Projet TEFOR

Essai John Deere H415

Influence de l'écorçage sur la productivité au bûcheronnage en coupe rase de pin maritime

Chef de projet : Armand Clopeau
Équipe projet : Stéphane Graissaguel, Jean-Baptiste Loubaney, Théo Olivero
Code projet : B02505

30 janvier 2025

Siège social
10, rue Galilée
CS 81050 Champs-sur-Marne
77447 Marne La Vallée Cedex 2
Tél +33 (0)1 72 84 97 84
www.fcba.fr

Siret 775 680 903 00132
APE 7219Z
Code TVA CEE : FR 14 775 680 903

Institut technologique FCBA :
Forêt, Cellulose, Bois – Construction
Ameublement

SOMMAIRE

1. Contexte et objectifs 3
2. Matériel utilisé 4
2.1 Machine de bûcheronnage 4
2.2 Tête d'abattage écorceuse 5
- Equipement 5
- Paramètres de la machine 6

2.3 Localisation 8
2.4 Caractéristiques dendrométriques 9
3. Protocole expérimental 10
3.1 Dispositif 10
3.2 Chronométrage 10
4. Résultats 12
4.1 Observations 12
- Méthode de travail 12
- Pertes de bois 13
- Qualité des arbres 14
- Dimensions des arbres 15
- Casses de cime et lâchers de grume 15

4.2 Productions 16
- Dimensions des produits 16

4.3 Chronométrage 17
- Influence de la flexuosité 17
- Influence de la branchaison 17
- Influence du diamètre 18

4.4 Analyse des phases de travail 19
4.5 Consommation de carburant 21
4.6 Productivité 21
4.7 Surcoût de l'écorçage 22
4.8 Pertes de matière 23
5. Débardage et transport 24
6. Conclusions 24
Annexe 1 – Caractéristiques de l'abatteuse 26
Annexe 2 – Chronométrages au bûcheronnage 27

1. Contexte et objectifs

Le sténographe du pin, *Ips sexdentatus*, est le principal scolyte responsable de la mortalité des pins à la suite d'aléas biotiques tels que les tempêtes, les incendies ou la sécheresse. La tempête Klaus de 2009 et plus récemment les méga-feux de 2022 en Gironde ont rappelé la problématique de stockage des piles de bois en lisière forestière dans la gestion des foyers de scolytes, les piles étant très attractives pour ces ravageurs. Dans de tels contextes, où les volumes de coupes accidentelles peuvent être élevés, il est utile de disposer d'une méthode de gestion du risque sanitaire, l'usage « traitement insecticide des bois abattus » du Forester étant échu depuis 2023. Les scolytes étant des insectes sous-corticaux, l'écorçage constituerait une méthode de lutte efficace.

De plus, en cas d'introduction du nématode du pin en France, l'écorçage pourrait constituer une solution pour permettre le transport de bois issus de l'abattage d'arbres asymptomatiques, en zone tampon, en période de vol du vecteur *Monochamus galloprovincialis*. Ce dernier n'est pas en mesure de pondre et la larve de se développer dans des bois écorcés.

L'écorçage peut être réalisé au cours de l'exploitation par une machine de bûcheronnage équipée d'une Tête d'Abattage Ecorceuse (TAE). Depuis près de 30 ans, les TAE sont utilisées en Amérique du Sud, en Afrique, en Australie et en Nouvelle-Zélande pour écorcer les eucalyptus et les pins, particulièrement *Pinus radiata*, dans les forêts plantées. La production de pâte à papier ne peut se faire qu'avec des bois écorcés et l'eucalyptus, en particulier, s'écorce difficilement lorsqu'il est sec.

En 2021 et 2022, FCBA a suivi 4 chantiers tests d'écorçage dans le quart nord-est de la France dans des peuplements de sapins et d'épicéas à l'aide d'une tête d'abattage John Deere H415 et d'une tête Ponsse H7. Dans le cadre du projet TEFOR, d'autres chantiers d'écorçage ont été suivis par Alliance Forêt Bois en peuplements de pin maritime dans les Landes : l'un en 2nde éclaircie ($Ø_{1,30}$ = 17 cm) avec une tête Ponsse H6 et l'autre en coupe rase d'un peuplement à courte rotation ($Ø_{1,30}$ = 20 cm) avec une tête Logmax S132 montée sur une abatteuse Komatsu.

L'essai analysé dans ce compte-rendu vise à déterminer la perte de productivité liée à l'écorçage avec une machine de bûcheronnage équipée d'une TAE John Deere H415 en dernière coupe de pin maritime dans le massif des Landes et en période hors sève. La productivité au bûcheronnage est mesurée pour 4 modalités de bûcheronnage correspondant à différents niveaux d'écorçage, dépendant du nombre de passages de la grume dans la tête d'abattage.

2. Matériel utilisé

2.1 Machine de bûcheronnage

La machine de bûcheronnage utilisée est une John Deere 1270G, destinée à l'exploitation d'arbres allant jusqu'à un diamètre de 70 cm. Elle convient à la réalisation d'éclaircies et de coupes rases de pin maritime sur le massif des Landes. Davantage d'informations sur la machine de bûcheronnage et le chauffeur sont disponibles en *Annexe 1*.

Figure 1 : Machine de bûcheronnage John Deere 1270G utilisée pour l'essai

Caractéristiques principales :

- Marque et modèle de l'engin : John Deere 1270G
- Marque et modèle de la tête de bûcheronnage : John Deere H415
- Masse à vide : 22,2 t
- Diamètre de coupe : 70 cm
- Portée de la grue : 8,3 m
- Puissance : 200 kW
- Largeur : 2,95 m
- Nombre de roues : 6

Chauffeur :

- 10 années d'expérience sur machine de bûcheronnage

2.2 Tête d'abattage écorceuse

✔ *Equipement*

La tête d'abattage John Deere H415 est vendue avec l'équipement suivant :

Figure 2 : Equipement d'origine de la tête d'abattage John Deere H415

Les 4 rouleaux d'entraînement et la roulette de mesure ont été remplacés par ceux fournis dans le kit d'écorçage :

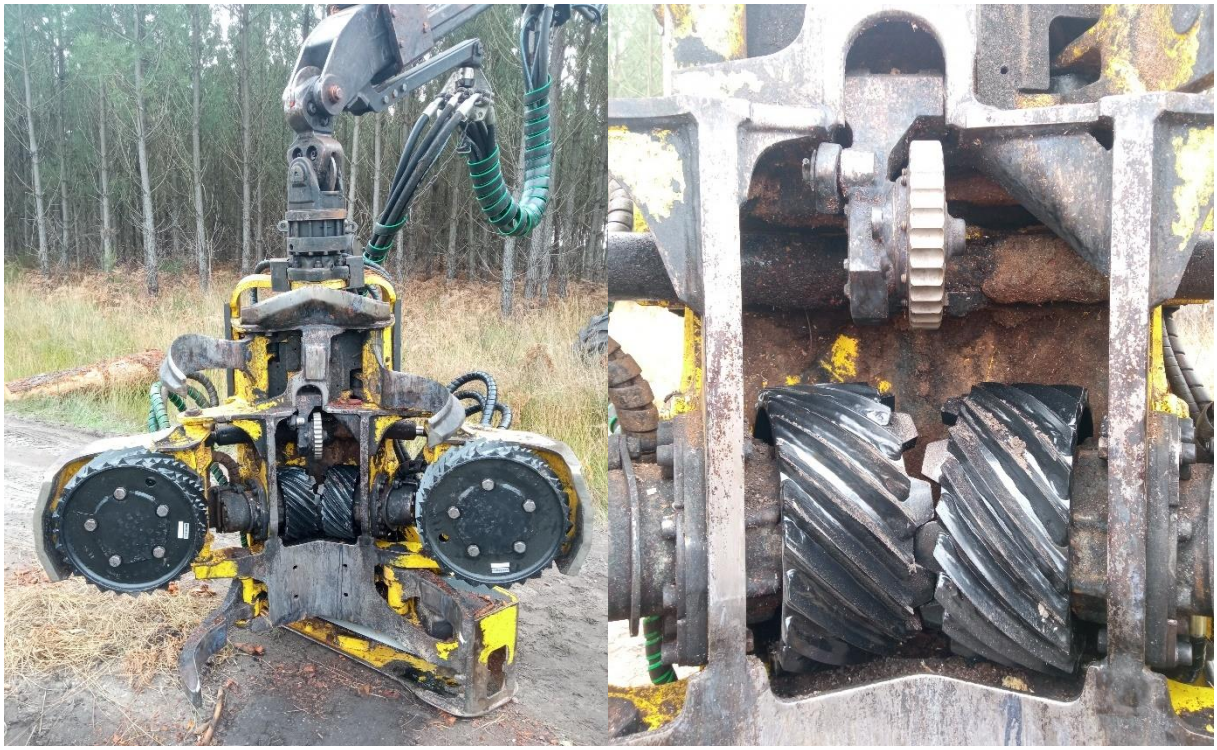

Figure 3 : Tête d'abattage John Deere H415 équipée du kit d'écorçage et gros plan sur la roulette de mesure et les rouleaux d'entraînement centraux

Les rouleaux d'entrainement latéraux présentent des picots et des barrettes disposées avec un angle, de façon à permettre la rotation de la grume dans la tête d'abattage. La rotation de la grume est nécessaire pour permettre l'écorçage sur toute sa surface. La roulette de mesure a des aspérités moins importantes pour ne pas se tordre ou entraver la rotation de la grume :

Figure 4 : Rouleaux d'entraînement latéraux (à gauche) et roulette de mesure (à droite)

Les couteaux n'ont pas été modifiés mais affutés. L'installation du kit d'écorçage a nécessité 4 heures de travail d'un technicien AFCO (Atelier Forestier du Centre Ouest, concessionnaire John Deere) avec l'aide du conducteur. 3 heures supplémentaires ont été consacrées aux réglages de la machine d'abattage.

