

4-6 Octobre 2021

Auditorium Pierre Lehmann

Bâtiment 200 - rue Ampère

F-91898 ORSAY CEDEX

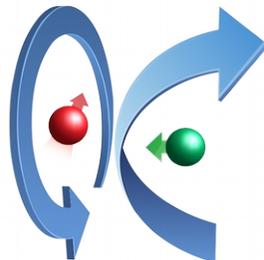


Journées R&T IN2P3 2021

Quantum Computing for the 2 infinities (QC2I)

Bogdan Vulpescu (LPC)

Andrea Sartirana (LLR), Denis Lacroix (IJCLAB)





L'ordinateur quantique ou le processeur quantique :

- un « **hype** » du moment, ponctué par des réalisations spectaculaires appelées **suprématie ou avantage quantique**
- l'intérêt des **grands** acteurs de l'informatique (IBM, Google, Microsoft, ...)
- la course aux **financements** des états (<https://www.gouvernement.fr/18-m-eu-en-faveur-des-technologies-quantiques>)
- un changement de **paradigme** de calcul : (1) spécialisé dans certains calculs, (2) fonctionnement en mode « hybride » avec un CPU classique, (3) dispositif sur mesure pour des problèmes spécifiques (physique nucléaire, chimie, ...)
- une compétition pour trouver le meilleur **hardware** : l'étude des algorithmes est en avance par rapport aux possibilités d'implémentation efficace
- un besoin de **formation** au métier de « programmeur / ingénieur d'intégration et d'exploitation pour un système basé sur le calcul quantique »



Calendrier



- le sujet du QC est discuté à l'IN2P3 depuis septembre 2018
- [présentation dans le cadre de l'exercice de prospectives, GT09 à Clermont-Ferrand, octobre 2019](#)
- « Journées thématiques IN2P3 - Quantum computing: state of the art and applications », décembre 2019, IPNO
- [Master Projet QC2I crée en janvier 2021](#) ⇒
- 2021 : recenser les forces de travail et l'intérêt des agents IN2P3, 20 membres, ETP 2.45 C/EC et 1.15 IT
- [documentation \(site web, newsletter, calendrier\), réunions de formation, identification de projets pilotes IN2P3](#)
- 2022-2023 : organisation d'écoles thématiques et ateliers, utilisations des ressources de calcul quantiques, publications



