

Étude exploitation FIE : description des chantiers

Contexte

L'étude exploitation fait partie du projet Forêt Irrégulière Ecole, qui vise à créer de la connaissance, et à monter des formations en forêt sur la gestion en futaie irrégulière. Cette étude, en lien avec le gestionnaire ONF du SIGFRA, a été commandée pour répondre à une observation inquiétante : le nombre de bucherons a tendance à diminuer fortement, et donc les coupes aux plus faibles rendements sont moins prisées, et restent souvent invendues. Ces coupes sont majoritairement des coupes à perches et petits bois, qui dans le cas de la forêt irrégulière d'Auberive, se rapprochent du TSF d'origine, antérieur à la conversion en futaie irrégulière.

Après un tour d'horizon des possibilités qui s'offraient à nous, nous avons choisi pour répondre à cette problématique de tester deux modalités d'exploitation mécanisée. L'objectif est de voir si des machines peuvent pallier le manque de bucherons, et réaliser ces coupes peu attractives. Nous prévoyons un bilan économique et qualitatif de ces exploitations, qui apportera au gestionnaire, et aux stagiaires des formations des éléments qui permettront de choisir de reconduire/tester ou non ces méthodes d'exploitation.

Afin de maîtriser les dates d'exploitation, de pouvoir mettre en œuvre un certain nombre de mesures pendant l'étude et d'attirer des entrepreneurs pour réaliser ces chantiers inédits, il a été décidé que les exploitations seraient faites en régie. Le propriétaire (SIGFRA) aura donc la charge de l'exploitation, et le bois sera vendu en bord de route.

Chantier 1 : Sainte-Ruffine, exploitation mixte bucherons et grappin-scie

Les trois parcelles qui font l'objet de ce chantier sont des invendus de l'hiver 2019-2020. Il s'agit d'une coupe avec beaucoup de petites tiges de taillis, typique de celles qui ont motivé la commande de cette étude. Ci-dessous, le tableau récapitulatif des données de la coupe avec les données de volume bois fort, et le graphique des effectifs en nombre de tiges et en volumes par classes de diamètre.

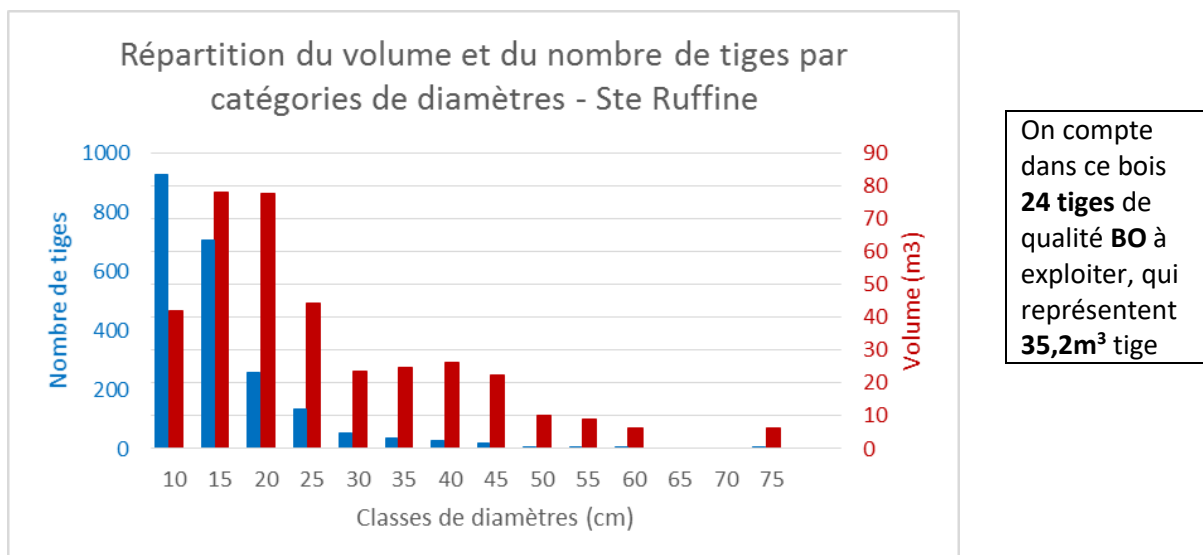
Tableau 1 : données de la coupe de Ste-Ruffine

parcelle	Vol.total (m ³)	V/N (m ³)	V/ha (m ³ /ha)
2310	173.9	0.17	34.2
2311	154.4	0.25	29.9
2312	180.83	0.35	33.3
Total	509.13	0.24	32.5

Tous les volumes présentés ici sont des volumes bois fort (volumes totaux, découpe 7cm), y compris le V/N.

