FCBA INFO

# NOUVEL OUTIL D'EBRANCHAGE

## POUR LE BUCHERONNAGE MECANISE DES FEUILLUS :

### RETOUR SUR LES NOUVEAUX COUTEAUX NERVURES APRES UNE ANNEE D'EXPERIENCE

**Le nombre de machines de bûcheronnage[1] travaillant dans les peuplements feuillus a augmenté en France entre 2008 et 2014 passant de de 72 à 105 équivalents temps plein (soit +46%), progression également constatée en ce qui concerne le nombre d'entreprises mécanisées (62 à 73, soit +18%). Au cours de la même période, leur productivité est passée de 14 000 m³ à 15 000 m³ par an (+7%) pour une machine travaillant à temps plein en feuillus (Cacot et al., 2015a). Malgré cela, les conducteurs interviewés considèrent que leurs machines de bûcheronnage ne sont pas encore assez adaptées aux caractéristiques typiques des feuillus (branchaison, flexuosité, cépées). En outre, les productivités restent faibles par rapport aux performances des mêmes machines dans les peuplements résineux, ce qui freine l'adoption de la mécanisation dans les feuillus. Par ailleurs, la diminution de la main d'œuvre manuelle (-400 bûcherons/an) et les objectifs d'accroissement de la récolte du Programme National de la Forêt et du Bois (+12 Mm³/an d'ici 2026) imposent toutes les deux des réponses à ce défi de la mécanisation (Cacot et al., 2015b).**

**En réponse à ces enjeux, le projet ECOMEF (Eco-conception d'un outil mécanisé pour la récolte de feuillus) a visé à développer une tête spécifique pour la récolte mécanisée dans les feuillus. Pour ce faire, selon une méthodologie d'innovation (Chakroun et al., 2014), les problèmes rencontrés avec les têtes de bûcheronnage développées pour les résineux ont été répertoriés et classés par ordre d'importance. Ainsi les 3 principaux problèmes sont par dans l'ordre : l'ébranchage (à cause de grosses branches, d'un bois dur, d'angles aigus avec le tronc), le défilement des arbres flexueux dans les têtes et la saisie des arbres dans les cépées. Suivant la méthodologie d'innovation, de nombreux concepts ont été imaginés pour résoudre ces problèmes. Les plus prometteurs ont été développés, testés en laboratoire avec des démonstrateurs monofonctionnels puis, pour les plus pertinents, testés sur chantiers forestiers. Ainsi, des couteaux nervurés pour l'ébranchage ont été conçus.**

Looking at mechanized cut-to-length harvesting in broadleaved stands in France, an increase of the workforce was observed between 2008 and 2014 both in terms of companies (62 to 73: +18%) and harvesters (from 72 to 105: +46%). During the same period, machine productivity rose from 14,000 m³ to 15,000 m³ per year (+7%), for a full-time equivalent harvester. Despite this, interviewed drivers consider that the current harvesters are not yet adapted enough to hardwoods' typical branchiness and crookiness… Moreover productivities are judged as low compared to the performances of the same machines in softwood stands, which holds back the adoption of fully-mechanized practices in broadleaved stands. On the other hand, the decrease of manual workforce (-400 lumberjacks/year) and the national mobilization policy (+12 Mm³/year by 2025) both call for answers to this mechanization challenge.

Several solutions were imagined, developed and tested in ECOMEF project (Eco-design of a mechanized tool for hardwood harvesting). One focuses on the shape of the delimbing knives modified by the integration of ribs in the cutting area. First, the energy required by different sorts of blades to cut hardwood branches was quantified in laboratory by IFMA. Usual knives were compared to different shapes of ribbed knives (length, thickness, width of ribs) to determine the best performing solution. Based on these results, 2 harvesters working over 90% of their time in broadleaved stands (chestnut, oak, hornbeam, birch…) were equipped with 1 fix and 2 mobile ribbed knives per head: John Deere 1270E with 752 HD head and tracked excavator Case CX 210 with Foresteri 25 RH head. A global survey (productivity, wear of the knives, opinion of drivers) was carried out by FCBA during almost one year. Some time-studies were also recorded for specific trees, with numerous and big branches, to focus on the efficiency of this new knives in comparison with the normal ones. With the ribbed knives, the 2 harvesters were in average 21% more productive during delimbing process. The global productivity is less impacted by this novelty but the drivers were very satisfied by the robustness of the knives.

