



www.cnrs.fr

Institut national de physique nucléaire
et de physique des particules



Physique hadronique / infrastructures situation en Europe et au niveau international

Barbara Erazmus

CONSEIL SCIENTIFIQUE DE L'INSTITUT NATIONAL DE PHYSIQUE NUCLEAIRE ET DE PHYSIQUE DES
PARTICULES (IN2P3)

Paris, 08/02/2018



Physique Hadronique

- Infrastructures et projets en cours en Europe et aux Etats-Unis
- Perspectives
- Programme Européen HORIZON 2020



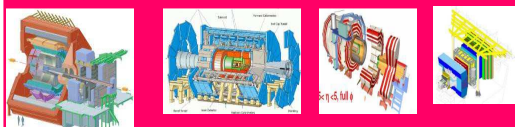
Where are HI collisions studied ?

Complementary programs

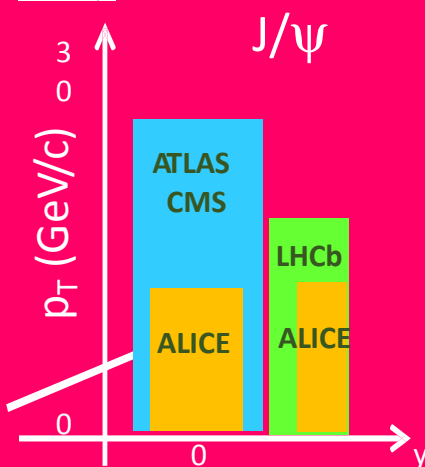
R. Arnaldi, EPS Venice

RHIC experiments explore several collision systems, scanning in energy

All **LHC** experiments have a HI program



Complementary results due to different kinematic coverages e.g. for J/ψ



Facility	Exp.	System	$\sqrt{s_{NN}}$ (TeV)
SPS	NA50, 60,44, 57,49...	PbPb, InIn	0.017
		p-A	0.017,0.029
RHIC	PHENIX STAR	AuAu, CuCu, CuAu, UU	0.039 – 0.2
		p-A, d-Au	0.2
		pp	0.2-0.5
LHC	ALICE ATLAS CMS LHCb	PbPb	2.76, 5.02
		pPb	5.02, 8.16
		pp	2.76, 5, 7, 8, 13

* Run2 data taking





ALICE

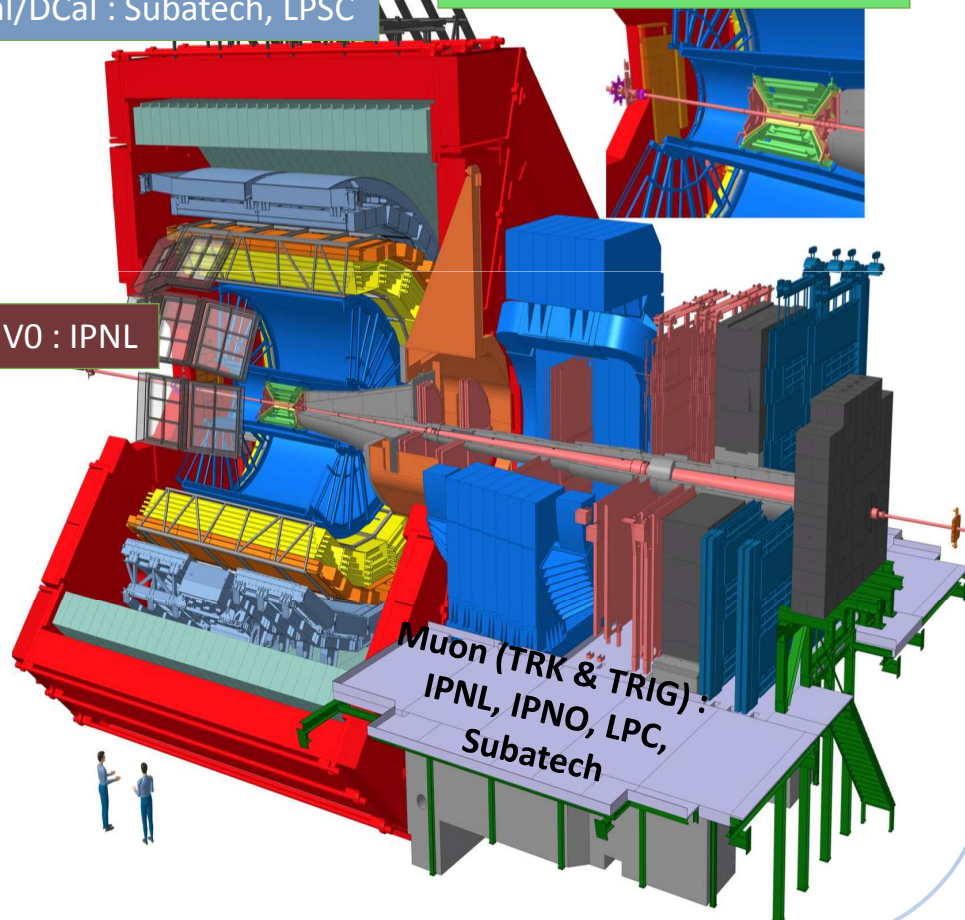
Construction & exploitation (RUN2)

