

# "Physique et détecteurs à la frontière"

Pour le Réseau "Radio" de l'IN2P3,  
Didier Charrier

IN2P3 - CNRS

22-24 Juin 2021

# A l'origine, la "radiodétection" d'UHECR

- Le réseau radio-détection fédère des laboratoires impliqués dans du développement instrumental pour des expériences de physique dont les signaux mesurés sont des **ondes radio**.
  - ▶ impulsion EM  $\Rightarrow$  antennes ultra large bandes :  $\sim$  MHz à  $\sim$ GHz
  - ▶  $\Rightarrow$  détecteurs utilisés : antennes radio actives ou passives en réception
- Les expériences concernées :
  - ▶ En physique des rayons cosmiques, détection d'impulsion EM
    - ★ CODALEMA, Nançay,  $\sim$ 10-200 MHz, 74 antennes : **en fin de vie**
    - ★ EXTASIS, Nançay,  $\sim$ 700 kHz-6 MHz : **démantelé depuis fin 2019**
    - ★ AERA, AUGER,  $\sim$ 30-80 MHz, 130 antennes : **en acquisition** et production scientifique, **l'IN2P3 n'est plus impliqué**
    - ★ GIGAS, AUGER,  $\sim$ 1 à 4 GHz, 14 antennes, **démantelé depuis fin 2017**
    - ★ AugerPrime, AUGER : réseau en phase de déploiement, **hors IN2P3**
  - ▶ En radio-astronomie
    - ★ NenuFAR (SKA pathfinder), Nançay, plus de 1000 antennes, **en déploiement, acquisition, et production scientifique, INSU**

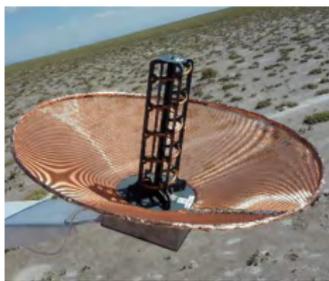
# La radiodétection sur PAON-4



- PAON-4, LAL (IJCLab) : cosmologie, cartographie du baryon dans l'univers
- 4 paraboles 1.1-1.6 GHz à Nançay
- upgrade en cours de test / validation
  - ▶ développement numérique **basé sur la carte IDROGEN (R&T in2P3)**
  - ▶ datation à  $\sim 10$  ps par amélioration du protocole White Rabbit
  - ▶ redesign complet de la chaîne analogique
  - ▶ transposition de fréquence au plus prêt de la tête par sous échantillonnage

# Les compétences acquises, conception d'antennes

Conception d'antennes GHz(LPSC) pour GIGAS,  $\sim 1.2$  GHz et 3.4-4.2 GHz



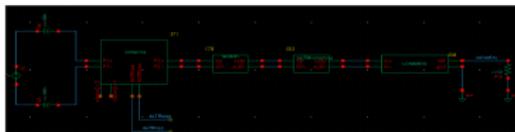
- antenne cornet
- prototype d'antenne hélice
- antenne hélice avec réflecteur

Conception d'antennes actives ultra large bande du  $\sim 10$ -200 MHz

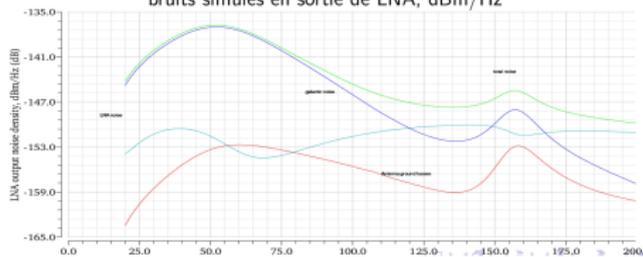


- "Butterfly" pour AERA, CODALEMA, EXTASIS ...
- "Tripolar" pour CODALEMA
- "LWA + LONAMOS" pour NenuFAR

