

Capabilité d'un robot poly-articulé 6 axes pour l'usinage du bois massif

NASRI Linda, CURTI Rémi, LARRICQ Pierre, EYMA Florent

Institut Clément Ader (ICA) ; Université de Toulouse ; CNRS, IMT Mines Albi, UPS, INSA, ISAE-SUPAERO ; IUT de Tarbes, 1 Rue Lautréamont, 65000 Tarbes, France

linda.nasri@iut-tarbes.fr

Mots clefs : usinage ; robot ; chêne ; sapin ; qualité dimensionnelle et géométrique ; état de surface

Contexte et objectifs

A une époque où les évolutions technologiques sont de plus en plus prégnantes, la robotique industrielle émerge comme l'une des technologies les plus influentes sur divers secteurs. Les robots industriels sont à la pointe de la technologie dans les industries électronique et automobile par rapport à d'autres secteurs tels que les métaux et machinerie (IFR 2022). L'utilisation des robots industriels dans les procédés d'usinage ne cesse d'augmenter dans le monde entier et les prévisions indiquent qu'elle continuera à croître (Iglesias et al 2015). Les robots industriels sont utilisés dans les procédés d'usinage car ils présentent de nombreux avantages, tels que : de grands espaces de travail, un nombre de degré de liberté (DDL) élevé, une grande flexibilité et un coût à l'investissement inférieur à celui des machines à commande numérique (Computer Numerical Control / CNC) (Kim et al 2019, Xu et al 2023). Pour autant, bien que les robots industriels présentent de nombreux avantages, seulement 0,2% de tous les robots industriels dans le monde sont utilisés dans les procédés d'usinage du bois d'après (Landscheidt et al. 2017), notamment du fait de leur faible précision d'usinage (Kim et al 2019). La rigidité du robot est le paramètre clé qui influence cette précision (Verl et al 2019). La structure sérielle du robot poly-articulé présente une rigidité inférieure à celle d'une machine CNC. La rigidité d'un robot poly-articulé est généralement inférieure à 1 N/ μ m, tandis qu'une machine CNC standard a très souvent une rigidité supérieure à 50 N/ μ m (Pan et al 2006). Pour la seconde transformation du bois, la précision recherchée est, pour une grande variété d'applications, moins contraignante qu'en usinage des métaux. Aussi, il est donc intéressant de déterminer le potentiel de cette technologie pour ces applications où les limitations impliquées par la robustesse du procédé d'usinage auront potentiellement moins d'impact sur le produit fini. Dans la littérature, quelques études ont déjà été menées pour comparer la qualité d'usinage obtenue lors de l'usinage robotisé à celle obtenue avec une machine CNC.

Généralement, la qualité de surface est équivalente ou meilleure en usinage sur machine CNC qu'avec un robot. Ce constat a été fait par (Behrang 2014) sur de l'aluminium ou (Slamani et al 2016) sur du composite stratifié.

En termes de qualité dimensionnelle, elle est systématiquement supérieure sur machine à commande numérique en usinage des matériaux métalliques à paramètres équivalents. (Pantscharowitsch et Kromoser 2022) ont montré que c'était également le cas en usinage du bois lamellé-collé.

Par ailleurs, il est notable qu'en usinage robotisé, la configuration du robot a elle aussi une influence sur la qualité dimensionnelle ainsi que sur la qualité de surface (Feng et al 2021, Xu et al 2023). Ces deux critères pouvant être importants en fonction de la destination des bois usinés (construction, menuiserie ou ameublement).

En usinage du bois massif, on ne trouve pas encore d'évaluation de la qualité issue d'un usinage robotisé. Obtenir une qualité de surface acceptable du bois est l'objectif principal de tous les processus d'usinage pour toutes les applications (Ramanakoto et al 2017). L'évaluation de cette qualité d'usinage du bois à l'aide d'un robot poly-articulé, est donc nécessaire. La précision dimensionnelle, la qualité de surface ainsi que la qualité géométrique de la pièce produite sont les principaux critères d'évaluation permettant de déterminer la capacité d'un robot en usinage (Ji et Wang 2019). Les objectifs de ces travaux de recherche sont donc d'évaluer la capacité d'un robot poly-articulé 6-axes en usinage du bois, en comparant les résultats obtenus avec la référence actuelle dans l'industrie de la seconde transformation du bois, à savoir la défonceuse à commande numérique ; et ce, à la fois en termes de (1) qualité dimensionnelle, (2) qualité géométrique et (3) d'état de surface.

