

DERNIERES AVANCEES DE LA PLATE FORME DE SIMULATION CIVA ET APPLICATIONS

RECENT EVOLUTIONS OF THE CIVA SIMULATION PLATFORM AND APPLICATIONS

FOUCHER F, FERNANDEZ R. (EXTENDE),
F. Jenson²
²CEA, LIST, F-91191 Gif-sur-Yvette
e-mail : frederic.jenson@cea.fr

RESUME

La plate-forme logicielle CIVA, dédiée à la simulation des contrôles non destructifs, est maintenant largement utilisée dans différents secteurs de l'industrie. Cet outil de simulation est développé par le CEA LIST et reçoit également la contribution de nombreux partenaires universitaires. Utilisé en phase de conception ou de qualification d'une méthode de contrôle, il peut permettre des gains de productivité en réduisant le nombre de maquettes et d'acquisitions nécessaires. Il participe également à l'introduction de procédés innovants tels que la mise au point de sondes multi-éléments. En reproduisant des configurations réalistes, son utilisation permet une analyse plus précise des résultats d'inspection et peut ainsi aider à confirmer ou infirmer un diagnostic donné.

Cette communication présente les dernières évolutions de la plate-forme logicielle portant sur la modélisation des techniques CND par Ultrasons, Courant de Foucault ou Radiographie ainsi que des exemples d'applications.

ABSTRACT

The CIVA plat-form dedicated to the modeling of NDT techniques is now extensively used in different industrial sectors. This simulation tool is developed by CEA LIST and benefits also from the contribution of numerous partners from industry or universities.

Used during the design stage of a new component or for the performance demonstration of an in-service inspection method, the simulation tool allows productivity improvement, for instance by reducing the number of necessary mock-ups and experimental trials. It also helps to introduce innovative processes such as multi-elements methods. Simulation serves an additional useful purpose by producing realistic inspection results that will confirm or not a diagnosis. Another interest of the simulation is to try to reproduce realistic inspection results in order to understand then confirm or inform a diagnosis

This article introduces some of the latest developments now available in CIVA as well as some application cases in UT, ET and RT.

LA PLATE FORME LOGICIELLE CIVA

La simulation joue un rôle important dans le cadre de la mise au point des méthodes CND, de leur qualification ou encore, pour contribuer à l'expertise de résultats d'inspections.

La plate forme logicielle CIVA, propose des modèles physiques permettant de simuler un contrôle dans trois techniques majeures des CND : Ultrasons (UT), Courants de Foucault (ET) et Radiographie (RT). Ces trois modules s'appuient sur un même environnement logiciel apportant à l'utilisateur une interface commune et des outils « métiers », facilitant ainsi sa prise en main.

La formulation des équations à la base des différents modèles proposés repose sur des méthodes semi-analytiques. Cette approche permet de résoudre une grande variété de

configurations dans des temps de calcul très courts en comparaison de méthode purement numériques (Eléments Finis...).

Ainsi, le calcul de champ ultrasonore s'appuie sur une approche géométrique de type « théorie des rayons » appelée « méthode des pinceaux » qui intègre une approche géométrique de type « rayon ». Les échos provenant de défauts sont calculés grâce à des modèles se basant sur l'approximation de « Kirchhoff » ou sur la théorie géométrique de la diffraction (« GTD »).

Le module dédié à la simulation du CND par Courant de Foucault intègre une méthode d'intégrale de volume nécessitant que seul le défaut soit discrétisé, en traitant analytiquement le calcul du champ dans la pièce.

Enfin, le module dédié à la simulation d'une radiographie X ou gamma intègre une approche de type « rayon » exploitant le modèle d'atténuation de Beer-Lambert pour le calcul du rayonnement direct, et couplée à une approche probabiliste de type « Monte-Carlo » afin de prendre en compte les différents phénomènes d'interaction photons/matière dans le calcul du rayonnement diffusé.

Pour plus d'informations sur les méthodes de résolution, on peut se référer par exemple à [1] pour le module Ultrasons, [2] pour le module Courant de Foucault, et [3] pour le module radiographie.

