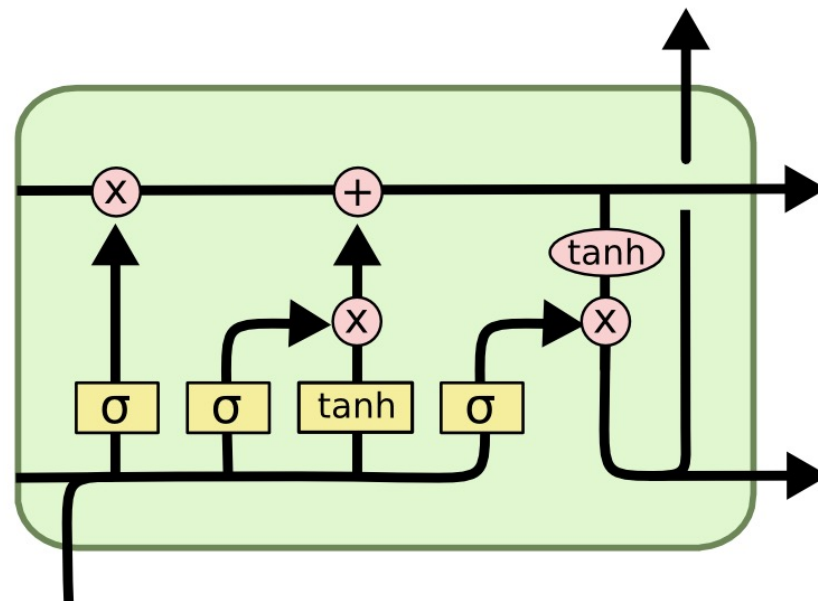
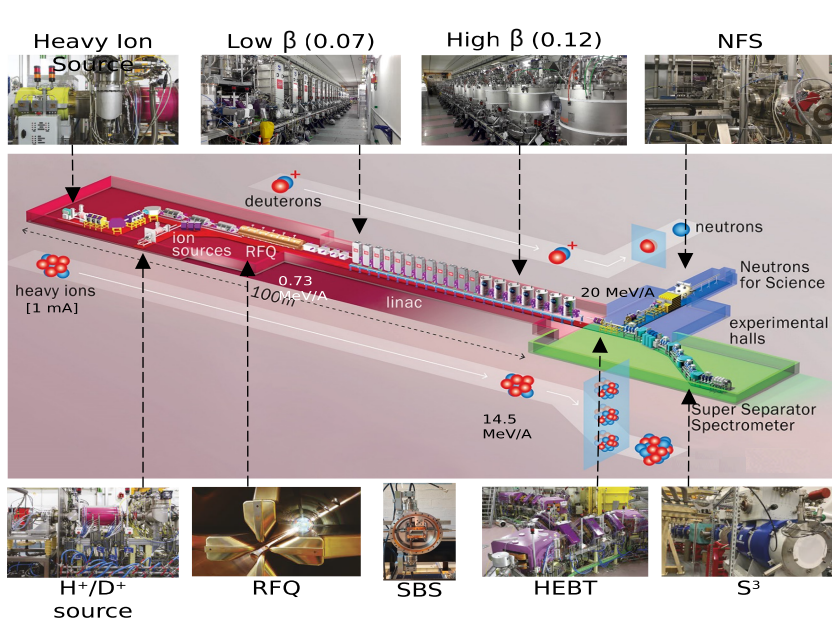


