



INSTITUT
TECHNOLOGIQUE



PROJET PIF

(Plantations innovantes en forêt)

Tâche 5.2

Test de différentes solutions techniques pour garder en mémoire après une coupe rase l'emprise des cloisonnements dédiés à la circulation des engins



UNION EUROPÉENNE
Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural
L'Europe investit dans les zones rurales



ALSA CE CHAMPAGNE-ARDENNE LORRAINE
L'Europe s'invente chez nous



eip-agri
AGRICULTURE & INNOVATION

Christophe GINET, FCBA
Nina BONCHE, FCBA
Philippe RUCH, FCBA
Julien FIQUEPRON, CNPF-IDF
Février 2023

SOMMAIRE

1. Contexte et enjeu	3
2. Objectif	4
3. Chantier pilote	4
4. Modalités des cloisonnements numériques	5
4.1 Matériels utilisés	5
4.2 Mode opératoire du test	6
4.2.1 Modalités GPS avec relevés manuels	7
4.2.2 Modalité Orthophoto drone	8
4.2.3 Modalité Machine de bûcheronnage et GPS professionnel	9
4.3 Résultats	10
4.3.1 Ecart entre les relevés de points initiaux	10
4.3.2 Ecart de guidage GPS	11
4.3.3 Ecart depuis une orthophotographie drone RTK	13
4.3.4 Enregistrement depuis la machine	16
4.3.5 Temps et coûts de mise en œuvre	19
4.3.6 Recommandations	24
5. Modalité totems	25
5.1 Matériels utilisés et mode opératoire du test	25
5.2 Résultats	28
5.2.1 Aspects visuels	28
5.2.2 Coûts et temps de mise en œuvre	29
5.2.3 Retour d'expérience sur la mise en place de totems sur d'autres sites	31
5.2.4 Recommandations	33
6. Modalité piquets	34
6.1 Matériels utilisés et mode opératoire du test	34
6.1.1 Matériels utilisés	34
6.1.2 Mode opératoire de l'essai d'implantation	34
6.2 Résultats	35
6.2.1 Aspects visuels	35
6.2.2 Temps et coûts de mise en œuvre	36
6.2.3 Recommandations	37
Conclusion	39
Remerciements	40
ANNEXE	41

1. Contexte et enjeu

En plaine, le tassement et l'orniérage sont les principaux impacts environnementaux négatifs et durables que provoquent les engins d'exploitation dans les parcelles forestières. Il est désormais bien admis que, pour préserver les sols, il faut limiter la circulation des engins aux seuls cloisonnements d'exploitation (E. Ulrich, **RDV technique n°54**, ONF, 2017).

Au cours du temps, sur une parcelle forestière et à certaines étapes du cycle de vie des peuplements, lorsque des coupes rases sont réalisées, le réseau de cloisonnements peut ne plus être visible sur le terrain (cf. série de photos ci-dessous). Pourtant, lorsque la parcelle est replantée, il est important de retrouver l'emplacement des cloisonnements afin qu'ils soient pérennes et que la circulation des engins soit contenue dans leur périmètre et non dans les zones dédiées au boisement. La pertinence de travailler sur ces enjeux a été confirmée lors d'une tournée préparatoire en Lorraine en juillet 2021 (cf. Annexe).



Dans le cadre du projet PIF (plantations innovantes en forêt) et plus particulièrement de la tâche 5 sur les itinéraires innovants et la prise en compte des cloisonnements d'exploitation dans la future plantation, une expérimentation a été réalisée afin de tester différentes solutions pour conserver l'emplacement d'un réseau de cloisonnements sur une parcelle, d'une révolution à l'autre. Cette expérimentation a été menée par le FCBA et le CNPF-IDF avec l'appui de l'ONF.

2. Objectif

L'objectif de cette tâche est de tester différentes solutions techniques pour garder en mémoire l'emprise des cloisonnements dédiés à la circulation des engins. La finalité est de retrouver efficacement les cloisonnements après une coupe rase, même lorsque les repères au sol ont disparu. Il s'agit de garder la mémoire de la circulation des engins de manière fiable et pérenne, en vue de reconstituer un réseau identique.

Un chantier pilote a été organisé et a permis de comparer, de manière quantitative (précision, temps et coût de mise en œuvre) et qualitative (faisabilité technique, facilité de mise en œuvre, sensibilisation sur l'organisation entre acteurs) les solutions suivantes sur un même chantier :

- cloisonnements numériques relevés avec des GPS de précision, ainsi qu'avec un drone (ortho photo),
- réalisation de souches hautes dites "totems", en bordure de cloisonnements par la machine de bûcheronnage,
- implantation de grands piquets (hauteur > 2,50 m) en bordure de cloisonnements après exploitation.

3. Chantier pilote

Le chantier utilisé pour les tests est localisé en forêt domaniale de Front de Haye, dans la commune de Limey Remenauville (54). La gestion est assurée par l'Office National des Forêts et de nombreux intervenants sont amenés à intervenir sur cette parcelle : service forêts, service bois, unité de production de l'agence travaux, entrepreneurs de travaux forestiers.

C'est un peuplement d'épicéas communs scolytés de 70 ans qui va être coupé à blanc. Une coupe sanitaire a déjà été effectuée dans la partie Sud Est de la parcelle. Il s'agissait de sécuriser en priorité les abords d'une route forestière, le reste de l'exploitation a été différé en lien avec des contraintes liées au caractère mémoriel de ce site, ancien champs de bataille de 14-18. En lien avec ce caractère mémoriel, la DREAL a demandé de conserver les feuillus épars présents sur la parcelle.

Les cloisonnements sont issus d'une éclaircie systématique une ligne sur cinq. L'espacement moyen entre cloisonnements est de 15,5 m. Après la coupe rase, il est envisagé un projet de reboisement avec une plantation par points d'appuis réalisée hors cloisonnement d'exploitation. La volonté est de maintenir les cloisonnements visibles et identifiables, notamment en comptant sur l'inversion de flore suite au broyage de leur emprise tous les 2 à 3 ans. Les zones circulées, et donc potentiellement tassées, ne seront pas replantées sauf cas exceptionnels (espacement > 18 m). Les motifs de plantation ont été définis avec un écartement minimum de 18 m entre cloisonnements.

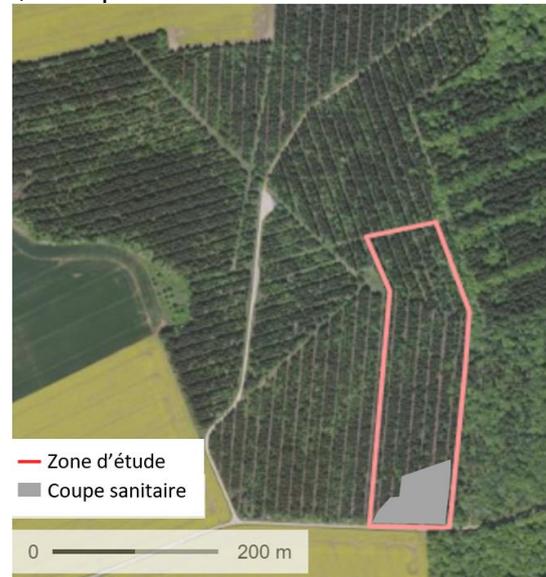


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Nom de la forêt	FD Front de Haye	Gestionnaire	ONF
Parcelle	49	Surface de la parcelle	15,42 ha
Topographie	Plat	Obstacles	Réservoir d'eau
Type de peuplement	Futaie régulière d'épicéas en mélange avec des feuillus	Essences principales (pour la zone suivie)	Epicéas 99% Feuillus 1%
Type de coupe	Coupe rase des épicéas. Les autres essences ne sont pas coupées.	Cloisonnement	Existants avec des entraxes variables de de 15 à 18 m
Hauteur moyenne du peuplement	10 à 12 m	D _{1,30m} moyen	15 cm

Présentation synthétique du chantier de test

4. Modalités des cloisonnements numériques

4.1 Matériels utilisés

Deux récepteurs GPS ont été utilisés et comparés.

i) Tout d'abord l'utilisation du récepteur GPS professionnel Trimble Catalyst. Ce récepteur a été combiné à un abonnement RTK centimétrique. Il s'agit d'un récepteur GNSS couplé au carnet de terrain Trimble TDS 600 et au logiciel ArpentGIS (un autre logiciel du marché aurait pu être utilisé). Le carnet de terrain TDS600 (IP67) aurait pu être également remplacé par un smartphone Android pour réduire le coût d'achat. Le choix de cette solution a été motivé par le rapport coût/précision qui est un des plus faibles du marché. Le coût du récepteur Trimble Catalyst et du Terminal Android TDS 600 est de 2 300 € HT. Le coût du logiciel ArpentGIS est de 690 € HT. Plusieurs formules d'abonnement sont possibles en terme de durée pour la correction centimétrique. Le tarif est dégressif en fonction de la durée. Pour un abonnement de 10h le coût est de 100 € HT.



Figure 2. Solution Trimble Catalyst

La principale limitation de cet outil est la contrainte de disposer d'une couverture réseau sur le terrain pour récupérer les fichiers de correction différentielle. L'utilisateur n'a pas besoin d'avoir un débit élevé mais il faut du réseau de téléphonie mobile. Si cette contrainte est trop forte, il est possible d'acquérir par exemple l'antenne R4S de Trimble qui est en plus compatible pour recevoir les données de correction par une communication satellitaire. Les coûts des fichiers d'abonnement sont comparables à ceux de téléphonie mobile. La grande différence est le coût de l'antenne qui est beaucoup plus onéreuse. La solution complète (avec TDC600 et ArpentGIS) revient à 12 500€.

ii) Il a également été utilisé un récepteur GPS grand public (non GNSS, constellation GPS uniquement et sans correction) intégré dans un smartphone (Samsung S9+). L'application grand public GPS Waypoint Navigator a été utilisée pour enregistrer les données. Le choix de

cette solution « dégradée » est motivé par la facile disponibilité chez tous les opérateurs équipés d'un smartphone et sans nécessité d'un investissement additionnel. Cette solution n'aurait pas été retenue initialement par l'équipe projet (précision du géopositionnement insuffisante à dire d'expert), cependant le test permet d'apporter des éléments quantitatifs pour objectiver ce cas d'utilisation.

Remarque : nous aurions souhaité utiliser également le récepteur GPS de la machine de bûcheronnage. Cependant, l'option GPS n'était pas présente sur la machine opérant sur le chantier.

iii) Une première orthophotographie a été effectuée par l'ONF avec un drone M300 (DJI) équipé d'un système de géopositionnement RTK. La zone d'étude n'a malheureusement pas été couverte correctement suite à des problèmes techniques lors du vol. La configuration de la parcelle impose de ne pas voler au-dessus de 50 mètres ce qui rend très difficile les connexions radios entre la télécommande et le drone. Il n'a pas été possible de réutiliser ce matériel pour rééditer le vol. Toutefois un deuxième vol a été effectué par l'ONF avec un drone plus petit mais également de très bonne qualité et RTK : M30 de DJI.



Figure 3. Drone M30 (DJI)



Orthophoto drone M30

Les données relevées sur le terrain ont ensuite été exploitées dans un SIG (ArcGIS mais il aurait été possible d'utiliser le SIG Open Source QGIS ou un autre SIG du marché).

Enfin un décamètre a permis de mesurer les écarts de distance sur le terrain.

4.2 Mode opératoire du test

Quatre modalités pour conserver la localisation des cloisonnements ont été évaluées :

- Relevé des cloisonnements par un opérateur à l'aide du récepteur portatif GPS professionnel

- Relevé des cloisonnements par un opérateur à l'aide d'un récepteur grand public
- Relevé des cloisonnements depuis une orthophotographie drone
- Relevé des cloisonnements depuis la machine de bûcheronnage équipée du récepteur portatif GPS professionnel

Les modalités GPS ont été majoritairement traitées sur deux cloisonnements dans la partie centrale de la parcelle. Cette parcelle est intéressante, car elle présente un coude comme illustré sur l'image ci-dessous.

Les conditions d'usage du GPS ne sont pas optimales, puisque des zones boisées encadrent les cloisonnements et engendrent du multi-trajets et de l'atténuation des signaux des satellites.