L'un des avantages des formulations basées sur des approches semi-analytique est de permettre la réalisation d'études paramétriques (étude de sensibilité, recherche des configurations optimales ou des cas les plus défavorables, etc.). En offrant une somme de données importantes dans des temps raisonnables, et intégrées dans un outil de visualisation intuitif, la simulation doit ainsi constituer un réel outil d'optimisation des coûts et des performances des procédés CND par rapport à une approche purement empirique du CND.

Les différents codes de calcul sont validés par le CEA, notamment dans le cadre de participations à des debenchmarks internationaux [4].

NOUVELLES CAPACITES DE MODELISATION

A chaque nouvelle version commerciale, la plate-forme CIVA s'enrichit de nouvelles fonctionnalités. Ces améliorations portent notamment sur les modèles physiques proposés pour chacune des trois techniques.

Ainsi, CIVA UT offre la possibilité de simuler l'inspection de composants définis par leur CAO3D. On peut citer également la prise en compte de morphologies de défauts plus réalistes (défauts branchés, multifacettes...) ou encore l'extension du nombre de modes pris en compte dans le calcul (prise en compte de plusieurs rebonds sur les parois du composant, calcul des contributions dues à certains types d'ondes rampantes...). La possibilité de décrire des matériaux complexes formés d'une structure métallurgique à gros grains, comme c'est le cas de certains aciers inoxydables moulés, permet de simuler leurs effets sur la propagation des ultrasons.

Dans le module de simulation Courant de Foucault, on distingue l'introduction dans la bibliothèque de nouveaux capteurs de type GMR et multi-éléments matriciels. On peut citer également la prise en compte de défauts multiples qui permet notamment d'étudier les signaux issus d'entailles longitudinales combinées avec des entailles transversales.

Dans le module Radiographie, les développements de la version 10 se sont concentrés sur l'optimisation de l'ergonomie et des performances du logiciel. En particulier, le calcul du rayonnement diffusé via la méthode Monte-Carlo, par nature assez volumineux, a été parallélisé. Il est donc maintenant possible d'intégrer la prise en compte du diffusé de manière réaliste en 2 ou 3 heures de calcul. De plus, ce calcul peut-être réutilisé pour plusieurs configurations, par exemple dans le cas où l'on souhaite faire varier le temps de pose, permettant ainsi de faire des études paramétriques intégrant le diffusé en quelques minutes de calcul.

Enfin, il est désormais possible de déterminer des courbes POD à partir de résultats de simulations.

A partir du choix par l'utilisateur de variables d'entrées incertaines (comme par exemple l'orientation du défaut, l'incertitude sur les paramètres du traducteur, le bruit de structure, etc.), CIVA pilote une série de calculs en faisant varier les paramètres d'entrées dans leur domaine d'incertitude et permet de calculer en sortie l'impact correspondant sur la réponse de défaut. Mis en regard du seuil de détection correspondant à la procédure de contrôle considérée, la courbe POD peut alors être estimée. Les données simulées peuvent ainsi se substituer à une partie des essais expérimentaux qui sont actuellement réalisés dans le cadre de campagnes POD tout en élargissant et en maîtrisant mieux le domaine de variation des paramètres influents.

Sur l'image ci-dessous, les deux courbes POD ont été obtenues pour un même contrôle ultrasonore en ondes T45 dans deux pièces en acier inoxydable dont la micro-structure est responsable de niveaux de bruit de grains différents. Des informations plus détaillées sur la modélisation des courbes POD et sur cette application sont données dans l'article [5].