Ce chantier a été proposé à l'entreprise Marnotte Développement, dirigée par Patrick Guenat. Il fait intervenir un **porteur équipé d'un grappin-scie** (voir annexe 2). Cette machine est capable d'attraper des bois tombés au sol de tous diamètres, de les recouper à la dimension de son panier, et de les charger dans un seul mouvement. Par

contre, son découpage n'est pas précis, et cette machine n'ébranche pas les billons. Le débouché est donc unique : le **bois énergie**.



Dans ce graphique, les volumes présentés sont des volumes tige

Déroulement du chantier :

1. Bûcherons : abattent tous les arbres désignés, en direction des cloisonnements d'exploitation. Pour la qualité BE, il s'agit de la seule opération effectuée par les bucherons. Pour la qualité BO, la grume est ébranchée et séparée de son houppier.
2. Porteur équipé du grappin scie : reprend les bois coupés par les bucherons, les recoupe à la bonne dimension, et les charge dans son panier. Les menus bois (fin bout 7 cm) sont séparés du dernier morceau chargé dans le panier. Ces menus bois sont remis en forêt, ou sur le cloisonnement pour limiter le tassement lors du passage du porteur. La machine débite également les houppiers des grumes de bois d'œuvre, et les fait passer avec le reste du BE.
3. Les grumes de BO sont sorties au skidder après la fin du chantier

Le bois énergie sera sorti sur la route forestière, et empilé sur l'accotement de l'autre côté de la RF par rapport aux parcelles exploitées. A titre indicatif, si la pile fait 4m de haut pour 5 m de large (taille classique pour une pile de BE), il faudra prévoir une longueur de stockage d'environ 83m.

Il est à noter que dans ce schéma-là, le porteur circulera sur la RF pour décharger ses bois.

Au moment de la vente, un broyeur viendra sur place, transformera ce bois en plaquette forestière, qui sera directement chargée dans des camions, lesquels seront pesés en entrée et en sortie d'usine. C'est ainsi qu'on obtiendra la masse réelle de bois exploité sur la coupe.

Pour le bois d'œuvre, les grumes seront d'abord laissées en forêt : une fois que le BE sera complètement sorti, et que le chantier 2 sera également terminé, un skidder viendra sortir les grumes des deux chantiers. Ces grumes formeront un lot, vendu à l'amiable.

Bilan économique estimatif

Le volume de coupe estimé sur cet ensemble de parcelles est de 509m³. D'après le service bois de l'ONF, ce volume de BE peut être vendu d'ici 6 à 9 mois, via un contrat d'approvisionnement avec Coria Energie, au prix de 30,5€/tonne. On considère que pour les essences à exploiter (chênes, hêtre, charme) la masse volumique brute est à peu près égale à 1tonne/m³. Par contre, après 6 à 9 mois, le bois aura déjà été quelques peu ressuyé : on peut imaginer qu'il aura perdu 50% de son humidité

interne, ce qui correspond, pour les essences considérées à une diminution de 20% de sa masse brute¹. C'est sur cette masse que le propriétaire sera payé à 30,5€/tonne

Tableau II : estimation des recettes liées à la vente des bois pour le chantier 1

Volume estimé	Masse brute	Masse dans 9 mois	Prix d'achat bord de route	Recettes liées à la vente du BE
V (m ³)	M (t) = V	M _{9m} (t) = M×0.8	PU (€/t)	R(€)= M _{9m} × PU
509	509	407,2	30,5	12419

Patrick Guenat a fait une proposition avec un tarif horaire pour la machine, et un autre pour les bucherons, avec une estimation du temps à y passer (voir annexe 4). Cette estimation est très approximative, car il n'a jamais pratiqué ce type d'exploitation. S'il s'avérait que son estimation était trop optimiste, et que le chantier prenait beaucoup de temps, il faudrait arrêter celui-ci avant que le déficit pour le propriétaire soit trop grand. Il faut donc prévoir plusieurs niveaux de vérification.

La proposition est la suivante :

- Porteur à grappin-scie : 100€/h
- Bucherons : 35€/h

Avec une estimation à 90h de bucherons et 80h de machine (voir annexe 4)

Tableau III : estimation du prix de revient du chantier 1

Temps porteur (h)	Temps bucheron (h)	Cout horaire porteur	Cout horaire machine	Prix bucheron	Prix porteur	Prix chantier
80	90	100	35	3150	8000	11150

On voit tout de suite que la marge n'est pas grande entre le **prix de l'exploitation** et les **revenus estimés**.