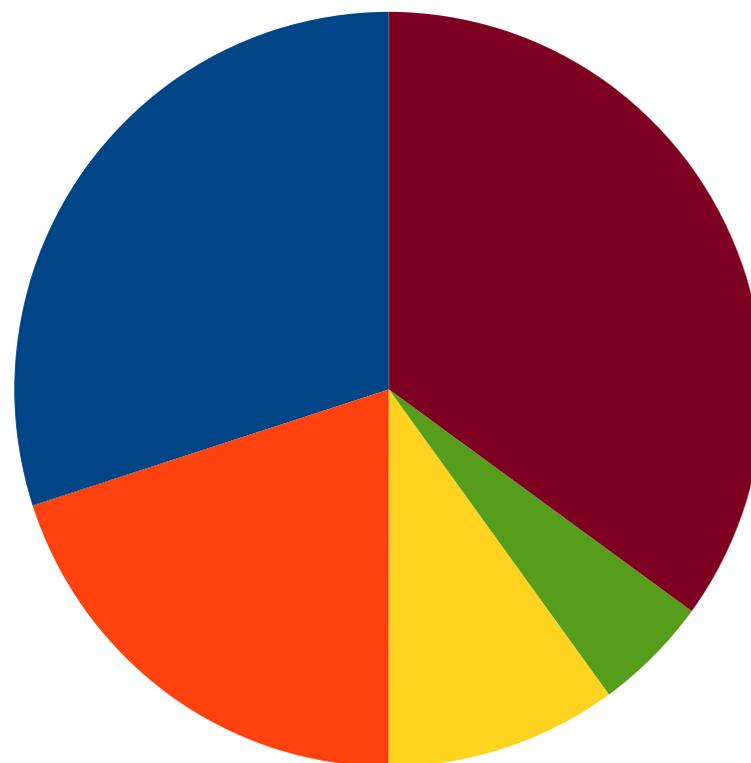
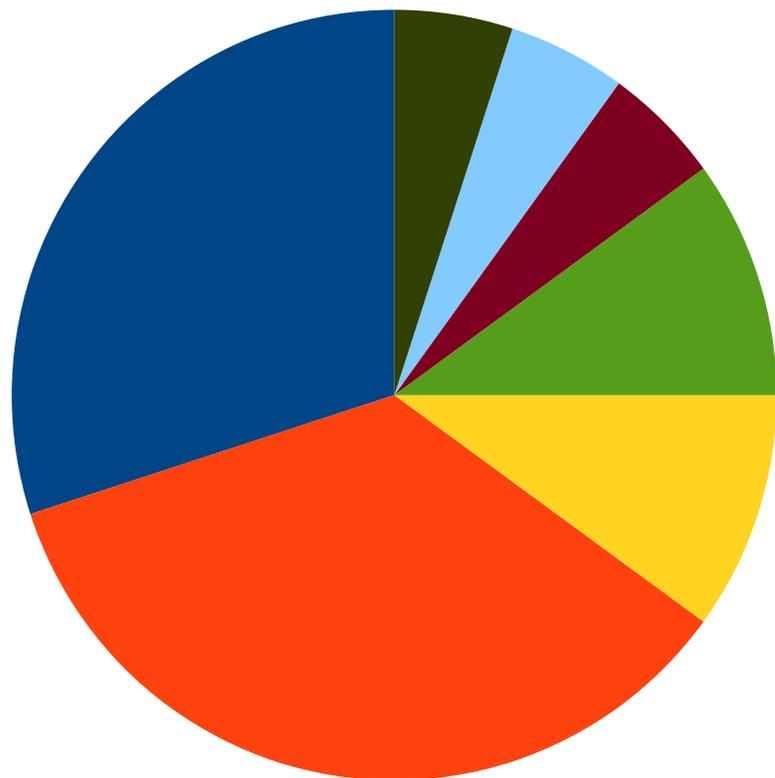
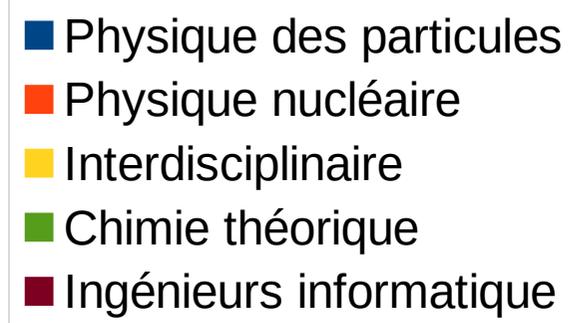
Maturité technologique (TRL)



- TRL1: « au moment du démarrage du projet, dans l'écosystème QC mis à disposition des utilisateurs, tout est à explorer, car aucun choix de technologie n'a encore montré sa supériorité nette dans l'assentiment de la communauté scientifique »
- GRD Quantum Engineering, from Fundamental Aspects to Applications (IQFA, <https://gdriqfa.unice.fr>, CNRS, Université Nice Sophia Antipolis)
- CERN OpenLab Quantum Technology Initiative (QTI, <https://quantum.cern>)
- European Quantum Flagship (<https://qt.eu>)
- Atelier « Technologies quantiques des deux infinis » (prospectives IN2P3, <https://indico.in2p3.fr/event/24025/>)



Le projet QC2I à 20 membres



ETP 2021 = 2.45 C/EC
1.15 IT



Les domaines d'intérêt

La **diversité des préoccupations** des membres QC2I, dans leurs domaines de prédilection, est la preuve que les technologies quantiques se situent à la croisée des travaux de recherche en :

- **physique** fondamentale (les manifestations quantique de la matière)
- **mathématique** et analyse statistique (problèmes combinatoires)
- algorithmique, **informatique** fondamentale
- théorie de l'information, **communication**, cryptographie

Un ordinateur quantique n'augmentera pas simplement la puissance de calcul actuelle, mais ces technologies vont stimuler **la recherche de nouveaux problèmes** à résoudre, jusqu'ici hors des possibilités par l'approche « classique ». Le rôle des **chercheurs** devient ainsi essentiel pour la création d'une « task force » active et efficace.