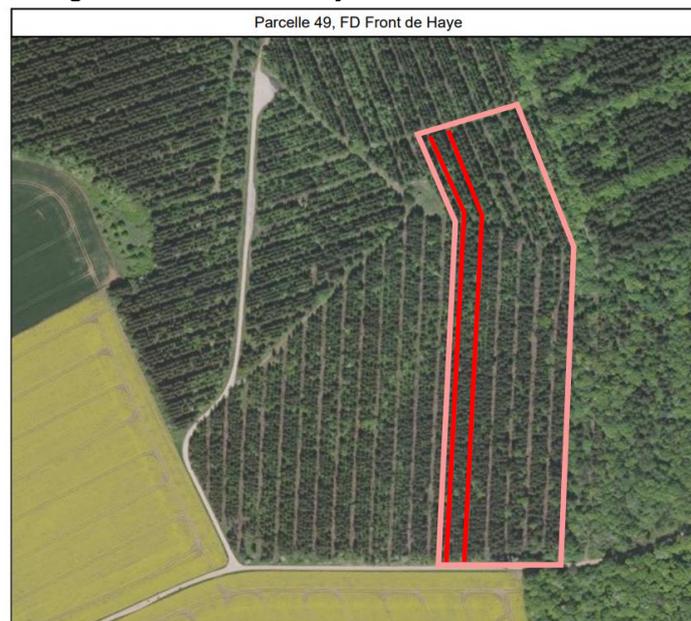


Figure 4. Cloisonnements privilégiés pour les modalités GPS

4.2.1 Modalités GPS avec relevés manuels

Le même mode opératoire a été utilisé avec le GPS professionnel et le GPS grand public. Il est décrit ci-dessous :

- Etape 1 : Arpentage initial aux GPS
Relevé sur le terrain par un opérateur à pied, de points GPS (Waypoints) le long de l'axe central d'un cloisonnement. Le même emplacement a été relevé quasi simultanément au GPS professionnel et au GPS grand public.
- Etape 2 : Mesure des écarts entre les deux récepteurs
Mesure sur un logiciel SIG de la distance en mètres entre les 2 séries de points (1 série par récepteur GPS)

Ecart initial obtenu lors de l'enregistrement de l'emplacement du cloisonnement = $E_{TCi-GPi}$ (avec TC : récepteur Trimble Catalyst, GP : récepteur Grand Public)

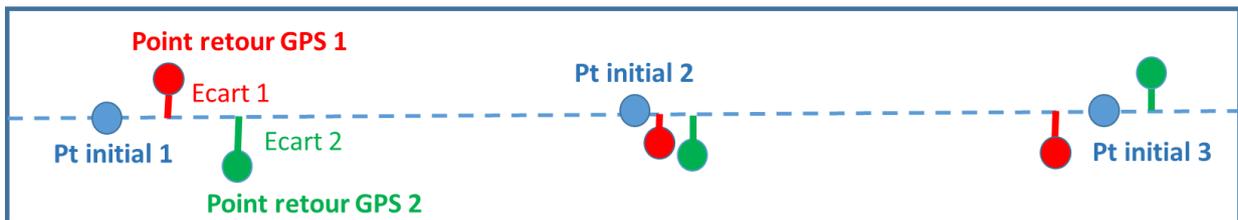
- Etape 3 : Recherche de l'emplacement du cloisonnement
Afin de valider si les modalités GPS sont compatibles avec la finalité de l'étude, c'est-à-dire enregistrer et pouvoir retrouver après coupe rase la localisation précise des cloisonnements, chaque récepteur GPS a été utilisé pour retrouver des points le long de l'axe central des cloisonnements. Concrètement, un opérateur a utilisé la fonction

GOTO d'un récepteur GPS pour naviguer jusqu'à un point. Dans la majorité des cas, le même point de référence a été utilisé pour le relevé initial GPS. Lors de cette étape, les récepteurs GPS n'ont pas été utilisés simultanément. Deux campagnes de navigation ont été conduites (à deux temps différents, mais sur la même journée). Une fois que l'opérateur est arrivé sur le point indiqué par le GPS, l'écart éventuel avec l'axe central du cloisonnement observé sur le terrain, est mesuré à l'aide d'un mètre.

Ecart au retour obtenu avec le récepteur professionnel Trimble = E_TCr

Ecart au retour obtenu avec le récepteur grand public = E_GPr

Cloisonnement n° X



- Point relevé initialement avec les 2 récepteurs GPS sur l'axe central du cloisonnement
- Point initial retrouvé après guidage a posteriori par le GPS 1 (GOTO vers le point initial)
- Point initial retrouvé après guidage a posteriori par le GPS 2 (GOTO vers le point initial)

Mesure sur le cloisonnement des écarts entre le guidage GPS et le centre réel du cloisonnement

4.2.2 Modalité Orthophoto drone

L'orthophotographie géoréférencée réalisée par drone a permis d'avoir une vue très précise et actualisée de la parcelle. Depuis un logiciel SIG, il a été possible de numériser l'axe central des cloisonnements. L'objectif du test est d'évaluer la pertinence de la numérisation par rapport à la réalité du terrain.

- Etape 1 : Réalisation de l'ortho photo drone
- Etape 2 : Numérisation des cloisonnements depuis cette image
- Etape 3 : Création de points le long des cloisonnements numérisés
- Etape 4 : Recherche de l'emplacement du cloisonnement
Le récepteur GPS professionnel a été utilisé pour rechercher l'emplacement des cloisonnements. La méthode de navigation utilisée dans la modalité précédente a été utilisée. Une fois que l'opérateur est sur le point indiqué par le GPS, l'écart éventuel avec l'axe central du cloisonnement est mesuré à l'aide d'un mètre.
Il n'a pas été retenu d'utiliser le récepteur grand public jugé trop imprécis par rapport à la précision recherchée.

Ecart obtenu avec le récepteur professionnel Trimble = $Ecart_TCr_DepuisOrtho$

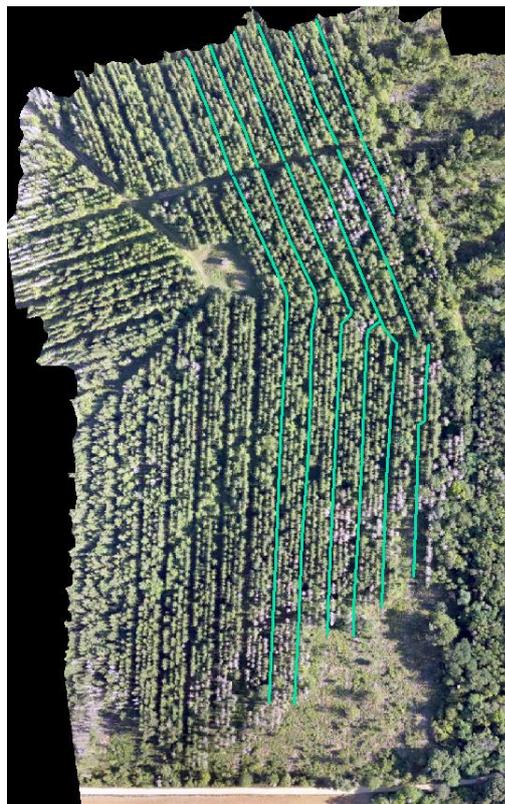


Figure 5. Numérisation des cloisonnements sur base de l'orthophoto M30

4.2.3 Modalité Machine de bûcheronnage et GPS professionnel

Bien que l'option GPS ne soit pas présente sur la machine du chantier, un test a été effectué afin d'évaluer la faisabilité d'utiliser le récepteur GPS professionnel RTK depuis la cabine de la machine.

Modèle : Komatsu 911, 6x6

Année : 2017

Horamètre : 10 441 h

Grue : Komatsu 200H, portée de 11 m



Machine de bûcheronnage utilisée sur le chantier

L'antenne a été fixée sur le toit de la cabine. Du fait de contrainte technique, il n'a pas été possible de la positionner sur l'axe médian longitudinal de la machine (au milieu du toit de la cabine) mais sur un côté.



Mise en place de l'antenne GPS sur un côté de la cabine (à 20 cm du bord de la cabine) derrière le phare pour la protéger des éventuelles branches.



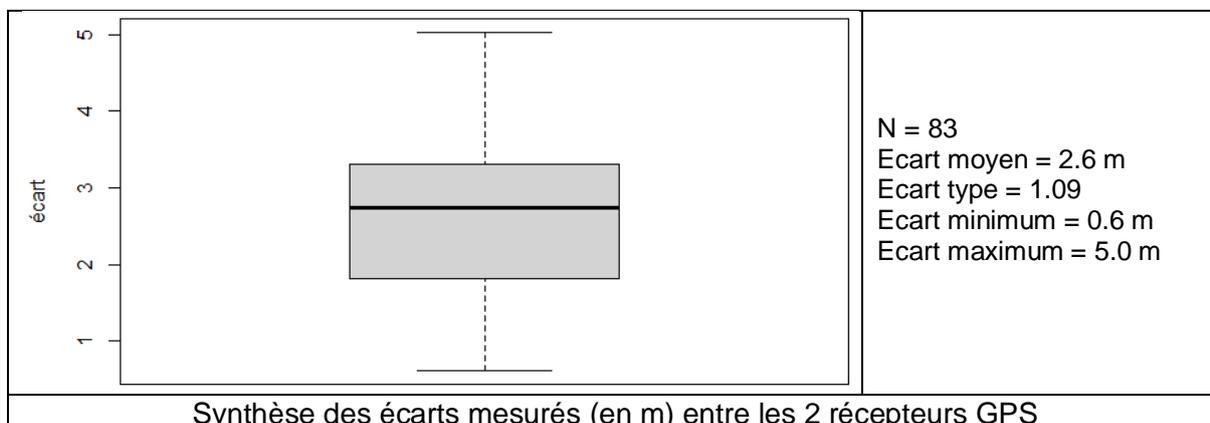
Installation de l'antenne du récepteur

Deux modalités d'enregistrement ont été testées. D'une part, la trace de la machine avec un enregistrement continu et automatique, d'autre part, des enregistrements ponctuels le long de son cheminement dans le cloisonnement par un opérateur dans la machine.

4.3 Résultats

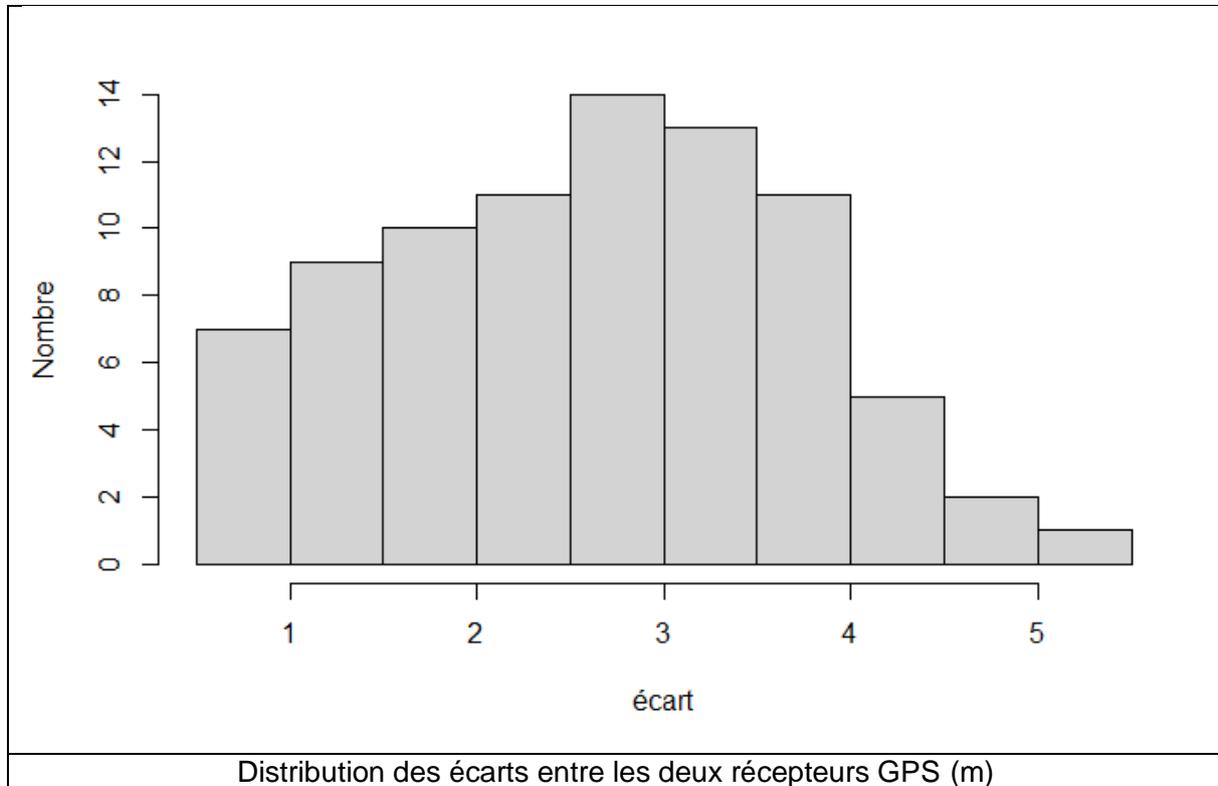
4.3.1 *Ecart*s entre les relevés de points initiaux

Les mêmes points sur l'axe central des cloisonnements ont été relevés avec chacun des récepteurs GPS. Au total, ce sont 83 points qui ont été collectés. La moyenne des écarts de positionnement est de 2.6 m et la variance de 1.09.



Synthèse des écarts mesurés (en m) entre les 2 récepteurs GPS

Dans la représentation ci-dessus, la barre centrale en gras représente la valeur médiane, le bas du rectangle la valeur du 1^{er} quartile et le haut la valeur du 3^{ème} quartile. 50% des valeurs sont donc à l'intérieur de la boîte.

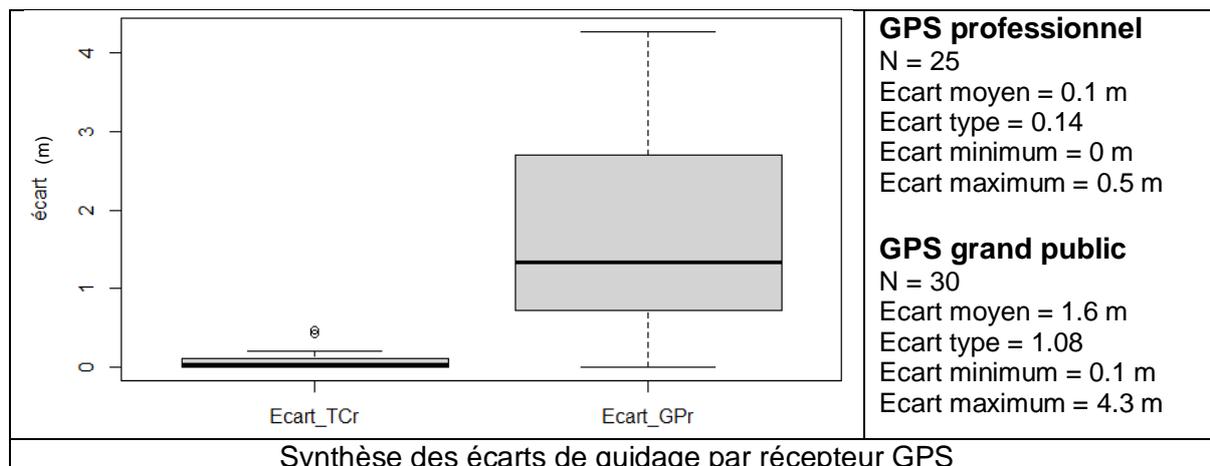


L'écart entre les deux récepteurs GPS est très important si on le ramène à la largeur de 4 m généralement utilisée pour un cloisonnement d'exploitation. Les classes d'effectifs les plus importantes sont entre 2.50 m et 3.50 m. On peut supposer que la variabilité vient majoritairement du GPS grand public. Ce point sera validé avec les résultats suivants.

