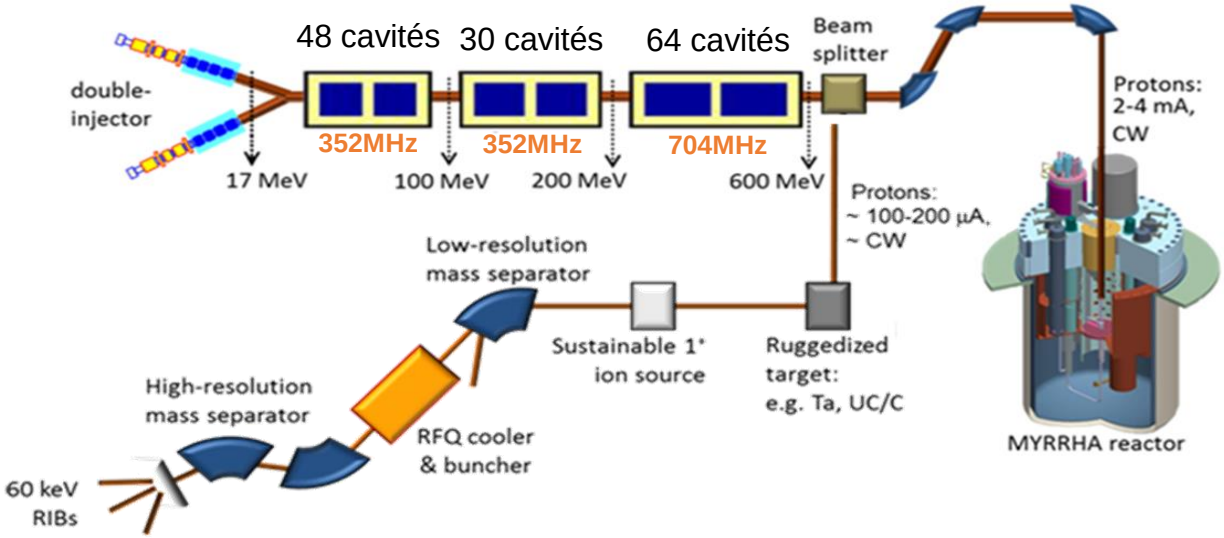
R&D du Bas Niveau RF pour le projet MYRRHA

C.Joly, J.Rozé

Laboratoire de Physique des 2 Infinis Irène Joliot-Curie
IJCLab - UMR9012 - Bât. 100 - 15 rue Georges Clémenceau
91405 Orsay cedex

Contexte : Qu'est-ce que MYRRHA ?

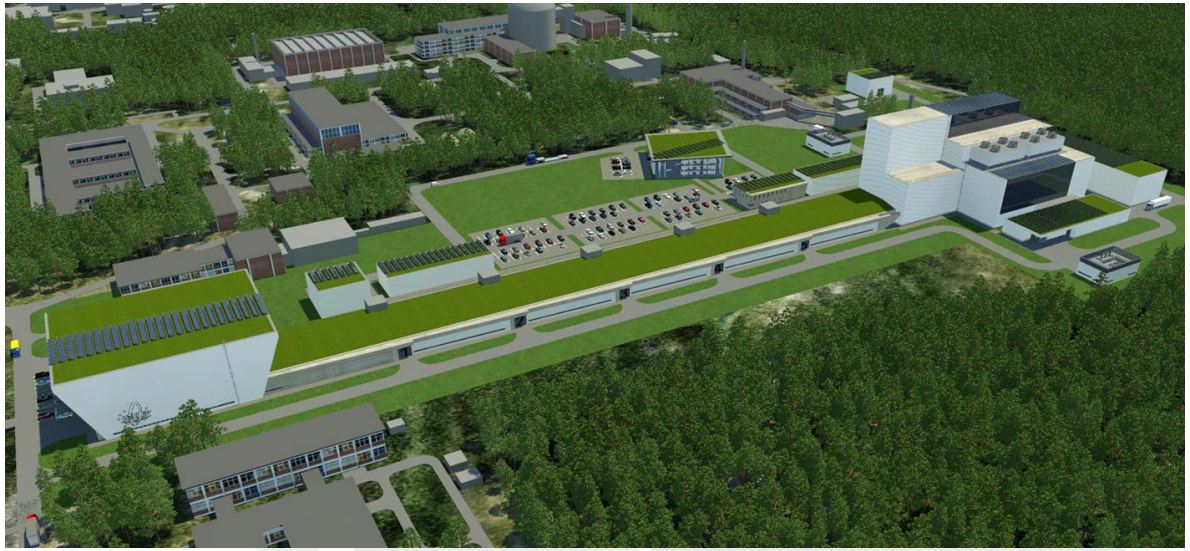
- **M**ulti-purpose h**Y**brid **R**eserch **R**eactor for **H**igh-tech **A**pplication
- Démonstrateur d'un réacteur nucléaire ADS (**A**ccelerator **D**riven **S**ystem)
- Pour la recherche fondamentale, plusieurs objectifs
  - Transmutation des déchets radioactifs
  - Production de radio-isotopes (Médical)
  - Recherche sur de nouveaux matériaux



