Sinclair 18586	CPI_CP-ENS_U	82.7	40612	491	19.36	23.4%	ND	19%	38%
	Sinclair 18587	CPI_CP-ENS_U	85.2	46583	547	21.86	25.7%	ND	28%	36%
	Sinclair 18588	CPI_CP-ENS_U	113.1	54005	478	25.96	23.0%	ND	19%	31%
	17549-0000-LAND	CPI_CP-ENS_U	68.4	33047	483	15.90	23.3%	ND	35%	41%
	17550-0000-LAND	CPI_RL-3I_ENS	103.2	55617	539	26.45	25.6%	ND	33%	33%
Ind 1	15698-0000-MCGC	CPI_CP	39.989796	20569.15565	514	9.52	23.8%	ND	ND	ND
	15699-0000-MCGC	CPI_RL-2I_ENS	12.836466	5762.308672	449	2.67	20.8%	ND	ND	ND
	15702-C000-MCGC	CPI_CP	59.813052	24985.27629	418	11.56	19.3%	ND	ND	ND

3.4. ANALYSE SIMULATION MERIS ET ARTEMIS

Afin de vérifier si le fait de récolter ou non les petites marchandes a un impact sur l'évolution du volume par essence et sur la valeur sur 50 ans, des simulations ont été réalisées. Ces questions sont effectivement pertinentes lorsqu'une essence comme le hêtre est très présente en succession combinée à la difficulté de se régénérer de l'ers ou encore dans le cas où certaines espèces comme le chêne, le boj ou les pins blanc et rouges ne sont pas présentes dans la succession (bien que présentes sur pied).

3.4.1. Méthode

Le logiciel MERIS (2.4.0) a été utilisé pour réaliser les analyses. Une analyse de 4 secteurs d'intervention a été réalisée. Les volumes ont été compilés avec la zone de cubage où se trouvent les chantiers. Les taux ont été calculés avec les zones de tarifs associés aux chantiers.

Les secteurs choisis sont une Érablière avec abondance de HEG , une érablière avec chêne et hêtre et une pinède avec un sous-couvert de SAB et d'ERR et une érablière à BOJ avec HEG en sous-couvert.

3.4.1.1. Type de récolte

Deux scénarios de récolte ont été testés, soit le scénario de récolte actuel prévu et prescrit. Pour les érablières, les tiges de 10-22 cm de HEG, PEU, et SAB sont coupées. Pour la pinède, les tiges d'ERR sont ajoutées. Dans le deuxième scénario, aucune tige de 10-22 cm n'est récoltée dans les simulations. Les montants par défauts proposés dans MERIS ont été utilisés.

3.4.1.2. Évolution de peuplement

Dans l'onglet croissance de MERIS, l'application Artemis a été utilisée avec les options de maladie corticale du HEG et les paramètres tendances FE2/FE3. Les données d'évolution ont été compilées jusqu'à 50 ans.

3.4.2. Érablière FE22 avec HEG en sous-couvert

CPIr1-3i : SI : 17450

Modalités prévues : récolte HEG, PEU et SAB de 10 cm et plus

Ajustement : aucune tige de 10-22 récoltée

Zone de tarif 755

Synthèse :

- Initialement plus de 131 tiges de HEG 10-22 cm.
- en gardant les 10-22 cm de HEG, problème de HEG dans le peuplement futur
- déjà après 10 ans, la valeur du bois sur pied est supérieure dans le traitement que les tiges 10-22 cm de HEG ont été enlevées.

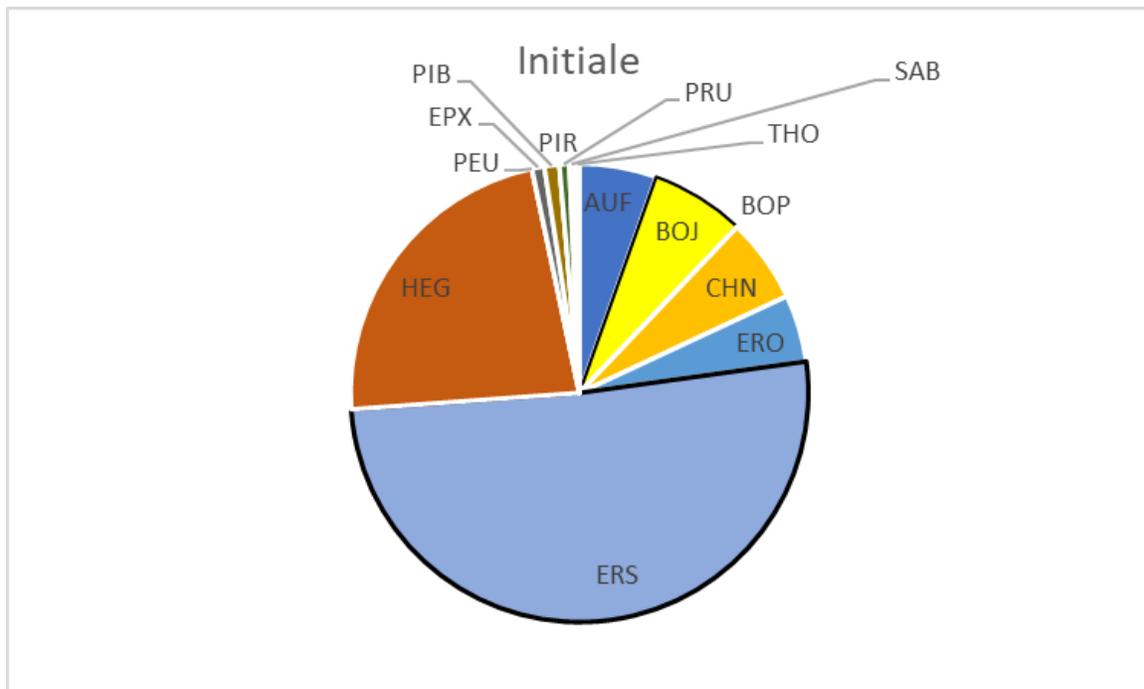


Figure 26. Proportion initiale de surface terrière par essence pour l'érablière à HEG

Tableau 31. Description dendrométrique pour l'érablière à HEG

Valeurs	Chantier	Essence	Initial					Récolte Prescrite					Résiduel prescrit					Récolte sans les 10-22 cm					Résiduel sans les 10-22 cm				
			10-22	24-28	30-38	40 plus	total	10-22	24-28	30-38	40 plus	total	10-22	24-28	30-38	40 plus	Total	10-22	24-28	30-38	40 plus	Total	10-22	24-28	30-38	40 plus	Total
tiges/ha	17450	AUF	38	1	3	2	44	7	0	0	1	9	31	1	2	1	35	0	0	0	1	2	38	1	2	1	42
		BOJ	15	3	4	4	25	1	0	0	0	2	14	3	3	23	0	0	0	1	15	3	3	3	3	24	
		BOP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		CHN	30	3	3	2	38	5	0	0	0	5	26	3	3	2	33	0	0	0	0	0	30	3	3	2	38
		ERO	48	6	1	0	56	13	0	0	0	13	35	6	1	0	43	0	0	0	0	0	48	6	1	0	56
		ERS	109	31	47	18	205	8	4	12	12	37	101	27	35	6	168	0	4	12	12	29	109	27	35	6	176
		HEG	131	15	17	2	166	131	14	17	2	165	0	1	0	0	1	0	14	17	2	34	131	1	0	0	132
		PEU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		EPX	2	1	1	0	4	0	0	0	0	2	1	1	0	4	0	0	0	0	0	2	1	1	0	4	
		PIB	9	0	0	1	10	5	0	0	0	5	4	0	0	1	5	0	0	0	0	9	0	0	0	1	10
		PIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		PRU	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
		SAB	5	0	0	0	5	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5
		THO	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	total		387	60	77	29	554	175	19	31	16	240	213	41	46	13	313	0	19	31	16	66	387	41	46	13	488
m2/ha	17450	AUF	0.5	0.0	0.3	0.3	1.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.0	0.2	0.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.5	0.0	0.2	0.2	0.9
		BOJ	0.2	0.2	0.3	0.7	1.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.6	1.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6	1.3
		BOP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		CHN	0.5	0.2	0.2	0.5	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.2	0.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0.2	0.2	0.5	1.3
		ERO	0.5	0.3	0.1	0.0	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.3	0.1	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.1	0.0	1.0	
		ERS	2.2	1.7	4.2	2.8	11.0	0.2	0.2	1.1	1.9	3.5	2.0	1.5	3.1	0.9	7.5	0.0	0.2	1.1	1.9	3.3	2.2	1.5	3.1	0.9	7.7
		HEG	2.2	0.8	1.5	0.4	4.9	2.2	0.8	1.5	0.4	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.5	0.4	2.7	2.2	0.0	0.0	0.0	2.2
		PEU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		EPX	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2
		PIB	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	
		PIR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		PRU	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2
		SAB	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
		THO	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	total		6.3	3.3	6.9	5.0	21.5	2.8	1.0	2.8	2.6	9.2	3.5	2.3	4.1	2.4	12.3	0.0	1.0	2.8	2.6	6.4	6.3	2.3	4.1	2.4	15.1
m3/ha	17450	AUF	2.4	0.3	2.4	3.5	8.6	0.3	0.0	0.3	2.0	2.6	2.1	0.3	2.1	1.6	6.1	0.0	0.0	0.3	2.0	2.3	2.4	0.3	2.1	1.6	6.3
		BOJ	0.8	1.4	2.8	6.2	11.2	0.2	0.0	0.3	0.7	1.2	0.6	1.4	2.5	5.6	10.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.8	1.4	2.5	5.6	10.3
		BOP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		CHN	2.1	1.1	1.9	4.2	9.3	0.1	0.0	0.0	0.1	2.0	1.1	1.9	4.2	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	1.1	1.9	4.2	9.3	
		ERO	2.1	2.4	0.9	0.3	5.7	0.6	0.0	0.0	0.3	0.9	1.4	2.4	0.9	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	2.1	2.4	0.9	0.0	5.3
		ERS	12.4	13.3	36.0	25.0	86.7	1.1	1.7	9.7	17.3	29.7	11.3	11.6	26.3	7.8	56.9	0.0	1.7	9.7	17.3	28.6	12.4	11.6	26.3	7.8	58.0
		HEG	12.7	6.9	14.8	3.7	38.0	12.7	6.5	14.8	3.7	37.7	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	6.5	14.8	3.7	25.0	12.7	0.3	0.0	0.0	13.0
		PEU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		EPX	0.2	0.3	1.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	1.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	1.0	0.0	1.5	
		PIB	0.5	0.0	0.0	1.1	1.6	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	1.1	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.1	1.6	
		PIR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		PRU	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5
		SAB	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	
		THO	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0
	total		33.6	25.7	60.1	45.5	164.9	15.5	8.3	25.3	23.8	73.0	18.0	17.4	34.8	21.7	92.0	0.0	8.3	25.3	23.8	57.4	33.6	17.4	34.8	21.7	107.5

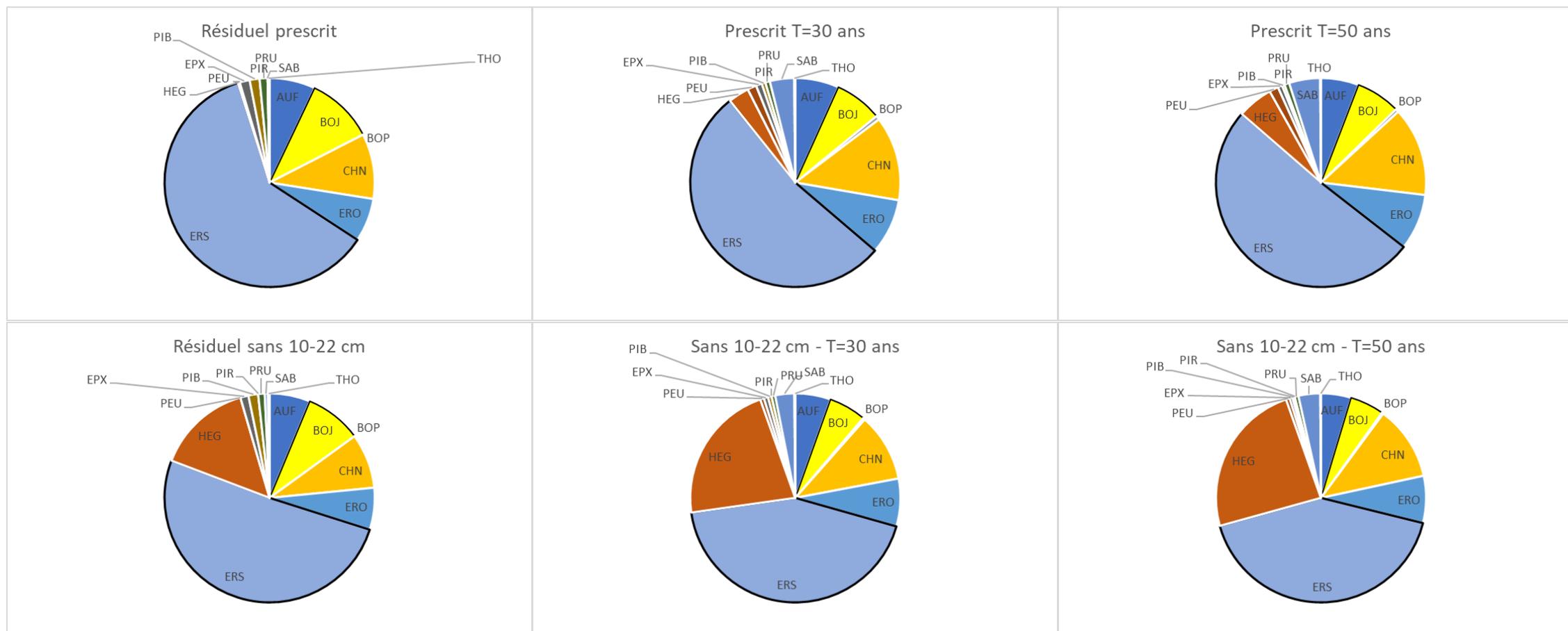


Figure 27. Évolution de la proportion de surface terrière par essence par scénario pour l'érablière à HEG

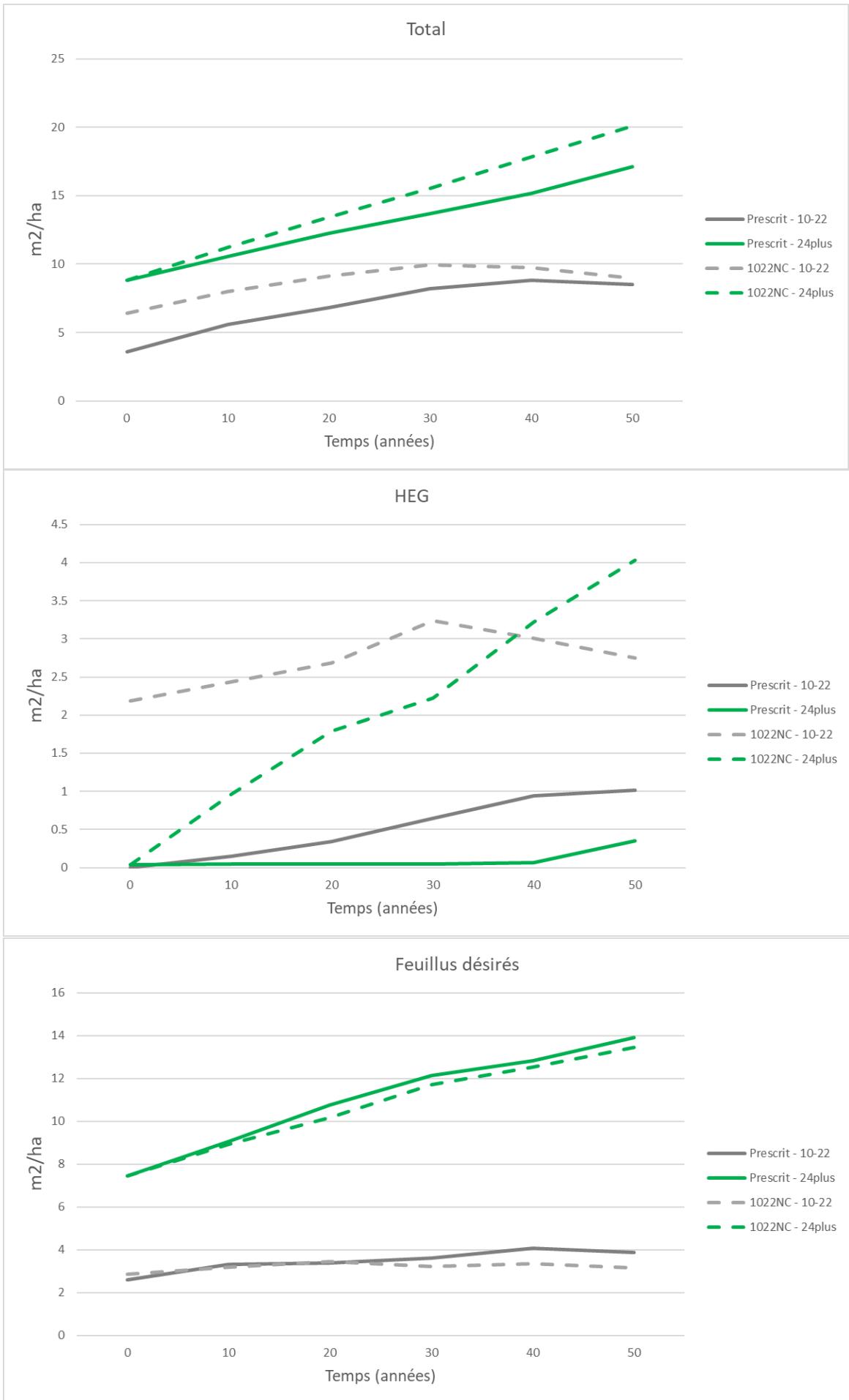


Figure 28. Évolution de la surface terrière totale, du HEG et des feuillus désirés selon le scénario et la classe de DHP pour l'érablière à HEG.

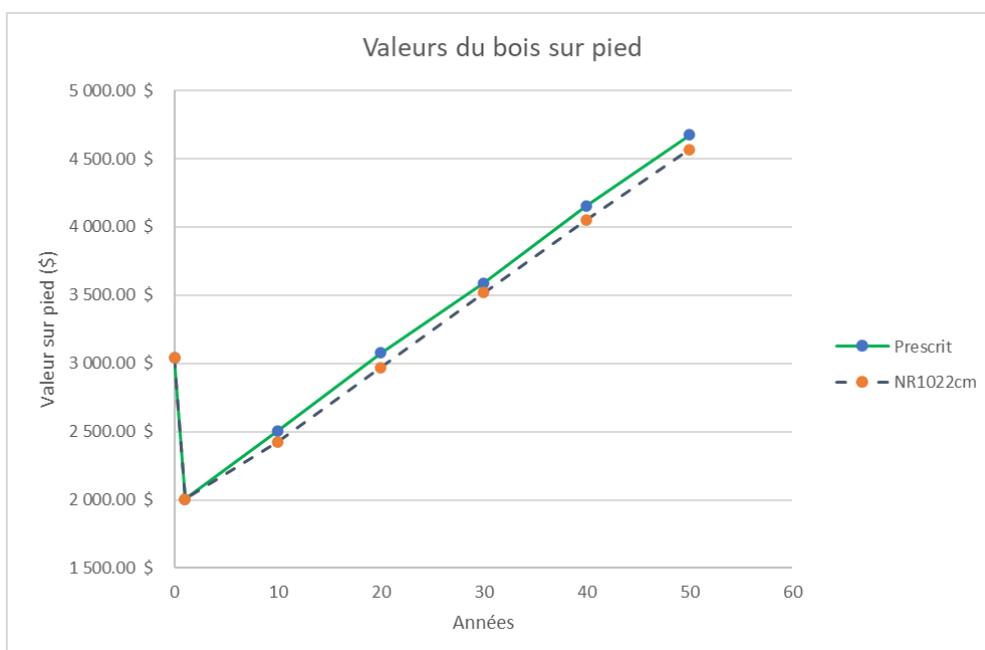


Figure 29. Valeur totale du bois sur pied pour l'érablière à HEG dans le temps

Tableau 32. Synthèse de l'analyse financière pour l'érablière à HEG

17450	Prescription prévue		1022 cm non récoltées	
	1-avec aide financière (90%)	2- 0% aide financière	1-avec aide financière (90%)	2- 0% aide financière
	CPI_RL_3I	CPI_RL_3I	CPI_RL_3I	CPI_RL_3I
Valeurs	755	755	755	755
M ³ /Ha Tot	73.12		57.42	
M ³ /Ha Net	55.20		42.54	
Sci. + Dér.	18.04		17.89	
Pâte + Billon	36.97		24.47	
Valeurs Produits	4445.56		3348.23	
Redevances	236.40		236.40	
M3/tige initial	0.297	0.297	0.297	0.297
M3/tige récolté	0.30	0.30	0.87	0.87
Aide Financière	786.61	0.00	360.62	0.00
Frais Variables	3795.37		2697.05	
Frais Fixes	986.43		986.43	
Bénéf. Net /Ha	213.98	-572.63	-211.03	-571.65
Bénéf. Net /M ³ Tot	2.93	-7.83	-3.68	-9.96
Bénéf. Net /M ³ Net	3.88	-10.37	-4.96	-13.44

3.4.3. Érablière à CHR avec HEG en sous-couvert (16605)

CPIr1-3i : 16605, 27 PE

Modalités prévues : récolte HEG, PEU et SAB de 10 cm et plus

Ajustement : aucune tige de 10-22 récoltée

Zone de tarif 755

Résultats de simulations :

- en gardant les 10-22 cm de HEG, problème futur de HEG dans le peuplement;
- déjà après 10 ans, la valeur du bois sur pied est supérieure dans le traitement que les tiges de 10-22 cm de HEG ont été enlevées.

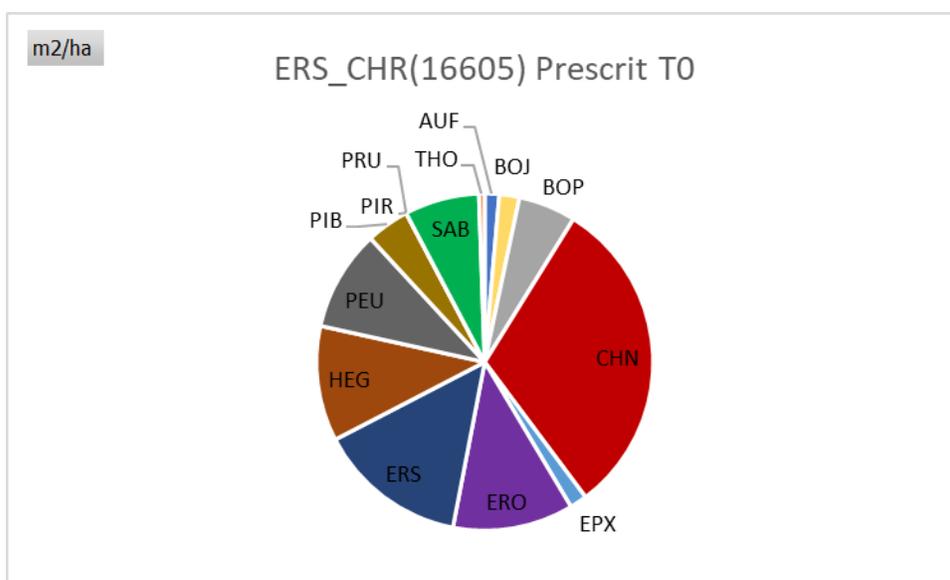


Figure 30. Proportion initiale de surface terrière par essence

Tableau 33. Description dendrométrique pour l'érablière à chêne

Valeurs SI	Essence	Initial					Récolte prescrit					Résiduel prescrit					Récolte sans les 10-22 cm					Résiduel sans les 10-22 cm				
		10-22	24-28	30-38	40plus	Total	10-22	24-28	30-38	40plus	Total	10-22	24-28	30-38	40plus	Total	10-22	24-28	30-38	40plus	Total	10-22	24-28	30-38	40plus	Total
tiges/ha ERS_CHR(16605)	AUF	0	2	2	1	4	0	0	0	1	1	0	2	2	0	4	0	0	0	1	1	0	2	2	0	4
	BOJ	8	2	2	0	12	3	2	1	0	5	5	0	1	0	7	0	2	1	0	2	8	0	1	0	10
	BOP	15	12	7	0	34	15	7	7	0	30	0	5	0	0	5	0	7	7	0	15	15	5	0	0	20
	CHN	32	30	52	9	123	4	5	17	3	30	28	25	35	5	93	0	5	17	3	26	32	25	35	5	97
	EPX	6	2	1	1	9	0	2	0	0	2	6	0	1	1	7	0	2	0	0	2	6	0	1	1	7
	ERO	111	10	3	1	126	21	3	2	1	28	90	7	1	0	98	0	3	2	1	7	111	7	1	0	119
	ERS	74	14	13	3	104	3	6	8	2	19	71	8	5	1	85	0	6	8	2	16	74	8	5	1	88
	HEG	100	9	5	2	116	100	9	3	2	114	0	0	1	0	2	0	9	3	2	14	100	0	1	0	102
	PEU	5	5	12	7	29	3	5	11	6	26	2	0	1	1	3	0	5	11	6	23	5	0	1	1	6
	PIB	2	3	1	4	9	0	0	0	2	2	2	3	1	2	7	0	0	0	2	2	2	3	1	2	7
	PIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PRU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SAB	121	3	1	0	125	121	3	1	0	125	0	0	0	0	0	0	3	1	0	4	121	0	0	0	121
	THO	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
	Total ERS_CHR(16605)	474	93	98	29	694	270	42	51	18	381	204	51	47	11	313	0	42	51	18	111	474	51	47	11	583
m2/ha ERS_CHR(16605)	AUF	0.0	0.1	0.1	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3
	BOJ	0.2	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.4
	BOP	0.2	0.6	0.6	0.1	1.5	0.2	0.4	0.6	0.1	1.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.4	0.6	0.1	1.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.4
	CHN	0.7	1.6	4.6	1.3	8.3	0.1	0.3	1.4	0.5	2.4	0.6	1.3	3.2	0.8	5.9	0.0	0.3	1.4	0.5	2.2	0.7	1.3	3.2	0.8	6.1
	EPX	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4
	ERO	2.1	0.5	0.3	0.1	3.1	0.4	0.1	0.2	0.1	1.0	1.7	0.4	0.1	0.0	2.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.5	2.1	0.4	0.1	0.0	2.6
	ERS	1.6	0.7	1.1	0.4	3.9	0.1	0.4	0.7	0.3	1.4	1.5	0.4	0.4	0.1	2.4	0.0	0.4	0.7	0.3	1.3	1.6	0.4	0.4	0.1	2.5
	HEG	1.8	0.4	0.4	0.4	3.0	1.8	0.4	0.3	0.3	2.8	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.4	0.3	0.3	1.0	1.8	0.0	0.1	0.1	1.9
	PEU	0.1	0.3	1.1	1.0	2.6	0.1	0.3	1.0	1.0	2.4	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.3	1.0	1.0	2.3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3
	PIB	0.1	0.1	0.1	0.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.4	0.7
	PIR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	PRU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	SAB	1.7	0.1	0.1	0.0	1.9	1.7	0.1	0.1	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	1.7	0.0	0.0	0.0	1.7
	THO	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1
	Total ERS_CHR(16605)	8.7	4.8	8.6	4.7	26.8	4.5	2.2	4.4	2.8	13.9	4.2	2.6	4.2	1.9	12.9	0.0	2.2	4.4	2.8	9.4	8.7	2.6	4.2	1.9	17.4
m3/ha ERS_CHR(16605)	AUF	0.0	0.5	1.4	1.5	3.4	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	0.5	1.4	0.8	2.6	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	0.5	1.4	0.8	2.6
	BOJ	1.3	0.5	1.2	0.6	3.6	0.4	0.5	0.6	0.0	1.5	0.9	0.0	0.6	0.6	2.1	0.0	0.5	0.6	0.0	1.1	1.3	0.0	0.6	0.6	2.5
	BOP	1.2	4.9	5.2	0.7	11.9	1.2	3.1	5.2	0.7	10.1	0.0	1.8	0.0	0.0	1.8	0.0	3.1	5.2	0.7	9.0	1.2	1.8	0.0	0.0	3.0
	CHN	4.2	11.9	38.0	12.1	66.2	1.0	2.2	11.5	4.7	19.3	3.3	9.7	26.5	7.4	46.8	0.0	2.2	11.5	4.7	18.3	4.2	9.7	26.5	7.4	47.8
	EPX	0.9	0.6	0.7	1.3	3.5	0.0	0.6	0.0	0.0	0.6	0.9	0.0	0.7	1.3	2.9	0.0	0.6	0.0	0.0	0.6	0.9	0.0	0.7	1.3	2.9
	ERO	11.2	3.6	2.3	1.2	18.4	2.4	1.0	1.7	1.2	6.4	8.7	2.6	0.6	0.0	11.9	0.0	1.0	1.7	1.2	4.0	11.2	2.6	0.6	0.0	14.4
	ERS	8.6	5.6	9.4	4.0	27.5	0.4	2.9	5.6	2.6	11.6	8.2	2.7	3.7	1.3	15.9	0.0	2.9	5.6	2.6	11.2	8.6	2.7	3.7	1.3	16.4
	HEG	10.5	3.8	3.5	3.6	21.4	10.5	3.8	2.8	2.9	20.0	0.0	0.0	0.7	0.7	1.4	0.0	3.8	2.8	2.9	9.5	10.5	0.0	0.7	0.7	11.9
	PEU	1.2	2.9	11.9	11.7	27.7	0.5	2.9	11.1	10.9	25.4	0.6	0.0	0.8	0.8	2.3	0.0	2.9	11.1	10.9	24.9	1.2	0.0	0.8	0.8	2.8
	PIB	0.5	1.2	0.7	8.3	10.7	0.0	0.0	0.0	4.5	4.5	0.5	1.2	0.7	3.7	6.2	0.0	0.0	0.0	4.5	4.5	0.5	1.2	0.7	3.7	6.2
	PIR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	PRU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	SAB	8.0	1.1	0.6	0.0	9.7	8.0	1.1	0.6	0.0	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.6	0.0	1.6	8.0	0.0	0.0	0.0	8.0
	THO	0.0	0.4	0.0	0.5	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.5	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.5	0.9
	Total ERS_CHR(16605)	47.7	36.8	74.8	45.5	204.8	24.5	18.0	39.2	28.3	109.9	23.2	18.8	35.7	17.2	94.9	0.0	18.0	39.2	28.3	85.4	47.7	18.8	35.7	17.2	119.4

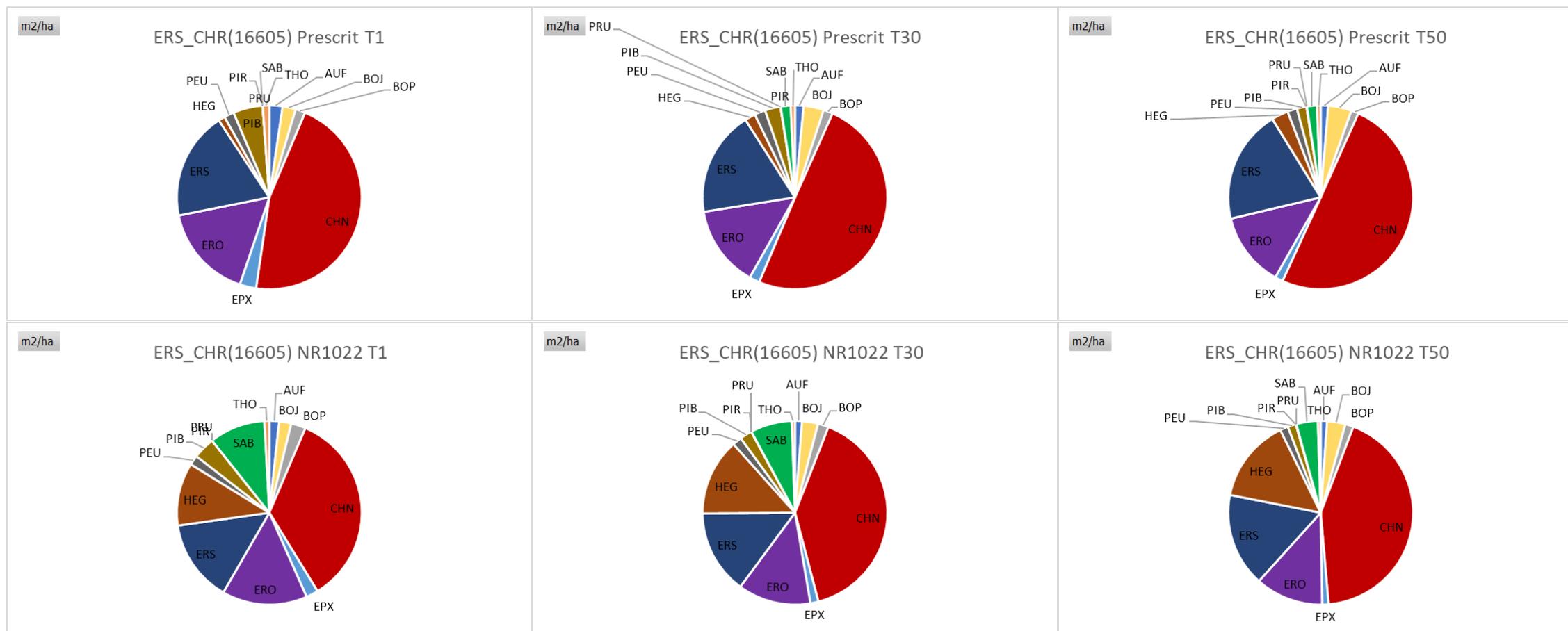


Figure 31. Évolution de la proportion de surface terrière par essence par scénario pour l'érablière à chêne

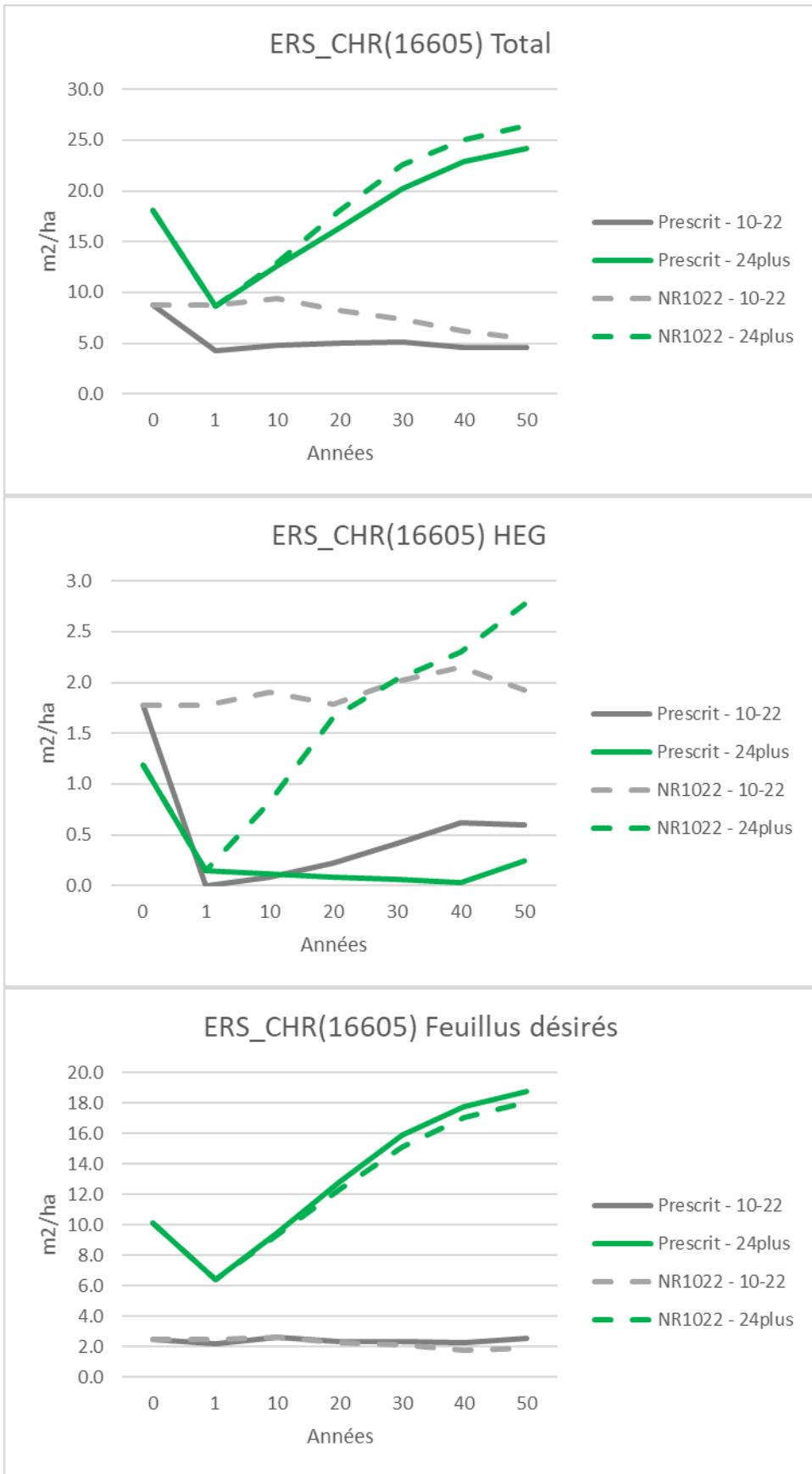


Figure 32. Évolution de la surface terrière totale, du HEG et des feuillus désirés selon le scénario et la classe de DHP pour l'érablière à chêne

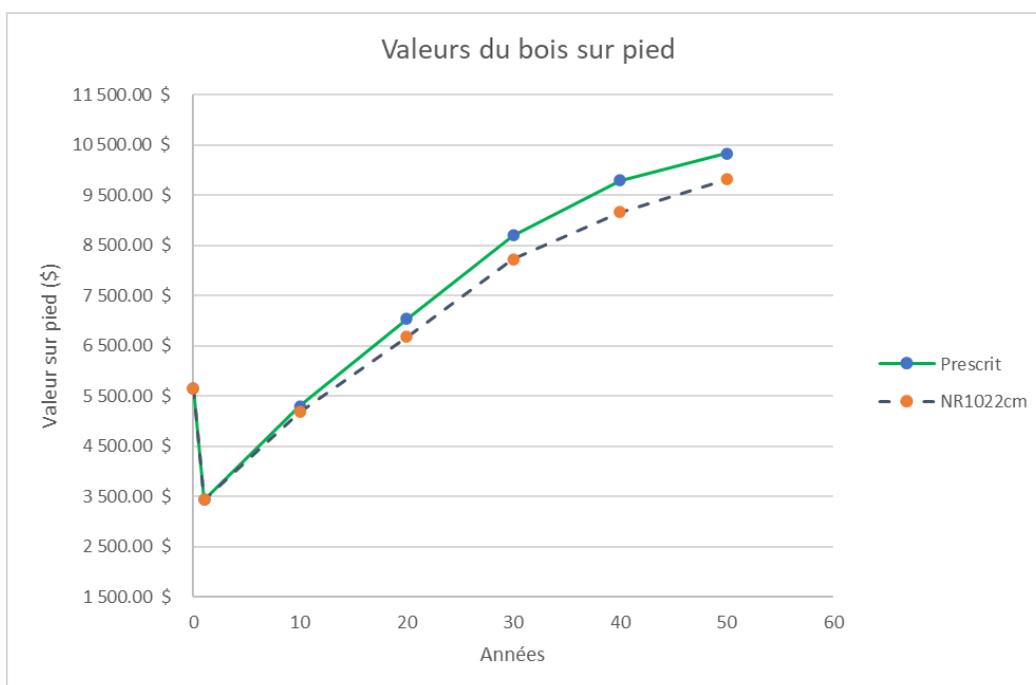


Figure 33. Valeur totale du bois sur pied pour l'érablière à CHE dans le temps

Tableau 34. Synthèse de l'analyse financière pour l'érablière à CHE

16605	Prescription prévue		1022 cm non récoltées	
	1-avec aide financière	2- 0% aide financière	1-avec aide financière	2- 0% aide financière
	CPI_RL_3I	CPI_RL_3I	CPI_RL_3I	CPI_RL_3I
Valeurs	755	755	755	755
M ³ /Ha Tot	109.9		85.4	
M ³ /Ha Net	90.0		68.4	
Sci. + Dér.	46.9		44.2	
Pâte + Billon	43.0		24.3	
Valeurs Produits	7419.5		5719.9	
Redevances	391.9		391.9	
m ³ /Tige - Initial	0.30		0.30	
m ³ /Tige - Récolte	0.29		0.77	
Aide Financière (90 %)	983.70 \$	- \$	363.34 \$	- \$
Frais Variables	5990		4267	
Frais Fixes	986		986	
Bénéf. Net /Ha	1 034.70 \$	50.99 \$	437.46 \$	74.12 \$
Bénéf. Net /M ³ Tot	9.41 \$	0.46 \$	5.12 \$	0.87 \$
Bénéf. Net /M ³ Net	11.50 \$	0.57 \$	6.39 \$	1.08 \$

3.4.4. Pinède avec en sous-couvert SAB et ERR (16098)

CPIr1-3i : 39 PE , sur RP12

Modalités prévues : récolte HEG, PEU et SAB et ERR de 10 cm et plus

Ajustement : aucune tige de 10-22 récoltée

Zone de tarif 754

Résultats de simulations :

- en gardant les 10-22 cm de ERR et SAB, problème futur dans le peuplement;
- on note un retour important du SAB et de ERR dans les 10-22cm, même s'ils ont été récoltés, et pratiquement aucun pib.
- Déjà après 10 ans, la valeur du bois sur pied est supérieure dans le traitement que les 10-22 cm ont été enlevées.
- À court terme, le bénéfice net par hectare est supérieur dans le traitement de récolte de petites tiges à cause de l'aide financière pour la récolte. Car sans aucune aide, le bénéfice net /ha est supérieur dans le traitement sans récolte de petites tiges.
- Problème des simulations : presque aucune tige de PIB recrutée dans les 10-22 sur 50 ans.