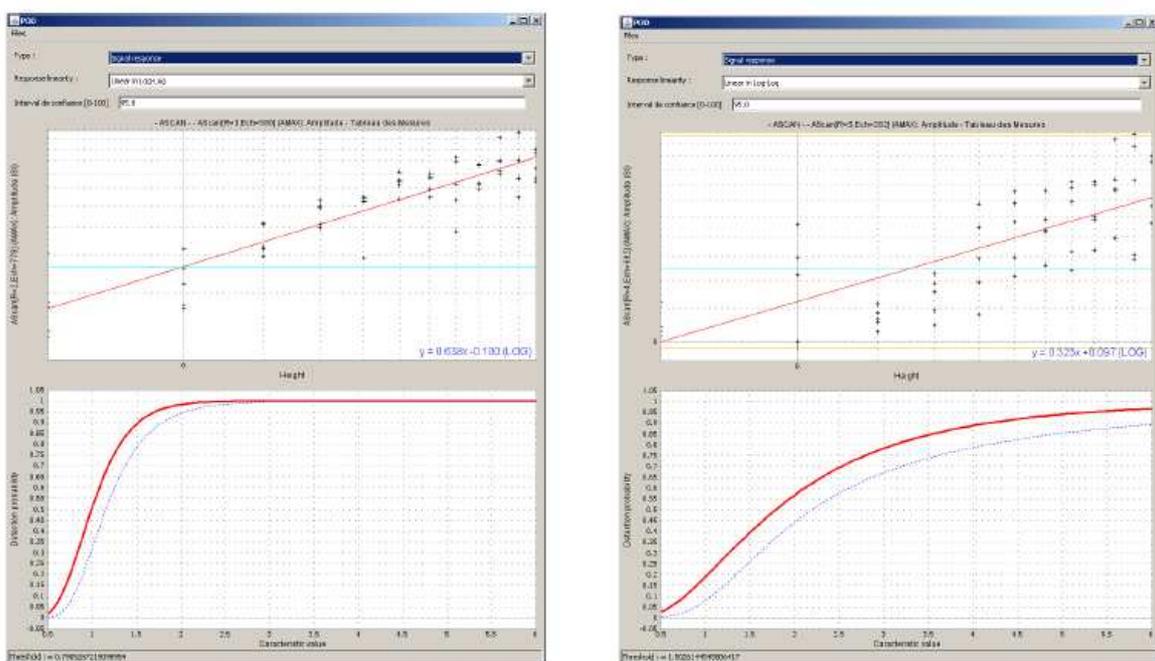


Figure 1 : Exemples de courbes POD obtenues par simulation dans CIVA

CIVA : APPLICATION A LA DEMONSTRATION DE PERFORMANCE

La simulation présente un intérêt particulier dans le cadre de la qualification des méthodes de contrôle. En effet, la constitution de dossiers de justifications techniques requiert l'étude de la sensibilité de la méthode de contrôle aux paramètres influents de manière à en démontrer la performance et la robustesse et à mieux en connaître les limites.

Il s'agit donc de faire varier les paramètres influents tels que la taille, l'orientation ou la position d'un défaut, ou encore d'étudier la sensibilité de la réponse à la variation des paramètres du capteur autour des valeurs nominales définies par le constructeur.

On présente ci-dessous le cas du contrôle d'une manchette thermique de générateur de vapeur d'un réacteur nucléaire par un capteur contact en onde T45. La figure 1 présente la configuration nominale avec un premier résultat pour une position donnée du défaut.

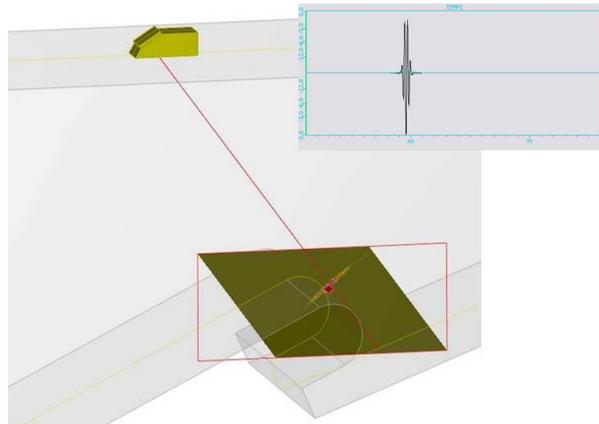


Figure 2 : Configuration de contrôle d'une manchette thermique

La qualification de cette méthode demande d'étudier la sensibilité du signal suivant la position angulaire du défaut autour de la manchette (voir figure 2). Il est possible de réaliser une maquette pour chaque position de défaut, néanmoins, cela peut s'avérer très long et coûteux à mettre en œuvre. Une méthode plus efficace proposée ici, consiste à réaliser uniquement deux maquettes, puis de compléter les essais via une étude paramétrique en simulation. La confrontation essais/simulations permet de valider le modèle sur quelques cas. Puis les résultats de l'étude paramétrique permettent de compléter à moindre coût l'ensemble de la réponse recherchée sur toute la plage de variation et par rapport au critère de performance défini pour ce contrôle.