# Les compétences acquises, conception d'ASIC "RF" de préamplification en technologie CMOS et BiCMOS

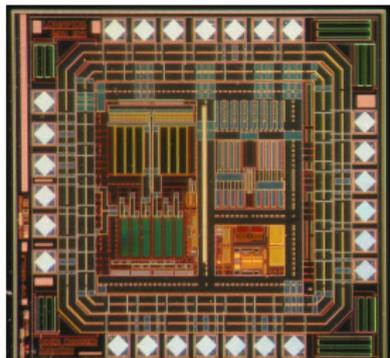


bruits simulés en sortie de LNA, dBm/Hz



- conception schématique
- simulation sous Virtuoso
- intégration des paramètres simulés d'antenne

layout du LONAMOS



production d'ASICS

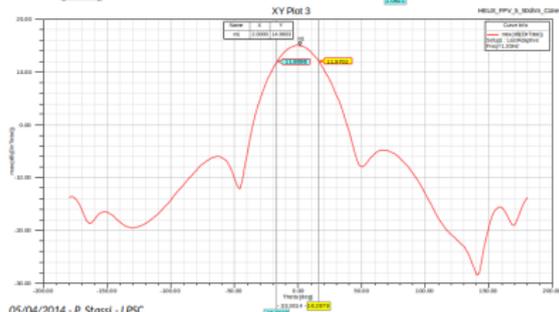
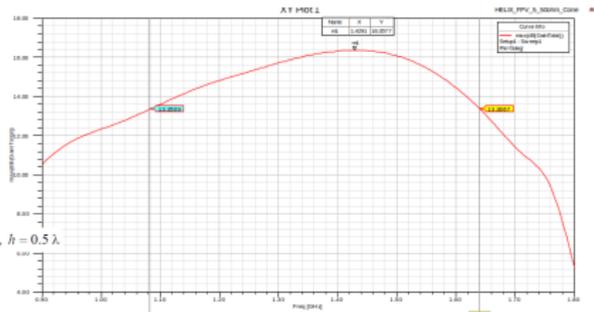
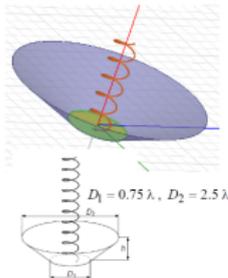


- contraintes "radio"  
⇒ concilier

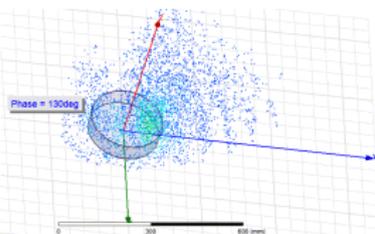
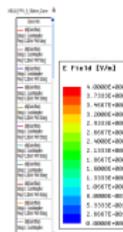
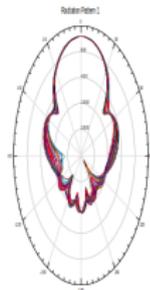
- ▶ faible bruit :  
 $NF_{opt} < 1$  dB
- ▶ haute linéarité :  
 $IIP3 > 1V_{eff}$
- ▶ bande passante :  
> 200 MHz

