

L'IA AU SERVICE DE LA MAINTENANCE DANS LE NUCLÉAIRE (1/3)

CONTEXTE

Le contrôle non destructif (CND) dans le nucléaire est crucial pour garantir la sûreté des installations en détectant le plus tôt possible les défauts et les dégradations des matériaux. Par exemple, en 2004, une corrosion non détectée sur la centrale de Mihama au Japon a causé une rupture dans une conduite de vapeur d'un réacteur entraînant la mise à l'arrêt du réacteur pendant plusieurs mois. Pour améliorer la précision et l'efficacité des inspections de combustible nucléaire et de soudures (44 soudures sur le circuit primaire principal), Framatome a développé le logiciel **FAIA** (Framatome Artificial Intelligence Analysis Software), basé sur de l'intelligence Artificielle (IA), pour l'**analyse automatisée des données de CND**.

PROJET

FAIA permet de détecter, localiser et caractériser avec précision différents types de défauts, en combinant plusieurs types de données (images, vidéos, ultrasons, courants de Foucault). Il vise à :

- Détecter l'intégralité des défauts présents sur un matériau;
- Minimiser les erreurs humaines dans l'identification des défauts;
- Réduire le temps d'analyse des défauts avec l'assistance de l'IA.

FAIA est utilisé dans deux environnements différents chez Framatome :

- Sur des sites nucléaires en exploitation pour analyser les anomalies sur les soudures;
- Dans des usines de fabrication de gaines combustible pour automatiser la détection de défauts sur les matériaux (rayures, manque de matière, par exemple), en complément des analyses faites par les experts et exigées par la réglementation.

Description du projet

Le développement de FAIA est porté par **Intercontrôle**, filiale de Framatome spécialisée dans la conception, la qualification et l'exploitation sur les centrales nucléaires de procédés de CND.

FAIA est utilisé par les opérationnels sur site avec les objectifs suivants :

- **Qualité** : assurer une détection fiable de 100% des défauts lors d'une inspection;
- **Performance** : Réduire le temps et les coûts associés au CND.

Le développement du projet FAIA s'est articulé autour de deux grands axes :

- R&D et développement des algorithmes d'IA (entre 2019 et 2020, avec des itérations d'amélioration continue jusqu'en 2024);
- Développement logiciel (User Interface, exploitation du réseau d'IA sur un PC portable pour les inspections de CND sur site et sur un système de vision industriel pour la détection de défauts sur une ligne de production de gaines de combustible).



Interview de

Eletherios
ANAGNOSTOPOULOS
Manager of Numerical Methods
Section - Framatome

Par EyeSnap : nicolas.cubaud@eyesnap.fr

Parties prenantes

framatome
Intercontrôle

Expertise métier et
technologique pour le Contrôle
Non Destructif (CND)

L'IA AU SERVICE DE LA MAINTENANCE DANS LE NUCLÉAIRE (2/3)

PROJET

Approche Data / IA

Les contraintes fortes auxquelles fait face le CND dans le nucléaire sont:

- Le manque de données réelles des différentes typologies de défauts dans les matériaux;
- La grande sensibilité des données manipulées dans un secteur extrêmement réglementé;
- Des environnements opérationnels avec un niveau de bruit élevé et des conditions d'utilisation variables.

L'approche mise en place par Intercontrôle pour répondre à ces contraintes est la suivante:

- **Simulation** d'environnements de CND réalistes s'appuyant sur:
 - La génération de données artificielles (images, vidéos, courants de Foucault) simulant différentes typologies de défauts, avec des ajustements de luminosité, des distorsions de couleur, des rotations pour créer des scénarios d'entraînement réalistes;
 - La réalisation de maquettes pour la qualification de méthodes télévisuelles afin de comparer la capacité humaine et celle de l'IA à détecter tous les défauts;
- Utilisation de la capacité de généralisation de l'IA dans des environnements opérationnels différents:
 - Développement de 2 réseaux convolutifs de DeepLearning (CNNs) pour la **détection** et la **classification** des défauts;
 - Entraînement sur un vaste ensemble de données synthétiques et réelles pour apprendre à distinguer les fissures réelles des artefacts visuels comme les rayures;
 - Utilisation de ces modèles pour analyser les vidéos en temps réel, détectant ainsi les fissures et fournissant des informations détaillées sur leur taille et leur localisation.

