

Détection d'anomalies temporelles sur les données opérationnelles du cyclotron ARRONAX par l'approche hybride Autoencodeur-Forêt d'Isolation

Journées Accélérateurs 2025 de la SFP

Fatima BASBOUS

Dirigée par: Ferid HADDAD

Encadrée par: Diana MATEUS et Freddy POIRIER

GIP ARRONAX

1. Production de radionucléides pour la médecine nucléaire

- Imagerie
- Thérapie

2. Recherche et Développement

- Radiochimie et radiobiologie
- Physique et développement de détecteurs
- Formation et enseignement



Pourquoi la détection d'anomalies dans les données opérationnelles du cyclotron C70XP?

01

Complexité du système

Des centaines de capteurs et dispositifs de contrôle, interactions entre sous-systèmes.

02

Risque élevé

La panne d'un seul sous-système peut compromettre l'expérience et perturber l'accélérateur.

Détection d'anomalies

- Assurer la fiabilité et la sécurité du cyclotron
- Garantir la continuité des expériences
- Identifier précocement les comportements inhabituels

Isolation Forest: Une approche de référence

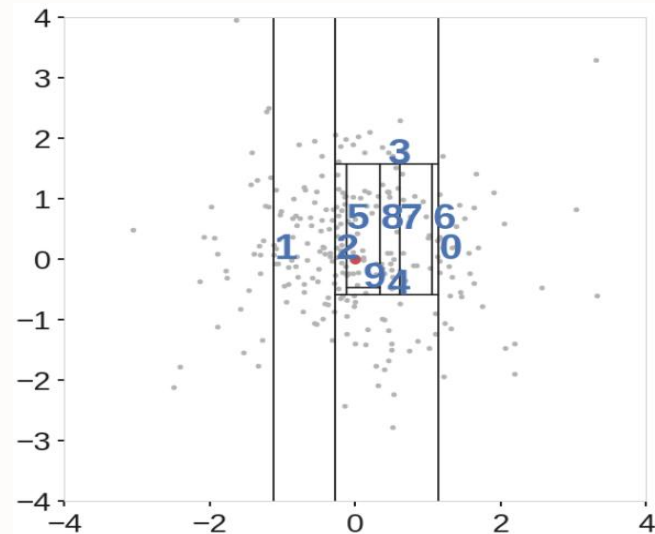
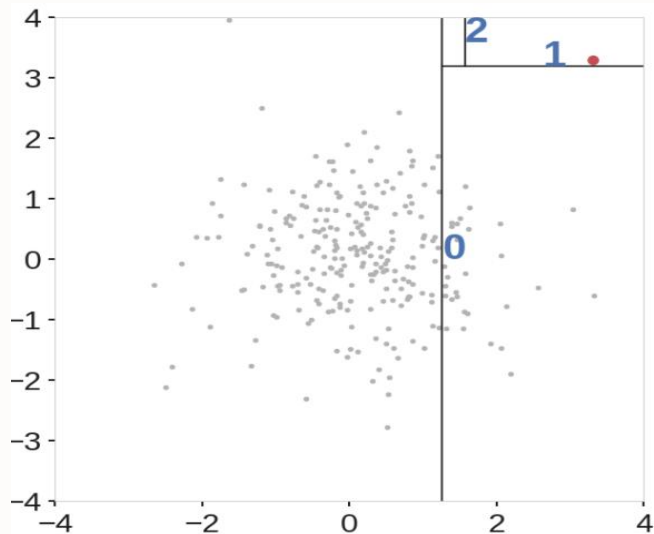
Un des premiers algorithmes spécifiquement conçus pour la détection d'anomalies (*Liu et al. (2008)*)

Atouts

Efficacité, scalabilité, large utilisation dans des cas réels (*Chua et al. (2024)*, (*Kumar et al., 2024*), (*Zerkouk et al. (2023)*, (*Ahmed et al. (2019)*))

Limites

Difficultés avec les anomalies subtiles dues aux partitions parallèles aux axes.