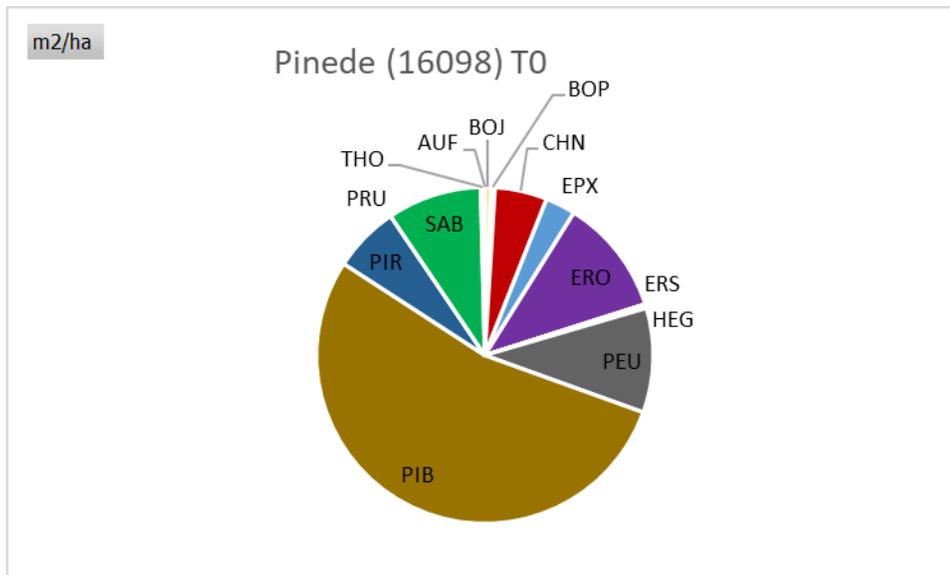


Figure 34. Proportion initiale de surface terrière par essence

Tableau 35. Description dendrométrique

Valeurs SI	Essence	Initial					Récolte prescrit					Résiduel prescrit					Récolte sans les 10-22 cm					Résiduel sans les 10-22 cm										
		10-22	24-28	30-38	40plus	Total	10-22	24-28	30-38	40plus	Total	10-22	24-28	30-38	40plus	Total	10-22	24-28	30-38	40plus	Total	10-22	24-28	30-38	40plus	Total						
tiges/ha	Pinede (16098)	AUF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		BOJ	12	0	0	0	12	0	0	0	0	0	12	0	0	0	12	0	0	0	0	0	12	0	0	0	12	0	0	0	0	0
		BOP	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
		CHN	9	2	8	3	22	0	1	1	1	3	9	1	8	2	19	0	1	1	1	3	9	1	8	2	19	0	0	0	0	0
		EPX	34	2	1	0	37	0	1	0	0	1	34	1	1	0	35	0	1	0	0	1	34	1	1	0	35	0	0	0	0	0
		ERO	180	2	0	0	183	180	2	0	0	183	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	180	0	0	0	180	0	0	0	0	0
		ERS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		HEG	5	0	0	0	5	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0
		PEU	13	7	6	7	33	13	6	6	7	32	0	1	0	0	1	0	6	6	7	19	13	1	0	0	14	0	0	0	0	0
		PIB	24	15	23	53	115	0	1	7	19	26	24	14	16	35	89	0	1	7	19	26	24	14	16	35	89	0	0	0	0	0
		PIR	15	3	4	6	28	0	0	3	5	8	15	3	1	1	20	0	0	3	5	8	15	3	1	1	20	0	0	0	0	0
		PRU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		SAB	186	0	0	0	186	186	0	0	0	186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	186	0	0	0	186	0	0	0	0	0
		THO	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Total Pinede (16098)		478	32	44	70	623	385	12	17	32	446	93	20	27	37	177	0	12	17	32	61	478	20	27	37	562						
m2/ha	Pinede (16098)	AUF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		BOJ	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		BOP	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		CHN	0.1	0.1	0.7	0.4	1.3	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.7	0.3	1.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.7	0.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		EPX	0.6	0.1	0.1	0.1	0.8	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.6	0.1	0.1	0.0	0.7	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.6	0.1	0.1	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		ERO	2.9	0.1	0.0	0.0	3.0	2.9	0.1	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	2.9	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		ERS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		HEG	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		PEU	0.3	0.4	0.6	1.4	2.7	0.3	0.3	0.6	1.4	2.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	0.6	1.4	2.3	0.3	0.3	0.6	1.4	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		PIB	0.7	0.8	2.1	10.7	14.3	0.0	0.1	0.7	3.8	4.5	0.7	0.7	1.4	6.9	9.7	0.0	0.1	0.7	3.8	4.5	0.7	0.7	1.4	6.9	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		PIR	0.2	0.2	0.4	1.0	1.7	0.0	0.0	0.3	0.8	1.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.6	0.0	0.0	0.3	0.8	1.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		PRU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		SAB	2.4	0.0	0.0	0.0	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		THO	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total Pinede (16098)		7.4	1.6	4.0	13.5	26.6	5.7	0.6	1.6	6.2	14.2	1.7	1.0	2.4	7.3	12.4	0.0	0.6	1.6	6.2	8.5	7.4	1.0	2.4	7.3	18.1						
m3/ha	Pinede (16098)	AUF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		BOJ	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		BOP	0.0	0.4	0.4	0.0	0.9	0.0	0.4	0.4	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		CHN	0.4	0.7	5.7	3.7	10.6	0.0	0.4	0.4	1.4	2.1	0.4	0.4	5.4	2.3	8.4	0.0	0.4	0.4	1.4	2.1	0.4	0.4	5.4	2.3	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		EPX	2.8	0.8	0.4	0.5	4.5	0.0	0.4	0.0	0.5	0.9	2.8	0.4	0.4	0.0	3.6	0.0	0.4	0.0	0.5	0.9	2.8	0.4	0.4	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		ERO	13.0	0.6	0.0	0.0	13.6	13.0	0.6	0.0	0.0	13.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.6	13.0	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		ERS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		HEG	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		PEU	2.1	3.3	6.3	15.1	26.7	2.1	2.8	6.3	15.1	26.2	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	2.8	6.3	15.1	24.2	2.1	0.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		PIB	4.8	6.7	21.1	116.4	148.9	0.0	0.5	6.7	41.3	48.5	4.8	6.2	14.3	75.1	100.5	0.0	0.5	6.7	41.3	48.5	4.8	6.2	14.3	75.1	100.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		PIR	0.9	1.2	3.2	10.1	15.5	0.0	0.0	2.3	8.5	10.8	0.9	1.2	0.9	1.6	4.7	0.0	0.0	2.3	8.5	10.8	0.9	1.2	0.9	1.6	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		PRU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		SAB	10.5	0.0	0.0	0.0	10.5	10.5	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		THO	0.0	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total Pinede (16098)		35.7	13.7	37.8	145.8	233.0	26.1	5.0	16.2	66.7	114.0	9.6	8.6	21.6	79.1	118.9	0.0	5.0	16.2	66.7	87.9	35.7	8.6	21.6	79.1	145.0						

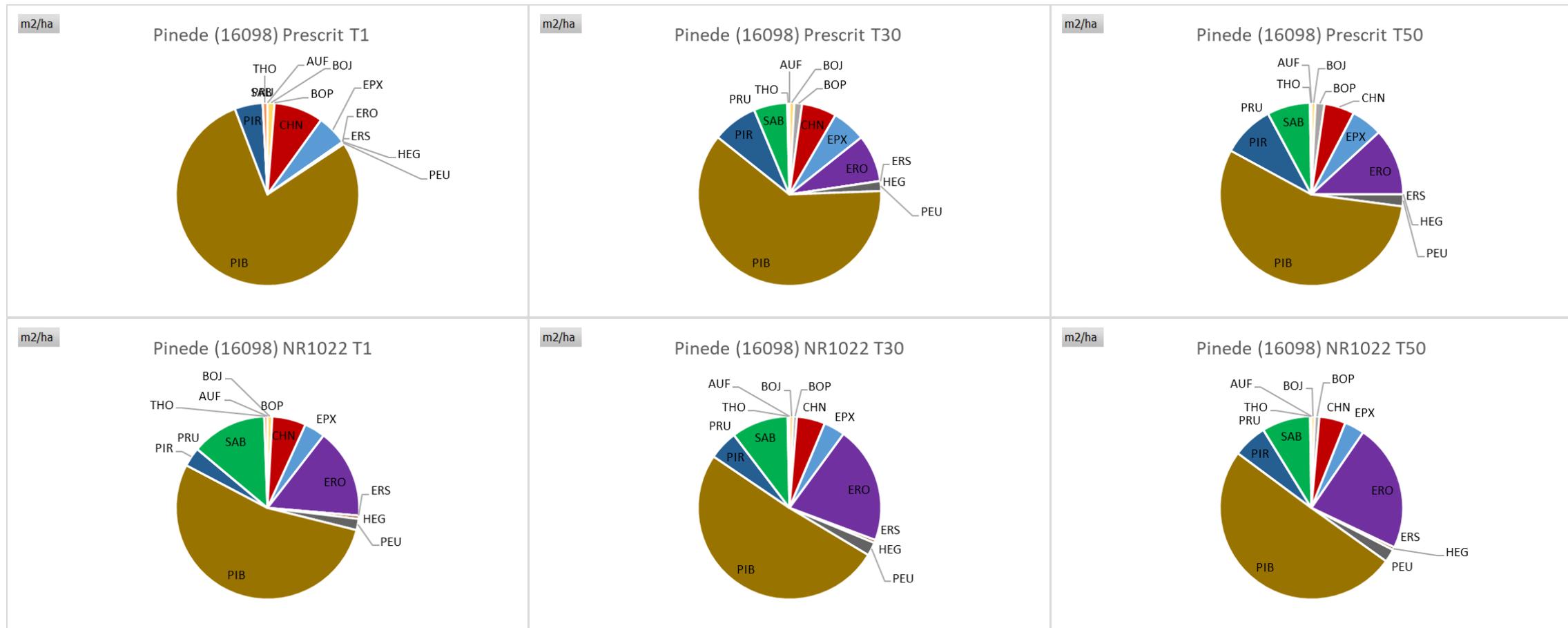


Figure 35. Évolution de la proportion de surface terrière par essence par scénario pour la pinède

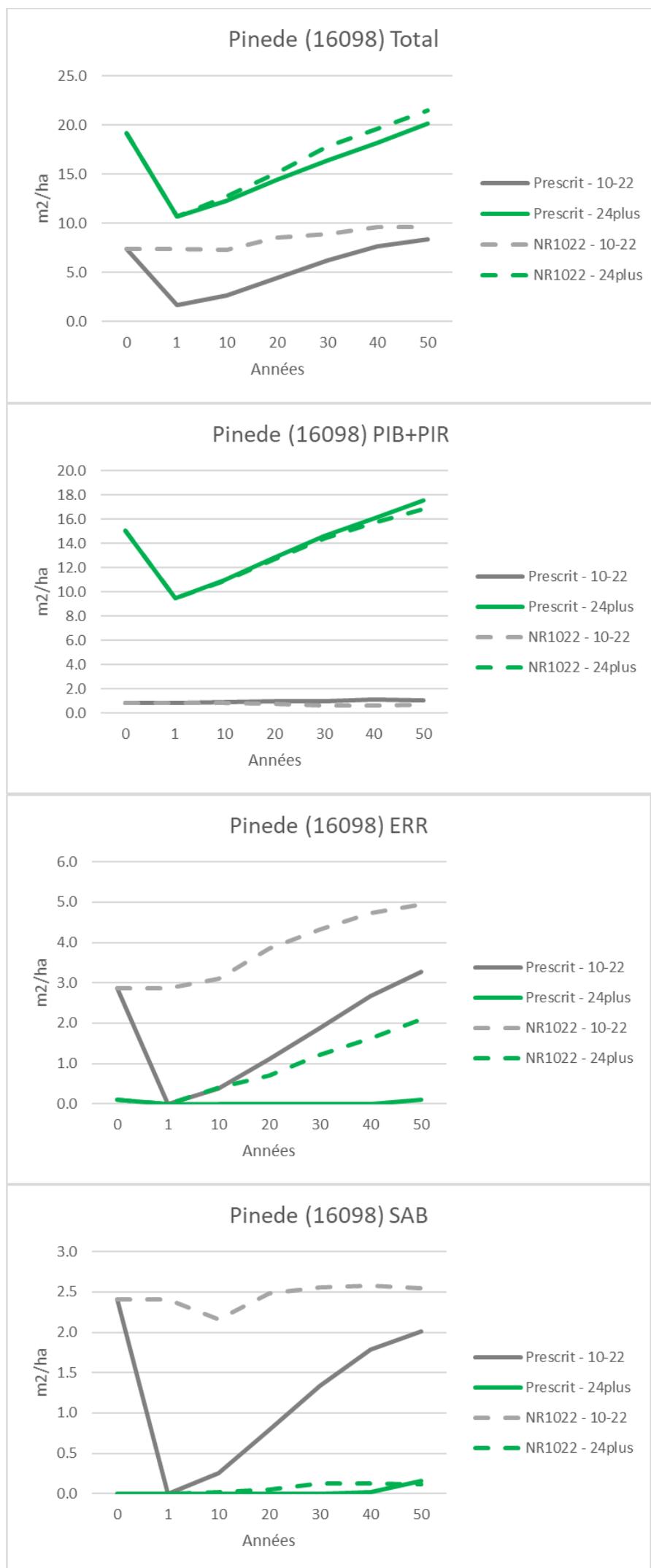


Figure 36. Évolution de la surface terrière totale, du PIB et ERO et SAB selon le scénario et la classe de DHP pour la pinède

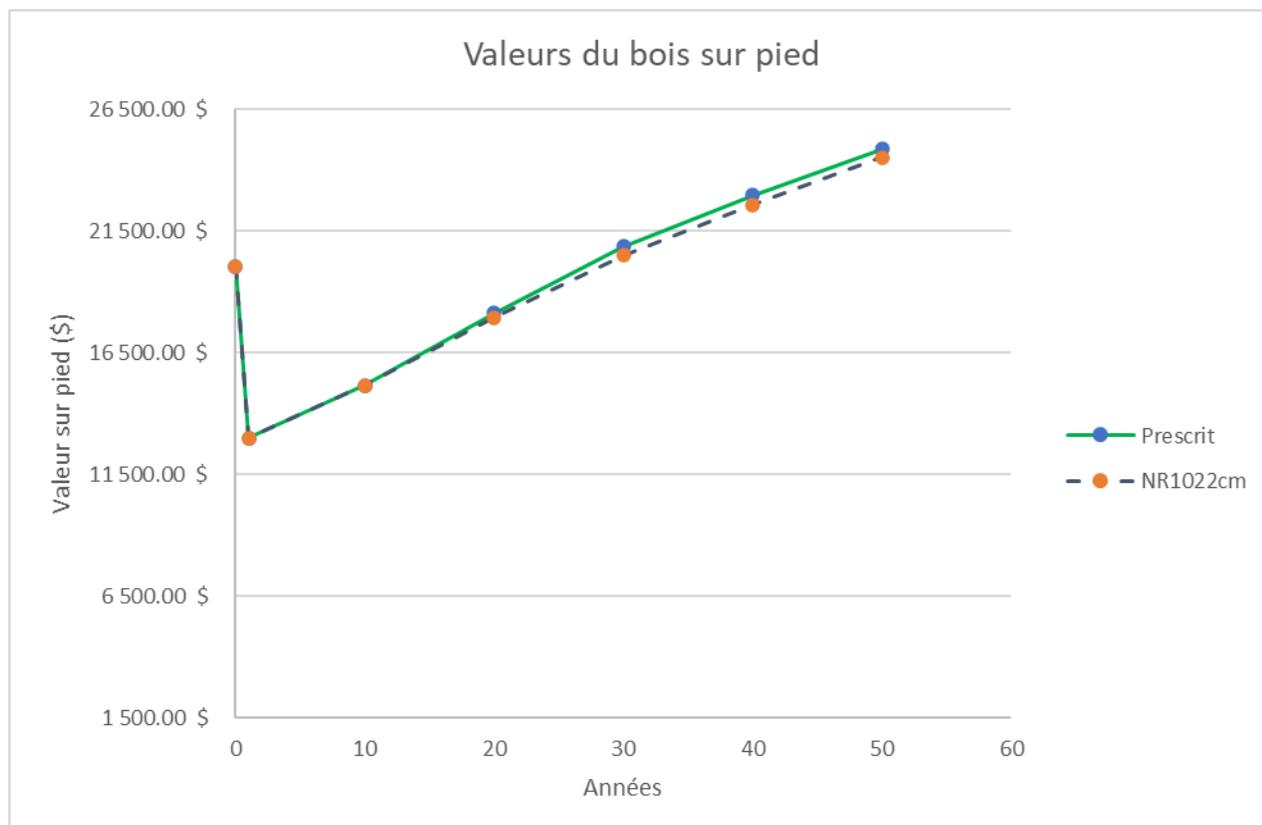


Figure 37. Valeur totale du bois sur pied pour la pinède dans le temps

Tableau 36. Synthèse de l'analyse financière pour la pinède

	Prescription prévue		1022 cm non récoltées	
	1-avec aide financière	2- 0% aide financière	1-avec aide financière	2- 0% aide financière
16098	CPI_RL_3I	CPI_RL_3I	CPI_RL_3I	CPI_RL_3I
Valeurs	754	754	754	754
M ³ /Ha Tot	114.9		88.8	
M ³ /Ha Net	105.2		82.4	
Sci. + Dér.	72.6		69.4	
Pâte + Billon	32.7		13.0	
Valeurs Produits	11086.0		9174.0	
Redevances	550.6		550.6	
m ³ /Tige - Initial	0.37		0.37	
m ³ /Tige - Récolte	0.26		1.42	
Aide Financière (90 %)	1299	0	182	0
Frais Variables	6 963.63 \$		4 718.22 \$	
Frais Fixes	999.03 \$		999.03 \$	
Bénéf. Net /Ha	3 871.62 \$	2 572.73 \$	3 088.05 \$	2 906.15 \$
Bénéf. Net /M ³ Tot	33.70 \$	22.39 \$	34.77 \$	32.72 \$
Bénéf. Net /M ³ Net	36.79 \$	24.45 \$	37.50 \$	35.29 \$

3.4.5. Érablière à BOJ avec HEG en sous-couvert (14975)

CPIr1-3i : 14975, 10 PE , sur MJ12. Présence de pruche importante

Modalités prévues : récolte HEG, PEU et SAB de 10 cm et plus

Ajustement : aucune tige de 10-22 récoltée

Zone de tarif 750

Résultats de simulations :

- en gardant les 10-22 cm de HEG, problème futur de HEG dans le peuplement;
- Ici, la valeur du bois sur pied est supérieure dans le traitement que les 10-22 cm de HEG n'ont pas été enlevées.
- À court terme, la récolte des tiges 10-22 cm est plus rentable, car crédit plus élevé
-

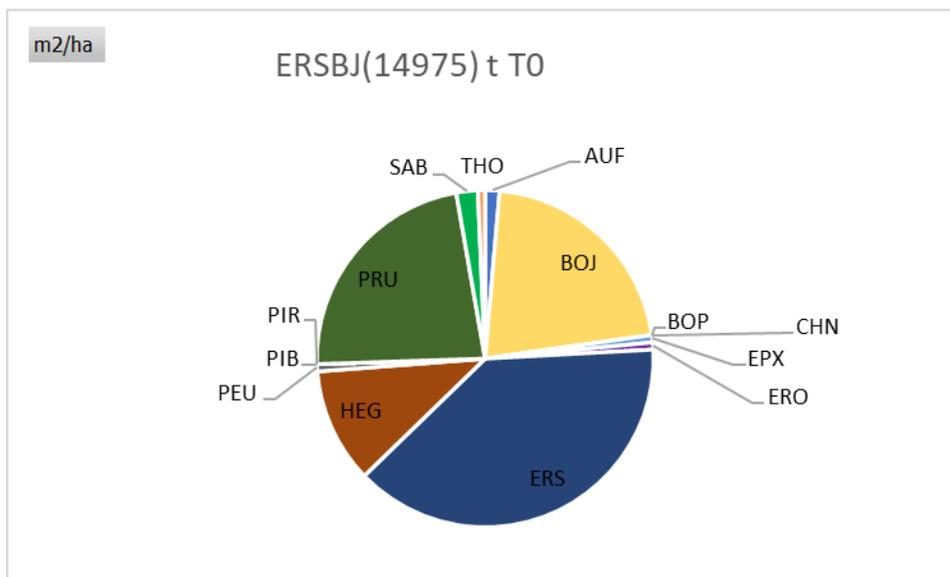


Figure 38. Proportion initiale de surface terrière par essence dans l'érablière à boj

Tableau 37. Description dendrométrique pour l'érablière à BOJ

Valeurs SI	Essence	Initial					Récolte prescrit					Résiduel prescrit					Récolte sans les 10-22 cm					Résiduel sans les 10-22 cm				
		10-22	24-28	30-38	40plus	Total	10-22	24-28	30-38	40plus	Total	10-22	24-28	30-38	40plus	Total	10-22	24-28	30-38	40plus	Total	10-22	24-28	30-38	40plus	Total
tiges/ha ERSBJ(14975)	AUF	25	0	0	1	26	25	0	0	1	26	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	25	0	0	0	25
	BOJ	88	22	19	4	133	0	8	5	3	15	88	15	14	2	118	0	8	5	3	15	88	15	14	2	118
	BOP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CHN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EPX	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5
	ERO	0	4	0	0	4	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0
	ERS	72	32	45	24	173	16	25	12	16	69	56	7	33	8	104	0	25	12	16	53	72	7	33	8	120
	HEG	158	4	6	1	171	158	4	6	1	171	0	0	0	0	0	0	4	6	1	12	158	0	0	0	158
	PEU	25	0	0	0	25	25	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	25
	PIB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PIR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PRU	53	11	8	19	91	6	8	8	7	29	46	4	0	12	62	0	8	8	7	22	53	4	0	12	69
	SAB	13	4	0	0	17	13	4	0	0	17	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	13	0	0	0	13
	THO	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Total ERSBJ(14975)	440	79	78	51	648	244	54	31	29	358	196	25	47	22	290	0	54	31	29	114	440	25	47	22	534	
m2/ha ERSBJ(14975)	AUF	0.2	0.0	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2
	BOJ	2.2	1.2	1.8	1.0	6.2	0.0	0.4	0.4	0.6	1.4	2.2	0.8	1.4	0.4	4.8	0.0	0.4	0.4	0.6	1.4	2.2	0.8	1.4	0.4	4.8
	BOP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	CHN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	EPX	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2
	ERO	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ERS	1.4	1.8	4.0	4.0	11.2	0.6	1.4	1.2	2.8	6.0	0.8	0.4	2.8	1.2	5.2	0.0	1.4	1.2	2.8	5.4	1.4	0.4	2.8	1.2	5.8
	HEG	2.2	0.2	0.6	0.2	3.2	2.2	0.2	0.6	0.2	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	0.2	1.0	2.2	0.0	0.0	0.0	2.2
	PEU	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2
	PIB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	PIR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	PRU	1.0	0.6	0.6	4.4	6.6	0.2	0.4	0.6	1.6	2.8	0.8	0.2	0.0	2.8	3.8	0.0	0.4	0.6	1.6	2.6	1.0	0.2	0.0	2.8	4.0
	SAB	0.4	0.2	0.0	0.0	0.6	0.4	0.2	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4
	THO	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total ERSBJ(14975)	7.8	4.2	7.0	10.0	29.0	3.8	2.8	2.8	5.6	15.0	4.0	1.4	4.2	4.4	14.0	0.0	2.8	2.8	5.6	11.2	7.8	1.4	4.2	4.4	17.8	
m3/ha ERSBJ(14975)	AUF	0.5	0.0	0.0	2.0	2.5	0.5	0.0	0.0	2.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5
	BOJ	13.7	9.5	16.1	9.4	48.8	0.0	3.2	3.5	5.6	12.3	13.7	6.4	12.6	3.8	36.5	0.0	3.2	3.5	5.6	12.3	13.7	6.4	12.6	3.8	36.5
	BOP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	CHN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	EPX	1.3	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.3
	ERO	0.0	1.4	0.0	0.0	1.4	0.0	1.4	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	ERS	8.0	14.8	37.4	40.4	100.6	4.3	11.5	11.5	28.4	55.7	3.7	3.3	25.9	12.1	44.9	0.0	11.5	11.5	28.4	51.3	8.0	3.3	25.9	12.1	49.3
	HEG	10.7	1.6	5.9	2.1	20.4	10.7	1.6	5.9	2.1	20.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	5.9	2.1	9.6	10.7	0.0	0.0	0.0	10.7
	PEU	0.7	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.7
	PIB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	PIR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	PRU	4.4	4.0	4.4	39.4	52.1	1.1	2.6	4.4	14.4	22.5	3.3	1.3	0.0	25.0	29.6	0.0	2.6	4.4	14.4	21.4	4.4	1.3	0.0	25.0	30.7
	SAB	2.8	1.5	0.0	0.0	4.4	2.8	1.5	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	1.5	2.8	0.0	0.0	0.0	2.8
	THO	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total ERSBJ(14975)	42.1	32.9	63.9	94.6	233.5	20.1	21.9	25.4	53.8	121.1	22.1	11.0	38.5	40.9	112.4	0.0	21.9	25.4	53.8	101.1	42.1	11.0	38.5	40.9	132.5	

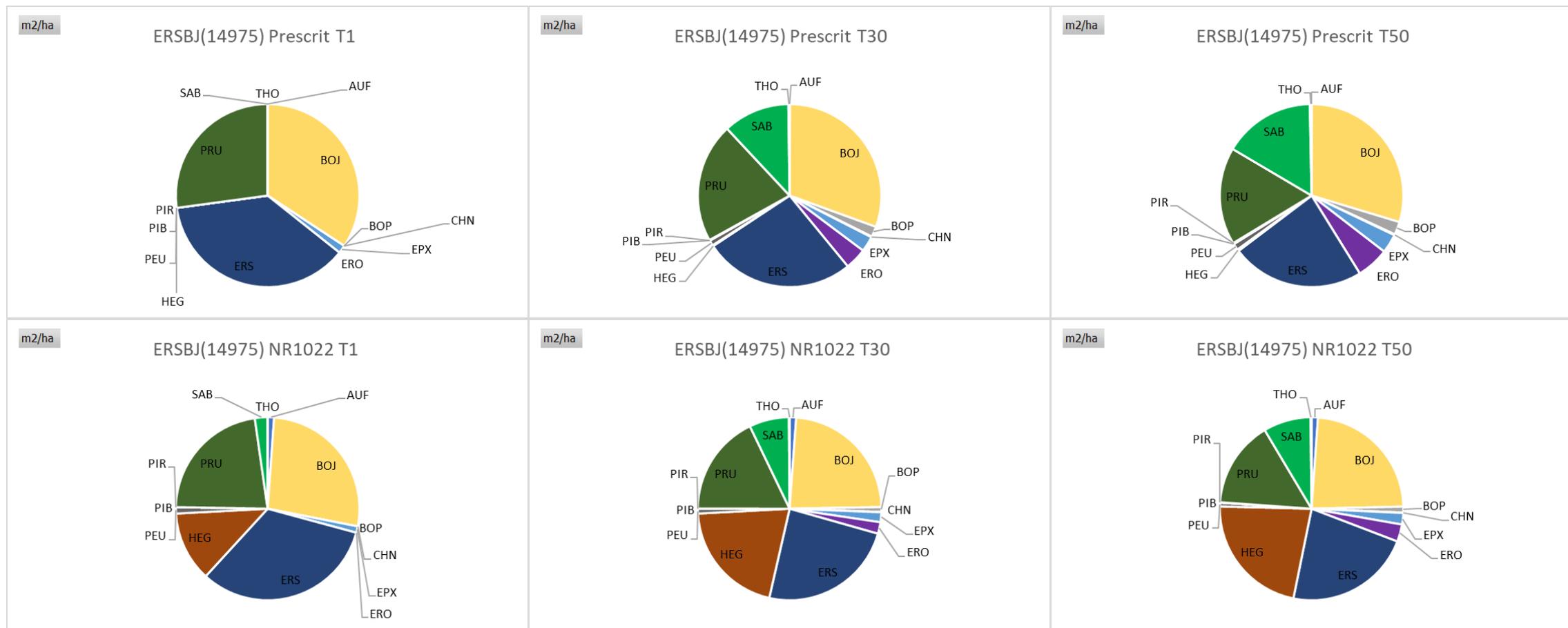


Figure 39. Évolution de la proportion de surface terrière par essence par scénario pour l'érablière à BOJ

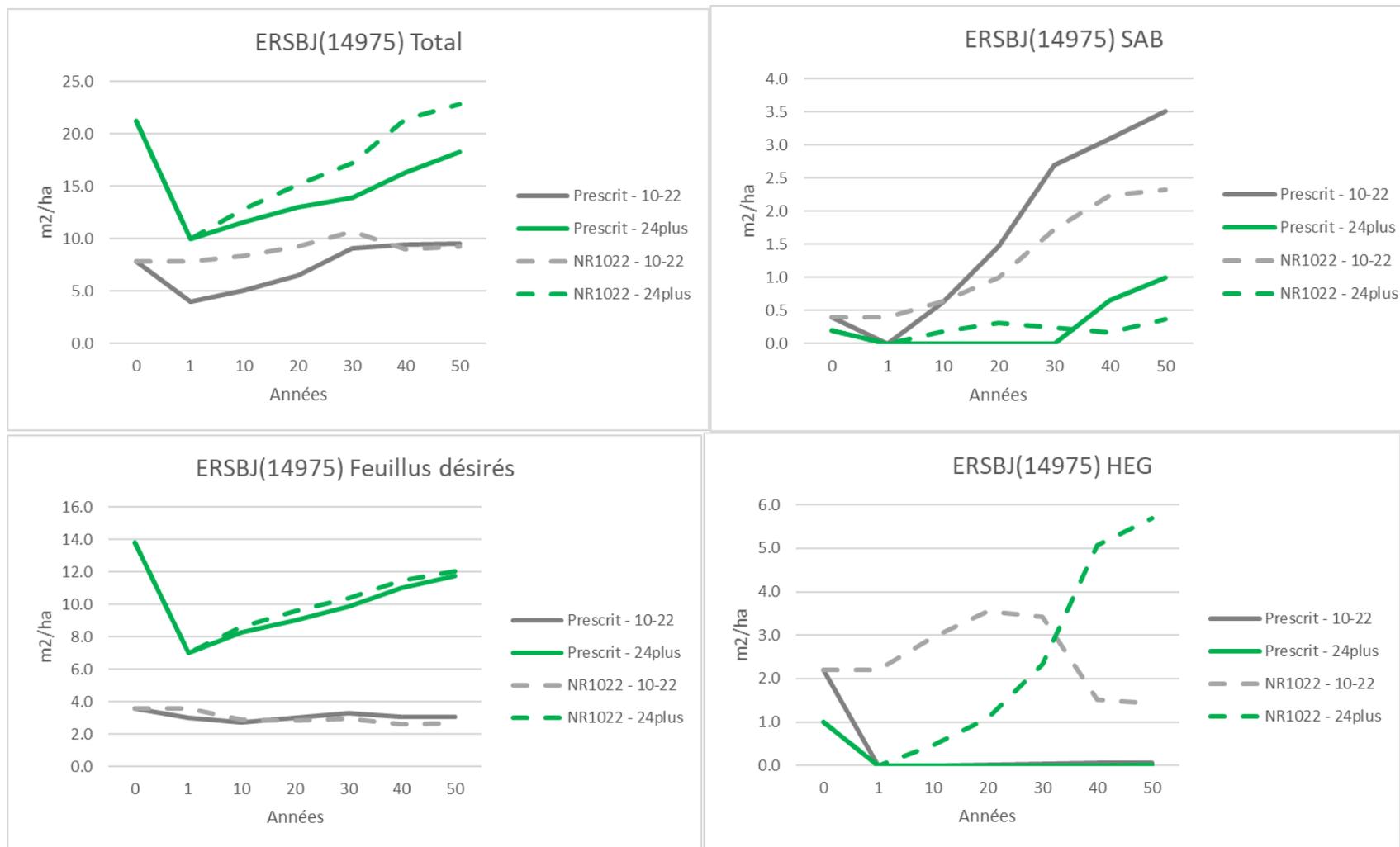


Figure 40. Évolution de la surface terrière totale, du HEG et des feuillus désirés selon le scénario et la classe de DHP pour l'érablière à boj

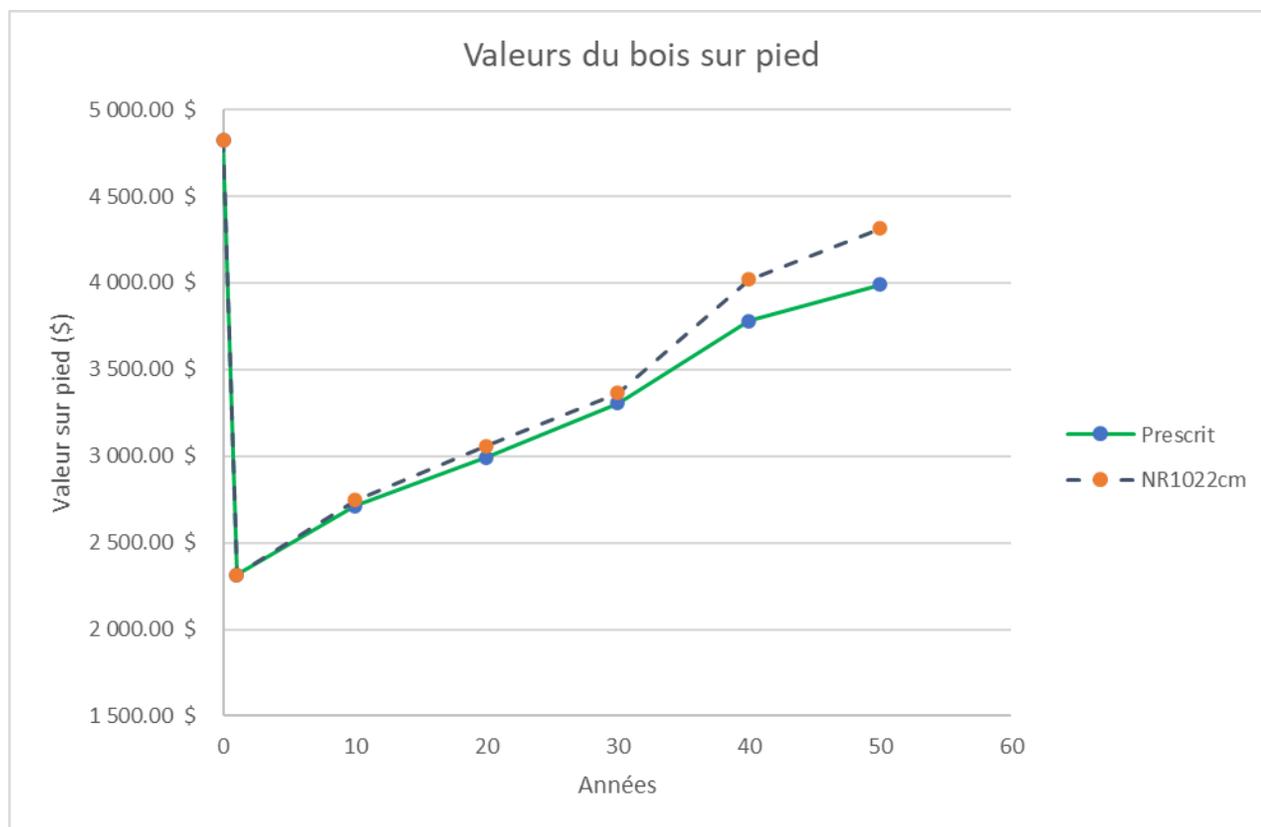


Figure 41. Valeur totale du bois sur pied pour l'érablière à boj dans le temps

Tableau 38. Synthèse de l'analyse financière pour l'érablière à boj

14975	Prescription prévue		1022 cm non récoltées	
	1-avec aide financière	2- 0% aide financière	1-avec aide financière	2- 0% aide financière
	CPI_RL_3I	CPI_RL_3I	CPI_RL_3I	CPI_RL_3I
Valeurs	750	750	750	750
M ³ /Ha Tot	121.1		101.1	
M ³ /Ha Net	98.0		80.6	
Sci. + Dér.	44.7		42.7	
Pâte + Billon	52.2		36.9	
Valeurs Produits	6999.3		5670.8	
Redevances	670.7		670.7	
m ³ /Tige - Initial	0.36		0.36	
m ³ /Tige - Récolte	0.34		0.89	
Aide Financière (90 %)	975	0	359	0
Frais Variables	5 914.91 \$		4 456.41 \$	
Frais Fixes	972.20 \$		972.20 \$	
Bénéf. Net /Ha	416.42 \$	(558.51) \$	(69.94) \$	(428.49) \$
Bénéf. Net /M ³ Tot	3.44 \$	(4.61) \$	(0.69) \$	(4.24) \$
Bénéf. Net /M ³ Net	4.25 \$	(5.70) \$	(0.87) \$	(5.31) \$

4. VEILLE TECHNOLOGIQUE

Dans le cadre du projet, une veille technologique est proposée. Elle constitue essentiellement en un sondage auprès de praticiens.

