



La mécanisation dans la récolte des peuplements feuillus

XyloDating – 21 Mars 2019

Mahmoud CHAKROUN, mahmoud.chakroun@fcba.fr

Emmanuel CACOT, emmanuel.cacot@fcba.fr

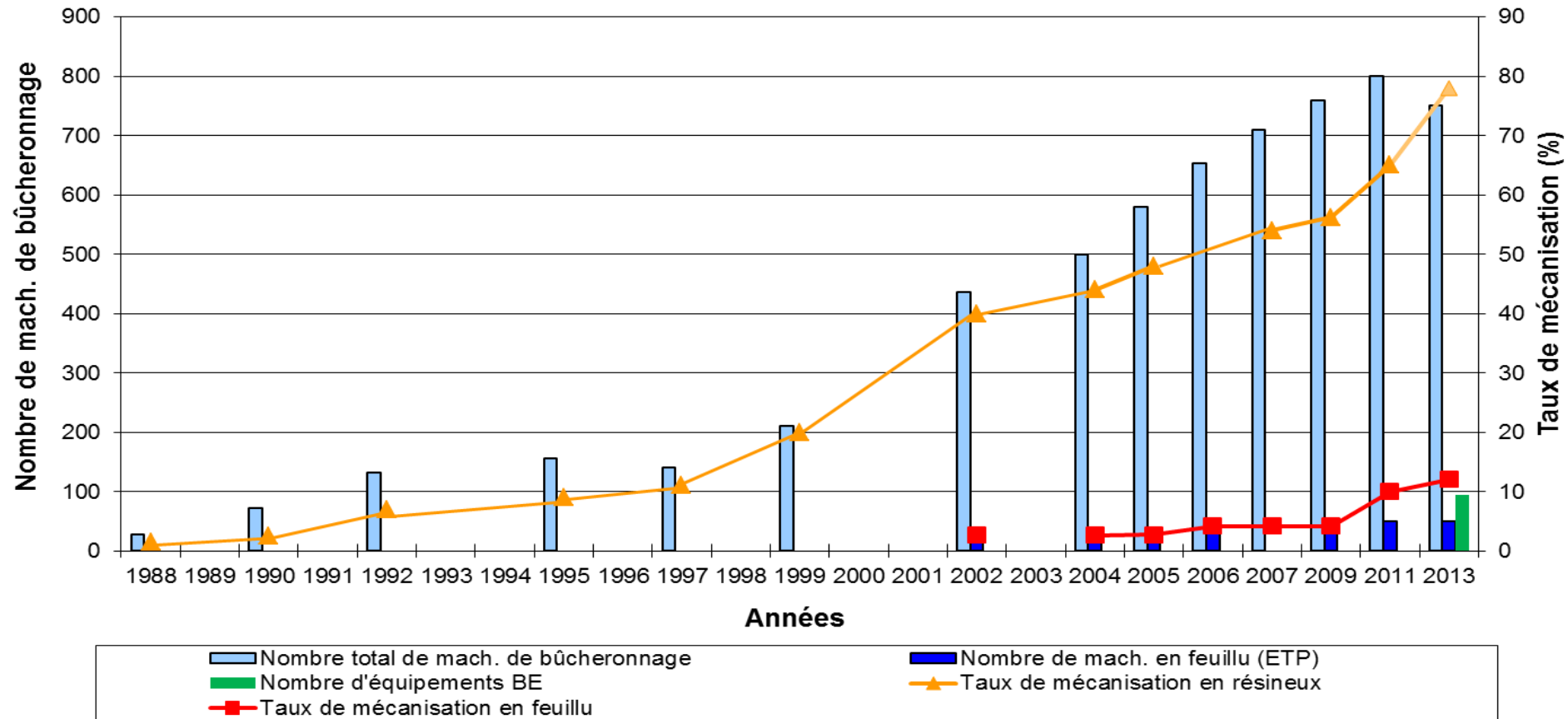


- 1. Contexte, état des lieux actuel**
- 2. Les différentes formes de mécanisation**
- 3. Bilan des suivis réalisés en bûcheronnage mécanisé**
- 4. Démarche scientifique**
- 5. Autres travaux et développements**



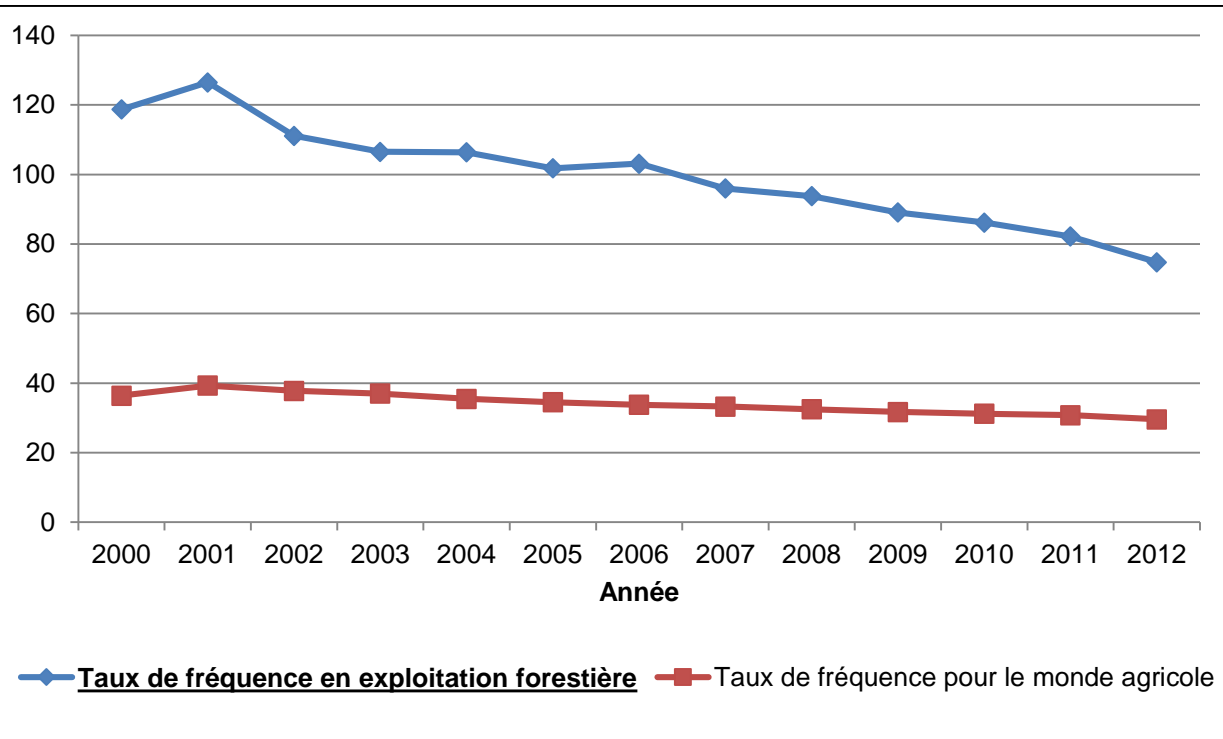
Etat des lieux actuel de la mécanisation dans les peuplements feuillus

Un taux de mécanisation qui plafonne en résineux mais continue de progresser en feuillus