Si on considère que ce chantier ne doit pas passer en dessous de la barre du bilan nul, alors il faut mettre en place un système de contrôle.

Selon ce calendrier estimé, les bûcherons sont 2 et ont 1/2 journée d'avance sur la machine. Les bûcherons travaillent 7 heures par jour, et la machine 9h.

Tableau IV : Calendrier prévisionnel et avancement attendu du chantier 1

Jour	Cumul temps bucheron	Cumul temps machine	Prix chantier (€)	volume limite correspondant brut	% du temps final bûcheron	% du temps final machine	soit en volume limite abattu (m ³)	soit en volume limite débardé (m ³)
J	Tb (h) = 7×2×J	Tm (h) = 9×J	Pc = Tb×35 + Tm×100	VI (m ³) = Pc / 30,5 × 1,2	%b = Tb/90	%m = Tm/80	%b×438,7	%m×438,7
1	14	4.5	940	37.0	16%	6%	68.2	24.7
2	28	13.5	2330	91.7	31%	17%	136.5	74.0
2.3	31.7	15.9	2695.0	106.0	35%	20%	154.4	87.0
3	42	22.5	3720	146.4	47%	28%	204.7	123.4
3.6	50.8	28.2	4593.6	180.7	56%	35%	247.6	154.4

¹ La masse volumique brute et le taux de siccité (masse sèche/masse brute) sont tirés du memento FCBA 2019 (voir annexe 3). La perte de 50% de l'humidité interne en 9 mois est une supposition, mais elle paraît en cohérence avec le site <https://www.onf-energie-bois.com/sechage-du-bois/>

4	56	31.5	5110	201.0	62%	39%	273.0	172.7
5	70	40.5	6500	255.7	78%	51%	341.2	222.1
6	84	49.5	7890	310.4	93%	62%	409.4	271.4
7	90	58.5	9000	354.1	100%	73%	438.7	320.8
8	90	67.5	9900	389.5	100%	84%	438.7	370.1
9	90	76.5	10800	424.9	100%	96%	438.7	419.5
10	90	80	11150	438.7	100%	100%	438.7	438.7

Si on veut faire un contrôle à un temps donné, il faut fixer des objectifs : ici on a choisi de vérifier le bilan nul. Le problème c'est d'estimer la part du travail bucheron et celle du travail du porteur. Donc on considère que lorsque les 11150€ estimés auront été dépensés, il faudrait avoir sorti 438,7m³ de bois pour être remboursé. C'est ce qu'on a appelé « le volume limite ». On peut à partir de là estimer à chaque instant, à partir du prix du chantier et du temps de travail estimé le volume qui devrait être abattu, et celui qui devrait être débordé. Il faut ensuite faire correspondre ces volumes à des surfaces « réalisées » pour pouvoir contrôler l'avancée du chantier

Nous choisissons de démarrer le chantier par la parcelle 2311 : c'est celle dont le V/N se rapproche le plus du V/N moyen. Ainsi, on gommara au mieux la variabilité de la productivité due à la variabilité des dimensions des bois pour notre phase de contrôle.

Le volume « à réaliser » dans la parcelle 2311 est 154.4m³, nous cherchons donc à quel moment le bucheron a fini d'abattre ces 154.4m³ dans un temps « limite » (celui qui donne un bilan nul). Il s'agit de la ligne **jaune** : en fixant 154.4 pour le volume abattu, on trouve 31.7 hommes.heures de travail, ce qui correspond au « jour 2,3 ». De même, on trouve dans la ligne **bleue** en fixant 154.4m³ débordés, qu'il faudra 28,2 heures au porteur pour débarder l'ensemble de la parcelle 2311.

*On pourra donc contrôler au milieu du 3^{ème} jour que les
bûcherons ont bien terminé la parcelle 2311, et au milieu du
4^{ème} que le porteur a terminé la même parcelle.*

Pour le porteur, on pourra quand même prendre une petite marge supplémentaire qui correspondra au temps de rodage : ce chantier étant inhabituel, le chauffeur devra prendre ses marques avant d'atteindre son rythme de croisière.

Chantier 2 : Vivey, exploitation à la machine de bûcheronnage

La machine de bûcheronnage est celle que nous appelons couramment « abatteuse » : elle est équipée de couteaux, de rouleaux et d'un guide de tronçonneuse. Ces outils lui permettent d'abattre, d'ébrancher et de billonner à des longueurs précises. Cela ouvre alors le débouché de bois d'industrie (voir annexe 2, fiche 2).