# Intelligence artificielle appliquée à l'accélérateur supraconducteur SPIRAL2

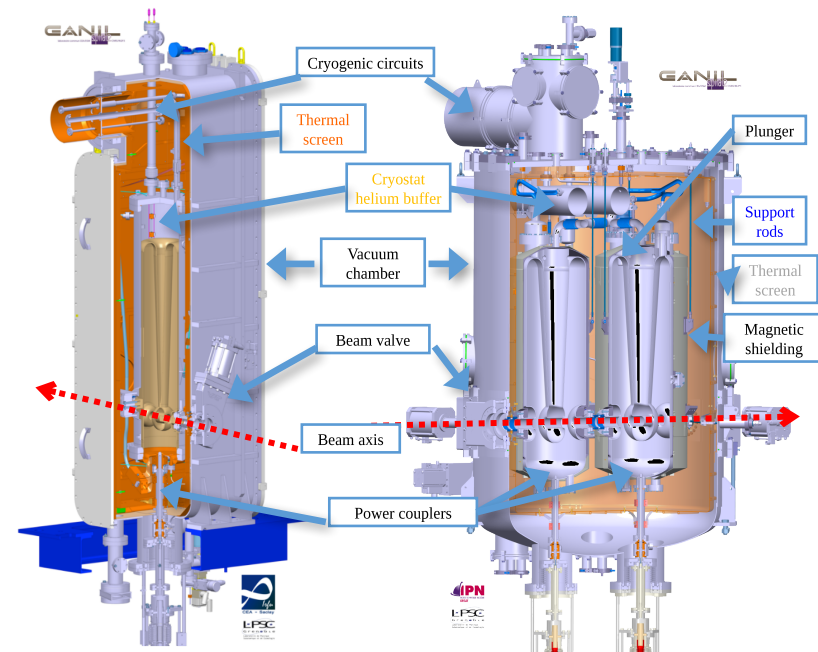


# I.A. et accélérateurs

- **Collaborations/projets pour les applications de méthodes d'apprentissage automatique pour la physique et technologies des accélérateurs de particules**
  - France : M4CAST
  - Europe : TRAINABLE / ARTIFACT
- **Exemples de thématiques :**
  - Génération de données
  - Détection d'anomalies
- **Thèse s'inscrivant dans ce contexte**

# Accélérateur supraconducteur

- **Cryomodule = RF + Cryogénie**
- **Structure soumise à de nombreuses contraintes**
- **Régulations :**
  - Tension et phase accélératrices
  - Fréquence de résonance
  - Pression et niveau du bain d'hélium [1]



[1] Thèse d'A. VASSAL : « Etude d'un réseau cryogénique multi-clients pour SPIRAL2 »

# Thématiques de recherche

- **Etudier les apports/capacités de l'I.A. :**
  - Observateurs virtuels
  - Classification d'anomalies

# Observateur virtuel : charge thermique

- **Actuellement : pas de mesure de la charge thermique reçue par le bain d'hélium d'un cryomodule (en opération)**
- **Objectif : observateur basé sur un réseau de neurones artificiels**
- **Plusieurs architectures à étudier :**
  - Perceptron multicouche, LSTM, CNN-1D
- **Contraintes :**
  - Robustesse face aux conditions d'opération (consignes de pression et de niveau du bain d'hélium)
  - Intégration au contrôle-commande : légèreté du modèle

# Données études machine 2022 & 2023

## → Variables en entrée du réseau de neurones :

- Pression du bain (mbar)
- Niveau du bain (%)
- Ouverture de la vanne d'arrivée d'hélium (%)
- Ouverture de la vanne de retour d'hélium (%)

## → + les dérivées ?

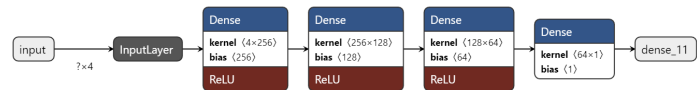
## → + le temps ?

- Pour une utilisation « en ligne », à partir de quel instant ?

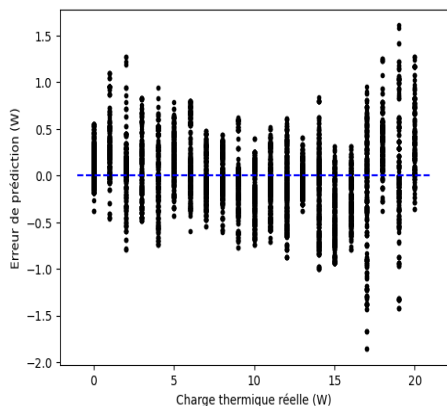
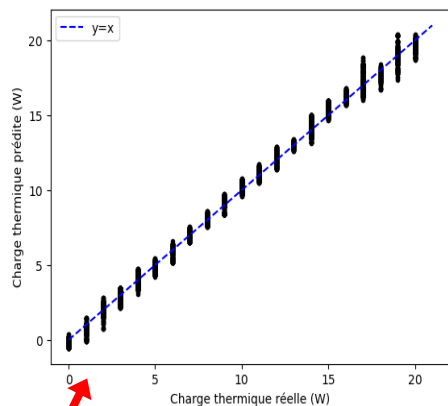
# Perceptron multicouche (MLP) : premiers tests

MLP: le training set est un sous-ensemble ( $\text{train\_size}=0.85$ ) de mesures montée + descente de charge thermique (en escalier), par paliers de  $\Delta Q=1\text{W}$  de  $\Delta t = 1 \text{ min}$