✔ *Paramètres de la machine*

Les paramètres de la machine d'abattage ont été modifiés pour l'écorçage. L'objectif était de permettre le plus possible la rotation de la grume dans la tête d'abattage, tout en maintenant une pression suffisante des couteaux pour retirer l'écorce.

La durée et l'intensité des impulsions d'ouverture des couteaux inférieurs et supérieurs ont été réduites au démarrage et la longueur d'impulsion augmentée :

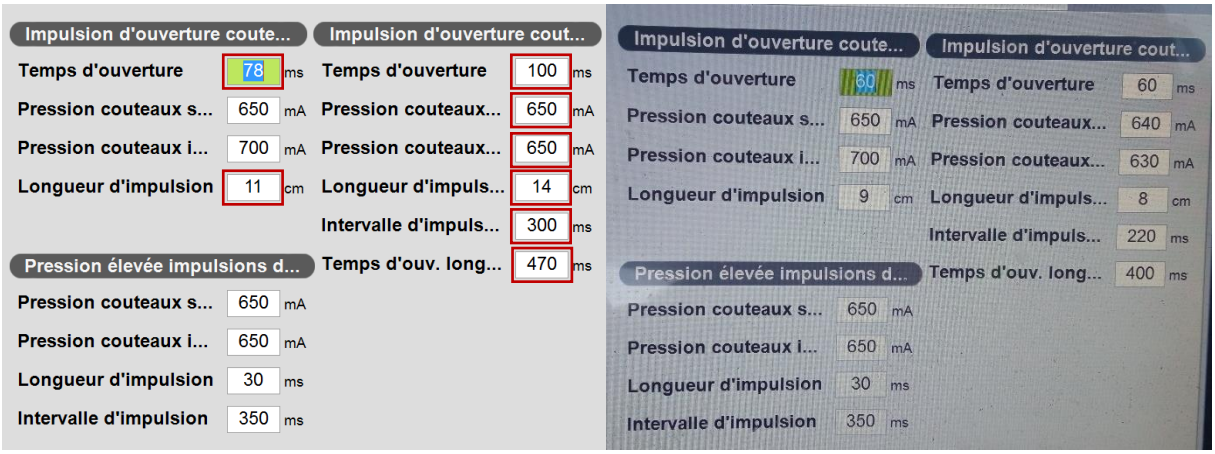

Figure 5 : Paramètres d'impulsion d'ouverture des couteaux avec la tête H415 d'origine (à gauche) et équipée du kit d'écorçage (à droite)

L’impulsion de pression élevée des rouleaux a été augmentée pour l’écorçage :

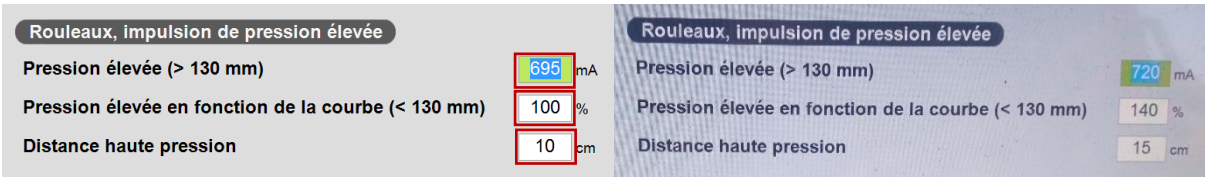

Figure 6 : Paramètres d’impulsion des rouleaux avec la tête H415 d’origine (à gauche) et équipée du kit d’écorçage (à droite)

La pression des rouleaux a été réduite à la limite du point de patinage :

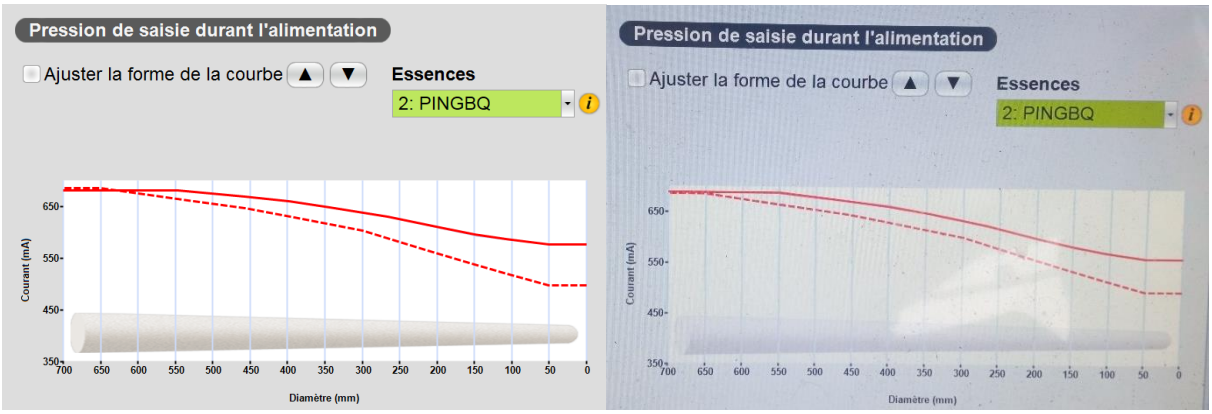

Figure 7 : Paramètres de pression des rouleaux avec la tête H415 d’origine (à gauche) et équipée du kit d’écorçage (à droite)

La pression des couteaux supérieurs et inférieurs a été augmentée pour assurer l’écorçage :

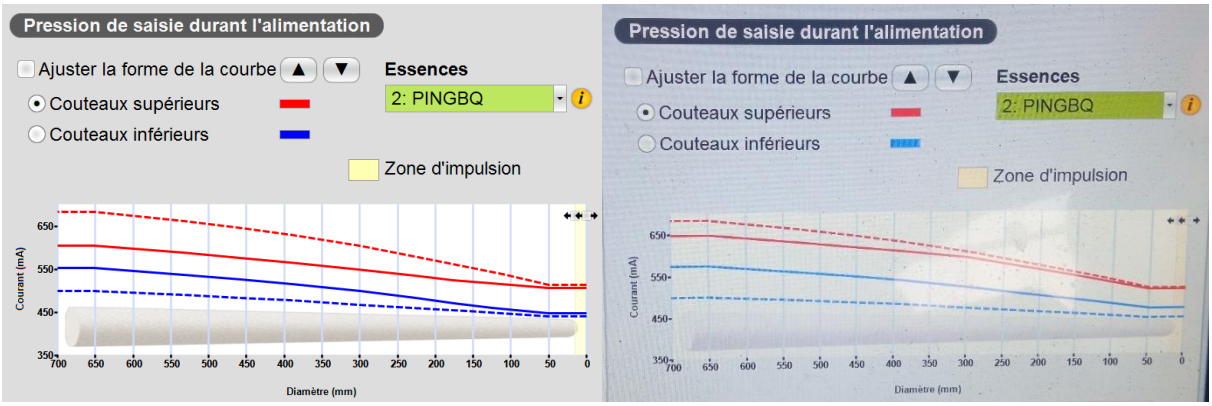

Figure 8 : Paramètres de pression des rouleaux avec la tête H415 d’origine (à gauche) et équipée du kit d’écorçage (à droite)

La vitesse nécessaire au changement de rapport a été abaissée pour les arbres d'un diamètre compris entre 35 et 45 cm :

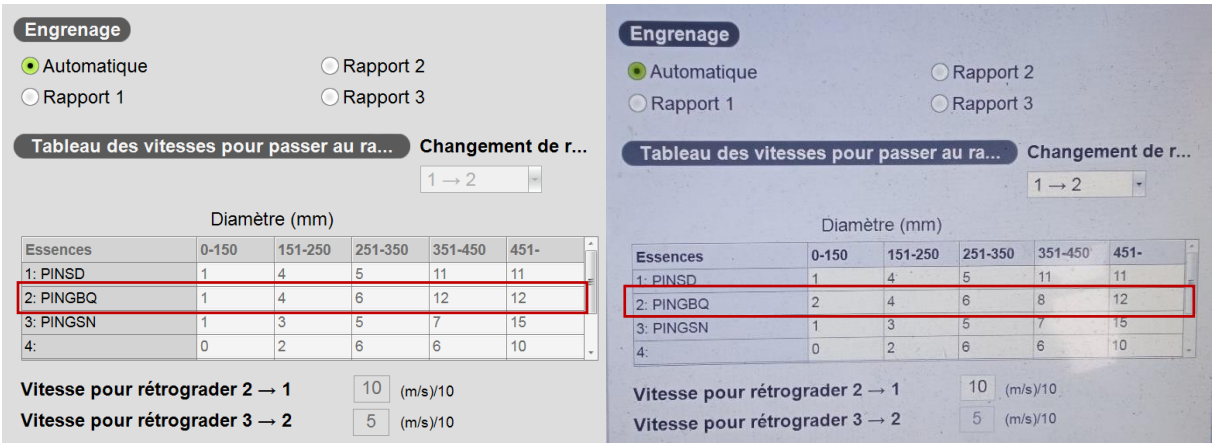

Figure 9 : Paramètres de rapports de vitesse avec la tête H415 d'origine (à gauche) et équipée du kit d'écorçage (à droite)

2.3 Localisation

La parcelle est située sur la commune de Belin-Béliet (coordonnées : 44.557997, -0.772001). La parcelle couvre une surface de 5,4 ha dont la totalité est exploitée en coupe rase dans cet essai.