# Les compétences acquises : logiciels de simulation EM

Helix FPV Cone 50 Ohms



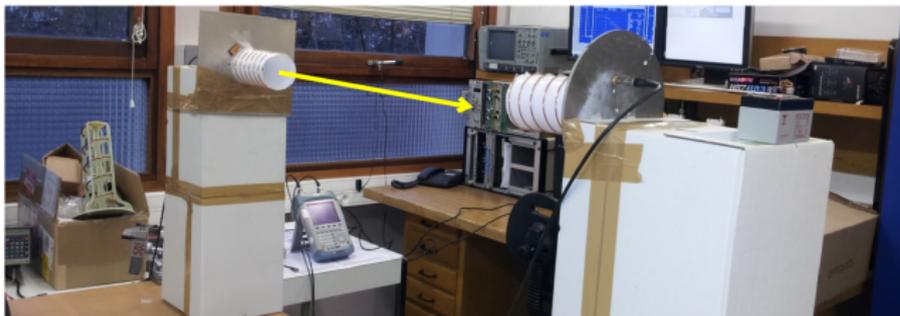
05/04/2014 - P. Stassi - LPSC



- simulations avec HFSS (LPSC)
- simulations avec NEC2, NEC4

# Les compétences acquises : mesures de gain, directivité

## Mesures en laboratoire au LPSC



- méthode : 2 antennes identiques
- VNA
- formule de FRIIS

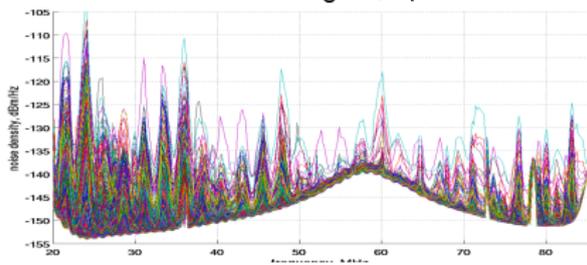
## Mesures en chambre anéchoïque



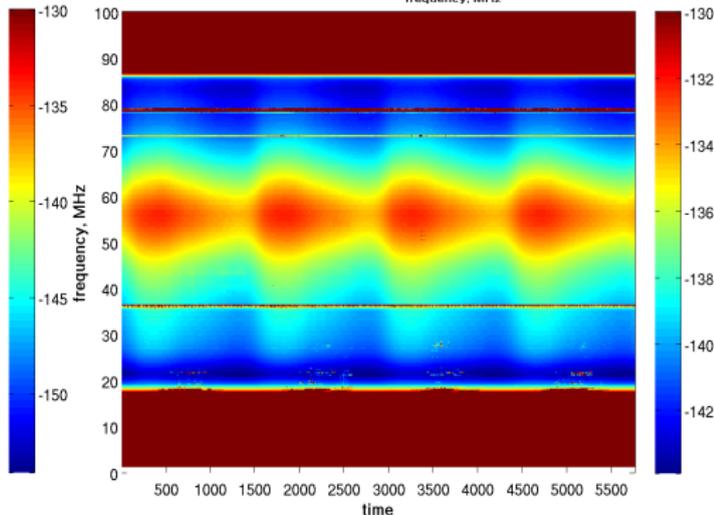
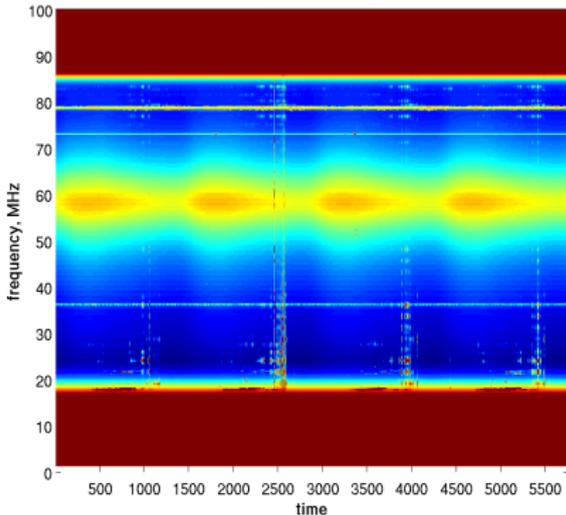
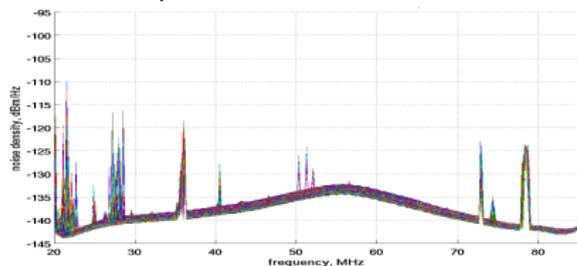
- méthode : 1 antenne de référence calibrée
- VNA
- formule de FRIIS