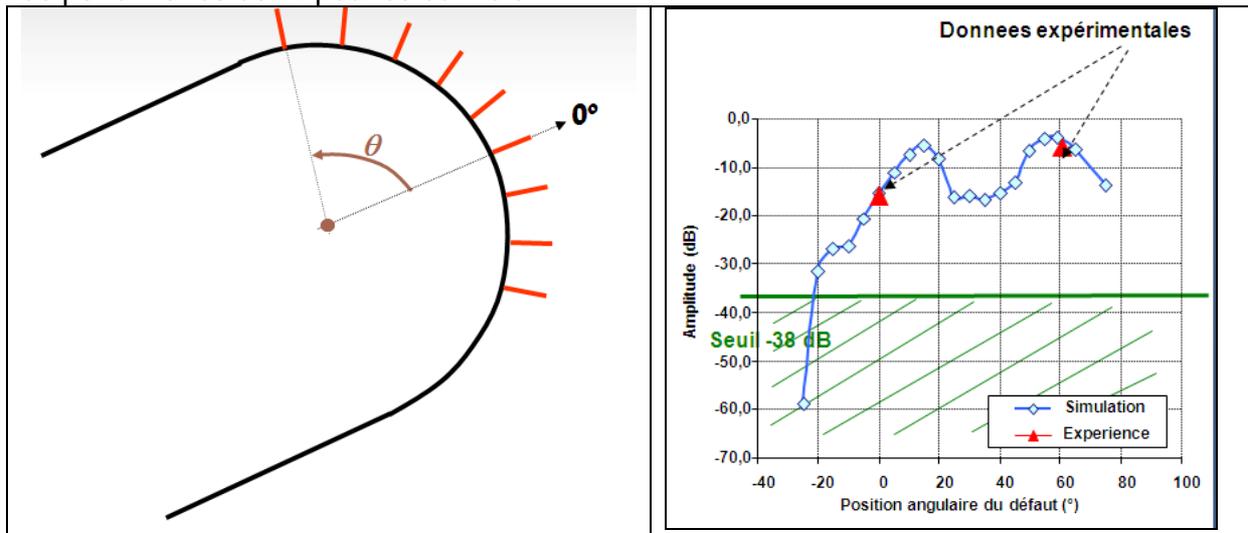


Figure 3 : Etude pour différentes positions de défaut/ Données de simulation validées par 2 valeurs expérimentales

APPLICATION DE CIVA POUR L'INTRODUCTION DE PROCÉDES INNOVANTS

Un autre type d'application intéressante de la simulation concerne l'introduction de procédés de contrôle innovants. La simulation permet de réaliser à faible coût des tests de pré-design et ainsi de minimiser les itérations coûteuses lors de la phase de prototypage : La réalisation des prototypes est ainsi optimisée, plus rapide et plus efficace. La simulation donne également la possibilité de comparer en amont les performances d'une nouvelle sonde par rapport à un capteur conventionnel et ainsi de guider les choix d'investissements dans une technologie innovante.

On peut illustrer ce type d'application en prenant l'exemple du design d'une sonde Courant de Foucault multi-éléments. Sur la figure 3, on peut voir un exemple de sonde courant de Foucault à base de micro-bobinages conçue au CEA à l'aide de CIVA. La sonde représentée

ici est constituée de 4 micro-bobines réparties sur 2 couches de 32 éléments montés sur support souple, de part et d'autre d'un film kapton.