Cette machine présente par contre un certain nombre de désavantages : plutôt conçue pour l'exploitation résineuse, elle rencontre, *a priori*, des blocages en exploitation feuillue sur certaines branches, sur les cépées trop serrées, sur les tiges mal conformées, sur les fourches, et sur les tiges de diamètre supérieur à 30cm. Il est prévu de détailler ces points de blocages durant la phase d'observation de l'étude.

Par ailleurs, la tête d'abattage ne peut pas accéder à l'ensemble de la bande depuis le cloisonnement. La première solution qui avait été imaginée pour pallier ce manque était une exploitation mixte, avec un bûcheron qui lèverait les blocages de la machine : les arbres trop loin, les

mal conformés, les trop gros ... Mais cette possibilité a été écartée car l'entrepreneur n'a jamais pratiqué de telles exploitations, et y voit trop d'inconvénients pour vouloir se lancer. Nous avons convenu qu'étant donné les blocages listés en amont, il était plus prudent de réaliser ce chantier sur une petite parcelle, ainsi le test serait moins risqué.

C'est la parcelle 3343, FC de Vivey, qui a été proposée pour ce chantier.

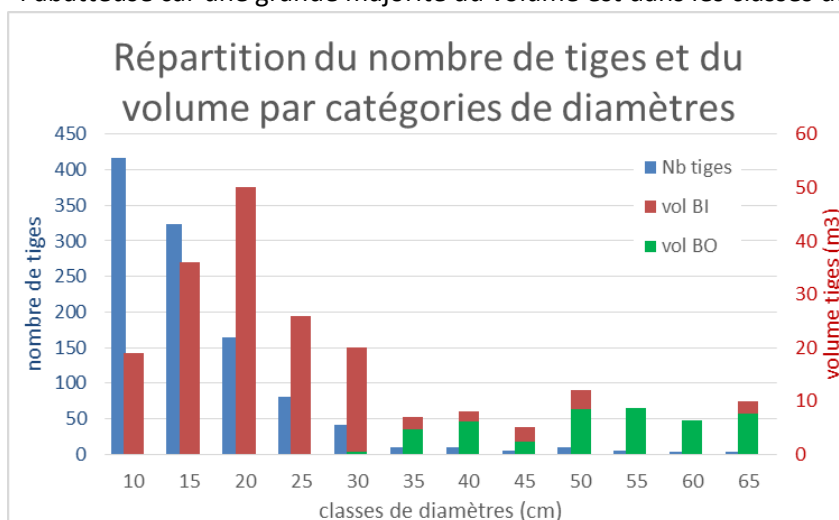
Tableau V : données de la coupe de Vivey

parcelle	Vol.total (m ³)	V/N (m ³)	V/ha (m ³ /ha)
3343	282	0.26	36

Tous les volumes présentés ici sont des volumes bois fort (volumes totaux, découpe 7cm), y compris le V/N.

Cette parcelle fait partie du même lot invendu que les 3 parcelles du chantier 1. Son prélèvement se fait plutôt dans les petits bois, et le volume unitaire moyen est assez faible

(voir tableau ci-dessus et graphique ci-dessous). Cette parcelle semble bien convenir à la coupe à l'abatteuse car une grande majorité du volume est dans les classes de diamètre 30cm et moins



On constate qu'au-delà du diamètre 35cm, une grande majorité de bois est de qualité BO

Dans ce graphique, les volumes présentés sont des volumes tige

Etant donné que la machine sera seule en forêt, nous avons imaginé tester plusieurs modalités :

1. La machine peut entrer dans la bande et sortir par le même chemin pour saisir une tige hors de portée, elle empilera alors le bois en bord de cloisonnement. Le porteur n'entrera donc plus dans la bande.
2. La machine doit rester sur le cloisonnement, et laisser les tiges hors de portée. Cette modalité s'appliquera sur une faible zone (une ou deux bandes)
3. Les marquages seront repris à la bombe sur une partie de la coupe, afin de mesurer la différence de productivité en l'absence de peinture. On pourra également dénombrer les arbres oubliés.

Déroulement du chantier :

1. Machine de bucheronnage : traite tout ce qu'elle peut, dans la limite de ses capacités ($\phi < 30\text{cm}$), et de la portée de sa grue pour la modalité 2
2. Porteur : débardage des billons de BI de 2m
3. Bucherons manuels : abattent et ébranchent tout ce qui a été laissé par l'abatteuse (BI $\phi > 30\text{cm}$, et BO)
4. Skidder : débardage de ces bois en toutes longueurs, qui formeront un lot avec les grumes de BO du chantier 1, et vendus à l'amiable.
5. Cessionnaires : les houppiers et éventuellement des tiges de « gros BI » non acceptées dans le lot seront exploitées par des cessionnaires.