Matériels et méthodes

Afin d'évaluer la capacité d'un robot polyarticulé 6 axes à usiner du bois massif, nous avons choisi deux essences de bois locales présentes, entre autres, dans le sud-ouest de la France : un bois feuillu, le chêne, et un bois résineux, le sapin. Les éprouvettes en sapin (Fig. 1) mesurant chacune $200 \times 180 \times 19 \text{ mm}^3$, et en chêne (Fig. 2) mesurant chacune $200 \times 180 \times 36 \text{ mm}^3$. Toutes les éprouvettes ont été débitées sur faux-quartier.



Fig. 1 : Éprouvette en sapin



Fig.2 : Éprouvette en chêne

L'usinage des éprouvettes a été effectué à l'aide de deux machines. D'une part, un robot 6 axes (Kuka Kr 70) avec une charge admissible maximale de 70 kg, une portée maximale de 2101 mm et une répétabilité de position donnée à $\pm 0,05 \text{ mm}$, équipé d'une électrobroche d'usinage (HSD MT 1090 HSK A40). D'autre part, une défonceuse à commande numérique (Dubus 3 axes). Sur le robot d'usinage, 5 positions d'usinage (Fig. 3) ont été testées pour placer le robot dans des conditions différentes afin de déterminer l'influence de la position de ses axes. Ces essais ont été répétés 5 fois pour un total de 25 éprouvettes de chaque essence. Sur la défonceuse, une seule position a été utilisée, centrale sur la table de travail, pour servir de point de comparaison. Cet essai a également été répété 5 fois. Au total 30 éprouvettes ont donc été usinées pour chaque essence, dont 25 éprouvettes à l'aide du robot et 5 éprouvettes avec la défonceuse. Les éprouvettes ont toutes été usinées avec les mêmes paramètres de coupe caractéristiques d'un usinage en ébauche soignée (vitesse de rotation : 15000 tr/min ; vitesse de coupe : 12,57 m/s ; vitesse d'avance : 10 m/min ; vitesse d'avance en plongée : 0,5 m/min ; engagement axiale en surfacage : 3 mm ; engagement radiale en contournage : 3 mm). L'outil de coupe utilisé est une fraise à 2 dents en acier rapide, de diamètre 16 mm et possédant un

angle d'hélice de 30°. L'évaluation de la capabilité du robot pour l'usinage a été effectuée à travers trois types de contrôles (Fig. 4).

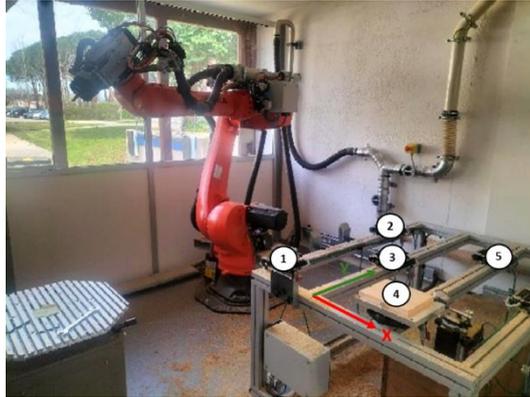


Fig. 3 : Illustration des cinq positions d'usinage avec le robot

Le contrôle dimensionnel consiste à déterminer l'écart entre les dimensions nominales des échantillons et leurs dimensions réelles après usinage (longueurs, profondeurs, entraxes). Pour chaque cote, l'erreur absolue moyenne (MAE) a été calculée, à la fois pour les usinages avec la défonceuse et pour chaque position en usinage avec le robot. Le contrôle géométrique permet d'évaluer des spécifications géométriques telles que la planéité, le parallélisme, la perpendicularité et la localisation. De même, pour chaque spécification géométrique l'erreur moyenne a été déterminée, en usinage avec la défonceuse et pour chaque position en usinage robotisé. Ces contrôles ont été effectués à l'aide d'une machine à mesurer tridimensionnelle (MMT DEA GAMMA 1203). Nous avons ensuite comparé les états de surface obtenus avec le robot à ceux obtenus avec la défonceuse. Plusieurs paramètres d'états de surface ont été mesurés à cette fin à l'aide d'un perthomètre Mahr (MarSurf CM mobile).