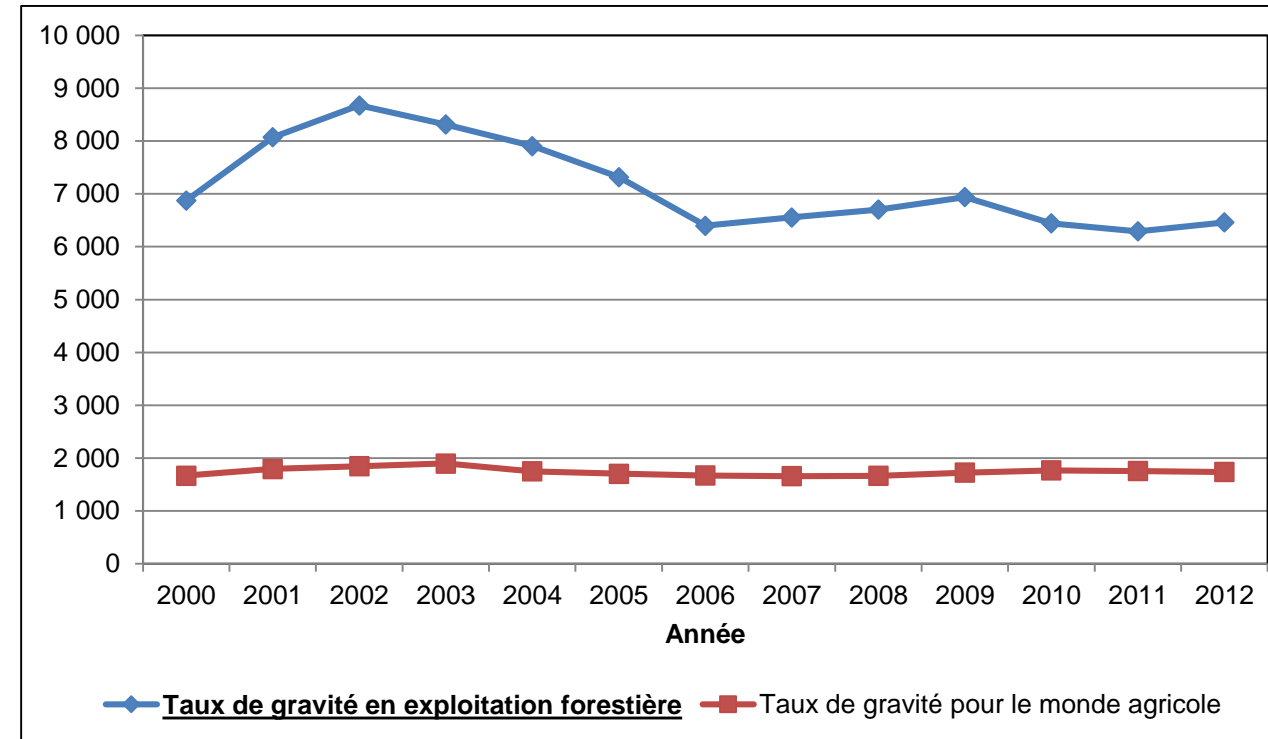
✓ Mécanisation des feuillus = bûcheronnage mécanisé + abattage mécanisé

Des travaux en exploitation forestière toujours dangereux



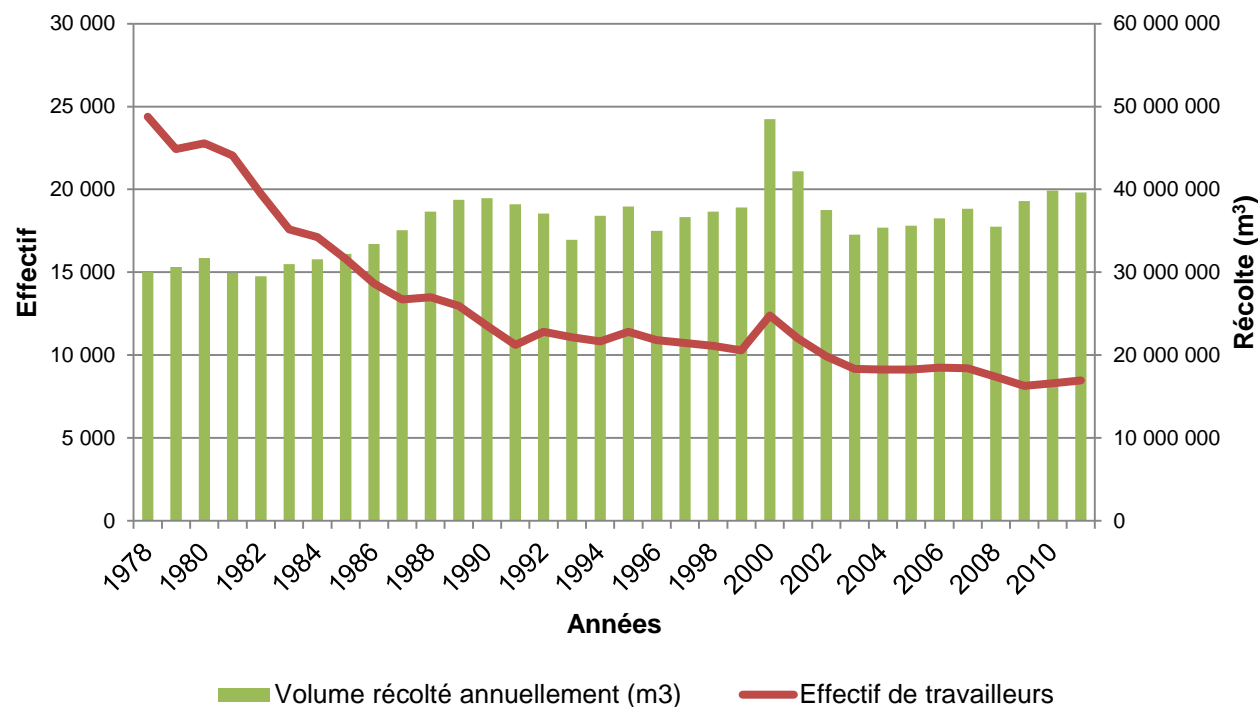
Sources : CCMSA

Taux de fréquence = nb d'accidents avec arrêt de travail par million d'heures travaillées

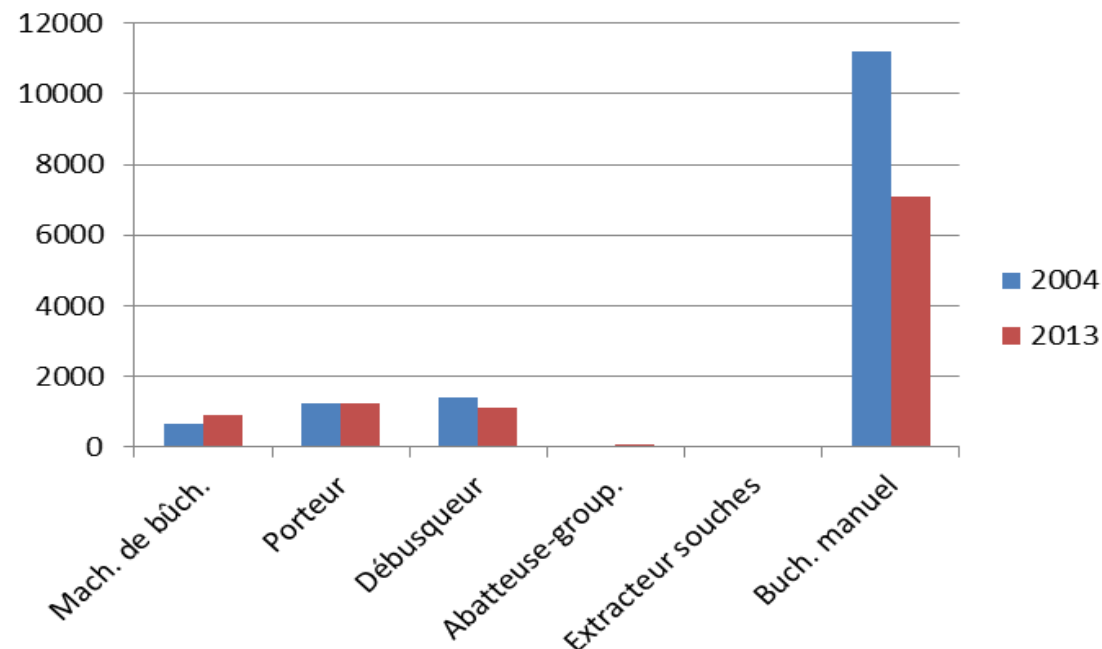


Taux de gravité = nb de jours indemnisés par million d'heures travaillées

400 bûcherons disparaissent chaque année



Evolution des effectifs salariés en exploitation forestière (source : CCMSA)



Evolution de la main d'œuvre totale en exploitation forestière entre 2004 et 2013 (source : FCBA)

- ⇒ **+ 1 Mm³/an à mécaniser pour compenser l'arrêt des bûcherons et maintenir la récolte au niveau actuel, soit de l'ordre de 45 machines (de bûcheronnage, abatteuses) en plus par an**
- ⇒ **Le recours à la main d'œuvre étrangère devient de plus en plus compliqué, ce qui accroît la pénurie en bûcherons**

