



**HAL**  
open science

# Maintenance prédictive en centrale nucléaire : l'enjeu de la crédibilité des données lors de l'apprentissage du système prédictif

Corentin Ascone, Benjamin Verhaeghe, Frédéric Vanderhaegen

## ► To cite this version:

Corentin Ascone, Benjamin Verhaeghe, Frédéric Vanderhaegen. Maintenance prédictive en centrale nucléaire : l'enjeu de la crédibilité des données lors de l'apprentissage du système prédictif. 1er Congrès Annuel de la SAGIP, SAGIP, Jun 2023, Marseille, France. hal-04243637

**HAL Id: hal-04243637**

<https://uphf.hal.science/hal-04243637v1>

Submitted on 16 Oct 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



# Maintenance prédictive en centrale nucléaire : l'enjeu de la crédibilité des données lors de l'apprentissage du système prédictif

Corentin Ascone<sup>1,2</sup>, Benjamin Verhaeghe<sup>2</sup>, Frédéric Vanderhaegen<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> LAMIH UMR CNRS 8201, Université Polytechnique Hauts-de-France, France  
`corentin.ascone@uphf.fr`

<sup>2</sup> FRAMATOME, Installed Base of Jeumont (IBJ), France  
`benjamin.verhaeghe@framatome.com`

<sup>3</sup> INSA Hauts-de-France, Université Polytechnique Hauts-de-France, France  
`frederic.vanderhaegen@uphf.fr`

**Mots-clés :** *maintenance prédictive , industrie nucléaire, big data, groupe moto-pompe*

## 1 Contexte et Besoin

Alors que nucléaire représente une place de 4% dans le mix énergétique du monde en 2019 [1], la France se trouve être le pays plus nucléarisé du monde avec 56 réacteurs et produisant 72% de l'électricité produite en France [2]. Tous les réacteurs nucléaires français en cours de production sont à eau pressurisée (PWR). Leur combustible est un oxide d'uranium enrichi. Ses atomes sont fissiles, c'est-à-dire que leur noyau peut se casser sous l'impact d'un neutron. Une centrale nucléaire renferme environs 100 tonnes de matière radioactive par réacteur, qu'il faut confiner car elles représentent un danger potentiel pour les humains et l'environnement. L'industrie nucléaire présente donc un risque spécifique, lié aux substances radioactives qu'elle utilise. Maîtriser ce risque est l'objectif de la sûreté nucléaire. La sûreté nucléaire désigne "l'ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires [...], ainsi qu'au transport des substances radioactives, prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets", selon l'Autorité de sûreté nucléaire [3].

Framatome, un équipementier de renom dans le secteur nucléaire dispose du site de Jeumont spécialisé dans la conception, la fabrication et la maintenance de composants mobiles des centrales nucléaires. L'usine de Jeumont est un acteur historique majeur de la filière nucléaire française. Elle produit les seuls composants mobiles des centrales nucléaires mais aussi des pièces destinées au secteur de la Défense nationale. L'un des produits phares du site Framatome de Jeumont est le groupe motopompe primaire (GMPP) qui assurent la circulation du fluide primaire dans le réacteur. Le GMPP est composé de trois parties : le moteur, les joints d'arbre et l'hydraulique. Produits en acier inoxydable, les groupes motopompes primaires sont composés de plus de 1300 pièces différentes et nécessitent plus de 2 500 opérations de fabrication et de contrôle. Un réacteur de production française, appelé aussi « tranche », peut être composé de 3 ou 4 pompes primaires selon les modèles. Il s'agit de pompes de circulation munies de roues hélico-centrifuges à un étage, à axe vertical et dotées d'un dispositif d'étanchéité

dynamique (le « joint d'arbre ») à fuite contrôlée, constitué de trois joints montés en cascade (voir Figure (1)). Afin de maintenir ce système relativement complexe et puissant, Framatome réalise des opérations de maintenances préventives lors des arrêts de tranche (tous les 18 mois) ainsi que des opérations de maintenances correctives lors d'une panne ou casse de tout ou partie du GMPP. Ces opérations de maintenances sont longues et difficiles tant le nombre de pièces est important et les sous-ensembles sont imbriqués. Les opérateurs opèrent souvent à l'aveugle, dans le sens où ils ne savent pas dans quels états seront ces sous-ensembles internes lorsqu'ils démonteront la pompe. Des analyses de prédictions des états du matériel sont également réalisées par Framatome (site de Jeumont). Avec le laboratoire du LAMIH (UMR CNRS 8201), il est alors venu convenu de s'intéresser à cette maintenance prédictive afin de prédire plus efficacement de futures défaillances et d'anticiper les opérations de maintenances aussi bien en ressources humaines que matérielles.