4.3.2 Ecart de guidage GPS

Chaque récepteur GPS a été utilisé pour retrouver des points sur l'axe central des cloisonnements. L'objectif est de démontrer si la méthode GPS est fiable pour retrouver un cloisonnement après coupe rase et en l'absence de points de repère.

Il ressort qu'en utilisant le récepteur GPS professionnel (Trimble Catalyst avec abonnement RTK centimétrique), la moyenne des écarts avec la réalité terrain est de 0.1 m.

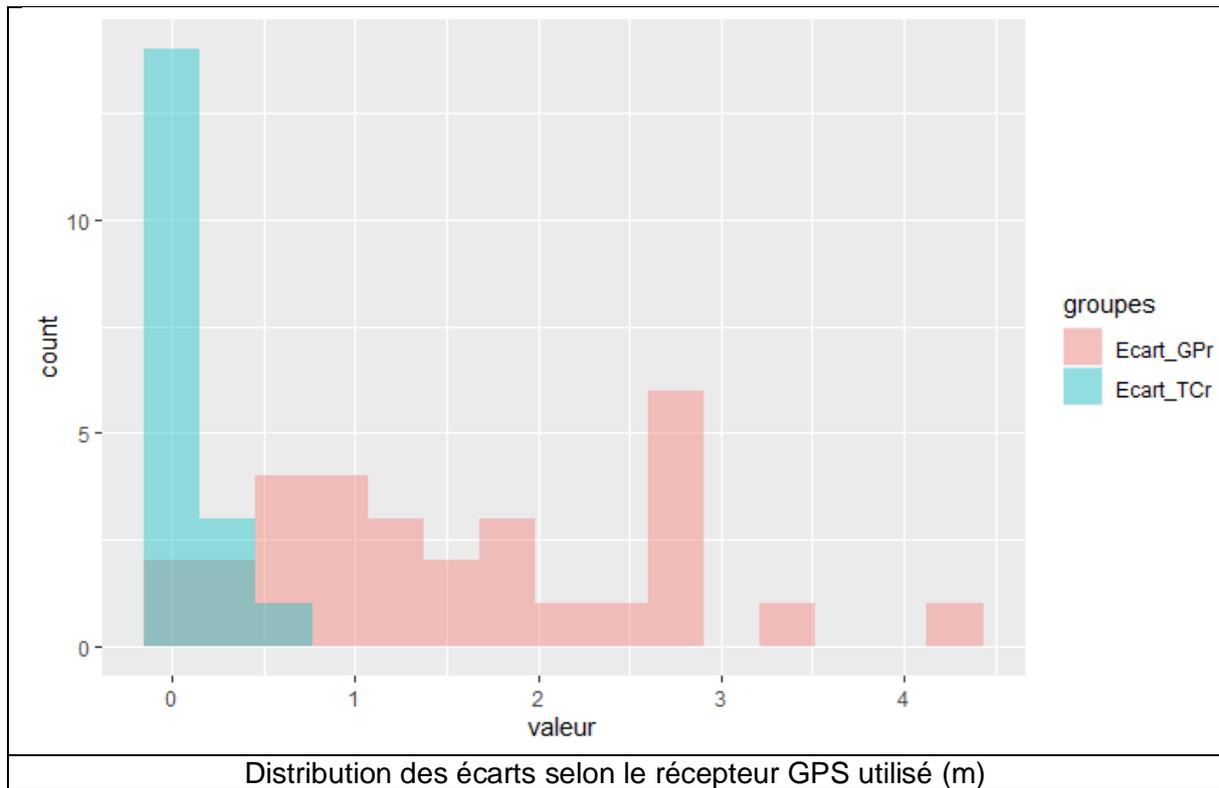


Le test de guidage GPS a été effectué en août 2022, alors que les mesures initiales ont été faites en mai 2022. Il est important de préciser qu'entre temps, les cloisonnements se sont salis par la végétation arbustive (aubépine en particulier) et il était assez difficile de se déplacer d'un point à un autre. Les effectifs sont donc plus faibles que lors des relevés initiaux.

La variabilité du GPS grand public est beaucoup plus importante que celle du GPS professionnel. Les variances sont significativement différentes et il en est de même pour les moyennes. Les résultats montrent que la méthode GPS professionnel (TCr) est significativement meilleure que la méthode GPS grand public (GPr).

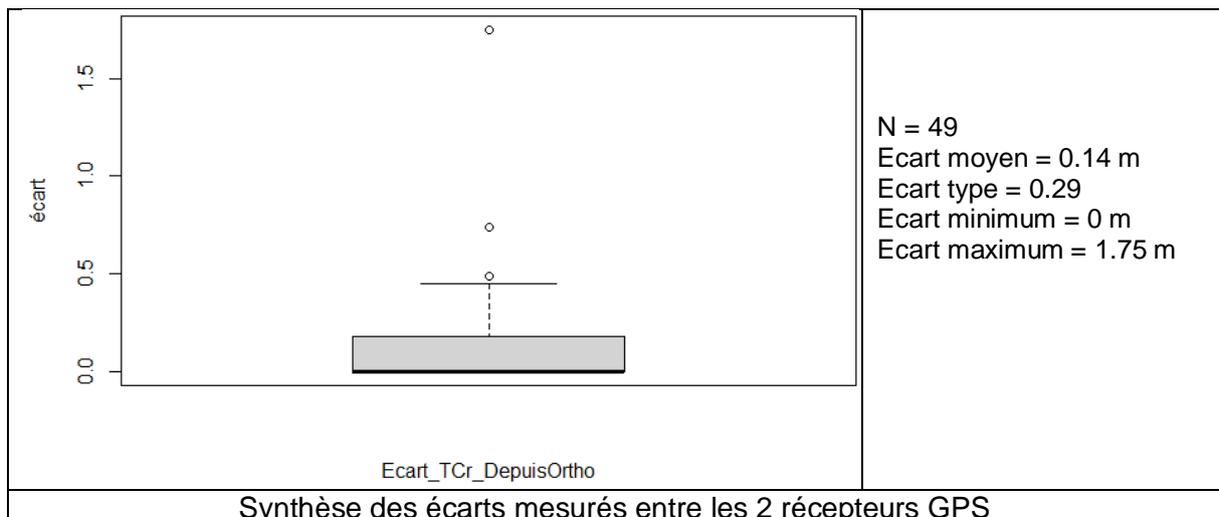
Les écarts induits par le GPS grand public ne sont pas compatibles avec les objectifs annoncés (retrouver les cloisonnements). En effet, le GPS grand public induit un écart de guidage qui varie globalement entre 0.1 m et près de 4.3 m avec des effectifs importants entre 2.5 m et 3 m comme le montre le graphique ci-dessous. Pour des cloisonnements de 4 m de large, ce matériel va à l'encontre de l'objectif de conserver la trace du cloisonnement et qui est de ne jamais circuler sur la bande boisée. Inversement, le GPS professionnel RTK présente une distribution très resserrée (écart moyen de 0.1m pour un écart type de 0.14 et un écart maximum de 0.5m) et beaucoup plus adaptée à la problématique.

L'illustration suivante indique en bleu clair la distribution des effectifs pour le récepteur professionnel seul, en rose pour le récepteur grand public seul et en bleu foncé la partie commune aux deux récepteurs.



4.3.3 Ecarts depuis une orthophotographie drone RTK

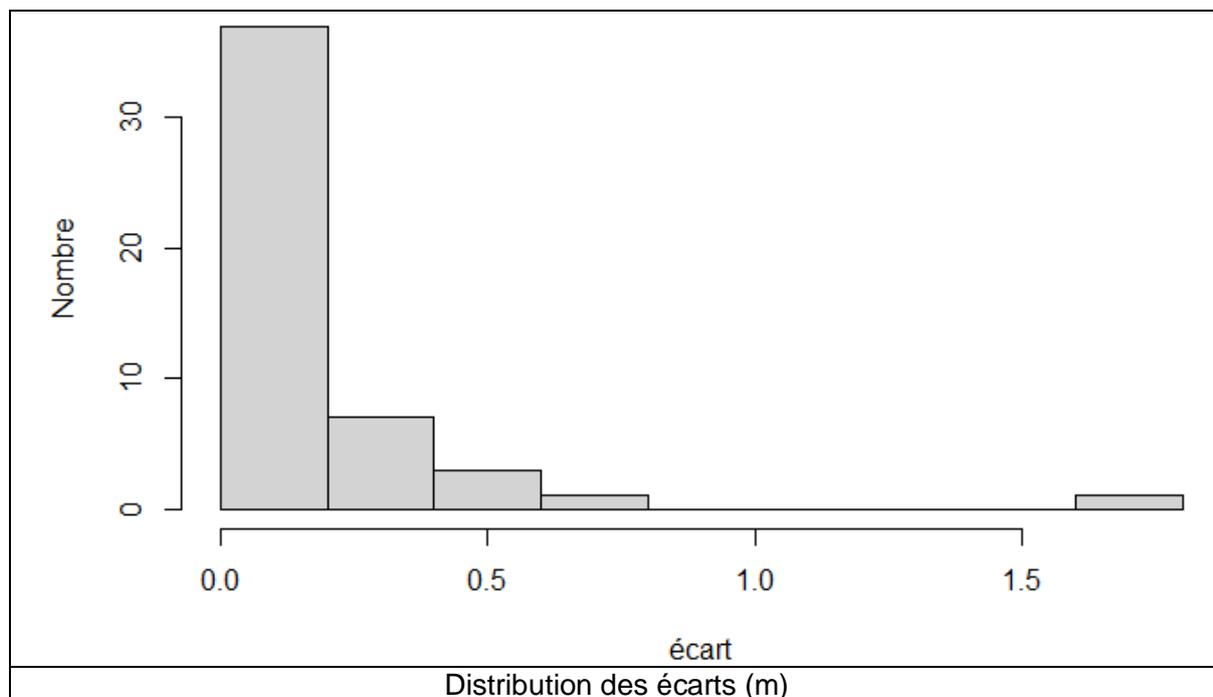
Lorsqu'on numérise l'axe central des cloisonnements depuis une orthophotographie obtenue avec le drone RTK M30 et que l'on navigue au GPS professionnel pour retrouver les points des centres de cloisonnement, on obtient des écarts en moyenne très faibles de 0.14 m par rapport au centre réel du cloisonnement observé sur le terrain et avec un écart type de 0.26.



En faisant des tests de comparaison de moyennes et de variances entre l'orthophoto et le TCr, on trouve que la variance du TCr est significativement plus faible que celle de l'orthophoto

(sûrement dû au point de valeur 1.75). En revanche, il n'y a pas de différence significative entre les moyennes.

Hormis cette valeur particulièrement élevée (1.75), cette méthode est plutôt efficace avec plus de 75% des valeurs inférieures à 0.2 m. Le graphique suivant présente la distribution des écarts en mètres.



L'écart moyen est très comparable à celui obtenu avec la méthode du relevé initial au GPS professionnel. Ces résultats confirment d'une part que la réalisation d'une orthophoto drone RTK est assez précise pour numériser les cloisonnements.

A titre d'information, il n'est pas envisageable d'exploiter la BD ORTHO de l'IGN pour numériser les cloisonnements d'une parcelle. En effet, cette donnée est compatible avec des échelles numériques de travail de l'ordre de 1/2000 à 1/1000, ce qui est insuffisant pour relever des coordonnées géographiques. Il y aurait un décalage de retour sur le terrain comme illustré ci-dessous.

<p>BD ORTHO IGN à l'échelle 1/1000 (limite d'échelle de la donnée)</p>	<p>ORTHO Drone à l'échelle 1/1000</p>
<p>BD ORTHO IGN à l'échelle 1/500 (hors limite d'échelle de la donnée)</p>	<p>ORTHO Drone à l'échelle 1/500</p>
<p>BD ORTHO IGN à l'échelle 1/100 (hors limite d'échelle de la donnée)</p>	<p>ORTHO Drone à l'échelle 1/100</p>

Les illustrations ci-dessous mettent en évidence, sur un point de repère (angle de toit), le décalage entre les deux sources de données. Un point bleu a été numérisé au 1/100 au niveau de l'angle de toit de la BD ORTHO de l'IGN. Un point rouge a été numérisé au 1/100 au même niveau mais depuis l'ortho du drone. On observe un décalage de 0.92 m entre les deux points. L'objet de test est juste d'attirer l'attention sur l'importance d'utiliser un fond repérant à sa bonne échelle.

