

**PROCEDE DE SIMULATION D'OPERATIONS DE CONTRÔLE NON-
DESTRUCTIF EN CONDITIONS REELLES UTILISANT DES SIGNAUX
SYNTHETIQUES**

5

Domaine de l'invention

La présente invention se rapporte à un procédé de simulation d'opérations de contrôle non-destructif en conditions réelles utilisant des signaux synthétiques.

La présente invention relève des opérations de contrôle non destructif. Elle se classe dans la catégorie des simulateurs, sur le même principe que les simulateurs opérationnels tel que les simulateurs de vol ou les simulateurs de salle de commande de centrales nucléaires, mais elle est appliquée aux opérations de contrôle non-destructif.

Etat de la technique

Il existe dans l'état de la technique un premier besoin lié à l'estimation de Probabilités de Détection (acronyme anglais : POD ou « *Probability of Detection* ») associées à une procédure d'inspection. L'approche actuelle, totalement expérimentale, est une tâche très coûteuse (de l'ordre de 200 k€) qui requiert la fabrication d'un grand nombre de pièces contenant des défauts représentatifs permettant d'établir une statistique de détection en analysant les résultats d'inspections effectuées par un ensemble d'inspecteurs.

Des méthodologies d'établissement de courbes de POD utilisant des données issues de simulation sont à l'étude mais souffrent toujours de ne pas traiter le facteur de comportement humain qui peut avoir un poids important dans la statistique de détection (fatigue, accès, lecture à l'écran, interprétation/diagnostic...).

Un besoin corolaire est celui consistant à quantifier les performances de détection de logiciels de diagnostic automatique.

Il existe dans l'état de la technique un second besoin, lié à la formation
5 des opérateurs à des opérations complexes de contrôles non destructifs sur des pièces représentatives. Le coût important des pièces aéronautiques ainsi que la difficulté de réaliser des défauts réalistes, de faire varier leurs caractéristiques (géométrie, position), rend difficile voir impossible la formation des opérateurs en conditions opérationnelles. Un simulateur permettrait donc
10 de former dans des conditions réalistes les inspecteurs CND (« Contrôle Non-Destructif ») et de les soumettre à une grande variété de défauts et d'incidents opérationnels. Ceci permettrait d'augmenter de façon significative la fiabilité des inspections, ainsi que de garantir une bonne maîtrise des procédures.

15 Enfin, un dernier besoin est de tester la validité et la difficulté de mise en œuvre des procédures, ainsi que leurs sensibilités aux conditions opérationnelles et ainsi de les qualifier. Cela permet dans une phase de bureau d'étude, d'établir des procédures dans des conditions réalistes et d'anticiper des performances de détection, avant d'aller vers l'établissement de POD
20 (« *Probability Of Detection* ») pour un dossier de justification.

Un enjeu est d'augmenter la fiabilité des processus de CND (« Contrôle Non-Destructif ») durant les phases de fabrications ou de maintenances à des coûts acceptables.

25

On connaît dans l'état de la technique l'estimation de courbes POD (« *Probability Of Detection* ») par approche expérimentale.

L'estimation de courbes de POD découle de l'analyse statistique de résultats d'inspections sur un ensemble de défauts représentatifs dans la
30 structure faisant l'objet de la procédure.

Les défauts de l'échantillon doivent être répartis sur une gamme de tailles qui recouvre des tailles de défauts qui seront très rarement détectés et des tailles de défauts très rarement manqués.

On obtient des données exprimant le résultat de l'inspection (quantitative ou binaire) en fonction de la taille caractéristique du défaut (Figure 1a). Après analyse statistique, on obtient des courbes du type de celle de la Figure 1b.

5 Les critères de représentativité statistique imposent de disposer d'un grand nombre d'échantillons de structure. Les recommandations du MIL-HDBK-1823 (disponibles à l'URL suivante : [http://mh1823.com/mh1823/MIL-HDBK-1823A\(2009\).pdf](http://mh1823.com/mh1823/MIL-HDBK-1823A(2009).pdf)) font état d'au moins soixante éléments de structure contenant des défauts, plus une quinzaine d'échantillons sains de manière à contrôler le
10 taux de fausses alarmes.

On connaît également dans l'état de la technique les estimations de courbes POD basées sur des simulations.

15 Certains travaux de recherche menés récemment ont permis la mise en œuvre d'une méthodologie permettant l'utilisation de données simulées pour l'estimation de POD.

La méthodologie consiste à définir des incertitudes sur les paramètres
20 d'entrée du logiciel de simulation de l'opération de contrôle (par exemple CIVA), de manière à simuler la variabilité sur les résultats d'inspection (les sorties de la simulation).