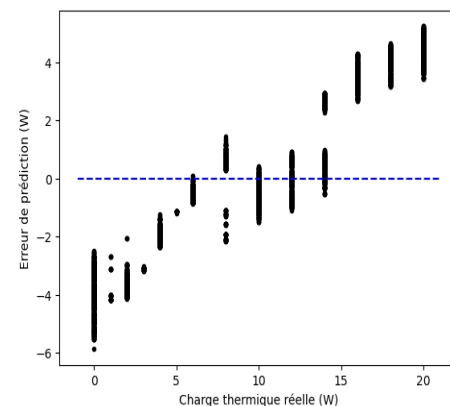
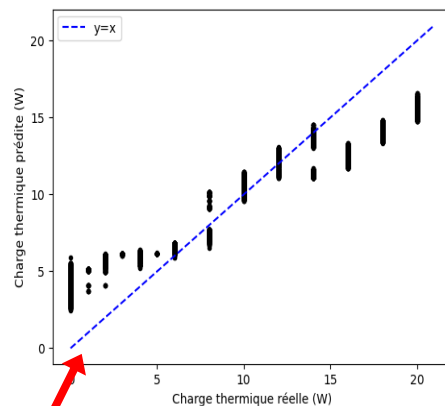
Paramètres d'entraînement :  $\text{epochs}=20, \text{batch\_size}=128$



$\Delta Q = 1\text{W}, \Delta t = 1 \text{ min}, \text{montée}$



$\Delta Q = 2\text{W}, \Delta t = 1 \text{ min}, \text{montée}$



**Le modèle semble être incapable de généraliser.**

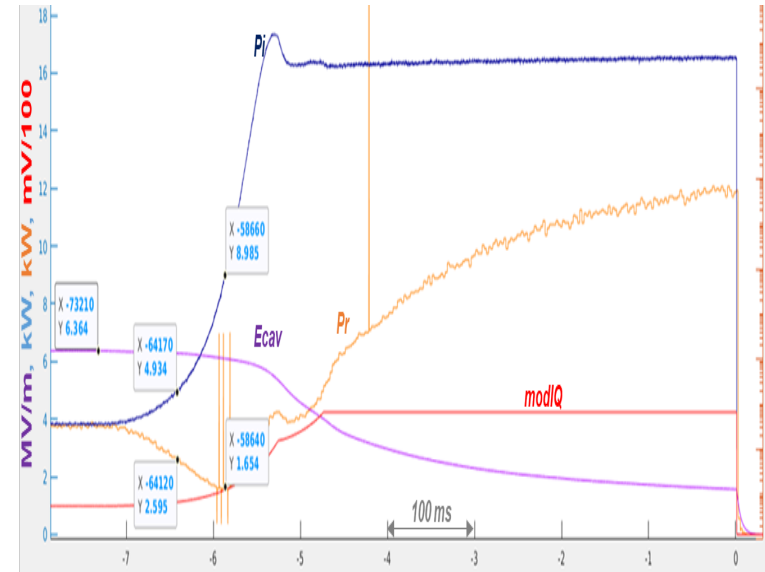
Plusieurs pistes de réflexion pour résoudre ce problème :

- Dataset non représentatif de la diversité/complexité des données
- Architecture du réseau de neurones non adaptée

**! MLP testé (majoritairement) sur les mêmes données que celles utilisées pour l'entraînement :  
→ surestimation des capacités du réseau de neurones.**

# Classification d'anomalies

- **Pré-diagnostic automatique**
- **Aide indirecte à l'amélioration de la disponibilité du faisceau**
- **Exploration :**
  - Des architectures : LSTM, CNN, ...
  - Des métriques d'évaluation : précision, rappel, score f1, ...
- **Données accélérateur et simulations**



Enregistrement d'un défaut par le buffer circulaire du LLRF



# Modélisation d'un cryomodule

- **2 modélisations précédemment développées sous Matlab/Simulink :**
  - Système RF [1]
  - Système cryogénique avec la bibliothèque Symcryogenics [2,3]

- **Objectif : ajout de l'interaction entre les 2 systèmes**

## Exemples :

- Dissipation d'énergie par les parois de la cavité
- Impact de la pression sur la cavité
- Dissipation d'énergie provenant du coupleur vers le bain d'hélium ?

- **Génération de données pour la classification d'anomalies**

[1] F. BOULY et al. « Superconducting cavity and RF control loop model for the SPIRAL2 Linac ». In : LINAC2022 - 31st Linear Accelerator Conference

[2] Thèse d'A. VASSAL « Etude d'un réseau cryogénique multi-clients pour SPIRAL2 »

[3] F. BONNE et al. « Simcryogenics : a Library to Simulate and Optimize Cryoplant and Cryodistribution Dynamics ». In : IOP Conference Series : Materials Science and Engineering

**Je vous remercie de  
votre attention !**