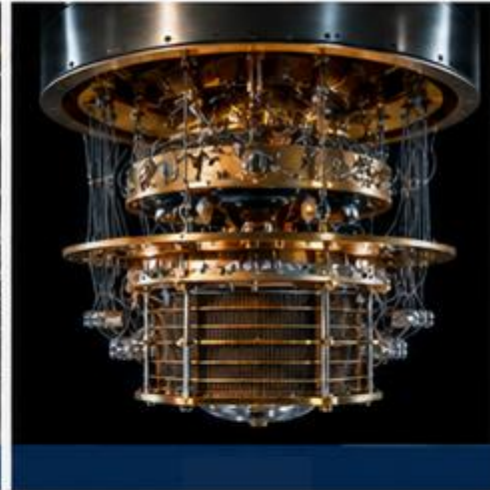


# Prospective technique APC 2026

*Des technologies aux positionnements scientifiques*

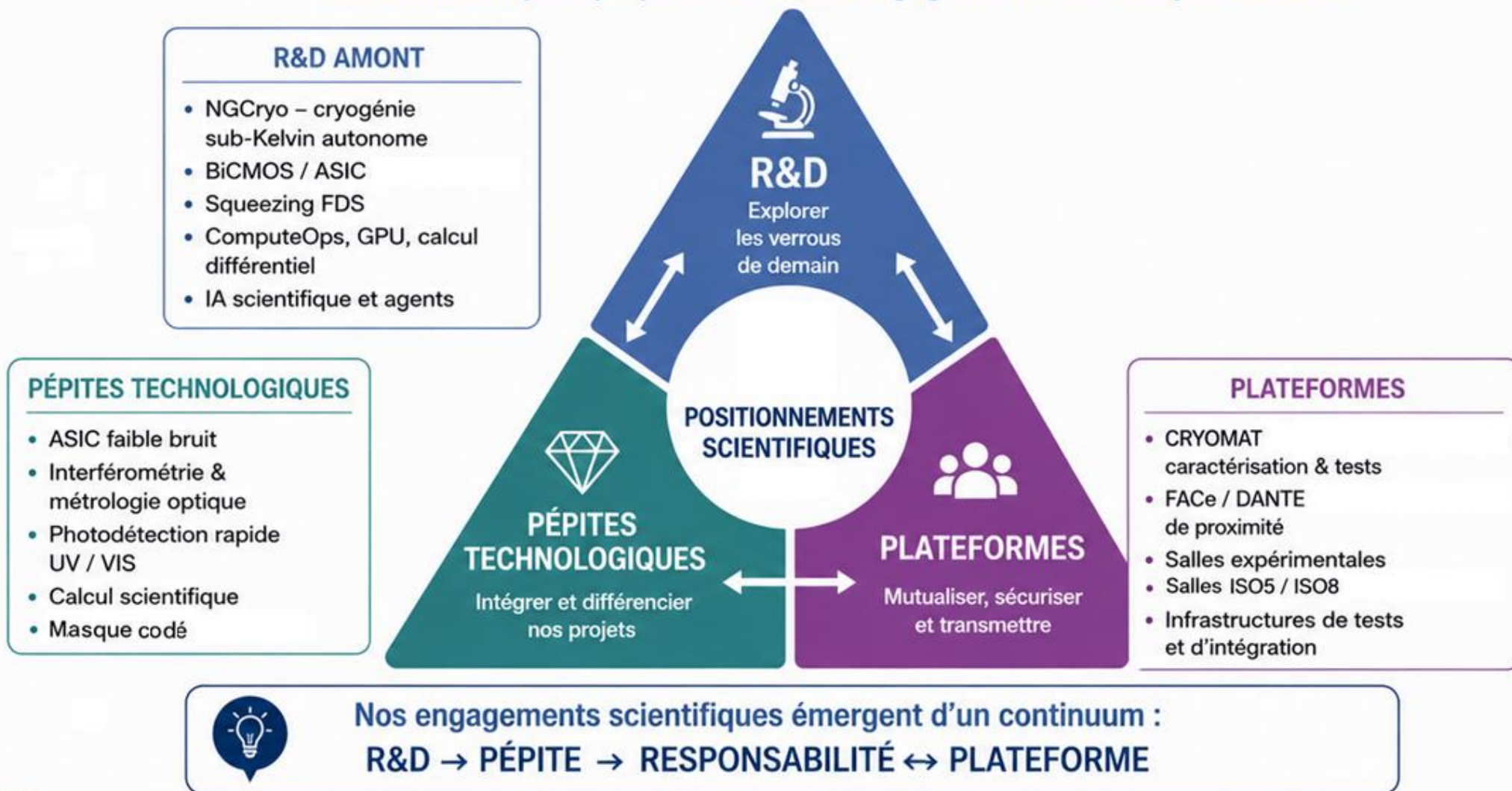


**Biennale APC 2026**

*Guillaume Prévôt*

# R&D, pépites technologiques et plateformes

*Un continuum pour préparer les futurs engagements scientifiques de l'APC*



### 1. COSMOLOGIE MILLIMÉTRIQUE

**Environnement : Planck, QUBIC**

↓

**Laboratoire transverse DRTBT**  
Cryogénie, chaînes de lecture, électronique bas bruit

↓

**R&D / PÉPITE TECHNOLOGIQUE**  
Chaînes de lecture cryogéniques millimétriques

↓

Positionnements scientifiques majeurs

Vers de nouveaux observatoires CMB

### 2. ONDES GRAVITATIONNELLES ET INTERFÉROMÉTRIE

**Environnement : LISA, Virgo**

↓

**Salle Blanche**  
Métrologie optique (ZiFO), bancs prototypes, salles blanches ISO5 / ISO8, modélisation

↓

**R&D / PÉPITE TECHNOLOGIQUE**  
Métrologie optique avancée, interférométrie de haute précision

↓

Positionnements scientifiques majeurs

Vers les futurs grands interféromètres

### 3. PHOTODÉTECTION RAPIDE ET INSTRUMENTATION SPATIALE

**Environnement : EUSO**

↓

**Laboratoire transverse Photodétection**  
Photodétecteurs rapides, électronique front-end, tests environnementaux

↓

**R&D / PÉPITE TECHNOLOGIQUE**  
Photodétection rapide, grande dynamique, faible bruit, intégration spatiale

↓

Positionnements scientifiques majeurs

Vers l'astronomie multi-messagers

### 4. CALCUL SCIENTIFIQUE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

**Environnement : grands volumes de données**

↓

**Infrastructure de calcul FACE**  
Pipelines scientifiques, infrastructure de calcul (FACE / DANTE), IA et outils logiciels

↓

**R&D / PÉPITE TECHNOLOGIQUE**  
ComputeOps, pipelines, IA scientifique, outils ouverts et reproductibles

↓

Positionnements scientifiques majeurs

Vers une astrophysique multi-messagers

**Physiciens Ingénieurs instrumentalistes + Infrastructures = Émergence des pépites APC**  
De la R&D à la responsabilité scientifique

Les savoir-faire technologiques APC répondent directement aux verrous des grands programmes scientifiques du laboratoire