Work is still underway to further optimize the shape of knives and integrate other innovations from the ECOMEF project.

✓ voir la presentation FCBA "New delimbing tool for hardwood trees: feedback on new ribbed knives after one year experience"

[1] Nous parlons ici des machines de bûcheronnage qui abattent, ébranchent et billonnent les arbres.


Copyright FCBA INFO, 5_février 2017

# Conception et essai de lames nervurées en laboratoire

## Conception de nouvelles formes d'ébranchage

Les couteaux actuellement disponibles sur le marché ont la forme de lames courbes en acier, soudées à un bras pivotant incurvé. Le processus d'ébranchage consiste à faire glisser les couteaux le long de la surface du tronc à une vitesse donnée (typiquement de 1 à 7 m/s) pour venir couper les branches à leur base par choc contre le bord tranchant de la lame. Cette opération d'ébranchage pourrait être améliorée grâce à des couteaux innovants. Ainsi des brevets existants prouvent que des formes innovantes de lames pourraient apporter des gains. De plus, des essais menés au cours du projet ECOMEF ont montré que l'épaisseur de la lame devait être réduite pour une meilleure efficacité (Dargnat et al., 2014).

En utilisant cette idée, il a été décidé d'essayer de diminuer la force de coupe nécessaire pour couper une branche en utilisant une lame aussi fine que possible.

En procédant ainsi, la surface de contact entre le couteau et la branche est minimisée durant la coupe. Cela aide à réduire le frottement et augmente également la tension sur les fibres de bois qui se déchirent au bord de la lame. De toute évidence, une lame très fine doit également être suffisamment robuste pour résister aux contraintes exercées lors de la coupe et plus généralement à tous les chocs qui surviennent pendant les opérations forestières. Afin d'éviter tout pliage du tranchant, des nervures supplémentaires, utilisées comme raidisseurs, ont été positionnées régulièrement le long de la face externe de la lame.

La figure 1 montre la nouvelle conception de lame et les paramètres dimensionnels associés :

- β, l'angle d'affûtage de la lame,
- th_b, l'épaisseur de lame,
- l_r, la profondeur de nervure,
- th_k, l'épaisseur du couteau,
- d_r, la distance entre nervures,
- th_r, l'épaisseur de nervure.

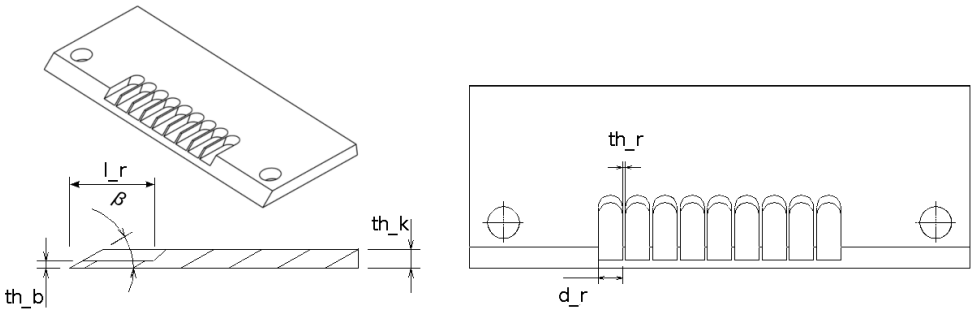


Figure 1 : Géométrie du couteau nervuré innovant avec ses paramètres géométriques

## Essais de divers couteaux nervurés sur banc d'essai

Les effets des différents paramètres géométriques du couteau sur la force nécessaire lors de la coupe de branches ont été testés. Pour cela, un banc d'essai a été construit afin de comparer de nombreux types de lames d'ébranchage sur des branches (photo 1). Il comprend un support de lame glissant sur des rails de guidage et actionné par un vérin hydraulique. La branche est maintenue par deux supports et les paramètres de la coupe (force de poussée du vérin et vitesse de déplacement de la lame) sont mesurés par deux capteurs.