Contexte : les exigences

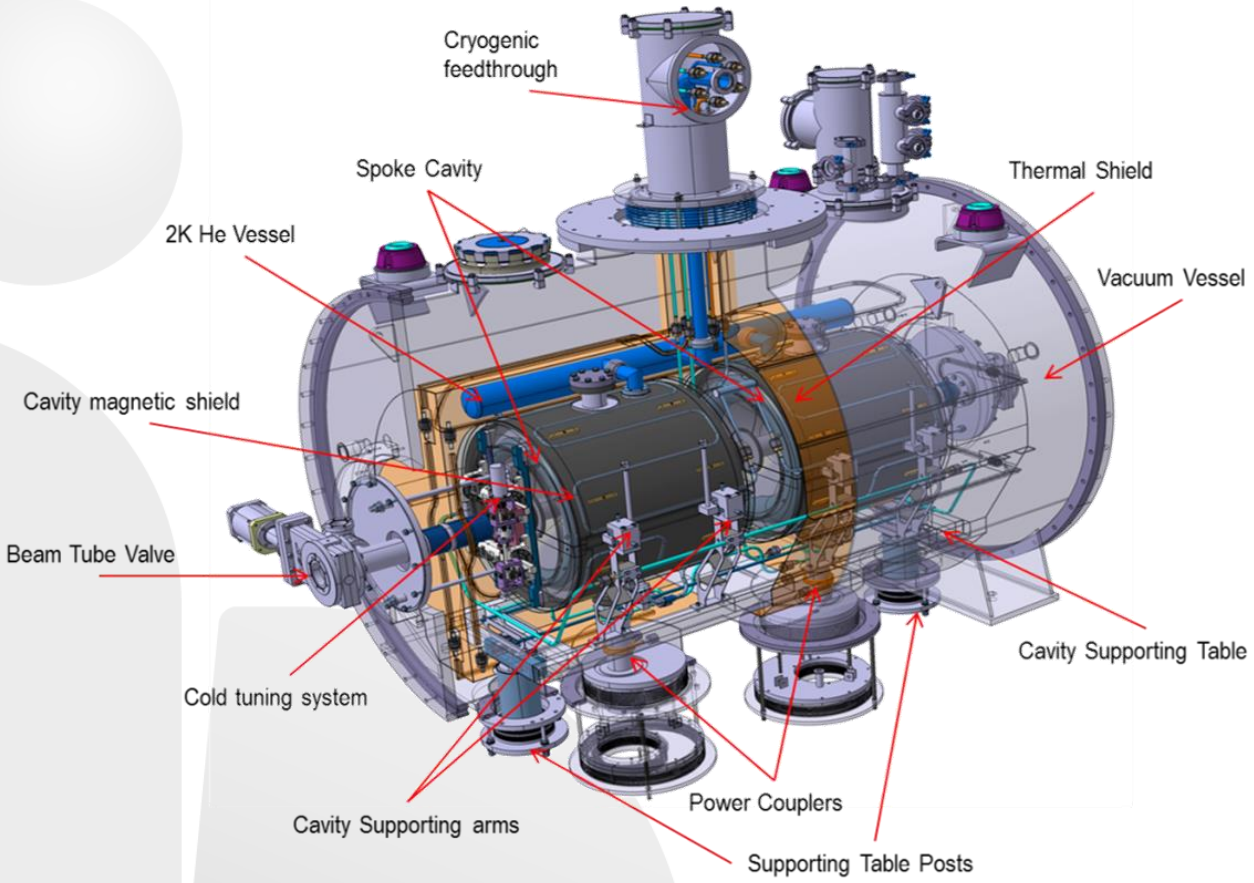
- Exigence de fiabilité
  - L'amplitude et la phase du champ accélérateur stables à ±0.1% rms and ±0.1°rms
  - 10 arrêts faisceau maximum / période de 3 mois de fonctionnement