La **performance** et la **précision** de FAIA sont évaluées via un ensemble de vidéos acquises en conditions réelles et comprenant des défauts annotés que l'IA doit détecter (cf l'image ci-dessous de ground truth en vert versus la détection du défaut faite par FAIA en bleu).

Données

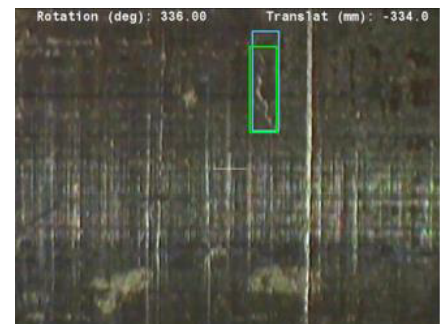
Les données utilisées proviennent de **points de mesure récupérés via des équipements spécialisés**:

- **Images et vidéos** : acquises avec des systèmes industriels, des caméras industrielles classiques et des endoscopes pour les zones difficiles d'accès;
- **Séries temporelles** : courants de Foucault, ultrasons mesurant la réflexion et la transmission des ondes à travers un matériau pour identifier des anomalies telles que des fissures.

Résultats projet

Deux types d'expérimentations ont été faites pour mesurer les résultats obtenus avec FAIA:

- Essais sur site en conditions réelles: les analyses CND avec les différentes techniques intégrées dans FAIA ont permis de détecter **tous** les défauts. Les nombreuses variations dans les composants ont induit des faux-positifs (FP);
- Comparaisons en laboratoire d'analyses faites sur le visionnage de 2 heures de vidéos par un expert CND et analysées en parallèle par FAIA: l'expert a manqué 2 défauts, car il avait dû faire une pause lors de son analyse (facteur humain), alors que l'IA n'en a manqué aucun.



L'IA AU SERVICE DE LA MAINTENANCE DANS LE NUCLEAIRE (3/3)

PROJET

Difficultés rencontrées

Du fait de la sensibilité du projet, plusieurs contraintes ont été posées et ont induit des challenges pour l'équipe de développement de FAIA, principalement:

- Le critère de performance suivant: « **l'outil ne doit produire aucun faux négatif** » (i.e un défaut critique, par exemple une fissure, doit impérativement être détecté). Ce critère est atteint avec le compromis d'accepter un taux de faux positifs plus élevés que l'opérateur humain. L'enjeu principal sur l'utilisation de la technologie est de garantir que le taux de faux positifs n'impacte pas la productivité, ce qui annulerait le gain d'automatisation;
- La nécessité de **grandes quantités de données** de haute qualité pour former les modèles, l'adaptation des algorithmes aux différents types de matériaux et conditions d'inspection en conditions réelles sont un véritable challenge technologique. Deux modèles d'IA spécialisés ont été développés avec des données spécifiques: un modèle pour le contrôle des soudures sur site et un modèle pour l'analyse de défauts sur une ligne de fabrication de gaines combustible. Des techniques de transfert learning et d'augmentation de données ont permis de répondre à cette contrainte;
- La **collaboration** entre les experts métiers et IA d'Intercontrôle: Pour une utilisation optimale de FAIA, il est important de coupler l'expertise en CND des opérationnels avec celle des analystes IA et data afin, par exemple, d'annoter les images et vidéos et de ne garder que les données utiles. La difficulté pour les experts métier et l'IA est de s'aligner sur un vocabulaire commun et une même compréhension de l'apport de la donnée du terrain pour l'amélioration des performances de FAIA. De nombreux ateliers collaboratifs ont été mis en place pour favoriser la collaboration multi-compétences.

Bénéfices métier

Les bénéfices apportés par l'intégration de l'IA dans ces processus d'inspection par CND sont nombreux:

- Amélioration de la qualité des inspections CND en confrontant l'analyse de l'expert avec celle de l'IA, apportant ainsi un gain de sécurité à la filière nucléaire;
- Une première étude a démontré que l'approche Métier-IA-IT peut permettre un **gain de productivité significatif** sur le contrôle des défauts sur une ligne de production de gaines combustible en réduisant le taux de faux positifs de 25 à 5% (i.e. contrôler 5% des matériaux dans un environnement critique reste acceptable).

FAIA apporte une forte valeur ajoutée face aux enjeux actuels du nucléaire, à savoir la prolongation de la durée de vie des réacteurs existants, la construction de nouveaux réacteurs et le renforcement de la sécurité.

Lien vers trois publications de référence: [lien#1](#), [lien#2](#) et [lien#3](#).