Quelques points clés

- ✓ La pénurie de main d'œuvre manuelle a toujours été le facteur poussant à la mécanisation (y compris dans les années 80 en résineux)
- ✓ L'amélioration des conditions de travail et la sécurité des hommes doit rester une priorité !
- ✓ Les demandes en bois seront de plus en plus fortes, cf. PNFB et autres perspectives nationales et internationales => la récolte doit progresser et avec elle la mécanisation
- ✓ Cette mécanisation doit s'inscrire dans le cadre de la gestion durable des forêts, en particulier la préservation des sols (intégrité physique et fertilité)





Les différentes formes de mécanisation

Savoir choisir la méthode de travail en fonction des peuplements et produits souhaités

1. Bûcheronnage mécanisé

Avec une tête de bûcheronnage

Production de billons ou grumes pour BOBIBE



2. Abattage mécanisé

Avec une tête à cisaille ou à disque (feller-buncher)

Production d'arbres entiers ou tronçons d'arbres entiers pour la production de BE



3. Semi-mécanisation

Abattage et façonnage de la grume manuels

Mécanisation des houppiers



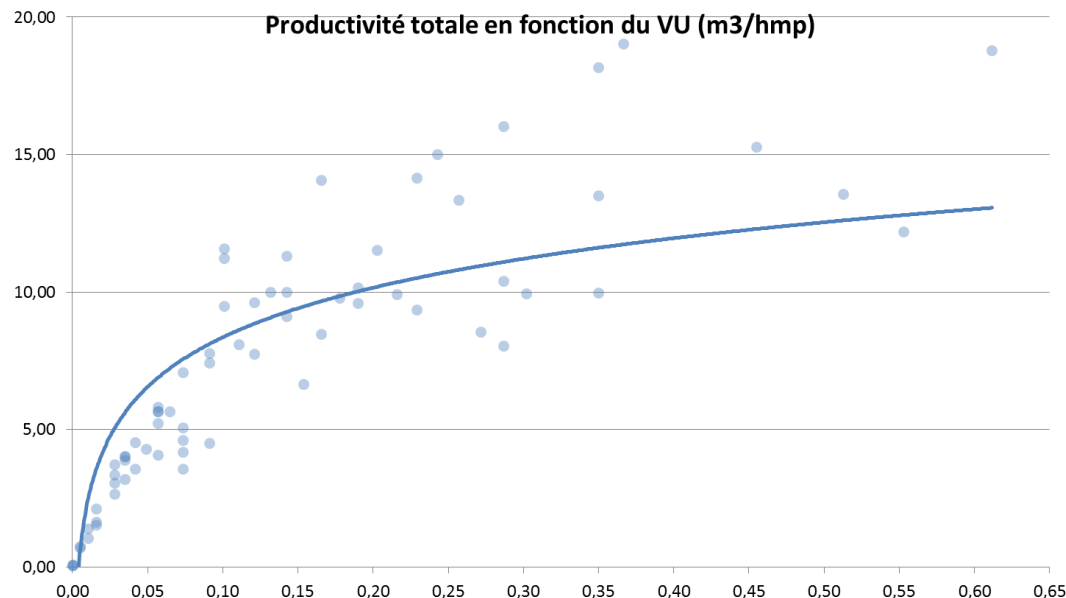


Bilan des suivis réalisés en bûcheronnage mécanisé des feuillus

Exemples de suivis de chantier réalisés

✓ Bûcheronnage mécanisé dans un taillis de châtaignier pur avec une pelle CX180B + tête Kesla 25RH

- 5 produits façonnés
- VUM = 0,1 m³
- Productivité = 6,9 m³/HMP₅



✓ Bûcheronnage mécanisé dans un taillis de châtaignier pur avec JD1170E + tête H752

- 3 produits façonnés
- VUM = 0,026 m³
- Productivité = 3,3 m³/HMP₅



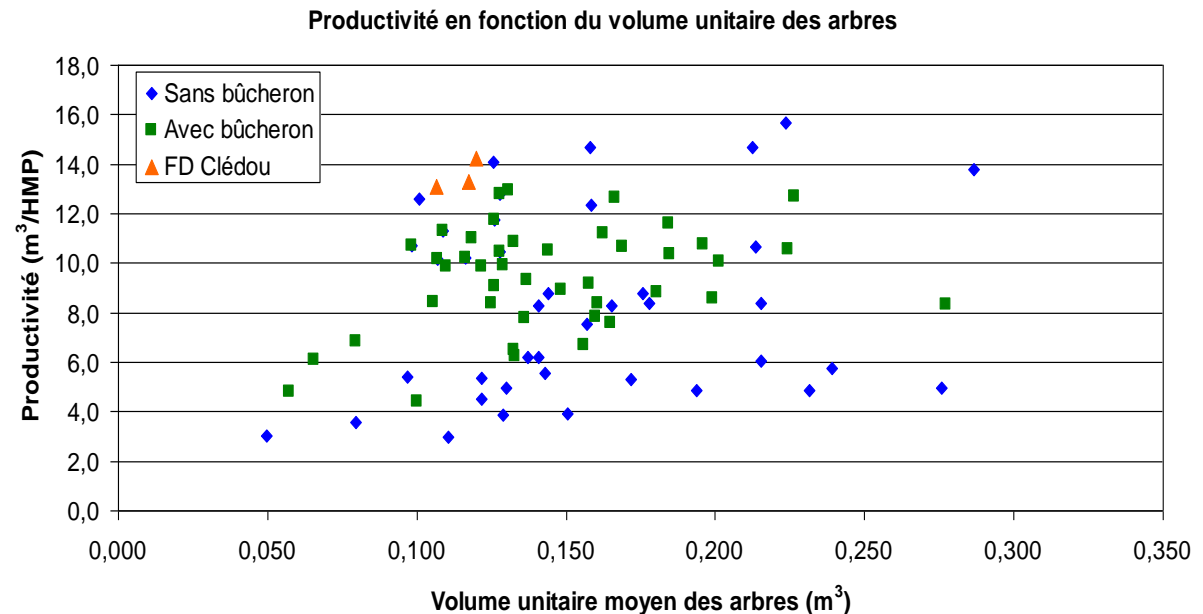
Exemples de suivis de chantiers réalisés

- ✓ Bûcheronnage mécanisé dans un taillis de châtaignier pur avec une [pelle Kobelco SK140SRLC + tête Moïpu 300 F3](#) (double organe d'abattage : cisaille + guide chaîne)
 - 4 produits façonnés dont BE (cimes entières ou arbres entiers) pour 65%
 - VUM = 0,09 m³
 - Productivité = 8 m³/HMP₅