Figure 4 : Sonde CF multi-éléments flexibles

Cette technologie multi-éléments en Courant de Foucault comporte des avantages significatifs par rapport à une technologie conventionnelle à capteur bobiné. Tout d'abord, elle permet la détection de petits défauts avec un bien meilleure résolution que la technologie conventionnelle. D'autre part, le caractère multi-éléments de la sonde et le couplage des éléments à une électronique de commande, permet de diminuer les balayages mécaniques nécessaires et donc de réduire les temps d'acquisition. En outre, les possibilités d'analyse sont accrues grâce au nombre de voies d'acquisition disponibles. Enfin, une roue souple en silicone sur lequel est monté le support kapton assure la flexibilité du dispositif. De cette manière, un bon contact avec la pièce à contrôler peut-être obtenu, en particulier lorsque celle-ci présente un profil non régulier, et les signaux parasites dus aux variations de lift-off sont diminués (voir [6] pour plus d'informations sur ce dispositif).

Pour ce type de technologie encore assez peu utilisée dans l'industrie, les étapes de mise au point peuvent être nombreuses avant de parvenir à la réalisation d'un prototype performant. La simulation permet d'explorer à moindre coût les différentes possibilités offertes a priori par une technologie pour valider des choix au regard d'un objectif de performance défini (taille de défaut à détecter, rapport signal à bruit minimal, etc.). La taille des éléments, l'espace entre les éléments, la fréquence d'acquisition, les différents modes disponibles (émission/réception séparée, fonction commune, etc.) sont autant de variables qui vont déterminer la performance du dispositif et qu'il est très rapide de définir et faire varier dans CIVA.

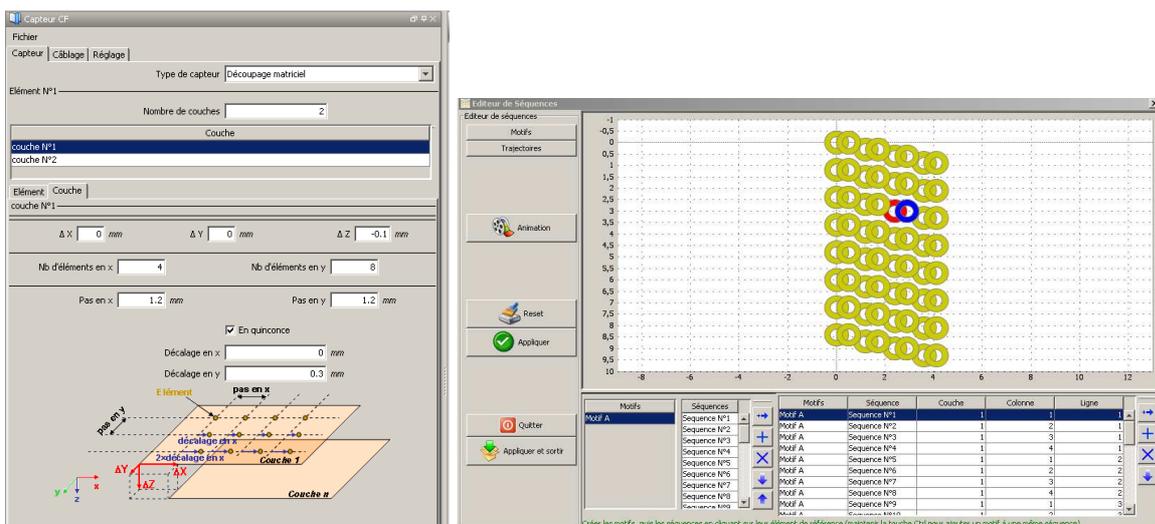


Figure 5 : Interface CIVA CF pour la définition et le pilotage de capteurs multi-éléments

Sur la Figure 6, on visualise 3 arrangements de capteurs matriciels de 64 micro-bobines avec différentes dimensions de bobines, différents espaces inter-bobines et différents modes

d'alimentation et d'acquisition. Ces différents schémas sont testés par simulation sur la réponse d'un défaut de 0.4mm*0.2mm*0.1mm dans une plaque en inconel. Un balayage mécanique suivant un axe est considéré. On constate sur les Cscans obtenus que la résolution du signal de défaut varie de façon significative suivant le schéma retenu.