4.1. METHODE

En octobre 2021, le Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy (CERFO) a conduit un sondage sous forme de questionnaire afin de documenter les différentes approches sylvicoles utilisées en coupe partielle pour limiter les blessures à la régénération lors de la récolte de bois, soit aux petites tiges marchandes et aux gaules. Le questionnaire comprenait 10 questions (Annexe 1 de la section 4). En tout, 18 répondants ont participé au sondage. Les répondants pratiquaient la foresterie dans différents types d'organisation (Figure 42) de l'est des États-Unis et du Canada (Tableau 39).

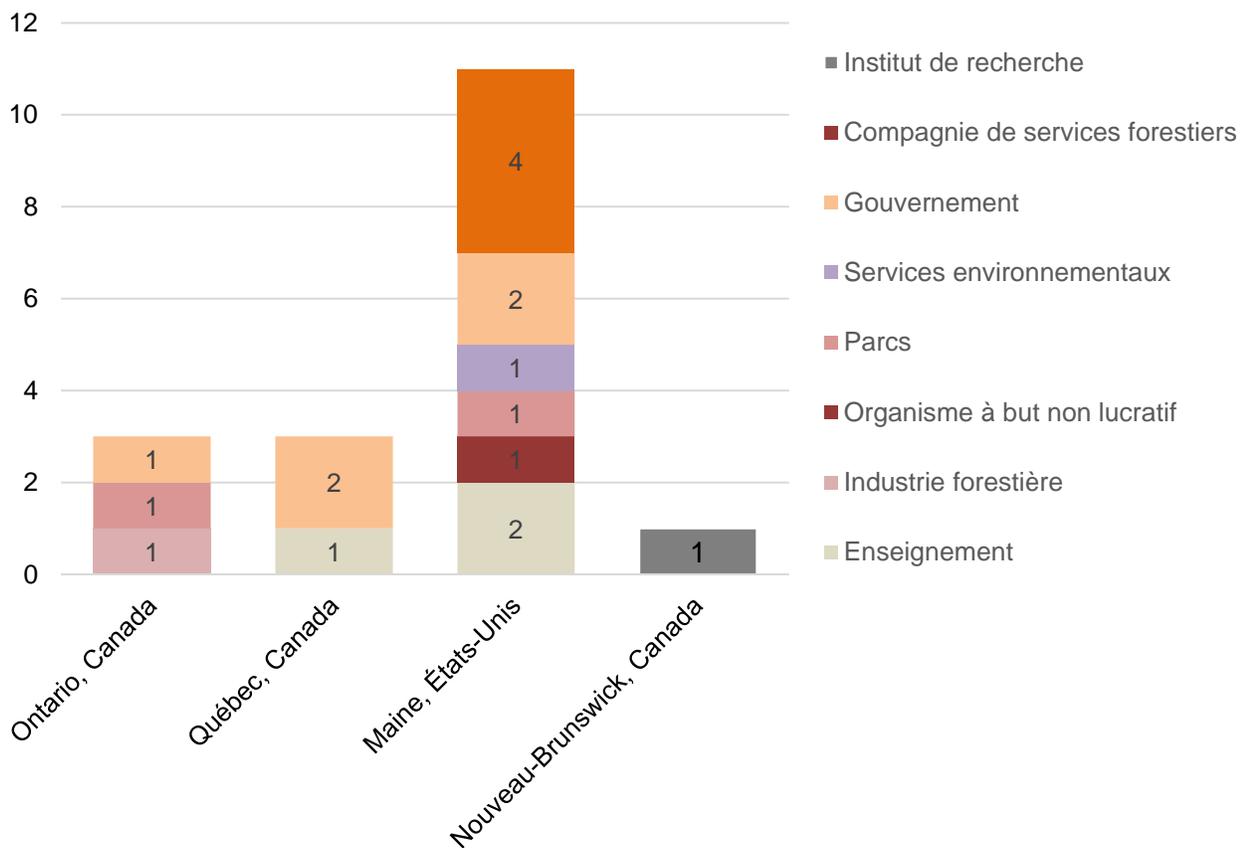


Figure 42. Nombre de répondants par type d'organisation et localisation

Tableau 39. Distribution des répondants par localisation

Province/État et pays	Nombre de répondants	%
Maine, États-Unis	11	61
Ontario, Canada	3	17
Nouveau-Brunswick, Canada	1	6
Québec, Canada	3	17
Total	18	100

Les questions étaient divisées en 3 sections : 1) les pratiques sylvicoles utilisées en regard des petites tiges marchandes en coupe partielle ; 2) les pratiques sylvicoles utilisées en regard des gaules en coupe partielle ; et 3) les autres approches utilisées afin d'éviter la destruction de la régénération composée de petites tiges marchandes et de gaules. Les petites tiges marchandes sont les tiges dont le diamètre à hauteur de poitrine (1,3 m; DHP) est compris entre les classes de diamètre 10 cm et 22 cm inclusivement (4 à 9 pouces). Les gaules correspondent à la haute régénération dont le DHP se situe entre les classes de diamètre 6 cm et 8 cm inclusivement (2 à 3 pouces). Un éventail de pratiques sylvicoles peut être utilisé sur un même territoire, de sorte que plusieurs répondants ont fourni des éléments de réponses qui ne sont pas mutuellement exclusifs.

De plus, il a été intéressant d'ajouter à cette veille technologique, en plus du sondage, les résultats d'une expérience Outaouaise récente qui a permis de permettre une sélection parmi les petites tiges marchandes pour mettre en valeur la succession future du peuplement.

4.2. RESULTATS

4.2.1. Pratiques sylvicoles utilisées concernant les petites tiges marchandes

4.2.1.1. Sélection des petites tiges marchandes

La majorité des participants (89 %) ont répondu que la sélection des petites tiges marchandes faisait partie de leurs pratiques sylvicoles. Différents types de sélections de tiges ont été mentionnés. Ceux-ci comprenaient :

- Le retrait prioritaire des tiges de hêtre d'Amérique, une essence non désirée (Maine et Québec);
- La rétention des essences d'arbres à rotation plus longue avec les caractéristiques désirées (p. ex., érable à sucre, bouleau jaune, épinette rouge) (Maine);
- Une sélection dite par le bas afin de retirer en priorité les petites tiges marchandes en sous-étage pour lesquelles il y a un marché (p. ex., hêtre d'Amérique, sapin) (Maine);
- Le retrait prioritaire des arbres morts et déperissant (Maine); et
- le retrait prioritaire des essences feuillues moins désirées (p. ex., érable rouge, bouleaux), non commerciales (p. ex. ostryer de Virginie, cerisier de Pennsylvanie, érable de Pennsylvanie) ou de

qualité inférieure afin de favoriser la régénération et la croissance des arbres d'essences désirées et de meilleure qualité (Maine).

Le sondage a permis de mettre en lumière que, dans plusieurs cas, la sélection des petites tiges marchandes n'était pas appliquée systématiquement, mais dépendait plutôt des situations. Par exemple, au Maine, un répondant affirmait que la sélection de petites tiges visant surtout les peuplements dominés par le sapin et l'épinette et ayant préalablement été traités en éclaircie précommerciale. Or, un autre répondant précisait plutôt que, dans son cas, aucun hêtre d'Amérique n'était récolté dans les éclaircies, alors que cette essence était sélectionnée pour la récolte dans les coupes progressives. En Ontario, un répondant mentionnait que la sélection des petites tiges marchandes était utilisée surtout comme pratique d'amélioration des peuplements pour les feuillus durs.

Sur l'ensemble des répondants, seulement 11% ont répondu qu'aucune sélection des petites tiges marchandes n'était réalisée. Un répondant a précisé que ces tiges n'étaient récoltées que lorsqu'elles se trouvaient sur le chemin emprunté par l'abatteuse.

4.2.1.2. Méthode de récolte des petites tiges marchandes

Résultats du sondage

Parmi tous les participants, 15 (83 %) ont répondu que la récolte des petites tiges marchandes était réalisée en même temps que l'opération principale de récolte de bois (Figure 43), dont 13 (72 %) affirmaient que les petites tiges marchandes étaient exclusivement récoltées dans l'opération principale de récolte. Parmi les équipements forestiers utilisés pour récolter les petites tiges marchandes simultanément à l'opération principale de récolte, l'abatteuse-groupeuse et l'abatteuse multifonctionnelle étaient les plus populaires. Un seul répondant affirmait utiliser un autre équipement forestier que les abatteuses.

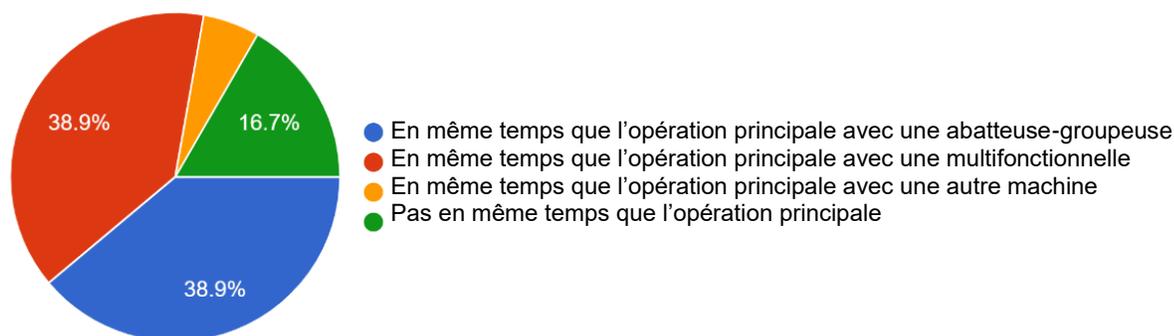


Figure 43. Répartition des réponses concernant la récolte des petites tiges marchandes simultanément à l'opération principale de récolte et les équipements utilisés.

L'ensemble des 15 répondants ayant affirmé récolter les petites tiges marchandes en même temps que l'opération principale de récolte ont mentionné utiliser des lignes directrices spécifiques. Le martelage

était aussi une pratique utilisée pour faciliter le travail des opérateurs. Les critères de forme, d'essence, de diamètre, de qualité et d'espacement entre les tiges ont été soulevés. Les lignes directrices peuvent également aussi changer en fonction de l'âge des peuplements, du type de peuplement et des objectifs d'aménagement. Les lignes directrices suggérées concernaient principalement les points suivants :

- Éviter le plus possible de blesser les arbres résiduels en laissant les arbres difficilement accessibles sur pied;
- Utiliser une priorisation hiérarchique des tiges à retirer;
- Utiliser un pourcentage de prélèvement des tiges; et
- Préciser la spatialisation voulue des tiges à retirer entre les sentiers.

Des exemples de lignes directrices plus spécifiques ont également été obtenus, reflétant les différentes réalités des répondants :

- Conserver prioritairement les tiges d'essences désirées (p. ex., l'épinette et l'érable à sucre) et de bonne qualité (Québec);
- Retirer les arbres de faible qualité (p. ex., les bouleaux fourchus) afin de dégager les meilleures tiges (Maine);
- Conserver les belles tiges de l'étage dominant et retirer les arbres commerciaux en sous-étage (Maine);
- Couper les petits arbres marchands et les gaules à 3 pieds du sol et perturber le sol si l'objectif encouru est de limiter le drageonnement intense de hêtre d'Amérique et de permettre l'installation de nouvelle régénération (Maine);
- Utiliser une abatteuse munie d'une tête d'abattage-façonnage suspendue avec une flèche d'environ 9 m (30 pieds) (*Dangle head processors*) et des sentiers espacés de 18 m (60 pieds), puis prévoir une intensité de récolte d'environ 30 % de la surface terrière (Maine);
- Récolter tous les hêtres d'Amérique marchands et couper tous les hêtres d'Amérique non marchands (Maine);
- Réaliser des opérations d'amélioration dans les peuplements de pins en retirant les feuillus non marchands ou sans preneur durant le printemps, lorsque les opérateurs de machinerie ne travaillent pas (environ 150\$/ha) (Ontario).

Dans l'ensemble, seulement 3 participants (17 %) ont répondu que la récolte des petites tiges marchandes n'était pas réalisée simultanément à l'opération principale de récolte selon les pratiques forestières en vigueur. Dans un tel cas, les petites tiges étaient alors récupérées par abattage manuel après l'intervention principale de récolte à l'aide d'une autre machine qu'une abatteuse multifonctionnelle. En tout, seulement 2 participants (11%) ont affirmé que les petites tiges marchandes n'étaient tout simplement pas récoltées.

Expérience outaouaise récente

Dans l'Outaouais, depuis 2013, une forte proportion des directives opérationnelles (DO), de coupes progressives irrégulières à régénération lente (CPIrl), exigent la récolte des petites tiges d'ERR et de HEG de 10 à 22 cm. La directive opérationnelle indique parfois l'obligation de récolter 100% de ces petites tiges.

Pour la compagnie CCPL, il est arrivé à plusieurs reprises de devoir corriger des traitements après la récolte afin de conclure le traitement à la satisfaction du MFFP. Pour illustrer, Christian Picard a fourni un exemple de correction de traitement. Ce traitement de correction a été réalisé sur 133,75 hectares durant l'automne 2020 après la chute des feuilles et juste avant l'accumulation de neige. La correction devait permettre d'abattre 100% des HEG de 10 cm et plus et de la laisser à côté de la souche étant donné que l'usine de Fortress était fermée. En corrigeant le traitement, le MFFP a accepté de verser le crédit sylvicole prévu de 135 497 \$ (1013 \$ par ha) pour l'ensemble du traitement.

Secteur d'intervention		Mrc	Prg	SPrg	Code	Description	Quantité	Unité	Coût unitaire	Coût total	% Ades. paiement	Autres mesures	Dan remb.	% Répar.	Montant (\$)	Exécutant	Remarques			
0	15442-R000-N001	849	TS	REC	CPILZENO	Coupe progressive irrégulière à régénération lente, 2 interventions, coupe d'ensemencement, Opérateur, type de peuplement feuillus tolérants, autres résineux et mixte feuillus	133,75	H	1 013,06	135 496,78	100		000145	100	135 496,78	COMMONWEALTH PLYWOOD LTÉE MONT-LAURIER DROIT NO 145				
TOTAL															135 496,78					

Le coût de correction s'élève à 13 500\$ (sans les taxes) soit environ 101 \$ par hectare. Il a été réalisé en 27 jours-personnes par 4 travailleurs de la compagnie Aménagement Quatre temps rémunérés avec un taux journalier et une allocation pour couvrir l'hébergement et les frais de repas de ces travailleurs. Ils utilisent de petites scies mécaniques à 1000\$.

À la suite de la réalisation des corrections, les parcelles au prisme, établies par le MFFP avant le tout début des travaux, ont été relues. Un des enjeux était de respecter les critères 90 -110 %, balises de qualité pour la prescription sylvicole. Le critère a été atteint. Par ailleurs, l'usine Fortress étant fermée, le MFFP a autorisé de laisser les tiges à côté de la souche économisant ainsi la subvention de transport de 40\$/m³ actuellement. Pour ce chantier, sinon, des volumes très élevés de bois de très faible valeur doivent être transportés sur de très grandes distances pour des temps de cycle allant jusqu'à 16 heures. C'est aussi

un avantage d'avoir moins de volume à transporter considérant la pénurie de camionneurs. Enfin, les frais de débusquage sont diminués et plus de branches demeurent réparties sur le parterre.

Quelques avantages sont à souligner :

- Les 4 travailleurs de *Aménagement Quatre temps* ont fait un excellent travail : ils ont réussi à faire exactement ce qui était demandé sans causer de blessures et de renversés, donc l'impact a été minimisé.
- Des frais énormes de machinerie et de fardiers ont été évités, si les abatteuses avaient dû retourner pour la correction et du parcourir l'ensemble de la superficie de l'unité d'échantillonnage.
- Comme mentionné précédemment, selon les résultats de FpInnovation qu'on peut retrouver aussi dans le logiciel MERIS du MFFP, l'utilisation d'abatteuse-groupeuse (tête à scie) bien que favorisant la manipulation des gros arbres lourds entraîne beaucoup d'efforts et de frais lorsqu'il s'agit de manipuler de petites tiges marchandes
- La productivité est de 5 hectares par jour pour 20 m³ par ha (100 m³ par jour).
- L'impact sur les sols devrait être moindre (orniérage, compaction, érosion), grâce à une moindre circulation de la machinerie lourde.
- Pour les bilans d'émission de carbone, il y a moins d'émission.
- Cette pratique offre de plus grandes possibilités de sélection de tiges.
- Associée à ce qui est appelé en Suisse, les soins à la jeune forêt (ou le petit jardinage), elle permet une augmentation de la diversité des essences adaptées aux conditions futures soins à la jeune forêt/petit jardinage. (Allgaier Leuch et al. 2017).

Le principal argument qui est véhiculé contre ce type de pratique est le manque de main-d'œuvre. Après vérifications auprès de l'entrepreneur, la disponibilité de main-d'œuvre ne serait pas un enjeu ici ! Ainsi la solution d'abattre les petites tiges sans valeur (ou une partie de ces petites tiges, selon la prescription sylvicole) après le scarifiage et après le reboisement, quand cela est possible, pourrait s'avérer une option avantageuse. Ainsi, comme le petit jardinage en Europe complète le jardinage, cette modalité de récolte distinctes des petites tiges pourrait être incluse dans la prescription sylvicole et déployée là où elle est pertinente.

4.2.1.3. Suivi après la coupe

Nous avons demandé aux répondants de quelle façon était réalisé le suivi des blessures et de la mortalité des tiges résiduelles après la récolte de bois par coupe partielle. Pour 17 répondants (94 %), il est courant de réaliser une inspection de suivi après la récolte. Toutefois, les réponses variaient quant au délai de suivi, à la périodicité, aux personnes responsables ainsi qu'aux éléments pris en considération. Plusieurs

répondants ont mentionné que le suivi était compris à l'intérieur des contrôles de conformité normalement réalisés selon le cours normal des affaires. Deux types de suivi sont ressortis dans les éléments de réponses, soit un suivi de contrôle de conformité, puis un suivi sylvicole. Le suivi de conformité était le plus souvent mentionné dans les réponses obtenues, lorsque précisé.

Le suivi après la récolte semble parfois réalisé en même temps que les inspections de récolte, simultanément à la récolte forestière ou encore d'un à cinq ans après la récolte. Pour 2 répondants (11 %), le suivi était réalisé en même temps que la progression des opérations de récolte. Un autre répondant (6 %) précisait pour sa part qu'un premier suivi était réalisé d'un à deux ans après la coupe, puis un second était réalisé cinq ans et plus après la coupe afin d'évaluer le succès de la régénération désirée.

Mis à part l'évaluation de la mortalité et les blessures aux tiges résiduelles, certains répondants ont affirmé évaluer également :

- La qualité des arbres résiduels ;
- La stabilité de la haute régénération résiduelle ;
- La présence de tiges résiduelles non désirées ;
- La surface terrière résiduelle ;
- Les possibilités de recrutement des peuplements ; et
- le recouvrement en sentiers de l'aire de récolte.

Un seul répondant (6 %) soutenait que le suivi après la coupe n'était pas réalisé systématiquement, mais dépendait plutôt des exigences des entreprises forestières.

4.2.2. Pratiques sylvicoles utilisées concernant les gaules

4.2.2.1. Sélection de tiges au stade gaulis

Nous avons demandé aux répondants s'ils réalisaient une sélection des tiges au stade gaulis à des fins d'éducation de peuplements. Deux réponses ont été retirées en raison d'incohérence avec la question. Sur un total de 16 répondants, 3 (19 %) ont déclaré ne pas réaliser de sélection de tiges à ce stade de développement. Parmi les 13 répondants qui affirmaient réaliser une sélection des tiges au stade gaulis, 9 (69 %) ont précisé réaliser des éclaircies précommerciales de nettoyage ou de dégagement.

Les critères de sélection des tiges mentionnés lors des éclaircies précommerciales étaient la sélection systématique des tiges (c.-à.-d., à espace régulier), la sélection des meilleures tiges en santé, notamment celles ayant la meilleure taille. Parmi les 16 répondants retenus, 4 (25 %) faisaient la distinction entre les soins accordés aux peuplements feuillus comparativement à ceux accordés aux peuplements résineux. Dans un tel cas, l'utilisation de l'éclaircie précommerciale comme traitement de sélection de tiges était surtout associée aux peuplements résineux.

4.2.2.2. Outils utilisés pour le traitement des gaules

Parmi les 18 répondants, 17 ont affirmé utiliser une variété d'outils pour réaliser une sélection des gaules, lorsque requise (Tableau 40). Une réponse a été retirée en raison d'incohérence avec la question. Les outils et les méthodes utilisées varient selon le lieu de pratique des répondants et les types de peuplements traités.

Tableau 40. Outil utilisé pour le traitement des gaules par les répondants

Outil utilisé	Nombre de répondants	%
Débroussailleuse	11	65
Petite scie d'élagage	1	6
Scie mécanique	1	6
Abatteuses	1	6
Herbicides	5	29
Non applicable	2	12

Au Québec (Canada), l'application aérienne d'herbicides en forêt n'est pas permise. La débroussailleuse était alors le principal outil utilisé, alors que l'usage d'une petite scie d'élagage a été mentionné comme méthode expérimentale.

Au Maine (États-Unis), les réponses étaient plus variées. Les outils les plus populaires auprès des répondants du Maine (11 répondants) étaient la débroussailleuse (64 %) et les herbicides (27 %). Concernant les autres outils utilisés, 9 % des répondants du Maine utilisaient une scie à chaîne et 9 % une abatteuse. En effet, 1 répondant a mentionné récolter les gaules durant les opérations de récolte avec une abatteuse-groupeuse dans le cas des peuplements de hêtre d'Amérique, puis 1 autre répondant a affirmé récolter les gaules non désirées de conifères à la scie mécanique. Les herbicides étaient principalement utilisés pour les espèces qui se régénèrent agressivement par rejet de souche (p. ex., érable rouge, hêtre), alors que les traitements mécaniques avec l'utilisation de débroussailleuses et de scies mécaniques étaient plutôt utilisés dans les peuplements de conifères, notamment pour l'éclaircie précommerciale. Bien que l'utilisation d'herbicides soit populaire, notamment comme outil pour améliorer le rendement des peuplements, cette mesure ne fait pas l'unanimité. Un répondant mentionnait, pour sa part, que l'utilisation d'herbicides pour lutter contre l'envahissement du hêtre n'était pas une option envisageable pour lui. Une autre approche soulevée concernant les traitements sylvicoles aux gaules était de traiter les souches (p. ex., après l'éclaircie précommerciale) afin de prévenir les rejets indésirables.

En Ontario, la débroussailleuse et l'utilisation d'herbicides étaient également les deux méthodes les plus populaires. Le glyphosate et le triclopyr sont les deux composantes d'herbicides ayant été mentionnées.

Néanmoins, l'utilisation d'herbicides ne semble pas une pratique appliquée uniformément sur le territoire. Sur 3 répondants, un a mentionné ne pas utiliser d'herbicides, alors qu'un autre a mentionné que l'usage d'herbicides n'était pas une option pour certains sites. Les méthodes employées variaient selon les types de peuplements. Un répondant a précisé que pour les peuplements de pins, les herbicides étaient utilisés alors que les peuplements de chênes étaient plutôt traités manuellement en utilisant des débroussailleuses. En comparaison, un autre répondant ne faisant pas l'usage d'herbicides mentionnait ne pas réaliser d'entretien manuel dans les peuplements avec sélection de feuillus durs.

4.2.3. Autres solutions

Par une question ouverte, nous avons demandé aux répondants de décrire les différentes approches qu'ils ont mises en œuvre afin de limiter les blessures aux petites tiges marchandes et aux gaules durant les opérations de coupe partielle. Plusieurs approches intéressantes ont été soulevées (Tableau 41). Seulement 2 répondants (11 %) ont déclaré ne pas avoir utilisé d'approches particulières afin de limiter les dommages à la haute régénération et aux petites tiges marchandes lors de la coupe partielle.

Tableau 41. Résumé des approches utilisées afin de limiter les blessures aux petites tiges marchandes et aux gaules en coupe partielle

Élément d'action	Gestes concrets suggérés
Directives opérationnelles	<ul style="list-style-type: none"> • Demander aux opérateurs de travailler minutieusement à proximité des gaules; • Écraser les tiges non désirées lors de l'abattage ou du portage lorsque possible en épargnant les tiges désirées; et • Utiliser des lignes directrices concernant le recouvrement des sentiers de débardage sur les parterres de coupe et les dommages aux tiges résiduelles.
Préparation de chantiers	<ul style="list-style-type: none"> • Établir et réfléchir a priori les sentiers de débardage; • Espacer les sentiers de débardage d'environ 30 mètres (100 pieds); et • marteler les arbres avant la récolte.
Méthode de récolte	<ul style="list-style-type: none"> • Éviter le plus possible les systèmes de récolte par arbre entier, qui favorise les dommages aux tiges résiduelles en bordure des sentiers, en favoriser un système de récolte pas bois tronçonné; • Favoriser les opérations manuelles; • Choisir le meilleur équipement en fonction du type de peuplement à récolter; • Utiliser une abatteuse-groupeuse afin de mieux contrôler la chute des arbres abattus, couplée à une abatteuse multifonctionnelle (<i>Dangle head processor</i>) qui complète le travail d'ébranchage et de tronçonnage ; • Utiliser uniquement les sentiers principaux de débardage pour couper les arbres; • Éviter les déplacements et les manipulations de tige hors des sentiers, dans l'entre-bande en régénération; et • Éviter de tourner et de reculer dans les sentiers, ce qui pourrait augmenter la surface perturbée par le passage de la machinerie.
Formation des travailleurs	<ul style="list-style-type: none"> • Miser sur la formation des travailleurs forestiers et le développement de leurs aptitudes afin d'améliorer la qualité du travail.
Moment de la récolte	<ul style="list-style-type: none"> • Récolter préférentiellement lorsque le sol est sec ou gelé • Ne pas récolter lorsqu'il y a de la neige.
Standards d'aménagement et suivi	<ul style="list-style-type: none"> • Appliquer des standards d'aménagement en regard de l'amélioration de la qualité et la structure forestière des peuplements après le martelage et la récolte; et • Réaliser une évaluation avant la récolte (Pre-harvest tree marking audits) relativement au martelage des arbres, puis une inspection après la récolte pour évaluer l'application des standards.

5. DISCUSSION

Cette section discute des impacts de la machinerie sur les petites tiges marchandes et sur les sols, mais aborde brièvement quelques impacts sur la faune et la dynamique forestière. Quelques pistes sont également présentées comme mesures d'atténuation. Il est important de rappeler que cette synthèse s'applique seulement à la région de l'Outaouais et à ses conditions.

Remarque : les éléments de discussion ici sont préliminaires issus de la revue de la littérature, des sondages et des analyses initiales effectuées sur les 25 chantiers. Elles peuvent changer significativement suite aux résultats des nouvelles analyses statistiques en cours, cette fois réalisées sur l'ensemble du territoire de l'Outaouais.

5.1. SYNTHÈSE DES IMPACTS DE LA MACHINERIE SUR LES PETITES TIGES MARCHANDES

On peut résumer les constats suivants sur l'impact de la machinerie sur les petites tiges marchandes

5.1.1. Les modes opératoires

Système de récolte par bois long et par arbre entier

- Les systèmes de récolte par bois long et par arbre entiers sont les plus dommageables pour les tiges résiduelles et les sols. Ce constat est expliqué par le mode d'extraction des tiges dans les sentiers de débardage avec des débardeurs (à câble ou à grappin), pour lequel les billes sont transportées en frottant sur le sol et accrochent plus facilement les tiges résiduelles.
- Bien que le système de récolte par bois long est décrit comme plus dommageable pour les tiges résiduelles, l'abatteuse-groupeuse, utilisée le plus souvent dans ce système, demeure quand même une option intéressante considérant le niveau de dommage plutôt bas qu'elle inflige aux tiges résiduelles. Des modalités sont donc à préciser de manière à atteindre un niveau satisfaisant de blessures durant l'extraction des tiges.
- L'avantage majeur de l'abatteuse-groupeuse est sa capacité à soulever les arbres coupés et les déposer en les groupant.
- Très important à noter, l'abatteuse-groupeuse utilise une scie circulaire qui est en constante révolution. L'opérateur doit soulever sa tête en se rendant à l'arbre à abattre et en le ramenant pour ne pas sectionner toute la régénération sur son passage. Il est également très difficile pour l'opérateur d'aller récolter un arbre enclavé sans blesser.
- La récolte de tiges en dessous de 22cm est beaucoup moins productive. Cependant actuellement, les crédits de récolte en tiennent compte pourvu que le prélèvement total ne dépasse pas 50%.

- Dans les procédés par tronc entiers et par arbres entiers, c'est le débardeur à grappins qui cause le plus de dommages sur les tiges résiduelles. Plusieurs mesures d'atténuation ont été étudiées, comme l'utilisation de portes, l'utilisation de sentiers rectilignes, le débardage de plus petits voyages, etc. Certains ont exploré l'utilisation de porteurs plus longs.
- Le procédé par tronc entier est beaucoup moins dommageable, ce qui expliquerait la différence de performance à l'occasion entre les industriels

Système de récolte par bois tronçonné

- Les systèmes de récolte par tronc entier sont nettement moins dommageables pour les tiges résiduelles au bord du sentier grâce à l'utilisation de porteurs.
- Cependant, l'abatteuse multifonctionnelle présente trois désavantages majeurs : elle ne peut pas soulever les tiges, diriger l'abattage d'un arbre n'est pas aisé et demande une très grande habileté et technique de la part de l'abatteur (utilisation d'encoche par exemple pour les très gros arbres). De plus, lors de l'ébranchage, l'opérateur tire l'arbre vers le chemin, ce qui entraîne un effet de fauchage très dommageable pour les petites tiges marchandes et la régénération qui se trouve sur son chemin.
- Des modalités opératoires et l'adaptation d'équipements permettent de contourner certains de ces inconvénients (utilisation de *top saw*, ébranchage sur pied, tronçonnage sur pied, abattage vers les sentiers. Etc.)
- L'utilisation de plus petites multifonctionnelles est recommandée quand le bois est plus petit et que les superficies à traiter sont grandes.

L'empreinte des sentiers.

- Bien qu'il n'y ait pas d'exigence concernant l'utilisation de sentiers dans les prescriptions sylvicoles actuelles pour ces types de traitements, l'ajout de cette modalité dans la réalisation jouerait un rôle majeur sur l'atténuation des bris et renversements de tiges, particulièrement dans le procédé par arbres entiers. Également, l'ajout d'une modalité d'utiliser des sentiers rectilignes et non sinueux aurait un impact également significatif.
- Si la quantité de sentiers est synonyme d'écrasement de la régénération et l'augmentation des superficies en tiges de bordure de sentiers, l'impact sur les tiges résiduelles n'est pas si simple, puisqu'il faut aussi considérer ce qui se passe entre les sentiers.
- Des sentiers plus rapprochés facilitent l'accès aux arbres à couper. Dans le cas d'une abatteuse multifonctionnelle, il faut considérer qu'il est quasi impossible de diriger l'arbre dans sa chute, lorsqu'on est à bout de bras.
- Le choix du sylviculteur qui prescrit la distance entre les sentiers doit ainsi être un équilibre entre l'empreinte du sentier et l'accès aux tiges.

- Plusieurs mesures d'atténuation doivent être explorées.

Une nouvelle option : les soins aux petites tiges marchandes comme opérations différentes.

- Dans la boîte à outils des modes opératoires disponibles, les soins aux petites tiges marchandes pourraient être considérés comme une opération en soi.

5.1.2. Les types de peuplements et les caractéristiques dendrométriques

1. Il y a plus de petites tiges de 10-22 cm à l'hectare;
 - Aucune relation significative n'a été observée entre la densité de PTM initiale et la proportion détruite. Par contre, des relations significatives ont été observées sur le nombre de tiges résiduelles désirées et le nombre qui avaient avant intervention.
2. Il y a plus de surface terrière à l'hectare à récolter ;
 - Lorsque la surface terrière totale à récolter et le % de prélèvement augmente, il y a une augmentation du nombre et de la proportion de PTM détruites, mais la relation n'est pas toujours forte et ne peut expliquer par elle seule la destruction des PTM.
3. Quand le nombre de tiges de plus de 24 cm à récolter est plus grand
 - Les analyses n'ont révélé aucune différence significative.
4. Dans certains traitements pour la CPIrI, parce qu'il y a plus de prélèvement de petites tiges ;
 - Effectivement, mais pas directement avec le nombre de tiges à récolter, mais plutôt lorsque la consigne de récolter des petites tiges est présente.
5. En lien avec le prélèvement des PTM, quand elles sont nombreuses :
 - Une augmentation de récolte des petites tiges marchandes n'a pas entraîné une augmentation des tiges renversées ou coupées en surplus ni augmenté la proportion de tiges blessées. Par contre, lorsque la modalité de récolte de petites tiges est dans la directive opérationnelle, en général, la proportion de petites tiges détruites totales ou désirées est supérieure par rapport aux prescriptions sans récolte de petites tiges. De plus, aucune relation significative n'a été observée avec la proportion des tiges 10-22cm réellement récoltée par rapport à ce qui était prévue.
6. Quand il y a plus de contraintes terrain comme la pente :

- Une légère augmentation de tige détruite a été observée pour la CPIRL2i sur pente forte par rapport aux pentes sans contraintes. Par contre, les données terrain n'ont pas été prises pour évaluer directement ce critère.
7. Quand le nombre de PTM de HEG à récolter est plus élevé
 - Aucune relation significative n'a été observée. Par contre, comme mentionnée au point 5, la proportion de tiges détruite augmente lorsque la consigne de récolte des PTM est présente.
 8. Dans certains types de peuplements (composition)
 - Malgré qu'il y ait des différences de composition initiale entre des types forestiers, il ne semblait pas y avoir de différence sur la destruction ou protection des petites tiges, outre la relation pour laquelle la destruction augmente avec le prélèvement en surface terrière totale.
 9. La densité de sentiers plus élevée entraîne plus de bris de tige :
 - Les analyses ont effectivement démontré l'importance des sentiers sur la destruction des petites tiges marchandes. Le taux d'occupation des sentiers se situe entre 20 et 25% de la superficie. Dans le cas de sentiers linéaires et bien espacés, on peut s'attendre à ce que la destruction des petites tiges soit proportionnelle au % de sentiers réalisé, donc par défaut de 20-25% des tiges devraient être par les sentiers. De plus, pour certains secteurs, une proportion élevée de petites tiges se trouvait dans les sentiers, ce qui peut donner un portrait plus élevé de tiges détruites par rapport à ce qui se trouve dans le peuplement résiduel entre les sentiers.
 10. Pour les tiges désirées de 10-22 cm :
 - Les résultats ont montré que le nombre de tiges désirées vigoureuses après intervention est directement lié au nombre de tiges vigoureuses avant intervention. Un nombre minimal de tiges avant intervention est donc nécessaire pour avoir un nombre minimal après intervention. Certains secteurs de CPIrl avec modalité de récolte des PTM ont peu de surface terrière initiale en essences désirées et il est donc difficile d'avoir un nombre acceptable de tiges désirées vigoureuses après intervention si l'objectif est de produire du bois de qualité à partir des tiges déjà en place..