Les axes du projet

Au début du projet :

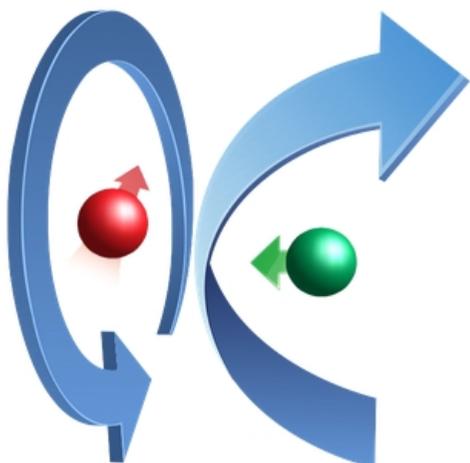
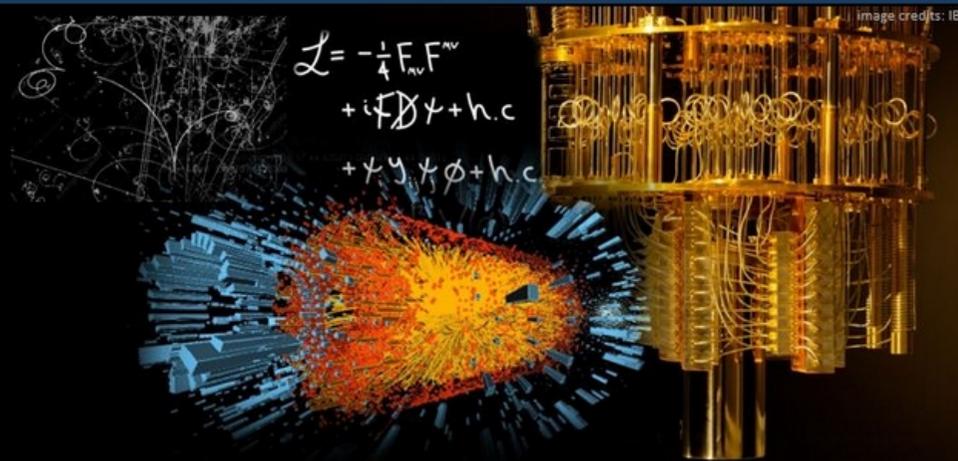
- les systèmes quantiques complexes (problèmes de n-corps)
- apprentissage automatique quantique (QML)
- préparer la révolution de l'informatique quantique

Phase d'exploration :

- identifier les ressources disponibles :
 - les processeurs en libre accès de IBM Quantum Experience
 - le hub collaboratif du CERN (avec IBM)
 - acquisition de temps de calcul chez les fournisseurs (Rigetti)
- comprendre la méthode de calcul pour voir quels problèmes peuvent être résolus sur un QPU



QC2I: Quantum Computing for the two Infinities



QC2I is a computing project supported by **IN2P3**, the French national nuclear and particle physics institute. Its goal is to explore the possible applications of the emerging quantum computing technologies to particles and nuclear physics problems as well as astrophysics. The main tasks are:

- to identify, within IN2P3, scientists/engineers/technicians who are interested in using quantum technologies,
- to facilitate the access and training on quantum computers,
- to identify milestones applications for nuclear/particle physics and astrophysics,
- to design dedicated algorithms and proof of principle applications.