# Les compétences acquises : mesures sur le ciel, évaluation de la sensibilité, linéarité

antenne et LNA d'origine, spectres cumulés



même antenne et meilleur LNA (LONAMOS), spectres cumulés



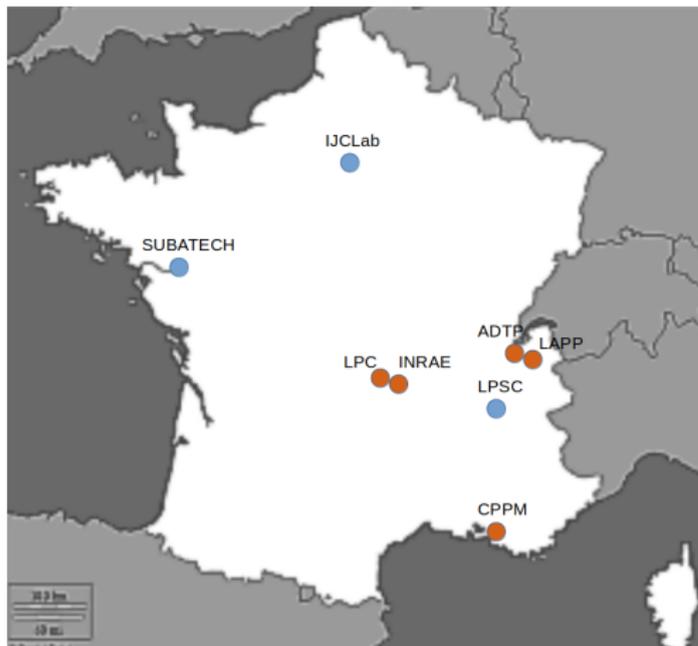
# Les compétences acquises

- électronique analogique discrète ou modulaire de filtrage amplification des signaux radio
- électronique digitale de numérisation/traitement des signaux radio
- système d'acquisition et de datations GPS des évènements dédiés
- modélisation d'antennes, traitement et analyse de données
- Blindages CEM, simulation de blindage
- ...

# Le réseau radio : élargissement aux radio-communications

- Objectif : coordonner au niveau IN2P3 les problématiques de transfert de données ou de slow-control sans fil entre:
  - ▶ un capteur communiquant et une station de base
  - ▶ un détecteur de physique au LHC et une acquisition centralisée
- Antennes généralement en bande étroite en émission/réception
- diversité des fréquences, distances, protocoles, environnements
  - ▶ quelques km en LoRa ~et en environnement extérieur sur ConnecSens
  - ▶ quelques 100 m en bluetooth, WiFi, ZigBee sur AUGER, CTA
  - ▶ quelques 10 cm et en visée directe vers 60 GHz et en caverne au LHC
  - ▶ quelques cm en champs proche pour de la RFID sur SAFRAN (ADTP)
- problématique d'autonomie de batterie donc de consommation d'énergie pour des capteurs communicants
- problématique d'encombrement des antennes sachant qu'il faut souvent concilier:
  - ▶ grand gain d'antenne (consommation)
  - ▶ faible encombrement, petite longueur d'onde mais  $(\lambda/d)^2$  !
  - ▶ bon rendement d'antenne mais environnement proche à perte !
- besoin de compétences dans la thématique des objets connectés (IoT)

# Le réseau radio : les laboratoires impliqués



- les laboratoires historiques
  - ▶ IJCLab
  - ▶ LPSC
  - ▶ SUBATECH
- les nouveaux laboratoires ou instituts
  - ▶ IN2P3
    - ★ CPPM
    - ★ LAPP
    - ★ LPC
  - ▶ hors IN2P3
    - ★ TSCF (INRAE)
    - ★ ADTP



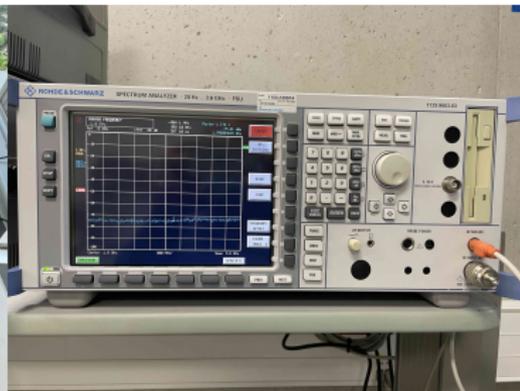
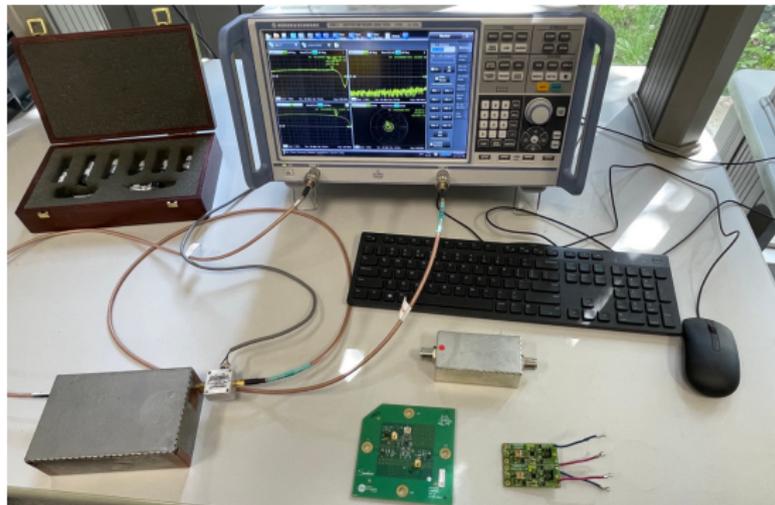
- organisation du réseau