5.1.3. Les prescriptions sylvicoles et les traitements

- Dans certains traitements comme la CPIrl, les impacts de la machinerie sont plus grands parce qu'il y a plus de prélèvement à réaliser dans les petites tiges. En fait, ce constat s'observe également dans les cas de CPIcp dont les directives opérationnelles demanderaient aussi un effort particulier de récolte des petites tiges.

- Dans la planification, l'établissement de standards en aménagement forestier, notamment d'objectifs sylvicoles **précis** pour les bois résiduels sont des éléments importants ; par exemple nombre et espacements des tiges désirées
- Les processus de suivis semblent être aussi des éléments clés pour assurer le succès des travaux, même lors de l'organisation du chantier en amont des travaux (p. ex., pour le martelage).
- Il devrait y avoir une plus grande harmonisation entre les systèmes de contrôle mis en place et les objectifs de production,
 - Par exemple, si la spatialisation des tiges désirées est importante, une telle mesure devrait être incorporée.
 - Ce n'est pas tellement le pourcentage de tiges brisées ou renversées qui est important (comme exigé actuellement dans les suivis, mais plutôt un nombre de tiges résiduelles bien réparties et en essences désirées.
- Les prescriptions sylvicoles dans ces types de peuplements devraient inclure des indications pour l'utilisation de sentiers (espacement, largeur, le plus droit possibles).

5.1.4. Les contraintes physiques

- Les classes de pentes plus abruptes ont un impact sur les bris de tiges par la machinerie. La circulation est rendue difficile et les sentiers doivent éviter les obstacles qui se présentent. L'empreinte augmente.
- Les milieux plus humides sont également des obstacles, Moins contraignants lorsque le sol est gelé, l'empreinte négative sur la régénération et les petites tiges marchandes s'accroît lorsque le sol ne l'est pas.
- La pluviométrie est une autre contrainte qui peut amener les machines à dévier de leurs sentiers et augmenter la destruction des tiges en bordure. Des protocoles sont en place pour limiter les activités de récolte dans ces conditions.

5.2. SYNTHÈSE DES IMPACTS DE LA MACHINERIE SUR LES SOLS

Les principaux impacts de la machinerie sur le sol en forêt sont :

- Le compactage élevé
 - Pas un enjeu majeur, mais présent dans les sentiers de débardage
 - Peu d'information pour quantifier mais elle dépend du type de machine, de son poids et de sa portance ainsi que du nombre de passages.
 - Moins de germination, moins de hauteur des semis que hors sentiers
 - Possibilité de limiter par l'utilisation de porteur.
 - Cas intéressant de porteurs à grappins en Ontario
- L'érosion,

- Plusieurs mesures sont proposées dans le RADF (waterbar, etc.)
- L'enjeu serait peu présent et se situe surtout dans les pentes fortes.
- L'orniérage
 - Il se situe surtout le long des sentiers de débardage et des routes et en lien avec le type de machinerie utilisé lors des opérations de récolte.
 - L'article 45 mentionne que les ornières formées dans les sentiers d'abattage et de débardage ne doivent pas apparaître sur plus de 25 % de la longueur des sentiers par aire de coupe totale, mais il ne semble pas y avoir beaucoup de secteurs qui dépassent le seuil. On peut probablement extrapoler pour les coupes partielles.
 - Les industriels ont habituellement des plans de suivi pour stopper les opérations en cas de pluies abondantes pour éviter la création d'ornières.
- Le bris de racine
 - Bien que non strictement un impact sur le sol, le bris de racine est intrinsèquement relié au passage de la machinerie.
 - Explorer les propositions de Rock Ouimet sur la règle du 10 pour 1 (distance recommandée en fonction des diamètres à hauteur de poitrine.
- Fertilité des sols
 - Guide d'application du RADF pour sélection des sites et indiquer dans les prescriptions; les branches doivent être retournées en forêt;
 - Les industriels ont un certain délai avant de remettre les branches en forêt.
 - Parfois la gestion des branches est incluse dans la prescription pour les milieux sensibles
 - Avantage d'une multi est que les branches restent en forêt; sinon le débardeur à grappin doit ramener les branches en forêt; est-ce qu'il y a un risque de blesser/renverser des tiges lorsque les branches sont ramenées? Ceci n'est pas documenté.

5.3. QUELQUES AUTRES IMPACTS DE LA MACHINERIE

5.3.1. Sur la faune

La synthèse des impacts de la machinerie sur la faune a été répartie en fonction de différents groupes d'espèces. Malgré qu'il n'existe que peu de documentation sur l'utilisation des petites tiges marchandes, certains constats indirects peuvent être extrapolés.

Généralités

- Certaines espèces ont besoin d'intimité (Habitat de forêt sombre, Aire de nidification). La récolte de petites tiges marchandes et les bris et renversements peuvent influencer significativement l'obstruction latérale.

- Les peuplements mixtes avec coupes partielles ont 20% plus d'obstruction latérale en général. Il y a une perte momentanée d'habitat, mais les populations de petits mammifères comparables à une forêt mature.
- La chasse est favorisée pour les prédateurs lors de la diminution du couvert.

Espèces sensibles

- Selon les espèces, l'impact de la machinerie et des bris et renversements de tiges associés peut différer.
- Grand polatouche pourrait être favorisé, parce qu'il affectionne les forêts peu denses.
- La paruline couronnée préfère les forêts denses pour se protéger des prédateurs et pourrait être défavorisée par la récolte et les bris et renversements de tiges de petits diamètres qui contribuent à la densité du peuplement.

Espèces du sol (cas des salamandres et des arthropodes)

- Pour les salamandres terrestres, quoique les impacts des coupes partielles semblent plus être à court terme, le maintien de gros débris ligneux, d'un couvert forestier pour conserver l'humidité et limiter les chaleurs excessives, et la limitation de superficies occupées par des sentiers pour limiter le sol compacté sont préférables.
- Pour les arthropodes, la situation est différente selon les espèces qui peuvent ou être favorisées ou défavorisées momentanément suite à une coupe.

5.3.2. Sur la succession

- La régénération au stade semis, fourré ou gaulis, ainsi que les petites tiges marchandes de 10 à 22 cm, constituent la relève pour ériger la future forêt.
- La succession peut être compromise lorsqu'il y a bris ou renversement lors de la récolte
- Il peut y avoir également perte de production dans le futur
- Cependant, la régénération et les petites tiges marchandes, en essences désirées, doivent être abondantes et bien distribuées et c'est dans cette situation qu'elles doivent être protégées.
- La distribution ne peut être qu'estimée actuellement que par les écarts-types ou encore par une compilation par fréquence plutôt que par moyenne.
- La sélection positive de tiges désirées et bien distribuées s'avère nécessaire, mais est plus difficile avec la machinerie conventionnelle, abatteuses groupeuses ou multifonctionnelles.
- La diversité de la structure diamétrale est importante,
- La récolte des petites tiges d'essences non désirées permet de produire des peuplements futurs de meilleures qualités et valeurs selon les simulations réalisées.

5.4. SYNTHÈSE DES MESURES D'ATTÉNUATION

Le tableau suivant est une version enrichie du tableau issu des commentaires recueillis lors de la veille technologique auprès des intervenants hors Québec et de chercheurs québécois. Il comprend des éléments issus des autres sources d'informations.

Tableau 42. Résumé des approches utilisées afin de limiter les blessures aux petites tiges marchandes et aux gaules en coupe partielle

Élément d'action	Gestes concrets suggérés
Directives opérationnelles	<ul style="list-style-type: none"> • Demander aux opérateurs de travailler minutieusement à proximité des gaules; • Écraser les tiges non désirées lors de l'abattage ou du portage lorsque possible en épargnant les tiges désirées; et • Utiliser des lignes directrices concernant le recouvrement des sentiers de débardage sur les parterres de coupe et les dommages aux tiges résiduelles.
Préparation de chantiers	<ul style="list-style-type: none"> • Établir et réfléchir a priori les sentiers de débardage; • Espacer les sentiers de débardage d'environ 30 mètres (100 pieds); et • Marteler les arbres avant la récolte.
Méthode de récolte	<ul style="list-style-type: none"> • Limiter les systèmes de récolte par arbre entier, qui favorise les dommages aux tiges résiduelles en bordure des sentiers et bouleverse le sol par les tiges tractées. Plusieurs mesures d'atténuation peuvent être explorées : voyage moins gros, étêtage partiel, moins de tiges par voyage, orientation des tiges avec un plus faible angle et à proximité des chantiers • Dans le cas des systèmes de récolte pas bois tronçonné, explorer l'abattage directionnel des têtes vers les sentiers., exploration des techniques d'ébranchage et de tronçonnage sur pied, adaptation des machines (ex. : top saw). • Choisir le meilleur équipement en fonction du type de peuplement à récolter; • Favoriser les opérations manuelles pour les petites tiges marchandes. Des équipes spécialisées sont disponibles en Outaouais • Utiliser une abatteuse-groupeuse afin de mieux contrôler la chute des arbres abattus, couplée à une abatteuse multifonctionnelle (<i>Dangle head processor</i>) qui complète le travail d'ébranchage et de tronçonnage ; • Utiliser uniquement les sentiers principaux de débardage pour couper les arbres; • Éviter les déplacements et les manipulations de tige hors des sentiers, dans l'entre-bande en régénération; et • Éviter de tourner et de reculer dans les sentiers, ce qui pourrait augmenter la surface perturbée par le passage de la machinerie. • Explorer l'utilisation de sentiers et éviter les courbes lors de la vidange des bois.
Formation des travailleurs	<ul style="list-style-type: none"> • Miser sur la formation des travailleurs forestiers et le développement de leurs aptitudes afin d'améliorer la qualité du travail.
Moment de la récolte	<ul style="list-style-type: none"> • Récolter préférentiellement lorsque le sol est sec ou gelé • Ne pas récolter en période de sève ou l'été
Standards d'aménagement et suivi	<ul style="list-style-type: none"> • Appliquer des standards d'aménagement en regard de l'amélioration de la qualité et la structure forestière des peuplements après le martelage et la récolte; et • Réaliser une évaluation avant la récolte (Pre-harvest tree marking audits) relativement au martelage des arbres, puis une inspection après la récolte pour évaluer l'application des standards. • Valider fréquemment la protection des petites tiges et des sols en cours d'opération et assurer un retour rapide aux opérateurs afin de corriger au besoin et de réaliser du renforcement positif pour maintenir les bonnes pratiques

6. RECOMMANDATIONS

La discussion a permis de faire le point sur différents aspects de la problématique des impacts de la machinerie, particulièrement sur la régénération et les petites tiges marchandes. Des recommandations qui en découlent sont proposées.

Comme il n'y a pas de machines parfaites pour exécuter le travail en limitant les bris et blessures dans les tiges de 10-22 cm, ainsi que faire une sélection adéquate lorsque demandé, même si actuellement, l'abatteuse groupeuse est très utilisée

1. Adapter les modalités de travail avec l'abatteuse-groupeuse pour l'obtention du meilleur travail possible (planification de l'utilisation des sentiers, sentiers rectilignes, limiter la grosseur des voyages, explorer l'application de modalités d'étêtage partiel ou complet de cimes, technique de placements des tiges, etc.). Adapter également les modalités de débardage (limiter la grosseur des voyages, etc.).
2. Même réflexion à faire avec les multifonctionnelles, soit d'adapter les modalités de récolte. Explorer également des adaptations à la machinerie (*ajout de top saw*) et les techniques d'ébranchage et de tronçonnage sur pied, tel qu'utilisé de manière opérationnelle dans 3 autres régions du Québec.
3. Explorer, dans la prescription sylvicole, une combinaison de deux méthodes distinctes de récolte à la fois pour les petites marchandes et pour les autres tiges marchandes, quand le PTM sont nombreuses et qu'une sélection positive est nécessaire. Il s'agirait probablement de l'un des plus grands retours sur investissement en sylviculture et cela permettrait une meilleure sélection pour l'augmentation de la résistance aux changements climatiques. Peut-être créer un projet pilote ?
4. Accentuer la formation et l'encadrement des travailleurs. Dans un premier temps, comme le comportement de l'opérateur est un facteur clé de réussite, il est important de prévoir des périodes d'entraînement encadrées pour s'assurer de l'optimisation des modalités utilisées, particulièrement lors de la manipulation des tiges (soulèvement, déplacement de la tige, placement). Dans un second temps devant la multitude de situations rencontrées, l'implantation d'une approche avec une évaluation formative (renforcement des comportements au fur et à mesure) pourrait permettre d'alléger les suivis.

Dans la planification, l'établissement de standards en aménagement forestier, notamment d'objectifs de productions et de protection, est un élément important. Les petites tiges marchandes (et la régénération) sont-elles désirées, à protéger ou à mettre en valeur ? Les processus de suivis semblent être aussi des éléments clés pour assurer le succès des travaux, même lors de l'organisation du chantier en amont des travaux (p. ex., pour le martelage). Certains enjeux de planification sont apparus. Il est ainsi recommandé

5. Intégrer les moyens à utiliser dans la prescription sylvicole. La faisabilité ainsi que la performance réelle par rapport aux objectifs de production seront mieux ajustées. Il est important de ramener cette recommandation au comité MFFP-CIFQ pour une approche mieux intégrée du diagnostic sylvicole aux suivis des travaux.
6. Simplifier les DO, notamment en utilisant le marquage positif des petites tiges marchandes. Les couts supplémentaires se justifient lorsqu'on pense que cet investissement est pour le très long terme. De plus, cela facilite beaucoup le travail de l'opérateur en diminuant le temps de décision. Il pourrait également y avoir un gain par une diminution des blessures aux arbres
7. Développement d'une méthode de suivi régulier qui permette de tenir compte des objectifs de production et de protection ainsi que de critères et indicateurs importants : le nombre de tiges désirées et bien réparties dans les 10-22 cm, en tenant compte des essences. Intégrer la régénération dans les inventaires afin de déterminer le besoin ou non d'installer une nouvelle régénération plus appropriée. Les bris et renversés de tiges deviennent secondaires si l'objectif est de produire une nouvelle cohorte de tiges utiles. Ajuster les modalités de suivi pour évaluer réellement la quantité de perches désirées entre les sentiers pourrait aussi être une option.
8. Adapter les modalités de prescriptions pour tenir compte de la variabilité intrinsèque des peuplements. Les moyennes de tiges à l'hectare, de surface terrière, de volume n'existant pas en statistique, peut-être explorer une approche par fréquence permettant de caractériser les différentes situations rencontrées dans le secteur d'intervention avant et après intervention. Par exemple, la proportion ou la distribution des placettes bien régénérées avec une densité minimale de tiges.

Étant donné qu'il n'existerait pas d'enjeu majeur pour les sols,

9. Maintenir l'ensemble des mesures actuelles du RADF quand elles s'appliquent
10. Explorer la possibilité d'aller chercher un meilleur suivi quant à la fertilité des sols en lien avec le maintien des branches sur le parterre
11. Explorer la possibilité de documenter l'orniérage et la compaction dans les coupes partielles

Étant donné qu'il ne semble pas avoir d'enjeu majeur pour la faune pour ce genre de coupe,

12. Maintenir l'ensemble des mesures actuelles du RADF quand elles s'appliquent.
13. Respecter les legs biologiques et les arbres fauniques, même en coupes partielles
14. Poursuivre l'application des concepts de répartition spatiale des habitats pour les espèces à faible dérangement.

CONCLUSION

Le but du projet est de documenter l'impact de la machinerie sur la régénération et les sols en Outaouais et de chercher des pistes d'amélioration continue pour diminuer ces impacts. Les objectifs ont été réalisés et l'approche de triangulation de l'information a bien fonctionné : information de la revue de littérature, analyse assez exhaustive des chantiers régionaux pertinents et sondage de praticiens dans une perspective de veille technologique.

Quelques faits saillants des impacts peuvent être dégagés de l'analyse:

- Sur les petites tiges marchandes (10-22 cm), l'enjeu est présent (environ 20% des tiges renversées ou détruites, Plusieurs liens sont à faire avec le procédé de récolte utilisé, le peuplement initial, la prescription sylvicole et même la manière faire le suivi.
- Sur les sols, l'enjeu est peu présent, Un système est en place pour vérifier et contrôler les respects des règlements, Des mesures sont en place pour atténuer. Il faut tout de même continuer à surveiller les bas de pente et les dépressions en périodes de fortes pluies. Quant à l'érosion, elle est peu présente dans les parterres, mais plutôt liée aux chemins,
- Sur la faune, l'enjeu est limité, notamment grâce au maintien d'un couvert partiel. Il peut y avoir un effet de diminution de protection liée à la diminution de l'obstruction latérale, sur une courte durée. Les espèces sensibles au dérangement évitent ce type de couvert.
- Sur la succession et l'évolution des peuplements, l'enjeu est important selon ce qui est mis en valeur ou désiré sous couvert. Les efforts sont principalement consentis à limiter la présence du hêtre, très affectée par la maladie. Une optimisation de la sélection d'espèces pour la résistance aux changements climatiques et pour bonifier la production de bois pourrait être consentie.

L'ensemble du dossier devrait faire l'objet d'une démarche holistique d'amélioration continue touchant ainsi en amont une approche de diagnostic sylvicole intégrant encore plus les méthodes terrain à déployer, une simplification des directives opérationnelles en utilisant le marquage lorsque pertinent, une adaptation des modalités opérationnelles, l'exploration d'une action de récolte indépendante pour les petites tiges, l'adaptation de la machinerie (ex des top saw), des suivis mieux adaptés aux objectifs de production et aux strates de petits diamètres marchands désirées, etc.

Plusieurs recommandations sont proposées concernant notamment

- L'adaptation de machines et des procédés, notamment à la manière d'utiliser le procédé par arbres entiers (placements des tiges, exploration de l'étêtage partiel ou entier, utilisation de sentiers espacés et linéaires, la gestion des branches, l'abandon des petites tiges sur le parterre, etc.).
- La bonification des prescriptions sylvicoles en proposant la réalisation de la récolte en deux opérations distinctes mais complémentaires avec des objectifs différents.
- L'amélioration des suivis notamment, en lien plus étroit avec les objectifs de production et de protection, la vérification de l'adéquation avec le % des sentiers.
- Pour les sols, la bonification possible de certains suivis en période de pluie, sur les bas de pente
- Pour la faune, poursuite des évaluations à l'échelle du paysage pour les espèces sensibles aux dérangements

Enfin, tout le volet main-d'œuvre mérite qu'on s'y attarde dans la prévention et l'atténuation des impacts. La formation et la sensibilisation des opérateurs de récolte et de débardage à la protection des petites tiges et de la régénération sont ressorties de la littérature comme des éléments importants pour diminuer les taux de blessures/bris. Qui plus est, la mobilisation de la main-d'œuvre (social) demeure des axes essentiels à cultiver et qui nous permettront de mettre en place les recommandations proposées.

L'ensemble du dossier devrait faire l'objet d'une démarche holistique d'amélioration continue avec un projet pilote d'approche de prescription sylvicole combinant deux méthodes de récolte, l'une pour les petites tiges marchandes et l'autre, pour les autres tiges marchandes.

RÉFÉRENCES

- Allgaier Leuch, B. K. Streit et P. Brang, 2017. Sylviculture proche de la nature sous le signe des changements climatiques. Série *Notices pour le praticien*. Institut fédéral de recherches WSL No 59.1. 8p.
- Danyagri, G., Baral, S. K., Girouard, M., Adegbi, H. G., & Pelletier, G. (2017). The role of advanced regeneration at time of partial harvest on tolerant hardwood stands development. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(10), 1410–1417.
- Doyon, F., & Bouffard, D. (2009). *Enjeux écologiques de la forêt feuillue tempérée québécoise*.
- Fuller, A. K., Harrison, D. J., & Lachowski, H. J. (2004). Stand scale effects of partial harvesting and clearcutting on small mammals and forest structure. *Forest Ecology and Management*, 191(1–3), 373–386.
- Parajuli, M., Hiesl, P., Smith, M. and D. Mitchell. (2017). *Factors influencing productivity and cost in the whole-tree harvesting system*. *Journal of Forestry*, 115(6), 503–512.
- MRC de charlevoix. (n.d.). *Plan général d'aménagement 2016-2020 Forêt habitée du Massif*.
- Ontario Ministry of Resources. (2003). *Interim Investigation of Selection Harvesting Damage to Tolerant Hardwood Stands in Central Ontario*. (February), 1–20.
- Ouimet, R., Guay, S., & Lang, P. (2005). *Évaluation De La Distance Minimale Entre Le Creusage D'Une Tranchée Et Les Érables Pour Éviter Les Dommages Dans Les Érablières*. (January 2005), 18.
- Picchio, R., Mederski, P. S., & Tavankar, F. (2020). *How and How Much, Do Harvesting Activities Affect Forest Soil, Regeneration and Stands?* *Current Forestry Reports*, 6(2), 115–128.
- Picchio, R., Venanzi, R., Latterini, F., Marchi, E., Laschi, A., & Lo Monaco, A. (2018). *Corsican pine (Pinus laricio Poiret) stand management: Medium and long-lasting effects of thinning on biomass growth*. *Forests*, 9(5), 1–17.
- Saucier, J.-P., F. Guillemette, P. Gauthier, J. Gravel, F. Labbé, S. Meunier et N. Vachon. 2014. Rapport du comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF). Gouvernement du Québec, ministère des ressources naturelles. Direction de la recherche forestière. Rapport technique. 98p. et annexes.
- Schreiber, A., H. L'Écuyer, R. Langevin et N. Lafontaine, 2006. *Lignes directrices rattachées aux objectifs de conservation du sol et de l'eau : plans généraux d'aménagement forestier de 2008-2013*. Québec, gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement forestier, 30 p.
- Vanderwel, M. C. (2009). *Modelling effects of partial harvesting on wildlife species and their habitat*. Thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Forestry, University of Toronto. 148 p.
- Akay, A. E., Yilmaz, M., & Tonguc, F. (2006). Impact of mechanized harvesting machines on forest ecosystem: Residual stand damage. *Journal of applied sciences*, 6(11), 2414-2419.
- Allman, M., Allmanová, Z., Jankovský, M., Ferenčík, M., & Messingerová, V. (2016). Damage of the remaining stands caused by various types of logging technology. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64(2), 379-85.
- Bakinowska, E., Mederski, P. S., Szczepańska-Alvarez, A., Karaszewski, Z., & Bembenek, M. (2016). The parallel application of two probability models, logit and probit, for the accurate analysis of spruce timber damage due to thinning operations. *Drewno: prace naukowe, doniesienia, komunikaty*, 59.
- Bobik, M. (2008). Damages to residual stand in commercial thinnings. Mémoire de maîtrise. Swedish university of agricultural sciences.
- Chmielewski, S., & Porter, B. (2012). Valorization of the selected methods of harvesting and skidding of the pine stands in pre-final cut. *Tech. Roln. Ograd. Les*, 3, 23-26.
- Fajvan, M. A., Knipling, K. E., & Tift, B. D. (2002). Damage to Appalachian hardwoods from diameter-limit harvesting and shelterwood establishment cutting. *Northern Journal of Applied Forestry*, 19(2), 80-87.

- Grzywiński, W., Turowski, R., Naskrent, B., Jelonek, T., & Tomczak, A. (2019). The effect of season of the year on the frequency and degree of damage during commercial thinning in black alder stands in Poland. *Forests*, 10(8), 668.
- Hiesl, P., & Benjamin, J. (2013). Assessment of feller-buncher and harvester caused stand damage in partial harvests in Maine. In *Proceedings of the Council on Forest Engineering annual meeting*. (pp. 1-8).
- Košir, B. (2008). Damage to young forest due to harvesting in shelterwood systems. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 29(2), 141-153.
- LeDoux, C. B., & Huylar, N. K. (2001). Comparison of two cut-to-length harvesting systems operating in eastern hardwoods. *Journal of Forest Engineering*, 12(1), 53-60.
- LeDoux, C. B. (2011). *Harvesting systems for the northern forest hardwoods*.
- Li, Y., Wang, J., Miller, G., & McNeel, J. (2006). Production economics of harvesting small-diameter hardwood stands in central Appalachia. *Forest Products Journal* 56 (3): 81-86, 56(3).
- Murphy, G., Adams, P. W., Harrington, C. A., & Schoenholtz, S. (2005). Harvest planning to sustain value along the forest-to-mill supply chain. *Productivity of Western Forests: A Forest Products Focus. General Technical Report PNW-GTR-642. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR*, 17-23.
- Nichols, M. T., Lemin Jr, R. C., & Ostrofsky, W. D. (1994). The impact of two harvesting systems on residual stems in a partially cut stand of northern hardwoods. *Canadian Journal of Forest Research*, 24(2), 350-357.
- Picchio, R., Mederski, P. S., & Tavankar, F. (2020). How and How Much, Do Harvesting Activities Affect Forest Soil, Regeneration and Stands?. *Current Forestry Reports*, 6(2), 115-128.
- Schweier, J., Magagnotti, N., Labelle, E. R., & Athanassiadis, D. (2019). Sustainability impact assessment of forest operations: A review. *Current Forestry Reports*, 5(3), 101-113.
- Sirén, M., Hyvönen, J., & Surakka, H. (2015). Tree damage in mechanized uneven-aged selection cuttings. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 36(1), 33-42.
- Sutherland, B. J. (2009). *Mechanized harvesting to reduce soil and stem damage during selection harvesting in tolerant hardwoods. Forest Engineering Research Institute of Canada*.
- Tavankar, F., Majnounian, B., & Bonyad, A. E. (2013). Felling and skidding damage to residual trees following selection cutting in Caspian forests of Iran. *Journal of Forest Science*, 59(5), 196-203.

ANNEXE 1. QUESTIONNAIRE

ANNEXE 1 – QUESTIONNAIRE

Title : Silvicultural approaches to avoid injuries on small merchantable and large sapling stems in partial cuts

The *Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc.* (CERFO) is a College center for technology transfer (CCTT) located in Quebec city, Quebec, Canada. Since 1984, we contribute to the technological advancement and development of businesses, organizations, and education establishments through forest applied research in a perspective of sustainable development. We aim at supporting the development of innovative practices among the forest community by offering strategic guidance, trainings and knowledge transfer activities.

The CERFO is currently carrying out a mandate concerning small merchantable and large sapling stems in partial cuts like selection cutting, shelterwood cutting and irregular shelterwood cutting. We want to document the different ways used for harvesting merchantable stems in partial cutting to avoid destroying regeneration (saplings and small merchantable stems) during harvesting operations in partial cuts. To do so, we have 10 questions for you about the practices you are using for these interventions. Collected data will serve to make an up-to-date synthesis report of practices used. The source of the provided information will remain strictly confidential. We please you to fill in the survey before October 7th, 2021.

Thank you!

Guy Lessard, ing.f.. M.Sc., Director
Forests Sustainable Management & Silviculture

1. Information

1. Where are you doing forestry (state and country)?

2. Small merchantable stems (4 to 9 in diameter).

2. Do you make a selection in the small merchantable stems you harvest? For example, harvesting unwanted species such American Beech in maple stands. Please precise.

3. Are the small merchantable stems harvested in the main operation with feller bunchers or multifunctional harvesters?

- Yes, with feller bunchers ()
- Yes, with multifunctional harvesters ()
- Yes, with another machinery ()
- No, they are not harvested in the main operation ()

4. If the small merchantable stems are harvested in the main operation, do you have specific guidelines during the harvesting operation? Please precise.

5. If the small merchantable stems are not harvested in the main operation, are they harvested in a separate treatment like what is called small selection cutting in Europe? Do you use a lumberjack for this operation or a small harvester?
- Yes, with a lumberjack ()
 - Yes, with a small harvester ()
 - Yes, with another machinery ():
 - No, they are not harvested ()
 - None of these choices because they are harvested in the main operation ()
6. If the small merchantable stems are harvested in a separate treatment, is the operation done before or after the main operation with the machinery?
- Before ()
 - After ()
 - None of these choices because they are not harvested ()
 - None of these choices because they are harvested in the main operation ()
7. How are post-harvest follow-ups carried out? Do you check for residual stem injuries or desired stem loss for this type of procedure?

3. Large saplings (2 to 3 in diameter).

8. For silvicultural cares, do you make a selection of stems in the large saplings? If so, is this operation done during brush cutting or cleaning? Please precise.

9. What tools do you use? Or are they mainly chemical treatments (herbicides)?

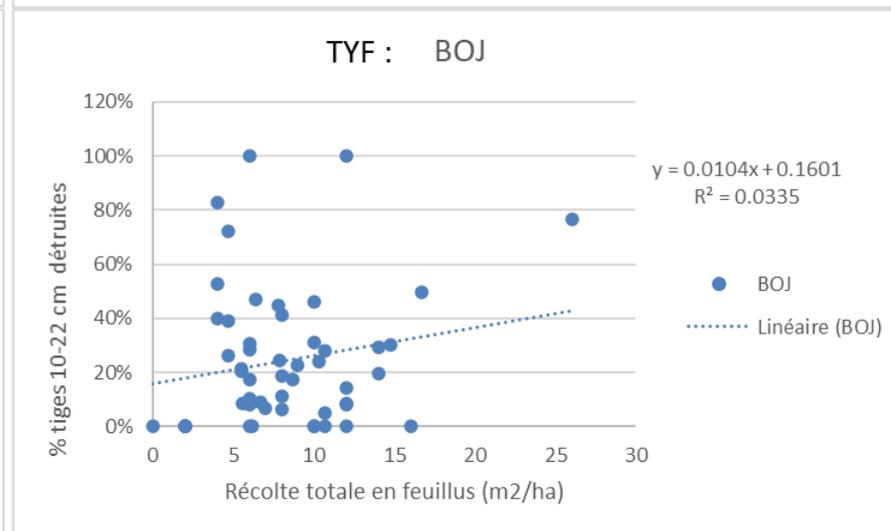
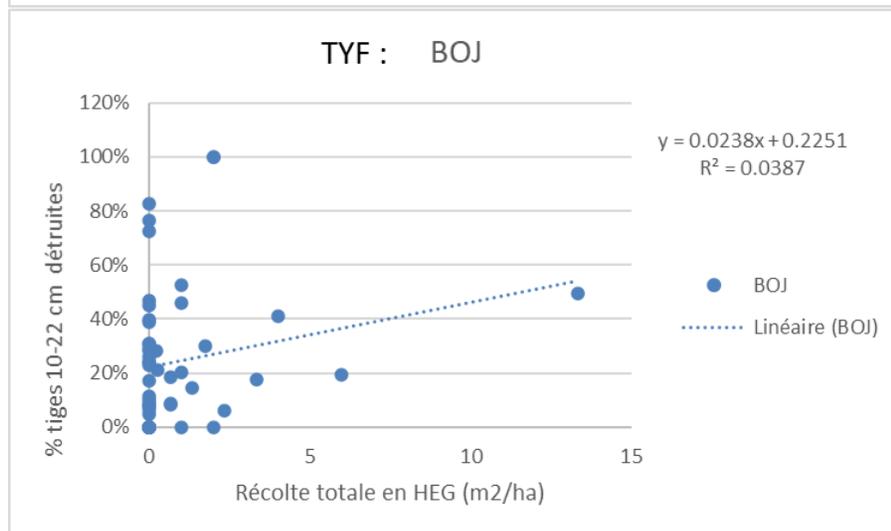
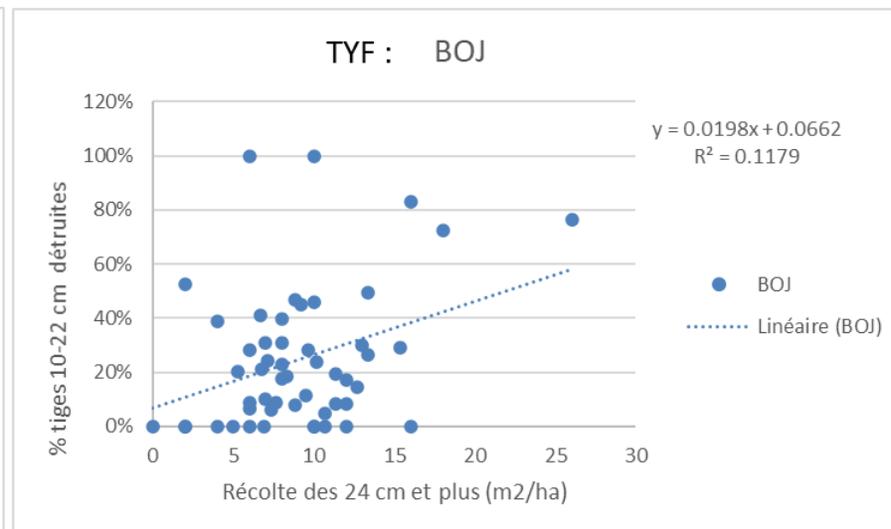
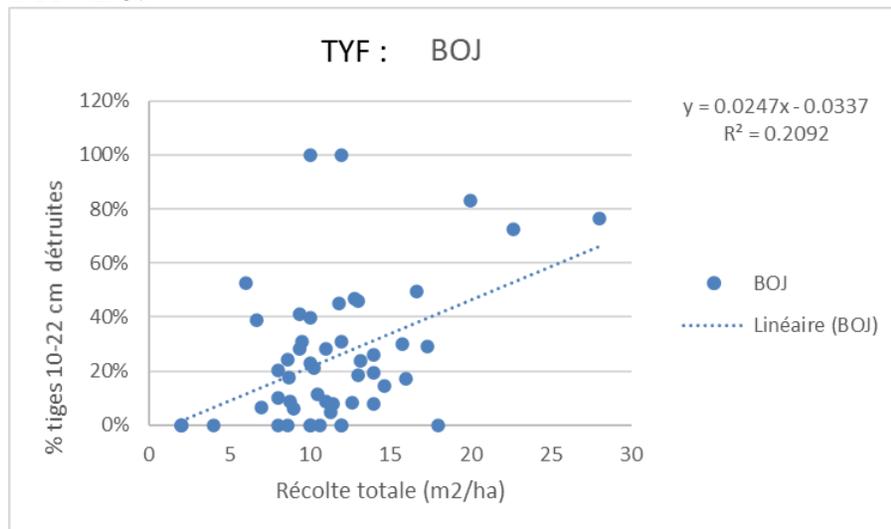
4. Other solutions