The project action has three main directions: **Prepare the Quantum Computing Revolution** (PQCR), **Quantum Machine Learning** (QML), **Complex Quantum Systems Simulation** (CQSS)

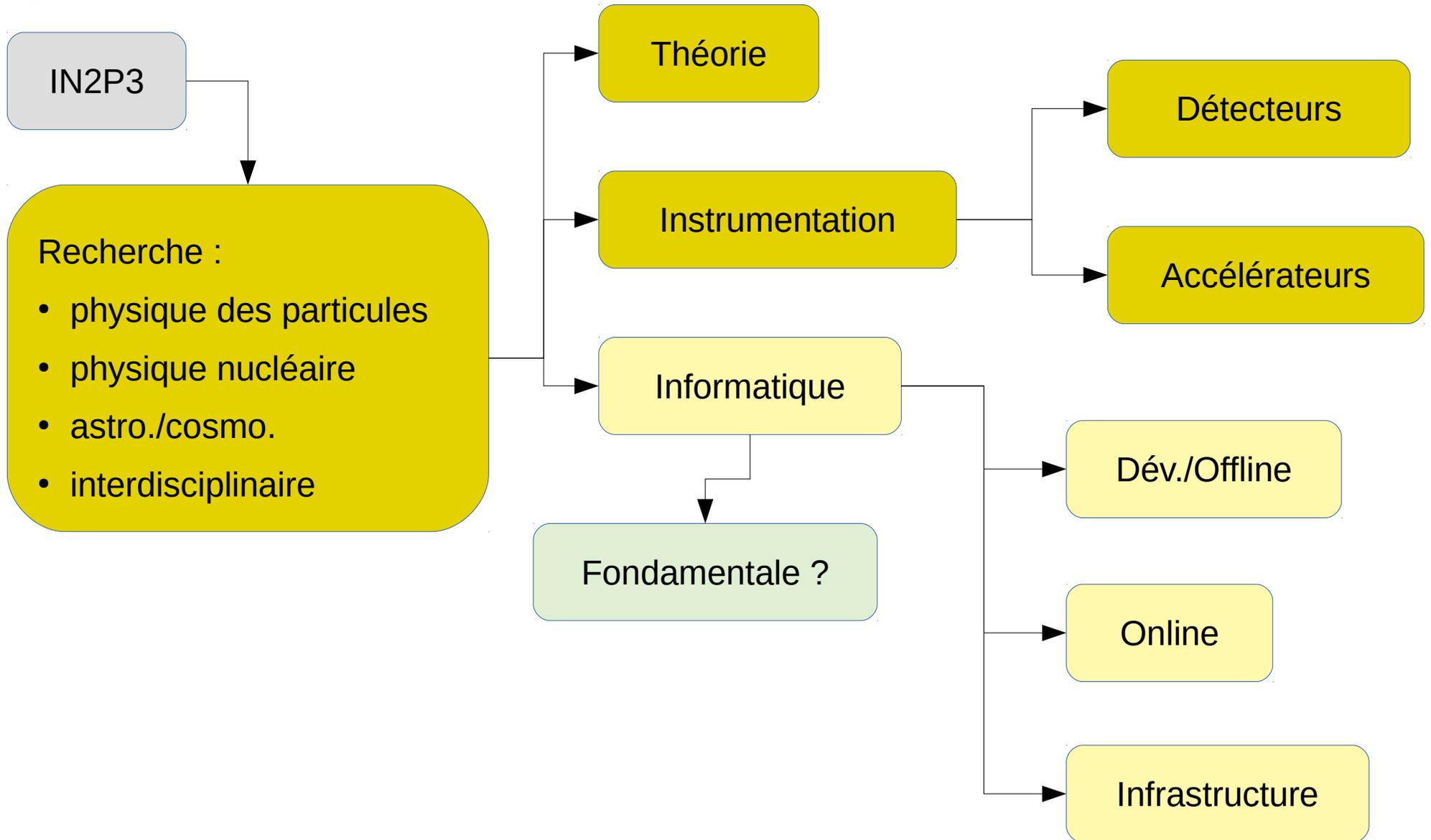


Projets en cours

- une thèse Université Paris-Saclay avec IJCLab :
« Simulation des noyaux et de leurs constituants avec des ordinateurs quantiques », <http://www.theses.fr/s254006>
- un post-doc (2 ans) IJCLab/LLR : Hybrid-Classical Quantum ML (résolution des systèmes linéaires d'équations et régression linéaire pour un problème de classification)
- une autre thèse qui démarre en octobre (IJCLab)
- revue des langages de programmation pour l'utilisation des QPU (QisKit, PyQuil, Q#, ...)
- séminaires sur les bases du QC pour un publique sans connaissances approfondies en mécanique quantique
- mise en place de partenariats avec Atos (QML, simulateurs), CEA, CERN (hub pour les QPU IBM dans le cadre de la QTI)