- ▶ liste de diffusion : [reseau-radio-l@in2p3.fr](mailto:reseau-radio-l@in2p3.fr)
- ▶ charte
- ▶ pages web Wiki privé sur [forge.in2p3.fr](http://forge.in2p3.fr) avec
  - ★ documentation partagée
  - ★ comptes-rendus de réunion
  - ★ forum de discussion
- ▶ site web publique à construire sur [tech-news.in2p3.fr](http://tech-news.in2p3.fr)
- ▶ réunions en visio

- les actions récentes du réseau

- ▶ organisation d'une ANF sur 3 jours pour 12 stagiaires sur le logiciel CST studio suite (Dassault systèmes)
  - ★ du 12 au 14 octobre au centre ce calcul de Lyon
  - ★ il reste 5 places de disponibles
  - ★ programme pédagogique : simulations d'antennes

# Les équipements de mesure



type	IJCLab	LAPP	LPC	LPSC	ADTP	SUBATECH
VNA					Agilent N5230A 4 ports 300k-13.5GHz	ZNB 9k-4GHz
VNA portable						R&S FSH8
analyseur de spectre de table						R&S FSU 20HZ-3.6GHz
analyseur de spectre portable					R&S FSH 18 10M-18GHz	R&S FSH3 100k-3GHz et FSH8 100k-8GHz
généré RF			R&S SMA100A 3GHz + Holzworth HS9002A 6,7GHz			2 x SMB 100A 9k-1.1GHz
diode à bruit						Noisecom FSCM 65185

# Le projet ConnecSens

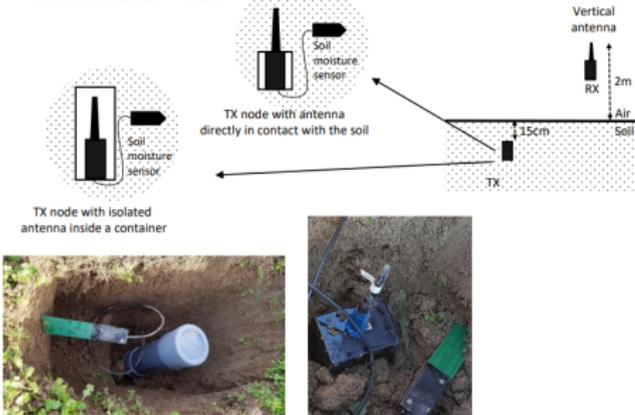
- projet structurant impliquant entre autre le TSCF (INRAE) et le LPC
- l'un des projet précurseur de **Terra Forma**
- capteurs d'humidité communicants enterrés dans le sol

ConnecSens-2 – Développement d'un réseau de nœuds communicants miniaturisés pour le sol

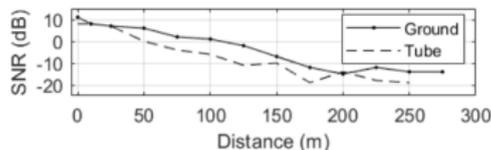
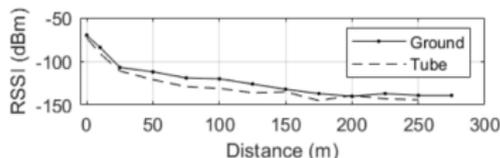


Expérimentations – Influence du contenant de TX

Antenne RX 3,2dBi  
Humidité sol  $\approx$  20%



Antenne RX Verticale  
Profondeur TX : 15cm



source de la planche : Laure Moiroux, INRAE

# Le projet ConnecSens

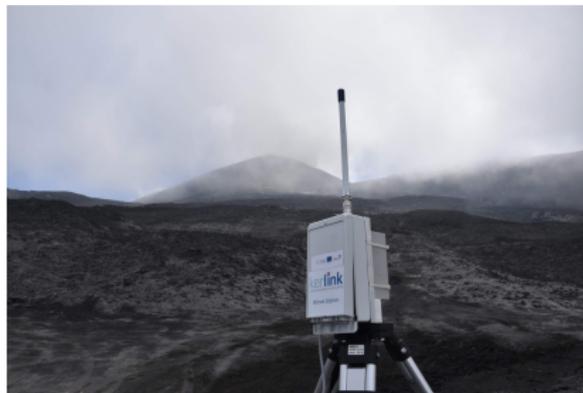
Instrumentation de l'Etna d'un capteur chimique