    ⇒ 20 fois plus fiable qu'avant



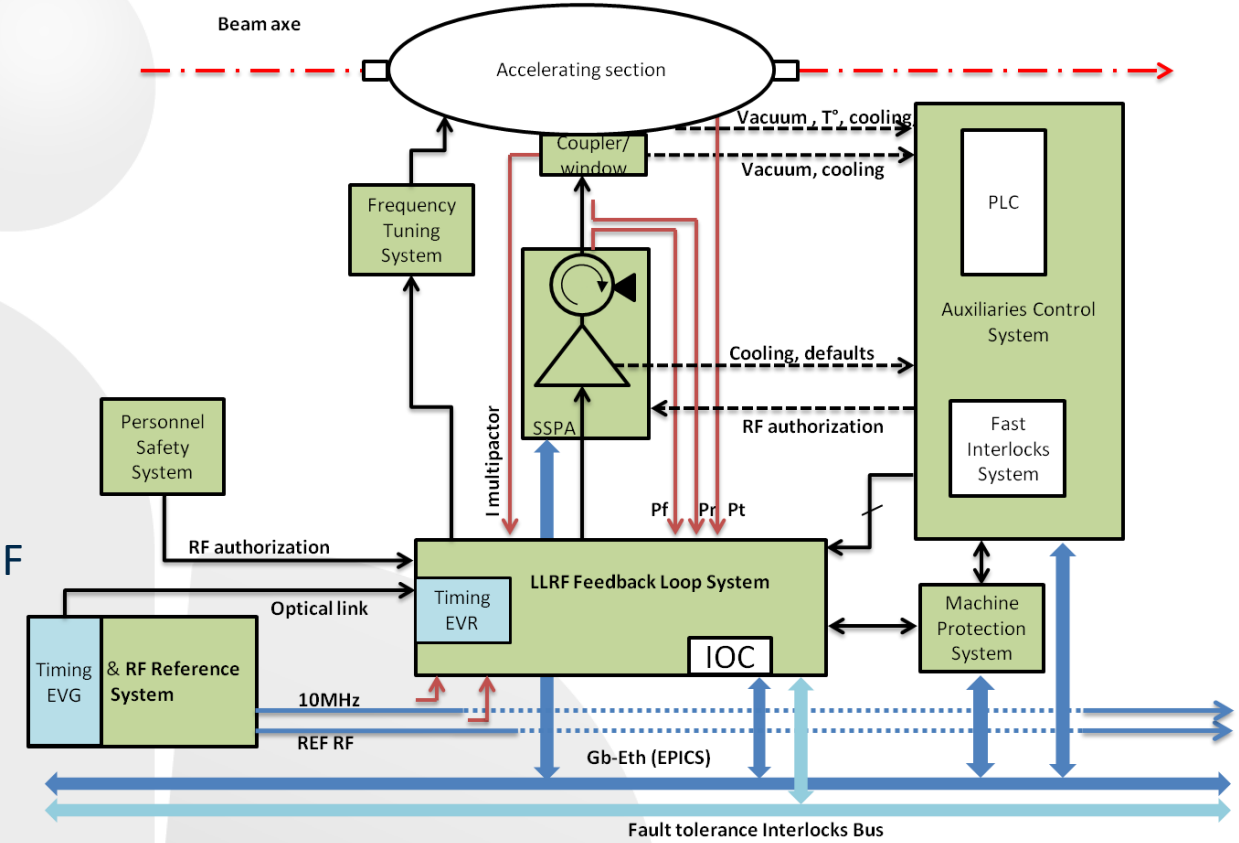
Contexte : Cavité SPOKE

- Faisceau de protons
- Champ accélérateur radiofréquence
- Cavité froide : 2 K
- Asservissement du champ accélérateur d'une cavité supraconductrice
  - Accord en fréquence
  - Amplitude et Phase constante
- Contraintes
  - Bande passante de la cavité : 200Hz
  - Perturbations
    - Forces de Lorrentz
    - Beam loading
    - Microphonique