Un premier travail préalable a été effectué pour évaluer la performance d'ébranchage des lames lisses existantes. Ces essais ont mis en évidence un effet positif des nouvelles lames nervurées sur la force de coupe par rapport aux lames régulières lisses (voir tableau 1).

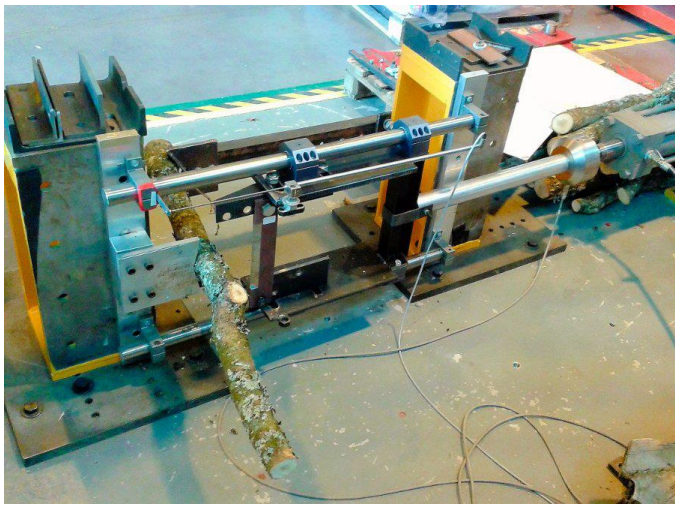

Photo 1 : Banc d'essai d'ébranchage

| Nom du couteau Th_k - th_b - th_r | Épaisseur du couteau Th_k (mm) | Épaisseur de la lame Th_b (mm) | Epaisseur de la nervure th_r (mm) | Force maximale Force (kN) |
|---|---|---|---|---|
| 1. Lisse 8 mm | 8 | / | / | 30.0 |
| 2. Nervuré 8-3-2 | 8 | 3 | 2 | 26.9 |
| 3. Lisse 10 | 10 | / | / | 32.9 |
| 4. Nervuré 10-3-1 | 10 | 3 | 1 | 26.3 |
| 5. Nervuré 10-3-2 | 10 | 3 | 2 | 25.6 |
| 6. Nervuré 10-5-2 | 10 | 5 | 2 | 27.4 |
| 7. Lisse 12 | 12 | / | / | 32.4 |
| 8. Nervuré 12-5-2 | 12 | 5 | 2 | 25.9 |
| 9. Nervuré 12-7-2 | 12 | 7 | 2 | 30.2 |

Tableau 1 : Liste des 9 configurations testées sur le banc et force maximale nécessaire à la coupe (diamètre de la branche 80mm, β = 30 °, l_r = 40mm, d_r = 16mm)

L'influence de différents paramètres géométriques sur les forces de coupe a également été expérimentée. Un faible angle d'affûtage (β proche de 15°) a diminué la force de coupe, mais les lames ont été endommagées en raison d'un manque de résistance mécanique. 30 ° semble être un bon compromis. De la même manière, la lame de faible épaisseur (th_b <1mm) n'a pas été assez résistante et a été jugée non adaptée aux conditions de fonctionnement. L'effet de la profondeur des nervures n'a pas été clairement établi et des tests complémentaires seraient nécessaires. Une faible distance entre les nervures (8 mm) augmente significativement les efforts de coupe et un bon compromis entre la résistance mécanique et les forces de coupe a été établi à 16 mm.