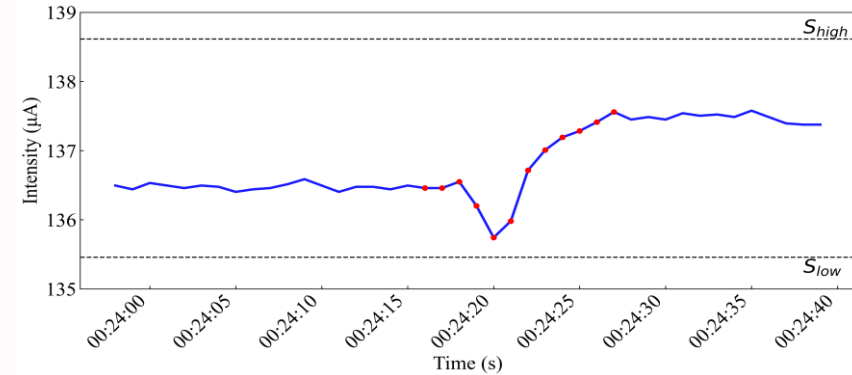
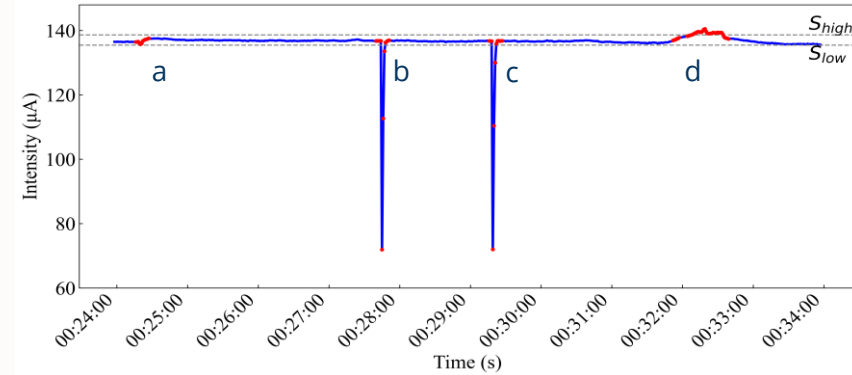
analyticsvidhya.com

Exemple d'isolement d'une anomalie globale (gauche) et d'une anomalie subtile (droite)

Anomalies globales et locales

Anomalies globales
fortes déviations hors seuils →
visibles à grande échelle

Anomalies locales
fluctuations internes importantes
malgré des valeurs dans les seuils →
visibles seulement en zoom



Les anomalies globales (b, c et d) sont visibles en figure (a), alors que un zoom de l'anomalie locale (a) est représentée en figure (b)

Surmonter les limites d'Isolation Forest : Trois axes explorés, un manque à combler

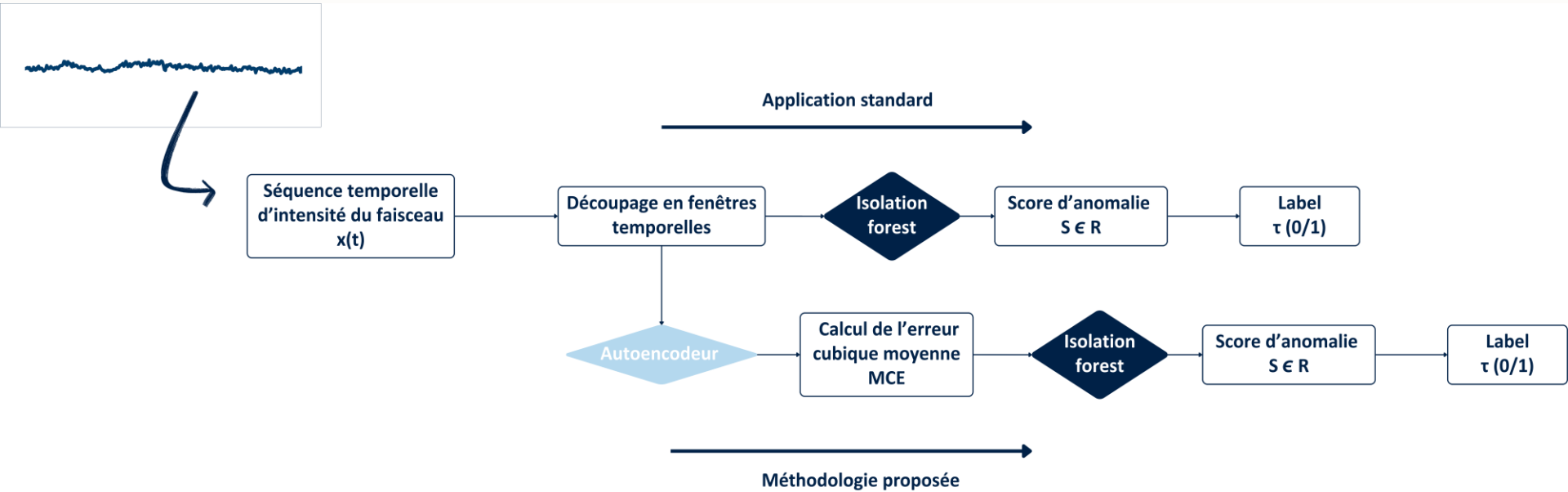
Trois axes de recherche dans la littérature

Amélioration de l'algorithme	Pré-traitement	Post traitement
Xu et al. (2023), Hariri et al. (2021), Lesouple et al. (2021), Ding & Xing (2020)	Chen et al. (2020), Puggini & McLoone (2018)	Alsini et al. (2021), Aminanto et al. (2020)

Gap identifié

- Peu d'études explorent la transformation de l'espace de caractéristiques.
- La représentation des données influence fortement la performance de IF.