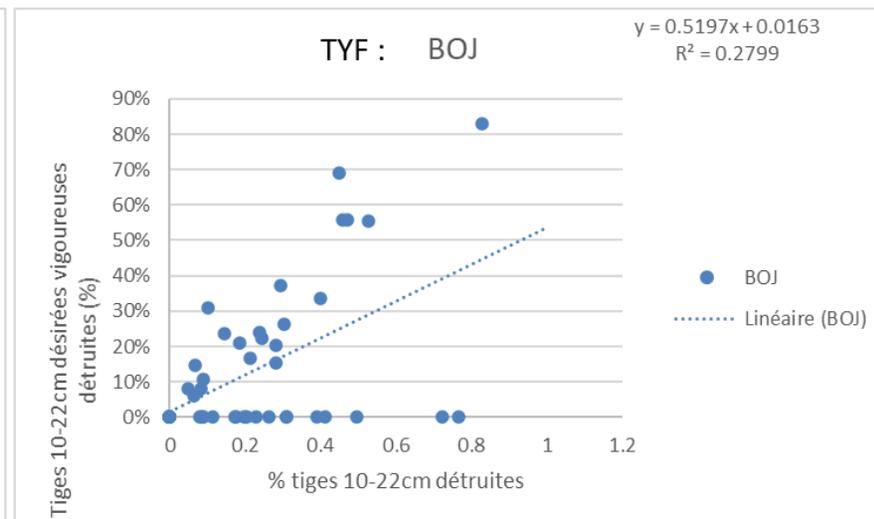
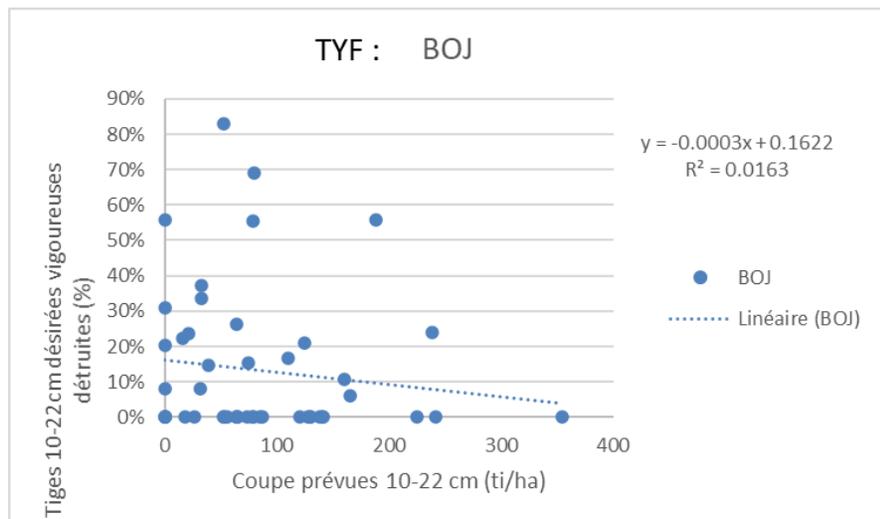
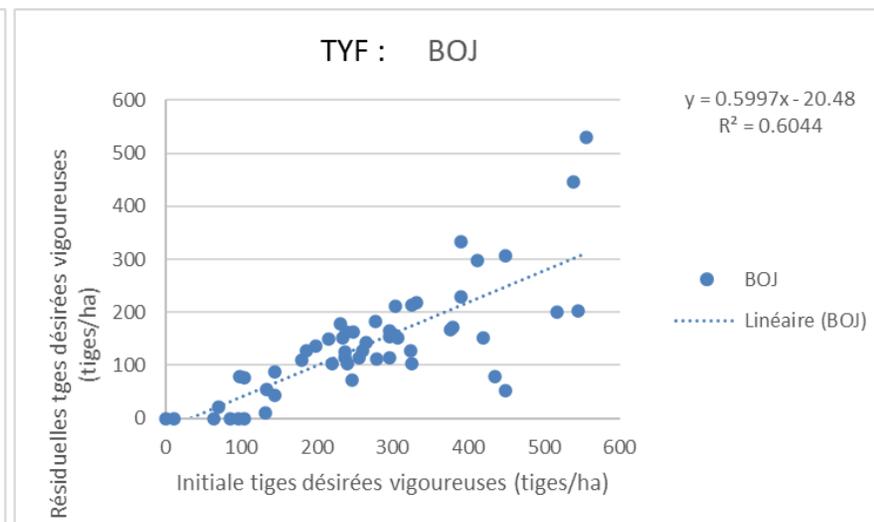
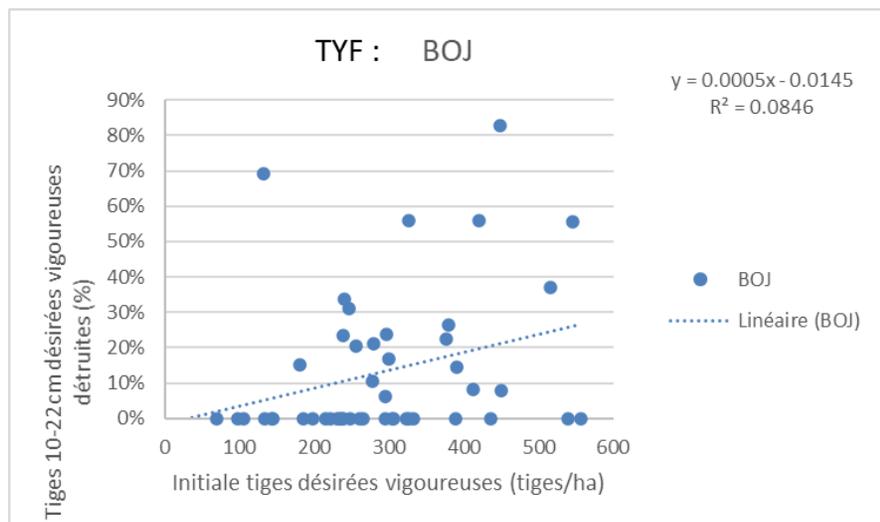
In order to identify other solutions than those suggested, have you implemented other approaches to avoid destroying regeneration (saplings and small merchantable stems) during harvesting operations in partial cuts, depending on the equipment used and to carry out the best silvicultural treatment? If so, describe these approaches

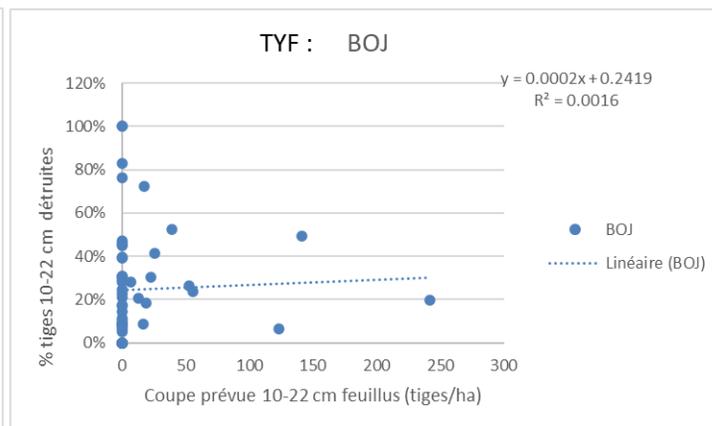
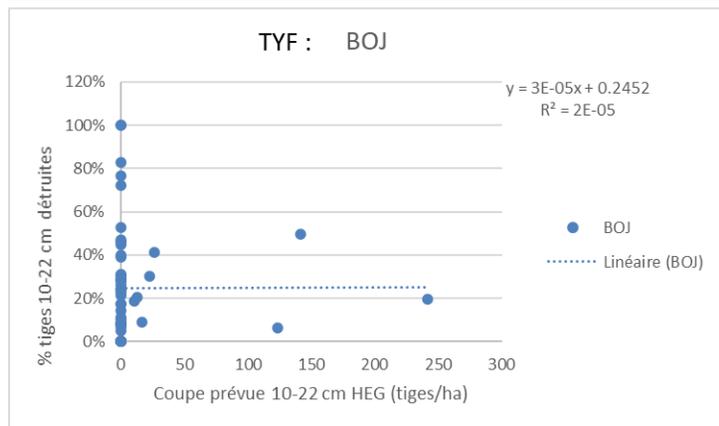
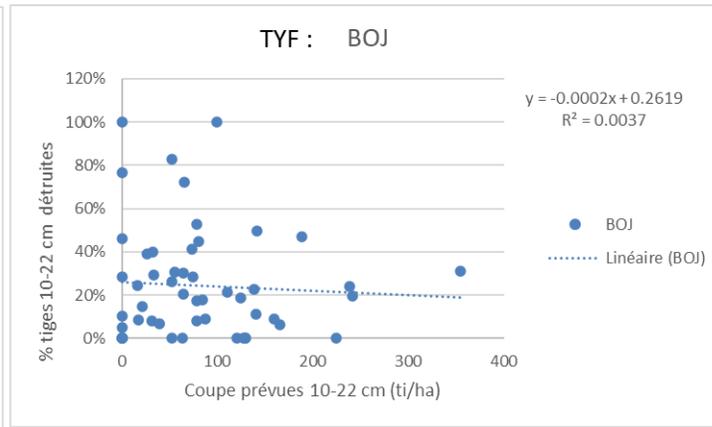
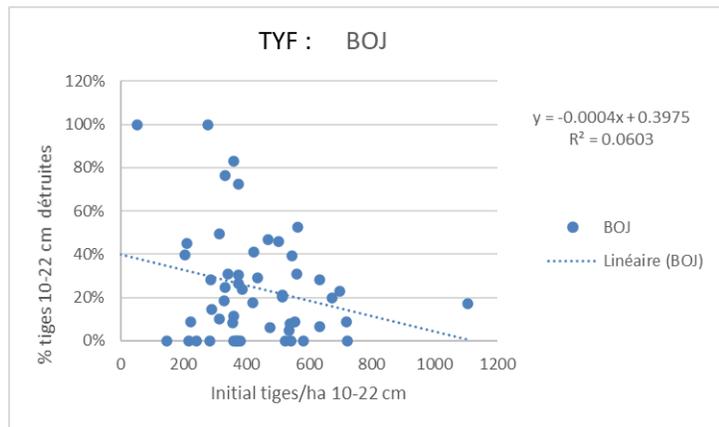
ANNEXE 2. RELATIONS ENTRE LES PTM ET LES TYPES FORESTIERS

Annexes : compilations par types de forêts :

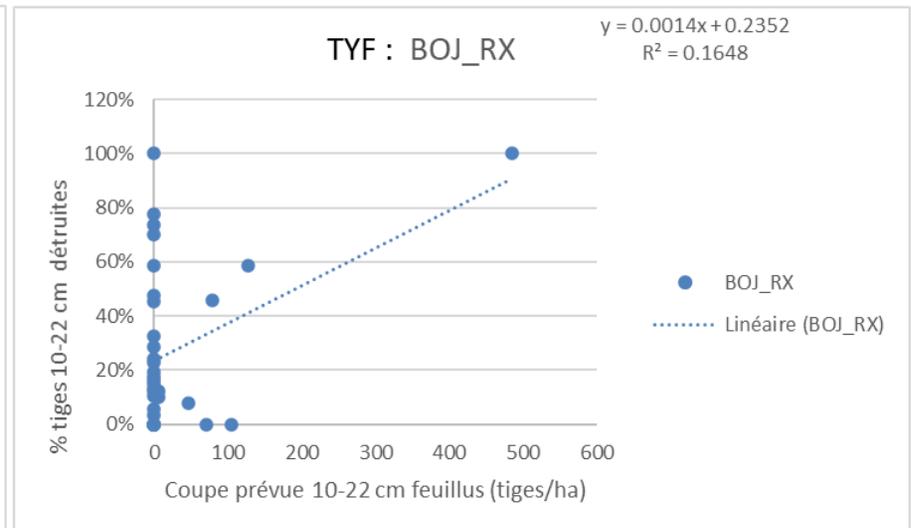
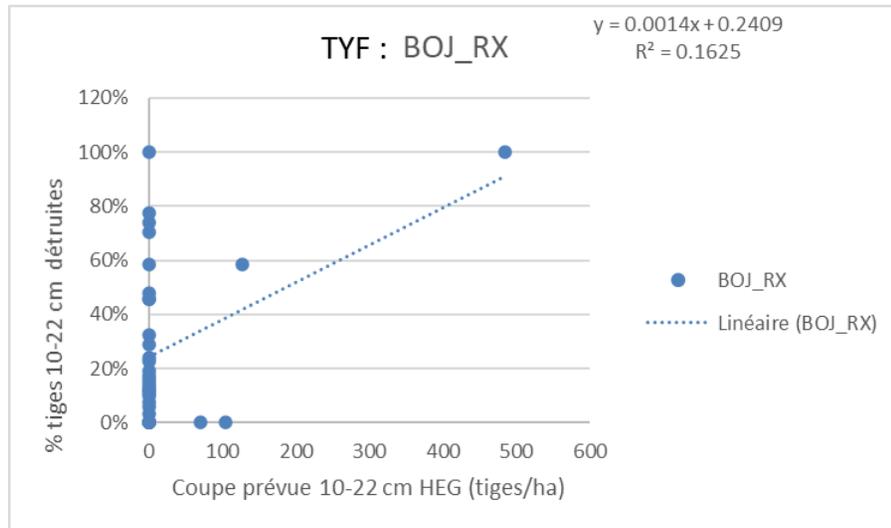
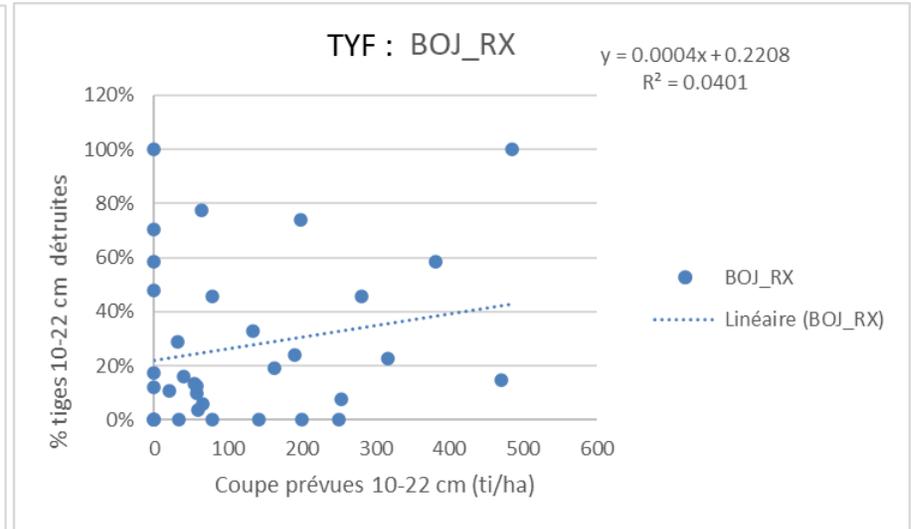
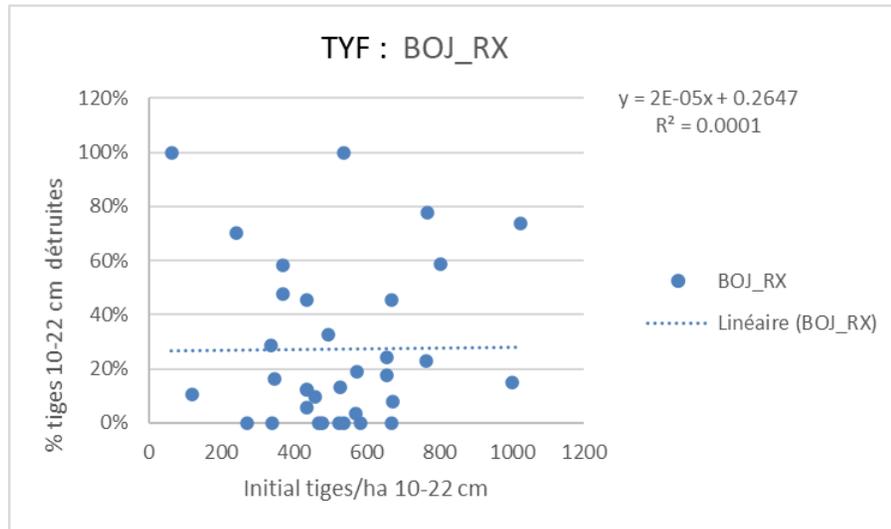
TYF= BOJ

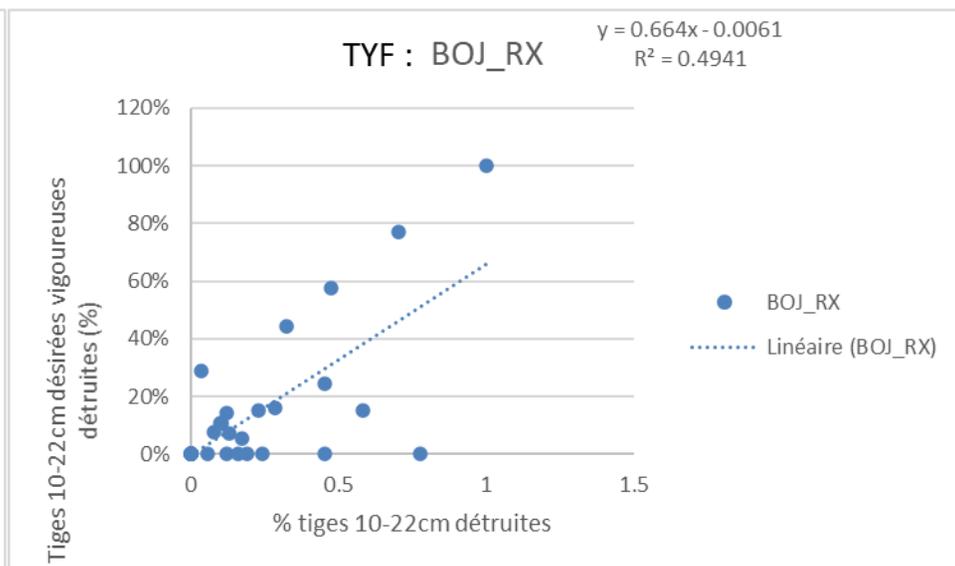
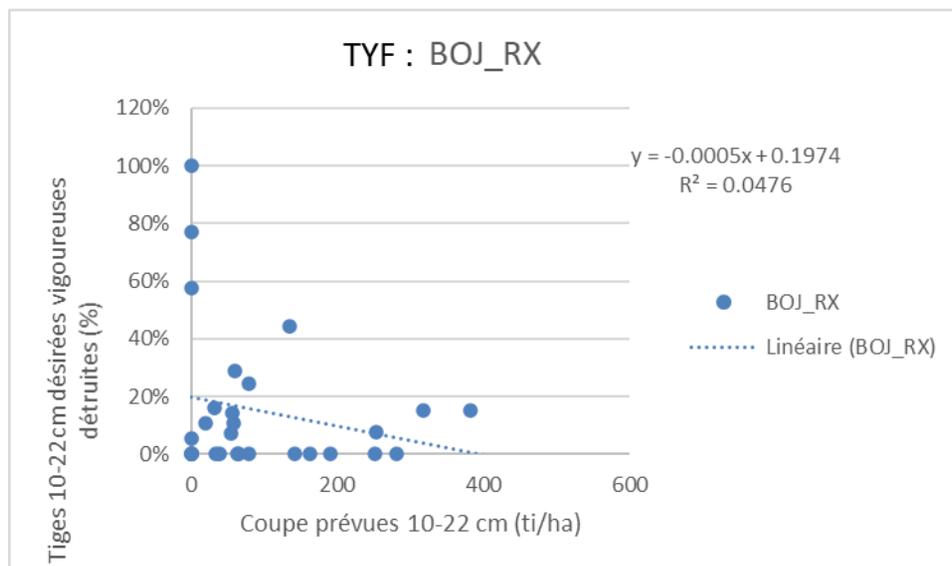
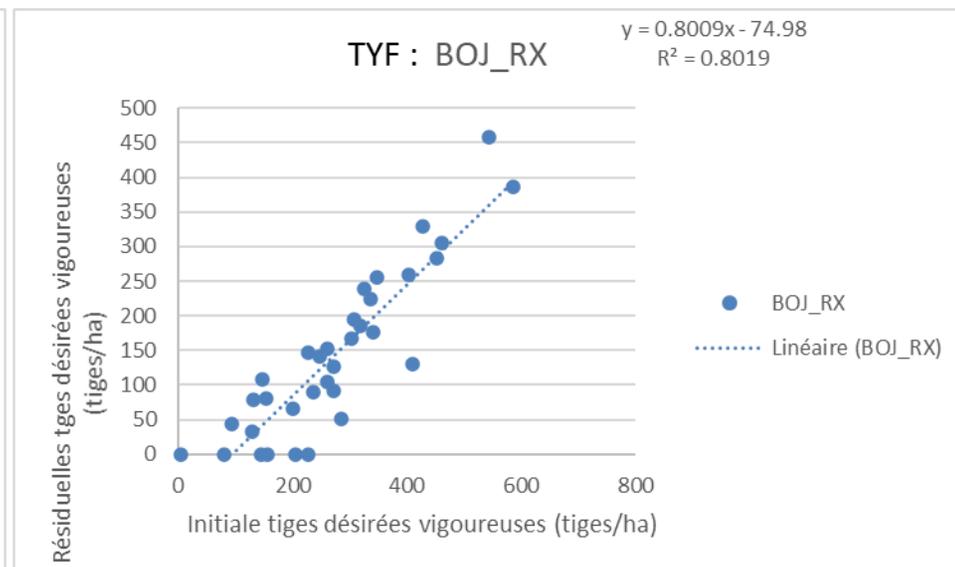
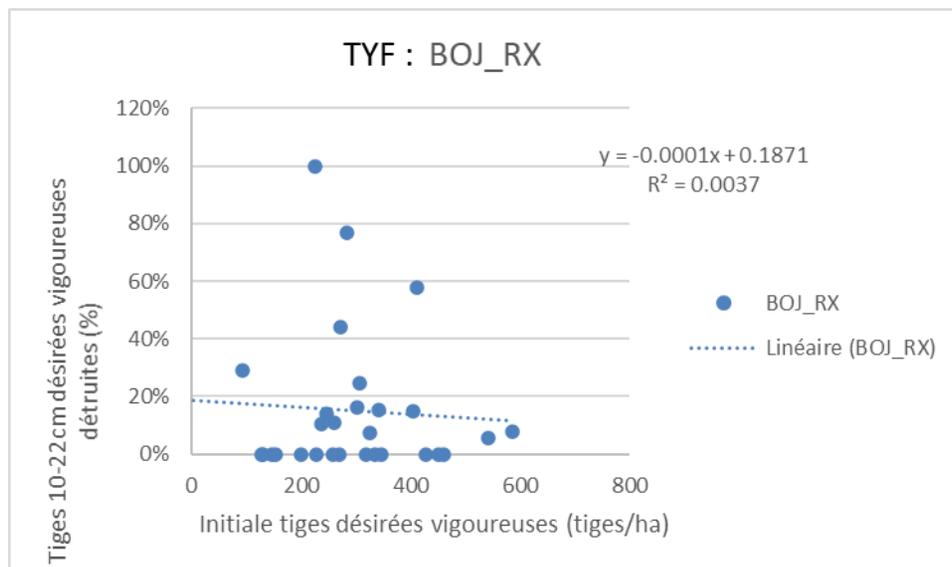


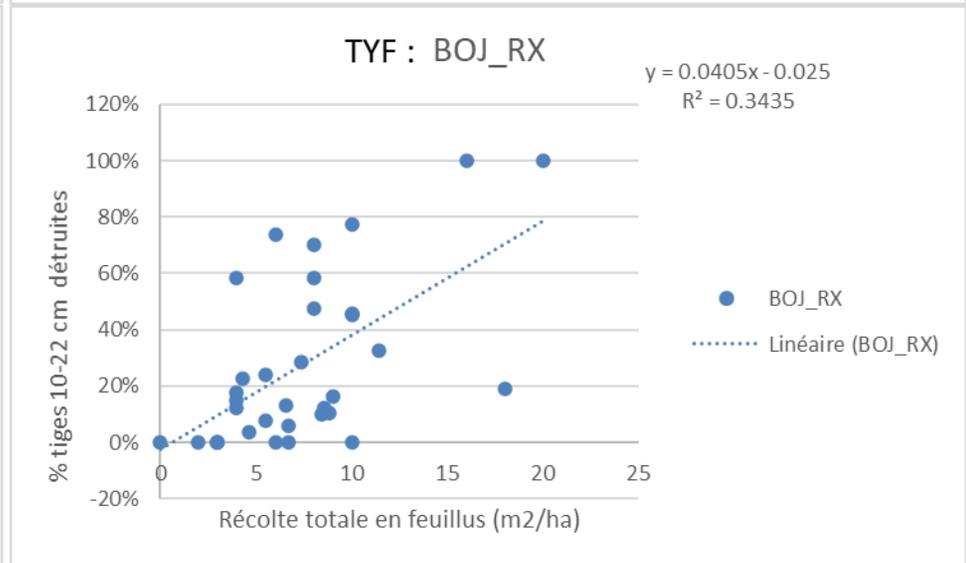
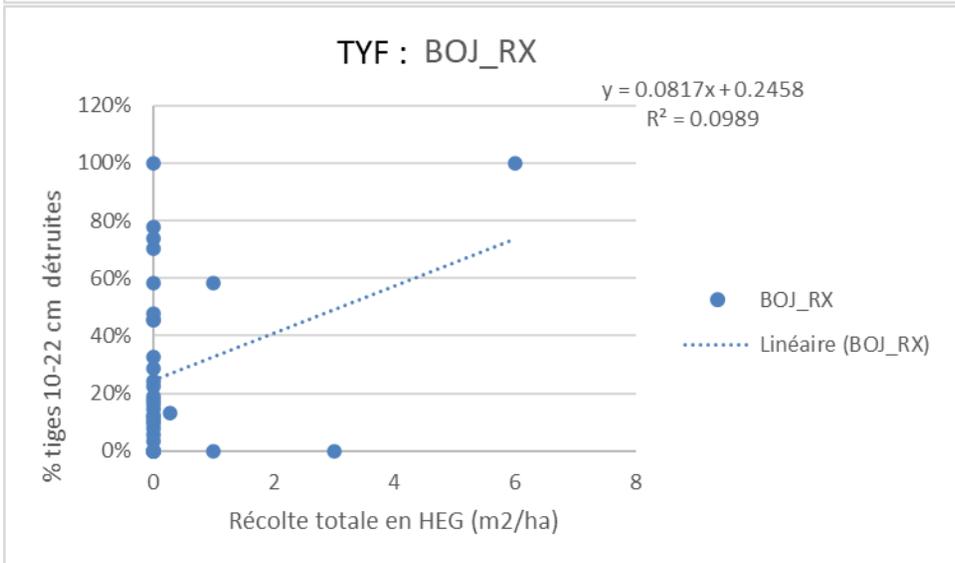
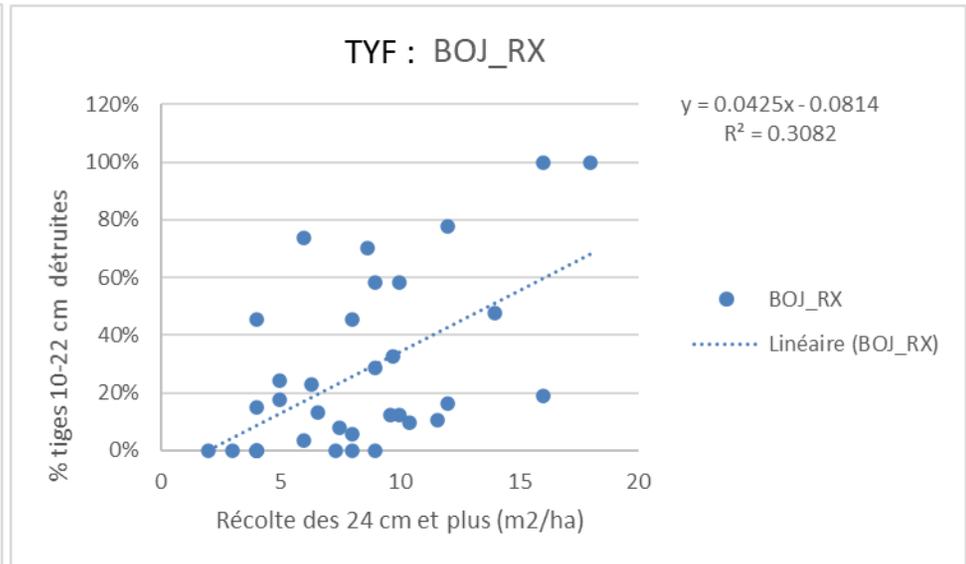
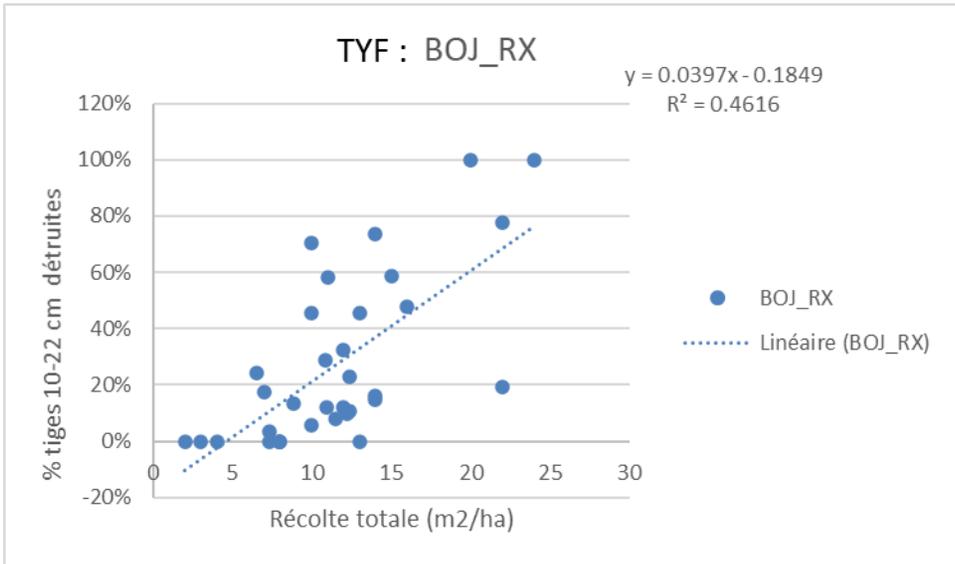




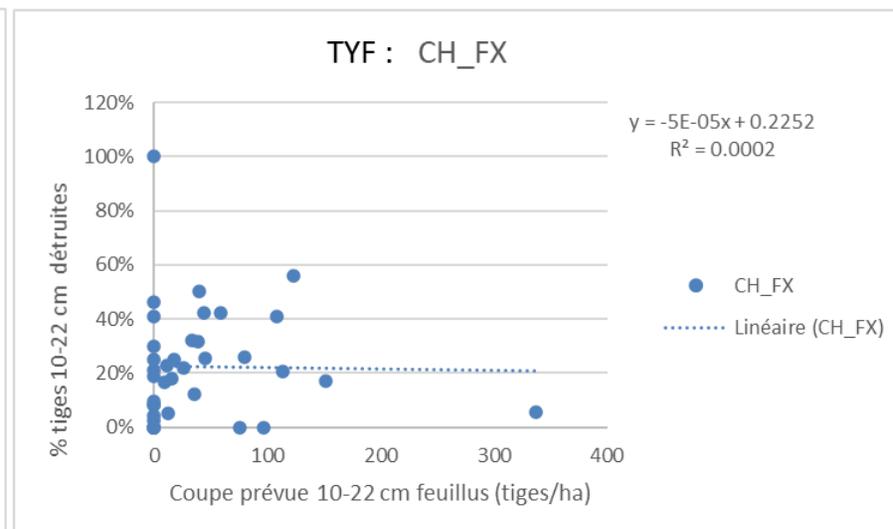
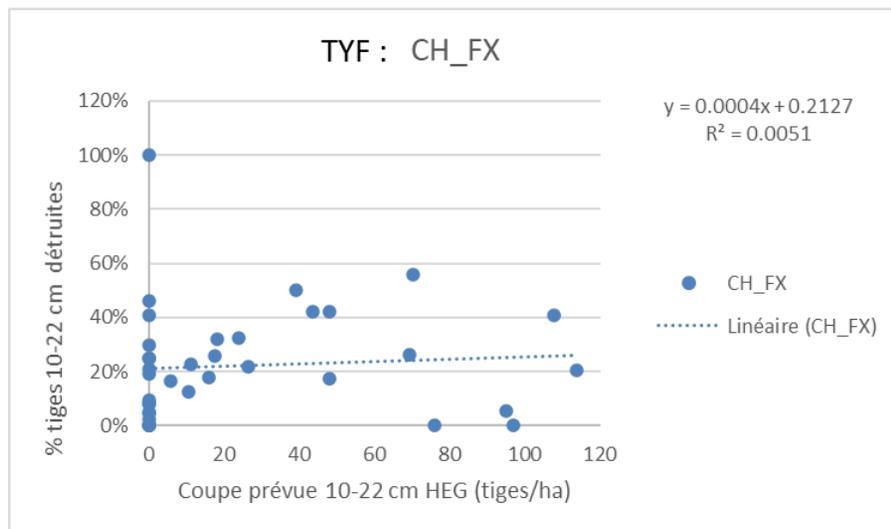
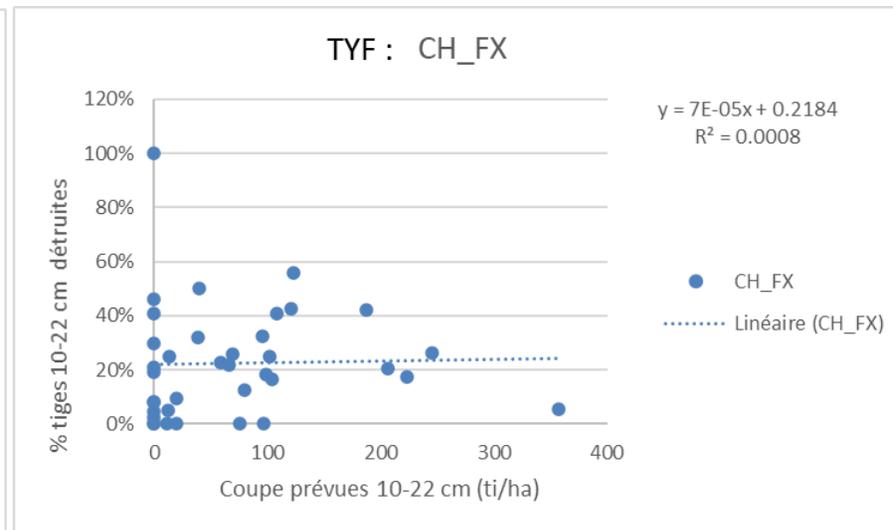
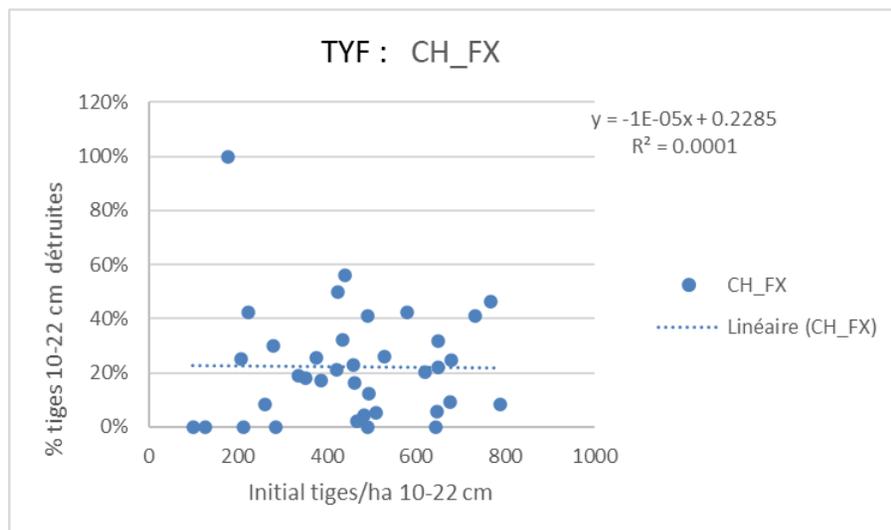
BOJ_RX