Des simulations complémentaires par élément fini ont été effectuées sur un modèle de couteau incurvé pour optimiser sa géométrie et trouver la charge maximale admissible pour différentes configurations de couteaux. L'objectif était de comparer ces charges aux efforts lors de l'impact puis lors de la coupe de la branche. Les simulations ont permis d'extraire neuf configurations à tester sur le banc d'essai (Tableau 1). Pour toutes ces configurations, l'angle d'affûtage β a été réglé à 30°, la profondeur des nervures l_r à 40 mm et la distance entre les nervures d_r à 16 mm.

L'analyse de la coupe des branches au cours des essais a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Les lames d'épaisseur th_b = 3 mm ne sont pas suffisamment rigides et des déformations plastiques se produisent lors de l'ébranchage :
  - Un pliage du couteau nervuré 8-3-2 se produit pour un diamètre de branche de 75 mm (ce qui correspond à une charge axiale de 30 kN).
  - Une flexion du couteau nervuré 10-3-2 se produit pour un diamètre de branche de 100 mm (ce qui correspond à une charge axiale de 48 kN).
- L'épaississement des nervures de 1 à 2 mm augmente légèrement les forces nécessaires à la coupe, soit 26,3 kN pour les nervures 10-3-1 et 25,6 kN pour les nervures 10-3-2.
- Pour une épaisseur de couteau donnée, plus la lame est fine, moins les forces nécessaires à la coupe sont importantes.
- Pour une épaisseur donnée de la lame de coupe, l'épaisseur du couteau et donc la hauteur des nervures ont eu un effet limité sur les forces maximales de coupe.

## Premiers essais sur le terrain

Après ces résultats expérimentaux sur banc d'essai, un prototype de couteau à nervures a été fabriqué pour des tests sur une tête de bûcheronnage Kesla 25RH. Les essais ont permis d'évaluer la résistance du matériau en conditions réelles, de quantifier les forces nécessaires à l'ébranchage et les gains de productivité. Ils ont été menés dans un taillis de châtaignier. Cinq prototypes de couteaux ont ainsi été testés, ayant différents paramètres th_k-th_b-th_r-l_r (épaisseur de couteau – épaisseur de lame – épaisseur de nervure – profondeur de nervure), chacun sur une cinquantaine d'arbres. Les résultats sont résumés dans le tableau 2. Tous les couteaux nervurés innovants ont apporté des gains de productivité (en $m^3$/heure machine productive) par rapport aux couteaux d'origine, de 8% à 40% (à volume unitaire identique des arbres). Les nervures longues ont également été testées avec succès.

| Type de couteaux th_k-th_b-th_r-l_r | 12-5-2-43 | 10-3-2-43 | 12-7-2-43 | 12-5-2-94 | 12-7-2-94 |
|---|---|---|---|---|---|
| Gain de productivité | 8% | 23% | 40% | 32% | 32% |

Tableau 2 : Gains de productivité pour les 5 couteaux nervurés testés par rapport à un couteau classique


Copyright FCBA INFO, 5_février 2017

Photo 2 : Prototype de couteau nervuré remplaçant un couteau classique mobile sur une tête de récolte Kesla 25 RH

# Essais de couteaux nervurés en conditions réelles

## Matériel et méthode

Sur la base des résultats précédents, deux machines (photos 3) ont été équipées des meilleurs couteaux à nervures (12-7-2). Les profondeurs des nervures (l_r) ont dû être adaptées pour chaque couteau des 2 têtes en tenant compte de l'espace existant entre eux.

Ces deux machines ont été sélectionnées suivant différents critères :

- Elles travaillaient à plus de 90% de leur temps dans des peuplements feuillus présentant des conditions variées : régions différentes (Centre / Aquitaine), diversité des types de peuplements (futaies régulières / taillis), d'espèces (chêne / châtaignier), d'interventions sylvicoles (éclaircies / coupes rases) ;
- Elles représentaient des types de machines avec des porte-outils (combiné d'abattage / pelle mécanique) et des têtes de bûcheronnage différents, par ailleurs bien représentés en France en bûcheronnage mécanisé des feuillus ;
- Les conducteurs étaient très expérimentés avec plus de 15 ans en conduite de machine de bûcheronnage, principalement dans les peuplements feuillus.