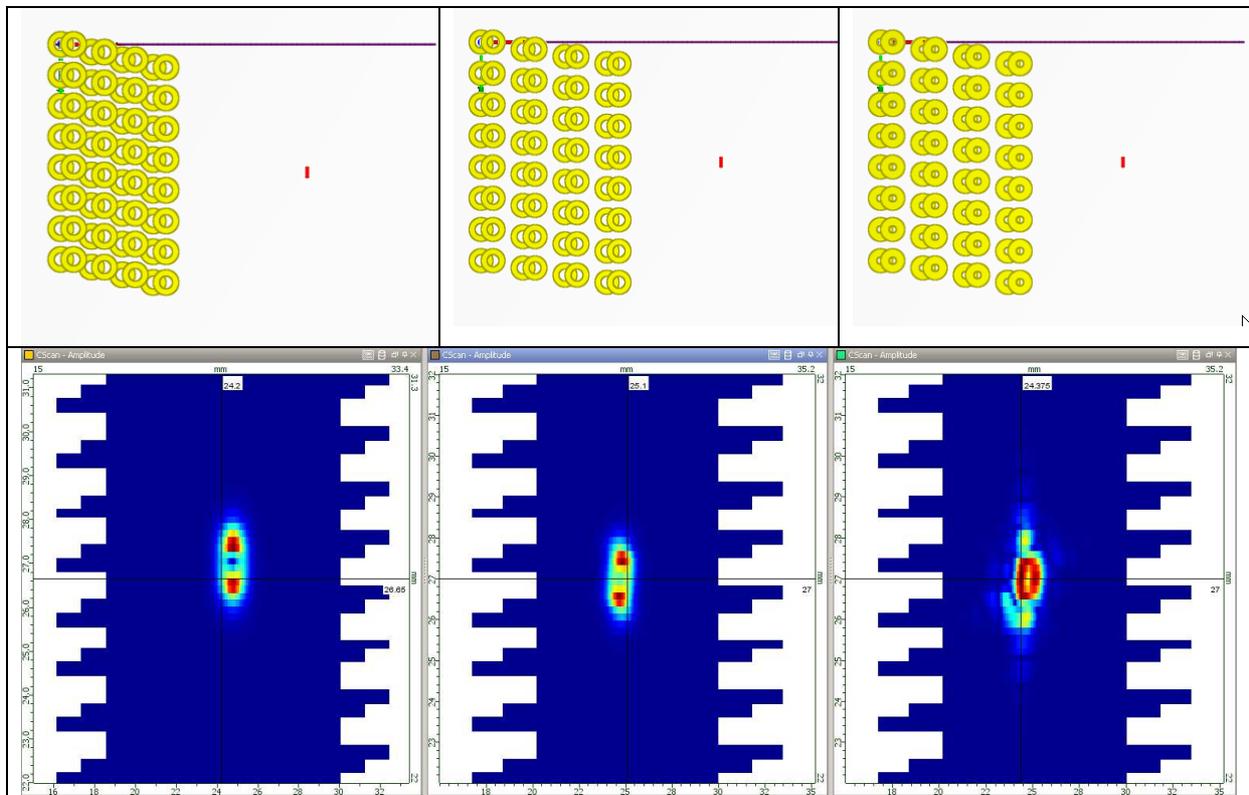


Figure 6: Différents designs testés par simulation / Cscans de l'amplitude du signal obtenu

APPLICATION DE CIVA AU DESIGN D'UNE METHODE DE CONTROLE

La mise au point d'une méthode de contrôle peut dans de nombreux cas s'avérer compliquée, du fait de la multiplicité des paramètres à déterminer qui peuvent avoir une influence significative sur la qualité des résultats fournis par la méthode. Dans ce contexte il est déterminant de disposer de moyens de simulation permettant de prédire le comportement de la technique en fonction de ces différents paramètres.

Prenons l'exemple des inspections radiographiques. Avant d'effectuer les tirs radiographiques il est nécessaire de :

- Choisir la source X appropriée
- Définir le positionnement et l'orientation de cette source
- Choisir le temps d'exposition adéquate permettant d'obtenir une image exploitable
- Définir la bonne classe de film ou détecteur

Le mauvais paramétrage d'un de ces éléments conduit quasi systématiquement à la réalisation de nouveaux tirs. Ainsi, pour optimiser les procédures de contrôle, la simulation s'avère être d'une grande utilité. Par simulation, il est en effet possible de tester les différents paramètres influents et mettre en place la technique d'examen la plus adéquate qui permettra de respecter les exigences en termes de détections de défauts, et de densité optique.