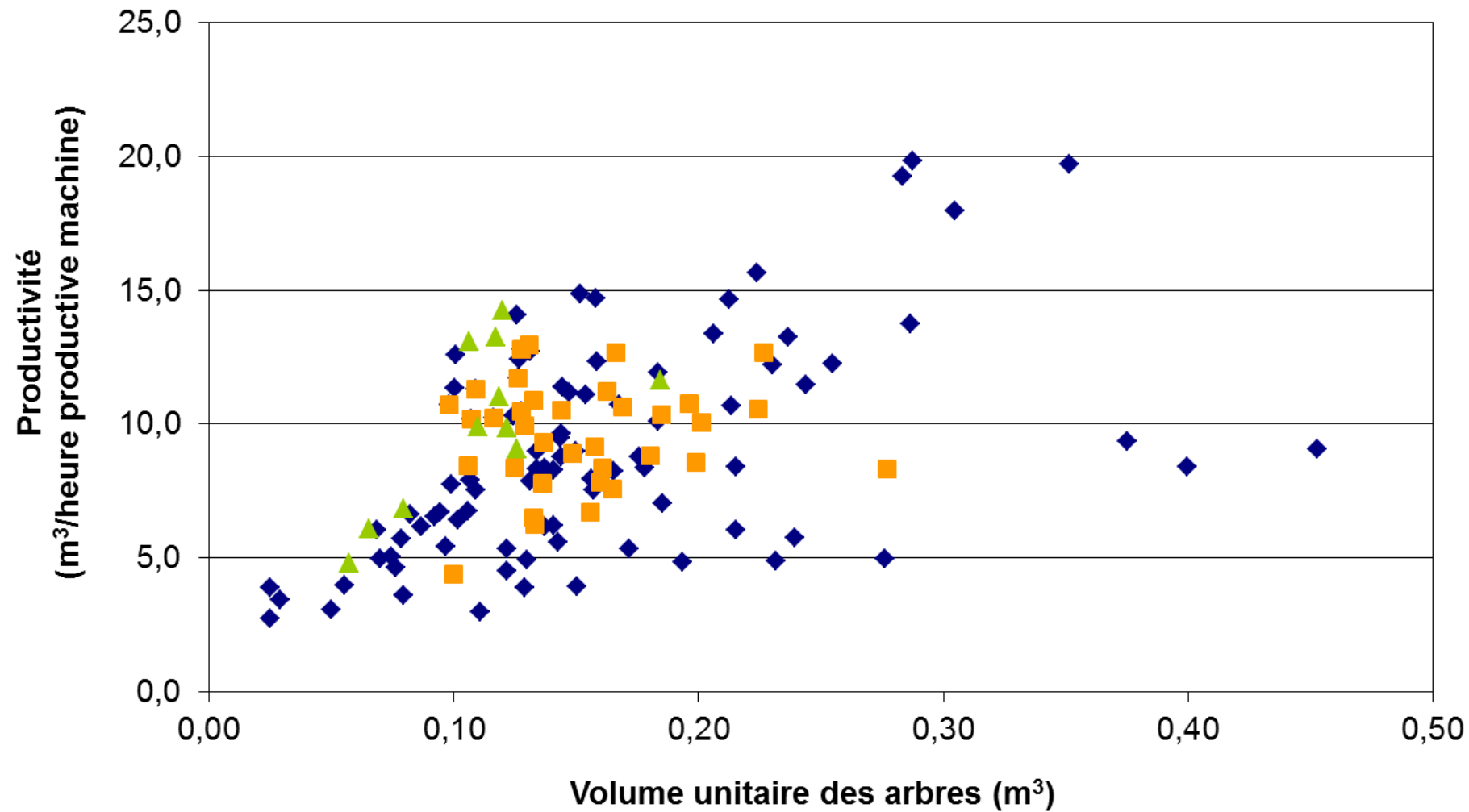


Exemples de suivis de chantiers réalisés

- ✓ Bûcheronnage mécanisé dans un taillis de châtaignier avec 2 engins : abattage au feller-buncher (Timberpro TB 630 + tête Quadco) puis façonnage des tiges à la machine de bûcheronnage (HSM 405H + tête Logmax 6000)
 - 4 produits façonnés
 - VUM = 0,117 m³
 - Productivité = 21 m³/HMP₅ (feller-buncher) / 13,5 m³/HMP₅ (mach. de bûch.)



De nombreux suivis de chantiers réalisés en bûcheronnage mécanisé des feuillus

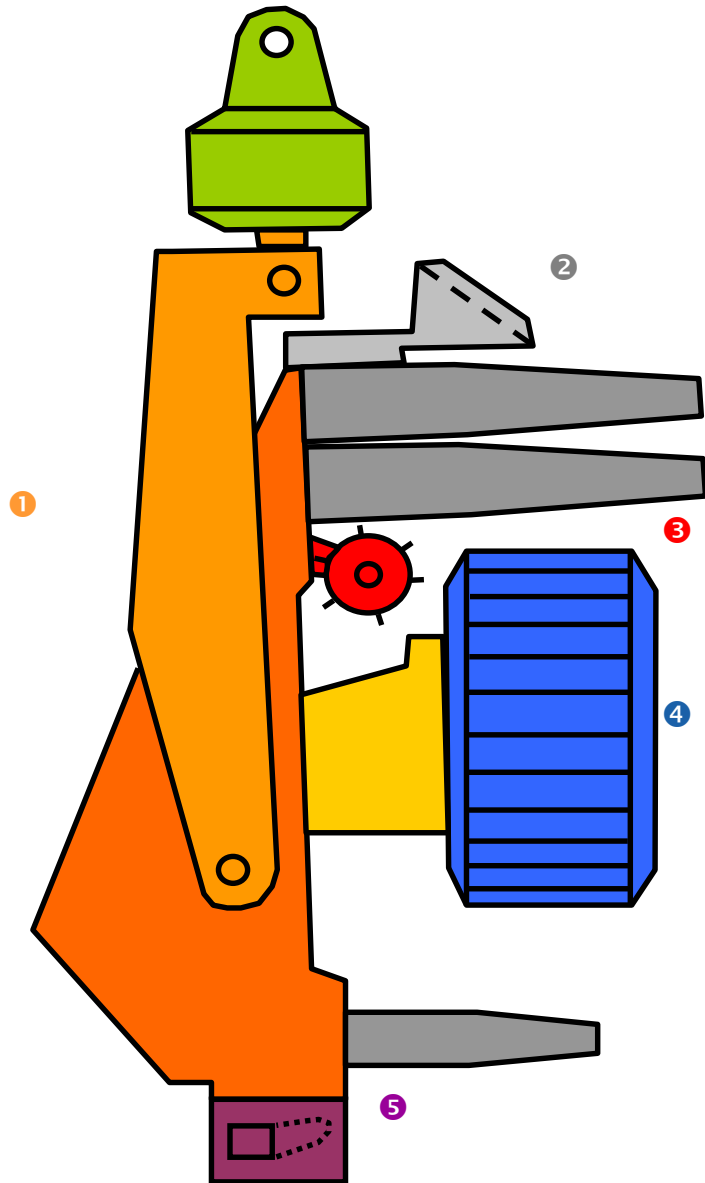


◆ Sans bûcheron ■ Après nettoyage par un bûcheron ▲ Après abatteuse-groupeuse

Tête de bûcheronnage dédiée aux feuillus

- ✓ Il n'existe pas de tête construite spécifiquement pour travailler en feuillus
- ⇒ Toutes les têtes utilisées actuellement en feuillus ou proposés par les constructeurs sont des têtes résineuses avec quelques modifications
- ⇒ Des résultats en feuillus moyens à médiocres :
 - Productivité réduite (50% plus faible qu'en résineux à VUM identique)
 - Fiabilité mécanique à améliorer encore
 - Des productivités qui s'améliorent grâce au gain en puissance des machines
- ⇒ Des paramètres clés autres que le matériel :
 - Le conducteur (expérience longue à acquérir car peu d'automatismes et pas de formation existante)
 - Les méthodes de travail (semi-mécanisation, cloisonnements...)
 - Le choix des coupes et l'organisation des chantiers (VUM, prélèvement, type et nombre de produits façonnés...)
- ✓ Cf. [Synthèse opérationnelle](#) de la mécanisation du bûcheronnage en feuillus

Choix d'une tête pour le feuillu



✓ Une tête robuste :

- Surdimensionnée par rapport aux arbres à abattre (+30%)
- Renforcée
- Compacte en hauteur et en largeur
- Avec 2 rouleaux à serrage parallèle ou serrage angulaire (gros diamètre) puis parallèle (petit diamètre)

✓ Une tête bien réglée (serrage des couteaux et rouleaux)

✓ Un porte-outil puissant

NB : Des matériels de plus en plus puissants et robustes (et chers) => productivité en progression