La tête Kesla 25RH a pu être équipée de 3 couteaux nervurés : 1 fixe et les 2 mobiles supérieurs (photos 3). Les lames nervurées ont été boulonnées aux couteaux mobiles originaux modifiés. Pour la tête de bûcheronnage JD H752, la fabrication des couteaux nervurés a été plus difficile en raison de la forme des couteaux d'origine (triangulaire) et du faible espace entre les deux mobiles (trop peu d'espace pour insérer une lame nervurée sur le couteau inférieur). En conséquence, malgré le test de 4 versions différentes de couteaux nervurés, cette tête n'a pu être équipée que de lames nervurées sur le couteau fixe et le couteau mobile supérieur pour ces essais. Ainsi, pour la JD H752, nous n'avons pas eu une couronne d'ébranchage à nervures complète mais seulement partielle.

Ces tests ont été effectués pendant plus d'un an, de novembre 2014 à mars 2016. Nous avons pu ainsi demander aux opérateurs leur avis et retour d'expérience sur les couteaux nervurés : qu'en pensent-ils ? quelles sont les difficultés / facilités qu'ils ont rencontrées en conditions réelles de production en forêt ? Etc… Par ailleurs, au cours de cette période, 768 arbres ont été suivis précisément, en chronométrant arbre par arbre toutes les phases d'abattage et de façonnage (protocole FCBA, compatible avec le protocole européen AIR3-CT94-2097). Ces arbres ont tous été choisis en fonction de leurs caractéristiques de forme et de dimension (diamètre à 1,30 m, branchaison, flexuosité) qui ont été relevées au préalable suivant une grille de notation. Dans la mesure du possible, deux échantillons d'arbres ont été caractérisés par chantier et traités séparément afin de comparer les couteaux d'origine et ceux à nervures.

Photos 3 : Pelle sur chenilles Case CX 210 + tête de bûcheronnage Kesla 25 RH II (à gauche), combiné d'abattage John Deere 1170E + tête de bûcheronnage H752 (à droite)

| | | Chêne | | Autres espèces (châtaignier, bouleau, tremble…) | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ⌀ < 25cm | ⌀ > 25cm | ⌀ < 25cm | ⌀ > 25cm | |
| CASE CX 210 + Kesla 25 RH II | Couteaux normaux | - | - | 50 | - | 50 |
| | Couteaux nervurés | 25 | 4 | 249 | 44 | 322 |
| John Deere 1170E + H752 | Couteaux normaux | 16 | 37 | 165 | 28 | 246 |
| | Couteaux nervurés | 32 | 20 | 95 | 3 | 150 |
| **Total** | | **73** | **61** | **559** | **75** | **768** |

Tableau 3 : Nombre d'arbres chronométrés pendant leur abattage-façonnage selon leur espèce et leur diamètre

## Analyse et résultats

### • Retour d'expérience des conducteurs

Leur premier et important retour est le bon résultat de ces nouveaux couteaux nervurés dans le processus d'ébranchage par rapport aux couteaux normaux, même si aucune mesure spécifique n'a été réalisée pour caractériser précisément cet aspect. Les branches sont correctement sectionnées, près du tronc, avec une coupe plus nette, même avec de grosses branches (10-15 cm de diamètre). Les billons obtenus sont conformes aux cahiers des charges des usines.

Après une année d'expérience, les pilotes ont également souligné la bonne robustesse des lames nervurées et la bonne résistance de l'affûtage.