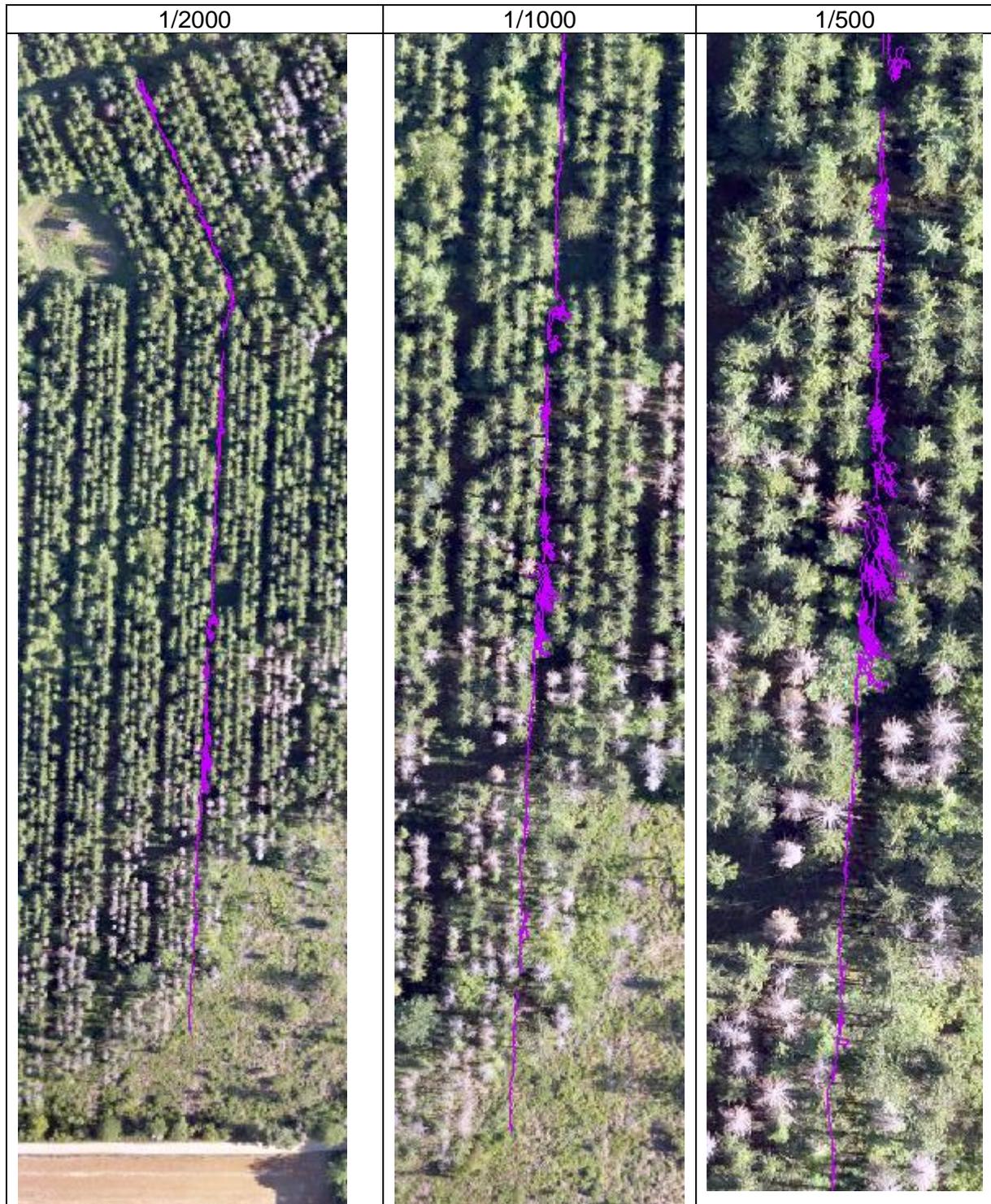


4.3.4 Enregistrement depuis la machine

L'enregistrement en continu de la trace de la machine, même avec un récepteur GPS professionnel avec abonnement RTK de précision, n'est pas rectiligne (le constat serait d'ailleurs le même avec un opérateur qui marche en ligne droite). En fonction de l'échelle (1/2000, 1/1000, 1/500) les irrégularités sont plus ou moins prononcées (voir les trois photos qui suivent). De plus, la machine qui travaille dans le cloisonnement est amenée à se déplacer de gauche à droite pour permettre à la tête de bûcheronnage d'agripper tous les arbres ce qui amplifie les irrégularités du linéaire.

L'utilisation des données enregistrées par une machine de bûcheronnage ou un porteur en mode trace donc n'est pas recommandée. Les résultats seraient un peu meilleurs avec un broyeur qui travaille de manière beaucoup plus rectiligne. Ces résultats montrent qu'il est toujours préférable, pour relever une ligne, de prioriser l'enregistrement de points depuis une machine (machine de bûcheronnage, porteur ou broyeur) ou via un opérateur et ensuite relier ces points pour matérialiser les cloisonnements.

Les données suivantes sont présentées à titre d'illustration. Il n'a pas été réalisé de transformation pour corriger le décalage d'antenne par rapport au milieu de la machine. Une translation de 40 cm vers la droite aurait pu être envisageable (cabine de 1.20 m de large).



Il semble difficile d'exploiter directement cette donnée. Il est toutefois possible de tracer l'axe moyen, mais cette information ne donnera qu'approximativement la localisation du cloisonnement.

Numérisation de l'axe moyen sur base des ponctuels enregistrés dans la machine (1/2000 et zoom au 1/250)



Le test montre qu'il est possible d'exploiter la donnée enregistrée depuis une machine pour autant que le récepteur GPS dans la machine soit de qualité suffisante et que l'enregistrement est en mode point (et que la machine n'avance pas au moment de l'enregistrement d'un point).

4.3.5 Temps et coûts de mise en œuvre

- Coût de mise en œuvre

La modalité d'utilisation d'un GPS professionnel nécessite d'investir dans ce type de matériel. De plus en plus d'entreprises sont d'ailleurs déjà équipées pour des besoins de sylviculture et de gestion forestière. Un matériel d'entrée de gamme comme celui utilisé coûte environ 3 000 € (avec le logiciel permettant de préparer son carnet de terrain). Un abonnement est à prévoir et différentes formules sont possibles et détaillées dans le tableau ci-dessous. Globalement et sans équipement existant, un budget de 3 500 € HT est nécessaire. Ce type de matériel est très facile à utiliser, mais nécessite toutefois une prise en main lors de l'achat (1/2 journée) et un peu d'expérience pour une utilisation optimale.

La modalité grand public ne nécessite pas d'investissement particulier mais elle n'est pas adaptée à la problématique.

La modalité drone nécessite un investissement conséquent. En effet, un équipement de base de 25 000 € est nécessaire. Il faut ajouter un certificat d'aptitude de télépilote drone. A ceci s'ajoute un récepteur GPS professionnel (pour retrouver les informations sur le terrain). Soit un budget d'environ 35 000 € qui peut se justifier pour une entreprise qui a un nombre élevé de parcelles à traiter. Une option est de recourir à un prestataire de service pour la réalisation de l'ortho photographie. Dans ce cas, un budget d'environ 500 à 1 000 € est à prévoir par parcelle.

	Modalité GPS Professionnel	Modalité GPS Grand Public	Modalité drone
Equipement	GPS Trimble Catalyst : 3 000 € Abonnement : 10 € / h (formule 10h = 100 € formule 50 h = 480 € formule 1 an = 3 475 €)	GPS intégré au smartphone Application gratuite ou une dizaine d'euros selon le choix de l'utilisateur Pas adaptée au besoin	Drone RTK (et équipements) - Si M30 : 25 000 € - Si M300 : 45 000 € Logiciels de traitement : 5 000 € Certificat d'aptitude GPS Professionnel (exemple du Trimble Catalyst : 3 000 € + Abonnement : 10 € / h)
Coût	≈ 3 500 € (Equipement + Abonnement 50h)	Gratuit	≈ 35 000 € ou en prestation de service pour l'orthophoto (500 à 1 000 € / parcelle) + GPS

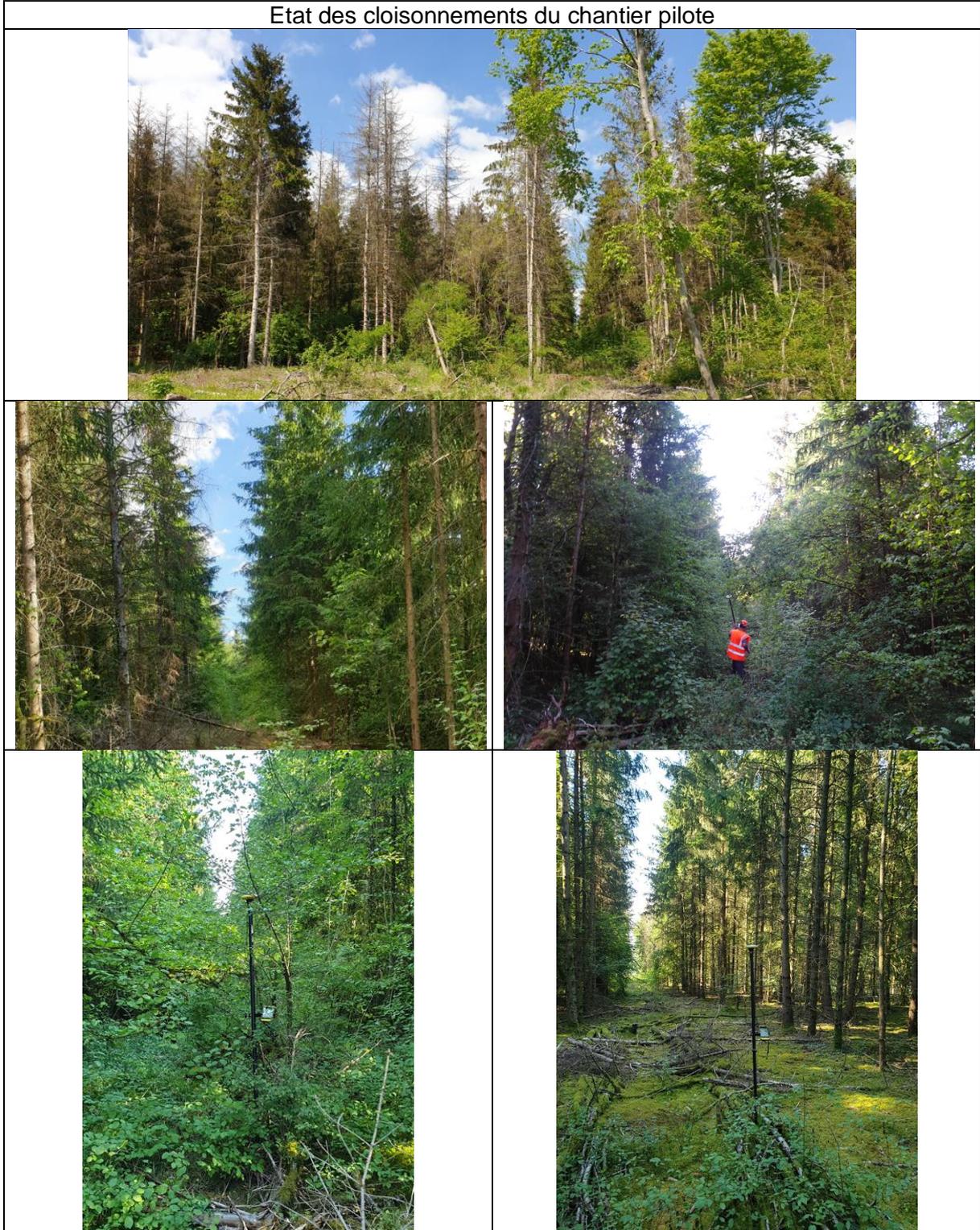
Synthèse des coûts de mise en œuvre

- Temps de mise en œuvre

La modalité de relevé au GPS de l'axe central des cloisonnements nécessite un arpentage dans la parcelle. Cette étape suppose donc un déplacement qu'il est possible de combiner avec une opération sylvicole ou autre. Le temps d'arpentage est variable en fonction de la configuration du terrain (plat ou en pente) et du degré d'obstruction des cloisonnements.

Dans le cas du chantier pilote, le terrain est plat mais les cloisonnements sont majoritairement recouverts par de la végétation herbacée et semi-ligneuse qui entrave les déplacements avec la canne GPS. La dynamique de végétation a été particulièrement forte au cours de l'expérimentation. Quelques portions étaient en revanche très accessibles. Les photos ci-dessous illustrent les conditions d'arpentage dans les cloisonnements.

Etat des cloisonnements du chantier pilote



Lorsque les cloisonnements sont très rectilignes, il est possible de gagner du temps en relevant uniquement les extrémités et en se déplaçant perpendiculairement le long de l'extrémité pour passer rapidement d'un cloisonnement à un autre. C'est ce qui aurait pu être possible dans la configuration du chantier pilote. Toutefois même dans cette configuration d'apparence simple, la présence des coudes en milieu de la parcelle nécessite une surdensité des points à relever sur cette zone.



Relevé dans une zone d'irrégularités de cloisonnements

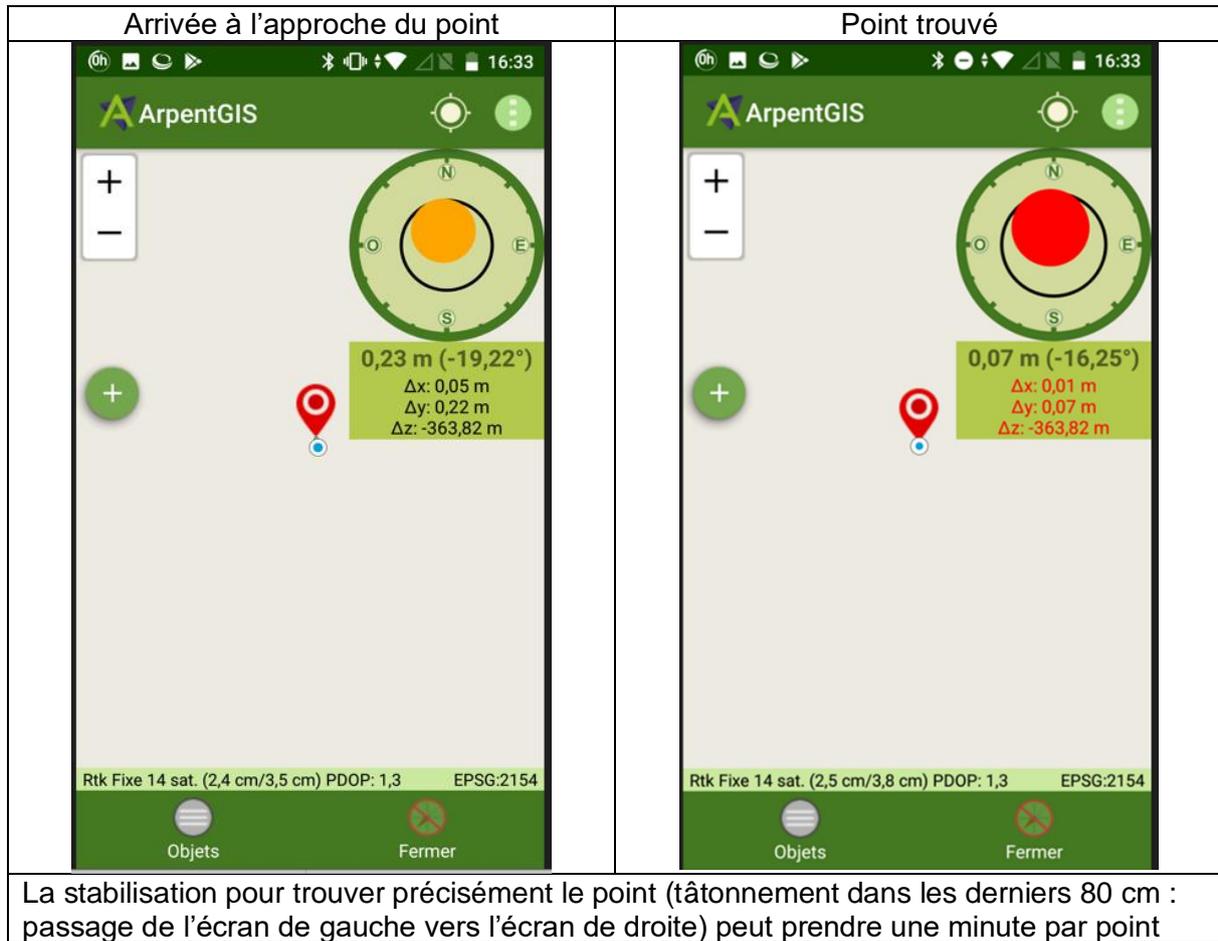
La multiplicité des constellations de satellites rend de plus en plus facile l'usage du GPS en forêt. Il n'est plus obligatoire de préparer sa sortie terrain (en analysant a priori la qualité de la constellation). Toutefois dans certaines configurations, les conditions ne sont pas réunies pour un relevé de qualité. L'utilisateur doit être attentif aux paramètres de contrôle (PDOP et indicateur de précision notamment) et il est possible de bloquer la saisie si les conditions ne sont pas réunies. Des points déports peuvent aussi être enregistrés si besoin : lorsqu'il y a impossibilité de relever un point, il est possible de relever deux points à une distance spécifiée du point recherché et le GPS extrapole avec ces informations la coordonnée du point recherché.