EMCal/DCal : Subatech, LPSC

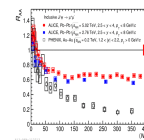
Inner Tracking System : IPHC

VO : IPNL

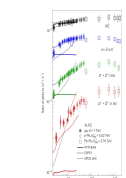
Muon (TRK & TRIG) :
IPNL, IPNO, LPC,
Subatech



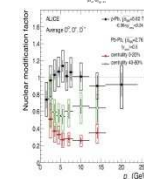
Physique



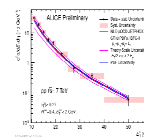
Quarkonia
(IPNL, IPNO, LPC, Subatech)



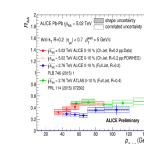
Etrangeté
(IPHC)



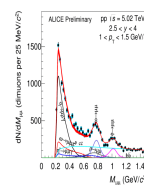
Saveurs Lourdes
(IPHC, LPC, IPNO)



Photons, mésons neutres
(LPSC, Subatech)



Jets
(LPSC, Subatech)

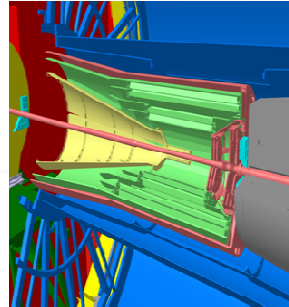


Mésons vecteurs
(IPNL)



ALICE

Upgrade (RUN3)