LLRF

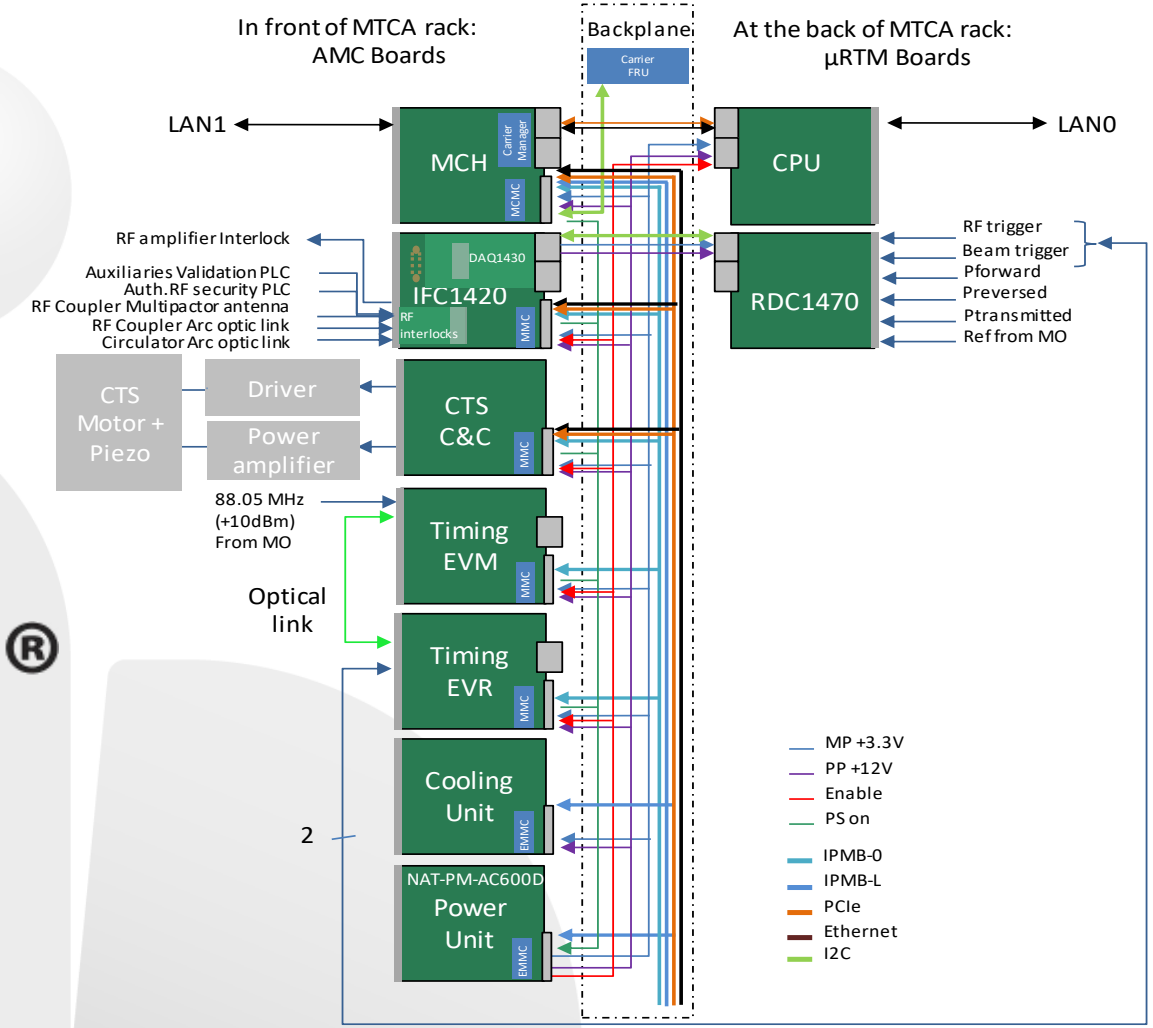
- Système Radio Fréquence Bas Niveau ou **L**ow **L**evel **R**adio **F**requency System
- Rôles du LLRF :
  - Génération et asservissement du signal RF envoyé à la cavité
  - Contrôle du système d'accord à froid de la cavité
  - Compensation des perturbations
  - Redondance d'une partie des systèmes de sécurité
  - Détections rapides au niveau du signal RF
    - multipacting
    - détection d'arcs
  - Coupure rapide en cas de besoin (< 1µs)