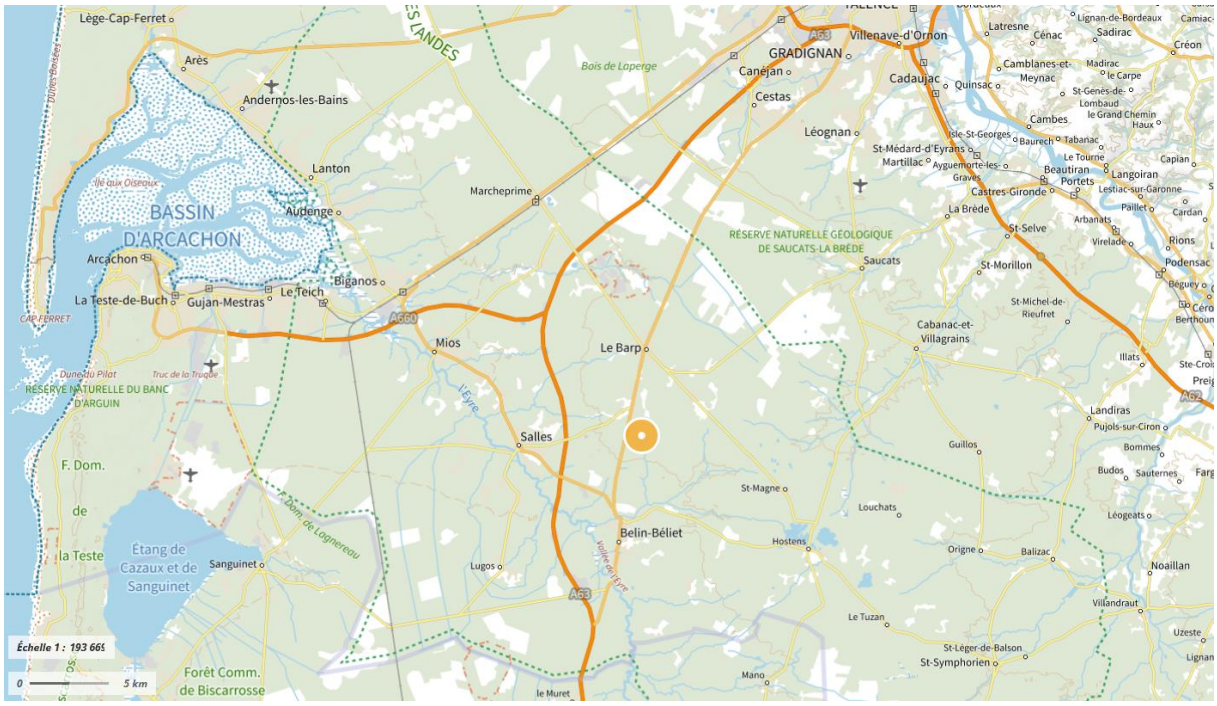

Figure 10 : Localisation de la parcelle d'essai

2.4 Caractéristiques dendrométriques

Tableau 1 : Peuplement de pin maritime exploité pour l'essai

Les caractéristiques du peuplement sont les suivantes :

- Essence : pin maritime
- Station : lande sèche
- Embroussaillement : peu embroussaillée, avec parfois des houx de 5m de hauteur en moyenne
- Densité : 130 arbres/ha
- Diamètre moyen à 1,30 m : 39,5 cm
- Ecart-type du diamètre moyen à 1,30 m : 7,54 cm
- Hauteur totale moyenne : 20,0 m
- Volume commercial moyen : 1,00 m^3

3. Protocole expérimental

3.1 Dispositif

Les modalités ont été réparties sur la parcelle de la façon suivante :

Figure 11 : Répartition spatiale des modalités d'écorçage

Le peuplement étant très clairsemé, la machine de bûcheronnage n'a pas suivi de cloisonnements pour se déplacer d'un arbre à l'autre. La quasi-totalité des arbres disponibles a été abattue au cours des chronométrages. Les grumes ont toutes été façonnées en billons de 2,65 m de longueur.

Une période d'habituation à l'écorçage de 2h du chauffeur a précédé l'abattage selon l'ensemble des modalités en les chronométrant dans l'ordre suivant : 1 passage, 3 passages, 5 passages et 7 passages.

3.2 Chronométrage

Le chronométrage permet d'estimer une productivité d'exploitation en fonction des caractéristiques individuelles des arbres récoltés. En considérant suffisamment de phases distinctes, il permet également de comparer la répartition des différentes phases de travail qui constituent le bûcheronnage entre chaque modalité.

Chaque modalité de bûcheronnage a été suivie pour au moins 100 arbres sur une durée allant de 1h40 à 3h42 en fonction du nombre de passages de la grume dans la tête d'abattage.

Les caractéristiques individuelles suivantes ont été relevées :

- Nombre de produits façonnés ;
- Circonférence à 1,30 m de hauteur ;
- Hauteur totale ;
- Note de branchaison allant de 1 (peu branchu) à 4 (très branchu) ;
- Note de flexuosité allant de 1 (droit) à 4 (très flexueux) ;
- Présence de défaut pouvant influencer l'écorçage.

Les phases observées ont été les suivantes :

- Déplacement de l'abatteuse en marche avant – *Le plus souvent lorsque l'abatteuse se dirige vers le prochain arbre à abattre avec la tête d'abattage vide. Les déplacements effectués lorsque l'abatteuse tient une tige sans réaliser d'opération de bûcheronnage sont inclus.*
- Déplacement de l'abatteuse en marche arrière – *Une manœuvre de marche arrière supplémentaire est nécessaire pour ajuster la position de la machine.*
- Déplacement à vide de la grue – *L'abatteuse ne se déplace plus mais sa grue se dirige vers l'arbre à abattre. Les déplacements réalisés pour la constitution des tas sont inclus.*
- Dégagement – *Coupe d'un arbre sans valeur marchande qui sera laissé au sol ou déplacement de la végétation.*
- Abattage de la tige – *Coupe de la tige, de la saisie par la tête d'abattage jusqu'au basculement de celle-ci à terre.*
- Déplacement en charge de la grue – *Déplacement de la grue chargée de la tige qui vient d'être coupée jusqu'au début du façonnage de celle-ci. Les déplacements réalisés pour la constitution des tas sont inclus.*
- Façonnage – *Déplacement de la tête de bûcheronnage le long de la tige au cours du dernier passage et tronçonnage.*
- Ecorçage – *Aller-retours successifs de la grume dans la tête de bûcheronnage afin d'éliminer l'écorce.*
- Ejection de cime – *Elimination de la cime avec le bras.*
- Traitement de cime – *Tronçonnage de la cime si nécessaire ou déplacement supplémentaire de celle-ci.*
- Attente – *L'abatteuse n'est pas en mouvement.*
- Incidents – *Aléas imprévus et improductifs*.

Remarques :

- Dans cet essai, des mouvements supplémentaires de l'abatteuse ont été effectués au cours du façonnage et/ou de l'écorçage en raison de la place et de l'effort nécessaires à l'écorçage. Au cours du chronométrage, les déplacements de l'abatteuse ont été considérés prioritaires sur les phases de mouvements du bras, de façonnage et d'écorçage.
- Afin de décrire finement la durée d'écorçage, cette phase a été considérée prioritaire sur la phase d'abattage. Elle peut donc débuter même si l'arbre n'est pas encore à terre. La phase d'écorçage se termine au début de la phase de façonnage.

4. Résultats

4.1 Observations

✔ *Méthode de travail*

L'écorçage génère davantage de contraintes dans la tête d'abattage pour l'entraînement de la grume et cela a conduit à la casse de flexibles déjà abîmés. Pour cette raison, l'écorçage nécessiterait idéalement de disposer d'une machine surdimensionnée.