Photo 4 : Billons de châtaigniers façonnés avec des couteaux nervurés : billons pour piquets (à gauche), à destination de la trituration (au milieu) et du sciage (à droite)

### • Résultats sur la productivité

Les conducteurs observent eux-mêmes un gain de productivité (un des conducteurs estime son gain de productivité annuel à 25% grâce aux couteaux nervurés), mais variable suivant les chantiers, l'espèce, la forme globale des arbres (peuplements avec une majorité d'arbres droits ou inversement avec des arbres flexueux) et les types de coupe (coupes rases ou éclaircies). Les chronométrages réalisés par FCBA mettent en évidence un léger gain sur la productivité globale avec les couteaux nervurés en coupe rase, mais non statiquement significatif. En effet, quelle que soit leur forme, les couteaux n'ont d'influence que sur le processus d'ébranchage et bien d'autres paramètres que la branchaison sont impliqués dans la productivité des machines de bûcheronnage dans les peuplements feuillus (voir la figure ci-dessous avec l'effet des coupes rases et éclaircies).

Photo 5 : État des couteaux nervurés (tête Kesla 25RH) après une année d'utilisation en peuplements feuillus

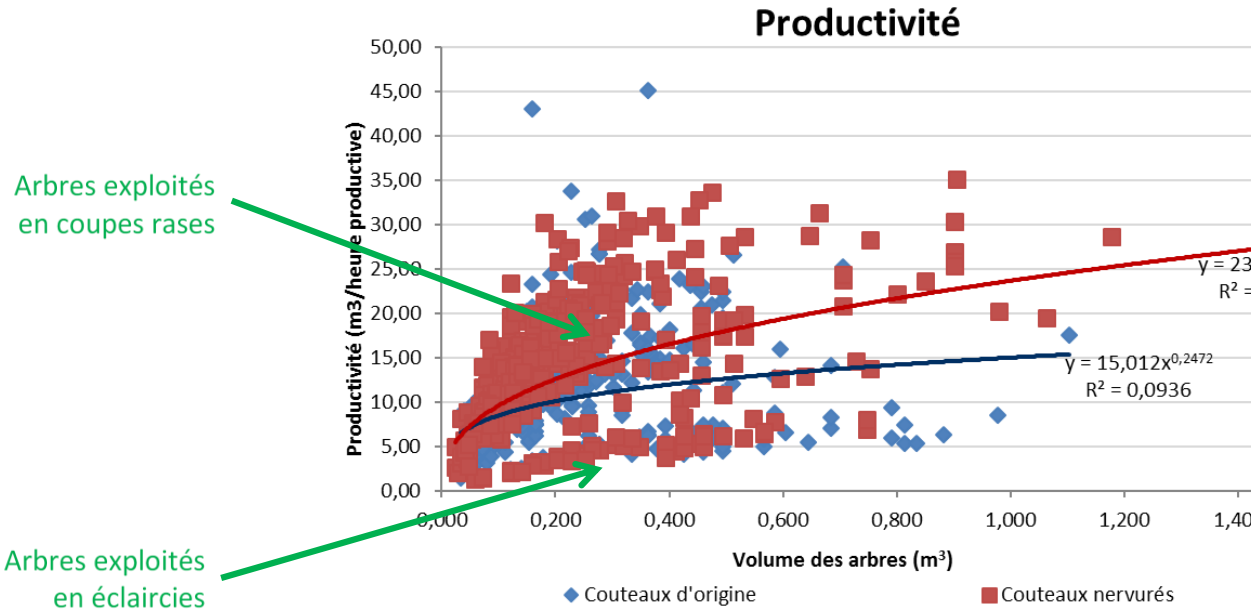


Figure 2 : Productivité globale (heure machine productive) des 2 machines de bûcheronnage équipées de couteaux normaux (points et courbe de tendance bleus) et de couteaux nervurés (points et courbe rouges) (1 point = 1 arbre)

Par la suite, l'analyse et les comparaisons ont été basées uniquement sur les temps de façonnage (ébranchage et billonnage), afin de mieux appréhender l'effet des couteaux. Ces temps de façonnage représentent un peu plus de 50% du temps de travail productif pour les 2 machines de bûcheronnage en peuplements feuillus (figure 3).

