

# 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

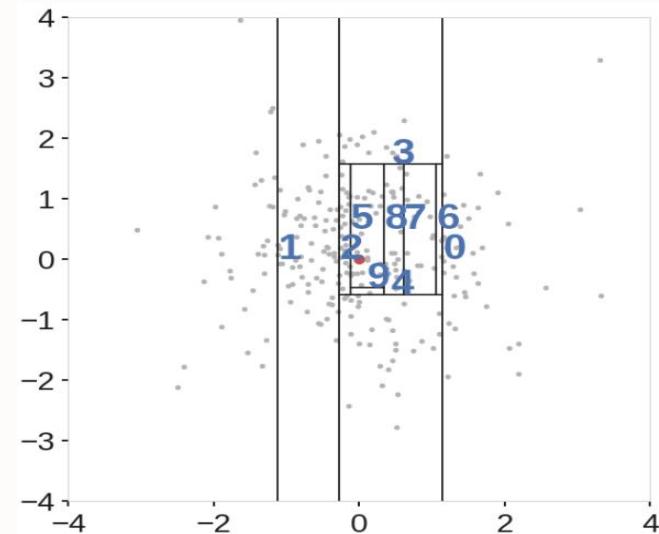
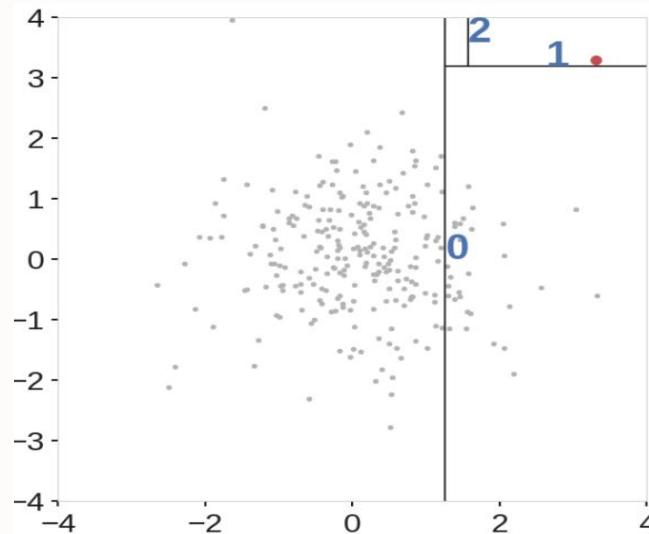
Un des premiers algorithmes spécifiquement conçus pour la détection d'anomalies (*Liu et al. (2008)*)

## 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

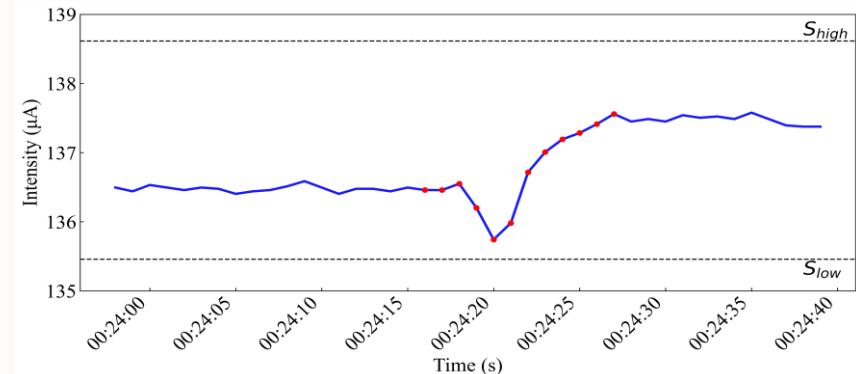
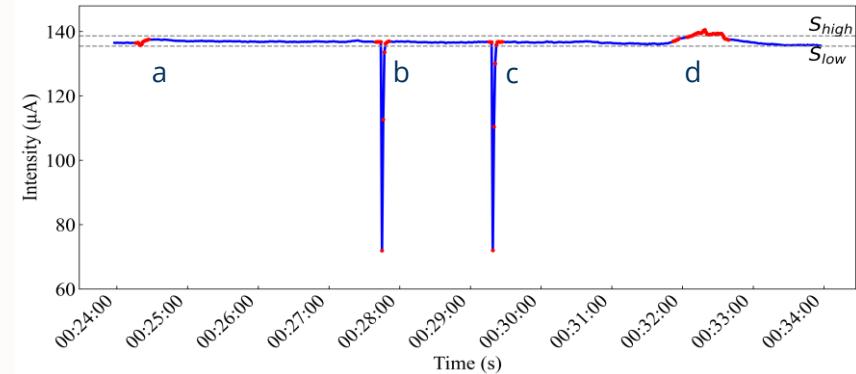
Difficultés avec les anomalies subtiles dues aux partitions parallèles aux axes.