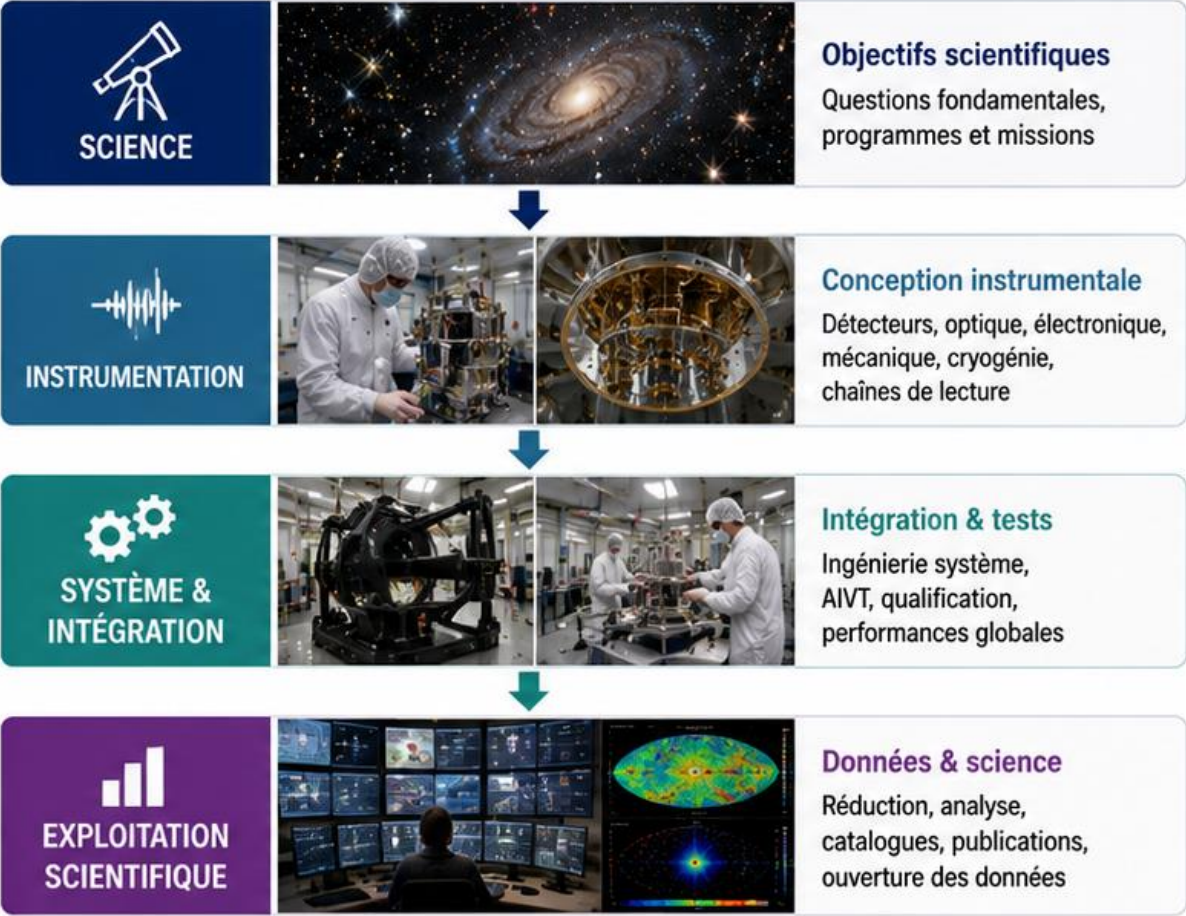
OBJECTIF SCIENTIFIQUE	VERROU PRINCIPAL	CAPACITÉS APC MOBILISÉES	IMPACT / PROGRAMMES
<p>Cosmologie</p>	Bruit ultime, cryogénie sub-K, multiplexage, couplages thermo-mécaniques	Cryogénie, ASIC faible bruit, multiplexage mécanique, modélisation multiphysique	
<p>Ondes gravitationnelles</p>	Bruit quantique, stabilité optique, métrologie extrême	Métrologie optique (ZIFO, MIFO, IDS), squeezing FDS, bancs optiques de précision, ingénierie système	
<p>Multi-messagers</p>	Spatialisation, intégration, détection faible bruit horodatage précis, calibration fiabilité terrain	Photodétecteurs, modélisation multiphysique ASIC, électronique bas bruit rapide, ingénierie système, mécanique, AIVT, unités de calibration	
<p>Relevés massifs</p>	Volumes de données massifs, analyses complexes, reproductibilité	Calcul distribué (FACe/DANTE), GPU, pipelines scientifiques, IA scientifique,	
<p>Développement d'instruments spatiaux complexes</p>	Performances système, interfaces, qualification, environnements sévères	Ingénierie système, AIVT, assurance produit, modélisation multiphysique, tests en environnement représentatif	
<p>Développement logiciels complexes</p>	Performances système, interfaces, qualification, environnements sévères	pipelines scientifiques, IA scientifique, gestion des données webservice pour collaborations	



Une réponse intégrée aux verrous scientifiques majeurs grâce à des savoir-faire technologiques différenciants et reconnus.