LLRF : Le Hardware

- Les contraintes de fiabilité sont un enjeux majeur.
- La spécification MTCA.4 permet de garantir les limites de mise en défaut prévues.
  - Système opérationnel 99,999% du temps (~3,24 sec de défaut sur 3 mois)

µTCA®

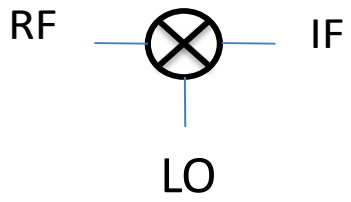


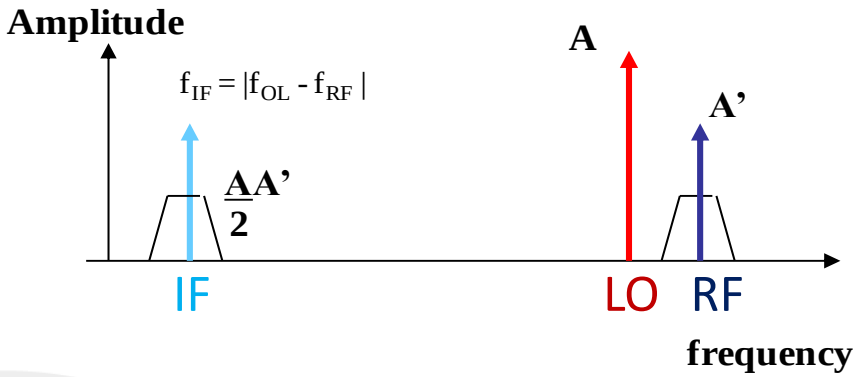
LLRF : Le Hardware

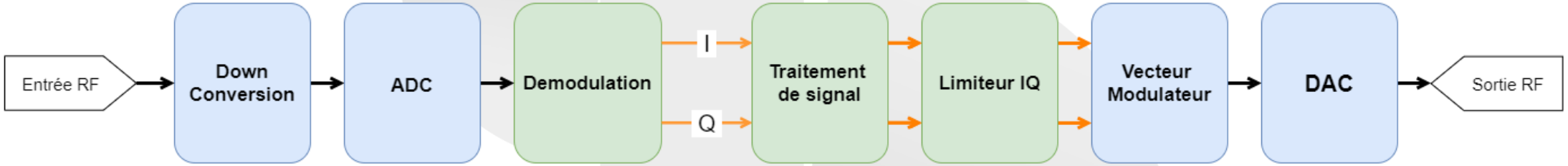
- FPGA
  - Démodulation
  - Traitement du signal RF
  - Gestion des Interlocks
  - Mémoire de travail
  - Détection rapide
  - Correction des perturbations
- CPU
  - IOC EPICS
- EPICS
  - **E**xperimental **P**hysics and **I**ndustrial **C**ontrol **S**ystem
  - Standard dans le monde des accélérateurs

Acquisition

- Problème : signal RF à 704MHz
  - ⇒Fréquence d'échantillonnage > 1,4GHz
- Abaissement de la fréquence de travail par Down-conversion
  - ⇒Conservation de la phase
  - ⇒Conservation de l'amplitude à un facteur près

