



Journée Inaugurale LABEX P2IO

11 Janvier 2012

CAPTEURS

Véronique PUILL, LAL

- ❖ Que veut-on détecter ?
- ❖ Les capteurs dans les domaines de Recherche P2IO
- ❖ Quelques grandes réalisations mettant en œuvre les capteurs
- ❖ L'instrumentation associée aux capteurs
- ❖ Les applications, contraintes et exigences
- ❖ Les compétences des laboratoires P2IO
- ❖ Prospectives
- ❖ La dynamique P2IO
- ❖ La valorisation de nos travaux de recherche
- ❖ Conclusion

Physique des Particules

constituants élémentaires de la matière
phénomènes mettant en jeu les interactions
fondamentales

Astrophysique

formation des étoiles et des galaxies
Univers violents et objets compacts
constituants de l'Univers (matière noire)
1^{ers} instants de l'Univers

Physique Nucléaire

structure nucléaire
mécanismes des réactions nucléaires
Physique hadronique

Types de particules à détecter :

- photons visibles ■ ■ ■
- X ■
- γ ■ ■ ■
- rayonnement IR ■ ■
- particules chargées ■ ■ ■
- ions ■
- rayons cosmiques ■ ■
- neutrons ■ ■
- neutrinos ■ ■
- ondes radios ■
- ondes gravitationnelles ■

Mesures à effectuer sur ces observables :

- position
- énergie
- impulsion
- temps de vol
- polarisation

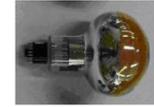
Environnement de la mesure :

- champ magnétique
- radiations
- vide
- températures extrêmes
- orbites spatiales
- ...

PHOTODETECTEUR

Détection de :

- photons UV et visibles (300 → 900 nm)
- particules chargées (couplés avec des scintillateurs)



Technologie :

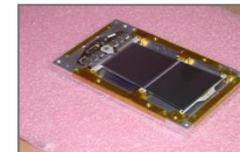
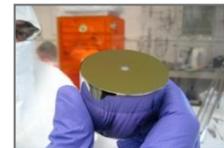
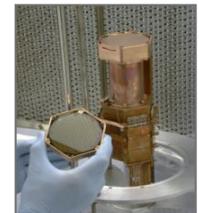
- ❖ dispositifs à photocathode : photomultiplicateur (PMT), photodétecteur hybride (HPD)
photomultiplicateur à galette de micro-canaux (MCP-PMT)
- ❖ semi-conducteur : photodiode à avalanche (APD), photomultiplicateur Silicium (SiPM)
- ❖ nombre de voies par détecteurs : 1 à 144



SEMI-CONDUCTEURS

Détection de :

- particules chargées - ions
- IR proche (0,8 → 2 μm)
- X
- γ



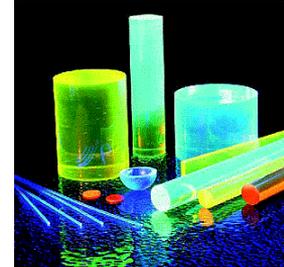
Technologie :

- ❖ dispositifs non refroidis : Si (pad, pixels, strips) pour le visible, CdTe et CdZnTe pour les X
- ❖ détecteurs refroidis : Ge pour les γ , CdTe et CdZnTe pour les X, HgCdTe et InGaAs pour l'IR,
...(monovoie ou matrice de pixels)

SCINTILLATEURS

Détection de :

- particules chargées
- neutrons, γ
- photons visibles



Technologie :

LaBr₃, CsI(Na), NaI(Tl), BGO, PbWO₄, plastiques....

BOLOMETRES

Détection de :

- X (1 KeV \rightarrow 40 KeV)
- γ
- IR lointain (100 μm \rightarrow 3 mm)



Technologie :

- ❖ Matrices de bolomètres : détecteurs refroidis $< < 100$ mK (Diamant, Saphir) comportant un grand nombre de pixels
- ❖ Bolomètres à absorbeur massif : détecteur à mesure simultanée ionisation et chaleur, absorbeur de quelque dizaines de g à 1 Kg (Ge)

DETECTEURS GAZEUX

Détection de :

- particules chargées
- neutrons (couplé à une couche de conversion)
- photons (couplé à une photocathode)