passerelle LoRa en Auvergne

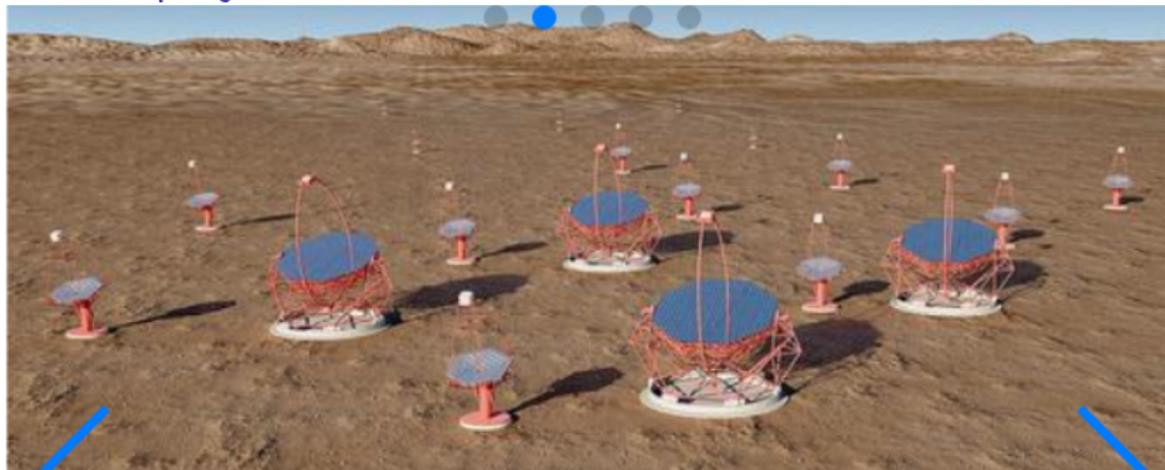


passerelle sur un versant de l'Etna



- installation de divers capteurs connectés en technologie LoRa sur l'Etna ou en Auvergne
- source des photos : Laurent Royer, LPC

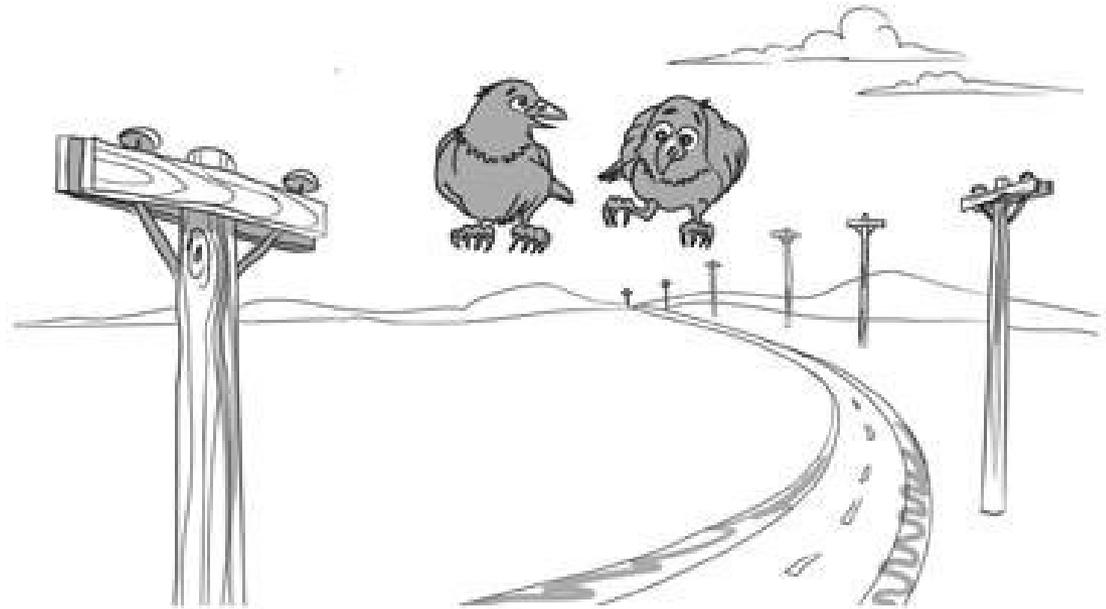
## Autres projets, CTA, SAFRAN ...



source : <https://www.cppm.in2p3.fr/web/>

- CTA : projet d'instrumenter les télescopes par des capteurs communicants
- SAFRAN : transfert de données par RFID des trains d'atterrissage d'avion
- ...