[analyticsvidhya.com](https://analyticsvidhya.com)

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

# Anomalies globales et locales



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)

**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

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

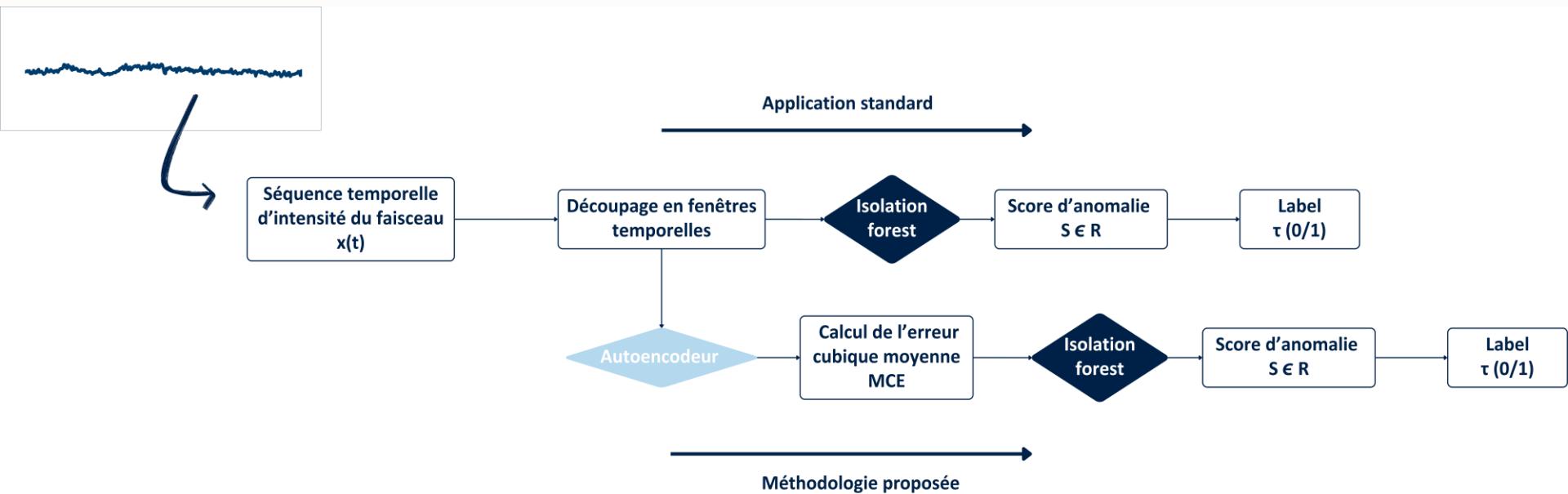
## Trois axes de recherche dans la littérature

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)	Alsinini 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.

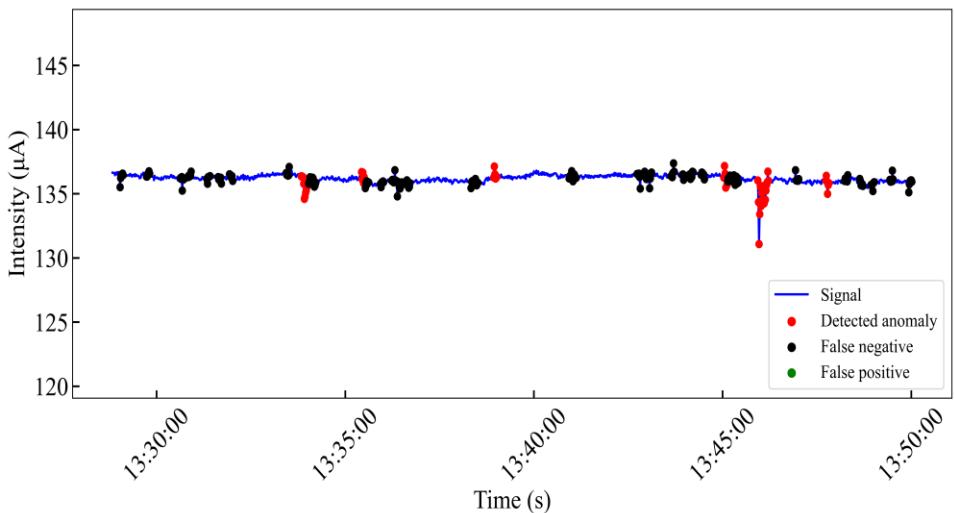
# Méthodologie proposée (AE-IF)



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)

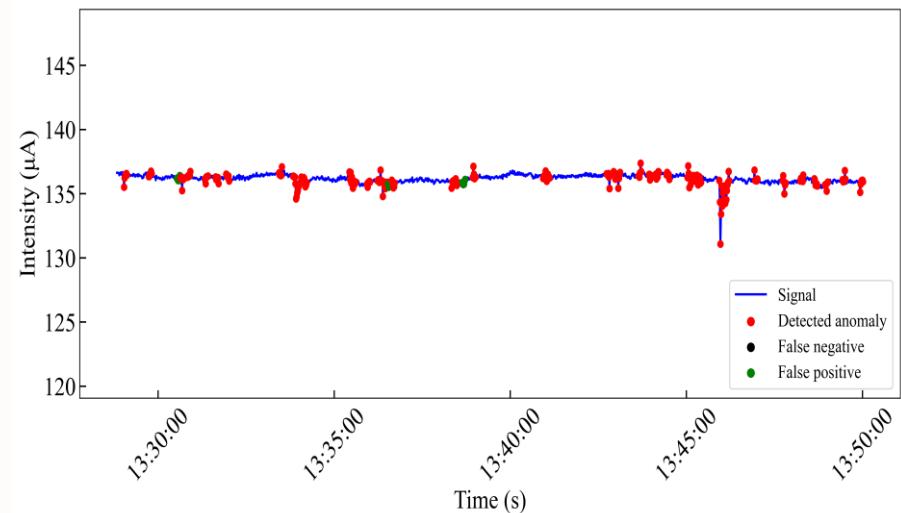


Figure de gauche : IF échoue à détecter certaines anomalies subtiles. Figure de droite : AE-IF les détecte efficacement.

# 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!**