Les limites des solutions actuelles sont les suivantes :

25

- D'un côté, l'approche totalement expérimentale est extrêmement coûteuse et limite le nombre de données disponibles dans la statistique et/ou la représentativité des échantillons utilisés pour la campagne d'essais (ex. utilisation de coupons au lieu de panneaux montés sur
30 structure).

- D'autre part, l'approche totalement simulée ne permet pas d'introduire de modèle comportemental humain réaliste, ce qui en dépit de la possibilité de couverture des incertitudes, suscite toujours le

questionnement sur la validité des résultats et leur applicabilité. De plus, une des grandes difficultés de cette approche consiste à définir les incertitudes en entrée des simulations de manière à générer les variabilités ad-hoc sur les sorties.

5

Exposé de l'invention

La présente invention entend remédier aux inconvénients de l'art antérieur en proposant un procédé de simulation de contrôle non-destructif utilisant des signaux synthétiques.

A cet effet, la présente invention concerne, dans son acception la plus générale, un procédé de simulation de contrôle non-destructif à l'aide d'au moins une sonde, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- mesure de paramètres d'inspection, notamment liés à la position de ladite sonde dans l'espace ; et
- génération de signaux synthétiques correspondant à une opération de contrôle non-destructif.

Selon un mode de réalisation, ladite génération de signaux synthétiques est en partie conditionnée par une configuration générée par un générateur de configuration qui consiste en une maquette virtuelle de structure.

De préférence, ladite maquette virtuelle de la structure est complétée par l'introduction de défauts et/ou par la modification des propriétés des éléments de structure.

Selon un mode de réalisation, lesdits signaux synthétiques sont des signaux mesurés.

30

Selon un mode de réalisation, lesdits signaux synthétiques sont des signaux mesurés et modifiés.

Avantageusement, lesdits signaux sont modifiés selon une pondération, selon une amplification fonction du temps et/ou selon une fonction de transfert.

5 Selon un mode de réalisation, lesdits signaux synthétiques sont simulés et/ou modélisés.

Selon un mode de réalisation, lesdits signaux synthétiques sont une combinaison de :

- signaux mesurés et éventuellement modifiés ; et de
- 10 • signaux simulés et/ou modélisés.

Selon une variante, lesdits signaux synthétiques sont mesurés sur des zones de structure concernées, en prenant en compte des informations liées au positionnement réel de ladite sonde dans l'espace.

15

Avantageusement, lesdits signaux synthétiques sont mesurés sur des zones de structure concernées, en prenant en compte des informations liées à des réglages effectués par un opérateur.

20 Selon un mode de réalisation, la mesure de paramètres d'inspection liés à la position de ladite sonde dans l'espace est réalisée au moyen d'un encodage simple.

25 Selon un mode de réalisation, la mesure de paramètres d'inspection liés à la position de ladite sonde dans l'espace est réalisée au moyen d'un encodage optique simple.

Selon un mode de réalisation, la mesure de paramètres d'inspection liés à la position de ladite sonde dans l'espace est réalisée au moyen de dispositifs incluant des gyroscopes.

30

La présente invention se rapporte également à un dispositif pour la mise en œuvre du procédé évoqué ci-dessus.

Les avantages du procédé selon la présente invention sont les suivants :

- 5 • il permet de ne disposer que d'une seule structure représentative (potentiellement en conditions réelles), exempte de défaut. Les défauts sont introduits dans les simulations par le générateur de configuration (maquette virtuelle) et l'opérateur peut inspecter N fois la structure avec N défauts virtuels différents et/ou positionnés à des endroits différents de la structure ;
- 10 • il permet de fournir des signaux à partir du retour de l'information réelle (ex. problème de couplage ultrasonore) ;
- il permet de faire varier à souhait les différents paramètres liés :
 - 15 *i)* aux défauts : position, géométrie,
 - ii)* à la structure elle-même : variation d'épaisseur en face opposée, présence de raidisseurs, présence anormale d'une fixation acier parmi une ligne de fixations titane, ...
 - iii)* à l'inspection : perturbation des valeurs de réglage pour test de réaction de l'opérateur.

20 **Brève description des dessins**

On comprendra mieux l'invention à l'aide de la description, faite ci-après à titre purement explicatif, d'un mode de réalisation de l'invention, en référence aux Figures dans lesquelles :

- 25 • la Figure 1a illustre un exemple de données POD (« *Probability Of Detection* ») et la Figure 1b représente une courbe POD ;
- la Figure 2 est un schéma de principe du procédé selon la présente invention ; et
- la Figure 3 illustre des exemples de signaux synthétiques.

Description détaillée des modes de réalisation de l'invention

Dans le cadre de la présente invention, une solution est proposée, cette
5 solution réalisant un simulateur de CND (« Contrôle Non-Destructif ») dans lequel les opérateurs effectuent réellement l'inspection mais interprètent des signaux synthétiques.