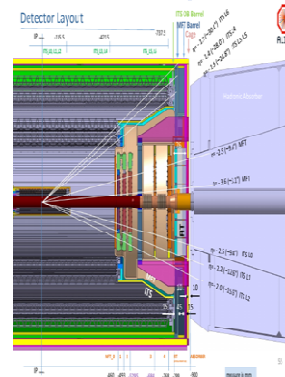
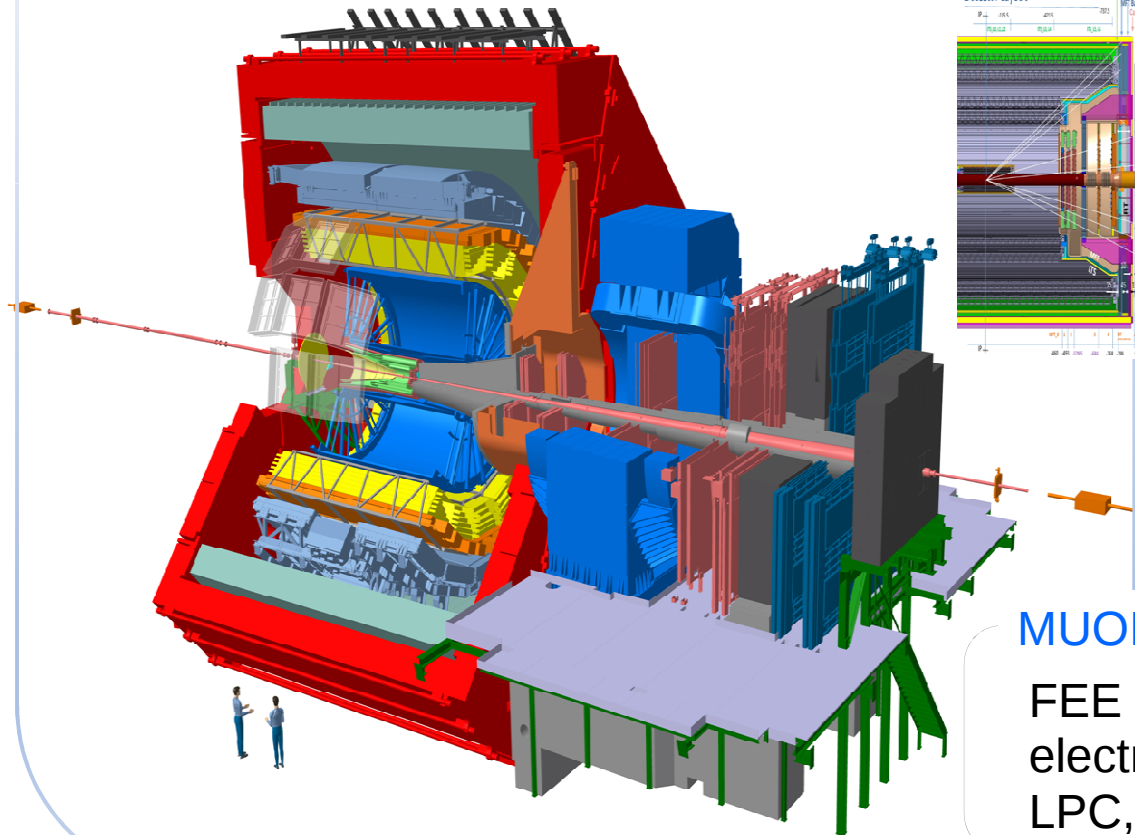


ITS

hardware &
tracking/phys
performance
(IPHC, LPSC)

Common

RCU firmware
(LPSC)



MFT

PL, hardware & tracking/phys
performance
(IPNL, IPNO, LPC, Subatech)

MUON

FEE & RO
electronics (IPNO,
LPC, Subatech)

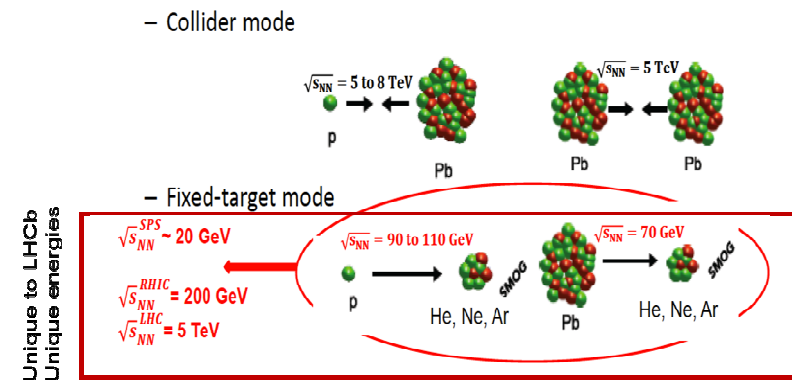
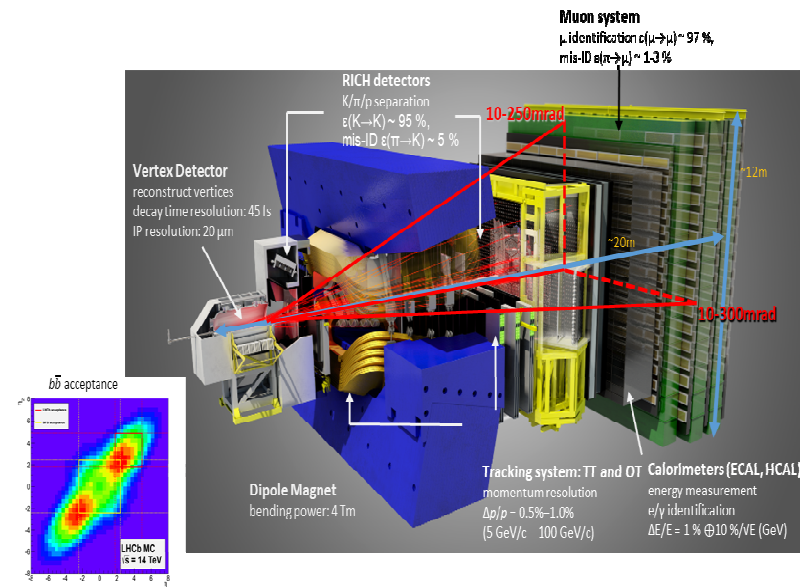
CMS Ions Lourds