Davantage d'écorce semble retirée dans le haut de l'arbre en raison des va-et-vient supplémentaires effectués pour casser les branches qui s'y trouvent. Par ailleurs, l'écorce du tiers supérieur de l'arbre semble plus fragile que celle du pied. Au cours de l'écorçage en 7 passages, le chauffeur a généralement effectué le dernier aller-tour uniquement jusqu'aux deux-tiers de la longueur de la grume, le dernier tiers étant déjà bien écorcé.

Le chauffeur a éprouvé davantage de difficultés à écorcer les arbres branchus et volumineux. Par ailleurs, le mouvement de rotation de la grume dans la tête d'abattage se faisait moins bien pour les arbres flexueux et surtout pour les arbres les plus volumineux. Plus le volume des arbres abattus était important, plus il a été nécessaire pour le chauffeur de déplacer la machine et la grue de façon à accompagner la tête au moment de l'écorçage. En raison de ces mouvements supplémentaires, l'écorçage doit de préférence être effectué par un conducteur confirmé. Une habituation du chauffeur a été constatée au cours de l'essai pour adapter sa méthode de travail.

Certaines casses de cimes semblent liées aux réglages de pression des rouleaux et des couteaux nécessairement plus élevés pour l'écorçage.

Les différences d'écorçage sont visibles sur les photos capturées ci-dessous pour chaque modalité :

Figure 12 : Billons écorcés avec un passage (témoin, à gauche) et 3 passages (à droite)

Figure 13 : Billons écorcés avec 5 passages (à gauche) et 7 passages (à droite)

✔ *Pertes de bois*

Sans que cela ait été mesuré, l'écorçage semble avoir entraîné peu de pertes de bois, visible au sol d'une couleur différente de cette de l'écorce :

Figure 14 : Billons écorcés et matière laissée au sol avec un passage (témoin, à gauche) et 3 passages (à droite)

Figure 15 : Billons écorcés et matière laissée au sol avec 5 passages (à gauche) et 7 passages (à droite)

✔ *Qualité des arbres*

Les arbres de l'essai ont été qualifiés avec une note de flexuosité allant de 1 (droit) à 4 (très flexueux). Les arbres façonnés en 7 passages étaient légèrement plus flexueux que ceux des autres modalités :

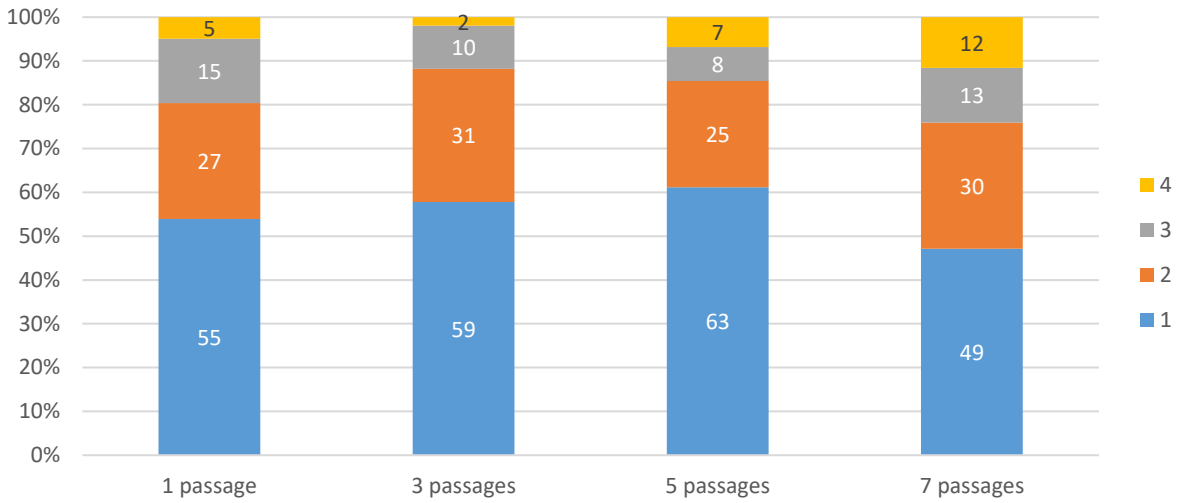

Figure 16 : Répartition des arbres abattus en fonction de leur flexuosité pour chaque modalité

Les arbres ont aussi été évalués avec une note de de branchaison allant de 1 (peu branchu) à 4 (très branchu). Les arbres de la modalité ne comprenant pas de phase d'écorçage étaient plus branchus que ceux des autres modalités :

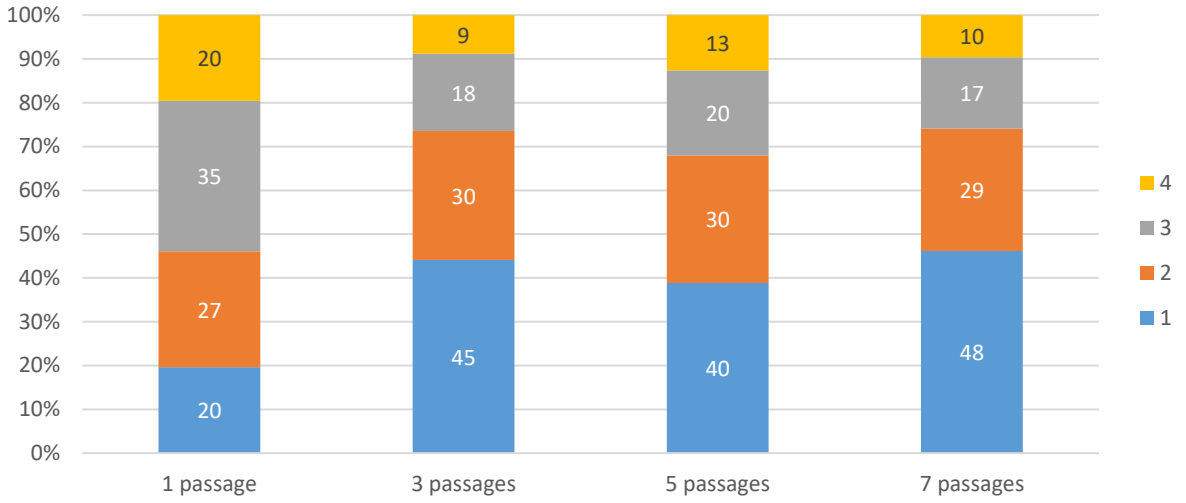

Figure 17 : Répartition des arbres abattus en fonction de leur branchaison pour chaque modalité

Les caractéristiques des arbres propres à chaque modalité ont été prises en compte dans les analyses. Celles-ci n'ont pas eu d'influence sur les tendances observées.

✔ *Dimensions des arbres*

Les dimensions des arbres ont varié d'une modalité à l'autre :

	1 passage	3 passages	5 passages	7 passages
Diamètre moyen (cm)	38,4	38,0	41,9	39,6
Hauteur moyenne (m)	19,9	19,2	20,4	20,7
Facteur d'élancement	51,8	50,5	48,7	42,3
VU commercial moyen (m^3)	0,92	0,90	1,15	1,03
Volume moyen des billons récoltés par arbre (m^3)	0,149	0,164	0,173	0,145

Tableau 2 : Dimensions des arbres abattus pour chaque modalité de bûcheronnage

Les dimensions des arbres des modalités à 1 et 3 passages sont comparables mais les arbres des modalités à 5 et 7 passages ont présenté un diamètre et un volume unitaire plus élevés que pour les deux autres modalités. Ces différences ont pu légèrement améliorer la productivité observée au bûcheronnage pour ces deux modalités.

✔ *Casses de cime et lâchers de grume*

Les casses de cimes se produisent lorsque l'écorçage ou le façonnage sont réalisés jusqu'à un diamètre trop faible pour la résistance de l'arbre. Les lâchers de grume correspondent à une chute de la grume de la hauteur de la tête d'abattage, qui survient lorsque l'écorçage est réalisé trop près du pied de l'arbre dès le second passage de la grume dans la tête.

Nombre de passages	Nombre de casses de cime	Nombre de lâchers de grume
1	2	3
3	9	10
5	5	6
7	9	2

Tableau 3 : Nombre de casses de cimes et de lâchers de grume constatés au cours de chronométrages pour chaque modalité

Davantage de casses de cimes et de lâchers de grume ont été constatés lorsque l'écorçage a été pratiqué. Toutefois, on n'observe pas d'augmentation de ces variables avec le nombre de passages de la grume dans la tête d'abattage. Il est possible que le chauffeur se soit habitué à l'opération d'écorçage au cours de l'essai, évitant ainsi ces erreurs.

4.2 Productions

✔ *Dimensions des produits*

Les grumes ont été façonnées en billons de 2,65 m uniquement.