Bilan économique estimatif

L'entreprise D'Herbomez a fait deux propositions :

- Une pour l'abattage et le façonnage : 100€/h de travail de la machine
- Une pour le rachat des bois sur coupe : 21.5€/t, payés à l'unité de produit, sur la foi des bons de réception usine

À titre d'estimation de rendement, le chauffeur de machine (expérimenté) donne environ 5 à 6 m³/h. À partir de là, on peut calculer un prix pour l'abattage et le façonnage pour un mètre cube de bois (tableau ci-dessous, colonne bleue). Pour chaque estimation, on peut donc vérifier la rentabilité de l'opération. Cette valeur est soumise à une seule source d'incertitude : le rendement horaire de la machine (et à la masse volumique du bois, dans une moindre mesure), c'est donc sur ce rendement qu'il faudra porter notre effort de contrôle. C'est pour cela que l'on a cherché le **rendement limite** de l'exploitation. Si le chauffeur tient ce rendement, le bilan de l'exploitation sera nul.

Attention : les chiffres présentés dans le tableau suivant correspondent aux volumes totaux des bois de diamètres inférieurs ou égaux à la catégorie 30cm

Tableau VI : Bilan économique prévisionnel pour le chantier 2

	volume estimé	rendement machine estimé	prix horaire machine	prix abattage- façonnage	prix chantier	prix achat bois	recette estimées	Bénéfice estimé	Temps de travail
	V(m ³)	Rm (m ³ /h)	Ph (€/h)	Paf (€/m ³) = Ph/Rm	Pc = Paf * V	PU (€/t)	R (€) = V * PU	B (€) = R - Pc	T = V/Rm
Estimation basse	175	5	100	20	3420	21.5	3676.5	256.5	1.5
Estimation haute	175	6	100	16.67	2850	21.5	3676.5	826.5	4.8
rendement limite	175	4.65	100	21.50	3676.5	21.5	3676.5	0	0
Estimation très basse	175	4	100	25.00	4275	22.5	3847.5	-427.5	-2.5

Ici, étant donné que les bois vont être sortis et vendus rapidement après l'abattage, on a considéré 1m³ = 1t

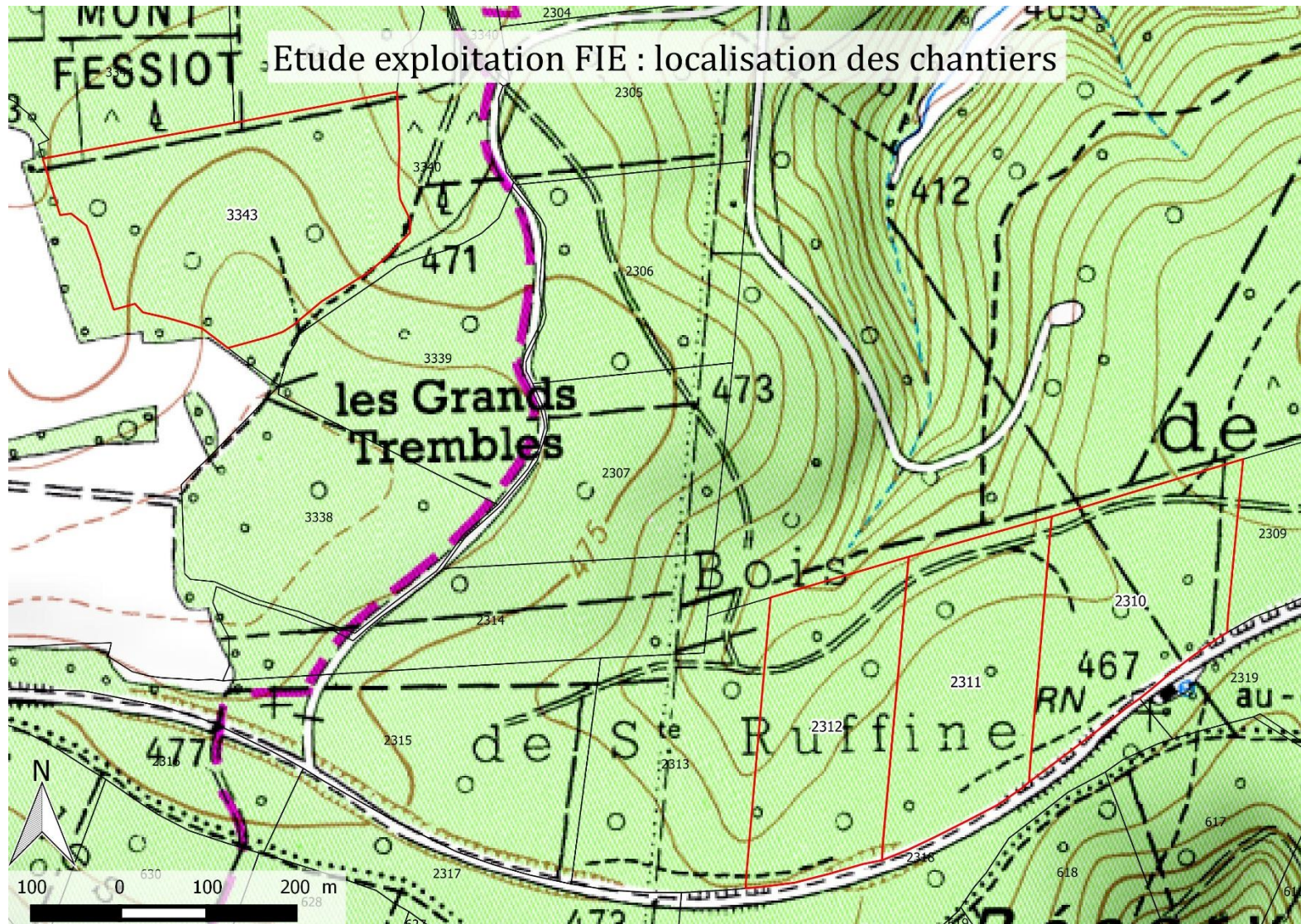
Ce point de contrôle peut être réalisé relativement simplement avec la machine, puisqu'elle mesure en temps réel le volume façonné, et les heures de travail de l'opérateur sont connues également. On peut donc passer à la fin du deuxième jour de travail (après 18 à 20h de travail), pour calculer ce rendement horaire. **Si la deuxième journée donne un rendement inférieur à 4m³/h, on stoppera le chantier.** On notera par contre que le volume indiqué par la machine est soumis à de fortes incertitudes (à cause de la flexuosité des bois), mais c'est bien notre seul moyen de contrôler l'avancée du chantier.