Prenons l'exemple de la source. Suivant l'épaisseur de la pièce et la densité du (ou des) matériau(x) la composant, il est nécessaire de choisir judicieusement la source qui servira à générer des rayons X et inspecter la pièce. Une source trop énergétique saturera le film alors qu'une source pas assez énergétique aura pour conséquence que la quasi-totalité des photons seront stoppés par la pièce et n'attendront pas le film. Nous présentons ici une

application de CIVA concernant le choix de la source pour le contrôle d'un raidisseur. Le modèle CAO 3D du raidisseur présentant une fissure de 300 μ m d'épaisseur est importé dans le logiciel CIVA (voir figure 7). Des simulations sont réalisées pour trois tensions d'accélération différentes.

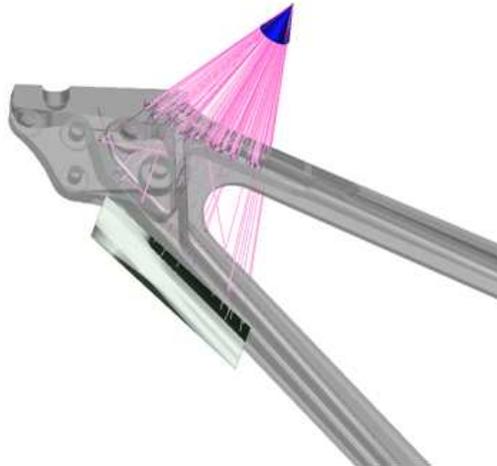


Figure 7: Configuration de tir radiographique sur un raidisseur dans l'interface CIVA

Les résultats obtenus sont illustrés figures 8 et 9. On constate que l'inspection avec une source X à 140 kV ne permet pas la détection de la fissure et que la source à 200kV fait ressortir ce défaut mais pas de manière évidente. Les valeurs de densité optique (DO) obtenues sur le film avec la source à 200kV, ne sont pas assez élevées pour faire ressortir la signature du défaut de façon nette.

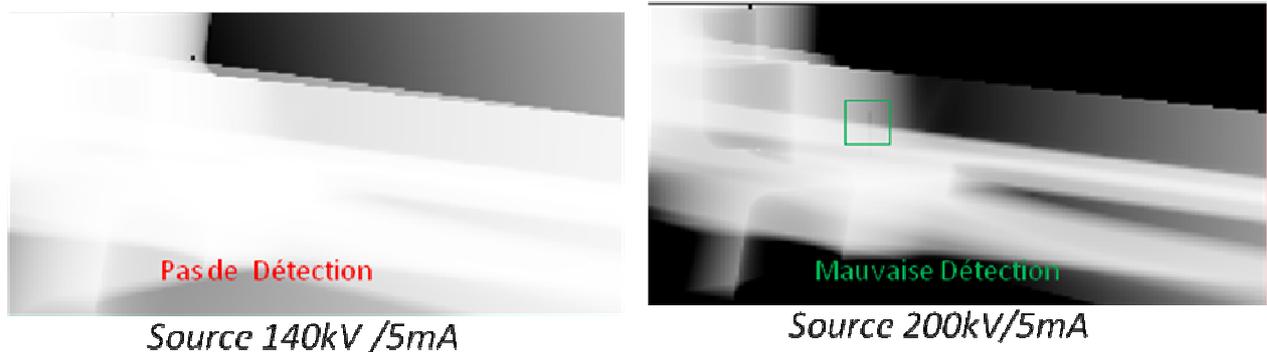
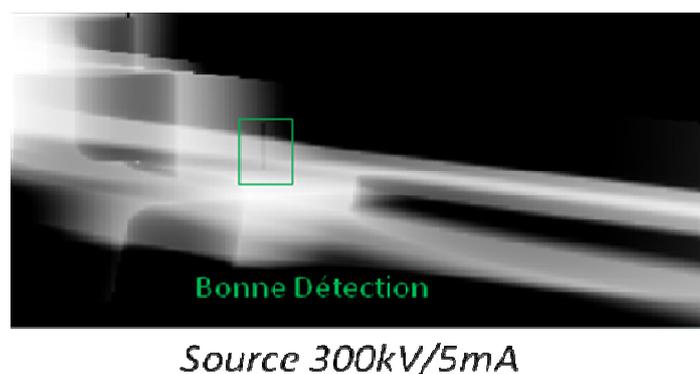
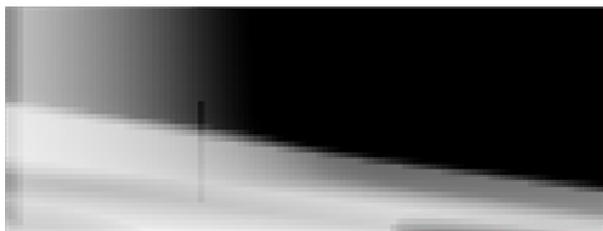