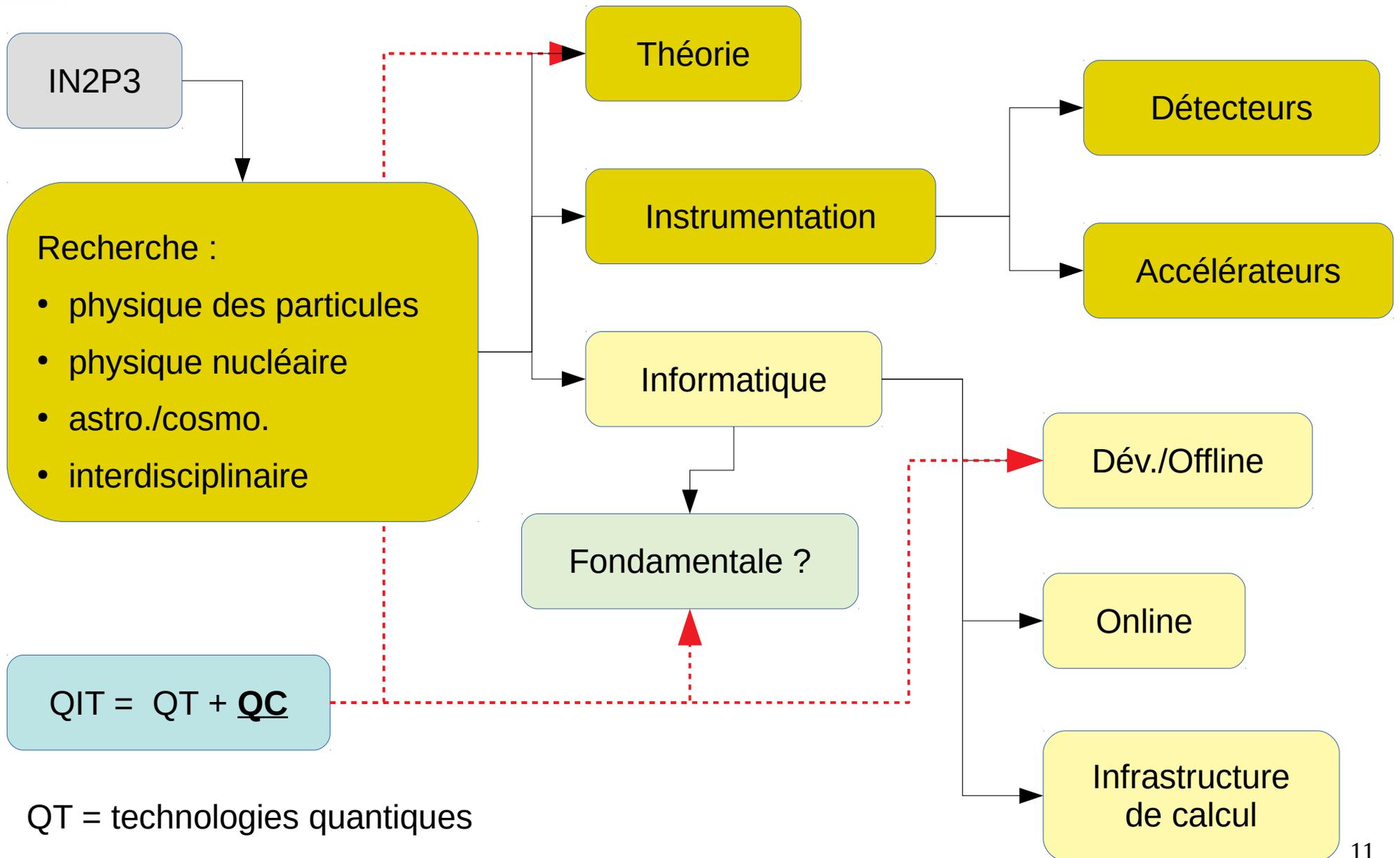


Préparer la révolution de l'informatique quantique





Préparer la révolution de l'informatique quantique



QT = technologies quantiques

QC = calcul quantique



Préparer la révolution de l'informatique quantique

IN2P3

Recherche :

- physique des particules
- physique nucléaire
- astro./cosmo.
- interdisciplinaire

Théorie

Instrumentation

Informatique

Fondamentale ?