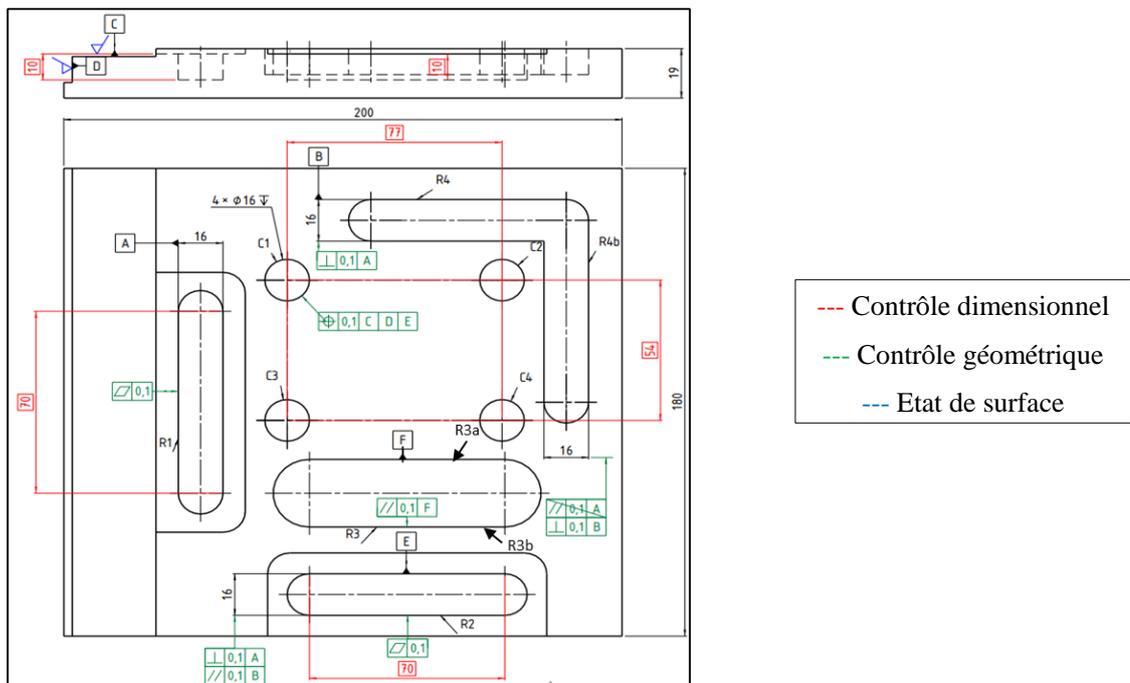


Fig. 4 : Dimensions, spécifications géométriques et états de surface contrôlés

Résultats

Ces essais nous ont permis d'évaluer la qualité dimensionnelle, géométrique et l'état de surface en usinage robotisé du bois (pour du chêne et du sapin), tout en comparant ces derniers aux résultats obtenus avec la défonceuse à commande numérique. Dans cette section, nous ne présentons qu'un résultat par type de contrôle. La qualité dimensionnelle obtenue en usinage avec la défonceuse est généralement meilleure qu'en usinage avec le robot. Toutefois, certaines configurations du robot permettent d'avoir des qualités dimensionnelles comparables à celles obtenues en usinage avec la défonceuse. Que ce soit sur le chêne ou le sapin, les résultats obtenus avec le robot montrent que les écarts sur les longueurs ne dépassent pas 0,3 mm (Fig. 5), les écarts sur les profondeurs ne dépassent pas 0,35 mm et les écarts sur les entraxes ne dépassent pas 0,25 mm. La qualité géométrique est elle aussi généralement supérieure en usinage avec la défonceuse qu'en usinage avec le robot. Cependant, certaines configurations en usinage robotisé permettent également d'atteindre une qualité géométrique comparable. Pour les deux essences, les résultats obtenus avec le robot montrent que le défaut de planéité ne dépasse pas 0,3 mm, le défaut de parallélisme ne dépasse pas 0,3 mm (Fig. 6), le défaut de perpendicularité est généralement inférieur à 0,5 mm sauf sur certaines positions, et que le défaut de localisation est inférieur à 0,3 mm.

Globalement, en termes de répétabilité, la différence entre le plus grand et le plus petit écart dimensionnel et géométrique sur une position donnée est de l'ordre d'un dixième de mm, sauf quelques points aberrants.

