

La valeur ajoutée (en termes de qualité, de sécurité...) de la robotique dans l'industrie aéronautique

Aujourd'hui, un nouveau scénario mondial est en train d'émerger pour l'industrie aéronautique. La Chine, qui fait partie désormais des toutes premières puissances, investit dans la création d'une industrie aéronautique nationale forte. Son objectif principal étant de pouvoir représenter une forte concurrence face aux acteurs actuels. Pour faire face à ces nouveaux défis, les deux leaders mondiaux que sont Airbus et Boeing doivent améliorer tous les ans leur compétitivité en investissant dans la recherche et le développement de nouvelles technologies (carbone, propulsion, ailes) et de nouvelles stratégies de production (comme le *lean manufacturing*).

Par Pierre-Laurent KOCIEMBA*

INTRODUCTION

La programmation hors ligne (*off-line programming*) est un exemple de cette stratégie.

Jusque dans les années 1980, les plans d'avions de référence (ensemble, sous-ensemble) se présentaient sous forme « papier » et étaient signés manuellement par les ingénieurs en chef.

Pour les besoins de l'automatisation (en commande tant numérique que robotique), il s'est avéré nécessaire de saisir les coordonnées des trajectoires du robot, soit manuellement, soit par apprentissage (sur un modèle) :

- la programmation par saisie manuelle sur le plan était utilisée pour les opérations les plus classiques (en 2, 3, 4 ou 5 axes),
- la programmation par apprentissage s'adressait à des applications plus complexes (en 5, 6, voire 7 axes) avec des gestions d'espaces d'une accessibilité difficile. L'arrivée de la CAO, puis plus généralement celle de la CFAO (conception et fabrication assistées par ordinateur - avec la théorie de Pierre Bézier sur les courbes à

* Président de NDT-Expert.

pôles), ont permis d'optimiser et d'automatiser ces préparations de programmation, l'idée étant de travailler directement sur le modèle CAO de la pièce (ou d'un assemblage de pièces) à traiter et de discrétiser un ensemble de points, que le robot ou la machine à commande numérique allait devoir suivre en fonction de leurs propres modes de pilotage.

C'est pourquoi la généralisation des études aéronautiques par des plans CAO qui sont devenus des plans-références a permis :

- d'automatiser la programmation par saisie manuelle, sur le plan, en développant des « post-processors », qui sont en fait une matrice de passage entre le référentiel « dessin CAO » et le référentiel « machine » prenant en compte la cinématique de la machine ;

- de faciliter la programmation par apprentissage en utilisant le modèle de la pièce CAO associé au modèle architecture machine, qui permet de programmer les trajectoires en simulant les accessibilités et en gérant l'ensemble des différentes tâches de l'espace machine sans utilisation de la machine réelle (et donc sans immobilisation de l'outil de production).

Cette approche a permis d'investir dans des améliorations dans la préparation de la production pour être rapidement en mesure de réduire les coûts et d'améliorer la productivité. Cela a permis l'introduction de nouveaux concepts, tels que le *Product Lifecycle Management* (PLM) et le *Digital Manufacturing*.

Le *Product Lifecycle Management* (PLM) est le processus de gestion du cycle de vie du produit et de ses données techniques, depuis sa conception et sa fabrication, jusqu'à sa maintenance et à son recyclage.

Les avantages du PLM incluent :

- une réduction du *time to market* ;
- des économies rendues possibles par l'intégration complète des *workflows* d'ingénierie ;
- une amélioration de la qualité produit ;
- une réduction des coûts de prototypage ;
- la réalisation d'économies grâce à la réutilisation des données d'origine ;
- un cadre pour l'optimisation des produits ;
- enfin, une réduction des déchets.

Le « *Digital Manufacturing* » est la capacité de décrire tous les aspects du *process*, depuis la conception jusqu'à la fabrication, en utilisant des outils incluant la CAO, la CFAO, ainsi que les logiciels d'analyse et de simulation.

Ainsi, la simulation de cellules robotiques s'intègre dans cet environnement *PLM/ Digital Manufacturing*. Les robots sont ainsi facilement reprogrammables pour faire face à de nouveaux *process* de production. Les changements de conception peuvent être mis en œuvre plus rapidement et efficacement, ce qui permet de réduire les délais de livraison.

Dans l'industrie aéronautique, les solutions d'automatisation en cours pour l'assemblage des aéro-structures sont basées sur de grandes machines dédiées (telles

que les machines à riveter), la majorité des composants individuels étant assemblés manuellement avant le processus de rivetage.

L'utilisation excessive du rivetage manuel peut avoir également des implications sur la santé et la sécurité. L'assemblage manuel coûte énormément de temps pour le processus et impose de grands espaces de production (du fait du nombre important de postes de travail individuels).

Ces facteurs ont entraîné un regain d'intérêt pour le développement d'approches plus flexibles de l'automatisation.

DES ROBOTS POUR DES APPLICATIONS DE MANUFACTURING DANS L'AÉRONAUTIQUE

Le soudage au laser automatisé de pièces aéronautiques

La fabrication des pièces pour l'industrie aéronautique impose de sévères exigences de qualité qui ne peuvent être satisfaites, dans la majorité des cas, que grâce à la supervision du processus de fabrication par un personnel hautement qualifié.

