

# Robotisation des essais non destructifs

## *Non Destructive Testing Automation*

M. DESSENDRE & H. TRÉTOU (Dassault Aviation), L. ROUMILLY (CEA), E. BOUJON  
(Clemessy)

**Résumé :** La robotisation des essais non destructifs sera certainement un enjeu majeur pour les années à venir. En effet les constructeurs aéronautiques sont amenés afin de réduire leurs couts à automatiser leurs outils de production et de contrôle et à s'orienter vers des solutions robotiques mobiles et multi procédés. De plus, le développement de pièces de grandes dimensions, de forme et de structure de plus en plus complexes et des traducteurs de plus en plus difficiles à manipuler conduisent à assister le contrôleur d'un robot dans ses expertises. La simulation physique des END s'est déjà révélée primordiale, la simulation cinématique s'imposera d'elle-même pour assurer d'une part la programmation hors ligne des robots et d'autre part l'assurance de la couverture de la zone à contrôler.

Premier enjeu de cette robotisation, l'interfaçage avec les outils de simulation de procédé robotique comme DELMIA ROBOTIC et FASTSURF. Ils permettent le dimensionnement des installations, l'évaluation de leur capacité à effectuer un contrôle et la programmation des trajectoires. Second enjeu, l'association de capteurs d'efforts et de mesures dimensionnelles aux effecteurs de contrôle qui leur apportera une perception locale comme globale de la réalité que la simulation n'est pas en mesure de leur fournir.

Les travaux réalisés dans ce domaine sur la cellule robotisée de la plateforme GERIM, sont présentés.

**Abstract:** Robotics will be the main challenge in the future for non-destructive testing automation. Major aeronautic manufacturers in their race for cost saving are driven towards automation of their manufacturing and inspection means as well as looking forward to multi process robotic capabilities. Moreover as part shape and structures are becoming more complex, part size larger and non destructive testing transducers more difficult to handle, these factors are leading to the use of robotic technologies to assist inspectors in their testing. As NDT physical simulation is today undeniable, NDT cinematic simulation will be imperative on the one hand for robot control and on the other hand to validate the coverage of the inspected area.

The first step of this automation process is the use of robotics simulation tools such as DELMIA ROBOTIC and FASTSURF, which will enable the design and the evaluation of the local and global perception of the real world that simulation can not provide.

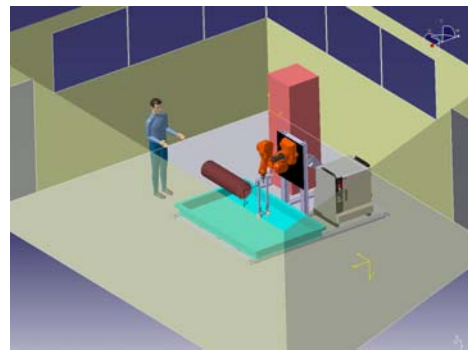
The developments carried out on a robotic cell for the project GERIM are presented.

## INTRODUCTION

Aujourd'hui les constructeurs aéronautiques sont amenés afin de réduire leurs couts de production à automatiser leurs outils de production. Bien souvent ils s'orientent vers des solutions robotiques mobiles et multi procédés.

C'est pourquoi nous avons choisi la mise en œuvre d'une plate forme robotique poly articulée anthropomorphe d'END en remplacement des robots portiques actuels (Figure 1). Cela doit permettre :

- d'offrir une solution flexible et efficace pour l'expertise multi techniques de pièces pour la production et la maintenance,
- de s'insérer dans un processus moderne de conception collaborative dans une organisation en usine numérique pour la maîtrise du cycle de vie du produit,
- d'assurer une solution intégrée à une technologie de fabrication comme le perçage, le rivetage, la soudure ou l'assemblage.



*Figure 1 - Installation END actuelle et son remplacement par un robot poly articulé avec simulation sous DELMIA*

La problématique introduite par la robotisation des installations à laquelle doit faire face le CND se résume ainsi :

- **orientation et positionnement de la pièce vis-à-vis du robot.** Il n'existe qu'un nombre restreint de solutions à l'équation de position relative de la pièce par rapport au robot pour le contrôle d'une zone définie,

- **complexité des formes des pièces.** Les contraintes du CND pour le positionnement du traducteur de contrôle, les rayons de courbures des pièces et le nombre important de points de mesure rendent difficile la construction des trajectoires.
- **conformités géométriques par rapport à la réalité.** Les différences géométriques entre le tel que conçu et le tel que fabriqué nécessite une correction des trajectoires.