# Capacités transverses et fonctionnement matriciel

Des chaînes intégrées de compétences, de la conception instrumentale à l'exploitation scientifique



CAPACITÉS TRANSVERSES (FONCTIONS SUPPORTS INTÉGRÉES)					
 <b>INGÉNIERIE SYSTÈME</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ingénierie des exigences</li> <li>Architectures</li> <li>Modèles de performance</li> </ul>	 <b>QUALITÉ</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Management qualité</li> <li>Assurance produit</li> <li>Gestion des risques</li> </ul>	 <b>AIVT (Tests &amp; Intégration)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Plans de tests</li> <li>Intégration</li> <li>Validation</li> <li>Environnements de test</li> </ul>	 <b>PROJECT OFFICES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gestion de projet</li> <li>Coûts, délais, ressources</li> <li>Interfaces partenaires</li> </ul>	 <b>CALCUL SCIENTIFIQUE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>HPC / GPU</li> <li>Pipelines</li> <li>Stockage</li> <li>Logiciels scientifiques</li> </ul>	 <b>PLATEFORMES TECHNIQUES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Infrastructures expérimentales</li> <li>Bancs &amp; salles blanches</li> <li>Moyens spécialisés</li> </ul>

**Un fonctionnement matriciel pour répondre à la complexité croissante des instruments et missions**  
*Collaboration étroite entre équipes scientifiques, ingénieurs, techniciens et plateformes pour maximiser l'impact scientifique.*

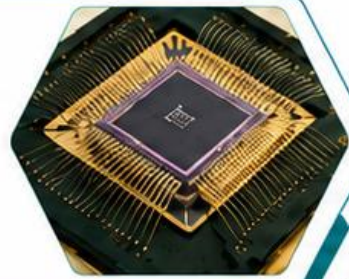
# Défis technologiques identifiés

*Des performances extrêmes au service des futurs instruments*

## 1 BRUIT ULTIME

Détecteurs et électronique à très faible bruit

- ASIC faible bruit
- Front-end cryogéniques
- Lecture sensible



## 2 CRYOGÉNIE

Sub-Kelvin continue

- Dilution continue
- Cryostats à très longue autonomie



## FUTURS INSTRUMENTS & MISSIONS

Exigences scientifiques toujours plus ambitieuses

## 3 MÉTROLOGIE OPTIQUE & CONTRÔLE FIN

- Interférométrie de haute précision
- Frequency Dependent Squeezing (FDS)



## 6 DONNÉES & CALCUL

Massifs et intelligents

- GPU et architectures hétérogènes
- Calcul différentiel
- IA scientifique
- Pipelines augmentés par IA



## 5 LECTURE DÉTECTEURS

Haute dynamique et grand multiplexage

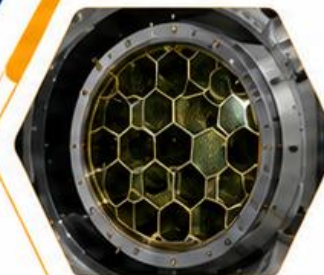
- Multiplexage micro-onde
- ADC rapides haute résolution
- Synchronisation et timing



## 4 PHOTODÉTECTION RAPIDE

Grandes surfaces et haute dynamique

- PMTs, SiPMs
- Rapidité, linéarité, stabilité
- Faible consommation



# Défis systémiques

*Des verrous organisationnels et méthodologiques aussi déterminants que les défis technologiques*



**!** Répondre à ces défis systémiques est essentiel pour renforcer la crédibilité, la compétitivité et la soutenabilité des instruments et missions de l'APC.