Le temps de collecte des points aux extrémités des cloisonnements est très rapide, lorsqu'on se déplace perpendiculairement sur un chemin. A titre d'exemple, dans la configuration du chantier pilote (environ 15 m entre 2 axes de cloisonnement), l'opérateur met 30 secondes pour saisir le point et passer au point suivant. Sur cette base, 100 m de côté de parcelle peuvent être relevés en 4 minutes. Le temps de passer à l'autre extrémité de la parcelle (à pied ou en voiture selon la configuration), une parcelle d'un hectare peut être relevée en moins de 30 minutes.

La gestion des données au bureau est assez rapide et 1 heure peut être suffisante pour le traitement.

Pour la fonction de recherche d'un point (matérialiser les cloisonnements après la coupe rase), il est possible de l'effectuer manuellement au GPS avec un opérateur. Dans ce cas, un temps supplémentaire (par rapport au temps mis à enregistrer la localisation) est nécessaire à proximité du point recherché. En effet, quand l'opérateur arrive dans un rayon de 50 cm à 1 m autour du point il faut déplacer la canne plusieurs fois pour arriver au point recherché. Cette opération peut être plus ou moins longue et nécessite un peu d'expérience de la part de l'opérateur. En moyenne et en mode recherche d'un point on peut estimer le temps d'approche nécessaire à 1 minute par point. A ceci doit être ajouté le temps de déplacement d'un point à un autre qui dépend de l'état du cloisonnement. Il est possible de réduire significativement le temps de stabilisation GPS en fonctionnant par ligne plutôt que par point.

Remarque : les récepteurs GPS grand public ne sont pas du tout adaptés à de la navigation pour rechercher précisément un point. Ils ne permettent que de s'en approcher et demande un utilisateur averti pour maîtriser l'approche et décider de l'arrêt. Cette problématique n'est pas plus développée car ces récepteurs ne sont pas recommandés pour le besoin étudié.



En pratique, une fois la localisation des cloisonnements enregistrée, l'objectif est d'équiper le broyeur d'un système de barre de guidage (et non de matérialiser manuellement les cloisonnements) lui permettant de visualiser le positionnement de sa machine par rapport à l'emprise du cloisonnement, afin qu'il travaille toujours en restant dans le cloisonnement. Cette manipulation n'a pas été testée. En revanche, les résultats de l'étude montrent que la machine doit être équipée d'un GPS professionnel de type RTK de bonne précision. Le principe a été illustré ci-dessous.

Simulation d'une opération de broyage avec un équipement embarqué qui exploiterait la numérisation des cloisonnements : le GPS permettrait de vérifier le centrage par rapport à l'axe du cloisonnement



A noter qu'une note comparative de deux systèmes de guidage GPS a été réalisée dans le cadre du projet PIF dans le cas d'une utilisation pour l'ouverture de cloisonnements.

Pour la modalité drone, il y a un temps de préparation de vol et de procédures administratives plus ou moins contraignantes en fonction de la localisation de la parcelle. Tout télépilote est formé à cette étape. On peut l'estimer à une heure par chantier. Ce temps peut être réduit avec l'expérience. Le vol en lui-même est très rapide et en général souvent inférieur à 20 minutes. Toutefois il n'est pas rare que la prise de vue soit de médiocre qualité (vent, mauvaise réception) et qu'il faille recommencer un vol. Comme il y a un post traitement, cela impose de retourner une nouvelle fois sur la parcelle. Le traitement en lui-même, nécessite un logiciel spécialisé et un ordinateur avec suffisamment de mémoire RAM. Globalement, il faut prévoir une 1/2 journée (une journée en condition difficile ou pour un débutant ou pour une grande parcelle) pour une campagne drone.

	Modalité GPS Professionnel	Modalité GPS Grand Public	Modalité drone
Relevé initial	Arpentage GPS (1 opérateur) : 30' / ha en cloisonnements rectilignes (relevé des extrémités uniquement) Intégration BDD SIG : 1h		Préparation du vol (1h) Vol drone (<20 minutes) + traitement (2h ou plus)
	Si possible à effectuer avec un déplacement déjà prévu sur la parcelle Fonction de la rectitude et de l'état des cloisonnements		En interne si équipement ou via un prestataire Prévoir 1/2 journée par campagne (préparation vol, vol, traitement)
Recherche des cloisonnements	Plus long que le relevé initial du fait du temps de stabilisation du GPS. Un opérateur débutant peut mettre le double de temps que pour le relevé initial. Prévoir 1 minute par point (stabilisation) + le temps de déplacement vers le point.		

Synthèse des temps de mise en œuvre

- Organisation

Une fois le réseau de cloisonnements relevé, il est très important de stocker l'information et la rendre accessible à tous les futurs intervenants. La donnée doit être stockée dans la BDD du SIG de l'entreprise (données de référence). Elle peut être, si besoin, exportée et stockée indépendamment de la base de données et sous forme de fichiers enregistrés dans un répertoire, dont le maximum d'opérateurs peut avoir accès pour un partage et une diffusion plus facile.

Chaque entreprise doit préciser, décrire dans une note de procédure l'organisation mise en place.

4.3.6 *Recommandations*

- Enregistrement initial de la localisation du réseau de cloisonnements

L'expérimentation montre qu'il est possible d'enregistrer la localisation des cloisonnements en utilisant un GPS RTK professionnel. Moins il y a d'obstacles à la réception des signaux GPS, meilleure sera la précision. Si les relevés doivent être effectués au moment de la coupe rase, l'opérateur devra être d'autant plus attentif à la qualité de sa numérisation.

La mise en œuvre peut être effectuée par un opérateur à pied ou en système embarqué depuis une machine. La modalité à utiliser est l'enregistrement de points. La modalité machine évite le temps d'arpentage mais peut présenter une moindre précision. Dans tous les cas, il faut être attentif aux paramètres de qualité de l'enregistrement.

L'utilisation d'une ortho photographie drone est très intéressante car la partie terrain est très rapide mais la mise en œuvre est plus onéreuse et complexe.

	Modalité GPS Professionnel	Modalité Ortho drone	Modalité GPS dans machine
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser un récepteur professionnel RTK centimétrique - Equipement bon marché aujourd'hui - Apprentissage rapide - Précis 	<ul style="list-style-type: none"> - Collecte de données très rapide - Une sous-traitance peut être intéressante - Précis - Photographie peut être aussi valorisée à d'autres fins 	<ul style="list-style-type: none"> - Envisageable sur porteur ou machine de bûcheronnage ou broyeur (couplage possible avec l'interface cartographique des porteurs et machines de bûcheronnages) - Idéalement privilégier un relevé à une période de la vie du peuplement ou il y a peu de couvert (obstacles aux signaux GPS) - Utiliser un GPS professionnel RTK centimétrique intégrée à la solution embarquée - Formation du chauffeur à prévoir
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Temps d'arpentage sur le terrain - Précision dépendante des conditions du terrain (obstacles, multi-trajets, réseau...). Privilégier l'opération lorsqu'il y a peu d'obstacles à la réception des signaux 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps de post traitement - Risque d'une mauvaise prise de vue et donc de devoir refaire le vol (vent, réseau...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Investissement dans un équipement avec une solution de barre de guidage adaptée pour le broyeur - Moins adapté aux machines de bûcheronnage et porteur qui se déplace obliquement (orientation de la machine) dans un cloisonnement - Prendre soin de l'antenne GPS externe

Forces et faiblesses des différentes modalités pour l'enregistrement initial des cloisonnements

- Retrouver l'emplacement des cloisonnements

Il est possible de retrouver l'emplacement des cloisonnements avec un opérateur équipé d'un GPS professionnel RTK. La méthodologie est la même que celle utilisée pour le test. Toutefois en situation réelle, il faut privilégier l'équipement d'un broyeur avec une solution de barre de guidage dans laquelle la couche du réseau de cloisonnements est importée. Le géopositionnement de la machine doit provenir d'un GPS professionnel RTK avec abonnement centimétrique. Les relevés GPS des cloisonnements présentent en outre l'intérêt de rester utilisables en contexte post tempête.

	Modalité GPS Professionnel	Modalité Ortho drone + GPS	Modalité GPS dans machine (à privilégier)
Avantages	Bon marché (arpentage d'un opérateur)		Optimisation du temps (en même temps que le broyage)
Inconvénients	Temps d'arpentage sur le terrain qui peut être relativement long pour une précision maximale Matérialisation du cloisonnement fastidieuse (piquets, peinture)		Investissement à prévoir dans une solution embarquée (logiciel barre de guidage + GPS RTK professionnel)

Forces et faiblesses des différentes modalités pour réimplanter les cloisonnements initiaux

5. Modalité totems

5.1 Matériels utilisés et mode opératoire du test

Lors de l'exploitation, des souches hautes ("totems") sont conservées par le chauffeur de la machine, en bordure de quatre cloisonnements. La modalité a été testée sur ces cloisonnements car ils présentent des coudes et des embranchements intéressants à matérialiser (comme on peut le voir sur l'image ci-dessous).

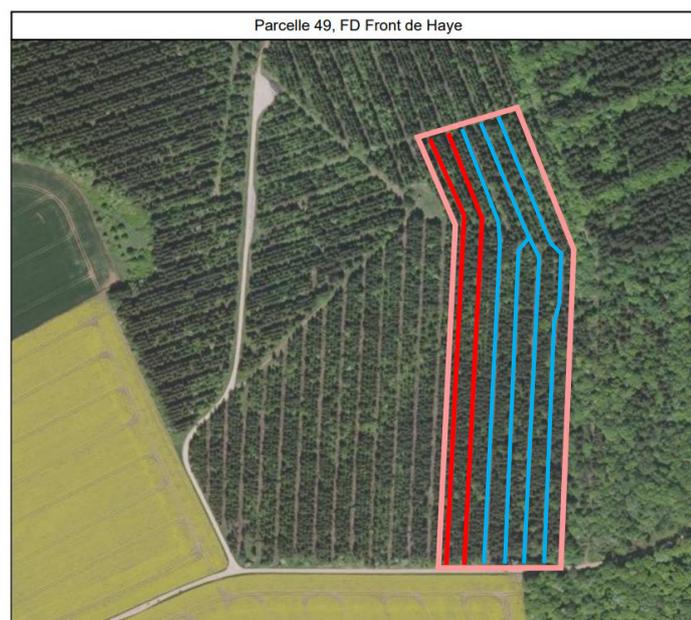


Figure 6. Cloisonnements retenus pour la modalité totems (en bleu)

Le mode opératoire est décrit ci-dessous :

- Etape 1 : Marquage des arbres "totem"
Pré-repérage et marquage des arbres "totem" à la peinture avant la coupe. Les totems sont marqués à la bombe de peinture (signe : " T " sur chaque face) à 2 m de hauteur environ pour être sûr d'être visible par le chauffeur dans l'abatteuse. Pour s'assurer de la hauteur de positionnement du "T" et de l'homogénéité du marquage des différents opérateurs, une tige bambou avec une marque à 2 m a été utilisée. Positionnée le long du tronc, elle facilitait le repérage de la hauteur voulue.