Les signaux affichés à l'écran d'un équipement de contrôle (muni d'un PC) sont dits synthétiques dans la mesure où ils ne sont pas (exactement) les
10 signaux enregistrés par la carte d'acquisition de l'instrument utilisé.

Ces signaux peuvent par exemple être :

- des signaux mesurés ;
- des signaux mesurés et modifiés (ex. pondération, amplification
15 fonction du temps, fonction de transfert...) ;
- des signaux simulés et/ou modélisés ;
- une combinaison de signaux mesurés (et éventuellement modifiés) et simulés/modélisés.

Ces signaux devront être les plus réalistes possibles et correspondre à
20 des signaux qui peuvent être mesurés sur les zones de structure concernées, en prenant en compte les informations :

- du positionnement réel de la sonde dans l'espace ; et
- des réglages effectués par l'opérateur (relevés).

La Figure 2 est un schéma de principe du procédé selon la présente
25 invention : une inspection opérationnelle est réalisée. En fonction de paramètres liés à l'inspection opérationnelle (réglages, position de la sonde, signal mesuré, ...) et en fonction de la définition de la géométrie de la structure et de la configuration en cours (défaut(s) introduits par le générateur de configuration), des signaux synthétiques sont générés. En fonction de la
30 réponse de l'inspection (signal, valeur, cartographie ...), une prise de décision est réalisée, par un opérateur ou bien de manière logicielle, et enfin, un diagnostic est effectué. Les signaux synthétiques générés peuvent être, en fonction des configurations de contrôle, soit affichés directement (temps réel) à

l'écran de l'appareil d'inspection, soit fournies au logiciel en charge de l'acquisition des données, en vue d'un traitement ultérieur pour le diagnostic.

Le procédé selon la présente invention comporte notamment trois étapes,
5 qui sont :

- la mesure des paramètres d'inspection liés à la position dans l'espace de la sonde (ou capteur) ; et
- la synthèse de signaux associés aux paramètres d'inspection (incluant la sonde) et des défauts.
- 10 • l'établissement de la correspondance entre les paramètres d'inspection et les signaux à travers le générateur de configuration (maquette virtuelle et défaut(s)).

La génération des signaux synthétiques est conditionnée par :

- 15 • les paramètres d'inspection mesurés ;
- la configuration générée par le « générateur de configuration » qui consiste en une maquette virtuelle (DMU) de la structure, cette DMU pouvant être complétée par l'introduction de défauts et/ou par la modification des propriétés des éléments de structure (épaisseur de
20 pièces, géométrie en face arrière, matériau). Cet élément est comparable à l'élément logiciel qui modifie les paramètres d'une partie dans les jeux vidéos.

Un troisième élément important de mise en oeuvre de l'invention concerne
25 la communication entre ces trois sous-systèmes pour assurer une bonne fluidité de l'affichage des signaux synthétisés à l'écran.

La mesure des paramètres « positionnement du capteur » dépend de la complexité de l'opération d'inspection, en particulier du nombre de degrés de
30 liberté de la sonde :

- la sonde se déplace selon un plan : deux degrés de liberté, un encodage simple suffit (automates deux axes) ;

- la sonde se déplace sur une surface non plane mais ne peut pas pivoter, ou sa rotation n'influe pas sur la mesure : un encodage optique simple peut être utilisé pour déterminer sa position (x, y, z) ;
- la sonde se déplace dans l'espace avec un grand nombre de degrés de liberté (x, y, z, Rx, Ry, Rz) : des dispositifs sophistiqués incluant des gyroscopes peuvent être implémentés (ex. caméras et repères optiques sur la sonde, ...).

10 D'autres données peuvent être utilisées en entrée du module de génération des données synthétiques, comme :

- les paramètres de réglage de l'appareil, qui peuvent être récupérés directement sur la carte d'acquisition de l'appareil ;
- les signaux réellement mesurés (ou une partie de ceux-ci), qui peuvent également être récupérés directement sur la carte d'acquisition de l'appareil ;
- la configuration structure-défaut fournie par le générateur de configuration

20 Une autre étape consiste à générer des signaux synthétiques qui correspondent à l'opération CND (« Contrôle Non-Destructif ») que l'opérateur est en train d'effectuer. Ces signaux sont affichés en temps réel (ou différé maîtrisé) à l'écran de l'appareil d'inspection.

25 Ainsi, l'opérateur a l'impression que les signaux affichés sont ceux effectivement mesurés.

La synthèse de signaux est très utilisée en acoustique musicale, par exemple pour les instruments numériques. Deux approches y sont développées. Soit l'instrument numérique « joue » des notes préenregistrées et piochées parmi une base de données de manière à générer un signal acoustique réaliste, soit les signaux synthétisés utilisent des signaux simulés en utilisant des modèles physiques d'instrument.