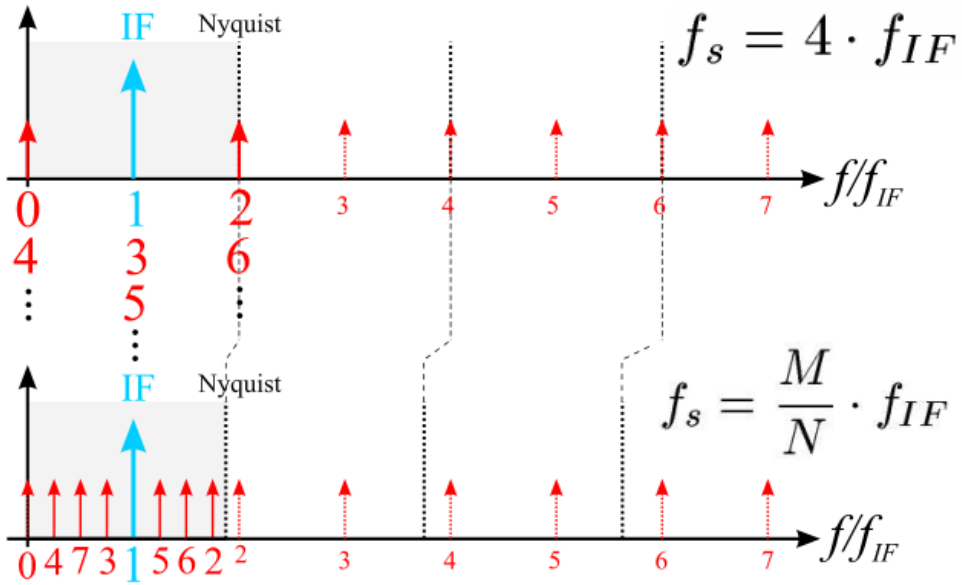






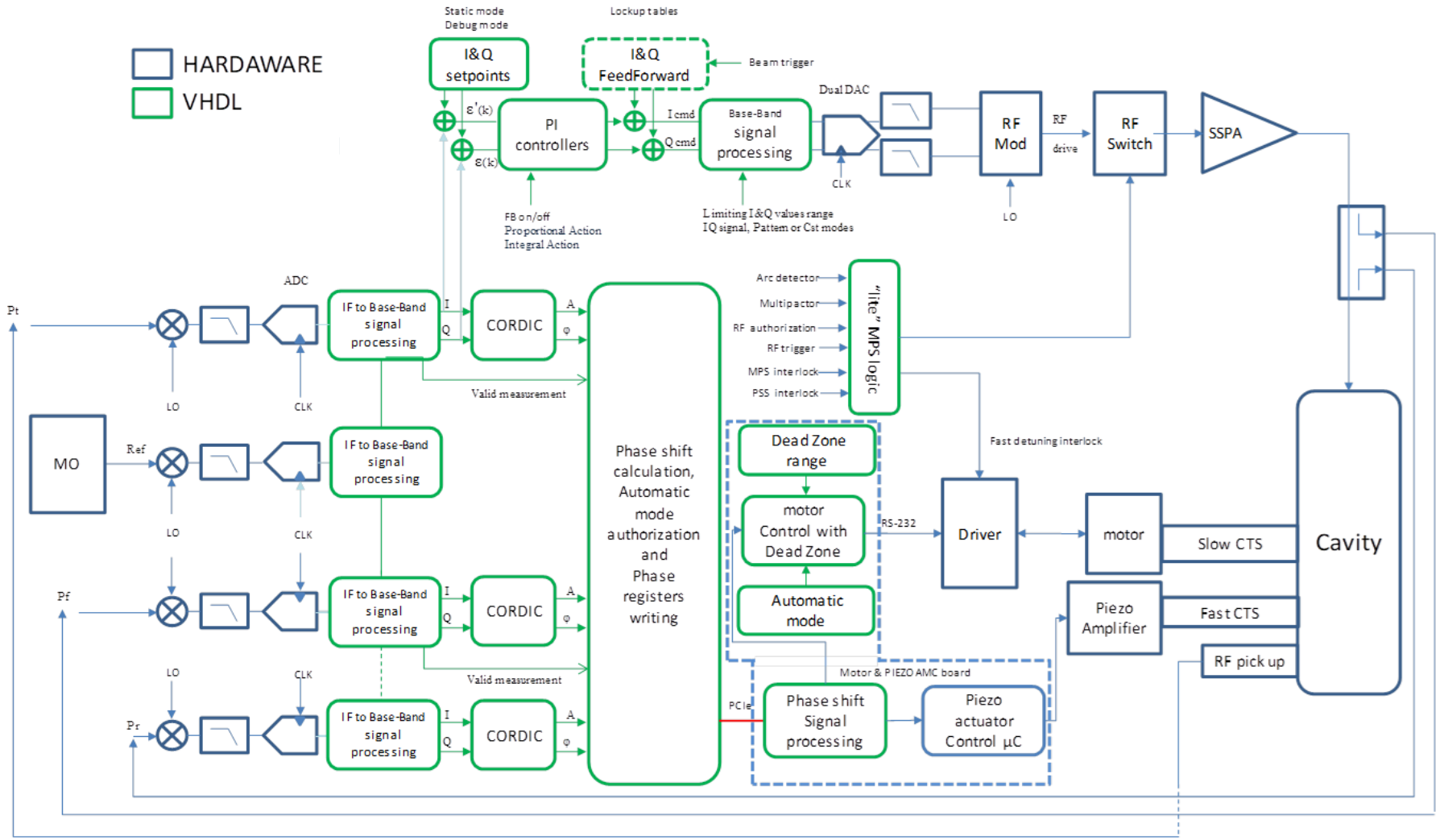
Traitement de signal en IQ

- Démodulation
  - Démodulation IQ
    - Sensible aux offsets
    - Produits d'intermodulation gênants
    - Plus rapide => cavités chaudes
  - Démodulation non-IQ
    - Non sensible aux offsets
    - Produits d'intermodulation non gênants
    - Plus lente => cavités froides
- Les avantages par rapport à Amplitude/Phase
  - Notion de phase imprécise quand on ne possède qu'une seule valeur
  - En complexe on peut aisément faire tourner autour de la phase sans overflow
- Les inconvénients
  - Complexifie certaines fonctions
  - La phase étant nécessairement constante, la correction d'amplitude engendre un fort coût temporel.