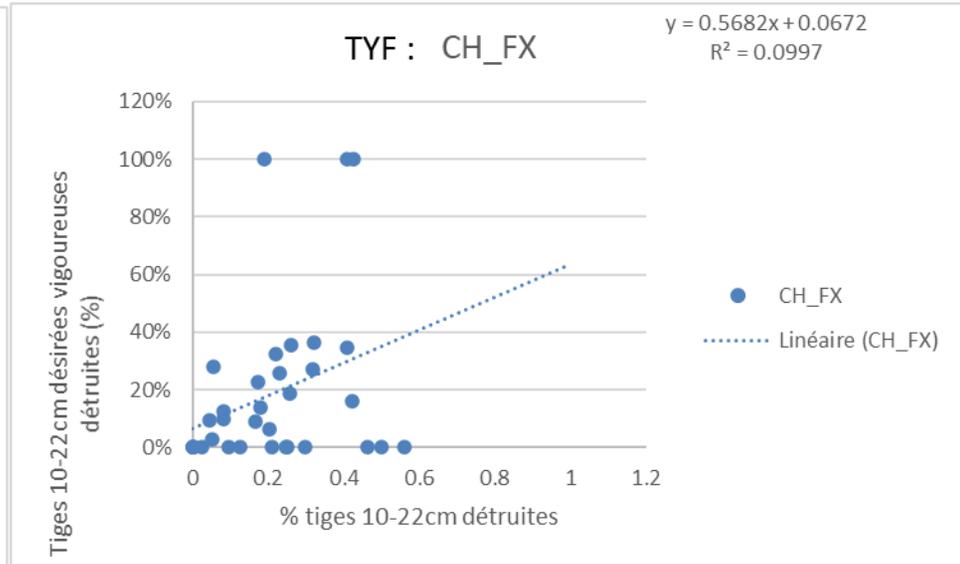
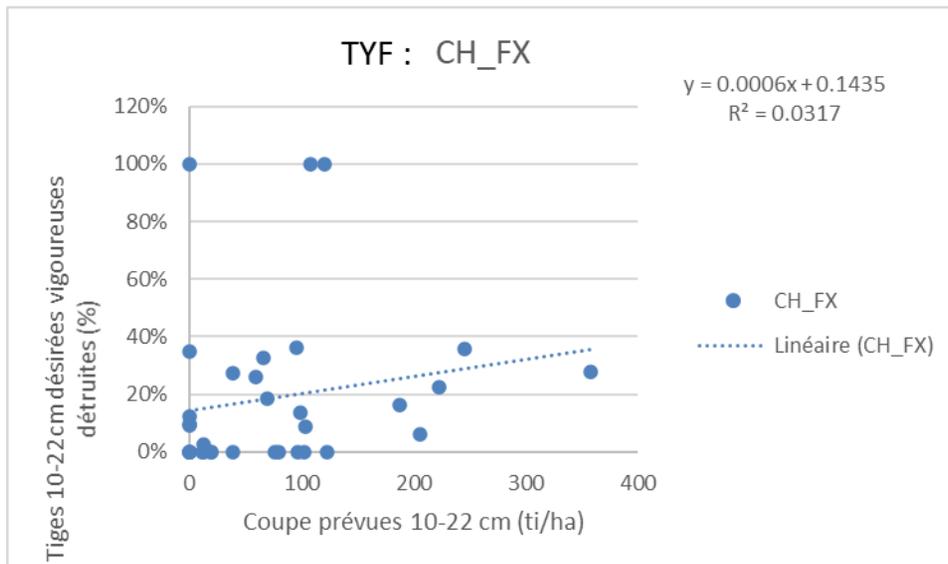
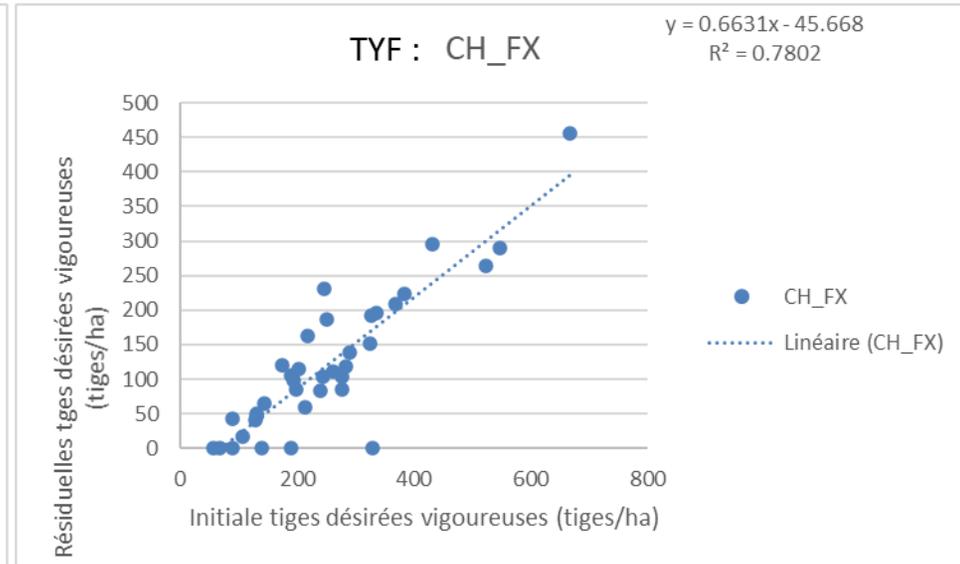
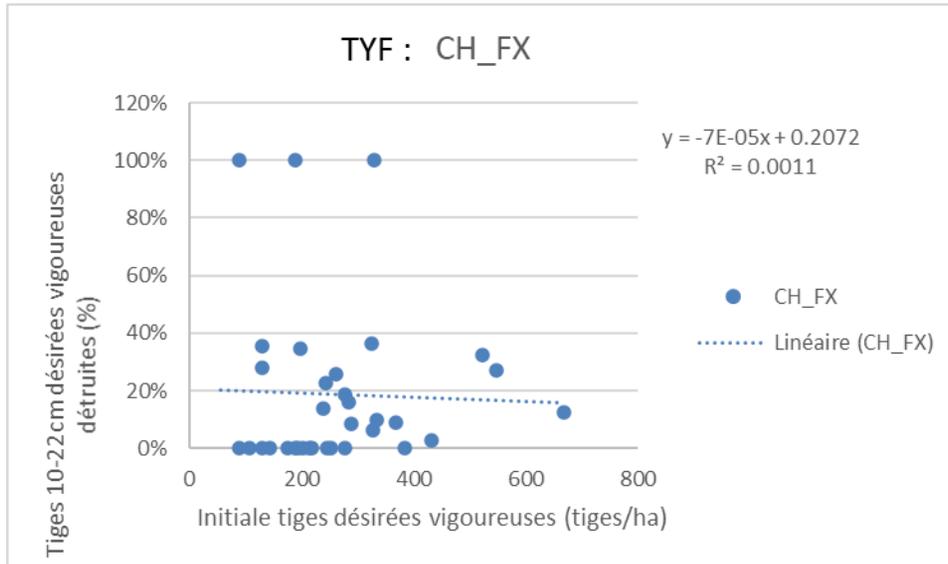


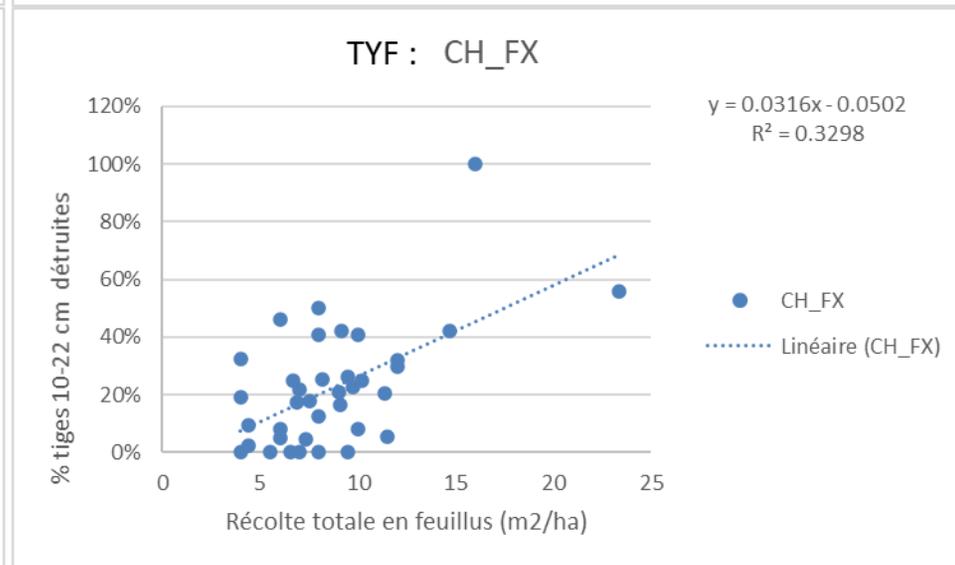
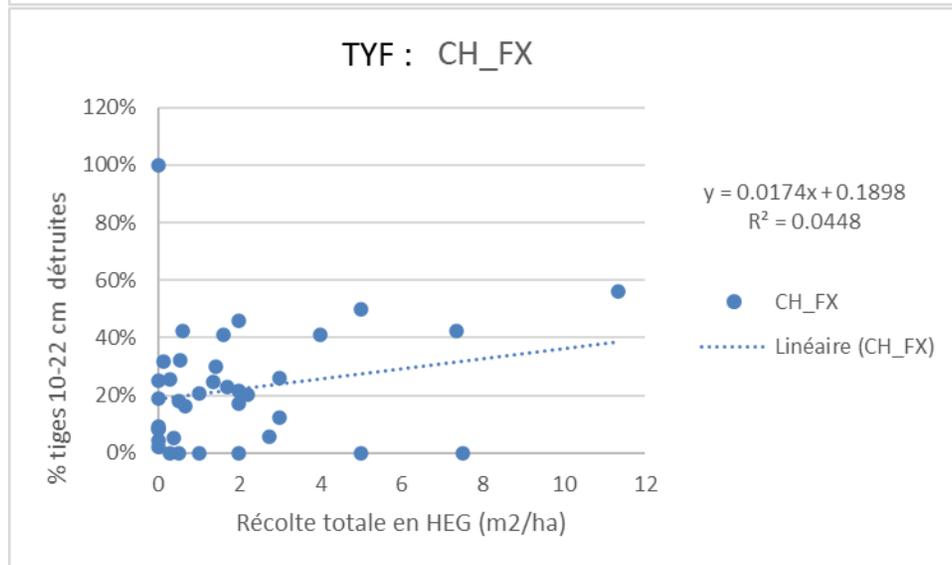
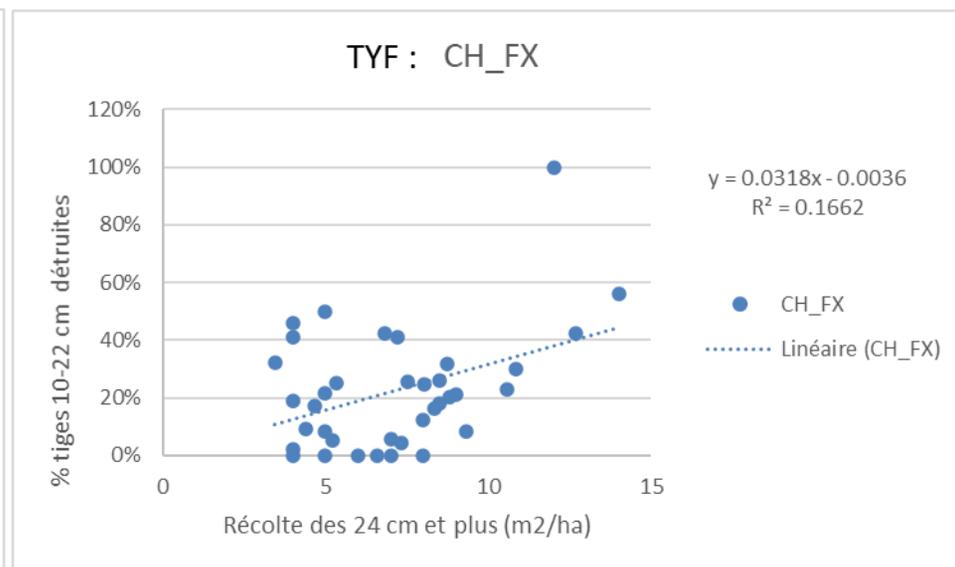
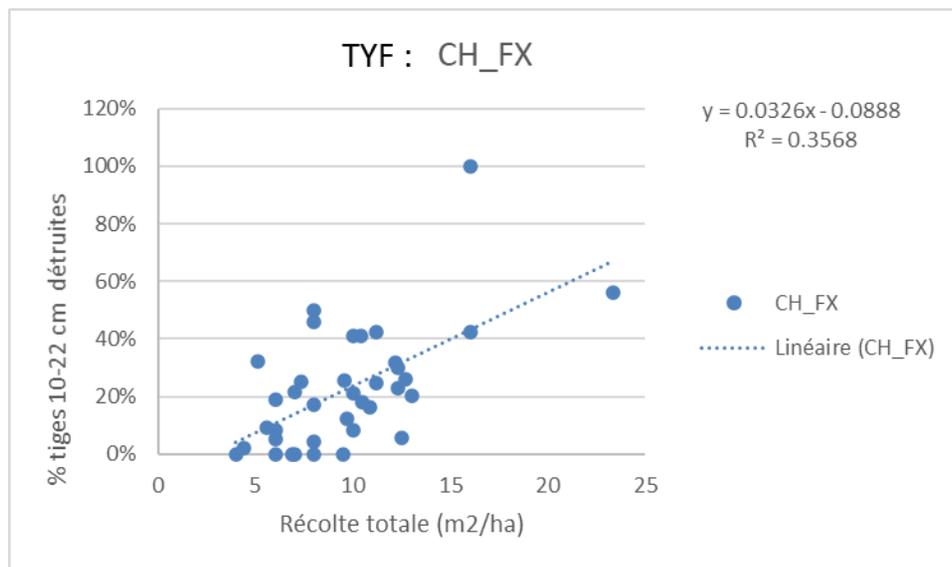




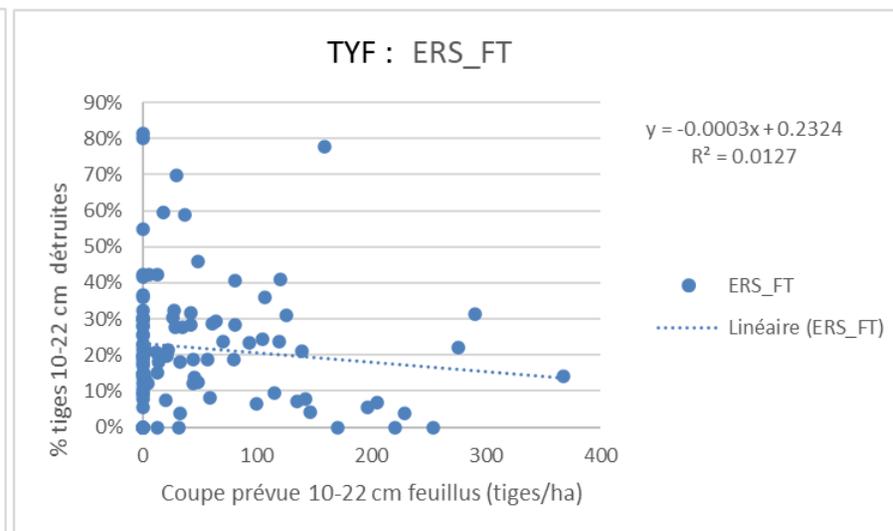
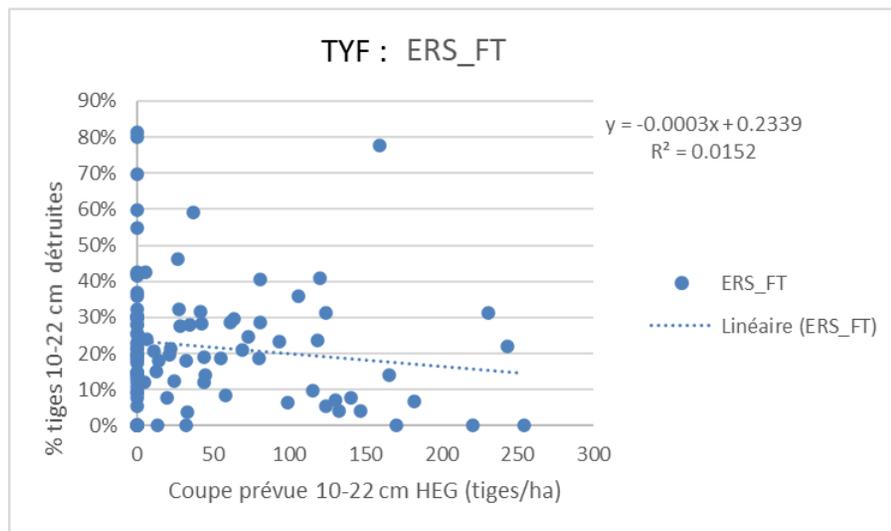
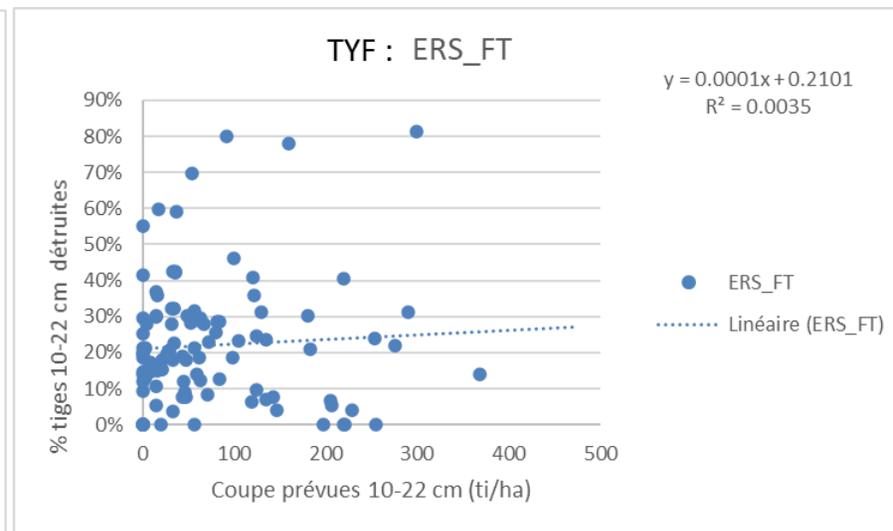
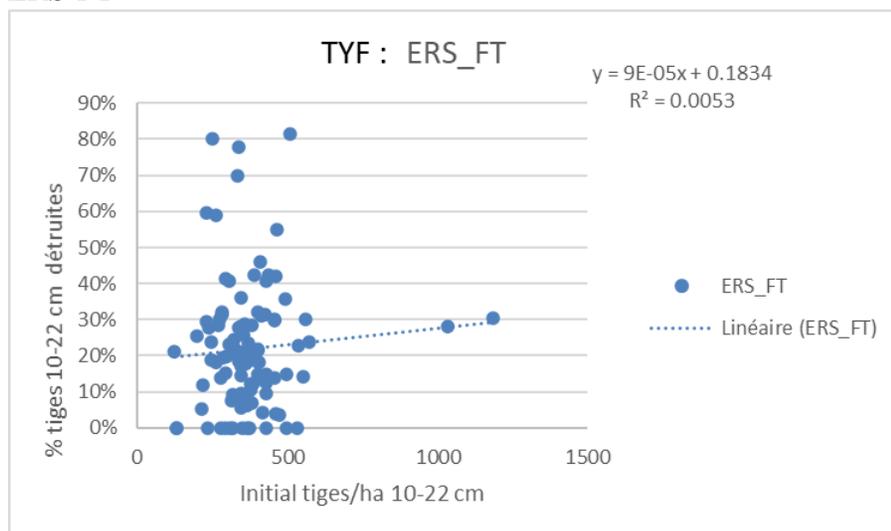
CH-FX

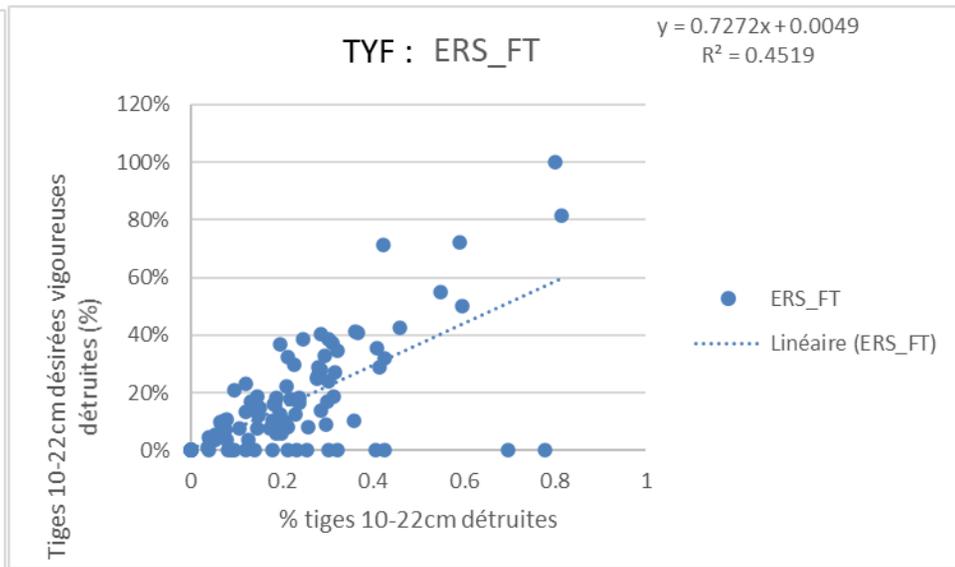
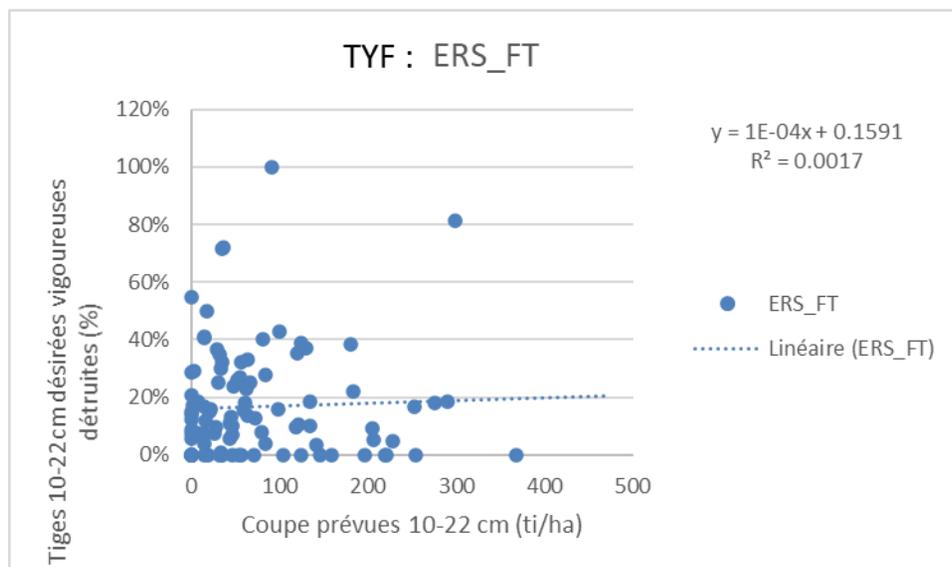
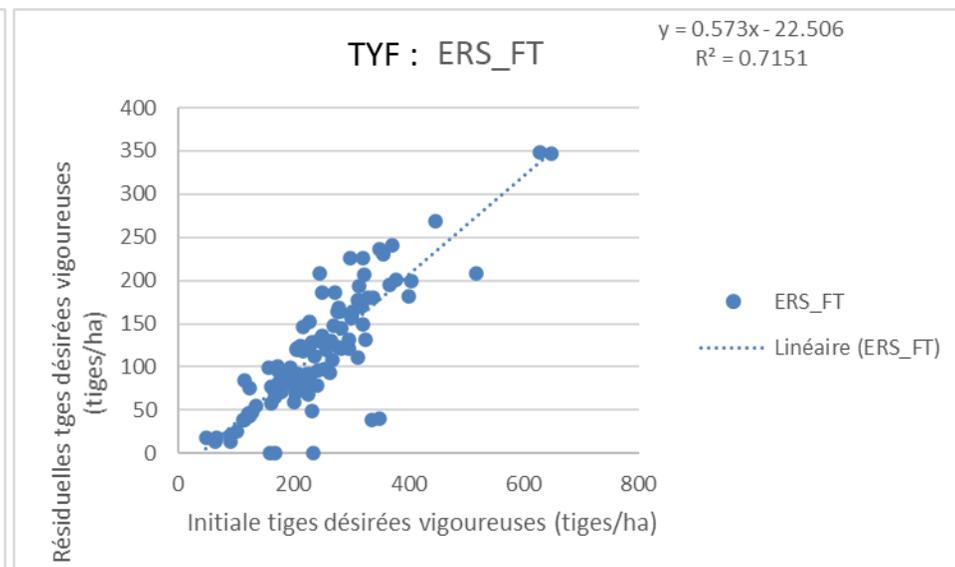
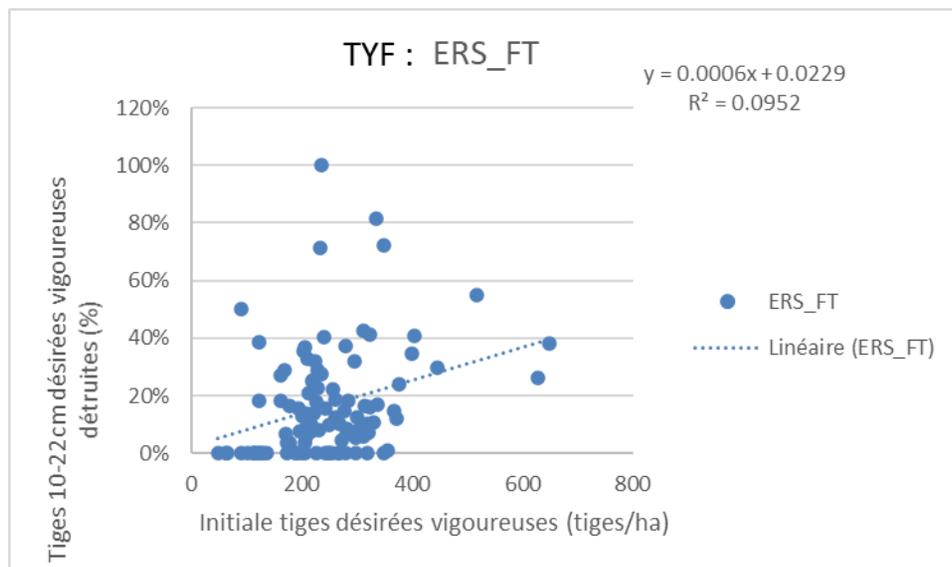


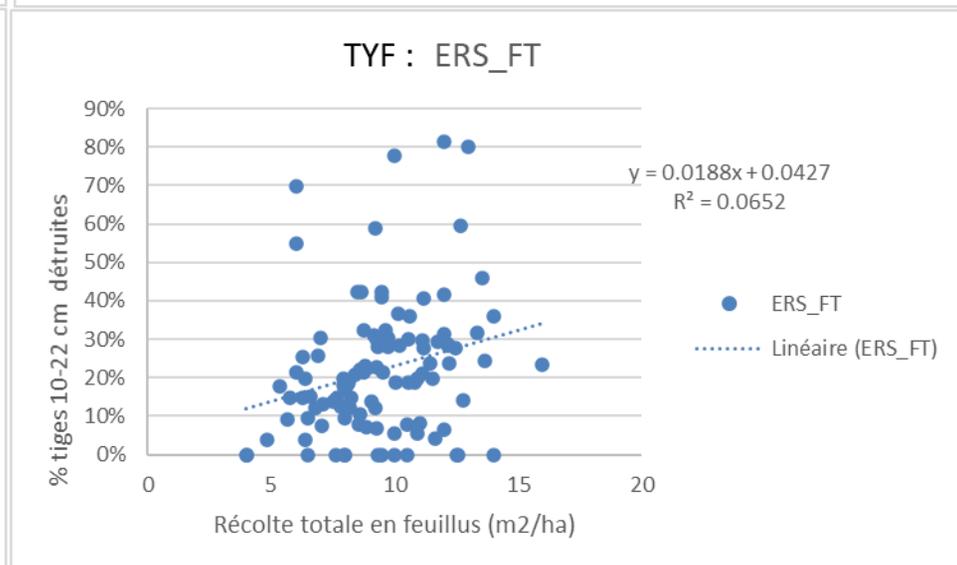
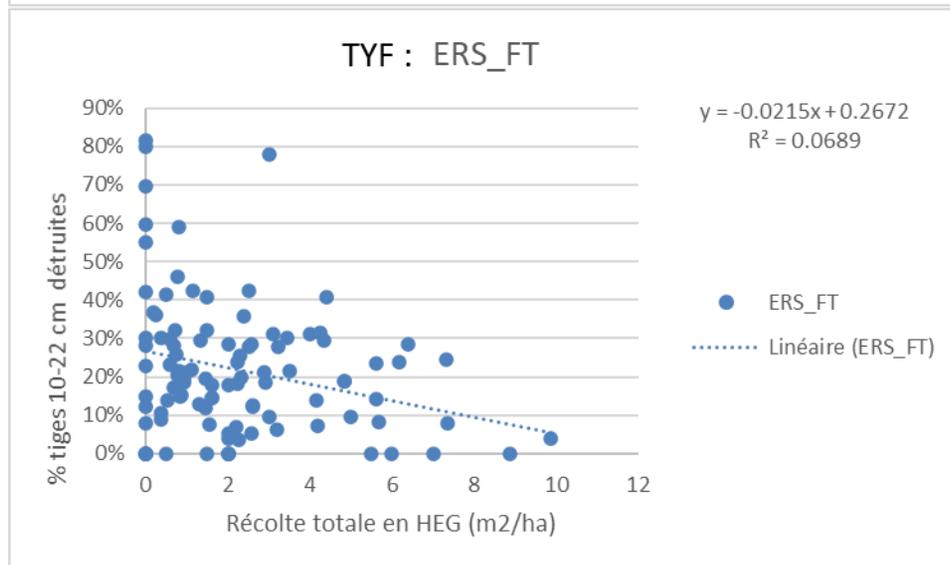
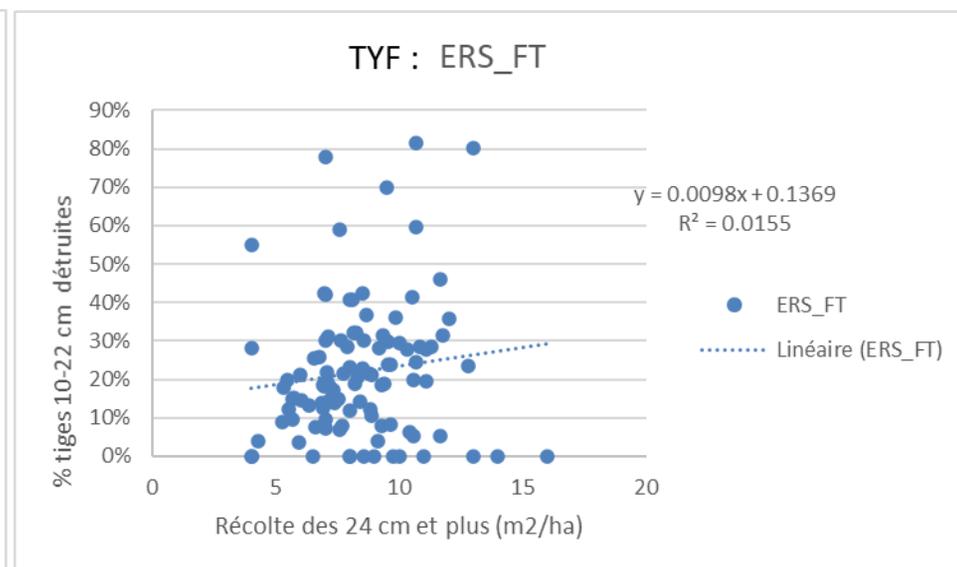
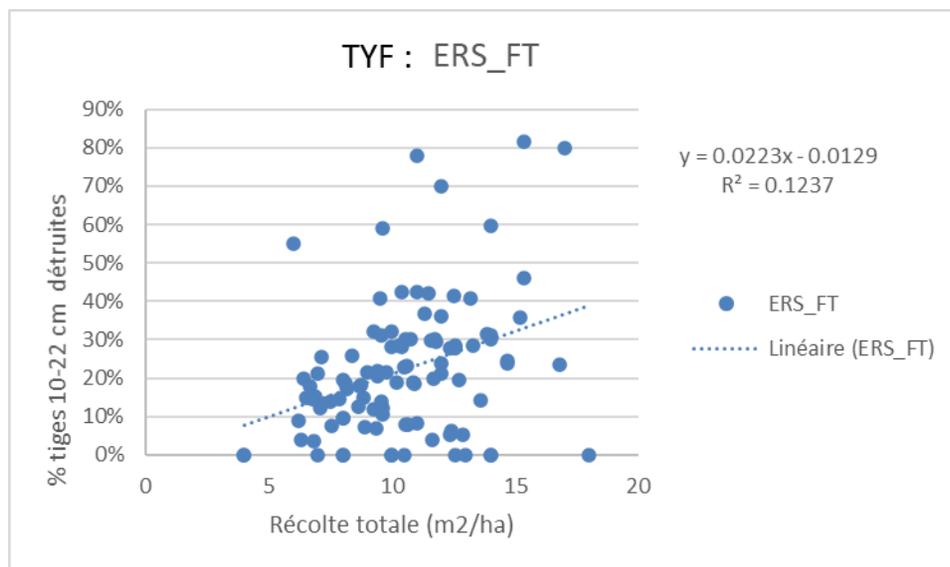




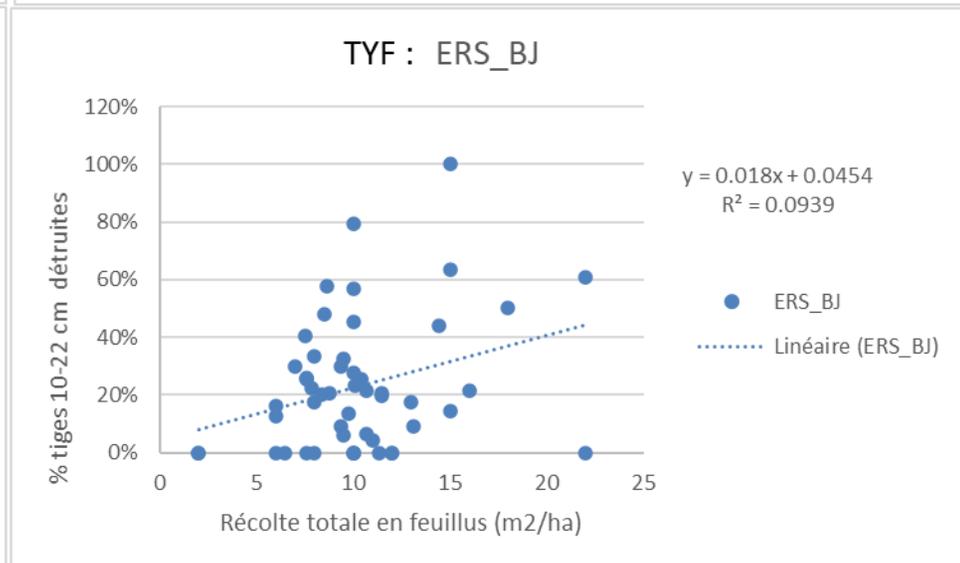
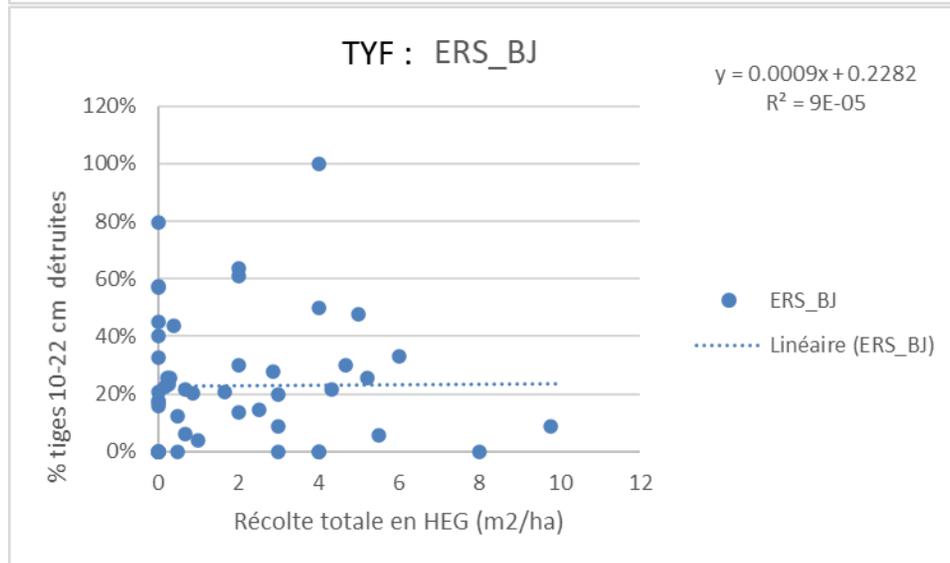
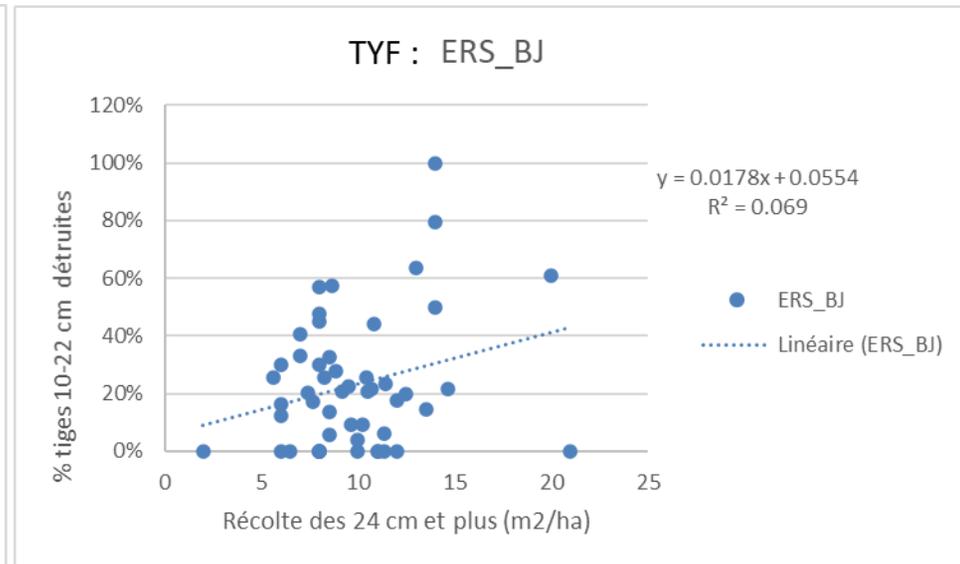
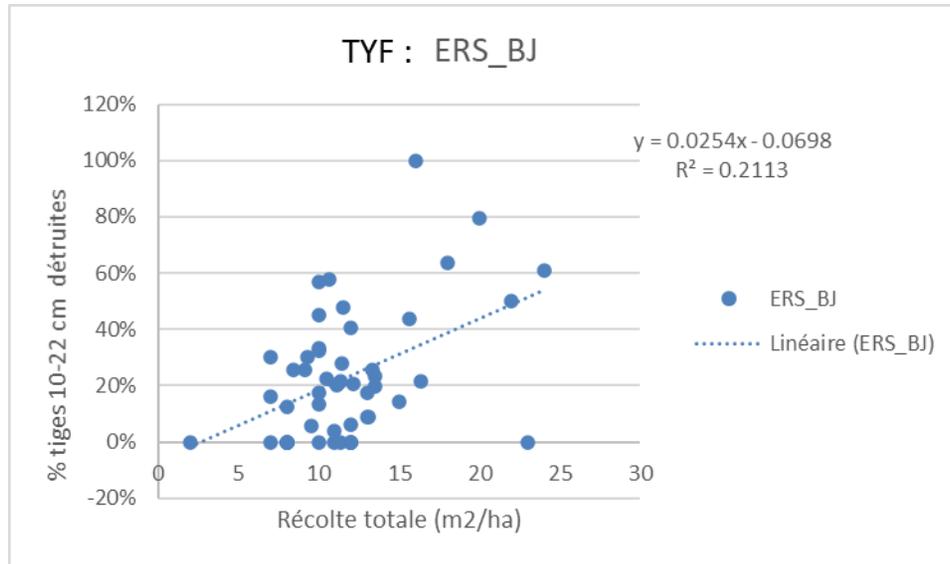
ERS-FT