L'enjeu de la robotisation du CND passe par la maîtrise de ces difficultés, la programmation hors ligne de la trajectoire du robot est une des solutions envisageables. Ceci nous a conduits à étudier l'application de la programmation hors ligne (PHL) à une cellule d'END

## LA PROGRAMMATION HORS LIGNE

Les méthodes de programmation par apprentissage consistent à montrer au robot ce qu'il doit faire. Sur chaque pose, on enregistre la position et l'orientation du repère lié au centre de l'outil. L'avantage de ces techniques est qu'elles sont faciles à mettre en œuvre. Dans le cas de l'apprentissage sur le robot, la sécurité du personnel et du matériel n'est pas assurée, l'opérateur doit rester proche de l'outil, donc généralement à l'intérieur du volume de travail du robot, les sécurités de la zone étant inhibées. Sans résoudre complètement ces problèmes, les méthodes de programmation hors ligne (PHL) par CAO offrent une solution plus avantageuse :

- **disponibilité de la cellule de production** : globalement, le temps de programmation d'une gamme reste le même si l'on compare un apprentissage classique et une PHL. Cependant, la PHL se faisant en temps masqué, le temps d'immobilisation du site est considérablement réduit,
- **amélioration de la qualité** : dans une programmation par apprentissage, la qualité dépend de l'expérience de l'opérateur, ce qui n'est pas le cas avec la CAO qui permet une définition exacte des poses désirées. La qualité d'une expertise de CND dépend beaucoup de la précision avec laquelle l'axe du traducteur a été aligné avec la normale locale aux surfaces en chaque point de sondage, seule l'utilisation d'un modèle numérique permet de programmer correctement l'orientation du traducteur. Elle permet aussi la programmation de trajectoires dans des zones difficilement accessibles,
- **minimisation de l'effort de programmation** en termes de préparation des données et de réutilisation de modèles déjà créés lorsqu'il y a différentes variantes d'un produit.

En ce qui concerne les coûts, le fait de pouvoir commencer la programmation des robots très tôt dans le projet d'automatisation permet d'anticiper les problèmes qui apparaissent au moment du démarrage et par conséquent de dimensionner au mieux la cellule et de diminuer les retards générateurs de surcoûts.

La limitation essentielle d'une programmation par CAO est que le modèle virtuel du robot ne représente qu'imparfaitement la réalité, en effet certains procédés de fabrication ne garantissent pas la fidélité géométrique au modèle CAO et d'autre part certains phénomènes physiques trop complexes ne sont pas modélisés (par exemple, les flexibilités, les asservissements en fonctions des masses emportées, les câbles).

Les méthodes de programmation hors ligne ne nécessitent que la maîtrise des incertitudes dues aux imperfections de structure des mécanismes et des objets manipulés par rapport aux modèles nominaux implantés dans les systèmes CAO (par exemple les déformations

des pièces sur leur outillage). Le problème est donc d'identifier les valeurs des paramètres qui les constituent. Ces difficultés sont à l'origine des écarts que l'on peut observer sur site entre la trajectoire programmée en CAO et celle effectivement suivie par le robot.

C'est pourquoi des méthodologies de calibration doivent être développées pour minimiser l'influence de ces imperfections. Une autre approche pour minimiser ces erreurs est d'associer au robot des outils pour la perception de son environnement :

