



**NUCLÉAIRE
& PARTICULES**

Institut national de physique nucléaire
et de physique des particules
IN2P3

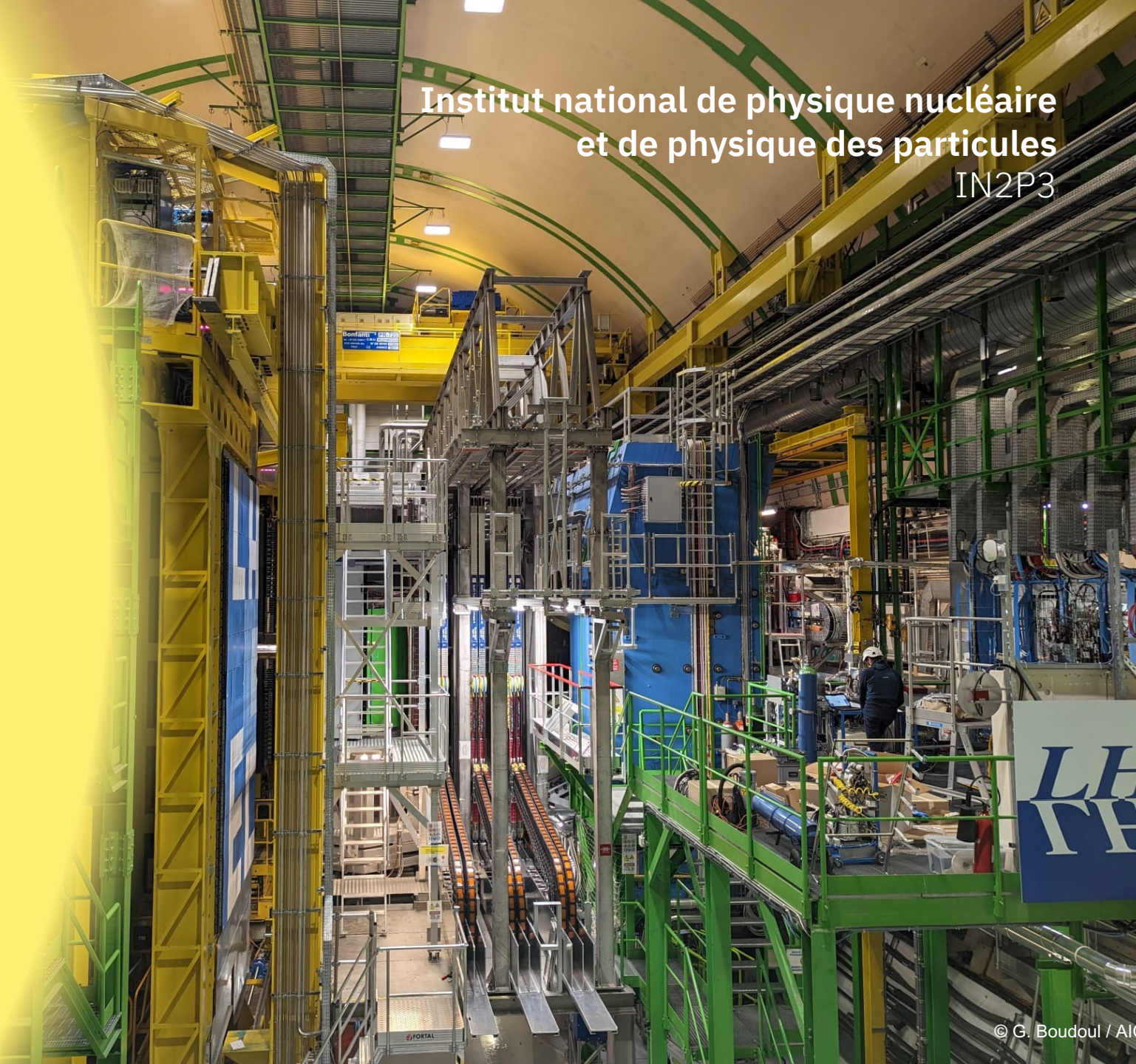
CSI: LHCb

Projets de jouvence pour HL-LHC

Laurent Vacavant

DAS – Physique des particules

→ 13/02/2025



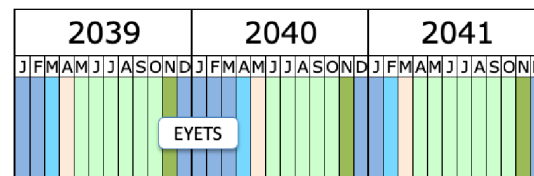
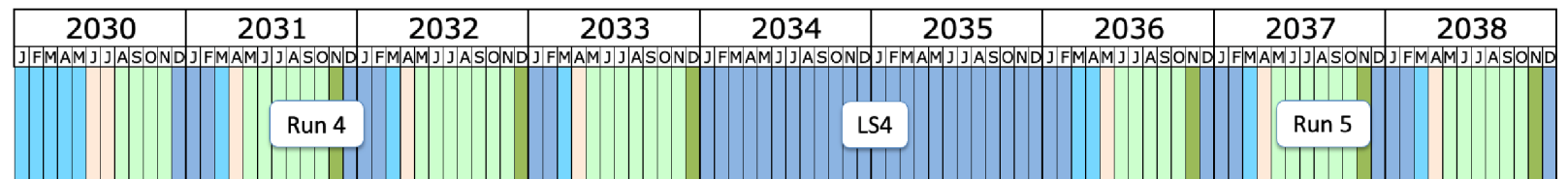
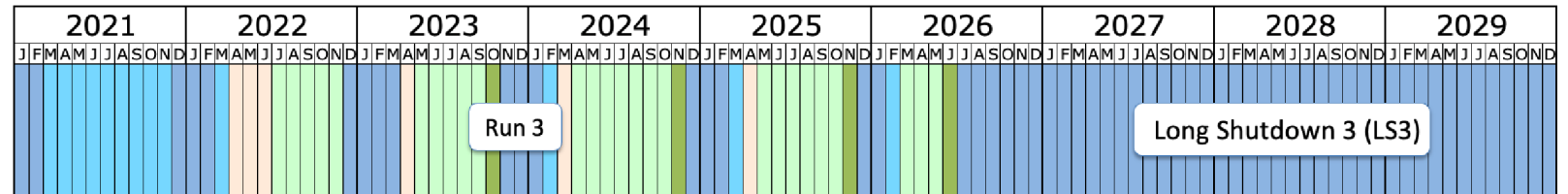
Introduction: calendrier (HL-)LHC

HL-LHC et les jouvences

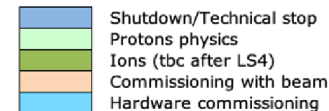
- **Projet HL-LHC: issu de ESPP 2013, lancé en 2014, entériné en 2016**
- **À l'origine: jouvences de Phase 2 (installées pendant LS3) seulement pour ATLAS et CMS**
- **ESPP 2020: recommandation d'exploiter pleinement HL-LHC, y compris pour les saveurs / LHCb**
- **Inclus aussi dans la feuille de route IN2P3 depuis**
- **Jouvences de Phase 1 pour LHCb complétées pendant LS2**
 - forte contribution IN2P3 (engagement M&S MoU 2014: 5,3MCHF)
 - excellentes performances en 2024: 11 fb⁻¹ collectés, soit un total de environ 20 fb⁻¹
 - objectif de 50 fb⁻¹ à la fin du Run 4

Le nouveau (sept 2024) calendrier LHC & HL-LHC:

- **Extension du Run 3 et du LS3**
- **Report du LS3 et du Run 4**
- **Suppression du LS5: arrêt court**
- **À noter que l'exploitation de 2039 à 2041 n'est pas encore approuvée**