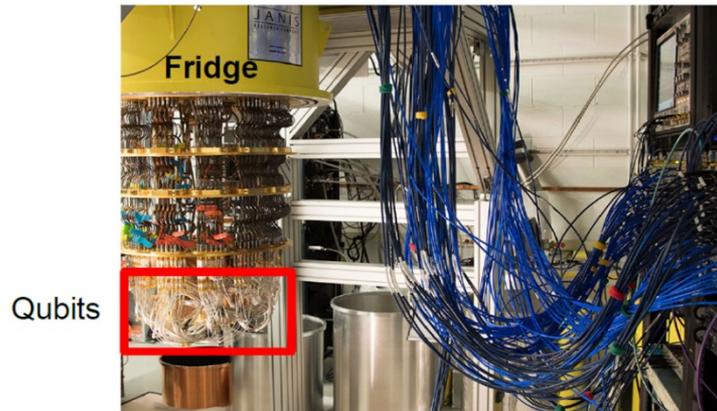
# WADAPT: Wireless Allowing Data and Power Transfer



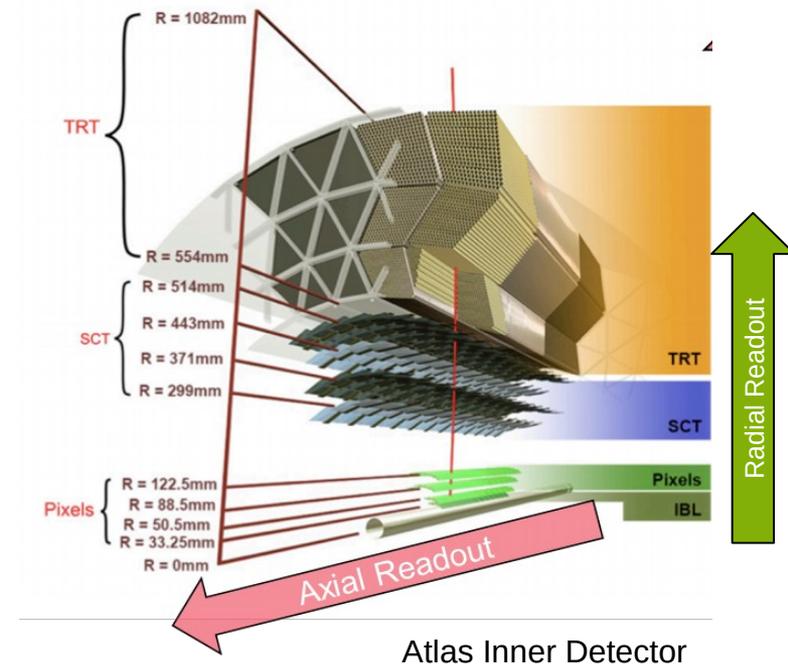
*"TELL ME AGAIN THE BENEFITS OF WIRELESS."*

# Why Wireless ?

- Cables
  - Create multiple scattering and nuclear interactions, dead-zone areas in HEP
  - Thermal conduction
  - Impact on the installation and the operation
  - Axial readout induces important latencies
  
- Wireless
  - Minimize material budget of cables/connectors  
Reducing the radiation length of massive services in HEP
  - Allows perfect package sealing
  - Direct communication between layers (radial readout)
  - More flexible transceiver placement
  - Point-to-Multipoint links, interlayer intelligence
  - Data follows event topology enabling fast triggering