Facturation des prestations

Afin de contrôler au mieux les coûts de travaux, le propriétaire et le gestionnaire souhaitent payer les heures de travail effectif. Pour cela, il faudra décompter les arrêts importants (pannes, organisation). Par contre, les temps de réapprovisionnement font partie du travail « normal » et seront inclus dans les heures travaillées (et donc payées).

Rédigé le 14/02/2020 par N. Fayet revu suite à la réunion du 17/02 avec JJ. Boutteaux, E. Gouret, B. Meheux, T. Noël, et G. Prolonge

ANNEXE 1 :



ANNEXE 2 : Fiches systèmes

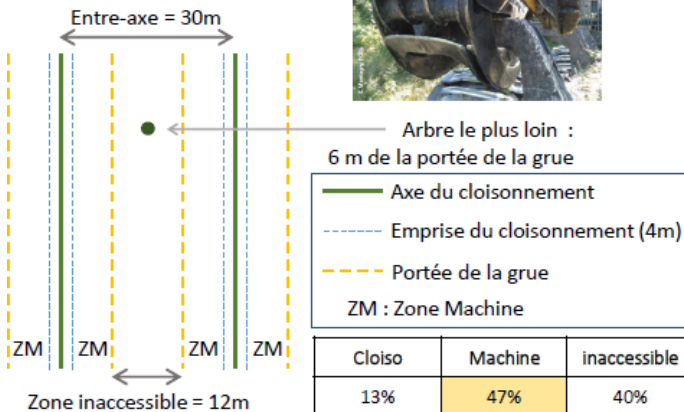
1. Exploitation mixte bûcheron-machine, avec porteur équipé d'une grue avec grappin-scie

Description générale :