Last update: September 24

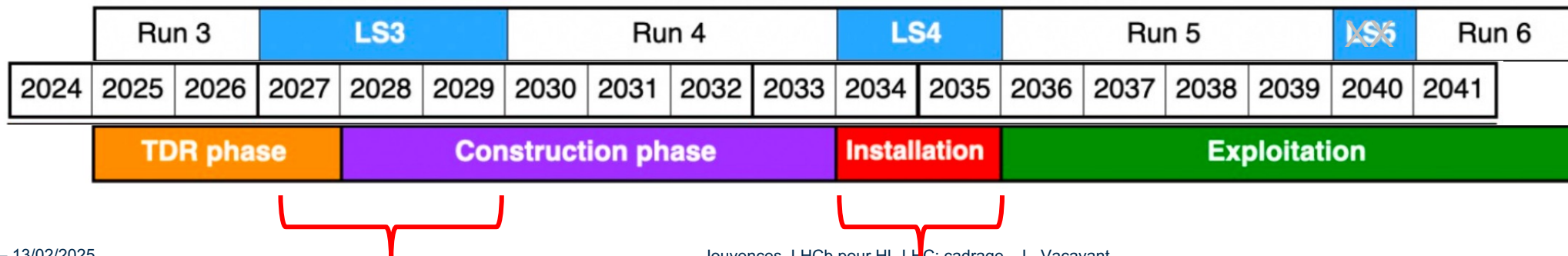


- Shift of LS4
- LS5 to EYETS

Jouvences de Phase 2 pour LHCb

Objectif: 300 fb^{-1} (opération à $1.5 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

- **LHCb et l'IN2P3:**
 - cas général de physique clair et soutenu fortement par l'institut
 - IN2P3 7% de LHCb: communauté dynamique, visible, investie
- **Travail de longue date dans la collaboration:**
 - expression d'intérêt (LHCC-2017-003)
 - potentiel de physique (LHCC-2018-027)
 - TDR cadre (LHCC-2021-022), approuvé par le LHCC en mars 2022
 - document de cadrage (*scoping document*, LHCC-2024-010), soumis en 2024 présentant notamment trois scénarios d'ambitions pour ces jouvences, avec des coûts (CORE) estimés entre 125MCHF et 182MCHF
- **Le CERN souhaite finaliser le périmètre et le tour de table financier en 2025**
- **À noter que ces jouvences de Phase 2 sont en deux temps:**
 - des travaux préparatoires et de consolidation à installer pendant LS3 pour le Run 4
 - les jouvences U2 à proprement parler, à installer pendant LS4 pour le Run 5+



Processus à l'IN2P3

Instruction du projet de jouvences LHCb

- **Interactions soutenues et de longue date entre LHCb-FR et la direction de l'institut**
 - document préparatoire et expressions d'intérêts (22/10/2020)
 - lettre d'intention, avec estimation des besoins en spécialistes et RH techniques (01/03/2022)
 - intérêts technologiques des jouvences proposées (30/05/2022)
 - proposition technique (05/02/2024)
- **Plusieurs échanges avec le management de l'expérience**
- **Information régulière des DUs: EAP, CDU, réunions ad hoc** (13/07/2023, 19/12/2023, 19/11/2024 (reporté))
- **Travaux de R&D soutenus par l'institut via 2 projets** (indépendants du MP LHCb)
 - *LHCb-ECAL2* (P. Robbe, IJCLab, LPCA): ASIC et chaîne électronique, 20ps
 - *PCIe400* (J. Langouët, CPPM, IJCLab, LAPP, LPCC, LP2iB): acquisition haut flux 400Gb/s
 - engagement financier de 244k€ sur 3+1 ans
- **Première saisine du CSI sur le sujet en février 2023**
 - Etude préliminaire pour considérer la préparation d'une demande financière auprès du HC-TGIR
 - Agenda: <https://indico.in2p3.fr/event/29225/>
 - Rapport: [ici](#)
 - La direction a suivi les recommandations du rapport: soutien à la R&D en attendant la consolidation du projet, priorisation sur 1) la calorimétrie et 2) acquisition de données et analyses temps réel
- **Nouvelle saisie du CSI aujourd'hui**
 - Réexaminer la situation, au vu des avancées et du contexte général
- **Étude des jouvences intermédiaires nécessaires pendant LS3 (pour le Run 4):** planche suivante

Aparté: processus décisionnel pour LS3

Engagement à court terme nécessaire (+1 an maintenant)