Quelques exemples de têtes résineuses « adaptées » aux feuillus



Les coupes mécanisables avec le matériel actuel

Caractéristiques		Influence sur la mécanisation		
		Favorable	Neutre	Défavorable
		+ 1	0	- 1
Terrain	Pente	0 – 15 %	15 – 30 %	> 30 %
	Obstacles (rochers, zones humides...)	Aucun	Quelques	Nombreux
Peuplement	Essence, dureté du bois	Bois tendre type bouleau, tremble	Bois de dureté moyenne type châtaignier	Bois dur type chêne, charme, hêtre
	Volume moyen des arbres marchands	200 – 400 dm ³	100 – 200 dm ³ ou > 400 dm ³	< 100 dm ³
	Diamètre moyen des arbres marchands	17,5 – 25 cm	12 – 17,5 cm > 25 cm	< 12 cm
	Variabilité des diam des arbres marchands	2 arbres sur 3	1 arbre sur 2	1 arbre sur 3
		ont leur diamètre inclus dans une fourchette de ± 5 cm autour du diamètre moyen ($D_{1,30\text{ m}}$)		
	% de tiges non marchandes ⁽¹⁾	0 – 20 %	20 – 35 %	> 35 %
	% d'arbres posant problème	< 10 %	10 – 15 %	> 15 %
	Nombre d'arbres marchands par souche	1 – 2	3 – 5	> 5
Opération de récolte	Ecartement des cloisonnements	≤ 16 m	16 – 24 m	> 24 m
	Volume exploité /ha en éclaircie	> 80 m ³ /ha	40 – 80 m ³ /ha	< 40 m ³ /ha
	Volume exploité /ha en coupe rase	> 200 m ³ /ha	100 – 200 m ³ /ha	< 100 m ³ /ha
	Taille du chantier en éclaircie	> 10 ha	4 – 10 ha	< 4 ha
	Taille du chantier en coupe rase	> 5 ha	2 – 5 ha	< 2 ha
	Nombre de produits façonnés	1	2 – 4	> 4

Les productivités potentielles

Note	Classement	Productivité (m ³ /HH)	Commentaires
≥ 3	Favorable	13,0	Plus les caractéristiques de la coupe sont favorables, plus les rendements augmentent de façon exponentielle (jusqu'à une certaine limite)
[-1 ; +2]	Neutre	7,2 (55 % du rendement de la classe favorable)	
≤ -2	Défavorable	5,2 (40% du rendement de la classe favorable)	Si les caractéristiques de la coupe deviennent trop défavorables (ex: pente > 40 %), éviter de mécaniser.



Démarche scientifique

APPLICATION DE L'ANALYSE DE LA VALEUR DANS LE PROJET ECOMEF

Projet ECOMEF: *Eco-CO*ncevoir un outil de MEcanisation pour le bûcheronnage dans les peuplements Feuillus

Budget : 3529 K€

Période: 2010 - 2016

Partenaires



Financeurs



Pôles de compétitivité

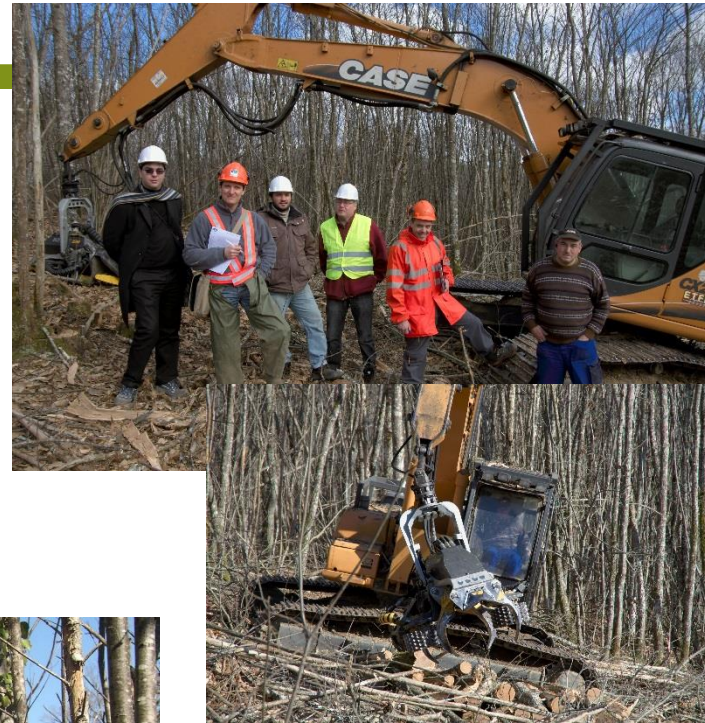


OBJECTIF

Eco-concevoir un outil capable de mécaniser le bûcheronnage des arbres feuillus
afin de développer la récolte forestière, en améliorant la sécurité, l'ergonomie et la performance environnementale des chantiers d'exploitation forestière



Visites de chantier



Phase
d'information

Phase d'analyse
fonctionnelle

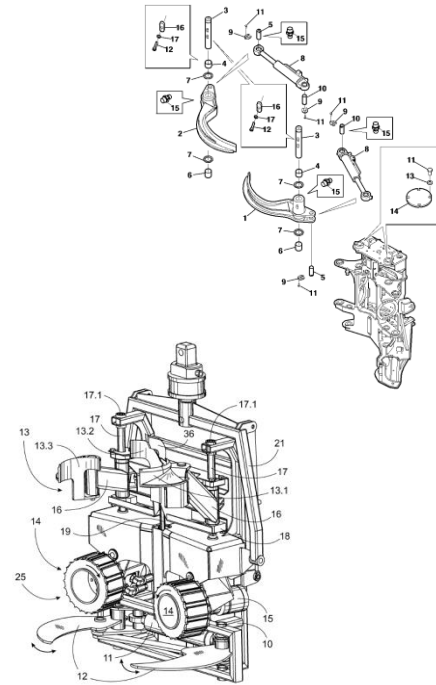
Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de
développement

Phase de
présentation

- Informations techniques sur les solutions existantes
- Etat des lieux des solutions techniques existantes dans le domaine des outils de bûcheronnage mécanisés adaptés à l'exploitation des forêts de feuillus.
- Etude comparative (Benchmarking)



Phase d'information

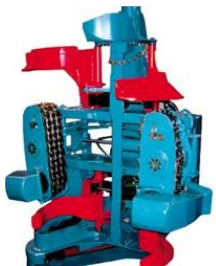
Phase d'analyse fonctionnelle

Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de développement

Phase de présentation



Keto



John Deere



Komatsu



Kesla



Logmax



Ponsse

- **Définition générale du besoin**
- **Analyse du besoin**

Phase
d'information

Phase d'analyse
fonctionnelle

Phase de créativité

Phase d'évaluation

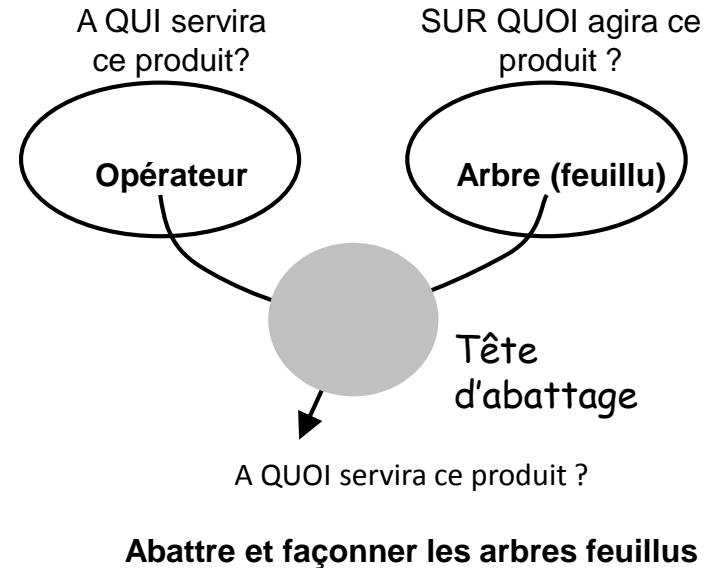
Phase de
développement

Phase de
présentation

Définition générale du besoin

- **A QUI servira ce produit ?**
Utilisateur (conducteur)
- **SUR QUOI agira ce produit ?**
Arbre (feuillu)
- **A QUOI servira ce produit ?**
Abattre et façonner des arbres feuillus

Contrôle de validité des buts de l'étude



Phase d'information

Phase d'analyse fonctionnelle

Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de développement

Phase de présentation

Définition des éléments stratégiques du marché cible et débouché du produit

- Quelles sont les insatisfactions habituellement relevées sur des produits voisins ?
- Quels sont les produits concurrents à examiner, sur quels points particuliers ?
- Quelle est l'espérance de vie commerciale de ce produit ?

Directives particulières sur le produit

- A-t-on des exigences de conception pour un coût objectif (CCO) ?
- A-t-on des exigences particulières en matière de sécurité ?
- Quel genre de documentation(s) attend-on ? quelle(s) langue(s) ?
- ...