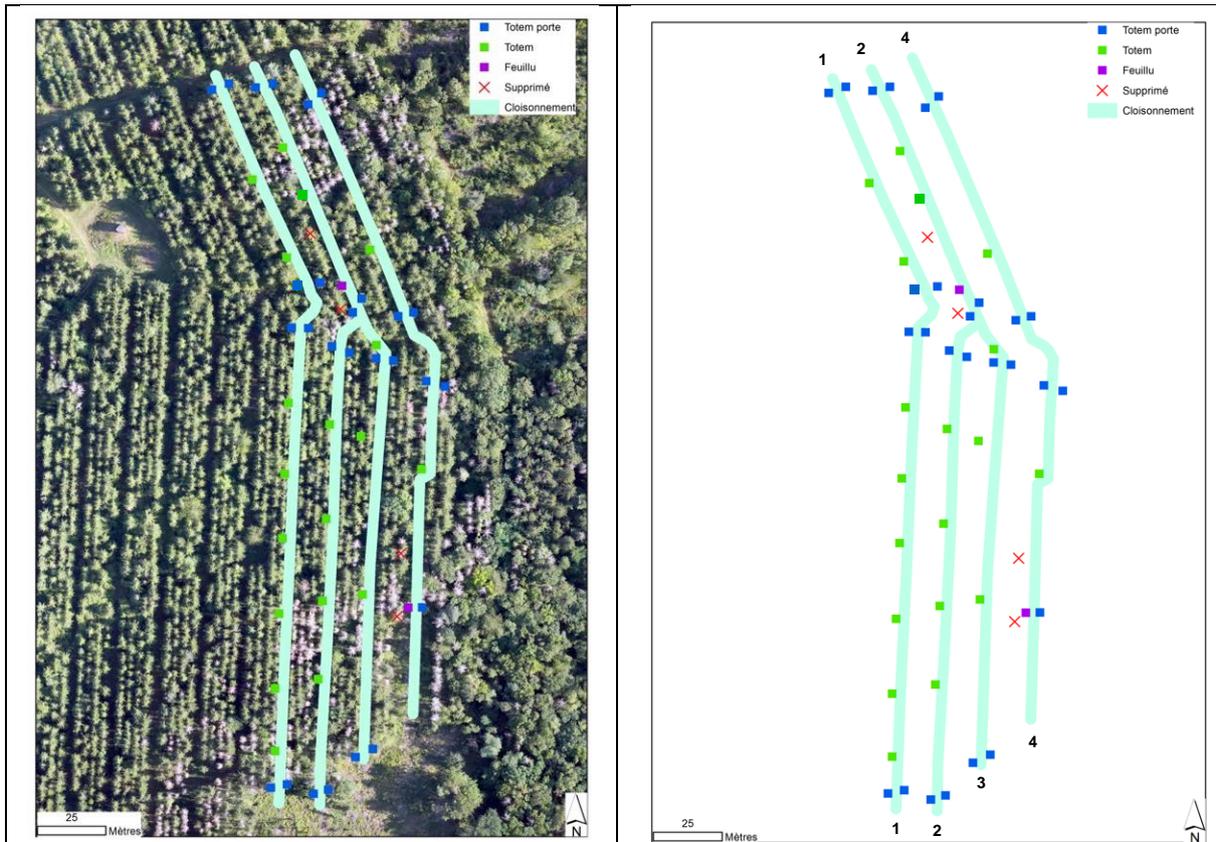
Il a été décidé de retenir deux arbres de part et d'autre du cloisonnement en début et fin de cloisonnement, pour bien matérialiser l'entrée et la sortie par une forme « de porte ». Pour matérialiser les "passages difficiles", autrement dit les coudes et les embranchements, une porte à l'entrée du passage et une deuxième à sa sortie ont été mises en place.

Le long du cloisonnement, les totems mis en place se trouvaient d'un seul côté, toujours le même sur les quatre cloisonnements. Deux intervalles différents entre totems ont été testés : 30 et 60 m, afin de faciliter le choix du bon compromis entre visibilité et perte de matière. L'espacement variait ainsi en fonction des cloisonnements : 30 m pour le cloisonnement 1 et le cloisonnement 2, 60 m pour le cloisonnement 3 et le cloisonnement 4.

Il s'est révélé compliqué de coller parfaitement avec ces espacements du fait de la réalité du terrain. Mais globalement ces derniers sont bien respectés (voir schémas ci-dessous). En particulier, au niveau des cloisonnements 2 et 4, un totem intermédiaire a été supprimé et un totem porte (au niveau du coude/ de la sortie) rapproché (et remplacé par un feuillu pour le cloisonnement 4) pour éviter l'élargissement du cloisonnement.

Il est à noter que la consigne de coupe était de conserver les feuillus sur pied, il a été ainsi possible d'en choisir certains comme "totems", là où il manquait de tiges résineuses à l'emplacement souhaité.

Les points d'emplacements des totems ont ensuite été pris au GPS professionnel Trimble pour réaliser les cartes ci-dessous.



Différents espacements entre totems ont été testés.



Le marquage en "T" d'une paire de totems pour matérialiser une porte à l'entrée d'un cloisonnement



Une porte au niveau d'un coude du cloisonnement

- Etape 2 : Récolte des arbres
Réalisation des totems pendant l'exploitation par le chauffeur de la machine de bûcheronnage sur les cloisonnements sélectionnés. Il a été demandé au chauffeur de réaliser des totems de 2,5 m de hauteur. Le temps de coupe est chronométré pendant l'exploitation pour évaluer une éventuelle différence avec le temps d'avancement d'une exploitation "classique".

5.2 Résultats

5.2.1 Aspects visuels



Réalisation d'un totem à l'abatteuse.
La hauteur objectif était de 2,5 m. Le chauffeur de l'abatteuse disposait du repère marqué à la peinture à 2 m pour se caler. En pratique la hauteur des totems varie de 2,30 à 3 m.



Extrémité du cloisonnement matérialisée par « une porte », puis alignement des totems sur un seul côté, modalité un totem tous les 30 m.



Alignement des totems sur un seul côté, modalité un totem tous les 30 m.



Alignement des totems sur un seul côté, modalité un totem tous les 60 m.

Juste après la coupe l'espacement de 60 m entre les totems permet de visualiser l'axe des cloisonnements. Il faudra vérifier que ce soit encore le cas avec le développement du recrû.

5.2.2 Coûts et temps de mise en œuvre

- Coût de mise en œuvre

La modalité totem ne nécessite pas d'investissement préalable.

Un utilitaire sous Excel a été calibré pour estimer le nombre de totems/ha, le volume de bois abandonné et le manque à gagner sur la recette bois.

Estimation du volume de bois abandonné et de la perte de recette bois en conservant des souches hautes : "totems"			
Disposition en bordure de cloisonnements et avec la possibilité de doubler les totems en entrée et en sortie ("portes")			
distance entre totems le long des cloisonnements :	45 m	(d'un seul côté)	
entre-axe des cloisonnements :	15,5 m		
hauteur d'un totem :	2,5 m	(longueur du billon perdu au-dessus de la souche)	
diamètre moyen médian d'un totem :	20 cm		
prix du bois (sur pied) :	20 €/m ³		
volume moyen d'un totem :	0,08 m ³	(cylindre)	
	Nb de totems / ha	Volume de bois abandonné par ha	Manque à gagner recette bois :
Totems d'un seul coté	14	1,13 m ³ /ha	23 €/ha
Totems d'un seul coté et "portes" aux extrémités	27	2,14 m ³ /ha	43 €/ha

Exemple d'estimation du volume de bois abandonné et de la perte de recette bois liés à la mise en place de totems

Pour des totems de 2,5 m de hauteur, de 20 cm de diamètre médian, espacés de 30 ou 60 m, la perte de bois est respectivement estimée à 2,7 ou 1,9 m³/ha soit un manque à gagner sur la recette bois de 54 ou 37 €/ha (pour un prix du bois sur pied de 20 €/m³).

- Temps de mise en œuvre

En pratique, la modalité totems ne nécessite pas de marquage initial. Pour un chantier classique les consignes de coupe sont données au chauffeur au préalable pour lui indiquer de réaliser des totems tous les 30 m par exemple.

Le chauffeur indique qu'il ne lui faut pas plus de temps pour façonner les totems (sauf consigne précise de hauteur à respecter). Des temps d'abattage ont été mesurés, aucune différence significative n'a été relevée.

Il s'agit plus d'une question de technicité et de sécurité. L'abattage étant effectué en hauteur, la direction de chute est plus difficile à maîtriser. En abattage mécanisé, un point d'appui au sol pour la tête d'abattage aide à orienter la chute de l'arbre. La réalisation de totems demande ainsi plus d'attention et d'anticipation dans l'opération d'abattage. Le chauffeur indique également que l'orientation des tiges de gros diamètre est plus difficile à maîtriser. Raison pour laquelle il convient d'éviter de sélectionner des tiges trop grosses pour les totems, outre l'aspect perte de matière. Sur ce chantier, il aurait été souhaitable de privilégier les tiges en deçà de la classe 30 cm de diamètre pour les totems (indication à adapter selon le type de machine utilisée notamment). Afin de compléter les indications de dimension pour les totems, la classe de diamètre minimale recommandée serait de 20 cm, afin de s'assurer d'une durabilité satisfaisante du totem (à moduler selon l'essence notamment).

Hors zone expérimentale, des totems ont également été réalisés sur le reste de la parcelle. Sans marquage préalable, une difficulté pour le chauffeur est de se rappeler de faire les totems selon l'espacement prédéfini. Cela peut ainsi générer des irrégularités dans les espacements.

	Modalité totems
Coûts de mise en œuvre	- surcoût modéré pour le propriétaire et l'acheteur (la perte en bois est négligeable dans le cadre d'une coupe sanitaire de bois scolytés)
Temps de mise en œuvre	- aucun temps supplémentaire pour l'exploitant hors cadre expérimental - Demande plus de vigilance pour respecter les intervalles, et anticiper l'orientation des tiges lors de l'abattage.

Synthèse du temps et des coûts de mise en œuvre

5.2.3 Retour d'expérience sur la mise en place de totems sur d'autres sites

- Contexte post scolytes à Verdun

L'agence ONF de Verdun a mis en place des totems depuis fin 2018 dans le contexte de coupes rases sanitaires de parcelles scolytées. Outre les enjeux de respect des sols et des plants lors des entretiens mécanisés, le contexte mémoriel de Verdun renforce la nécessité de maintenir la connaissance du réseau de cloisonnements. En effet, il est essentiel d'y maîtriser les surfaces circulées afin de conserver les vestiges de tranchées, et pour des raisons de sécurité liées aux anciennes munitions. Trois techniciens forestiers territoriaux de l'Agence ont partagé fin 2022 leurs retours d'expériences via un questionnaire adressé par courriel.

- 1^{er} secteur : 20 ha concernés sur l'unité territoriale d'Etain, forêt domaniale des Eparges notamment,
- 2^e secteur : proportion de parcelles scolytées où cette mesure a été mise en place : 80%. Unité territoriale d'Etain, forêt domaniale de Spincourt notamment.
- 3^e secteur : plusieurs dizaines d'hectares sur l'unité territoriale de Verdun.

- Modalités techniques de mise en œuvre

	Réponses	Observations
Hauteur des totems	1,5 à 2 m	Rapidement submergés par la végétation si moins de 2 m
Espacement sur la ligne	20 à 70 m, espacement le plus fréquent 30 à 40 m	30 m semble l'optimum
Disposition	Par paires ou d'un seul côté	D'un seul côté permet de garder une ligne de visée
Choix des totems	A l'avancée par le chauffeur de l'abatteuse	- Un marquage préalable constituerait une perte de temps considérable. - Les particularités du terrain ne peuvent pas être mieux appréhendées que depuis une machine, avec également une meilleure visibilité à cause des chablis ou de la casse - difficile pour des coupes sanitaires tardives (chablis, casse)
Repérage complémentaire	Certains agents ont tenu à les repeindre de couleur différente 1 cloisonnement sur 2	Pour ne pas se tromper d'axe lorsqu'ils seront noyés dans la végétation
Perte de temps	Pas lors de l'abattage	
Prise en compte du relief, de l'hydrographie ?		Au besoin et si possible espacement des totems plus serré

Avis après mise en place

	Réponses	Observations
Pérennité des totems	Pas de dégradation signalée	
Obstacle éventuel à la circulation des engins	Non, ils sont suffisamment espacés, et en retrait de l'axe des cloisonnements	
Aide à l'entretien mécanisé des cloisonnements	Constituent une grande aide	
Apport pour le schéma de plantation	Davantage une aide de terrain pour la mise en place	
Retour sur l'aspect paysager	Perceptions variables du grand public selon les sites : - surpris, - pas de retour négatif	Les totems se fondent dans la végétation après quelques saisons de végétation. Défendable auprès du grand public quant à la préservation des sols
Eventuel intérêt pour la biodiversité	Support pour la végétation (lierre...) Intérêt pour certains insectes et oiseaux	Perchoir pour les rapaces, les pics Les totems permettent de garder une distance par rapport à certaines zones sensibles (zones humides...).
Point à mettre en avant	Ne pas avoir un espacement trop large. opération vivement conseillée et à réitérer	

Chacun des trois techniciens a mis en avant un point en fin de questionnaire :

- Opération vivement conseillée et à réitérer
- Ne pas avoir un espacement trop large
- Il reste impératif d'entretenir régulièrement ces cloisonnements (en moins de 4 ans certains totems sont noyés dans la végétation et ne remplissent plus leur fonction)

- Contexte relevé de couvert feuillu en Vendée

Des totems ont également été mis en place par l'ONF en Vendée dans un contexte de relevé de couvert dans des parcelles feuillues. Les totems étaient réalisés sur des châtaigniers de 20 à 35 cm de diamètre, avec des intervalles de 30 à 50 m, pour une hauteur de 2 à 2,5 m. Les totems étaient disposés en quinconce de part et d'autre du cloisonnement. Un marquage directionnel a été réalisé afin d'indiquer aux chauffeurs de quel côté passer par rapport aux totems.

5.2.4 Recommandations

Modalité totems	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Coût limité à la perte de recette bois. Coût négligeable dans le contexte de bois scolytés. - Les totems sont réalisés lors de l'abattage (pas de perte de temps). - Pas de nécessité de fourniture ni d'équipement spécifique pour les installer sur une coupe mécanisée. - Repérage physique sur la parcelle a priori durable (pérennité du totem estimée à 10 ans minimum, la végétation peut les masquer avant si elle n'est pas entretenue). Ils seront visibles de tous les opérateurs sans nécessiter d'équipement spécifique. - Les totems en bout de cloisonnement pourraient s'avérer utiles en tant que renvois pour faciliter la sortie de grumes. - Les totems peuvent présenter un intérêt potentiel pour la biodiversité, notamment dans le contexte d'une coupe rase sanitaire d'épicéas scolytés.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Aspect social à prendre en compte. En effet, nous ne sommes pas habitués à ce type de solutions. Ils peuvent choquer esthétiquement - Si pas de marquage à la peinture des futurs totems, l'opérateur risque d'oublier d'en réaliser certains. - Il est envisageable de réaliser des totems sur des bois avec de plus gros diamètres, mais cela nécessite plus de vigilance lors de l'abattage, et plus de perte de matière. - A proscrire pour les coupes avec bûcheronnage manuel. - Perte économique pour des billes de pied de qualité - Problème d'encombrement à moyen terme pour des totems sur des feuillus vivants (arbre têtard à houppier volumineux)

Forces et faiblesses de la modalité totem pour l'enregistrement initial et la réimplantation des cloisonnements

La mise en place de totems ne semble pas poser de problème au niveau de la sécurité. Ils peuvent choquer esthétiquement, cela nécessite un accompagnement des forestiers et du public. Les totems en bout de cloisonnement pourraient s'avérer utiles en tant que renvois pour faciliter la sortie de grumes et limiter les blessures sur les arbres en réserve.