RF applications in digital signal processing - T. Schilcher

Diagramme du Traitement de signal



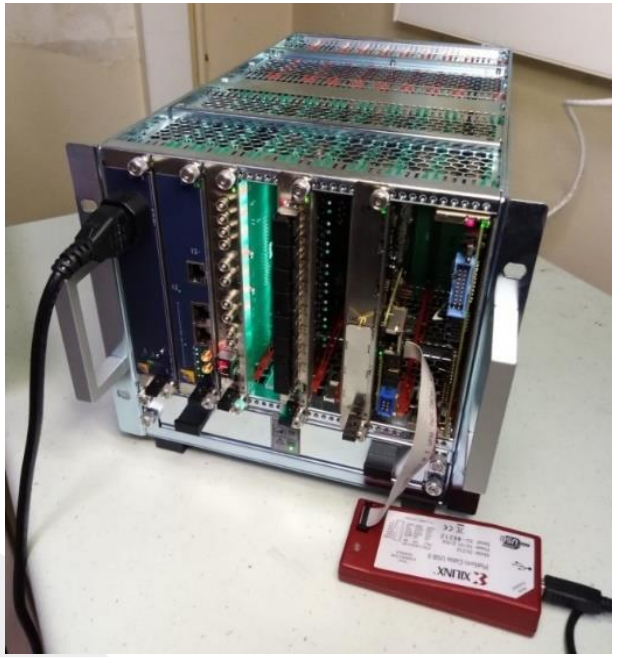
Pf : puissance fournie

Pr : puissance réfléchie

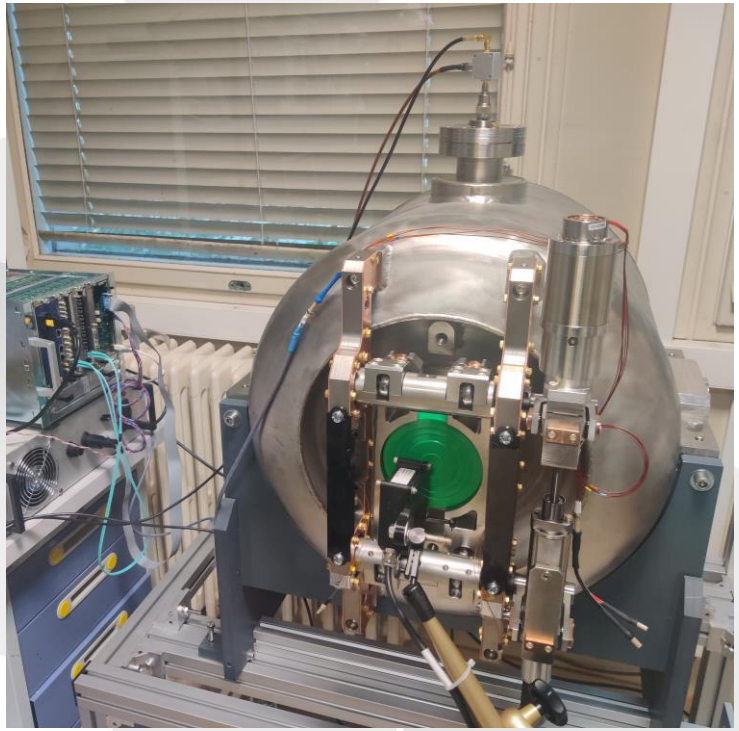
Pt : puissance transmise

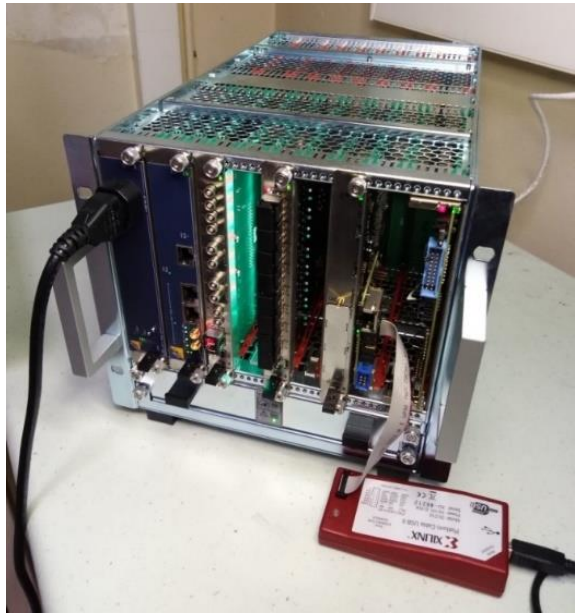
Conclusion

- Où en est-on ?
  - Premiers tests de régulation sur un simulateur de cavité d'ici la fin du mois d'octobre
  - Si les tests se passent bien, validation de la carte frontend RF auprès de IOxOS
- Objectifs
  - Validation du LLRF en condition réelle d'ici juin 2022