- **Analyses dont beaucoup de « first », par ordre chronologique :**
 1. Bosons Z et W
 2. Bottomonia et charmonia
 3. Jets (de b)
- **Amélioration des performances en ions lourds :**
 - Muons, en particulier non-prompts (*regional and iterative tracking*)
 - Tracking, en particulier déplacé (BDT, réponse b-jets similaire à pp)
 - Triggers : menu dimuons, nouveaux triggers pour c- and b-jets
- **... activités envisagées**
 - Exploitation des collisions d'ions lourds pour le run 2, puis 3, puis 4
 - Raffinement des mesures passées : certains signaux manquants de stat (ψ' , Y''' , b-jets...), flot des Y, etc.
 - Plein d'idées nouvelles : Recherche de hadrons « exotiques » (Bc, X(3872)...) possiblement surgénérés, premiers tops en PbPb...
 - Exploitation de HGCal pour les ions lourds
 - Projet de valorisation financé : jeu vidéo sur la physique des particules



LHCb and Heavy Ions

- Initiated in 2015 with main contributions from IN2P3 physicists
- Main goal is to study heavy flavour production in the different collision systems available with LHCb, in particular with the fixed target mode which is unique at the LHC
- The detector has very good performances for the study of b and c hadron properties in the forward region, for low multiplicities (pp, pPb and fixed target with p or Pb beams)
- However study of PbPb collisions is much more difficult because of the high multiplicities: may be improved in the future LHCb upgrades



$$\text{LHCb rapidity } 2.5 < y_{\text{LHCb}} < 4.5 \Rightarrow \begin{cases} 7 \text{ TeV beam: } -2.3 < y_{\text{LHCb}}^* < -0.3 \\ 2.75 \text{ TeV beam: } -1.8 < y_{\text{LHCb}}^* < 0.2 \end{cases}$$

LHC heavy-ion runs, past & approved future + species choices according to ALICE 2012 Lol (some variations possible)

LHC will have done 12 ~one month heavy ion runs between 2010 and 2030 (LS4). 5/12 done already.



Future Circular Collider Study Status update from FCC week Berlin

Michael Benedikt, CERN, for the FCC
Collaboration

PECFA, CERN, 17 November 2017

LH

CHE-
LHC

gratefully acknowledging input from FCC coordination

group,

global design study team and all contributors

SP
S

FC
C



<http://cern.ch/fcc>

Work supported by the **European Commission** under the **HORIZON 2020** projects

EuroCirCol, grant agreement 654305; **EASITrain**, grant agreement no. 764879; **ARIES**, grant agreement 730871; and **E-JADE**, contract no. 645479