- **Un premier volant de jouvences doit être réalisé pendant LS3 et pas LS4**
 - a) fin d'opérabilité de certains éléments: *le cas des modules centraux du ECAL et de leur électronique*
 - b) travail préparatoire pour un déploiement efficace pendant LS4: *mécanique du ECAL*
 - c) banc d'essai pour l'évolution technologique nécessaire pour LS4: *évolution des cartes acquisition [aussi a)], RTA*
- **Une revue de décision de lancement des ces jouvences a été conduite**
 - revue faite les 16-17/09/2024
 - livrables considérés: 110 cartes FEB ECAL + O(100) cartes PCIe400 + temps mécanique avec le CERN
 - budget M&S approximatif: 0,6M€ + 0,3M€ + 0
 - estimation FTE: 25 + 17 + ??
- **Conclusions et recommandations du comité de revue**
 - délivrées le 28/09/2024, communiquées au projet, à la direction et aux DUs/DTs des labos
 - communication privée au groupe de travail du CSI
- **Décisions exécutives suites aux recommandations**
 - communication au projet et aux directions des laboratoires initialement prévue le 19/11/2024
 - différée jusqu'à nouvel ordre compte-tenu des difficultés du moment (manque de visibilité sur le budget)
 - **→ pour le moment les activités continuent et restent financées via les MP de R&D**
 - révision prochaine compte-tenu des « progrès » sur le budget
 - NB: le nouveau calendrier LHC est compatible avec ce délai

Questions au CSI

Revisite des questions formulées en 2023

- **Quel est le retour scientifique attendu de HL-LHCb ? À quel point le retour scientifique de HL-LHCb sera-t-il aligné avec les recommandations des trois Science Drivers “Study matter-antimatter asymmetry and flavor transitions”, “Pursue searches for unknown particles and interactions”, “Understand the structure and the origin of the properties of hadrons” (cf. définitions en Annexe 1) ?**
- **Quelles sont les principales spécificités (points forts/faibles) de la contribution de l’institut dans LHCb ? Quelles sont les principales spécificités (points forts/faibles) de la contribution envisagée de l’institut dans HL-LHCb ?**
- **L’engagement des équipes dans le projet est-il pertinent ? Est-il suffisant pour atteindre les objectifs affichés ? Permet-il d’escompter un retour scientifique fort ?**

Questions au CSI

Questions supplémentaires

- **Ampleur des jouvences envisagées par LHCb :**

- Dans quelle mesure chacun des trois scénarios présentés dans le *scoping document* offre-t-il un retour scientifique adéquat par rapport à son ampleur/coût ?
- Quelle est la vraisemblance d'une complétion en temps (donc avant 2036) de la construction et de l'installation de ces jouvences, compte-tenu du nouveau planning LHC ?
- L'ampleur des jouvences est-elle commensurée avec la durée d'exploitation scientifique envisagée (6 ans y compris la mise en service, ou 3 ans si l'extension du LHC pour 2038-2041 n'est pas approuvée) ?

- **Jouvences envisagées par LHCb-France :**

- Les contributions envisagées répondent-elles aux deux exigences formulées par la direction dès 2020, à savoir : 1) un effort ciblé et focalisé pourtant sur idéalement une et au maximum deux contributions, et pour lequel l'IN2P3 aurait un rôle leader et une grande visibilité 2) des avancées technologiques de nature à mieux armer l'institut pour les défis futurs, notamment pour le post-LHC. Quelle est la priorisation à faire parmi les contributions proposées au vu de ces deux critères, en tenant compte des évolutions depuis la dernière évaluation ?
- Quelle est la vraisemblance d'une complétion en temps (donc avant 2036) de la construction et de l'installation de ces contributions ? Quel est le niveau de consolidation des besoins estimés concernant les ressources humaines, y compris pour l'installation au CERN ?
- L'ampleur des contributions envisagées et leur calendrier de mise en œuvre puis d'exploitation sont-ils compatibles avec une participation forte de la communauté française des saveurs à la définition d'un projet post-LHC, notamment dans le cas de FCCee ?