- **la perception locale** effectuée à haute fréquence des mesures relatives entre l'effecteur et l'environnement. C'est ce que l'on réalise avec des capteurs d'effort dans des tâches qui nécessitent de contrôler la force de contact respectivement le long d'une surface ou d'un plan de joint (on remarquera, à ce propos, que les baies de commande industrielles ne donnant pas accès à leur noyau temps réel, l'utilisateur est limité quant à l'implémentation d'un schéma de commande en effort). Ce principe est à retenir pour la mise en œuvre de méthodes de contrôle au contact,
- **la perception globale** à base de caméras ou de télémètres permet de construire un modèle de représentation de la pièce et de son environnement. Ce modèle peut ensuite être exploité pour localiser la pièce dans la scène et faire du contrôle dimensionnel. Pour ces applications, les temps de traitement nécessaires au système de vision pour extraire les informations sont très pénalisants et incompatibles avec des cadences de contrôle élevées. La perception globale est utilisable aujourd'hui pour la correction des modèles CAO plutôt que pour la commande temps réel compensée des déplacements de l'effecteur.
- **la localisation du traducteur** s'effectue à une cadence suffisante pour reproduire sur une cartographie la dimension et la position d'un défaut de la zone expertisée. Aujourd'hui les cadences de mesure des robots restent faibles 10 à 50 ms (20 à 100Hz) (on remarquera, à ce propos, que les baies de commande industrielles ne donnant pas accès à leur noyau temps réel, l'utilisateur est limité quant à l'implémentation d'un schéma de mesure de position). Plusieurs solutions permettent de palier à cette faiblesse ; algorithmes d'interpolation, encodeurs virtuels, recopie ou doublure des encodeurs d'axes du robot ou bien encore encodeurs d'axes de recopie.

## **SOLUTION INDUSTRIELLE POUR LES END**

La solution industrielle de Programmation Hors Ligne que nous avons mise en place s'appuie sur les ateliers logiciels V5 de DASSAULT SYSTEMES (CATIA et DELMIA), le logiciel de simulation d'END CIVA et les outils de pilotage des appareils de contrôle (voir Figure 2).

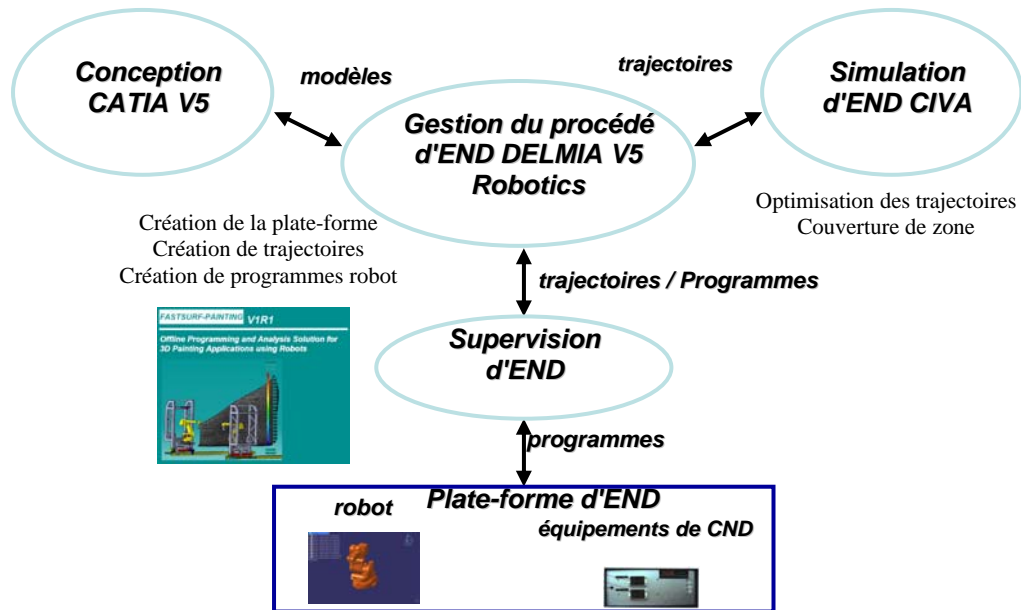


Figure 2 - Solution industrielle GERIM

DELMIA ROBOTIQUE est le cœur de cette architecture. Ce logiciel fournit les Outils 3D pour la construction et la visualisation de cellules robotiques (voir Figure 3) dont une bibliothèque de plus de 700 robots et des outils pour les études de faisabilité et de positionnement. Chaque robot peut être facilement pris en main pour effectuer des apprentissages de trajectoire. Les utilisateurs peuvent ajouter des opérations et des actions propres à leur domaine. Il dispose d'outils d'analyse de trajectoire, de positionnement automatique et de détection de collision. Il autorise la manipulation des points de trajectoire et il permet la génération comme la relecture de programmes en langage robot. Enfin il permet de calibrer les différents mouvements d'un robot afin de les rendre le plus proche possible de la réalité.