Technologie :

- ❖ mélange gazeux fonction de l'application (Ar-CO₂, Ar-C₂H₆, Ar-SF₆, Xe, ...)
- ❖ chambres à fils
- ❖ chambres à grilles (Micromégas, GEM)
- ❖ chambre à plaques résistive (RPC, MRPC)
- ❖ anodes segmentées (pistes, pad, pixels)

ANTENNES

Détection de :

- ondes radio 20 → 200 MHz



Calorimétrie et détection de fluorescence

- ECAL de **LHC - CMS** (Irfu, LLR) : **120 000 APDs** (+ cristaux PbWO_4)
- Détecteurs Off-axis de **T2K** (Irfu, LLR) : **56000 SiPMs**
- **Auger** (LAL, IPN) : **5000 PMTs** sur 2500 km²

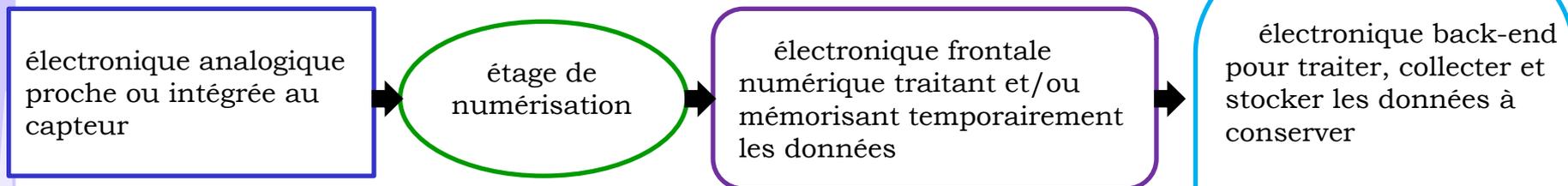
Trajectographie

- Trajectographe du détecteur Dimuon de **ALICE @ LHC**(IPN, Irfu) : **chambres à fils (90 m²)**
- Trajectographe de **COMPASS @ CERN** (Irfu) : 12 grands **Micromégas de 40 x 40 cm²**
- Trajectographe de **HADES @ GSI** (IPN) : **chambres à dérives de 2 m de long**

Recherche de matière noire, spectro X et Gamma

- **Edelweiss** (CSNSM, IAS, Irfu) : **10 bolomètres massifs en Ge** de 400 g
- **Planck HFI** (IAS, Irfu) : **52 bolomètres**
- plan de détection haute énergie de **Symbol-X** (Irfu) : **16000 détecteurs en Cd(Zn)Te**
- plan de détection haute énergie de **MACSI** (Irfu) : **16000 pixels en CdTe**

Chaîne électronique



Electronique de déclenchement

Electronique analogique

Traitement du signal

Electronique numérique

Système d'acquisition

Quelques contraintes :

- faible bruit
- grand nombre de canaux
- basse consommation
- grande dynamique
- mesure de charge à l'électron
- mesure de temps à la ps
- forte intégration
- adaptation à des capteurs très différents
- adaptation aux environnements hostiles
- intégration au système



L'électronique dans les labos P2IO est à la pointe de la technologie

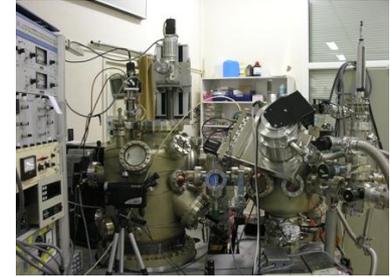
.....

La conception de systèmes complexes, le prototypage, l'assemblage délicat à grande échelle requière de nombreuses compétences :

Cryogénie



Techniques du vide



Mécanique de précision



Optique de précision



Radioprotection

Applications

Contraintes, exigences



Calorimétrie
Trajectographie

- très forte granularité (millions de pixels)
- grande surface de détection
- champ magnétique élevé (→ 4 T)
- grande dynamique (20 à 10^4 photons/mm²)
- environnement radioactif hostile
- fréquence élevée (40 MHz pour le LHC)
- « transparence » pour les trajectographes



Détection de neutrinos

- sensibilité au photon unique
- très grand nombre de canaux (10^5)
- très bas bruit de fond (→ matériaux spéciaux)