Sur le même principe, des signaux correspondant à la réponse à une opération CND (« Contrôle Non-Destructif ») peuvent être synthétisés. Le cas le plus analogue concerne les inspections ultrasonores qui fournissent des signaux d'échographie acoustique des structures. Cependant, le concept peut
5 être étendu sans restriction à des signaux électromagnétiques ou encore radiographiques.

Les signaux synthétisés peuvent, par exemple, être générés en utilisant :

- 10 • des signaux préalablement mesurés et enregistrés dans une base de données ;
- des signaux simulés ;
- une combinaison de signaux réels et simulés, notamment utilisant une réponse de défaut simulée puis intégrée dans un signal réel ;
- des signaux (réels ou simulés) traités (e.g. filtrage pour la porosité) ;
15 et/ou
- une interpolation entre deux signaux (réels ou synthétiques) de manière à reproduire finement les flous, en bord de défauts notamment.

20 La Figure 3 illustre des exemples de signaux synthétiques.

Cette synthèse de signaux permet de positionner des défauts « virtuels » à tout endroit de la structure, et de toutes géométries possible.

25 Le lien entre les paramètres d'inspection et le signal synthétique est assuré de façon simple en utilisant des appareils d'inspection munis d'un PC qui permet d'établir un lien direct entre :

- la carte d'acquisition ;
- le dispositif de mesure de la position du capteur dans l'espace ; et
30 • la maquette virtuelle
- le module de synthèse des signaux.

De façon optionnelle, une interactivité entre un opérateur et l'appareil de mesure peut être mise en oeuvre, par exemple pour automatiser la saisie des

résultats d'inspection (détection, amplitude, dimensionnement). Cette interactivité peut être assurée par l'IHM (Interface Homme-Machine) de l'appareil de mesure.

- 5 La présente invention peut être utilisée par tout industriel mettant en oeuvre des CND (Contrôles Non-Destructif) ou bien par des centres de formation et d'examen d'opérateurs de CND, dans le but :
- de réaliser des estimations de courbes POD (« *Probability Of Detection* ») en conditions réalistes et à faible coût ;
 - 10 • de mettre en place et améliorer des procédures d'inspection ;
 - de former des opérateurs de CND ; ou bien
 - de certifier des opérateurs de CND en conditions opérationnelles.

 Le procédé selon la présente invention peut également être utilisé pour
15 évaluer les performances de diagnostic de logiciels d'analyse en utilisant la génération de signaux synthétiques comportant des défauts variables (cartographies synthétiques).

20

 L'invention est décrite dans ce qui précède à titre d'exemple. Il est entendu que l'homme du métier est à même de réaliser différentes variantes de l'invention sans pour autant sortir du cadre du brevet.

REVENDEICATIONS

- 5 1. Procédé de simulation de contrôle non-destructif à l'aide d'au moins une sonde, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :
- mesure de paramètres d'inspection, notamment liés à la position de ladite sonde dans l'espace ; et
 - génération de signaux synthétiques correspondant à une opération de
- 10 contrôle non-destructif ;
- et en ce que la mesure de paramètres d'inspection liés à la position de ladite sonde dans l'espace est réalisée au moyen de dispositifs incluant des gyroscopes.
- 15 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite génération de signaux synthétiques est en partie conditionnée par une configuration générée par un générateur de configuration qui consiste en une maquette virtuelle de structure.
- 20 3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite maquette virtuelle de la structure est complétée par l'introduction de défauts et/ou par la modification des propriétés des éléments de structure.
- 25 4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits signaux synthétiques sont des signaux mesurés.
5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits signaux synthétiques sont des signaux mesurés et modifiés.
- 30 6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits signaux sont modifiés selon une pondération, selon une amplification fonction du temps et/ou selon une fonction de transfert.

7. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits signaux synthétiques sont simulés et/ou modélisés.
- 5 8. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits signaux synthétiques sont une combinaison de :
 - signaux mesurés et éventuellement modifiés ; et de
 - signaux simulés et/ou modélisés.
- 10 9. Procédé selon la revendication 4, 5 ou 8, caractérisé en ce que lesdits signaux synthétiques sont mesurés sur des zones de structure concernées, en prenant en compte des informations liées au positionnement réel de ladite sonde dans l'espace.
- 15 10. Procédé selon la revendication 4, 5, 8 ou 9, caractérisé en ce que lesdits signaux synthétiques sont mesurés sur des zones de structure concernées, en prenant en compte des informations liées à des réglages effectués par un opérateur.
- 20 11. Procédé selon l'une au moins des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la mesure de paramètres d'inspection liés à la position de ladite sonde dans l'espace est réalisée au moyen d'un encodage simple.
- 25 12. Procédé selon l'une au moins des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la mesure de paramètres d'inspection liés à la position de ladite sonde dans l'espace est réalisée au moyen d'un encodage optique simple.