Analyse du besoin

...à travers le processus AF

- Identifier et recenser ;
- Ordonner ;
- Caractériser ;
- Hiérarchiser / Valoriser ;



Phase
d'information

Phase d'analyse
fonctionnelle

Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de
développement

Phase de
présentation



...les fonctions.

Cahier des Charges Fonctionnel

- Caractérisation et valorisation des fonctions

Fonction	Importance	Critère	Niveau	Flex
(F 1) Ebrancher l'arbre (feuillu)	22,86 %	Vitesse d'ébranchage	4 m/sec min	F0
		Diamètre des branches au point d'insertion dans le tronc	1 cm < Φ < 10 cm	F0
		Tige et Branchaison selon l'espèce	- Tiges relativement droites, houppier peu développé (Châtaigner).	F0
			- Tiges flexueuses et branchues (branches de gros diamètre) (Chêne). - Bois dur, cassant et très flexueux (Charme). - Tiges relativement droites, nombreuses baionnettes (Hêtre).	
(F 2) Faciliter l'ébranchage des arbres flexueux	19,05 %	Flèche	6 cm maxi	F0
(F 3) Séparer les branches du tronc au ras du fût	11,43 %	Coupe	Coupe propre près du fût	F1
		Chicot	Chicot court pouvant dépasser (de 1 à 5 cm) suivant le CdC	F1
(F 4) Traiter (manipuler) les fourches	16,67 %	Reprise des fourches	Reprise facile des fourches sans perte de temps	F1
(F 5) Préserver le bois	15,24 %	Marques (profondeurs des empreintes)	1 cm de profondeur max	F0
(F 6) Préserver l'écorce	5,24 %	Écorçage	5 % d'écorce enlevée	F0
(F 7) Maintenir le système de mesure dégagé des écorces	9,52 %	Bourrage	Système de mesure des longueurs toujours dégagé (pas de bourrage)	F1

Phase d'information

Phase d'analyse fonctionnelle

Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de développement

Phase de présentation

Cahier des Charges Fonctionnel

- **Hiérarchisation** en utilisant la méthode de tri croisé

(F 1) Ebrancher l'arbre	22,86 %	
(F 2) Faciliter l'ébranchage des arbres flexueux	19,05 %	
(F 4) Traiter (manipuler) les fourches	16,67 %	
(F 5) Préserver le bois	15,24 %	
(F 3) Séparer les branches du tronc au ras du fût	11,43 %	
(F 7) Maintenir le système de mesure dégagé	9,52 %	
(F 6) Préserver l'écorce	5,24 %	

- **Evaluation de la satisfaction** (des systèmes existants)

Fonctions (par ordre d'importance)	Satisfaction				Commentaires
	++	+	-	--	
(F 1) Ebrancher l'arbre (feuillu)				x	Très insuffisant pour les branches de gros diamètre
(F 2) Faciliter l'ébranchage des arbres flexueux				x	Blocage des arbres flexueux dans la tête d'abattage
(F 4) Traiter (manipuler) les fourches		x			
(F 5) Préserver le bois			x		Marquage excessif du bois
(F 3) Séparer les branches du tronc au ras du fût		x			
(F 7) Maintenir le système de mesure dégagé		x			
(F 6) Préserver l'écorce		x			

Phase d'information

Phase d'analyse fonctionnelle

Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de développement

Phase de présentation

Principaux problèmes à résoudre

- Couper les branches de gros diamètre (ébranchage)
- Blocage des arbres flexueux dans la tête d'abattage



Grosses branches



Tronc flexueux

Phase
d'information

Phase d'analyse
fonctionnelle

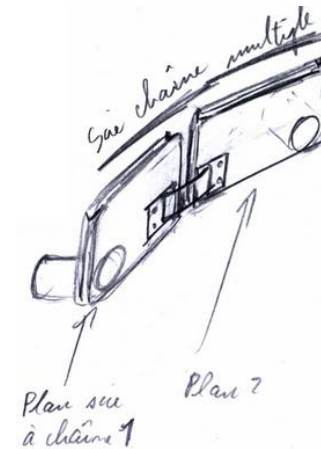
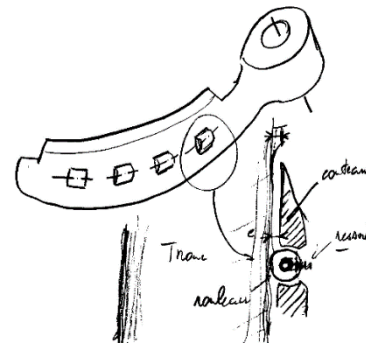
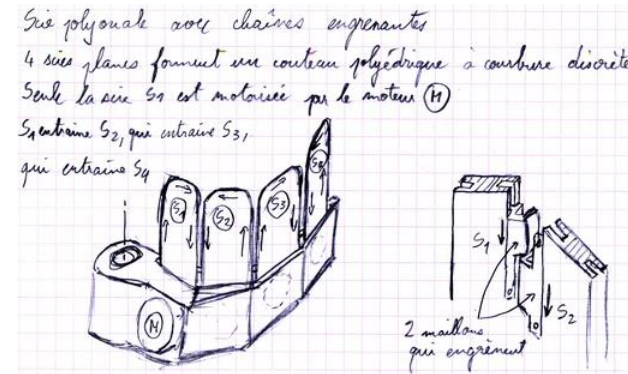
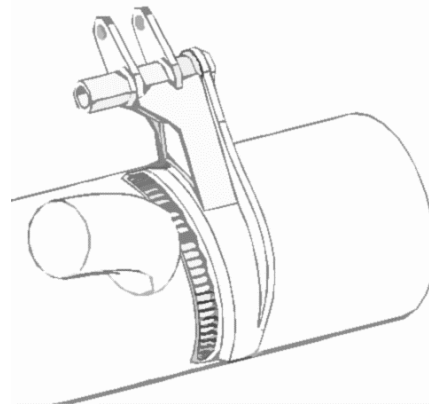
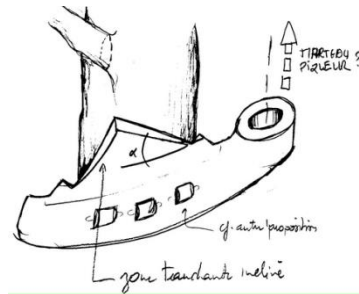
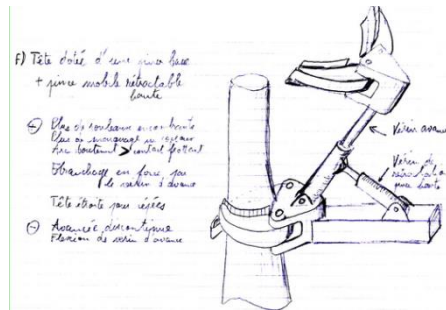
Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de
développement

Phase de
présentation

Concepts de solutions pour le problème « couper les grosses branches »



Phase
d'information

Phase d'analyse
fonctionnelle

Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de
développement

Phase de
présentation

Evaluer tous les concepts et sélectionner ceux dont le potentiel d'amélioration de la valeur est le plus élevé

Liste des concepts

Lister les concepts

Lister les concepts non mis en sommeil

Lister les concepts en sommeil

Lister les concepts finaux

No	Détails...	Descriptif
1	Détails...	Il faudrait que l'endroit où les rouleaux prennent appui pour entraîner ne corresponde pas à la surface des billons. Les endroits où les rouleaux prennent appui ne deviennent pas des billons : ils sont supprimés. Les rouleaux prennent appui sur des branches supprimées par la suite, non valorisées. Les couteaux supérieurs pourraient laisser des chicots sur lesquels les rouleaux prennent appui et les couteaux inférieurs finissent l'ébranchage.
2	Détails...	La translation et l'ébranchage ne se font pas simultanément. Lorsque la translation de la tête sur le tronc l'amène à rencontrer une branche, un autre dispositif co-supplémentaire des rouleaux sur le tronc.
3	Détails...	La surface des rouleaux devient rugueuse lorsque l'ébranchage demande un effort supplémentaire. Les rouleaux peuvent être composés d'une âme métallique en étoile. L terminées par des pics. Entre les pics, une matière déformable donne le profil rond du rouleau. Lorsque l'effort d'entraînement nécessaire augmente, l'effort de pression d augmente grâce à un système d'antipatinage et la matière déformable laisse apparaître les pics métalliques qui pénètrent alors dans le tronc pour l'entraîner efficacement.