Identification de particules

- sensibilité au photon unique
- résolution temporelle entre 30 et 100 ps
- traitement numérique du signal (identification)



Spectroscopie γ

- détecteurs bas bruit → refroidissement
- électronique bas bruit

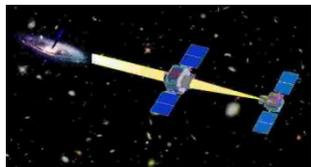


Détection de neutrons
(mesure de flux et d'énergie de neutrons thermiques)

- grande surface de détection > 1 m²
→ mécanique de précision
- résolution spatiale < mm
- bon rapport signal/bruit

Applications

Contraintes, exigences



Imagerie en Astrophysique

- détecteurs bas bruit
- perturbation par les rayons cosmiques
- miniaturisation (embarquement satellites)
- variations de température extrêmes
- faible consommation électrique de l'électronique
- environnement spatial (vibrations, radiations)



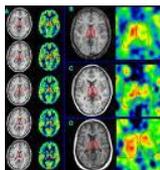
Recherche de matière noire

- détecteurs bas bruit → refroidissement
- bon rapport signal/bruit
- lecture combinée de ionisation/lumière
- effets de surface



Observation de rayons cosmiques

- grande surface de détection
- autonomie
- milieu climatique hostile
- lumière parasite
- mécanique de précision et solide
- traitement numérique du signal



Biomédical

- bonne l'efficacité (réduction de la dose)
- bonne résolution spatiale (mm)
- résistance au champ magnétique (IRM PET)
- miniaturisation
- ergonomie

Nombre d'agents des laboratoires P2IO impliqués dans le domaine Capteurs : **193**

Nombreuses collaborations internationales : CERN, FERMILAB, SLAC, INFN, DESY, PSI, KEK,
et participation à des réseaux : AIDA, RD51, NUPNET, ...

Les compétences techniques liées aux capteurs dans les laboratoires P2IO :

	Bolomètre		Photo-detecteur		det gazeux		semi-conducteur		scintillateurs		electronique		mécanique	vide	cryogénie	optique	
	dev	test	dev	test	dev	test	dev	test	dev	test	dev	test	dev	dev	dev	dev	
CSNSM	■	■										■	■	■	■	■	
IAS	■	■										■	■	■	■	■	■
IMNC				■						■	■	■					
IPN			■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	
IRFU	■	■		■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■
LAL				■	■	■	■	■			■	■	■	■	■		■
LLR				■	■	■		■		■	■	■	■				

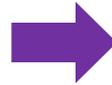
↑
↑
↑
nombreuses structures de tests
(dans les mêmes domaines mais
pas forcément sur les mêmes
capteurs)

↑
↑
↑
besoins de développements et réalisations proches

Les labos P2IO sont impliqués dans de **nombreux projets** en HEP (SLHC, ILC, SuperB, ...), Astrophysique (SuperNemo, CTA, AdvVIRGO, DUNE, PILOT,...), Physique Nucléaire (AGATA, Andromède, SPIRAL 2, ...)



exigences et contraintes techniques accrues



développements innovants en techniques de détection et instrumentation associée

nous avons les compétences techniques, l'expérience, l'envie de mener à bien nos missions

MAIS les budgets de nos instituts sont en baisse, il faut donc :



- renforcer les collaborations entre nos labos
- utiliser les installations de caractérisation déjà développées dans les autres labo lorsque c'est possible
- utiliser les plateformes de conception et développement existantes (MINERVE, OMEGA)
- réfléchir au développement de nouvelles plateformes communes



Trouver de **nouvelles ressources financières et humaines pour la R&D et le développement de plateformes (petites et grandes)**

Budget apporté aux labos P2IO impliqués dans la thématique Capteurs :

250- 300 k€/an (appels à projets Post-Doc, R&D, jouvence plateforme, plateforme *)

- ✓ Capteurs cryo de nouvelle génération pour l'observation en Astro et Cosmologie (CSNSM, IAS, Irfu)
- ✓ HARPO : astronomie γ de haute précision angulaire et polarimétrie, au dessus du seuil de création de paires, MeV-TeV (LLR, Irfu)
- ✓ SAMPIC : SAMpler for PICosecond time pick-off (Irfu, LAL)
- ✓ Détecteur à ionisation pour le projet CaLIPSO (Irfu, CSNSM, IPNO)
- ✓ Développement d'un prototype de télescope Compton à rayons γ (CSNSM, IPN, LAL)