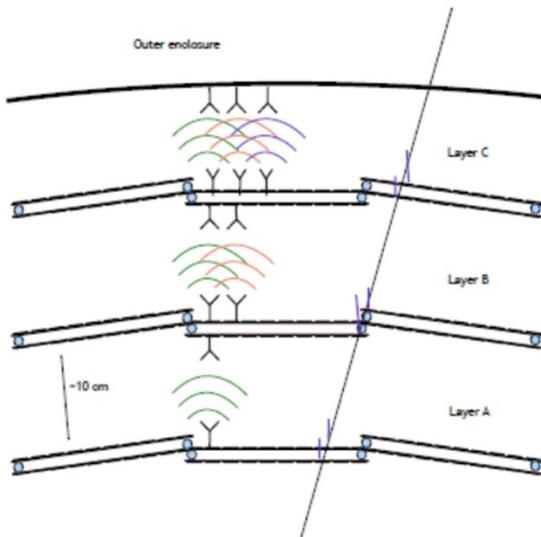


Google 10's qubits processor



Atlas Inner Detector

# Proposed wireless readout approach

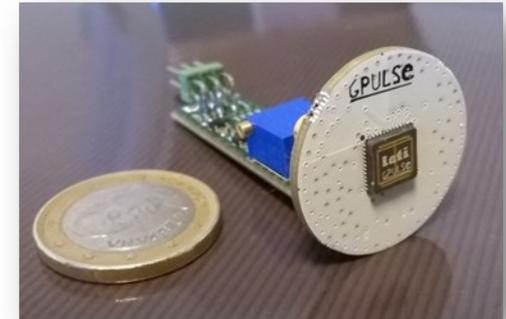


## Wireless readout concept

- Radial data transfer  
→ Communication between layers
- Signal cannot penetrate layers  
→ Reuseability of frequency channels

Richard Brenner – Uppsala University

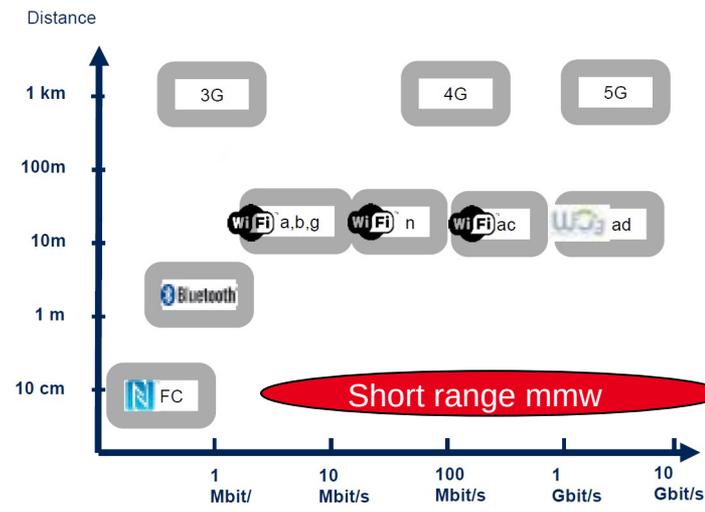
Short range, low power, no latency,  
wireless connectivity required !



60GHz system in package with integrated antenna

## Millimeter wave (30-300GHz) wireless technology

- Short wavelength: high level of integration, compact antenna scheme
- Huge available bandwidths for high data rate communication  
14GHz in V Band (57-71GHz), 35GHz in D-Band
- RF Integrated Circuits: transmitted power and frequencies still compatible with low cost and low power CMOS technologies
- High free path loss
  - Suitable for short range communications
  - High frequency reuse



## 60GHz contactless connector

### Technology:

- 60GHz ASK transceiver in CMOS 65nm
- Simple non coherent receiver (envelop detector)
- Small BGA package (2x2 mm<sup>2</sup>)
- In package or on PCB antennas, range extension using lens

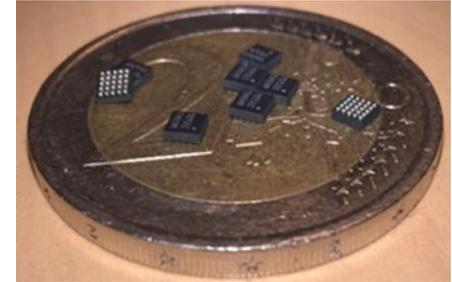
### Performances:

- Data rate: 0.01-6Gbps
- Range: 3-20cm function of antenna scheme
- Power consumption: 35mW (<6pJ/bit)

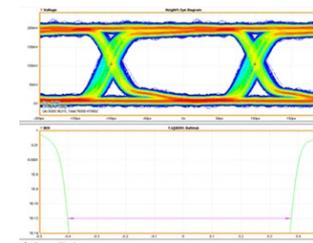
### Wadapt feasibility studies:

- Interfacing with Pixel Detectors
- Intra layer signal confinement
- Coexistence with detectors
- Multiple link crosstalks management
- Quality of Service and latency measurements
- Chip robustness to irradiations (neutron and proton)

<https://espace.cern.ch/wadapt/layouts/15/start.aspx#/default.aspx>



Non Coherent  
RFIC



**5Gbps**  
BER <1<sup>e</sup>-12  
<35ps rise/fall time  
<75ps total jitter  
<1ns latency