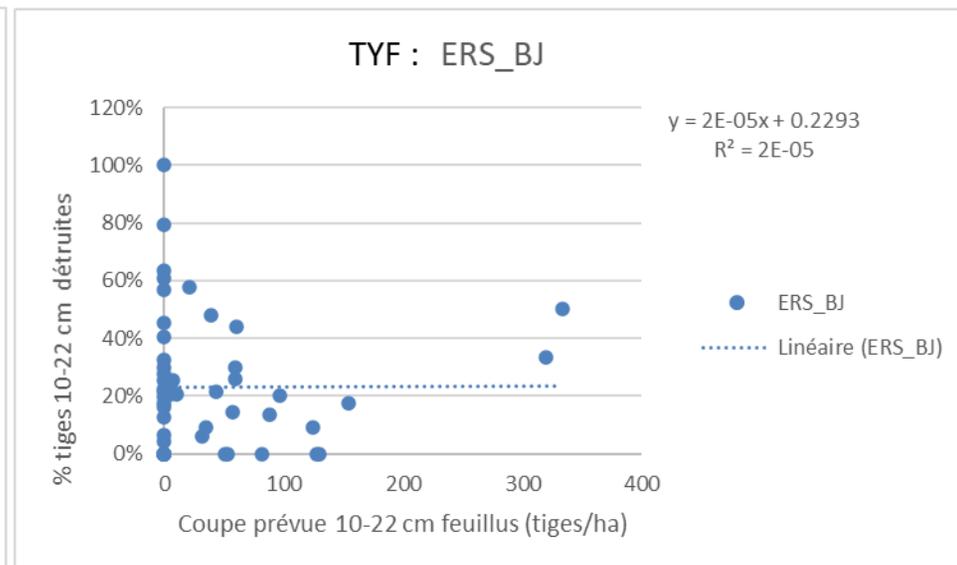
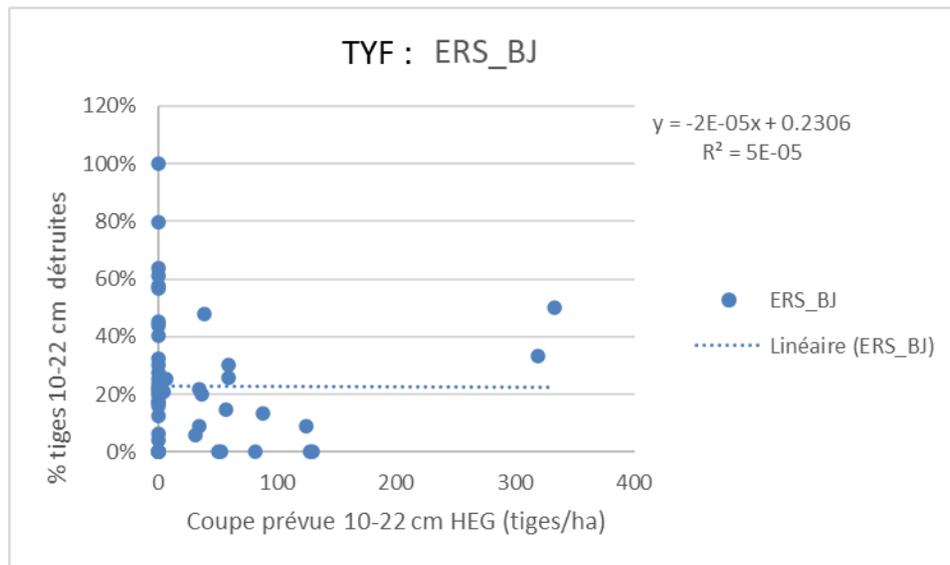
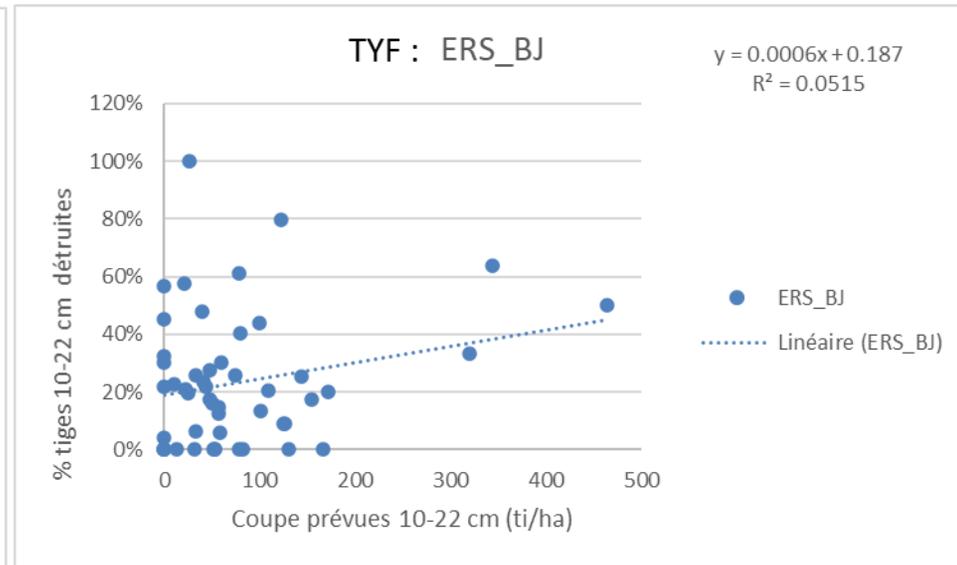
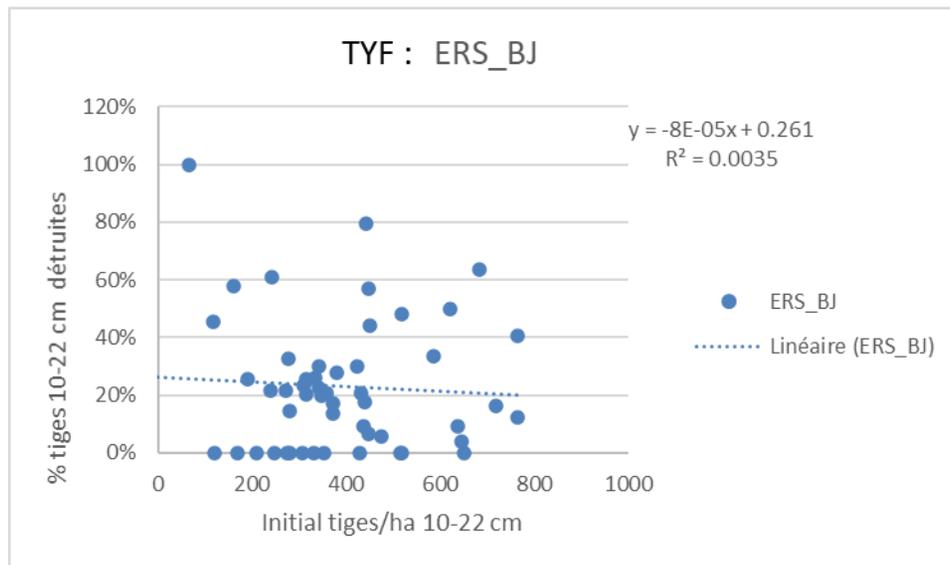


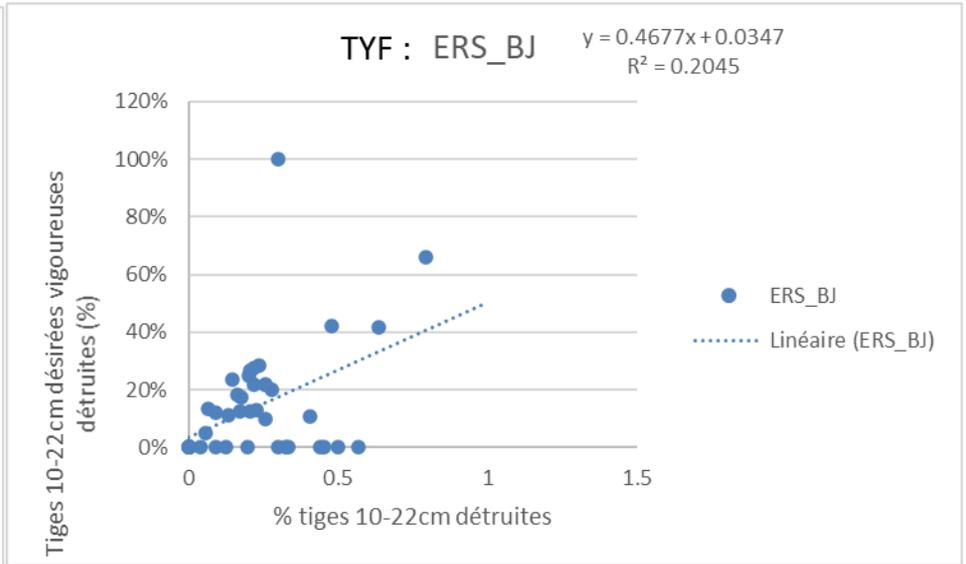
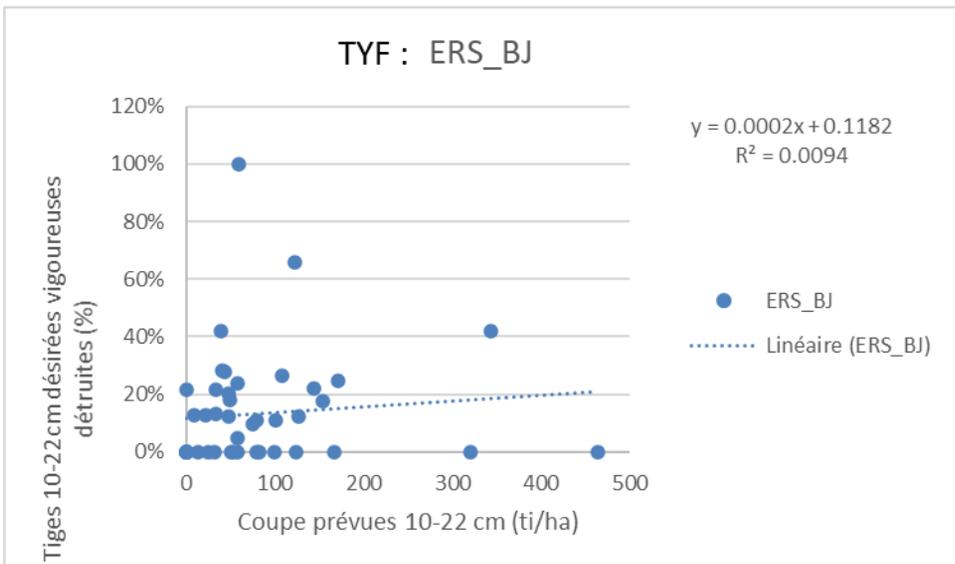
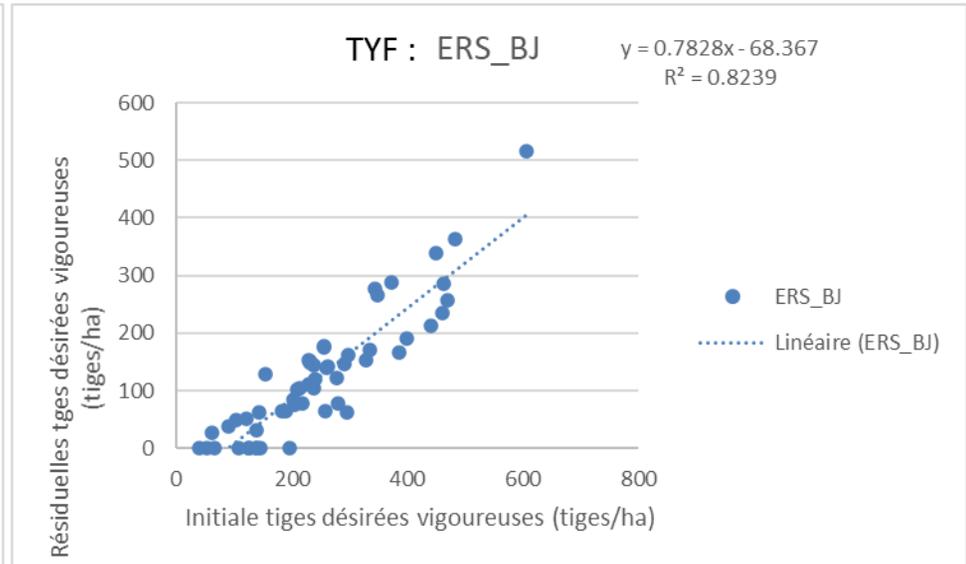
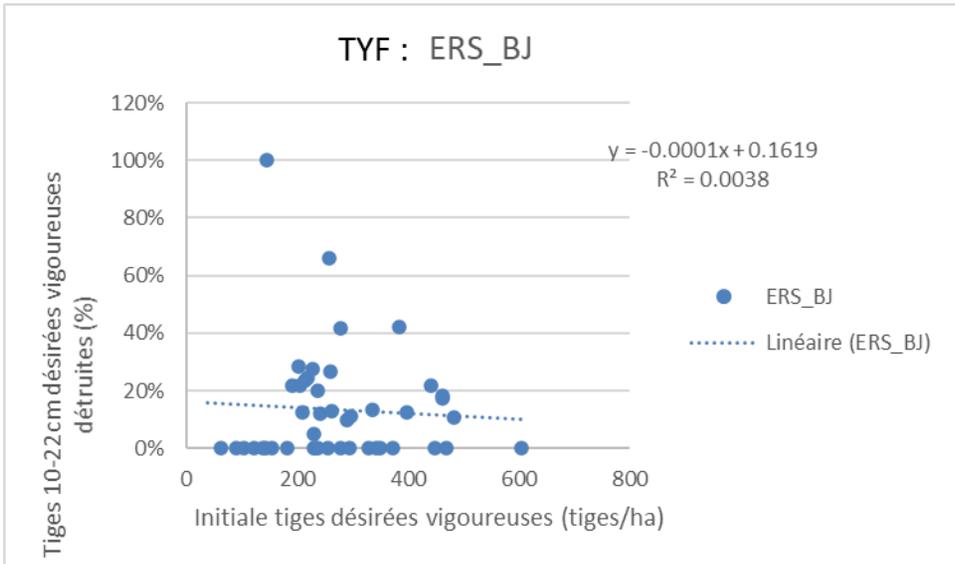




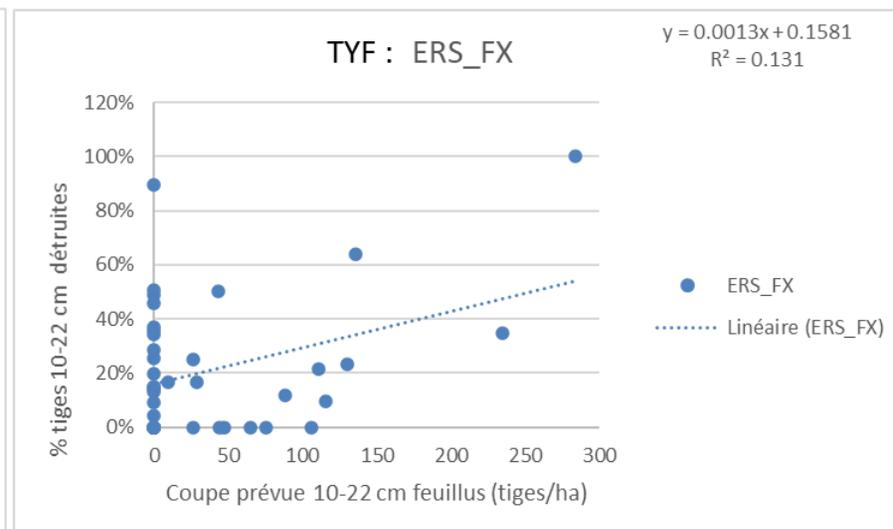
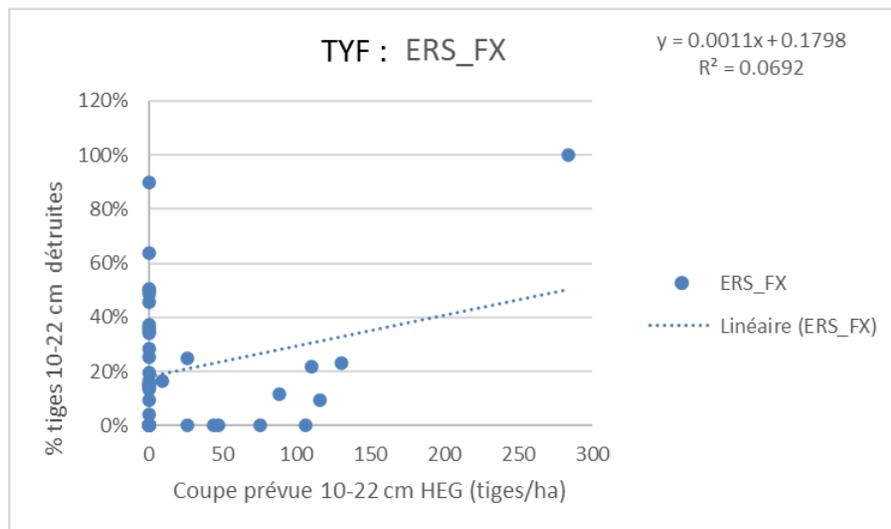
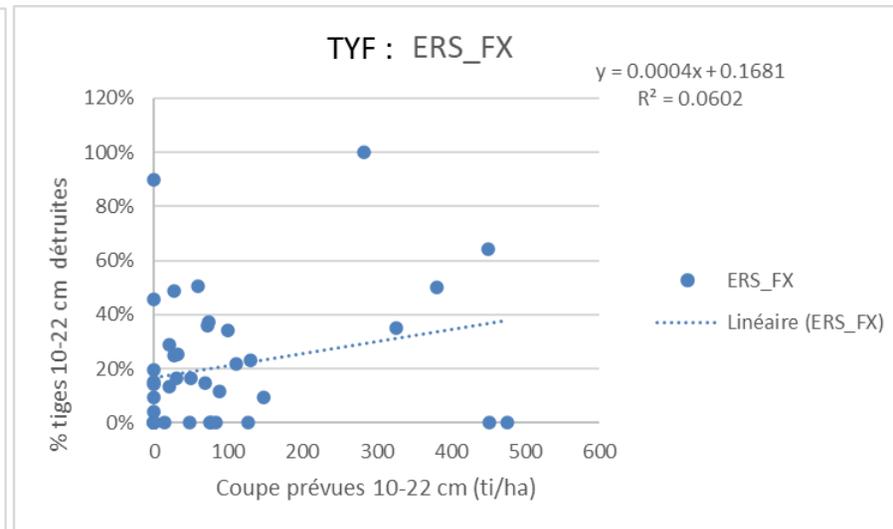
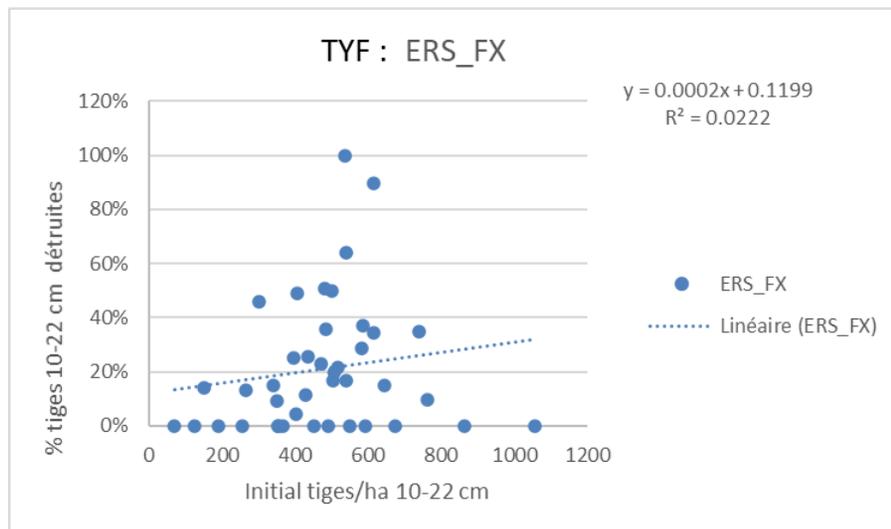
ERS-BJ :

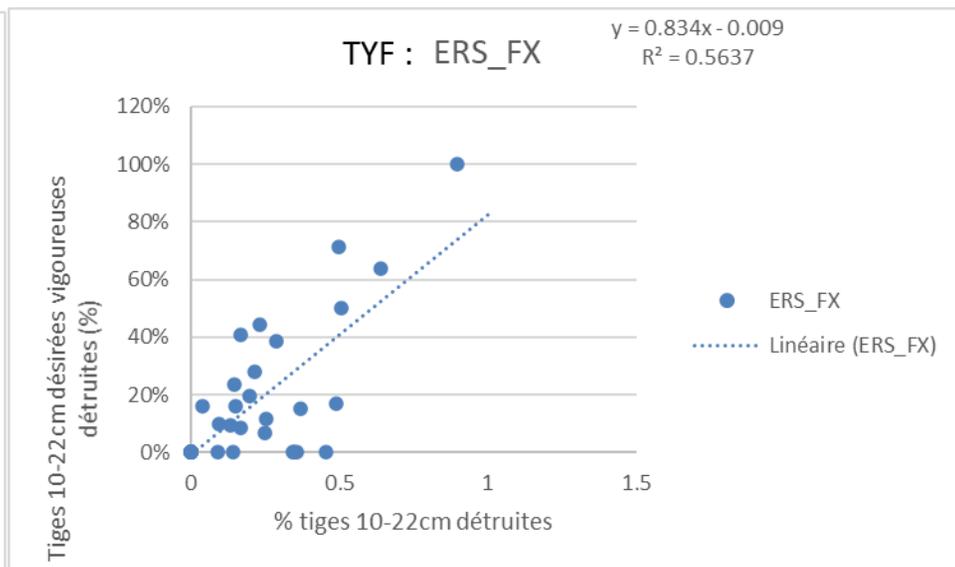
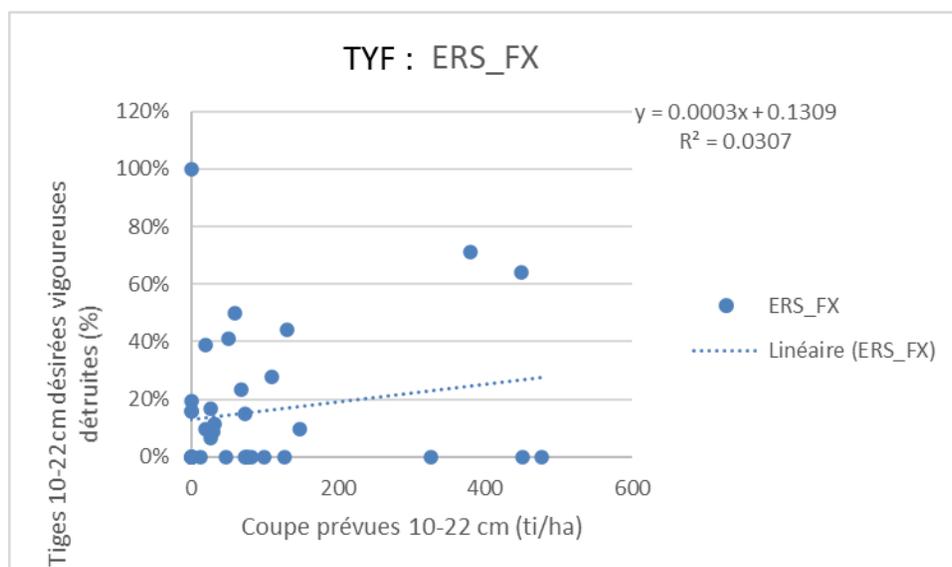
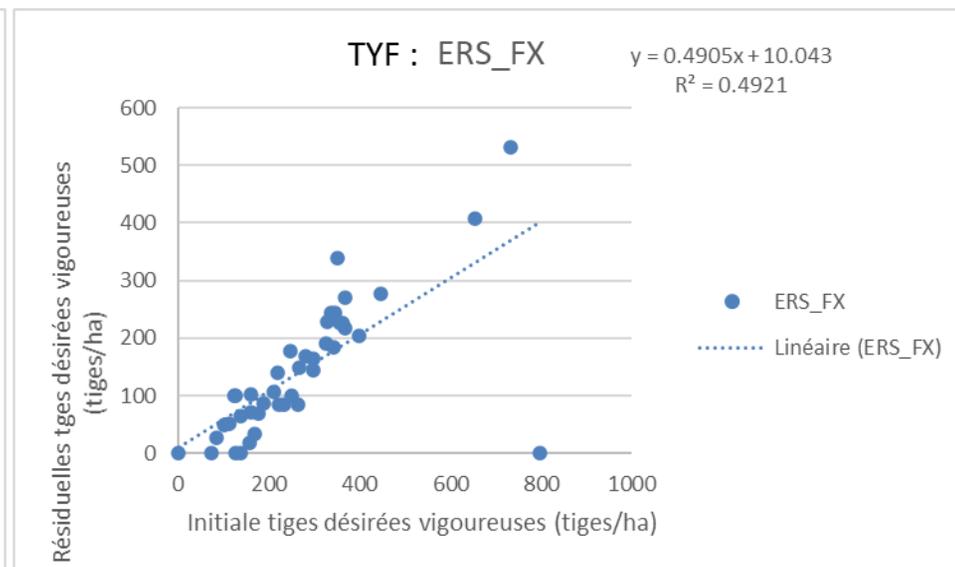
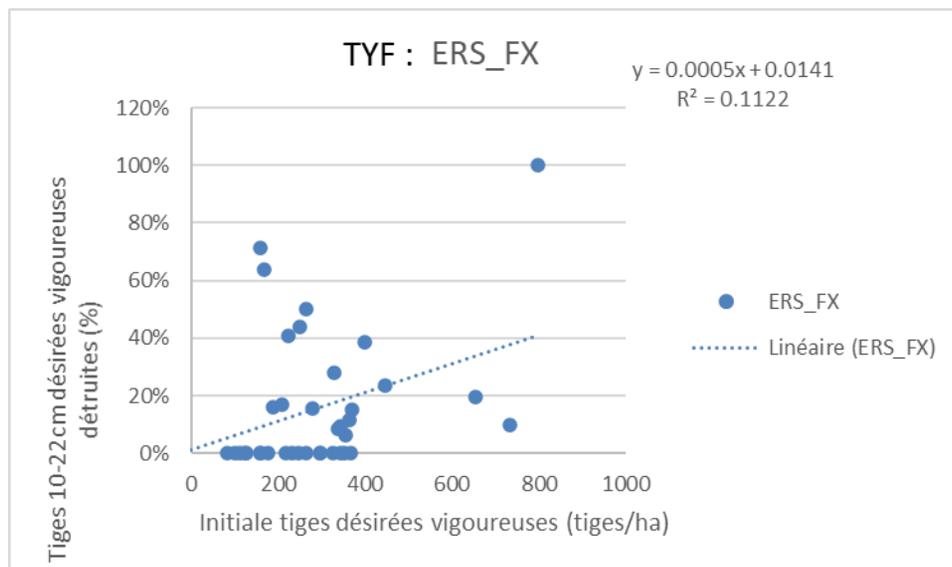


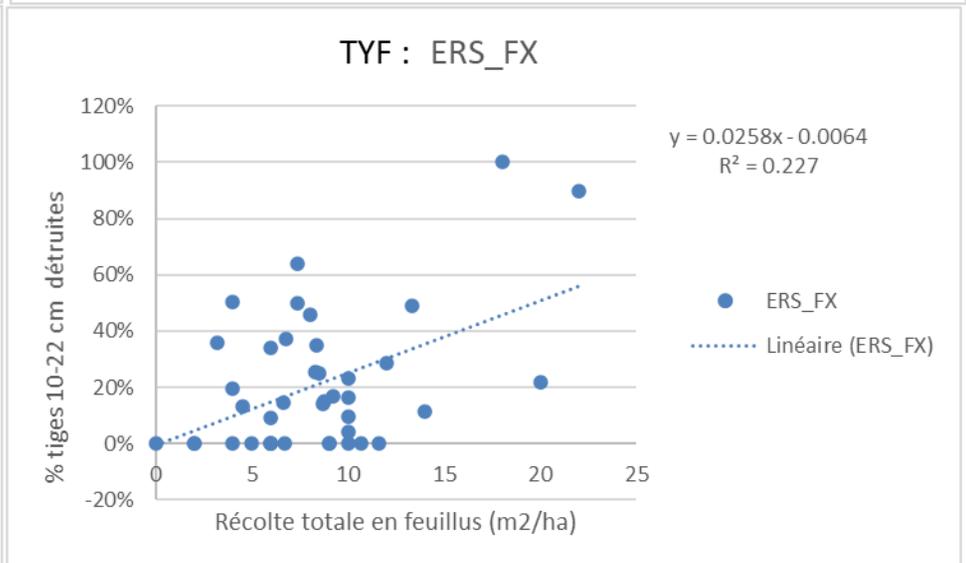
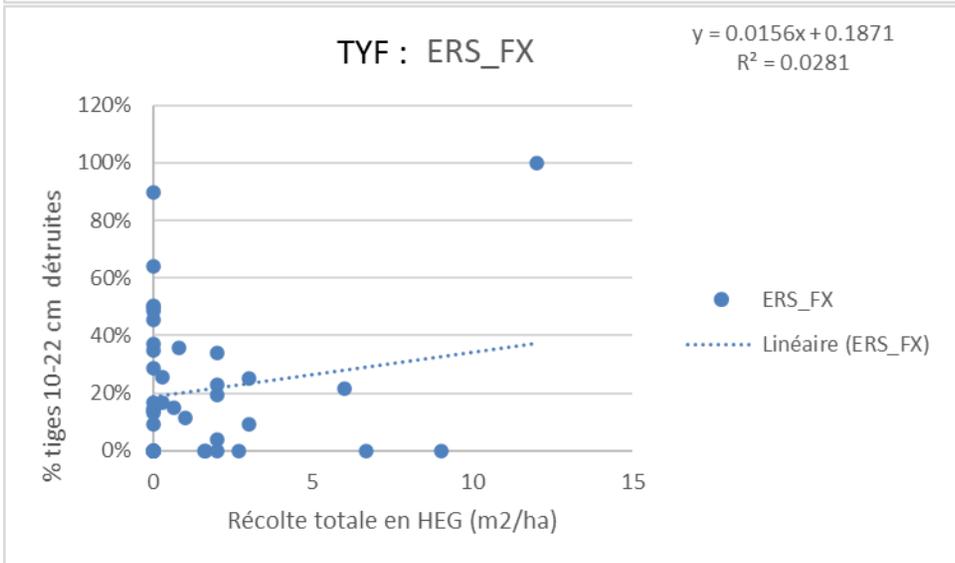
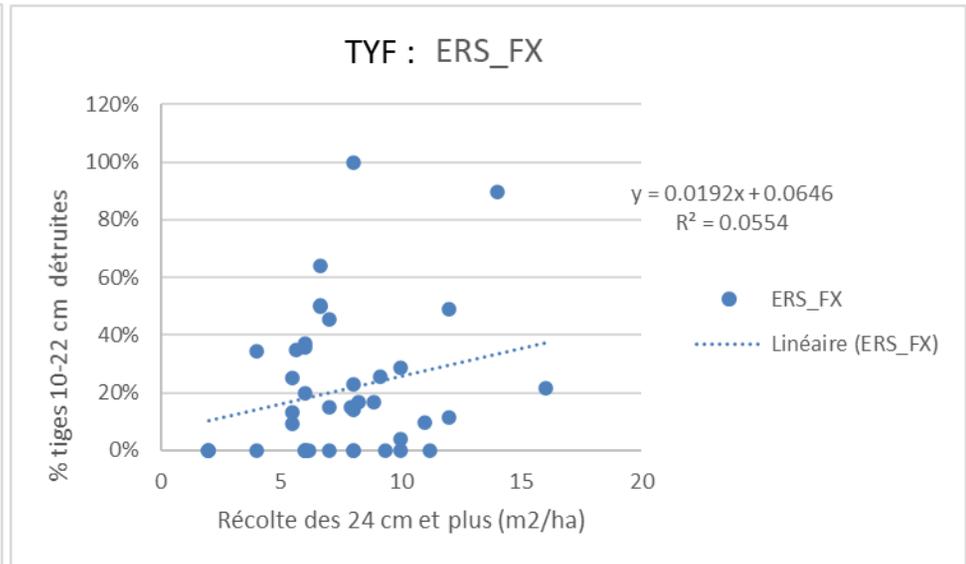
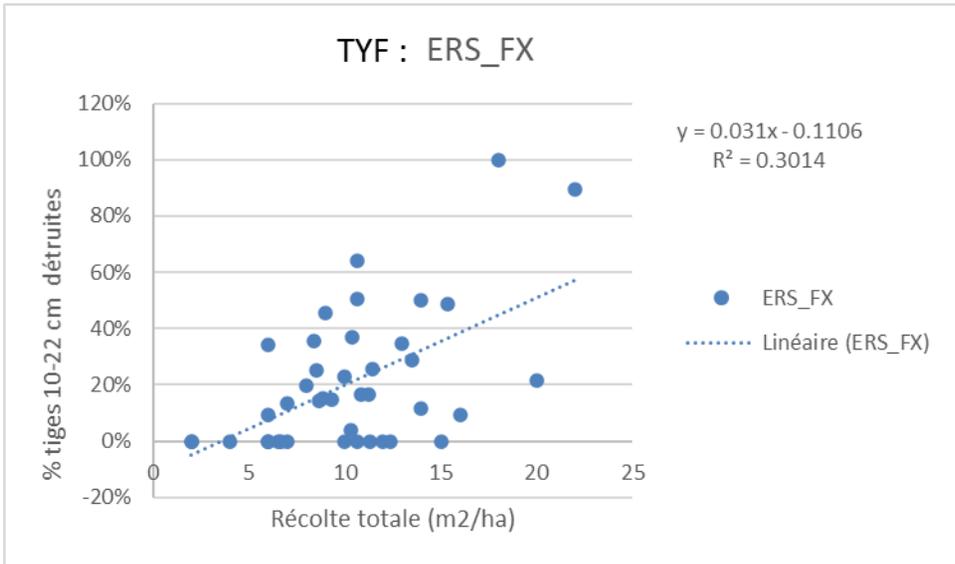