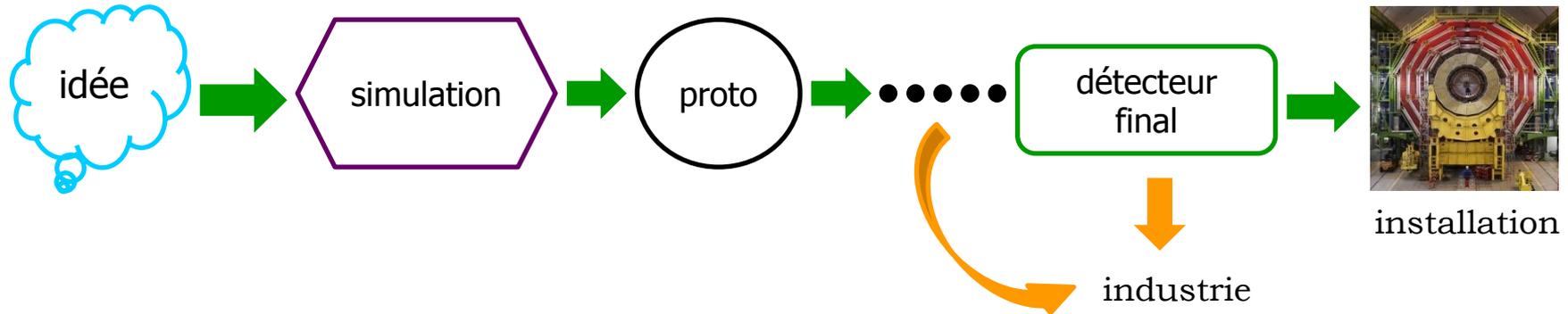
* Remarque : manque la possibilité de financer des petites plateformes

A travers le groupe de travail CAPTINNOV :

- ❖ veille technologique sur les capteurs émergents
- ❖ synergie entre les équipes de différents labos P2IO sur un même thème
- ❖ réflexion sur les projets d'infrastructures communes

Autres soutiens de P2IO :

- soutien financier pour l'organisation de colloques et séminaires, où pour des actions de formation des agents P2IO
- facilitation des collaborations avec les autres LABEX
- soutien à la Valorisation de nos résultats de Recherche



P2IO recrute un ingénieur/ an pour : effectuer une étude de marché où aider au transfert du « produit labo » au « produit industriel »

Quelques exemples récents de Valorisations réussies :

- Profileur de faisceau pour la hadronthérapie : LLR (pour le CNAO, le MedAustron)
- TRECAM : IMNC (pour une société d'imagerie médicale)
- Wavecatcher : LAL, IRFU (pour M2J, CAEN)
- HardRoc, SPIROC : LAL (pour des sociétés d'imagerie médicale)
- Etalonnage de capteur pour le spatial : IAS
- Dosimétrie : IPN (thérapie médicale, environnement)

Liens avec le monde industriel :

Les fortes interactions que nous avons avec les industriels de pointe de la détection, de l'électronique, de la mécanique et de l'optique les font progresser techniquement.

ex : développement de PMT et MCP-PMT avec PHOTONIS : IPN

Le **CSNSM**, l'**IAS**, l'**IMNC**, l'**Irfu**, le **LAL**, l'**IPN** et le **LLR** sont des laboratoires innovants et mondialement reconnus dans le domaine des Capteurs et de leur Instrumentation associée grâce à leurs agents compétents, motivés et expérimentés formés par l'**Université**, le **CNRS** et le **CEA**.