Nombre de passages	Longueur moyenne obtenue (m)	Coefficient de variation de la longueur (m)	Moyenne quadratique du diamètre (cm)	Volume (m^3)
1	2,63	3,6 %	26,8	0,1494
3	2,65	4,2 %	27,9	0,1637
5	2,63	4,0 %	28,8	0,1725
7	2,62	3,7 %	26,4	0,1446

Tableau 4 : Dimensions des billons obtenus pour chaque modalité

Les billons attendus en 2,65 m de longueur ont généralement été légèrement plus courts de 2 à 3 cm pour les modalités à 1, 5 et 7 passages. Pour l'ensemble des modalités, 68 % des billons ont eu une longueur de ± 10 cm autour de la moyenne. Le coefficient de variation de la longueur est supérieur à ce qui est habituellement obtenu pour ce type de produit : 3,6 à 4,2 % contre 2,5 % avec une roulette de mesure classique. L'ébranchage, réalisé en même temps que le façonnage pour la modalité à un seul passage, n'a pas eu d'impact sur la précision de mesure de la longueur des billons par la machine.

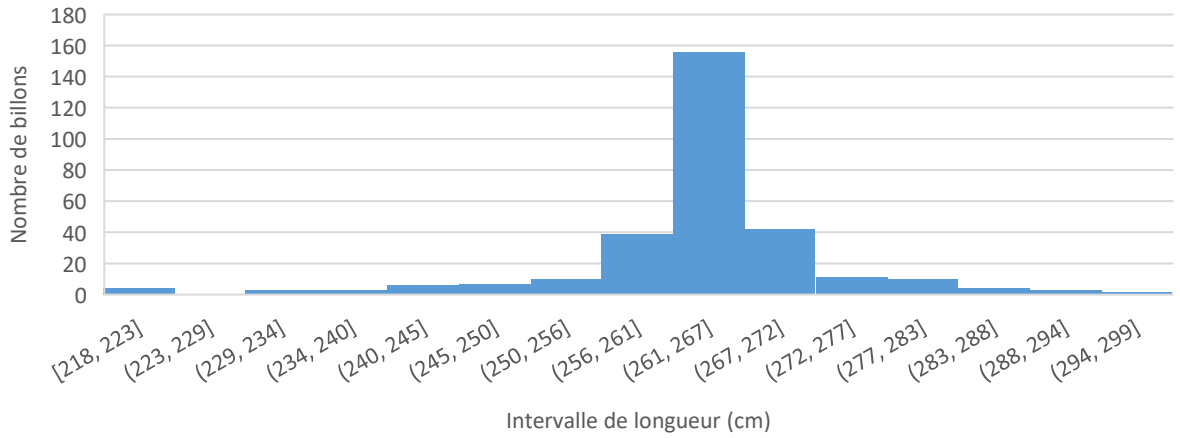

Figure 18 : Distribution des billons mesurés par longueur par intervalle de longueur pour l'ensemble des modalités

4.3 Chronométrage

✔ *Influence de la flexuosité*

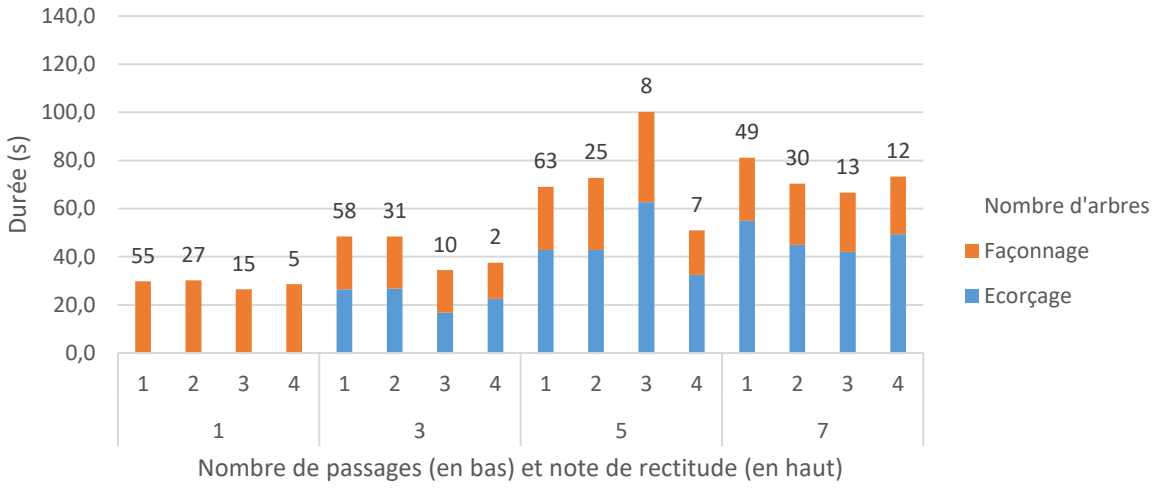

Figure 19 : Durées de façonnage et d'écorçage par arbre en fonction du nombre de passages et de la flexuosité

Dans cet essai, la flexuosité des arbres n'a pas eu d'influence sur la durée de façonnage et d'écorçage. Toutefois, la flexuosité des grumes a parfois gêné leur rotation dans la tête d'abattage. Même si cela n'a pas pu être mesuré, il est possible que les arbres flexueux soient moins bien écorcés.

✔ *Influence de la branchaison*

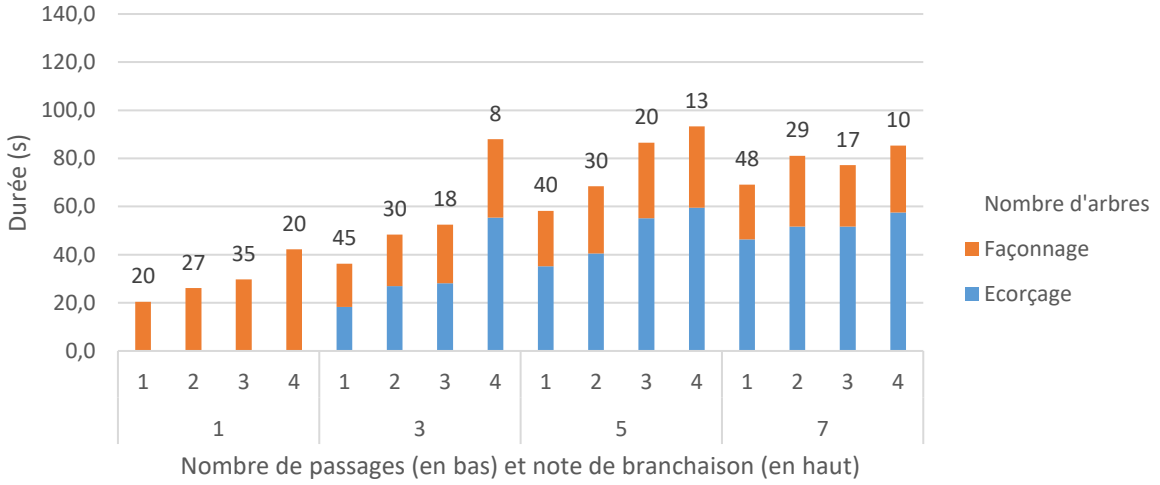

Figure 20 : Durées de façonnage et d'écorçage par arbre en fonction du nombre de passages et de la flexuosité

En comprenant l'ensemble des modalités, la branchaison a eu une influence significative sur la durée totale d'abattage et façonnage (*ANOVA à 1 facteur, p.value = 0,008).* A la différence des autres modalités, l'ébranchage a lieu en même temps que le façonnage pour la modalité à un seul passage. Pour cette raison, la branchaison a eu davantage d'impact sur la durée de façonnage pour la modalité témoin à un seul passage.

✔ *Influence du diamètre*

Durée d'abattage et de façonnage

La durée de la phase d'écorçage augmente plus vite avec le diamètre de l'arbre que la durée de façonnage :

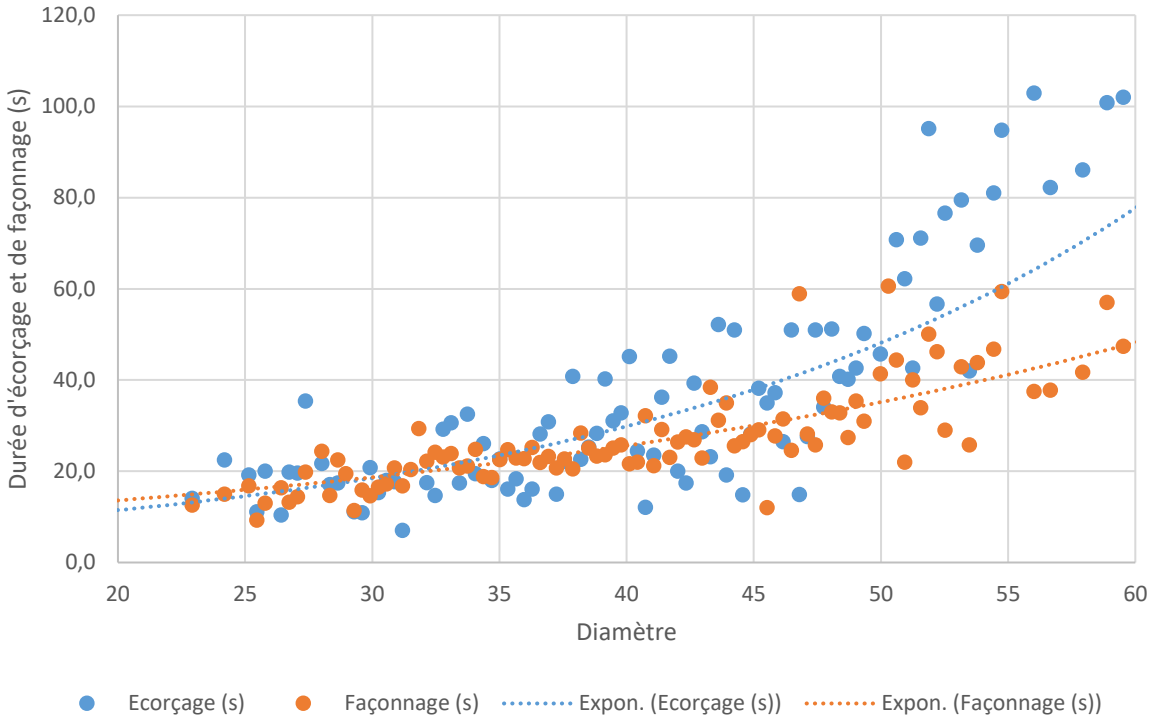

Figure 21 : Evolution de la durée d'écorçage et de façonnage en fonction du diamètre des arbres

A partir de 50 cm de diamètre, il devient plus difficile d'écorcer et de façonner les arbres avec la machine utilisée.