Afin de s'affranchir des effets liés au volume unitaire des arbres, les analyses ont ensuite porté sur des sous-échantillons, constitués à partir des 768 arbres suivis, regroupant des arbres de dimension identique (volume) pour ceux traités avec les couteaux d'origine et ceux avec les couteaux nervurés. Pour des arbres de volume unitaire identique, les couteaux apportent des gains de productivité de plus de 20%, statistiquement significatifs (analyse de la variance), au cours de la phase de façonnage (tableau 4).

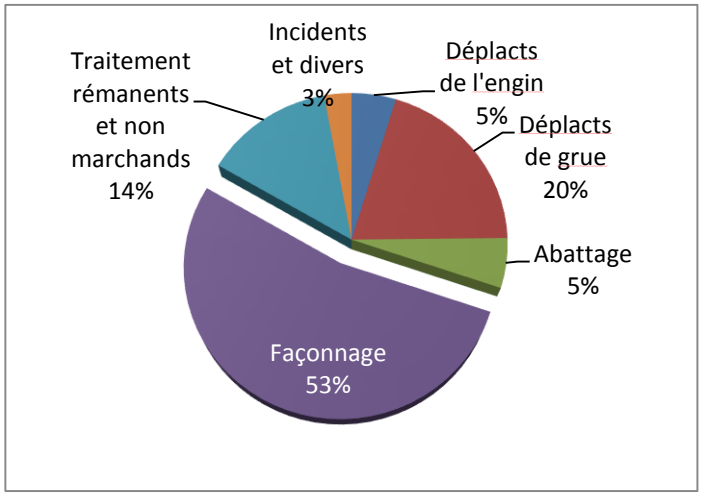


Figure 3 : Répartition des phases de travail des 2 machines de bûcheronnage en feuillus

| | | Case CX 210 + tête de bûcheronnage Kesla 25 RH II | | John Deere 1170E + tête de bûcheronnage H752 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Couteaux d'origine | Couteaux nervurés | Couteaux d'origine | Couteaux nervurés |
| Volume moyen de la tige ($m^3$) | | 0,151 | 0,150 | 0,286 | 0,284 |
| | | | | | |
| Nombre d'arbres suivis | | 50 | 225 | 246 | 93 |
| Productivité pendant le façonnage de l'arbre ($m^3$/heure productive) | 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 de productivité** | | | **+21%** | | **+21.7%** |

Tableau 4 : Comparaison de la productivité au façonnage des couteaux originaux et nervurés pour les 2 machines de bûcheronnage et pour des arbres de volume unitaire identique

Dans une deuxième étape, les productivités entre les couteaux normaux et les couteaux nervurés ont été comparées en tenant compte de la forme des arbres : branchaison, fourches, arbres tordus (voir paragraphe 3.1). Cette note représente la difficulté des arbres à être bûcheronnés par une machine. La note moyenne sur la difficulté des arbres va de 0,5 (arbre présentant peu de difficultés pour le façonnage) à 3,5 (arbre avec beaucoup de difficultés). De 0,5 à 1,5, les couteaux nervurés offrent des gains réels de productivité pendant le façonnage, d'environ 37% par rapport aux couteaux normaux, statistiquement significatifs (analyse de variance). Pour les arbres ayant une note de difficulté supérieure à 1,75, aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les 2 types de couteaux : les couteaux nervurés ont parfois de meilleurs résultats, parfois ce sont les couteaux normaux. Le nombre d'arbres dont la note de difficulté est supérieure à 1,75 est toutefois faible et il est difficile d'en tirer des conclusions.

Par extension avec les espèces, les couteaux nervurés apportent des gains au cours du façonnage principalement dans le châtaignier (pour les arbres > 0,1 $m^3$), le tremble et les bouleaux (pour les arbres > 0,2 $m^3$, en deçà les arbres ont de petites branches et les couteaux nervurés ne se différencient pas des couteaux normaux). Ces espèces présentent généralement quelques difficultés pendant le façonnage mais relativement modérées (branches moyennes, peu d'arbres tordus...). Leurs notes de difficulté sont en fait comprises entre 0,5 et 1,5, pour lesquelles les couteaux nervurés fournissent le plus de gain. En revanche, les chênes présentent plus de défauts (grosses branches, arbres plus flexueux) avec des coefficients de difficulté supérieurs à 1,75. Pour les chênes suivis, moins nombreux que pour les autres espèces, les couteaux nervurés n'apportent pas de gain.