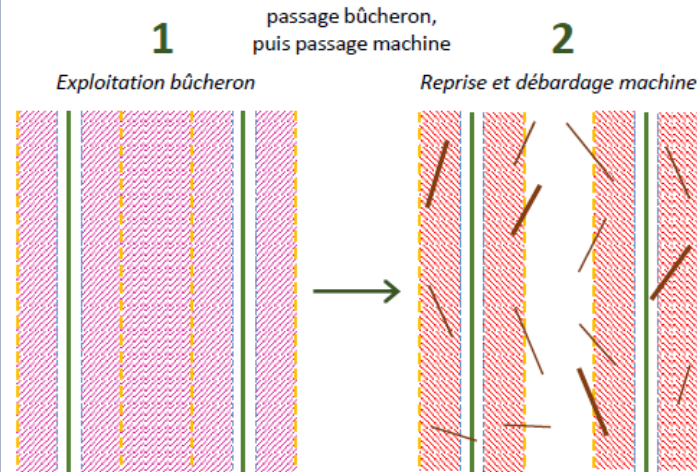
- Le peuplement est un ancien TSF géré en futaie irrégulière et cloisonné tous les 30m
- topographie : plateau, quelques petites zones de lapiaz
- Façonnage : à l'œil → - Produit : Bois Energie (BE)
- Toute l'exploitation est faite en régie, le bois d'œuvre (GB et TGB) et le BE seront donc abattu par le même bûcheron.

Outil :

- Le grappin-scie est capable de traiter des bois de dimensions comprises entre 7 et 70cm, mais uniquement lorsqu'ils sont au sol.
- La grue a une portée de 9m (voir schéma)
- L'outil de coupe est monté sur un porteur, ce qui lui permet de récolter et débarder en même temps.



Organisation de la coupe : 2 cas possibles



1. Le bûcheron abat tous les arbres marqués, en direction des cloisonnements. Ébranchage et séparation grume-houppier pour BO
2. Le porteur équipé d'un grappin-scie reprend le **bois abattu**, ainsi que les **houppiers** détachés des grumes, et **découpe** tout à la longueur de son panier, **en laissant les menus bois** sur le cloisonnement. Il **charge** au fur et à mesure les tronçons, et les **débardage**. Les grumes de BO sont tirées à la grue au bord du cloisonnement.
3. Le **débardage des grumes** est la dernière opération du chantier, elle s'effectue avec un skidder à câble.

Points positifs	Points négatifs
<ul style="list-style-type: none"> • Le grappin-scie est peu cher et robuste, il est facile à prendre en main. Sa capacité à démanteler les houppiers lui permet de traiter l'ensemble de l'arbre. Prélèvement minimum faible ? • Le montage de l'outil de coupe sur un porteur permet d'optimiser la phase de récolte, en diminuant le nombre de passages par cloisonnement. Les frais fixes sont également diminués car une seule machine est déplacée. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'entre-axe de 30m ne permet pas de couvrir l'intégralité de l'interbande, même avec une grande grue. • L'ensemble des bois est abattu par le bûcheron car le grappin-scie n'abat pas. • Le grappin-scie ne permet pas de façonner les produits à une longueur précise, on se prive donc du débouché Bois d'Industrie (BI), ce qui peut impacter la rentabilité du chantier.

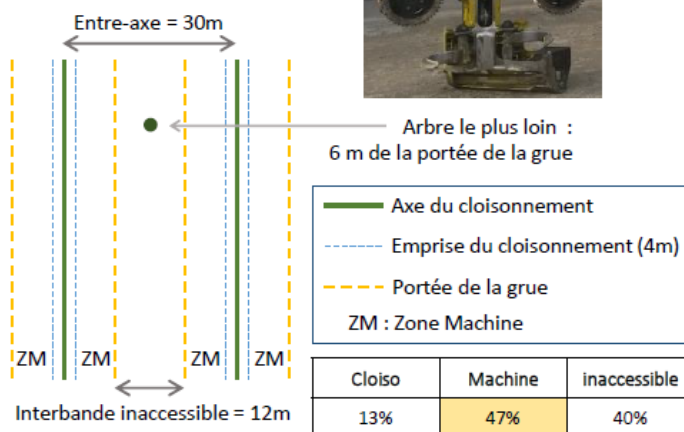
2. Exploitation à la machine de bucheronnage et au porteur

Description générale :

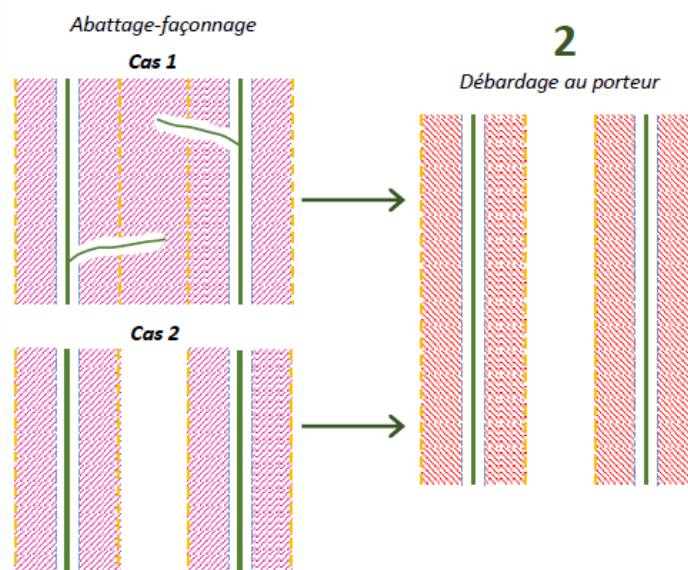
- Le peuplement est un ancien TSF géré en futaie irrégulière et cloisonné tous les 30m
- topographie : plateau, quelques petites zones de lapiaz
- Façonnage : précis → - Produit : Bois d'Industrie (BI)
- L'exploitation du bois d'œuvre se fait de manière séparée et non mécanisée. Elle n'est pas évoquée dans cette fiche.