Le suivi des joints au laser rend possible l'automatisation du soudage au laser de pièces aéronautiques.

Le perçage robotisé de trous, pour de grandes structures d'avions

Des systèmes robotisés composés de robots à six axes se déplaçant sur des rails permettent d'optimiser le perçage usiné de trous sur de grosses pièces d'avions. Un capteur, monté sur le poignet du robot, est utilisé pour localiser les zones de référence de la pièce de l'avion et, par conséquent, l'emplacement des trous à usiner.

Le système mesure les dimensions, la position et l'orientation de chaque zone de référence et communique ces informations au robot, qui finalise le calcul de la position de chaque trou à percer, et se positionne en conséquence.

Le soudage de pièces, dans l'aérospatial

L'implantation de l'automatisation et/ou de la robotisation dans l'industrie aérospatiale est soumise à deux contraintes :

- la production de faibles volumes,
- et un très haut niveau de précision requis.



Figure : Inspecteur d'aéronefs.

Celles-ci peuvent être facilement surmontées en mettant en œuvre des dispositifs de suivi des joints d'une grande précision.

Les systèmes de suivi des joints montés sur une machine de soudage ont pour principal avantage une grande flexibilité. Cela a permis à l'industrie aérospatiale d'améliorer de façon significative sa productivité et la qualité de ses produits.

Le robot doit assurer deux fonctions essentielles : assurer la qualité et la répétabilité.

Le système robotisé doit pouvoir suivre et contrôler la variabilité des pièces et des processus. Pour obtenir des résultats robustes et précis, le système robotisé doit être pourvu de fonctions complexes et nombreuses, telles que :

- le contrôle de force,
- la compensation active (*compliance*),
- l'usinage adaptatif,
- l'usinage en boucle fermée,
- le calibrage,
- le capteur laser,
- le système de vision,
- la vérification exploratoire (*probing*), etc.

Voici certains des avantages de l'acquisition de systèmes de finition robotisés :

- une réduction directe du coût de la main-d'œuvre ;
- une amélioration de la qualité et de la cohérence en éliminant la subjectivité inhérente à l'humain ;
- une ergonomie et une sécurité améliorées ;
- une augmentation du débit ;
- la capacité à gérer plusieurs types de pièces, avec des changements rapides ;
- la réduction des coûts d'abrasif (pouvant aller jusqu'à 75%) ;

- l'inspection et la validation automatisées ;
- l'usinage de nouvelles pièces facilité.

DES ROBOTS ADAPTÉS AU CONTRÔLE NON DESTRUCTIF DANS L'AÉRONAUTIQUE

Le Contrôle Non Destructif (CND) est une technologie qui permet de contrôler la « santé » de la pièce, c'est-à-dire sa matière, sans la détruire et d'en faire un diagnostic en termes d'usure mais aussi de sa mise en œuvre lors de sa fabrication (collage, composites,...). Cette technologie est qualifiée de la conception, intégrée dès la fabrication, jusqu'à la mise en service de l'avion pour les opérations de maintenance.

Aujourd'hui, l'utilisation du CND est un type d'inspection en forte croissance compte tenu de la prédominance des pièces composites dans les structures des avions. Elle est la seule méthode efficace et précise de contrôle de structure sans destruction de la pièce.

La robotisation des essais non destructifs sera ainsi un enjeu majeur pour les années à venir dans le monde de l'aéronautique. Les constructeurs aéronautiques étant amenés à réduire leurs coûts, ils doivent automatiser leurs outils non seulement de production, mais aussi de contrôle. Une solution consiste pour eux à s'orienter vers des solutions robotiques qui soient à la fois mobiles et multi-procédés.

De plus, la fabrication de pièces de plus grandes dimensions et la conception de formes et de structures de plus en plus complexes obligent le contrôleur humain à être assisté d'un robot dans ses expertises. Le premier des enjeux de cette robotisation reste l'inter-

façage avec les outils de simulation de procédés robotiques et le modèle numérique de la pièce à contrôler.

Ceux-ci permettent le dimensionnement des installations, l'évaluation de leur capacité à effectuer un contrôle et la programmation des trajectoires.

Le second enjeu est l'association de capteurs d'efforts et de mesures dimensionnelles aux opérations de contrôle, qui apportera un asservissement tant local que global à la réalité de l'environnement à contrôler (ce que la simulation ne peut fournir complètement).

L'inspection visuelle d'un fuselage

Une inspection visuelle agrémentée d'une inspection instrumentée permet de détecter visuellement des

problèmes apparents dans la structure d'un avion et/ou dans sa sous-structure de soutien. Une inspection dite majeure doit être réalisée, sur une base commerciale, tous les six ans, soit après 24 000 heures de vol ou 12 000 cycles de décollages/atterrissages. Aujourd'hui, ce type d'inspection est majoritairement visuel complétée par une inspection non destructive (NDT) (c'est-à-dire d'une inspection réalisée à l'aide d'instruments électroniques, un type d'inspection qui tend à se généraliser).

Les sondes à courants de Foucault et à ultrasons sont des technologies NDT (*Nondestructive testing*) utilisées pour inspecter un fuselage. Cette inspection est un des axes de recherche en matière d'automatisation tant pour sa manipulation que pour son diagnostic et le traitement des données qui en résultent en liaison avec le modèle numérique (CAO) de la pièce à contrôler.