- Perspectives
  - Ce LLRF peut être mis au service d'autres projets accélérateurs au sein de l'IN2P3

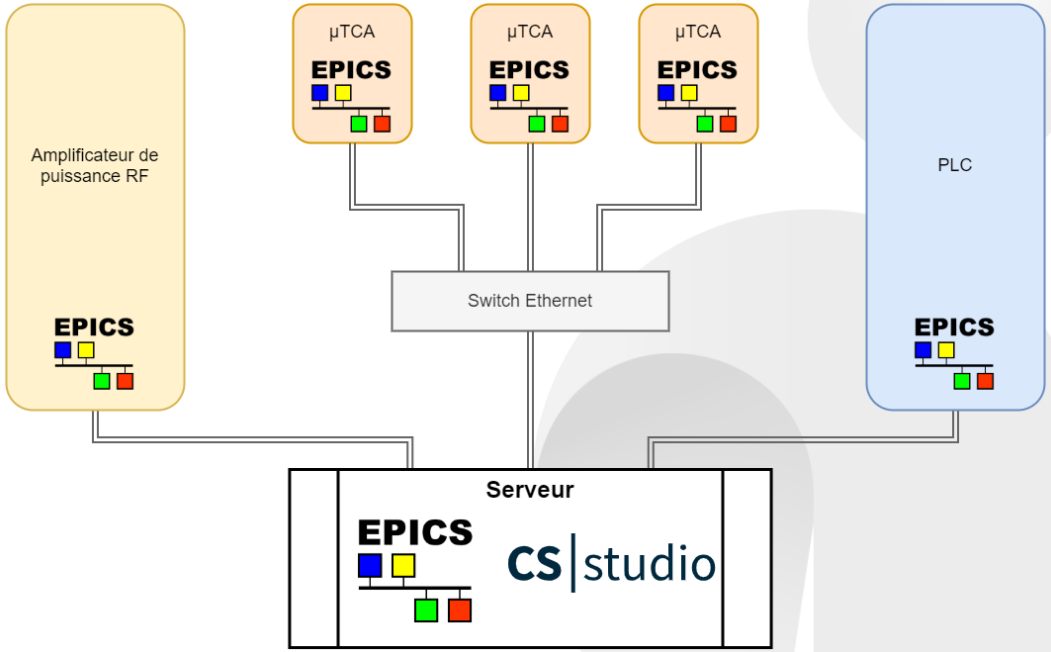


Merci de votre attention





Back-up



- Le Serveur
  - Une machine virtuelle par réseau dédié
  - Gère l'archivage des données
  - IHM (CS-studio)
- EPICS
  - **E**xperimental **P**hysics and **I**ndustrial **C**ontrol **S**ystem
  - Logiciel libre
  - Interface la communication entre les modules
  - Standard dans le monde des accélérateurs
- Répartition des différents modules sur l'accélérateur non définie pour le moment