6. Modalité piquets

6.1 Matériels utilisés et mode opératoire du test

6.1.1 Matériels utilisés

Les piquets devant être visibles des chauffeurs dans des plantations avec du recrû, les fournitures classiques disponibles (piquets d'1,5 m voire 2.1 m) ne sont pas adaptées. Ces piquets ne dépasseraient pas 2 m une fois plantés.

Cette expérimentation a donné l'opportunité de tester un nouveau type de fourniture. Il s'agissait de trouver un compromis entre les dimensions (avec plus de 2 m de hauteur visibles), les contraintes de manutention (encombrement et poids), la pérennité (suffisamment rigide et durable) et le prix. Les piquets en châtaignier pour les clôtures sont trop lourds. Les piquets en robinier pourraient être adaptés mais ils n'étaient pas disponibles sur des longueurs de 2,5 m et plus et auraient été plus lourds que les bambous.

Les « perches bambou » de 2,95 m présentaient un bon compromis technique, avec un tarif contenu.

Dimensions

hauteur :	2,95 m
diamètre :	24-26 mm
conditionnement :	50 piquets

Coûts unitaires janv. 2023

pour 50 piquets	2,81 € HT
pour 1000 piquets	2,75 € HT
pour 1500 piquets	2,60 € HT

6.1.2 Mode opératoire de l'essai d'implantation

Les totems ayant été disposés sur des cloisonnements où la partie sud avait déjà été exploitée, il a été décidé d'utiliser des piquets pour matérialiser la fin de ces cloisonnements (cloisonnements 1, 2 et 3 cf. p. 27). Les piquets étant à la fois plus fragiles et moins visibles que les totems, leur densité sur la ligne a été doublée par rapport à la modalité totems à 30 m d'intervalle. L'espacement retenu est de 15 m sur la ligne avec une paire de piquets en « porte » à l'extrémité des cloisonnements. 4 piquets ont ainsi été installés sur chaque cloisonnement, soit 12 au total.

Comme il fallait attendre que le porteur ait terminé de travailler pour planter les piquets, cette modalité a été installée en toute fin de projet (décembre 2022). Les moyens humains et logistiques étaient ainsi limités. Il ne s'agissait pas de valider une véritable technique d'implantation mais surtout de tester ce type de fourniture pour la matérialisation des cloisonnements.

Une extrémité des piquets a été peinte à la bombe afin de faciliter leur repérage. Ils ont ensuite été répartis manuellement le long des cloisonnements. Après un alignement sommaire dans l'axe des totems, les rémanents ont été déblayés afin d'intervenir sur une zone nettoyée d'1 m² environ. L'alignement était ensuite ajusté pour effectuer un avant-trou, idéalement de 50 cm de profondeur. L'avant trou a été réalisé selon deux méthodes, soit avec un fer à béton

enfoncé à l'aide d'un maillet, soit à la tarière pédologique (tarière Edelman de 7 cm de diamètre).

Selon la méthode utilisée il fallait plus ou moins forcer pour enfoncer le piquet à la main, soit prendre du temps pour reboucher et tasser l'avant-trou.

6.2 Résultats

6.2.1 Aspects visuels



Les 2 outils utilisés pour cet essai d'implantation étaient peu adaptés

La végétation masque facilement l'alignement des piquets



Entrée du cloisonnement matérialisée par une paire de piquets, puis alignement des piquets sur un seul côté, tous les 15 m.

La mise en place de piquets ne pose pas de problème paysager, et ne devrait pas heurter les usagers de la forêt. Ces piquets constituent néanmoins des intrants, même s'ils sont biodégradables, ils sont importés de Chine et leur bilan carbone n'est pas neutre.

6.2.2 Temps et coûts de mise en œuvre

L'outillage employé pour réaliser les pré-trous s'est avéré mal adapté : le fer à béton étant trop fin par rapport à la section des piquets et la tarière trop large. De plus, le fer à béton ne permettait pas de vider correctement l'avant-trou. La texture argileuse du sol et la charge en éléments grossiers constituaient des contraintes supplémentaires. Le pré-trou au fer à béton permettait d'enfoncer le piquet de 30 cm environ, la profondeur était de 40 à 50 cm avec la tarière.

Le temps de mise en place d'un piquet a été mesuré. En comprenant le temps de déblaiement des rémanents et d'alignement, il s'échelonnait de 8 à 6 minutes, plus proche de 6 minutes en moyenne.

Pour cette parcelle test, nous estimons qu'il faudrait 56 piquets/ha, soit un budget de 154 €/ha¹ pour les fournitures. Ce coût est à moduler selon le nombre de piquets commandés, les coûts étant dégressifs. Cela représenterait surtout près de 5h30/ha de main d'œuvre. Ce temps n'est pas compatible avec des contraintes de gestion classiques. L'outillage était certes mal adapté, mais ce temps n'intègre pas la distribution des piquets ni les déplacements sur la parcelle. Le temps constitue ainsi une grosse contrainte pour cette modalité. Même en doublant la cadence avec un matériel plus approprié, cela représenterait encore près de 3h00/ha pour les planter.

¹ Prix pour 1000 piquets commandés

6.2.3 Recommandations

Pour des chantiers importants, à l'échelle de cette parcelle de plus de 14 ha par exemple, la disponibilité d'un engin est requise pour acheminer les piquets à proximité du point d'implantation. De même, afin de rationaliser l'organisation et la productivité du chantier, un travail en équipe serait recommandé.

L'installation des piquets pourrait être mutualisée dans certaines conditions avec la plantation, afin de profiter de la main d'œuvre et des moyens logistiques sur place. La contrainte étant alors de réaliser la plantation très rapidement après l'exploitation, et sans broyage en plein celui-ci faisant perdre le repérage des cloisonnements. Si ces conditions ne sont pas remplies, le risque d'un décalage entre les cloisonnements préexistants et ceux repérés est important (ce cas a été rencontré lors de la tournée préparatoire de ce projet, cf. Annexe). Ces conditions ne sont pas toujours rassemblées, notamment dans les cas où l'on souhaite laisser le temps à un recrû de s'installer avant la plantation.

L'outillage pour les avant-trous pourrait être mieux adapté à la section des piquets bambous :

- perceuse équipée d'une mèche de 50 cm de longueur et de 20 mm de diamètre ;
- tarière gouge avec un maillet.

Cela éviterait de perdre du temps soit à forcer pour enfoncer le piquet, soit à reboucher le trou. Il conviendrait également de tester les techniques d'implantation selon différentes contraintes de sols : argile lourde, sol sec, charge en éléments grossiers, sols superficiels...

Une autre option pour gagner du temps consiste à choisir des piquets plus courts (1.5 m) que l'on peut enfoncer directement au maillet. Leur visibilité depuis le poste de conduite peut être rapidement entravée par le recrû et on peut s'interroger sur l'intérêt de cette opération. Dans quelle mesure apporterait-elle un gain par rapport à un entretien courant au broyeur des cloisonnements ? L'inversion de flore liée à l'entretien différencié présente probablement une durée de visibilité équivalente. Le coût de broyage des cloisonnements en entretien courant étant de l'ordre de 200 €/ha (source ONF, Lorraine, été 2022).

Le piquetage des cloisonnements demande de la précision dans la disposition, avec un temps non négligeable pour respecter l'alignement. Le choix peut être de les disposer au ras des zones circulées, au risque qu'ils sautent lors des entretiens mécanisés, ou légèrement en retrait.

Les piquets doivent être mis en place rapidement après l'exploitation, sans laisser passer une saison de végétation. Le chantier d'exploitation doit néanmoins être totalement terminé : les piquets doivent être disposés après le passage du porteur. Il est conseillé de les planter avant la fin du printemps suivant la coupe (à adapter selon les dynamiques de végétation locales).

Enfin, la durabilité des piquets reste à vérifier, selon les aléas météorologiques, les dégâts de gibier, les vols éventuels et les casses par les engins. Il serait souhaitable qu'ils tiennent 5 ans.

	Modalité piquets
Avantages	- Simplicité technique (« technique rustique »)
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Interrogation sur la durabilité des piquets, hypothèse de 5 ans à vérifier. - Besoin de fournitures spécifiques et d'outils pour les installer - Chronophage, travail coûteux en main d'œuvre, difficilement mutualisable avec une autre opération - Contrainte de manutention pour disposer le matériel - Modalités techniques d'implantation à adapter selon les types de sols et leur degré d'humidité - Doivent être mis en place rapidement après l'exploitation (ne pas laisser passer une saison de végétation)

Forces et faiblesses de la modalité piquets pour l'enregistrement initial et la réimplantation des cloisonnements

Le repérage des cloisonnements avec des piquets est adapté sur des sites où la plantation se ferait rapidement après exploitation (sans laisser passer une année de végétation), il ne nécessite pas de main d'œuvre qualifiée.

La matérialisation avec des piquets est courante dans certains secteurs. Il s'agit ici de matérialiser les axes pour le broyage, sur le temps d'un chantier. Dans ce cas les piquets ne répondent pas directement à l'objectif de matérialisation pérenne des axes de cloisonnement visé dans cette expérimentation. L'inversion de flore consécutive aux travaux de broyage peut en revanche y répondre en partie.

Conclusion

	GPS DE PRECISION	GPS EMBARQUE	DRONE + GPS DE PRECISION	TOTEMS	PIQUETS
Coût investissement	Environ 3500 €	Environ 3500 €	- Acquisition du matériel : environ 35 000 € - Prestation de service : 1000 € par parcelle pour le survol drone - environ 3500 € pour achat du GPS	Fonction de la valeur des billes de pied. Environ 50 €/ha pour des bois scolytés	160 €/ha de piquets
Temps de repérage initial des cloisonnements	Arpentage très chronophage pour des réseaux de cloisonnements complexes - 30 min/ha (pour des cloisonnements très rectilignes) - 1h de SIG par site	- Pas de temps d'acquisition - 1h de SIG par site	- 1h15 (préparation et vol) - 2h ou plus de SIG par site	Pas de temps spécifique à y consacrer A l'avancement de l'abatteuse	Très chronophage, de l'ordre de 3h00/ha pour les planter
Temps de recherche des cloisonnements	1 min par point (stabilisation), ordre de grandeur 1 point tous les 50 m + temps de déplacement	non testé (nécessite une barre de guidage)	1 min par point (stabilisation), ordre de grandeur 1 point tous les 50 m + temps de déplacement	Directement visibles, sauf si la végétation les masque,	Directement visibles, sauf si la végétation les masque, ou s'ils sont cassés
Contraintes techniques	- Nécessite un opérateur formé - La recherche nécessite un équipement particulier - Précision dépend des conditions du terrain (réseau, obstacles,...)	- Nécessite un opérateur formé - La recherche nécessite un équipement particulier - Précision dépend des conditions du terrain (réseau, obstacles,...)	- Nécessite un opérateur formé + certification télépilote - La recherche nécessite un équipement particulier - Risque de mauvaise prise de vue	- Nécessitent une exploitation mécanisée - Solution simple et rustique - Nécessitent un entretien régulier - Les totems vivants feuillus peuvent devenir encombrants - Prévoir un temps d'explication auprès du grand public pour l'acceptation de la technique	- Solution simple - Compromis entre visibilité, pérennité, manutention et prix - "Timing sensible" : nécessité d'attendre la fin de l'exploitation sans laisser passer une saison de végétation - Nécessitent un entretien régulier - Peuvent être volés ou cassés
Fiabilité du repérage	- Satisfaisante - Méthode précise - Repérage pérenne	- Satisfaisante - Méthode précise - Repérage pérenne	- Satisfaisante - Méthode précise - Repérage pérenne	- Satisfaisante si espacement sur la ligne de l'ordre de 30 m et hauteur de 2,5 m - Méthode précise - Repère est pérenne mais sa visibilité peut être masquée par la végétation	- Satisfaisante si espacement sur la ligne de l'ordre de 15 m et hauteur de 2,5 m - Méthode précise - Visibilité peut être masquée par la végétation - Beaucoup + fragiles que les totems, pérennité à valider
Atouts complémentaires			- Orthophoto peut-être utilisé pour d'autres opérations (schémas de plantation,...)	- intérêt potentiel sur la biodiversité - protection des arbres en bout de ligne - protection des plants lors des entretiens mécaniques	- Pas de contrainte d'équipement de pointe, ni de main d'oeuvre qualifiée
CONTEXTES ADAPTÉS	- Utiliser un GPS avec une précision centimétrique (le GPS standard n'est pas adapté) - Technique restant fonctionnelle après tempête	- Utiliser un GPS avec une précision centimétrique (le GPS standard n'est pas adapté) - Technique restant fonctionnelle après tempête	- Seulement des structures importantes ou spécialisées peuvent amortir l'investissement d'un drone professionnel. - Les autres acteurs peuvent recourir à une prestation de service. - Utiliser un GPS avec une précision centimétrique (le GPS standard n'est pas adapté) - Technique restant fonctionnelle en contexte post tempête	- Coupe rase sanitaire mécanisée - Coupe de renouvellement mécanisée avec des tiges de faible valeur	- Coupe de renouvellement feuillues ou résineuse - Chantier de reboisement réalisé rapidement après la coupe : piquets plantés en même temps que le jalonnement de la plantation

Légende :	 Critère favorable
	 Critère neutre
	 Critère défavorable

Comparaison synthétique des modalités de repérage des cloisonnements testées

Cette expérimentation a permis de tester 3 grands types de repérage des cloisonnements, à partir de données GPS, de mise en place de totems (souches hautes) ou de plantation de piquets : du plus technique au plus rustique.