## Conclusion

Avec un gain moyen de plus de 20% sur la phase de façonnage des arbres (cette phase représente un peu plus de 50% du temps de travail productif des machines de bûcheronnage dans les feuillus), les couteaux nervurés offrent un avantage certain par rapport aux couteaux standards. Les discussions avec les fabricants de têtes de bûcheronnage ont montré que cette voie d'amélioration, sur la forme des couteaux, n'avait jamais été prospectée. Ce concept a été breveté par le partenaire ISI du projet ECOMEF. Ces couteaux peuvent venir équiper n'importe quelle tête comme une option, parfois après quelques modifications (exemple de la forme des couteaux sur la tête J. Deere H752).

Des travaux sont en cours pour améliorer encore le concept avec une nouvelle génération de couteaux nervurés, en optimisant la forme de la lame et le bras de support. Les 2 machines de bûcheronnage pourront finalement être équipées d'une couronne d'ébranchage nervurée complète, y compris la JD 752HD (après modification de la forme des couteaux mobiles). D'autres suivis seront réalisés, ainsi que dans les résineux pour voir si des gains sont également observables. Les conducteurs les ont déjà utilisés dans de tels peuplements (pin noir, pin maritime, Douglas) avec de bons résultats mais n'ont pas été confirmés par des études de productivité menées par FCBA.

Les couteaux nervurés n'apparaissent pas toutefois comme la solution miracle pour l'ébranchage. Ils connaissent des limites, supérieures aux couteaux conventionnels, quand les branches deviennent trop grosses, surtout pour le chêne. D'autres concepts ont été imaginés dans le projet ECOMEF pour aller plus loin dans la mécanisation des feuillus, soit pour faciliter l'ébranchage ou traiter d'autres difficultés dans cette mécanisation.

**Travail de recherche s'inscrivant dans le cadre du projet FUI ECOMEF**

**Avec le soutien financier de :**
Fond Unique Interministériel (FUI) du Gouvernement français

**En partenariat avec :**

### *Références*

Cacot, E., Maire, L., Chakroun, M., Peuch, D., Montagny, X., Périnot, C., Bonnemazou, M. (2015a). La mécanisation du bûcheronnage dans les peuplements feuillus – Synthèse opérationnelle. FCBA.

Cacot, E., Magaud, P., Grulois, S., Thivolle-Cazat, A., Peuch, D., Périnot, C., Bonnemazou, M., Ruch, P. (2015b). Enjeux et perspectives de la mécanisation en exploitation forestière à l'horizon 2020 (Méca 2020). FCBA, 16 p.

Chakroun, M., Cacot, E. (2014). Using systematic innovation to develop a new hardwood harvesting tool. 5th Forest Engineering Conference – 47th Forestry Mechanization, Gérardmer, France, September 2014.

Dargnat, G., Devémy, C., Fauroux, JC., Pellet, HP., Hatton, B., Perriguey, N., Goubet, D., Chebab, Z., Bouzgarrou, BC., Gagnol, V., Gogu, G. (2014). Determination and optimization of delimbing forces on hardwood harvesting heads. 5th Forest Engineering Conference – 47th Forestry Mechanization, Gérardmer, France, September 2014.

## Contacts

Emmanuel CACOT ● emmanuel.cacot@fcba.fr
Tél. 05 55 48 48 11
David PEUCH – Alain BOUVET – Mahmoud CHAKROUN

Pôle 1ère Transformation-Approvisionnement
Equipe R&D Approvisionnement Bois
Les Vaseix – 87430 Verneuil-Sur-Vienne – FR

Jean-Christophe FAUROUX ● jean-christophe.fauroux@sigma-clermont.fr
SIGMA Clermont
Campus des Cézeaux
CS 20265 63178 AUBIERE CEDEX