Figure 8 : Résultat de simulation avec une source 140kV et une source 200kV

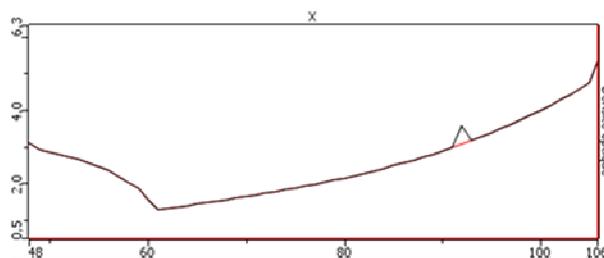
En revanche, la source à 300kV permet une bonne détection de la fissure présente dans la pièce : La DO lue à l'emplacement du défaut est de 3,5 et le contraste est suffisant pour faire ressortir le défaut. On en conclut que cette source est le bon choix pour cette application.



Source 300kV/5mA



*Source 300kV /5mA zoom
autour du défaut*



*Coupe horizontale représentant la
DO près du défaut*

Figure 9 : Résultat de simulation avec une source 300kV

Déterminer ainsi par simulation la source qu'il faudra utiliser pour un contrôle radiographique donnée présente le grand avantage de réduire considérablement le nombre de tirs sur maquettes ou sur site.

CONCLUSION

Dans cette communication nous présentons les avancées récentes de la plate-forme CIVA pour la simulation des techniques ultrasonores, Courant de Foucault et Radiographie. Il est en particulier désormais possible de prendre en compte les incertitudes inhérentes à un contrôle, de manière à calculer des courbes POD. Différents exemples d'applications sont développés qui démontrent l'intérêt de la simulation tout au long du processus CND, que ce soit pour l'introduction de technologies innovantes, la mise au point de méthodes de contrôle ou leur qualification.

Références bibliographiques

- [1] S. Mahaut, S. Chatillon, M. Darmon, N. Leymarie and R. Raillon, "An overview of UT beam propagation and flaw scattering models integrated in the CIVA software" *Review of Progress in QNDE*, these proceedings (2009).
- [2] G. Pichenot, D. Prémel, T. Sollier, and V. Maillot, "Development of a 3D electromagnetic model for eddy current tubing inspection: Application to steam generator tubing", in *Review of Progress in QNDE*, **16** (2005), pp. 79-100.
- [3] "Simulation studies of radiographic inspections with Civa", J. Tabary, P. Hugonnard, A.Schumm, R. Fernandez
- [4] "Results of the 2009 UT modeling benchmark obtained with Civa : responses of notches, side-drilled holes and flat-bottom holes of various sizes", R. Raillon, S. Bey, A. Dubois, S.Mahaut, and M. Darmon
- [5] "Modeling of the sources of signal fluctuations to determine the reliability of Ultrasonic Non Destructive Methods", F. Jenson, E. Iakovleva, QNDE 2010
- [6] "Flexible and array eddy current probes for fast inspection of complex parts", B.Marchand, J. M. Decitre, and O. Casula, QNDE 2010