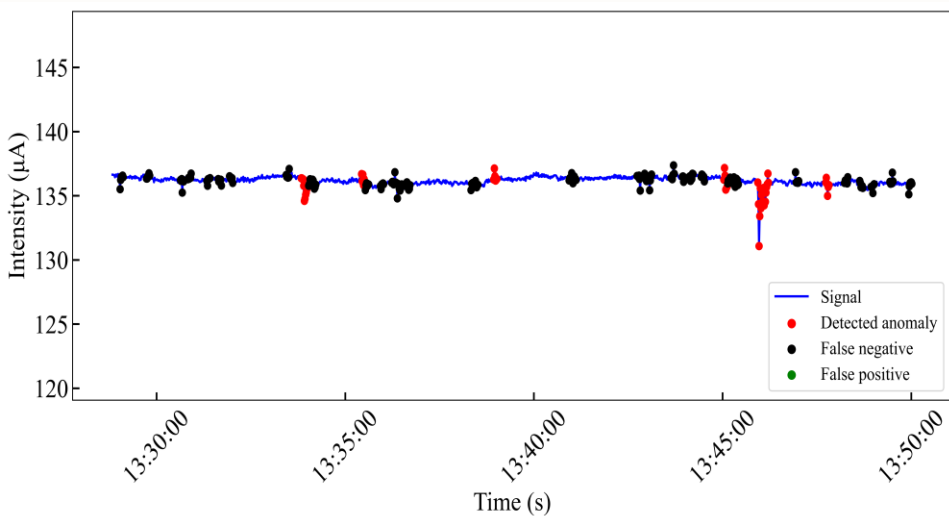
Méthodologie proposée (AE-IF)



Comparaison entre l'application de l'Isolation Forest standard et la méthodologie hybride AE-IF où un autoencodeur transforme les données brutes et fournit les erreurs de reconstruction à Isolation Forest

De l'IF seul au modèle AE-IF: Résultats obtenus

IF (Standard)



AE-IF (Proposé)

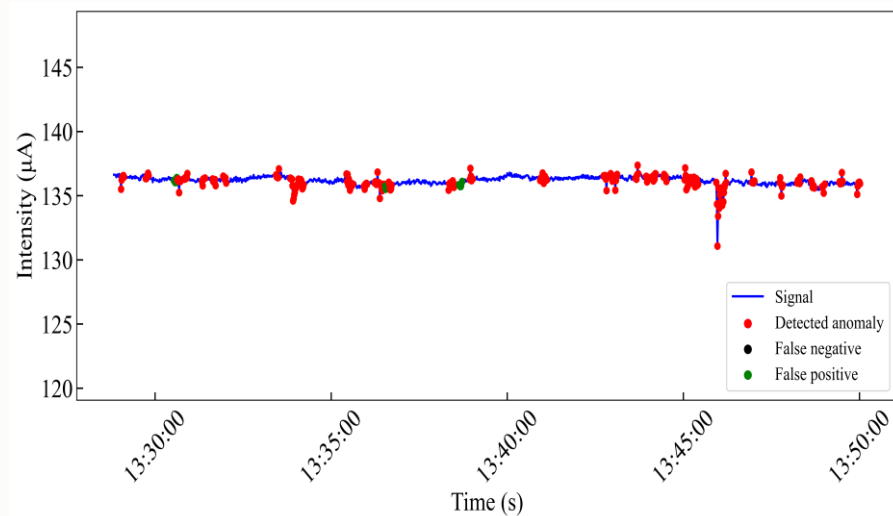


Figure de gauche : IF échoue à détecter certaines anomalies subtiles. Figure de droite : AE-IF les détecte efficacement.

Conclusion et perspectives

Apport de la méthode AE-IF

La méthode AE-IF améliore significativement la détection de toutes les anomalies, globales et locales.

Perspectives et applications

- Stabilisation des irradiations
- Réduction du temps d'irradiation pour la production des radionucléides
- Ouverture vers la flash-thérapie

MERCI!