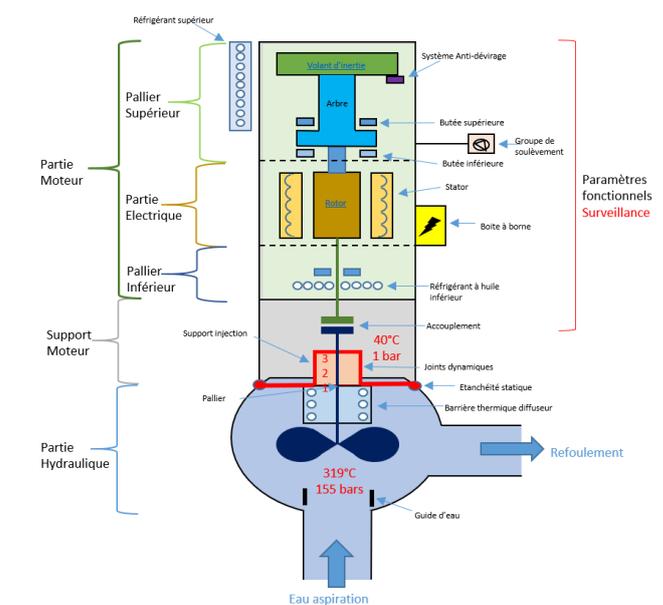


FIG. 1 – Schéma descriptif de la composition d'un GMPP

## 2 Données et Apprentissage Système

Il faut savoir qu'une tranche en arrêt pendant une journée entière équivaut à 1 million d'euros de pertes de production d'électricité. D'où l'importance d'un tel système de prédiction afin d'optimiser les opérations. Les techniques de prédictions issues de système d'intelligence artificielle ou de méthodes de Machine Learning sont, pour la plupart, orientées données, c'est-à-dire qu'elles se basent sur un historique de fonctionnement du système via des jeux de données caractéristiques plus ou moins conséquents. L'enjeu de réalisation d'un système de prédiction efficace et réactif réside aussi bien dans la qualité et quantité des données historiques à disposition que dans leurs interprétations. C'est pourquoi avant toute réalisation d'un tel système, notre intérêt s'est porté sur la standardisation des données brutes et dans l'intégration de celle-ci pour l'apprentissage du système prédictif. Suite à la vente et installation d'un GMPP sur site, Framatome peut offrir également un service d'expertise de leurs produits installés. Dans ce cas, ils reçoivent des jeux de données des capteurs de la pompe en fonctionnement suffisamment avant l'arrêt de tranche. Le but des experts est de diagnostiquer la pompe à posteriori et d'identifier de possible défauts pouvant engendrer des causes plus importantes. Il est donc ici question de prédiction sur l'état futur du matériel tournant. Ces données seront également utilisées pour le système de prédiction à réaliser, complétant l'analyse de ces experts

par des études plus précises du vieillissement du système et des signaux caractéristiques. Elles arrivent sous formes de tableaux présentant les valeurs de chaque capteur en fonction du temps. Les capteurs divergent en fonction du site et du type de pompe, tant par leurs nombres que par leurs noms, leurs formats ou leurs plages de fonctionnement. Généralement, la période  $\Delta t$  entre deux séquences de données est de l'ordre de la seconde. Avec une centaine de capteurs, la quantité de données sur 3 semaines de fonctionnement représente environ 180 millions de valeurs à analyser. On peut donc imaginer l'intérêt d'automatiser ce processus et de posséder un outil logiciel plus rapide, permettant de détecter des signaux faibles par exemple. Une standardisation et conversion en base de données SQL permettra de faciliter les requêtes tout en diminuant le temps d'exécution d'une tâche spécifique. Les données ont été collectées par un enregistreur. Il se peut également que l'enregistreur dysfonctionne ou que des capteurs ne délivrent pas ou plus la véritable information à l'instant donné. Pour définir si une valeur est cohérente ou non une analyse spécifique peut être réalisée en amont.

Tout d'abord le Guide d'Entretien et d'Exploitation (GEE) est un document permettant de vérifier les plages de fonctionnement selon des valeurs seuils d'un capteur (« normal », « atypique » et « anormal »). Le GEE décrit également les opérations de suivi à effectuer en cas de dépassement des seuils destinées à atténuer les conséquences des incidents et à protéger le GMPP. Dans certains cas, une redondance technique est présente et permet de disposer de plusieurs mesures via différents capteurs pour une même grandeur. Une comparaison entre ces redondances permet d'identifier une défaillance ponctuelle ou permanente d'un capteur. Finalement la dernière option pour valider la cohérence d'une donnée est encore de la comparer temporellement aux valeurs qui la précèdent et la suivent dans la chronologie d'enregistrement. C'est méthode ne fonctionne pas pour toutes les grandeurs. Par exemple, considérons qu'une sonde de température relève une hausse de 100°C sur 1s puis une descente de 100°C la seconde qui suit. Sachant qu'il est impossible d'observer ce phénomène sur site dans les conditions données et sur un intervalle de temps aussi court, l'anomalie serait donc liée à un défaut de mesure du capteur. Une apparition récurrente de cette anomalie pourrait néanmoins permettre d'envisager le changement du matériel ou du sous-ensemble auquel il fait part.

### 3 Problématiques

Plusieurs interrogations se posent lorsque la crédibilité d'une mesure est mise en cause : que faut-il faire de cette donnée ? Devons nous la supprimer ? Ou encore la remplacer par une autre valeur plus convenable ? Toutes ces questions montrent l'intérêt de passer du temps à préparer ces données avant de vouloir les manipuler. Il est donc important de créer un référentiel définissant et régissant l'ensemble des données brutes et leur pré-traitement. Les journées de la SAGIP sont pour nous l'occasion d'exposer ces divers problèmes appliqués au GMPP de Framatome ainsi que de présenter les essais réalisés avec les jeux de données à disposition afin d'identifier le meilleur référentiel d'apprentissage pour le système prédictif désiré. Plus généralement, la problématique se rapporte à la façon de concevoir un système de prédiction. Cette question est réminiscente au principe de jumeau numérique avec lequel une solution serait de concevoir un cadre holistique comme défini par Ascone et Vanderhaegen dans [4].

### Références

- [1] Ritchie, H. and Roser, M. and Rosado, P. (2022). Energy ; *Our World in Data*.
- [2] Gouvernement Français (2018). Chiffres clés de l'énergie par DataLab ; *Commissariat général au développement durable*.
- [3] Autorité de Sûreté Nucléaire (2023). (*url : <https://www.asn.fr/>*).
- [4] Ascone C. and Vanderhaegen F. (2022). Towards a Holistic Framework for Digital Twins of Human-Machine Systems ; (*IFAC-PapersOnLine, Volume 55, Issue 29, Pages 67-72*).