Productivité d'abattage, façonnage et écorçage

Le volume unitaire commercial (VU_{com}) a été estimé de la façon suivante :

$$VU_{com} = -0{,}0254 + 0{,}9148 \times VU_{bf} \qquad et \qquad VU_{bf} = 0{,}338 \times \emptyset_{1{,}30}{}^{2} \times H$$

Avec :

- VU_{bf} *volume unitaire bois fort*
- $\emptyset_{1,30}$ *diamètre mesuré à 1,30 m de hauteur*
- H *hauteur totale*

Au-delà de 40-45 cm de diamètre, la productivité à l'abattage diminue pour les modalités comprenant une phase d'écorçage :

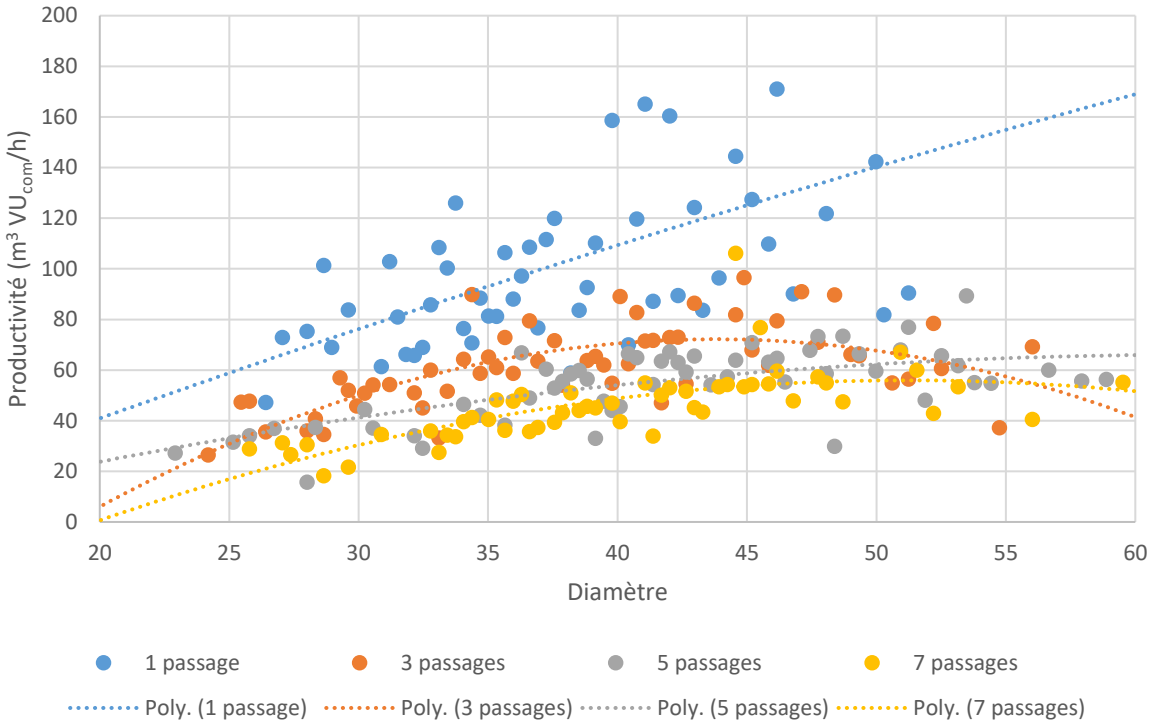

Figure 22 : Evolution de la productivité durant les phases d'abattage, de façonnage et d'écorçage en fonction du diamètre et du nombre de passages

4.4 Analyse des phases de travail

Le volume façonné a été estimé de la façon suivante :

$$V_{faç} = \sum_{i=1}^{n} V_{prod_i} Nb_{prod_i} \qquad et \qquad V_{prod} = \pi \times \left(\frac{Q(\emptyset_{Me})}{2}\right)^2 \times \bar{L}$$

Avec :

- $Q(\emptyset_{Me})$ *moyenne quadratique du diamètre médian des billons mesurés pour chaque modalité d'abattage*
- $\bar{L}$ *moyenne arithmétique de la longueur des billons mesurés pour chaque modalité d'abattage*
- Nb_{prod} *nombre de produits effectivement obtenus par arbre*

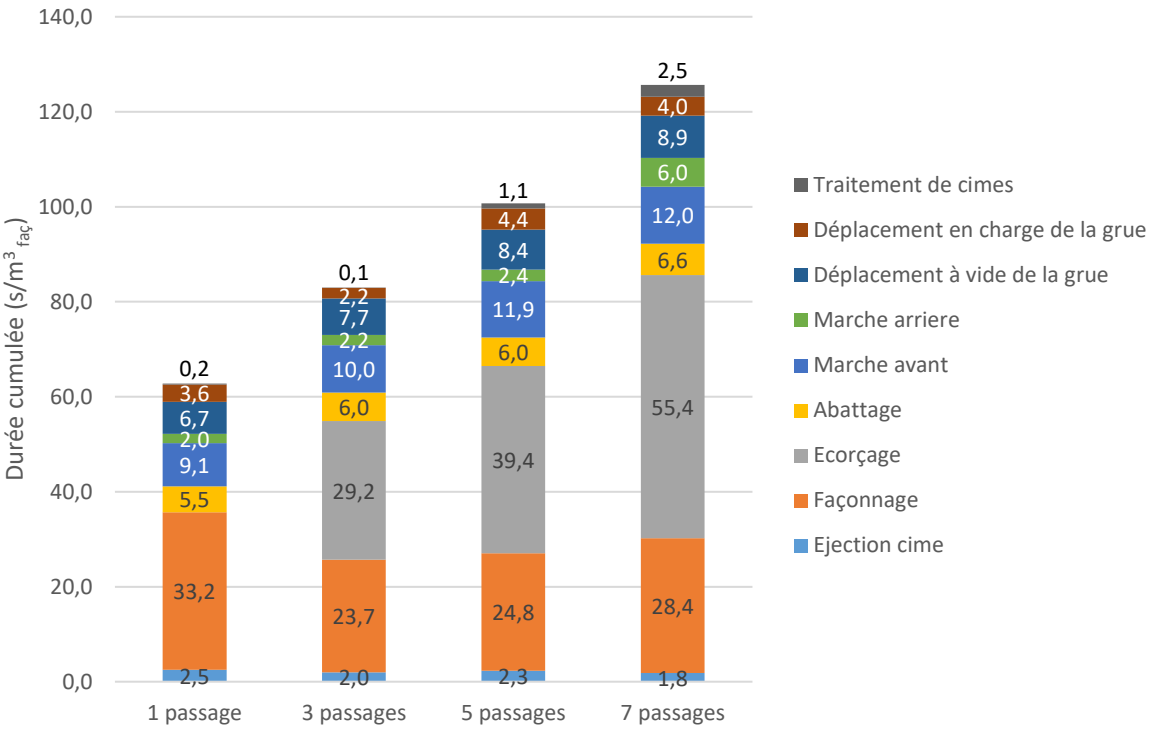

Figure 23 : Durée moyenne de chaque phase observée au bûcheronnage par m³ de bois façonné et par modalité

Les différences significatives entre modalités sont les suivantes :

La durée de **façonnage** est réduite en moyenne de 23 % lorsque cette opération est réalisée à la suite de l'écorçage, lorsque les grumes sont déjà ébranchées.

La durée d'**écorçage** augmente en moyenne de 38 % par aller-retour de la grume dans la tête d'abattage.

Davantage de déplacements et de façon significative de **marches arrière** ont été constatés en modalités comprenant de l'écorçage. Les durées de déplacement de la machine augmentent avec le nombre de passages de la grume dans la tête d'abattage. Cela peut être expliqué par la nécessité, dans certains cas, d'installer la grume à un endroit sans obstacle en vue de l'écorcer. Les billons ne sont pas toujours produits à l'endroit idéal pour permettre l'écorçage, ce qui nécessite parfois de les déplacer par la suite.