Liste des critères d'évaluation.

Lister les critères d'évaluation

Lister vos évaluations

Voir les résultats des évaluations

No	Désignation	Explication
1	Applicabilité à court terme.	Est-ce que le concept est réalisable à court terme et peut s'adapter sur un porte-outils actuel? 0-non 1-oui
2	Niveau d'innovation.	1-concept évident. 2-amélioration mineure. 3-amélioration majeure. 4-nouveau concept. remarque: ne pas mettre 0!
3	Faisabilité technique.	1-très difficile. 2-difficile. 3-facile. 4-très facile. remarque: ne pas mettre 0!

Phase d'information

Phase d'analyse fonctionnelle

Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de développement

Phase de présentation

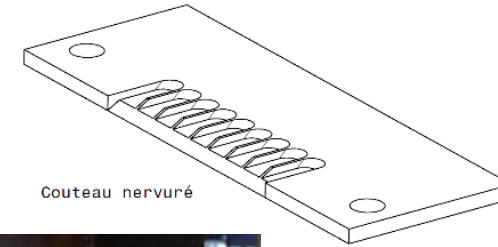
Tableau multicritères (applicabilité à court terme, niveau d'innovation, faisabilité technique)

www.fcba.fr

34

Solution « Couteau nervuré »

- **Banc d'essais**



Couteau nervuré



- **Suivi couteaux nervurés (tests en conditions réelles)**



Phase
d'information

Phase d'analyse
fonctionnelle

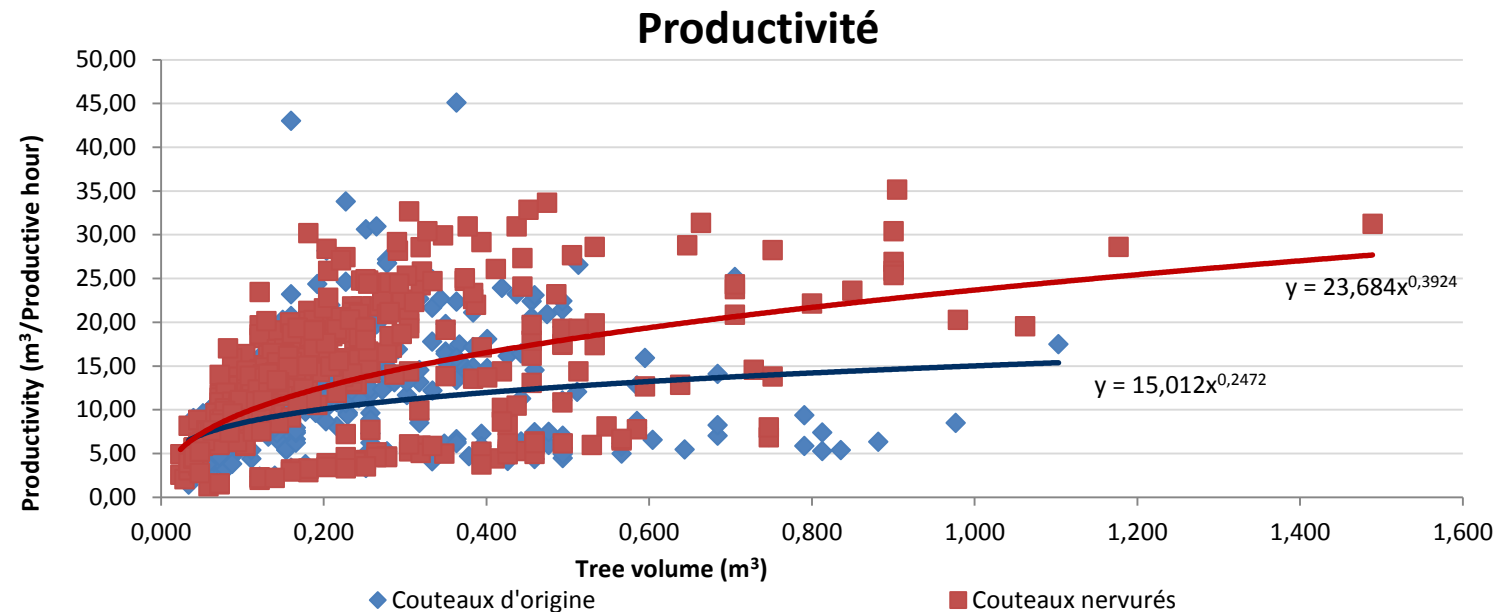
Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de
développement

Phase de
présentation

Solution « Couteaux nervurés »



		Case CX 210 + harvesting head Kesla 25 RH II		John Deere 1170E + harvesting head H752	
		Original knives	Ribbed knives	Original knives	Ribbed knives
Average stem volume (m³)		0.151	0.150	0.286	0.284
Number of monitored trees		50	225	246	93
Productivity during <u>tree process</u> (m³/PMH)	Min	11.0	10.2	3.9	7.7
	Max	54.2	69.4	82.8	94.6
	Moy	27.2	32.9	25.8	31.4
Gain on productivity			+21%		+21.7%

Phase
d'information

Phase d'analyse
fonctionnelle

Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de
développement

Phase de
présentation

Solution « Couteaux nervurés »

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication : 3 020 917
(à utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : 14 54476

51 Int. C. : A 01 G 23/095 (2013.01)

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

22 Date de dépôt : 19.05.14.
30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 20.11.15 Bulletin 15/47.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : Se reporter à la fin du
présent fascicule

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : ISI INTEGRATION & SOLUTIONS
INDUSTRIELLES Société par actions simplifiée — FR.

72 Inventeur(s) : DARGNAT GUILLAUME, DEVEMY
CELINE, PELLET HENRI-PASCAL et FAUROUX
JEAN-CHRISTOPHE.

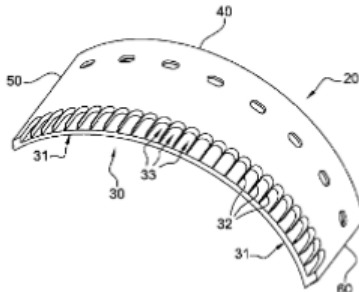
73 Titulaire(s) : ISI INTEGRATION & SOLUTIONS
INDUSTRIELLES Société par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : CABINET LUERN.

Demande(s) d'extension :

54 LAME COURBE D'EBRANCHAGE, SON UTILISATION, TETE D'EBRANCHAGE ET KIT DE COUPE
CORRESPONDANTS.

57 Cette lame courbe (20) comprend un bord de coupe
(30), dont au moins une partie comprend une semelle conti-
nue (31) définissant une arête continue de coupe, ainsi
qu'au moins une rangée de nervures (32) s'étendant en di-
rection d'au moins une face du bord de coupe, à partir de
cette semelle continue.
La lame conforme à l'invention permet de réduire les ef-
forts de coupe, par comparaison avec une lame courbe non
nervurée, telle qu'utilisée dans l'art antérieur. En effet,
l'arête continue est associée à des nervures qui ont pour
fonction de réduire la flexion latérale sous charge de cette
arête continue. Par conséquent il est possible de dimen-
sionner la semelle et l'arête, sans risque de rupture, afin
qu'elles présentent une surface de contact réduite avec
l'arbre, ce qui améliore la découpe de la matière.