Outil :

- La tête d'abatteuse abat, ébranche et façonne, jusqu'à un diamètre de 30cm.
- La grue a une portée de 9m (voir schéma)
- Le système prévoit une machine de bucheronnage et un porteur



1 Organisation de la coupe



Cas 1

1. La machine de bucheronnage est autorisée à entrer dans la bande pour abattre un arbre hors de sa portée depuis le cloisonnement.
2. Elle ébranche et billonne tous les arbres qu'elle abat. Le tas de billons est réalisé en bordure de cloisonnement afin qu'il soit accessible au porteur.

Cas 2

1. La machine de bucheronnage n'est pas autorisée à entrer dans la bande. Elle n'abat que les arbres qui sont à sa portée depuis le cloisonnement.
2. Elle ébranche et billonne tous les arbres qu'elle abat. Le tas de billons est réalisé en bordure de cloisonnement afin qu'il soit accessible au porteur.

→ Cas 1 et Cas 2

3. Le porteur débarde les billons, sans entrer dans les bandes.

Points positifs		Points négatifs	
La machine de bucheronnage est capable d'abattre les arbres, ses coupeurs et ses rouleaux permettent un ébranchage et un billonnage précis. Cela ouvre le débouché Bois d'Industrie.		<ul style="list-style-type: none"> • L'entre-axe de 30m ne permet pas de couvrir l'intégralité de l'interbande depuis le cloisonnement, même avec une grande grue. • La tête d'abatteuse ne peut pas traiter l'ensemble des bois marqués sur cette parcelle (trop gros, trop branchus, mal conformés) 	
Cas 1	Cas 2	Cas 1	Cas 2
La machine va pouvoir traiter l'ensemble des bois, dans les limites de diamètres sur lesquelles elle intervient.	Pas de pénétration dans la bande.	Les entrées dans la bande vont occasionner des dégâts au sol et peut-être également sur la régénération.	Une partie de la bande n'est pas traitée.

ANNEXE 3 : Tableau des principaux coefficients permettant d'évaluer les recettes liées aux exploitations

Coefficients de conversion

Memento FCBA 2019

Coefficients de conversion pour les bois ronds d'industrie

	Masse volumique brute (kg/m³)	Taux d'écorce en volume (%)	Taux d'écorce massique (%)	Taux de siccité (%)	Ratio m³a/m³ billons 2m	Masse brute du m³a (*) (kg/m³a)
Chêne	950	19	10	61	1,6 à 2,0	500 à 600
Hêtre	1 025	10	7	60	1,4 à 1,8	550 à 700
Peuplier	790	17	13	50	1,4 à 1,8	450 à 550
Châtaignier	850	12	7	58	1,4 à 1,8	475 à 600

Source : FCBA - 2011

Tous les coefficients s'appliquent à des bois ronds avec écorce, à l'entrée des usines.

Le % d'écorce entrée usine donné dans ce tableau prend en compte les pertes d'écorce liées à l'exploitation – transport – manutention. Il ne correspond donc pas au % d'écorce arbres sur pied. Ces pertes d'écorces ont pu évoluer avec le temps (changements de machines, de pratiques).

Masse volumique brute = masse brute/volume hors écorce

Taux d'écorce volumique = (volume d'écorce réel à l'entrée de l'usine/volume sur écorce) x 100

Taux d'écorce massique = (masse d'écorce/masse de bois) x 100, le tout exprimé en quantités sèches

Taux siccité = (masse de matière sèche/masse brute) x 100

Ratio m³a/m³ billons 2 m = nombre de mètres cubes apparents nécessaires pour obtenir 1 m³ réel dans le cas des billons de 2 m

Mètre cube apparent = volume commercial d'une pile de bois incluant les espaces d'air

(*) dans le cas des billons de 2 m