Il a plus souvent été nécessaire de **traiter les cimes** au cours de l'abattage selon les modalités à 5 et 7 passages que les autres. Il est possible que cela soit lié au déplacements inopportuns des grumes avant écorçage ou aux caractéristiques des arbres présents dans ces zones. Davantage de casses de cimes ont par ailleurs été constatées en modalité de bûcheronnage à 7 passages.

Les valeurs correspondant à l'histogramme ci-dessous sont disponibles en *Annexe 2*.

4.5 Consommation de carburant

La consommation de carburant a été calculée à partir des données de l'unité de contrôle du moteur de la machine :

Nombre de passages	Consommation selon le volume façonné (l/m³)	Consommation par arbre (l/arbre)	Consommation horaire (l/h)
1	1,03	0,91	25,43
3	1,34	1,25	22,29
5	1,39	1,53	20,51
7	1,87	1,69	20,45

Tableau 5 : Consommation de la machine d'abattage en fonction du nombre de passages de la grume dans la tête d'abattage

Remarque : Les consommations enregistrées par l'unité de contrôle du moteur ne permettent pas d'extraire les périodes improductives. La consommation horaire sur le chantier a été estimée en attribuant la consommation totale par modalité à la durée totale productive relevée au cours des chronométrages.

La **consommation horaire** semble diminuer avec l'écorçage, certainement en raison de la durée moins importante, en proportion, de phases pendant lesquelles la consommation en carburant est plus importante. Ce résultat est différent de celui du projet TAE pour lequel une augmentation de la consommation horaire de 11 % à 13 % a été constatée.

En revanche, la **consommation selon le volume façonné** augmente de façon importante avec l'écorçage car la productivité de la machine baisse.

4.6 Productivité

La productivité au bûcheronnage peut être comparée entre modalités de plusieurs façons :

- Productivité au bûcheronnage, intégrant uniquement les phases d'abattage, d'écorçage et de façonnage ;
- Productivité sur la durée productive, intégrant l'ensemble des phases à l'exception des phases d'attente, d'incidents et de dégagements végétation ;
- Productivité du chantier, estimée à partir de la productivité constatée sur la durée totale productive en considérant une durée improductive de 15 % ;
- Productivité en bois du chantier, estimée pour la durée totale du chantier à partir du volume unitaire commercial sous écorce.

Remarque : Le volume unitaire sous écorce est estimé en considérant une proportion d'écorce de 24,36 % (Memento FCBA 2023) et les taux d'écorçage ont été mesurés pour l'essai par Alliance Forêt Bois.

La **productivité au bûcheronnage seul** est fortement diminuée par l'intégration d'une étape d'écorçage. Cela induit, dans une moindre mesure, une réduction de la **productivité sur la durée productive.**

Nombre de passages	Productivité au bûcheronnage seul ($m^3_{faç}$/h)	Productivité sur la durée productive ($m^3_{faç}$/h)	Productivité du chantier ($m^3_{faç}$/h)	Productivité en bois du chantier (m^3VU_{com}/h)
1	108,9	65,7	55,9	48,2
3	71,6	51,7	44,0	33,4
5	57,6	40,2	34,2	29,0
7	41,7	31,2	26,5	26,0

Tableau 6 : Productivités au bûcheronnage calculées à partir des chronométrages

En fonction du nombre de passages de la grume dans la tête d'abattage, la **productivité du chantier** est réduite de 21 % à 53 %. La perte de **productivité en bois** liée à l'écorçage est plus importante dès le premier aller-retour consacré à l'écorçage (31 %) :

Nombre de passages	Perte de productivité liée à l'écorçage pendant le bûcheronnage	Perte de productivité sur le chantier liée à l'écorçage sur la durée totale	Perte de productivité en bois liée à l'écorçage sur la durée totale
3	34%	21%	31%
5	47%	39%	40%
7	62%	53%	46%

Tableau 7 : Pertes de productivité liées à l'écorçage en fonction du nombre de passages

4.7 Surcoût de l'écorçage

Le coût horaire de l'abattage est calculé à partir des moyennes nationales issues de l'observatoire du coût technique des machines forestières, toutes machines de bûcheronnage confondues, produit par FCBA en 2023. Des variations existent entre régions, essences, types de coupes et matériel choisi. Le coût de production est calculé à partir du coût horaire et des productivités du chantier calculées pour les différentes modalités (*tableau 6)* :

	Coût (€ TTC/h)	Coût (€ TTC/$m^3_{faç}$)			
Nombre de passages	**1**	**1**	**3**	**5**	**7**
Valeur de l'amortissement avec frais financiers	63,54 €	1,14 €	1,45 €	1,86 €	2,40 €
Valeur de l'amortissement du kit d'écorçage	2,49 €	- €	0,06 €	0,07 €	0,09 €
Coût du transport	9,24 €	0,17 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €
Valeur de l'entretien/réparation	3,85 €	0,07 €	0,09 €	0,11 €	0,15 €
Coût de la consommation en GNR	24,75 €	0,44 €	0,52 €	0,58 €	0,72 €
Salaire et charges	38,89 €	0,70 €	0,88 €	1,14 €	1,47 €
Coût de l'abattage	140,26 €	**2,51 €**	**3,16 €**	**3,92 €**	**4,98 €**

Tableau 8 : Coût du bûcheronnage en fonction du nombre de passages de la grume dans la tête d'abattage

Les suppositions suivantes ont été faites :

- L'usure de la machine est proportionnelle à sa durée d'utilisation. L'écorçage demandant une durée de traitement supplémentaire pour un même volume récolté, la valeur de l'amortissement augmente avec l'écorçage. Pour la même raison, la valeur de l'entretien et des réparations augmente également avec l'écorçage.
- La consommation de carburant est calculée à partir du volume façonné et de la consommation de la machine relevée par l'ordinateur de bord selon les différentes modalités.
- Les salaires et charges associées sont proportionnels au temps passé au bûcheronnage.
- La valeur d'achat du kit d'écorçage est de 5 500 € et celle du montage de 1 500 € TTC. La durée d'amortissement du kit d'écorçage est de 2 ans.
- Le coût du transport de la machine sur la parcelle est indépendant de la durée du chantier.

4.8 Pertes de matière

Les pertes de matière liées à l'écorçage ont été calculées par Alliance Forêt Bois qui a interprété les photos des piles de bois de chaque modalité de bûcheronnage. A partir de cette information, il est possible de calculer la perte de volume d'écorce en proportion du volume total comprenant le bois :

Nombre de passages	Proportion d'écorce laissée au sol	Perte de volume en proportion du total
1	10 %	2 %
3	43 %	10 %
5	60 %	15 %
7	78 %	19 %

Tableau 9 : Pertes de matière liées à l'écorçage en fonction du nombre de passages de la grume dans la tête d'abattage

L'écorçage implique de laisser au sol 10 % à 19 % du volume total de matière récoltable.

Remarque : La proportion d'écorce restante dans le premier billon produit au pied de l'arbre est toujours plus importante que celle des autres billons car la machine n'est pas en mesure d'écorcer la grume jusqu'au gros bout sans la lâcher. L'écorce supplémentaire existante pour ce billon n'ayant pas été mesurée, elle n'a pas été considérée dans les calculs.

5. Débardage et transport

Le débardage n'a pas été chronométré sur ce chantier. Selon le chauffeur, le débardage des billons de la modalité à 7 passages a été plus long car les billons étaient glissants. Pour les autres modalités, l'écorçage ne lui a pas semblé engendrer de contrainte car la proportion d'écorce était suffisante pour maintenir les billons dans la pince.

Pour éviter les glissements de billons après écorçage, il est préférable d'attendre le séchage des billons pendant au moins une semaine. Cette durée est à ajuster en fonction de la période de l'année et de la pluviosité, qui peut rendre les billons encore moins préhensibles.

Figure 24 : Débardage en modalité à 7 passages (à gauche) et pile de billons en modalité à 3 passages (à droite)

Au débardage comme au transport, le volume de bois effectivement transporté, c'est-à-dire le volume sous écorce, est plus important pour les billons écorcés à encombrement égal. Cela compense certainement la perte de productivité supposée liée au glissement des billons.

6. Conclusions et discussion

L'écorçage modifie les contraintes qui s'appliquent sur la tête d'abattage et la grue de la machine de bûcheronnage. Dans cet essai, cela a entraîné la casse de flexibles fragilisés et il est possible que cette pratique entraîne une usure plus rapide de certains éléments. Il peut être recommandé d'utiliser une machine surdimensionnée pour assurer confortablement les mouvements supplémentaires induits par l'écorçage et notamment les déplacements en charge de la grue. L'écorçage nécessite des phases d'installation et de désinstallation du kit, de réglages et d'habituation du chauffeur à la pratique. Ce dernier doit être, si possible, expérimenté pour parfois assister le déplacement de la grume dans la tête d'abattage avec des mouvements de grue.