Phase
d'information

Phase d'analyse
fonctionnelle

Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de
développement

Phase de
présentation

FR 3 020 917 - A1

Solution « Couteaux nervurés »



Phase
d'information

Phase d'analyse
fonctionnelle

Phase de créativité

Phase d'évaluation

Phase de
développement

Phase de
présentation

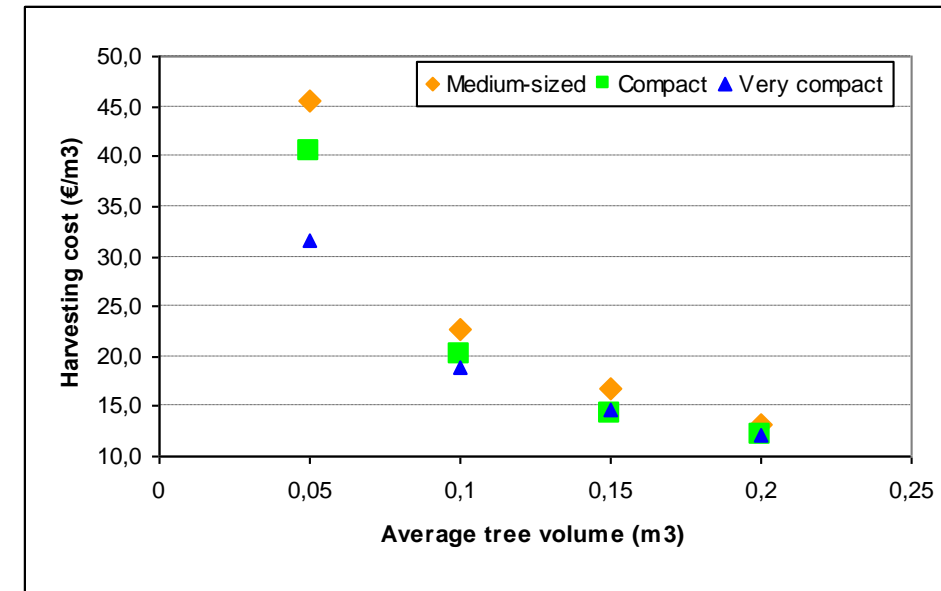
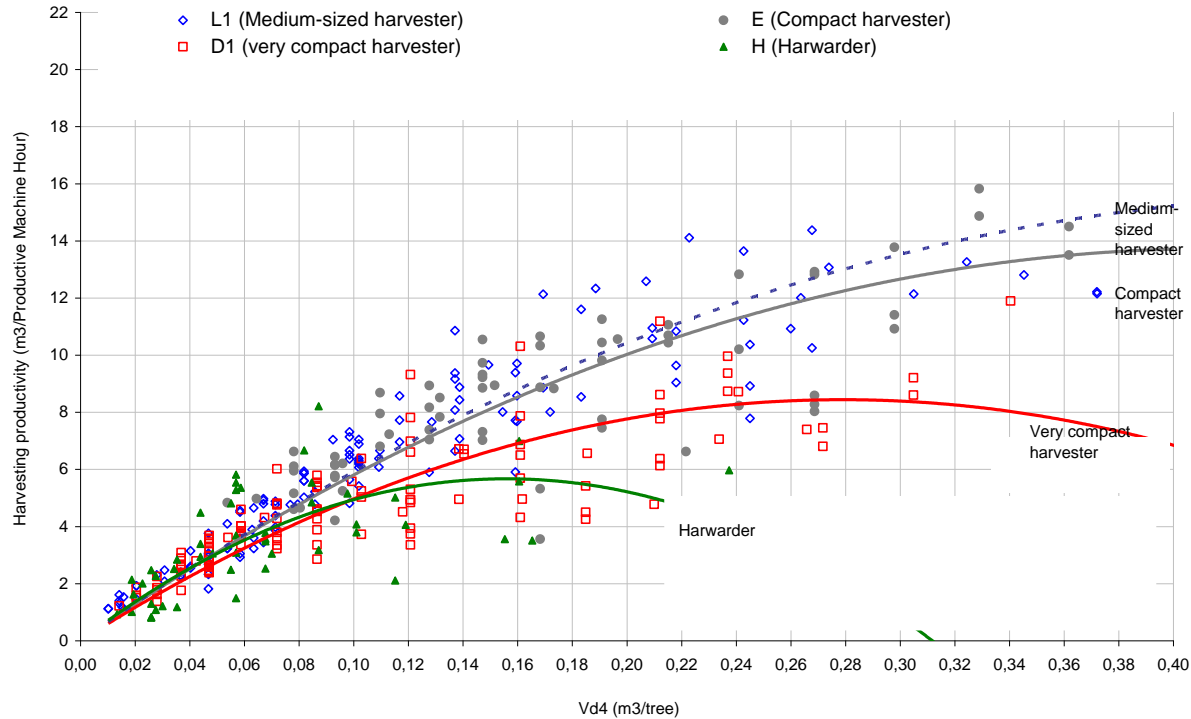


Autres essais et développements

Premières éclaircies et petite mécanisation



Premières éclaircies et petite mécanisation



Système d'exploitation à 1 seul engin



*Suivis : 2 porteurs,
5 chantiers 2013/2014*



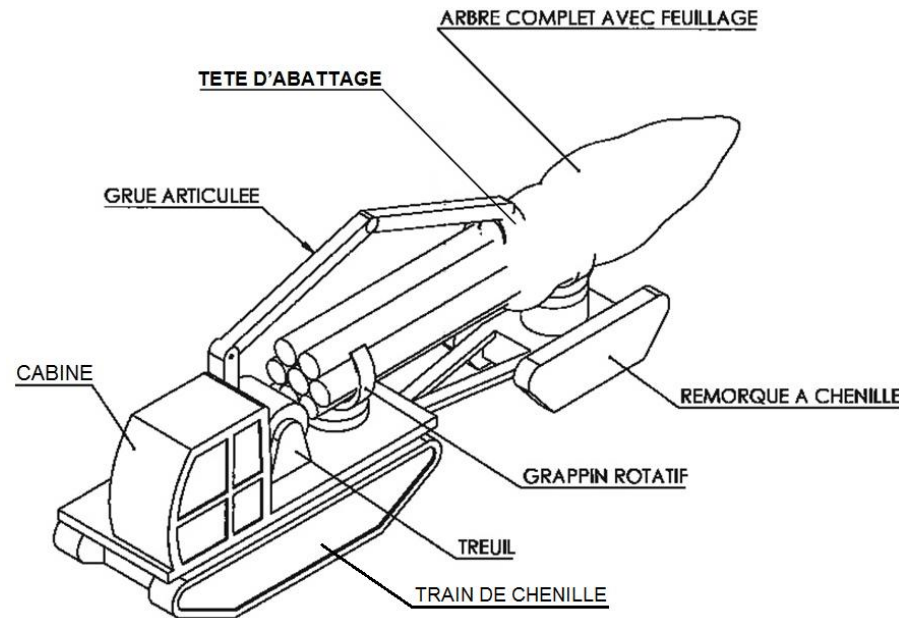
Système d'exploitation à 2 engins



Suivis : 1 pelle+1 porteur, 2 chantiers 2015

BioMobilizer : développement d'un porte-outil polyvalent à faible impact au sol

- ✓ Concevoir un porte-outil polyvalent chenillé, à faible impact environnemental, permettant l'abattage et le débardage de la biomasse forestière
- ✓ Développement d'une preuve de concept puis d'un démonstrateur, à vocation pré-industrielle, d'un engin polyvalent, intégrant plusieurs phases d'innovation





Perspectives

Développer de nouveaux concepts et aller jusqu'à leur industrialisation/commercialisation

- ✓ **Achever l'industrialisation et la commercialisation des couteaux nervurés**
- ✓ **Poursuivre les travaux de recherche de nouveaux concepts initiés dans le projet ECOMEF**
- ✓ **Stimuler les constructeurs en place pour qu'ils s'intéressent enfin au bûcheronnage mécanisé des feuillus**

Accompagner les professionnels dans la mise en œuvre opérationnelle de ces nouvelles pratiques de récolte

- ✓ Cf. projet MECAFOX (Vers un déploiement compétitif de la mécanisation de l'exploitation des feuillus en Occitanie) :
 - Ne concerne qu'une région
 - Et uniquement le bûcheronnage mécanisé

 - ✓ Aller plus loin pour déterminer la bonne méthode de mécanisation en fonction des peuplements et produits souhaités :
 - Compléter les références technico-économiques (quels coûts et productivités attendus)
 - Rédiger un guide opérationnel
 - En intégrant les bonnes pratiques environnementales et de sécurité
 - Transférer
- Cf. demandes en AuRA, BFC, Grand-Est...



Merci de votre attention

Mahmoud CHAKROUN, mahmoud.chakroun@fcba.fr

Emmanuel CACOT, emmanuel.cacot@fcba.fr