Annexe: Science Drivers (1/3)

Cf. document Prospectives <https://hal.in2p3.fr/in2p3-04056277v1>

Study matter-antimatter asymmetry and flavor transitions

Understanding the organizing principle of fermion masses and mixings encoded in their Yukawa couplings is an open question directly connected to the Higgs sector. The apparent absence of strong CP violation in the quark and neutrino sectors leaves the phase of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa matrix as the unique source of CP violation in the SM. Extra sources of CP violation are therefore required to explain the matter-antimatter asymmetry of our Universe. Precision measurements in the flavor sector are thus formidable tools to probe BSM physics. General experiments are in progress to study b- and c-hadrons, and tau leptons, aiming at improving measurements by at least one order of magnitude in precision during the next decade. A portfolio of smaller experiments, each dedicated to a particular channel, are also in preparation to complete this panorama, especially in the kaon and muon sectors. Solving the flavor puzzle of the SM is of crucial importance and requires to encompass both the quark sector, the charged lepton sector and the neutrino sector. It also requires essential theory inputs in the coming years, in particular on precision calculations, such as those carried out in Lattice QCD.

Annexe: Science Drivers (2/3)

Cf. document Prospectives <https://hal.in2p3.fr/in2p3-04056277v1>

Pursue searches for unknown particles and interactions

Measurements of numerous observables have confirmed the validity of the SM with astonishing precision. However, there is clear experimental evidence that physics beyond the SM is needed, in particular to account for neutrino oscillations, the baryon asymmetry of the Universe and the presence of dark matter. Likewise, new physics is also necessary to explain certain theoretical issues and observed patterns in the SM parameters, such as the enigma of the scalar potential and the hierarchy problem, the gauge-coupling unification, strong CP-violation, or the flavor hierarchies in fermion masses and mixings. BSM constructions are also necessary to solve further theoretical puzzles such as the naturalness of the theory, and the quest for grand unification of all the forces. Theoretical developments are essential to answer these questions and seek to establish links with cosmology and astrophysics.

The search for the “known unknown” is and has always been at the very heart of Nuclear, Particle and Astroparticle physics, and it requires a very broad approach, both concerning experimental and theoretical aspects. Pursuing the exploration of the energy frontier is one of the main drivers of the field. Direct searches for new particles are culminating since the beginning of the LHC era. The physics behind the very high-energy Universe remains elusive, as does the nature of cosmic dark matter and dark energy. The quantum contribution of new physics on precision observables, which offers an indirect way to test the presence of BSM physics, is also being pursued by many experiments, in particular at B-hadrons factories. Measurements at the highest precision allows to test BSM scenarios featuring ultra-low couplings between SM and new physics. Moreover, they allow testing the presence of new physics over a wide range of energy scales, from very low energies at which feebly-coupling new physics is not always excluded, up to energies close to the PeV scale. Experiments aiming at improving the measurements of the muon anomalous-magnetic moment and of electric dipole moments are strategic in this aspect. Finally, testing the unknown, such as the measurement of the free-fall acceleration of antimatter under gravity, should be pursued since it can lead to striking discoveries.

Annexe: Science Drivers (3/3)

Cf. document Prospectives <https://hal.in2p3.fr/in2p3-04056277v1>

Understand the structure and the origin of the properties of hadrons

A major unresolved question of physics is the understanding of the strong force at low energies, which confines quarks and gluons within color-singlet hadrons, and of the emergence of hadron properties from combinations of quarks and gluons. The discovery of new types of hadrons, especially of exotic states such as tetraquarks and pentaquarks, predicted by QCD, and the subsequent measurements of their properties (mass, spin, parity), are important tests of QCD interactions in the non-perturbative regime. The studies of the structure and properties of hadrons, in particular of nucleons, with electron scattering and deep-inelastic scattering experiments allow us to carry out tomography of nucleons by extracting form factors, parton distribution functions, and generalized parton distributions. Current experiments are paving the way for future precision measurements which will start in the next decade. These studies may allow to handle and answer very fundamental questions, such as the origin of the mass and of the spin of nucleons, or the existence of gluon-density saturation at high energies, known as color glass condensate.