Transformer les verrous d'aujourd'hui en pépites technologiques de demain

1		<b>CRYOGÉNIE SUB-KELVIN</b> Autonomie, stabilité et intégration spatiale		<ul style="list-style-type: none"> <li>• NGCryo : dilution continue, fiabilité et compacité</li> <li>• CRYOMAT : plateforme de test et de validation</li> <li>• Intégration systèmes cryogéniques sol</li> <li>• Conception mécanique / simulations multiphysiques</li> </ul>	<b>FCC</b>		 <b>CMB</b>
2		<b>MÉTROLOGIE OPTIQUE</b> Précision extrême et maîtrise des bruits quantiques		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frequency Dependent Squeezing (FDS)</li> </ul>			
3		<b>ÉLECTRONIQUE</b> Faible bruit, très haute vitesse et forte intégration		<ul style="list-style-type: none"> <li>• ASIC cryogéniques SiPMs</li> <li>• Multiplexage micro-onde à haute densité</li> <li>• ADC rapides, LNA à très faible bruit</li> <li>• Contraintes spatiales (radiation, encapsulation, forte intégration, normes)</li> </ul>	<b>FCC</b>		<b>CMB</b> 
4		<b>CALCUL SCIENTIFIQUE</b> Puissance, intelligence et nouvelles méthodes		<ul style="list-style-type: none"> <li>• FACE / DANTE : infrastructures HPC et IA</li> <li>• GPU, calcul différentiel et architectures hétérogènes</li> <li>• IA scientifique et agents (LightCone Research)</li> <li>• Quantum computing</li> </ul>			
		<b>PIPELINES SCIENTIFIQUES</b> Traitement massif, IA et valorisation des données		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipelines scientifiques</li> <li>• Intégration de l'IA</li> <li>• Automatisation et orchestration des analyses</li> </ul>	<b>CATCH</b>		Futures missions ESA
5		<b>INSTRUMENTATION PHOTONIQUE</b> Détection rapide, synchronisation et faible consommation		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Photodétection</li> <li>• Électronique intégrée à faible consommation</li> <li>• LArTPC pour astronomie MeV</li> </ul>	<b>SQM-ISS</b>	 Extreme Universe Space Observatory	
6		<b>CAPACITÉS SYSTÈME</b> Intégration, simulation et assurance des performances		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumeaux numériques et simulations multiphysiques</li> <li>• AIVT intégrée</li> <li>• Assurance produit et ingénierie de la fiabilité</li> <li>• Architectures thermo-mécaniques des systèmes complexes</li> </ul>	<b>CATCH</b> Futures missions ESA		



Les verrous identifiés aujourd'hui peuvent devenir les pépites technologiques de demain.  
 En investissant dans ces capacités, l'APC prépare les instruments et missions qui feront la science de la prochaine décennie.

La discussion doit aboutir à une priorisation partagée :  
 quelles capacités voulons-nous protéger, renforcer ou faire émerger ?



## 2026 CONSOLIDER

- ✓ Installer et rendre opérante CRYOMAT
- ✓ Clarifier le positionnement FACe/DANTE
- ✓ Consolider et transmettre les expertises  
*Athena, LISA, Virgo, SVOM, CTA, SO*
- ✓ Adosser les émergences APC aux réseaux, GDR et CNE IN2P3



## 2027-2028 STRUCTURER

- ✓ Lancer les R&D citées non initiées  
*(LArTPC,  $\mu$ MUX, ASIC (nouvelles technos, cryo SiPM, LNA, ADC, spacioc 4), multiphysique)*
- ✓ S'appuyer sur la gouvernance plateforme institut
- ✓ Définir une trajectoire calcul APC
- ✓ Renforcer l'implication des groupes scientifiques dans les choix amont des instrumentalistes



## 2029-2030 POSITIONNER

- ✓ Viser des responsabilités visibles dans les collaborations internationales
- ✓ Transformer les pépites en responsabilités visibles
- ✓ Ouvrir CRYOMAT et les expertises associées à des collaborations nationales, européennes ou industrielles ciblées



## QUESTIONS

1

Quels verrous doivent devenir nos priorités techniques ?

2

Quelles pépites APC devons-nous soutenir et faire reconnaître ?

3

Quelles R&D acceptons-nous de financer à l'APC ?