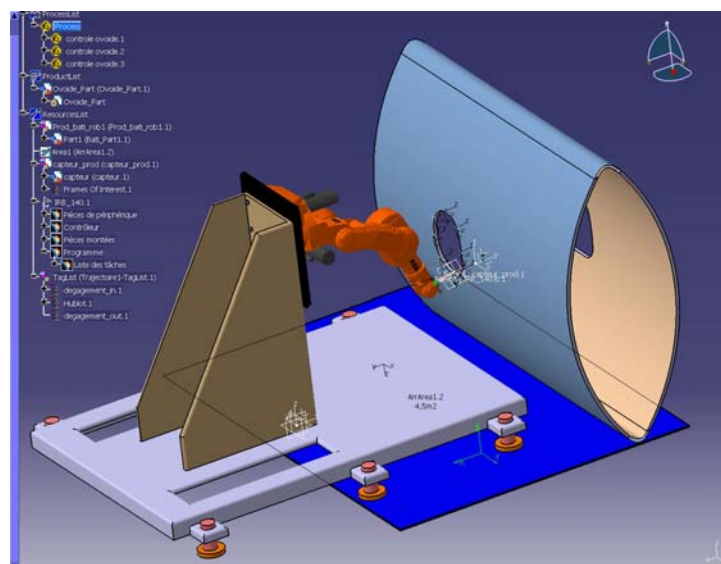


Figure 3 - Modèle CAO de la cellule robotisée d'END GERIM

On remarquera à ce propos que cette architecture permet aussi de corriger ou de générer le modèle CAO de la pièce à contrôler par un atelier de reverse engineering de CATIA comme

DES et QSR. Enfin elle permet aussi l'échange du programme robot avec CIVA pour une optimisation de la trajectoire et des paramètres de pilotage de l'équipement de CND.

La création d'une trajectoire spécifique au CND comprend 4 actions principales:

- **la définition de la zone désignée** qui consiste à créer sur la pièce la zone où sera appliqué le contrôle. Cette zone sera définie soit en sélectionnant des courbes délimitant une surface, soit en sélectionnant une ou plusieurs surfaces existantes sur le modèle CAO de la pièce,
- **la création de la trajectoire** qui consiste à générer à partir de la zone désignée, la trajectoire que devra suivre le robot pour assurer la couverture de cette zone. Cette trajectoire sera caractérisée par un sens de balayage et un sens d'incrémentation. Ces sens s'appuieront sur des courbes guides pour en infléchir la forme. Ces courbes guides peuvent appartenir à la CAO de la pièce. Cette trajectoire sera complétée avec des contraintes propres au CND comme la normalisation de l'effecteur par rapport à la surface de la pièce. Cette dernière sera définie par un sens d'entrée ou de sortie dans la pièce. Des dégagements d'axes seront applicables en début ou en fin de balayage ou au cours des changements de sens,
- **la stratégie de trajectoire** qui permet d'attacher à des positions caractéristiques des événements propres au CND (par exemple, début ou fin d'acquisition, changement de séquence de tir,...) mais aussi de gérer la présence de discontinuités dans la zone désignée (par exemple bords, perçage, alésage, cavité,...) afin de modifier la trajectoire (par exemple: changement de sens à 20mm du bord, ne pas tenir compte des perçages inférieur à 6mm, ...),
- **la génération d'un programme robot** qui sera interprétable par l'armoire de commande du robot pour la réalisation réelle de la trajectoire et par le logiciel CIVA pour valider la configuration de contrôle. Ce programme robot est paramétrable en fonction des besoins du CND (par exemple, vitesse et finesse des trajectoires,...).