En termes d'état de surface, les résultats du paramètre de rugosité S_a (hauteur moyenne arithmétique) en usinage robotisé sont similaires à ceux obtenus avec la défonceuse (Fig. 7). De plus, la configuration du robot n'a pas influencé significativement l'état de surface lors de l'usinage du bois pour les deux essences étudiées.

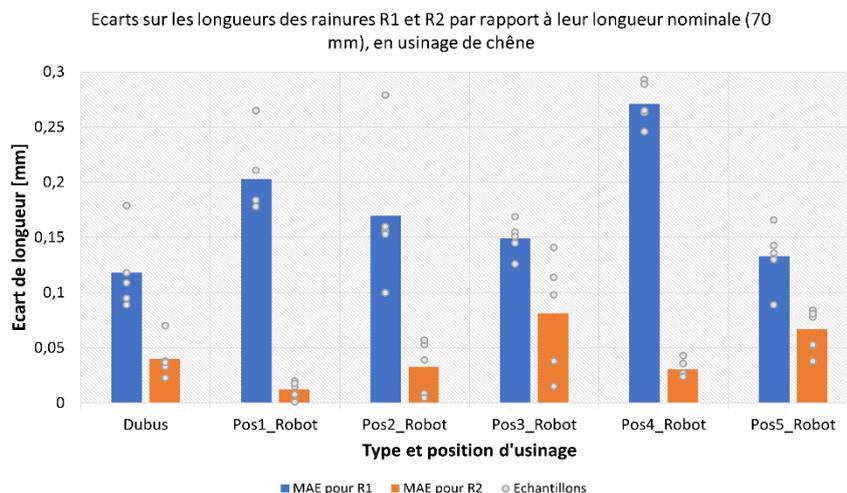


Fig.5 : Résultats de contrôle de longueurs pour l'usinage du chêne

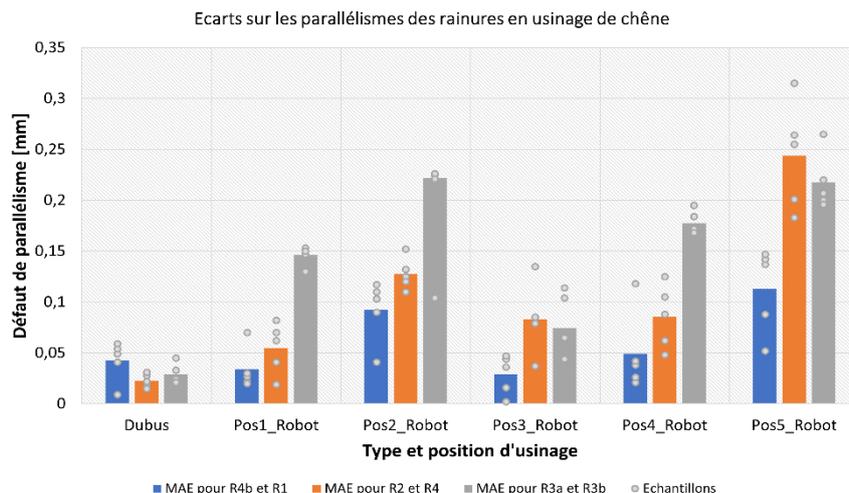


Fig.6 : Résultats des défauts de parallélisme pour l'usinage du chêne

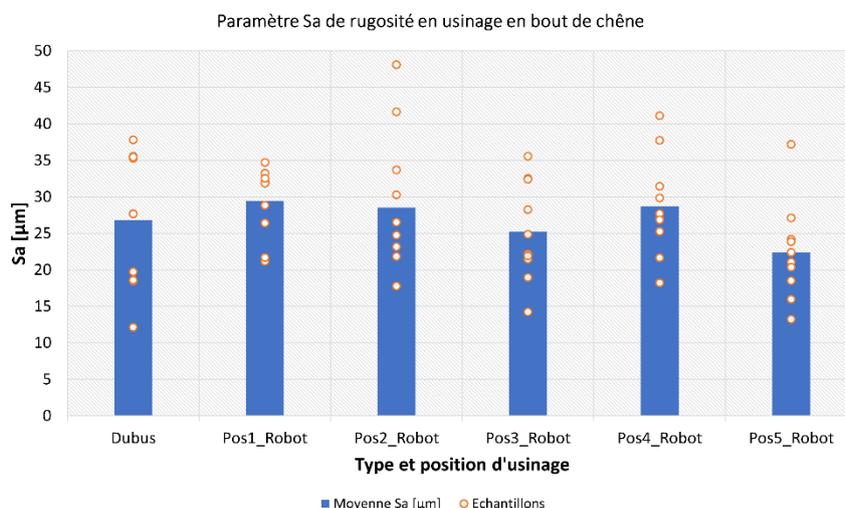


Fig.7 : Résultats de paramètre Sa (hauteur moyenne arithmétique) de rugosité pour l'usinage en bout du chêne