Les techniques basées sur le GPS sont incontestablement amenées à se développer : elles ont l'avantage de permettre un archivage fiable et pérenne des données, indépendamment des aléas sur les parcelles, notamment lors de tempêtes. Si la collecte des données GPS reste chronophage en mode arpentage à pied, elle est plus efficiente en temps pour les modalités GPS embarqué et orthophotographie géoréférencée par drone, en particulier, quand il est difficile d'arpenter la parcelle à pied du fait de la végétation. Que ce soit pour l'enregistrement initial ou la réimplantation des cloisonnements, les modalités GPS ne sont pas toujours complètement opérationnelles ou localement disponibles (besoin d'un GPS de précision, ou d'une barre de guidage sur les engins). Elles sont donc conseillées aux structures qui peuvent amortir l'acquisition de ces équipements sur des surfaces importantes.

Ainsi les techniques de repérage physique sur la parcelle - totems et piquets - présentent encore un intérêt aujourd'hui. Elles ne sont pas limitées par des aléas de disponibilité et ou de qualité de matériel, ni par la qualité de la réception du signal GPS. Si le piquetage reste chronophage et présente une faible durabilité, l'implantation de totems constitue une innovation prometteuse à réserver néanmoins aux coupes mécanisées avec une densité notable de tiges de faible valeur. En effet, les totems ne nécessitent pas d'opération spécifique supplémentaire car ils sont directement réalisés lors de l'abattage. Les exploitations post crise sanitaire sont particulièrement adaptées, à la confection de totems, comme c'est le cas en Grand Est avec les épicéas scolytés. Compte tenu des vastes surfaces impactées, les travaux de renouvellement seront différés sur de nombreuses parcelles et il est précieux de disposer d'un moyen de repérer l'emplacement des cloisonnements avec des repères solides. La visibilité des totems pouvant toutefois être masquée par la végétation, il reste nécessaire d'assurer un entretien régulier des cloisonnements. Un suivi de leur efficacité dans le temps serait à ce titre intéressant à réaliser.

Remerciements

L'équipe projet remercie l'ONF et en particulier Julien GEIGER, Matthieu MAUVEZIN, Olivier DIDIERJEAN, Glenn VERBEKE, Jesus ORTIZ-GARCIA et Denis STAUFFER pour leur appui dans la recherche du site expérimental et leur réactivité pour concilier les impératifs du chantier d'exploitation avec les besoins de cette expérimentation, ces mêmes remerciements s'adressent à Laurent SOMMA et ses collègues pour la réalisation de l'ortho photographie à partir du drone. Les retours d'expérience de Gersende GERARD et de ses collègues de l'agence de Verdun, ainsi que celui de Nicolas CAILLE et Christophe ROLLIER de l'Unité territoriale Vendée, ont été précieux afin de disposer d'une vision plus large sur la mise en place de totems.

Merci également à l'entreprise de travaux forestier " SARL Campagne Services " et en particulier à David PRUNIAUX et Aurélien LESIEUX pour leur implication et leur réactivité lors de la phase de tests.

ANNEXE

Projet PIF – Plantations Innovantes en Forêt

Tâche 5 : itinéraires intégrés de l'exploitation à la plantation

Compte rendu de la tournée du 21 juillet 2021 Circulation des engins de récolte et schémas de plantation

L'objectif de cette tournée de terrain en Lorraine était de rencontrer des gestionnaires sur site afin d'identifier les pratiques actuelles et/ou expérimentations, ce qui fonctionne et quelles sont aussi les obstacles et freins, en particulier :

- ▶ Comment optimiser la circulation des engins de récolte par rapport au futur schéma de plantation ? Peut-on agir ?
- ▶ Comment sont prises en compte les circulations antérieures, en particulier lorsque les espacements entre cloisonnements sont < 18 m ?
- ▶ Comment sont pris en compte les rémanents dans ces schémas ?
- ▶ Quel est le rôle des différents acteurs (TFT, service bois, service travaux...) dans cette chaîne de décision par rapport à cette circulation d'engins ?

Arrêt n°1 :

Le technicien en charge du massif (interviewé par téléphone) s'occupe à la fois de la récolte et de la gestion sylvicole de ce massif.

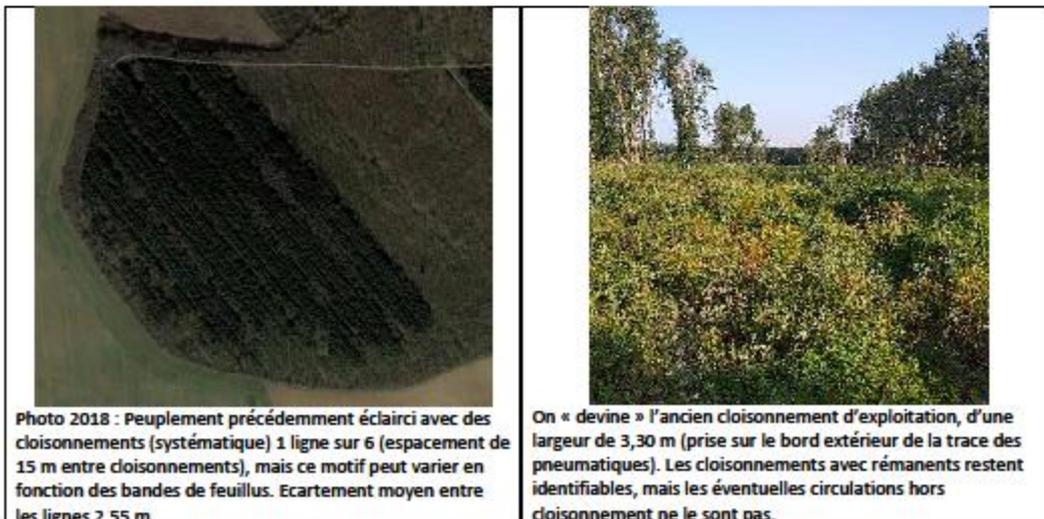
Contexte : coupe rase d'épicéas communs scolytés du printemps 2020 vendue bord de route ; les bandes de feuillus ont été conservées. Exploitée par un sous-traitant. Station sur plateau calcaire avec placage limoneux. Surface 10 ha dont 8 ha en parcelle 1

Consignes relatives à la circulation des engins : pas de consigne particulière ni sur la circulation des engins, ni sur les rémanents. Pré-visite de chantier afin de définir les frais d'exploitation. Visite de mise en route et passage en cours de chantier. Contacts avec le gérant et les chauffeurs.

Objectif post coupe rase : pas de projet de reboisement envisagé pour l'instant, le propriétaire souhaite vendre sa forêt.

Constats, près de 2 saisons de végétation après la récolte :

- 1) La végétation herbacée et semi-ligneuse a envahi la parcelle et il est très difficile de repérer le cheminement des engins en cette saison.



1

2) Le sol est bien tassé dans le cloisonnement d'exploitation, cependant il n'y a pas d'ornières à signaler



- 3) Il n'est pas prévu de maintenir le réseau de circulation des engins à ce jour.
- 4) Le risque est important de reboiser des zones tassées et en cas d'évolution naturelle, d'ouvrir plus tard, des cloisonnements dans des zones qui n'avaient pas été circulées.

Arrêt n°2 :

Le gestionnaire est en charge des travaux de récolte et des travaux de plantation.

Contexte : coupe rase d'épicéas communs scolytés du printemps-été 2020 ; Surface 200 ha de coupes rases sur un massif de 239 ha.

Peuplement précédemment éclairci avec des cloisonnements (systématique) 1 ligne sur 5, espacement moyen entre cloisonnement 16 m.

Consignes relatives à la circulation des engins : respect strict des cloisonnements d'exploitation, y compris pour le porteur. Cette consigne a été facilement suivie par l'ETF, conscient des enjeux sols. Par contre, le gestionnaire a précisé que cela n'était pas toujours le cas et que le suivi de l'exploitation était indispensable.

Objectif post coupe rase : projet de reboisement avec plantation hors cloisonnement d'exploitation. Volonté de maintenir les cloisonnements visibles et identifiables. Les zones circulées, et donc tassées, ne seront pas replantées.

Constats : 1 saison de végétation après la récolte

- 1) La végétation herbacée et semi-ligneuse a envahi la parcelle et il est très difficile de repérer le cheminement des engins en cette saison. Il faut très rapidement repérer ces cloisonnements pour les retrouver facilement. Solution à envisager : mise en place des totems lors de l'exploitation (arbre coupé à environ 1,50 m de haut), installation de piquets dès que le chantier est terminé ? Choix de la période de broyage : incertitude quant à une visibilité suffisante des anciens cloisonnements en hiver (rémanents plus visibles).



Etat de la parcelle 1 an après la coupe

Difficile de repérer les cloisonnements...

- 2) L'entretien des cloisonnements est indispensable pour maintenir leur visibilité et permettre l'accès aux équipes en charge du reboisement et de l'entretien des plants. Ils sont broyés (broyeur lourd, 300 €/ha cloisonnements = bordures de parcelle). Le pilote du broyeur n'a en cette saison pas de point de repère sûr et le risque de broyer une zone non circulée est réel. Interrogation, sur la fréquence d'entretien des cloisonnements d'exploitation et de l'impact sur les dégâts de gibier de larges couloirs très accessibles.



Cloisonnement broyé correspondant à un ancien cloisonnement d'exploitation (nombreux rémanents au sol). Largeur moyenne 4,20 à 4,50 m. Bande non circulée de 11,4 m à 12,5 m de large, soit 4 à 5 lignes de plantation.

Cloisonnement broyé qui ne correspond pas à un ancien cloisonnement d'exploitation (très peu de rémanents)

Rq : l'impact de la circulation sur la structure du sol était moins visible ici qu'au 1^{er} arrêt, où la texture en surface était limoneuse alors qu'elle est ici argileuse, avec des éléments grossiers dès 10 cm de profondeur.

Arrêt n°3 :

Différents personnels techniques sont amenés à intervenir sur cette parcelle.

Contexte : coupes rases d'épicéas communs scolytés 2019-2020 ;

Peuplement précédemment éclairci avec des cloisonnements (systématique) généralement 1 ligne sur 5, espacement moyen entre cloisonnement 15 m.

Consignes relatives à la circulation des engins : respect strict des cloisonnements d'exploitation, y compris pour le porteur.

Objectif post coupe rase : projet de reboisement avec plantation hors cloisonnement d'exploitation. Volonté de maintenir les cloisonnements visibles et identifiables. Les zones circulées, et donc tassées, ne seront pas replantées sauf cas exceptionnels (espacement < 18 m). Les motifs de plantation ont été définis avec un écartement minimum de 18 m entre cloisonnements.

Constats (visite des parcelles 1, 2 et 3) :

- 1) Il faut repérer les cloisonnements d'exploitation pour éviter de les perdre, le plus tôt possible. Le repérage a posteriori est source potentielle d'erreurs





- 2) Le broyage annuel des cloisonnements pendant 2 à 3 années devrait conduire à une inversion de flore, permettant d'espacer les broyages.

Bilan de la journée :

- Volonté très forte des gestionnaires rencontrés de garder la mémoire de la circulation des engins et de restreindre cette circulation aux seuls cloisonnements d'exploitation.
- Des dispositions sont souvent prises pour conserver les cloisonnements d'exploitation et ne pas les replanter, mais leur fiabilité n'est pas encore suffisante.
- La végétation herbacée et semi-ligneuse envahit très rapidement la parcelle (dès la première année de végétation) rendant très difficile le repérage des cloisonnements. Avec un effet année à signaler : dynamique de végétation particulièrement forte en 2021.

L'enjeu clairement identifié est de les repérer le plus tôt possible (lors de la récolte) afin de faciliter les travaux ultérieurs : entretien des cloisonnements par broyage et à plus long terme la circulation des engins de récolte.

Deux axes de travail se dégagent pour arriver à fiabiliser le système et qui seront à tester sur un chantier de coupe rase d'épicéas sur fin 2021 début 2022 :

- Axe 1 : Identifier la chaîne des acteurs et le rôle de chacun dans ce processus pour les associer en amont du chantier de récolte. La définition des informations à transmettre sera une étape importante.
- Axe 2 : Trouver des solutions techniques pour conserver la mémoire de la circulation

Quatre solutions ont été identifiées et mériteraient d'être testées (protocole à définir précisément) :

Solution à tester	Description	Questions préalables à résoudre	Élément à recueillir lors du chantier
A. Les totems	La machine de bûcheronnage coupe des arbres le long du cloisonnement à une hauteur d'environ 1,50 m	A quelle hauteur ? Combien ? Tous les combien de m ?	Quantifier la perte de bois pour objectiver le débat Impact paysager et perception du propriétaire et des usagers éventuels
B. Les piquets	Installation de piquets après la récolte et avant la fin de la 1 ^{ère} année de végétation	Quelle durée de vie ? Quelle hauteur ? Combien ? Tous les combien de m ? => type de piquets Quel opérateur hors expérimentation ?	Durée d'installation Coûts des piquets + pose
C. Relevé GPS préalable	Relevé au GPS de précision (centimétrique ?) par le gestionnaire de la parcelle	Quel équipement pour le broyeur ? Qui centralise et transfère l'information ? Quelles recommandations pour une bonne utilisation de ces données ?	Coût de l'équipement et de l'abonnement Temps de relevé Temps de traitement de l'information Temps de transmission et d'information
D. Relevé des GPS par la machine de bûcheronnage ou du porteur	Les GPS des machines ne sont pas précis (comme les GPS « grands publics»). Il faut donc installer une antenne + abonnement.	Quel équipement et quelle compatibilité avec les systèmes de navigation embarquée (en option) ? Quelle est la durée d'installation et d'apprentissage de la solution ? + Qui centralise et transfère l'information ? Quelles recommandations pour une bonne utilisation de ces données ?	Coût de l'équipement et de l'abonnement Temps de relevé Temps de traitement de l'information Temps de transmission et d'information

Julien FIQUEPRON (CNPFF-IDF)

Philippe RUCH (FCBA)