Nous avons retenu pour ce faire l'atelier V5 FASTSURF pour générer des trajectoires de contrôle car il répond le mieux aux spécificités du CND. FASTSURF assure toutes les fonctions nécessaires la gestion, la programmation hors ligne et l'analyse du procédé robotisé de peinture. Il permet une simulation intuitive et performante et dispose d'une variété de fonctions nécessaires à la simulation robotique des trajectoires de contrôle non destructif quelque soit la méthode, ultrasons par réflexion ou par transmission, courants de Foucault, thermographie infrarouge, radioscopie X (voir Figure 4).

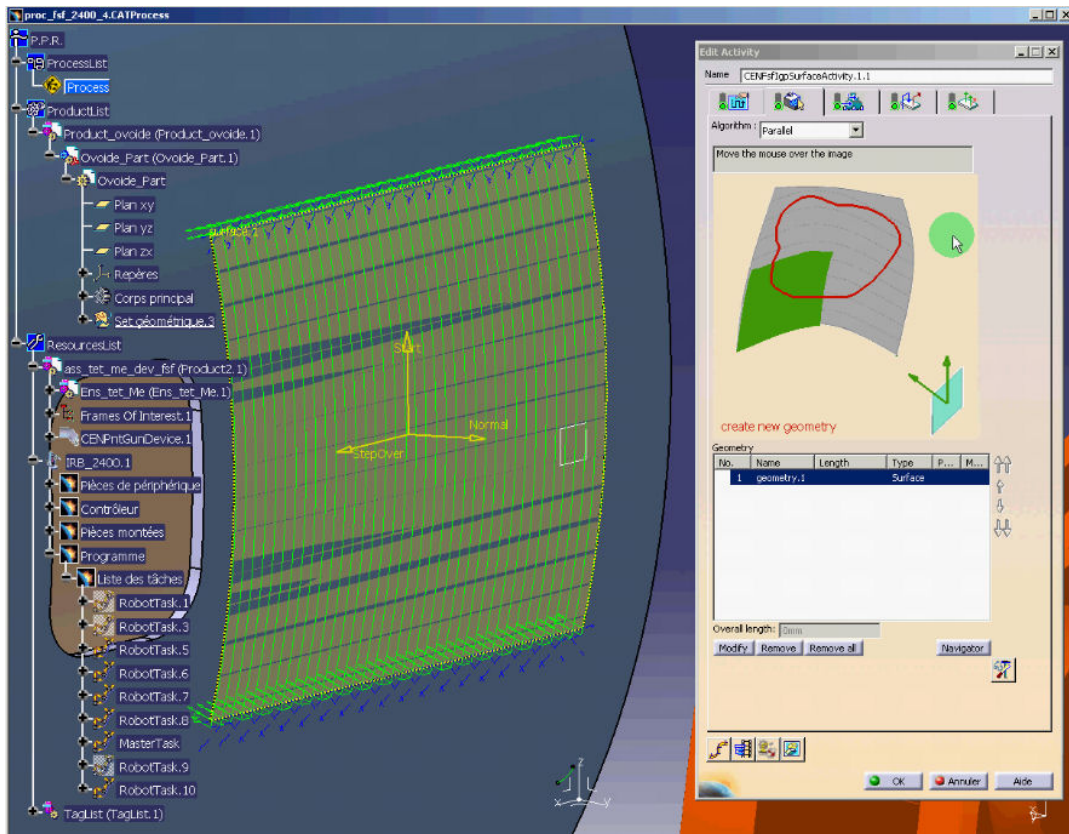


Figure 4 - Principe de construction d'un balayage avec FASTSURF

## CONCLUSION

La mise en place d'une solution industrielle de programmation hors ligne permet de dimensionner précisément une cellule robotique d'essais non destructifs afin d'assurer la faisabilité du contrôle de pièces de géométrie complexe représentatives d'applications diverses (aéronautiques, nucléaires, automobiles,...). Nous avons pu démontrer par simulation qu'une cellule robotisée pourrait accepter plusieurs méthodes de contrôle comme le contrôle par ultrasons multiéléments, par ultrasons couplés dans l'air et par thermographie infrarouge.

Enfin les premiers essais sur la plateforme GERIM ont démontré d'une part que la simulation permet d'anticiper les problèmes liés au positionnement de la pièce par rapport au robot et d'autre part qu'il faudra apporter une attention toute particulière à l'étalonnage des mouvements du robot.