Détecteurs

Accélérateurs

Dév./Offline

Online

Infrastructure de calcul

QIT = QT + QC

?
(voir l'atelier QT2I)

QT = technologies quantiques

QC = calcul quantique



Où sont les technologies quantiques à l'IN2P3 ?

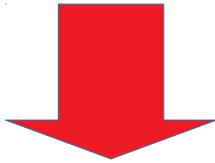
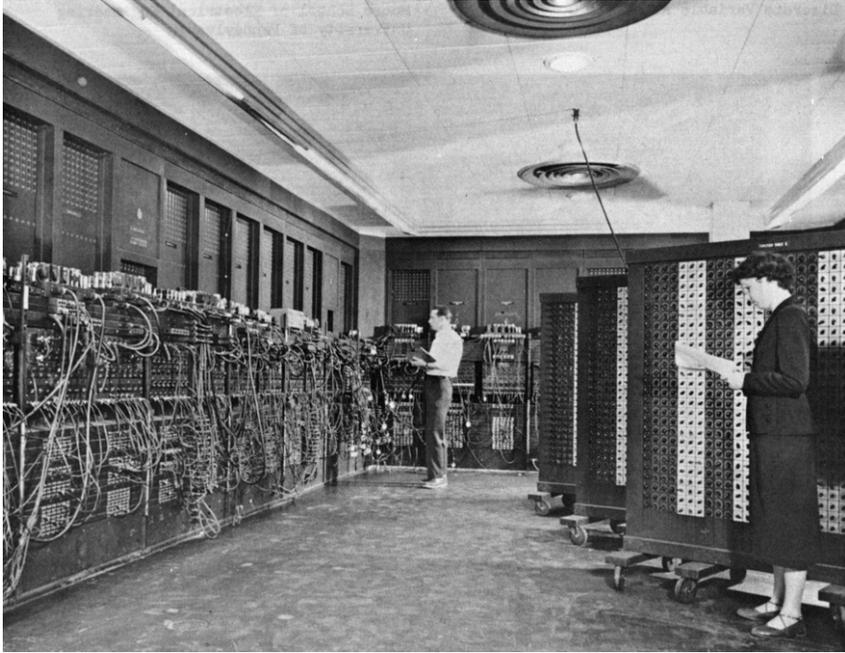
- les limites instrumentales dans les expériences de haute sensibilité :
 - détection d'ondes gravitationnelles (Virgo), amélioration des performances
- un type spécial de détecteur : KID (Kinetic Inductance Detector)
 - détection millimétrique des photons de basse énergie (et mesure de la polarisation)
- horloges de précision pour la mesure précise des temps (détection des neutrinos, Hyper-Kamiokande)
- détecteurs de type « bolomètres » : micro-calorimètre pour la détection individuelle des électrons (matière noire, neutrinos, ...)



Conclusion

- il existe un intérêt des chercheurs IN2P3 qui précède le projet QC2I
- le projet QC2I offre un cadre « officiel » à la participation des agents ITA (avec des ETP déclarés dans NSIP)
- CEA et ses partenaires CNRS sont déjà présents dans la recherche des technologies quantiques
- IN2P3 récupère un retard, après l'effort sur les grandes masses de données et le cloud, avec le revirement de l'apprentissage automatique
- IN2P3 peut occuper une place d'utilisateur avancé dans les technos QC, car il a tous les atouts en compétences théoriques et les experts capables d'assimiler ces nouveaux outils

Eniac ~1950



IBM ~2020