L'écorçage a réduit la productivité du bûcheronnage de 21 à 53 % en fonction du nombre de passages de la grume dans la tête d'abattage. Cela est principalement lié à l'ajout d'une phase d'écorçage mais aussi aux déplacements supplémentaires de la machine pour installer la grume à un endroit sans obstacle pour assurer les aller-retours d'écorçage, et pour déplacer les billons par la suite. Des pertes de productivité supplémentaires ont été induites par la casse plus fréquente des cimes et des lâchers de grume en bout de course, ces dernier pouvant être évités avec l'expérience. Dans cet essai, une branchaison et/ou un diamètre trop important pour les arbres ont limité la productivité au façonnage et à l'écorçage. La flexuosité n'a pas limité la productivité mais potentiellement le taux d'écorçage. Par ailleurs, les billons ont été produits avec une précision de longueur légèrement inférieure à celle obtenue sans kit d'écorçage.

Bien que les essences étudiées et le diamètre des arbres soient différents, ces résultats sont cohérents avec les essais menés dans le nord-est de la France avec le même kit d'écorçage John Deere monté sur une tête H415. La perte de productivité ($m^3_{faç}$/h) en 7 passages, hors sève, en sapin pectiné ($Ø_{1,30}$ = 25 cm) était de 46 % contre 53 % en pin maritime ($Ø_{1,30}$ = 40 cm). En 5 passages, en sève, la perte de productivité en épicéa commun ($Ø_{1,30}$ = 20 cm) était de 40 % contre 39 % en pin maritime ($Ø_{1,30}$ = 40 cm), hors sève.

Dans l'essai réalisé en pin maritime, les surcoûts de bûcheronnage liés à l'écorçage ont été limités par une bonne productivité horaire liée au diamètre des arbres. Ainsi, l'écorçage en 5 et 7 passages ont respectivement entraîné une augmentation du coût d'abattage de 1,41 €/m^3 et de 2,47 €/m^3 contre une augmentation de 3,90 à 5,90 €/m^3 constatée dans les suivis de chantiers du nord-est de la France pour des arbres d'un diamètre compris entre 20 et 40 cm.

Une période de séchage des bois après abattage et écorçage peut être recommandée, particulièrement en période de sève, pour sécuriser le débardage et le transport de billons qui pourraient être glissants.

Dans cet essai, la matière récoltée a été transformée par Smurfit Westrock qui valorise le bois et l'écorce. A volume arrivé à l'usine équivalent, le bois écorcé permet, en proportion, de produire davantage de papier. En contrepartie, la quantité d'écorce étant plus faible (- 8 % à -17 %), il sera nécessaire d'identifier des sources de matière alternatives (souches, etc.) pour la production d'énergie. L'écorçage sera toutefois limité à des surfaces limitées, en situation de crise sanitaire. Cette pratique doit être intégré comme une prestation spécifique dans les contrats, vu le temps supplémentaire nécessaire pour répondre aux besoins du gestionnaire.

Pour connaître plus précisément les pertes de productivité potentielles liées à l'écorçage en situation de crise sanitaire avec le kit d'écorçage utilisé, cet essai pourrait être reproduit pour d'autres interventions sylvicoles et périodes de l'année. En sève, le décollement de l'écorce est facilité et il est probable que moins de passages de la grume dans la tête d'abattage soient nécessaires pour atteindre le même niveau d'écorçage, comme cela a été constaté dans l'étude réalisée dans le nord-est de la France. L'efficacité de l'écorçage comme traitement préventif ou curatif contre la ponte ou la prolifération d'insectes dépend de la proportion d'écorce restante et de sa conformation. L'étude des capacités d'infestation et de développement jusqu'à l'émergence des insectes tels que *Ips sexdentatus* et *Monochamus galloprovincialis* reste à étudier pour pourvoir décider du nombre d'aller-retours de la grume à effectuer en fonction de la saison et du type de peuplement, qui sera nécessairement un compromis entre efficacité et coût d'application.

Annexe 1 – Caractéristiques de l'abatteuse

Descriptif abatteuse et équipements

Marque : John Deere

Modèle : 1270G

Date de 1ère mise en service (ou âge à l'achat) : 12/2017

Date d'acquisition : 12/2017

Horamètre acquisition : 0 h (neuve)

Horamètre actuel (préciser à quelle date) : 8905 h le 05/11/2024

Motricité : 6x6

Largeur pneus (mm) : 700

Nombre de roues : 6

Largeur (m) : 2,95

Puissance (kW.) : 200

Masse à vide (t) : 22,2

Grue :

Modèle : John Deere CH7

Date d'acquisition de la grue : 12/2017

Portée de la grue (m) : 8,3 m

Capacité de charge (kg) : 1750 kg au plus loin

Guide :

Marque/modèle : John Deere
Longueur : 72 cm de coupe utile

Huile de chaîne : Minérale

Contenance bidon type : 7 litres

Marque : Hafa

Autres : Un kit d'écorçage a été monté pour l'essai.

Tête de bûcheronnage :

Marque de la tête : John Deere

Modèle de tête : H415

Capacité d'abattage (cm) : 70

Date de 1ère mise en service de la tête (ou âge à l'achat) : 12/2017

Statut du chauffeur : Salarié

Niveau d'études :

Brevet professionnel

Formation à la conduite :

Par un centre de formation

Age : 45 ans

Nombre d'années d'expérience en forêt : 10 ans

Nombre d'années d'expérience sur abatteuse : 7 ans

Autre activité exercée dans l'entreprise :

Aucune

Rythme de travail : 42,5 h/semaine

Annexe 2 – Chronométrages au bûcheronnage

Nombre de passages	Ejec cime	Faço	Ecorc	Abat	M. avant	M. arrière	Dép vide grue	Dép charge grue	Trait cime
1	3,9%	53,0%	0,0%	8,7%	14,3%	3,2%	10,6%	5,9%	0,4%
3	2,3%	28,5%	35,3%	7,2%	11,7%	2,8%	9,2%	2,7%	0,1%
5	2,2%	24,6%	39,2%	5,9%	11,5%	2,4%	8,4%	4,5%	1,2%
7	1,4%	22,7%	44,3%	5,2%	9,4%	4,8%	7,0%	3,2%	1,9%

Tableau 10 : Proportion de chaque phase sur la durée productive totale pour chaque modalité

Nombre de passages	Ejec cime	Faço	Ecorc	Abat	M. avant	M. arrière	Dép vide grue	Dép charge grue	Trait cime
1	2,5	33,2	0,0	5,5	9,1	2,0	6,7	3,6	0,2
3	2,0	23,7	29,2	6,0	10,0	2,2	7,7	2,2	0,1
5	2,3	24,8	39,4	6,0	11,9	2,4	8,4	4,4	1,1
7	1,8	28,4	55,4	6,6	12,0	6,0	8,9	4,0	2,5

Tableau 11 : Durées de chaque phase observée en secondes par m^3 de bois exploité et par modalité

Légende :

Valeurs significativement différentes entre modalités et p < 0,001 (ANOVA à 1 facteur)
Valeur différentes entre modalités et p < 0,1 (ANOVA à 1 facteur)

- *Ejec cime : Ejection de la cime avec la tête d'abattage*
- *Faço : Dernier passage de la grume dans la tête d'abattage comprenant le billonnage*
- *Ecorc : Passages de la grume dans la tête d'abattage préalables au façonnage*
- *Abat : Abattage de la tige*
- *M. avant : Déplacement de la machine en marche avant*
- *M. arrière : Déplacement de la machine en marche arrière*
- *Dép vide grue : Déplacement à vide de la grue*
- *Dép charge grue : Déplacement de la grue en charge*
- *Trait cime : Traitement supplémentaire de la cime après façonnage*

Annexe 3 – Calcul du coût moyen du bûcheronnage

Les valeurs présentées ci-dessous correspondent aux moyennes obtenues pour l'année 2023, comprenant les 4 trimestres, 10 machines de bûcheronnage et travaillant sur 29 départements :

Donnée	Moyenne 2023
Valeur d'achat (hors subvention) (€HT)	429 782
Durée de l'amortissement (an)	5,9
Age de la machine (an)	4,0
Heures horamètre (h/an)	1 406
Taux des frais financiers (%)	2,2
Consommation moyenne de GNR (l/heure)	18,75
GNR (€HT/l)	1,1
Entretien/réparation (% de la valeur d'achat/an)	6,19
Coût du transport de la machine (€HT/an)	12 992
Salaires + charges (€/an)	54 673
Déplacements avec le véhicule (km/an)	23 697

Tableau 12 : Valeurs moyennes de variables permettant le calcul des coûts techniques moyens d'une machine de bûcheronnage (source : Observatoire du coût technique de machines forestières, FCBA - 2024)

Sur la base de ces informations, il est possible de calculer un coût horaire moyen pour le bûcheronnage :

Poste de dépense	Coût (€ TTC/h)
Amortissement avec frais financiers	63,54 €
Entretien/réparations	3,85 €
Consommation horaire en GNR	24,75 €
Transport	9,24 €
Salaires et charges	38,89 €
Coût total du bûcheronnage	**140,26 €**

Tableau 13 : Coût horaire moyen au bûcheronnage pour type de dépense