Conclusion et perspectives

Dans ces travaux de recherche nous avons évalué la capacité d'un robot polyarticulé 6 axes en usinage du bois massif sur du sapin et du chêne en termes de qualité dimensionnelle, géométrique et d'états de surface, en prenant comme référence une défonceuse à commande numérique. Nos résultats constituent une première étape dans la compréhension des phénomènes mis en jeu lors d'un usinage robotisé, et permettent d'appréhender la qualité que l'on peut atteindre en usinage du bois à l'aide d'un robot ainsi que les potentielles applications en fonction de leurs tolérances. Par la suite, notre objectif est d'étudier le lien entre les états de surface du bois usiné sous différentes orientations et des signaux mesurés durant l'usinage (efforts de coupe, émission acoustique). Cela permettra d'estimer la qualité de surface du bois usiné par l'observation de ces signaux, et par conséquent, d'identifier les zones présentant un état de surface satisfaisant vis-à-vis d'un objectif donné et celles présentant un état de surface nécessitant un parachèvement.

Remerciements

Nous souhaitons remercier l'agglomération de Tarbes Lourdes Pyrénées, l'IUT de Tarbes et la Région Occitanie pour leur support financier.

Références

- Behrang M (2014) Robotic machining: Evaluation of the positioning accuracy and the machined surface quality, thèse de l'université du Québec.
- Feng L, Zhao W, Zhang Z, Yan P, Cheng M, Jiao L, Qiu T (2021) Effect of Postures and Cutting Process on Robot Milling Performance and Surface Quality. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, p. 639-647. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89098-8_60
- IFR (International Federation of Robotics) (2022) World robotics 2022—Industrial robots.
- Iglesias I, Sebastián MA, Ares JE (2015) Overview of the State of Robotic Machining: Current Situation and Future Potential. *Procedia Engineering*, 132:911-917. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.577>
- Ji W, Wang L (2019) Industrial robotic machining: A review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(1-4):1239-1255. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03403-z>
- Kim SH, Nam E, Ha TI, Hwang SH, Lee JH, Park SH, Min BK (2019) Robotic Machining: A Review of Recent Progress. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 20(9):1629-1642. <https://doi.org/10.1007/s12541-019-00187-w>
- Landscheidt S, Kans M, Winroth M (2017) Opportunities for Robotic Automation in Wood Product Industries: The Supplier and System Integrators Perspective. *Procedia Manufacturing*, 11:233-240. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.231>
- Pan Z, Zhang H, Zhu Z, Wang J (2006) Chatter analysis of robotic machining process. *Journal of Materials Processing Technology*, 173(3):301-309. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.11.033>
- Pantscharowitsch M, Kromoser B (2022) Investigation of industrial robots vs joinery machines for milling pockets in glulam: Comparison based on surface quality and 3D scans. *Civil Engineering Design*, 4(1-3):25-34. <https://doi.org/10.1002/cend.202100049>
- Ramanakoto MF, Andrianantenaina AN, Ramananantoandro T, Eyma F (2017) Visual and visuo-tactile preferences of Malagasy consumers for machined wood surfaces for furniture: Acceptability thresholds for surface parameters. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(5):825-837. <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1098-y>
- Slamani M, Gauthier S, Chatelain JF (2016) Comparison of surface roughness quality obtained by high speed CNC trimming and high speed robotic trimming for CFRP laminate. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 42:63-72. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2016.05.004>
- Verl A, Valente A, Melkote S, Brecher C, Ozturk E, Tunc LT (2019) Robots in machining. *CIRP Annals*, 68(2):799-822. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.05.009>
- Xu P, Gao Y, Yao X, Ng YH, Liu K, Bi G (2023) Influence of process parameters and robot postures on surface quality in robotic machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 124(7-8):2545-2561. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10640-2>