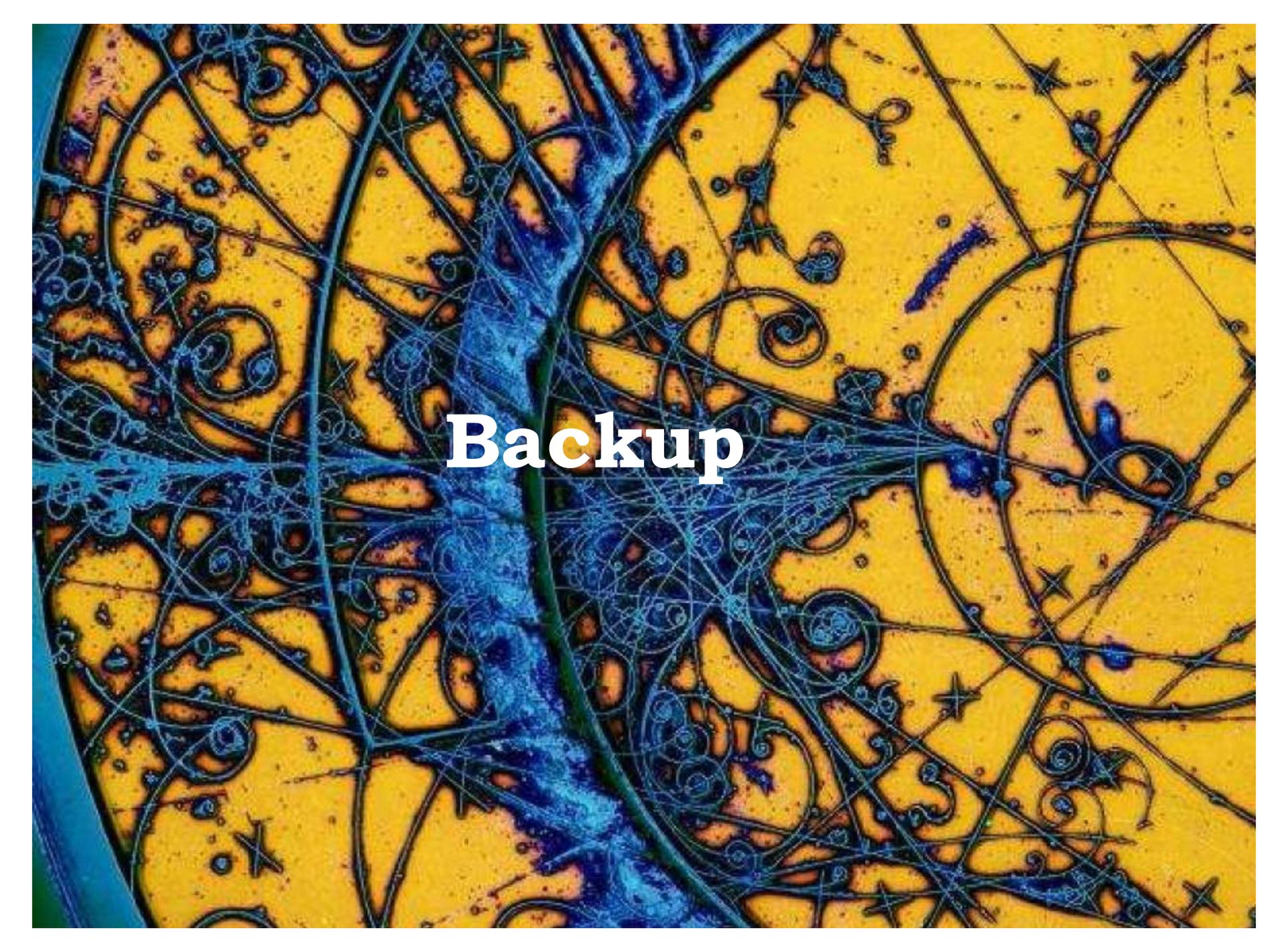
Leur proximité géographique et thématique en font des collaborateurs naturels dans de très grands projets internationaux de Physique des Particules, d'Astrophysique et de Physique Nucléaire.

Les projets très ambitieux qui demandent de dépasser l'état de l'art ne manquent pas, ce sont les moyens humains et financiers qui manquent

Le **LABEX P2IO** offre des outils précieux pour nous aider à mener à bien nos missions :

- appels à projets R&D, post-doc, plateformes, valorisation
- animation scientifique, soutien à l'organisation de colloques
- cadre de discussion (groupe Captinnov) : forum de réflexion collective, veille technologique

Participer à la vie du LABEX P2IO devrait faire naître une plus grande synergie entre nos laboratoires et nous aider à réaliser de grands projets de Physique .



Backup