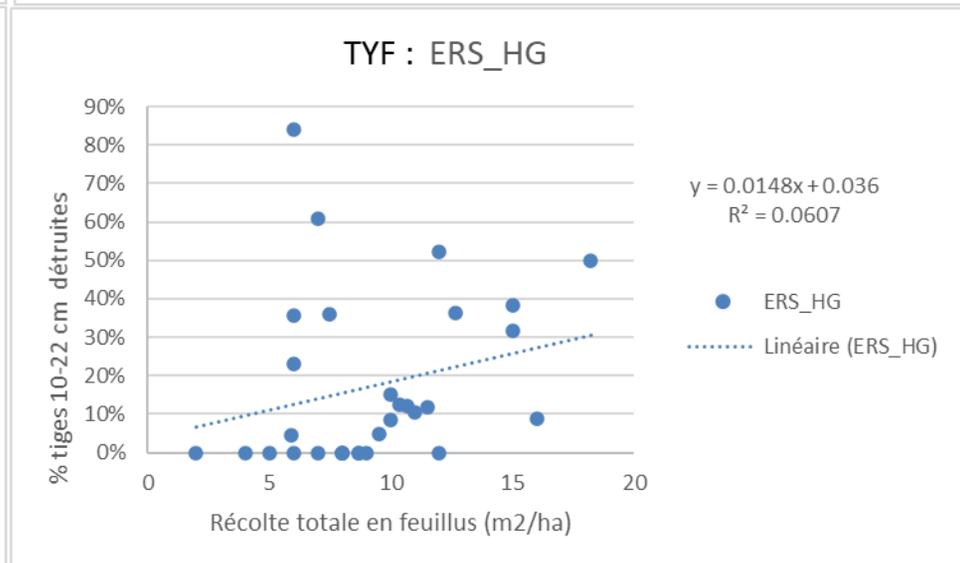
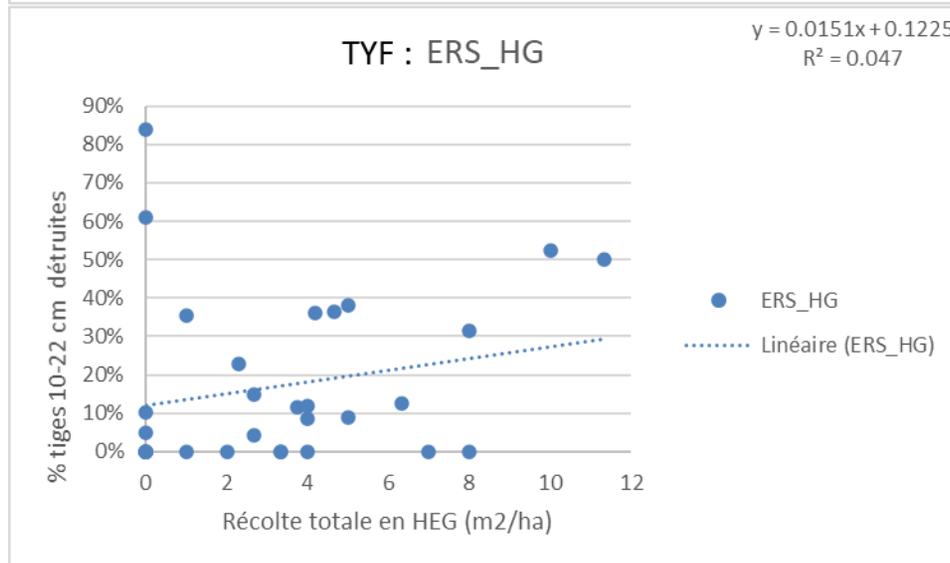
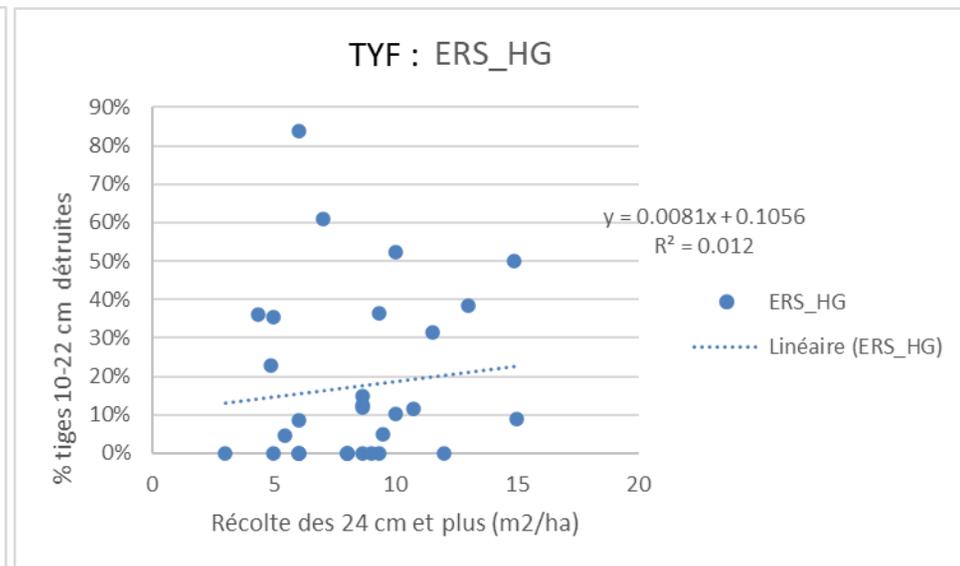
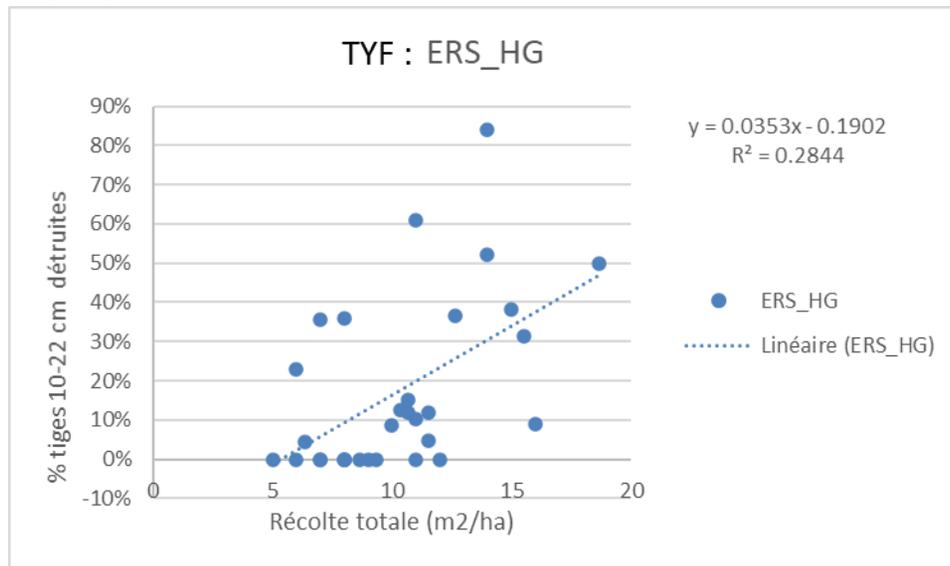
ERS-FX :

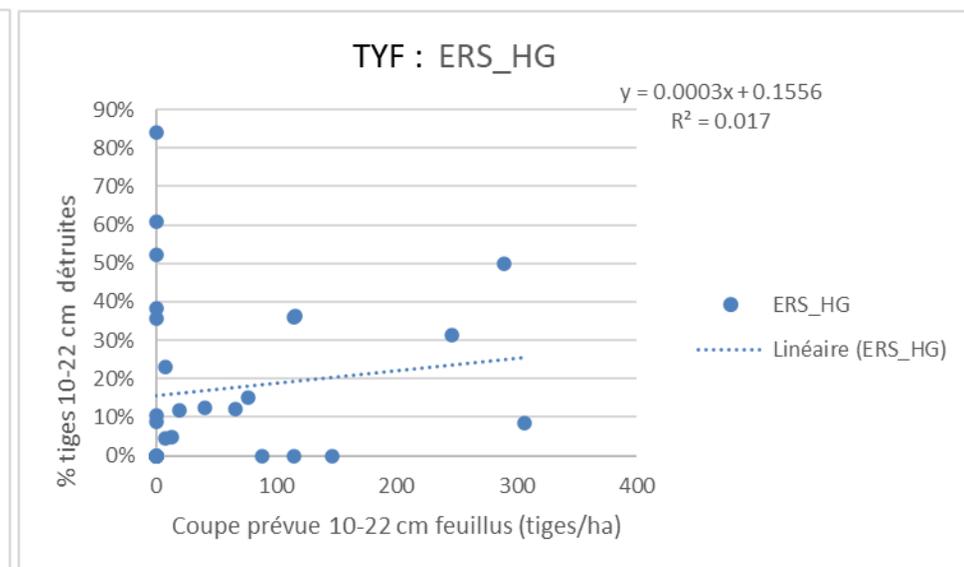
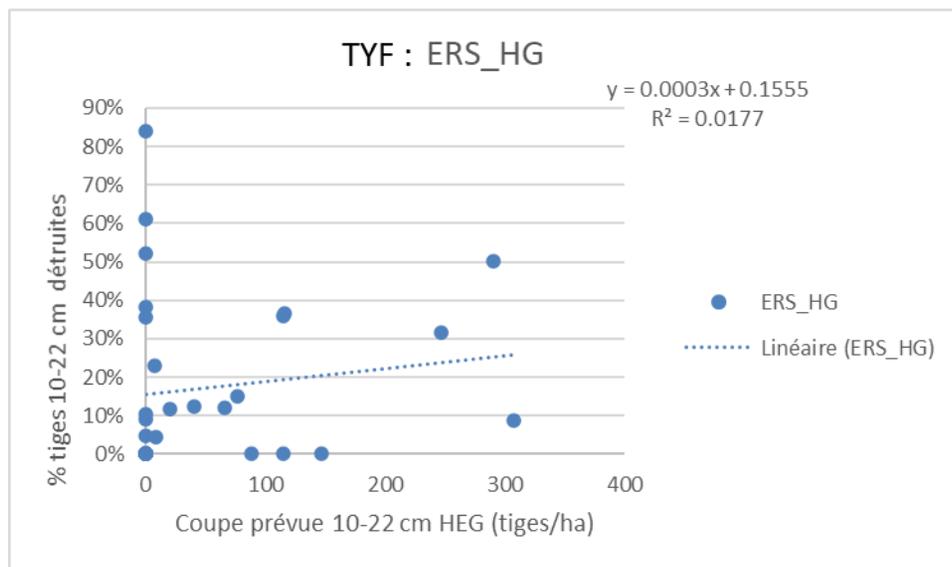
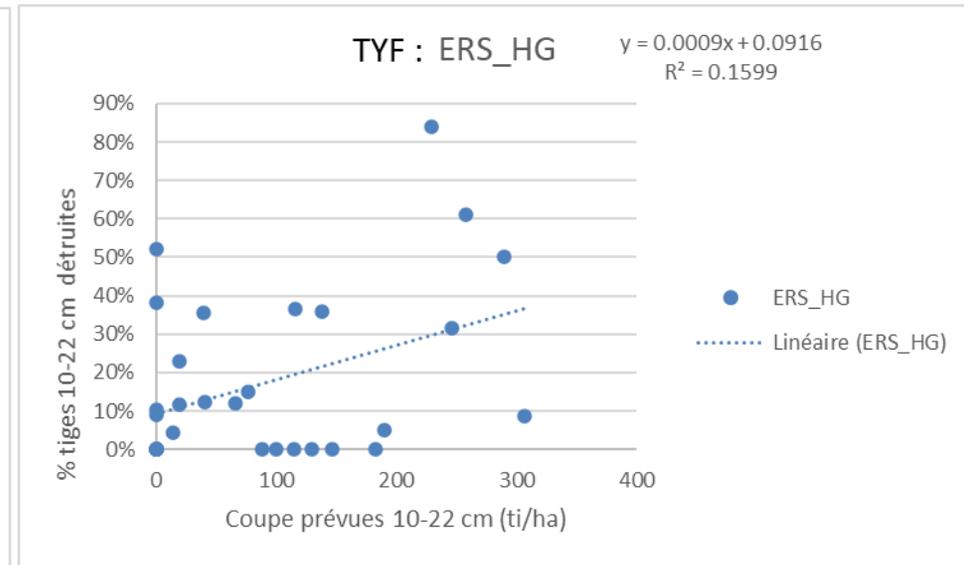
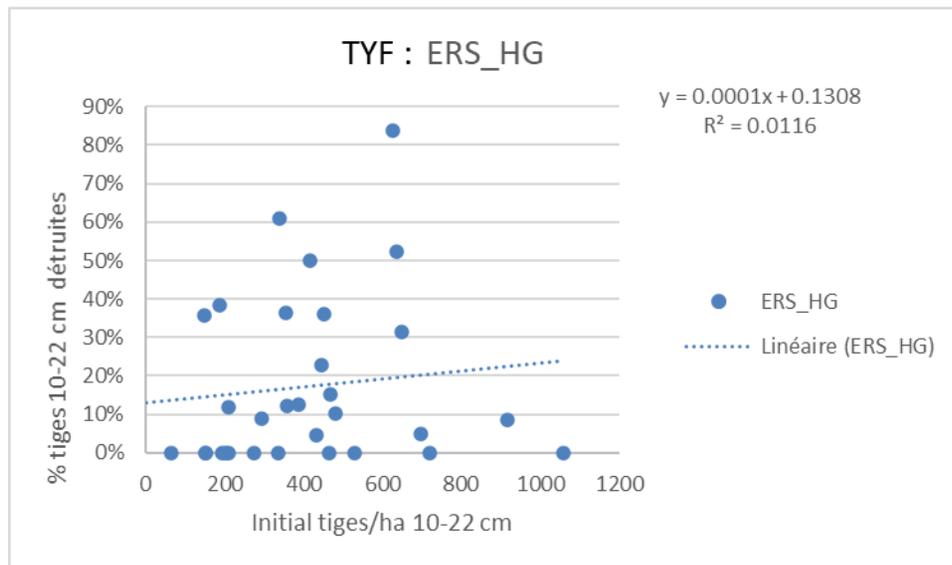


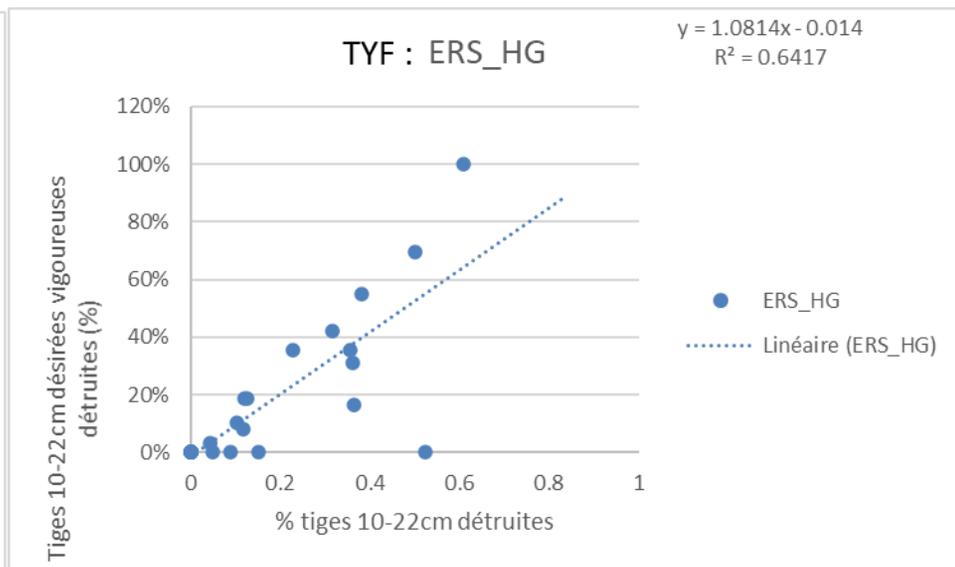
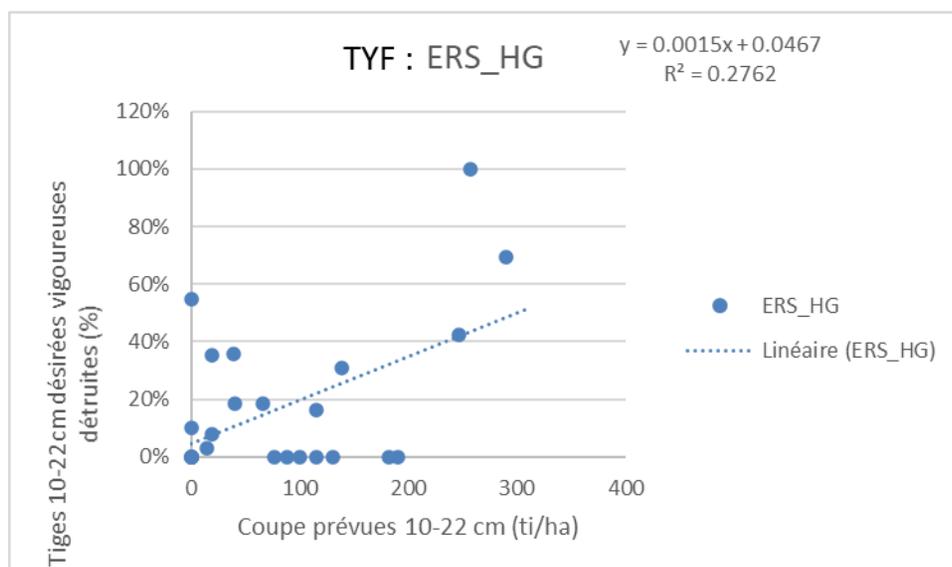
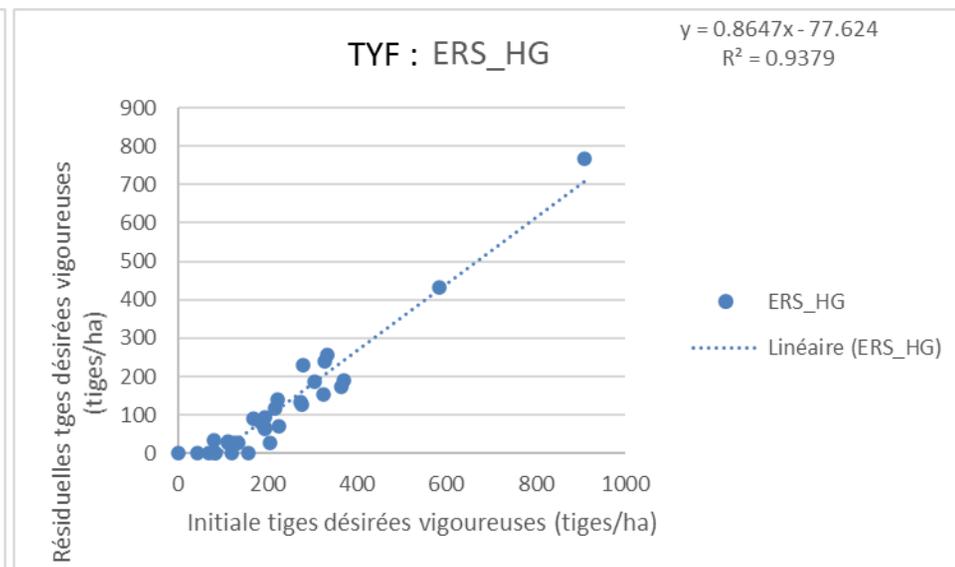
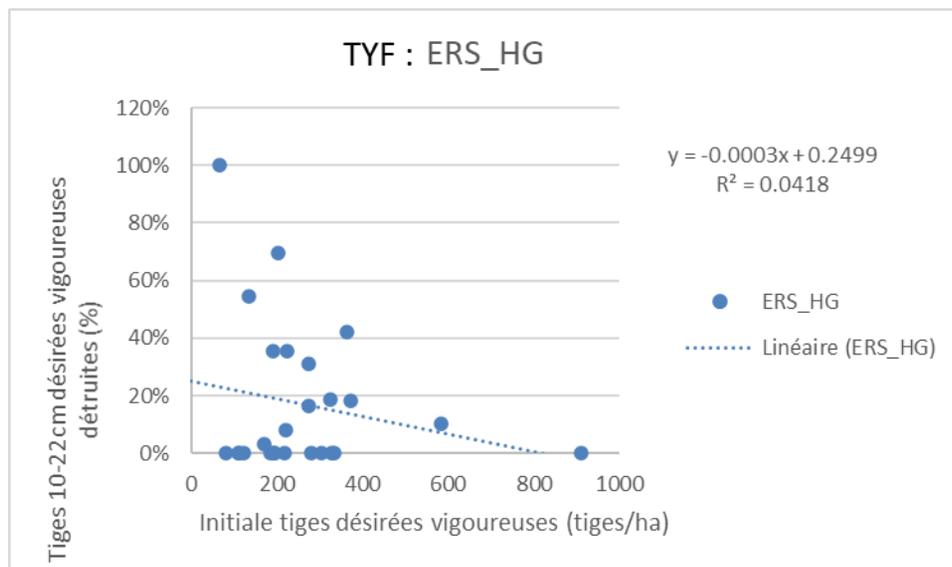




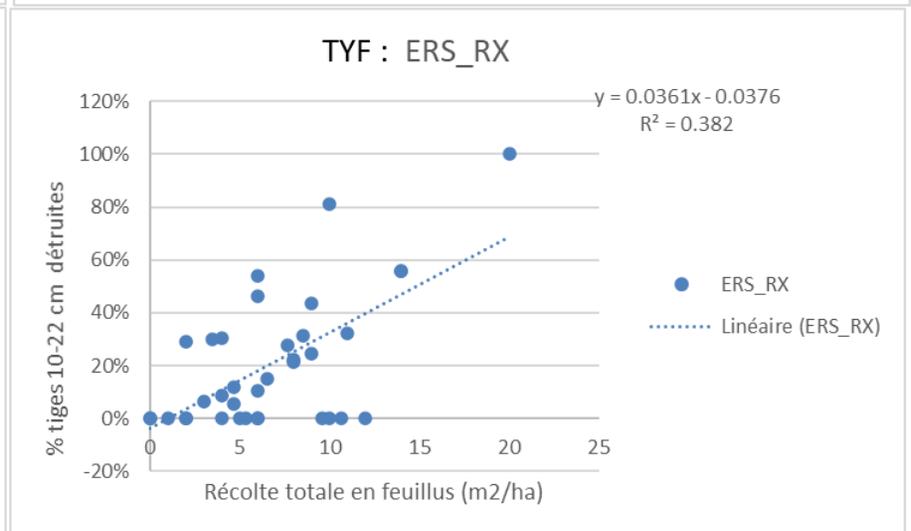
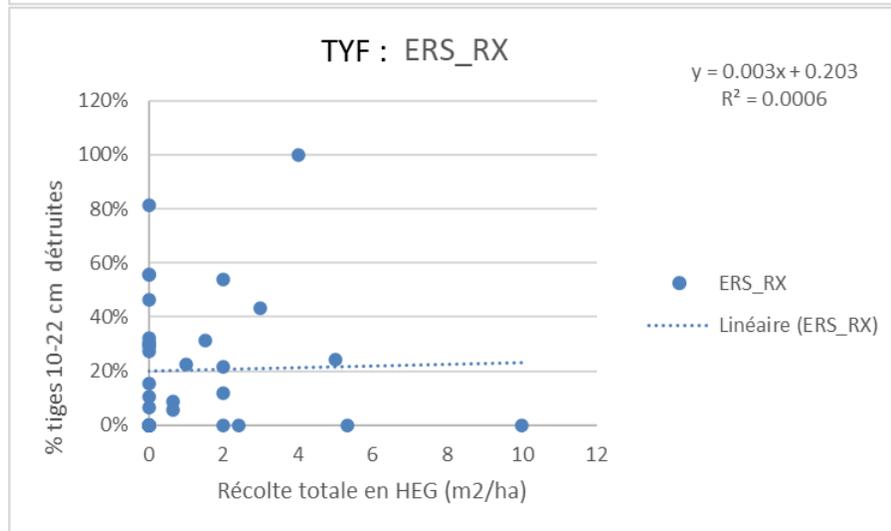
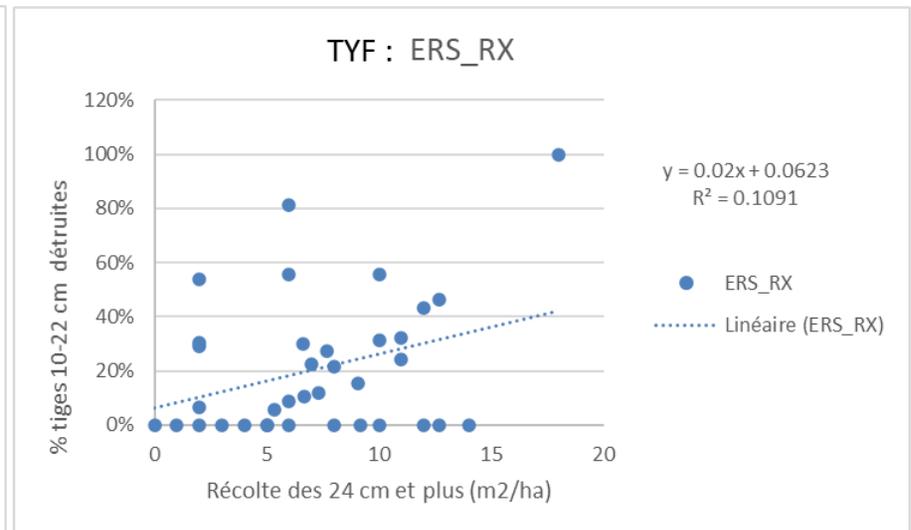
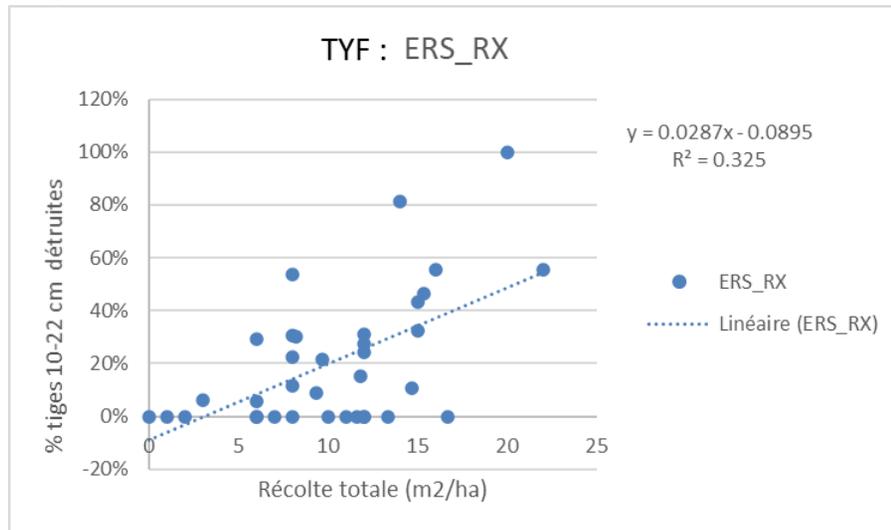
eRS-HG

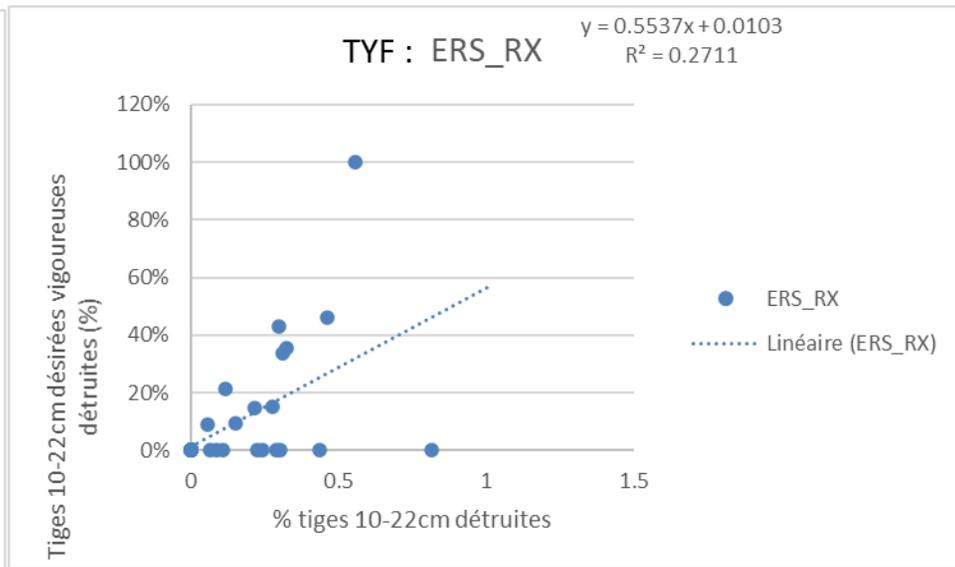
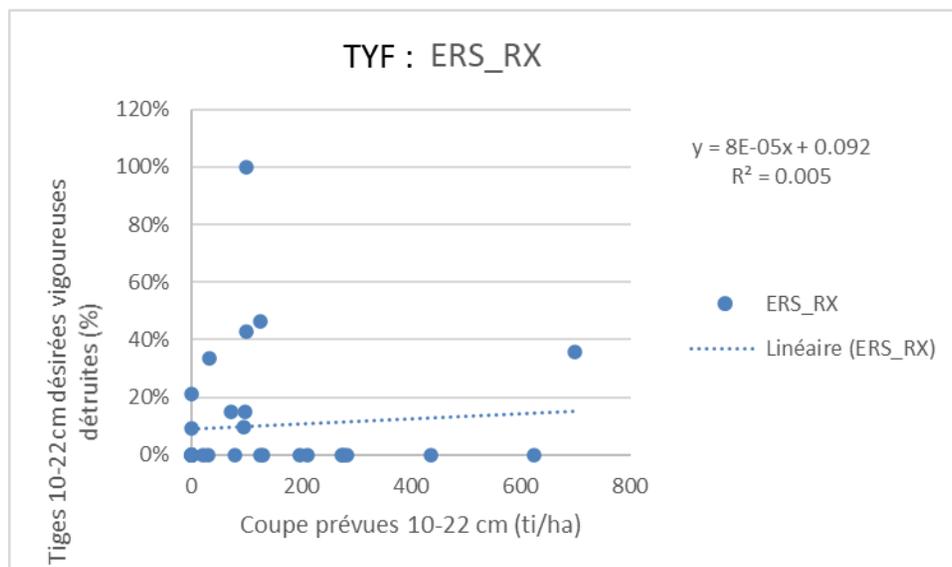
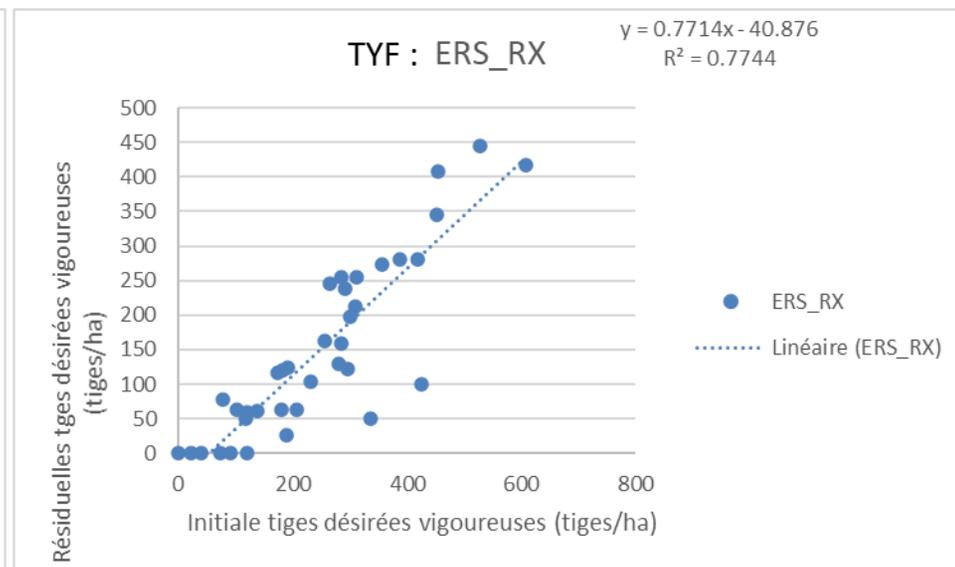
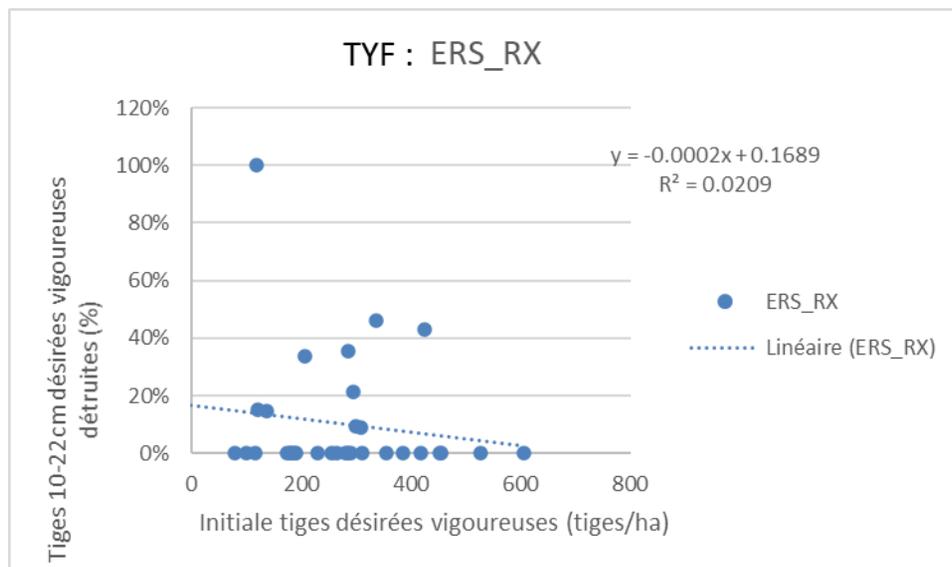


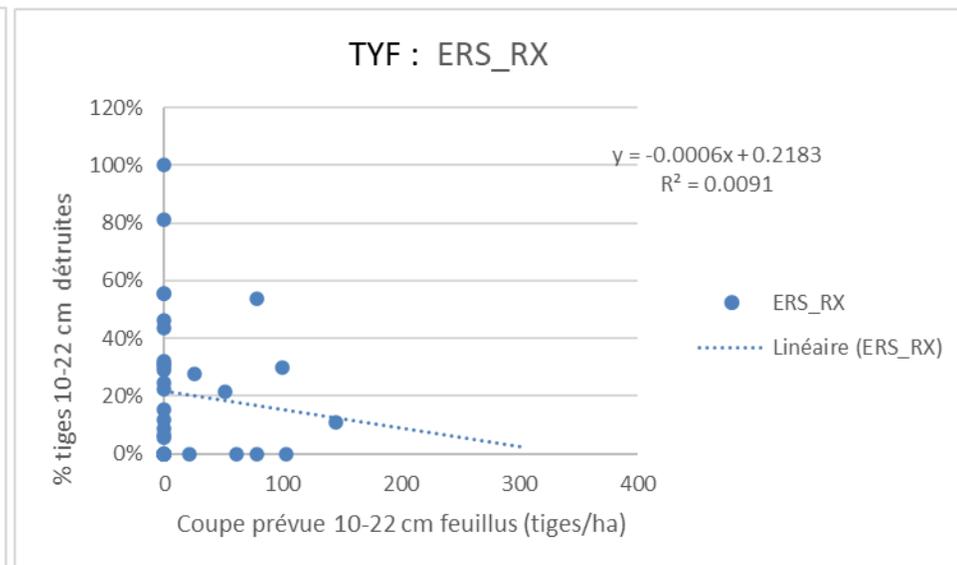
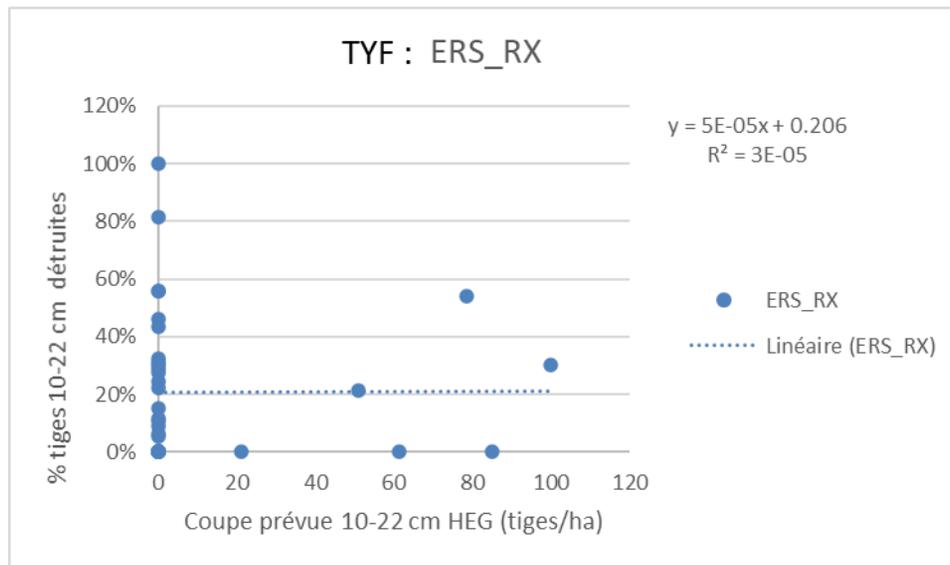
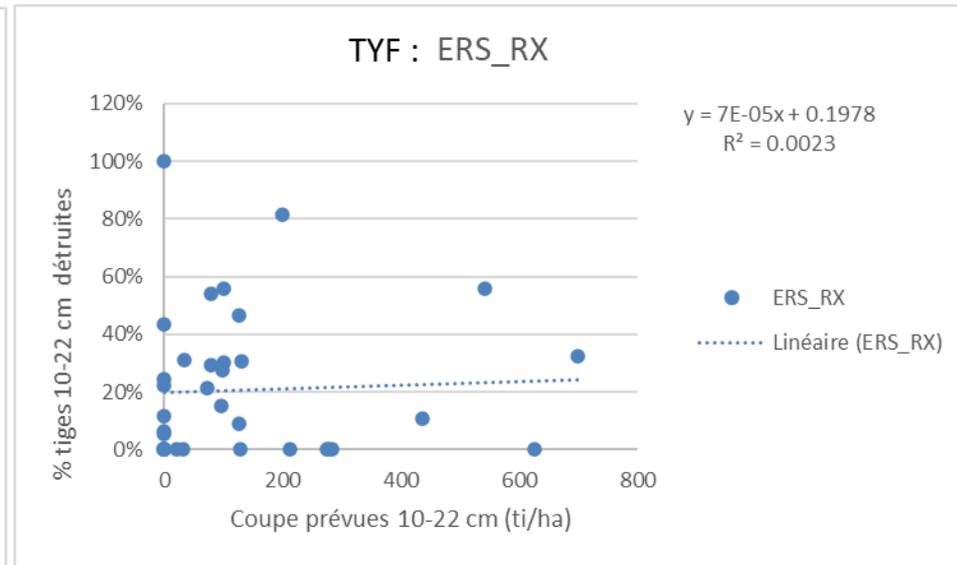
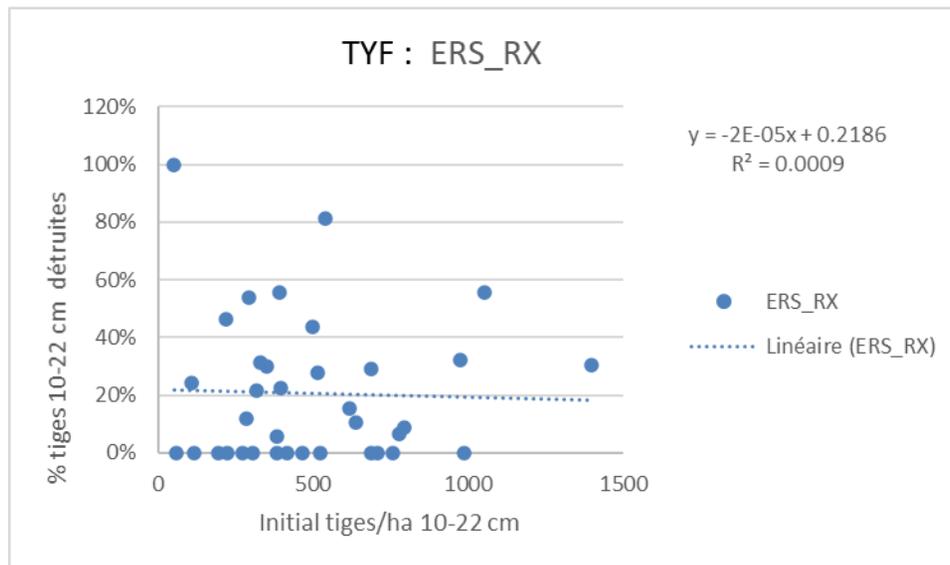




ERS-RX







PIB_XX :