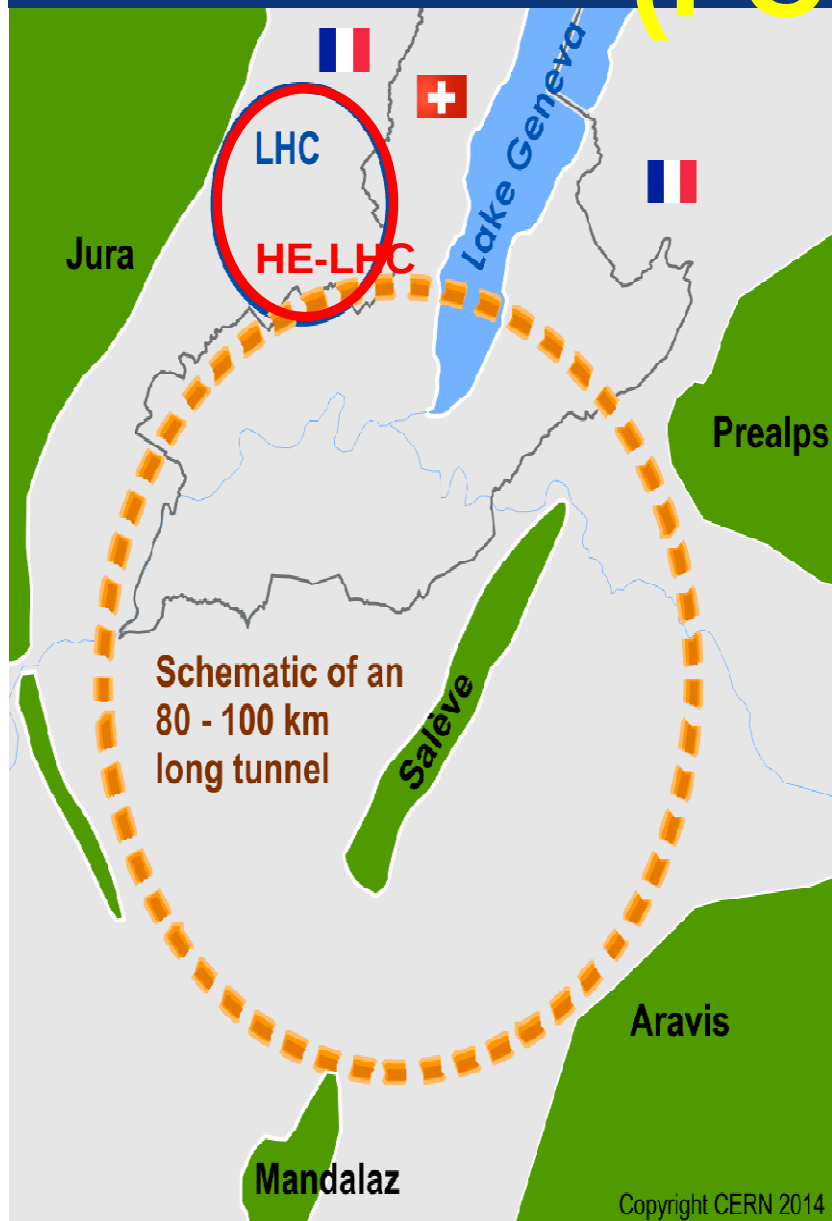
European
Commission

Horizon 2020
European Union funding
for Research & Innovation

photo: J. Wenninger

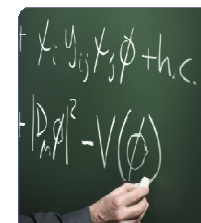


Future Circular Collider (FCC) Study

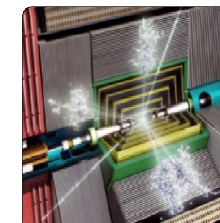


International FCC collaboration (CERN as host lab) to study:

- ***pp*-collider (*FCC-hh*) 100 TeV**
→ main emphasis, defining infrastructure requirements
- **~100 km tunnel infrastructure** in Geneva area, site specific
- ***e⁺e⁻* collider (*FCC-ee*)**, as potential first step



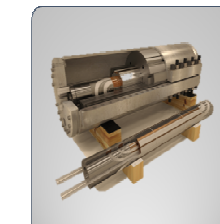
Physics Cases



Experiments



Collider Designs



R&D Programs



Infrastructures



Cost Estimates



FCC physics

- **First FCC physics workshop at CERN in January 2017 (>200 participants)**
- **Second FCC physics workshop at CERN: 15-19 January 2018, CERN**

Physics at the FCC-hh

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/LHCPhysics/FutureHadroncollider>

M. Mangano (ed.)

- **Volume 1: SM processes** (238 pages)
- **Volume 2: Higgs and EW symmetry breaking studies** (175 pages)
- **Volume 3: beyond the Standard Model phenomena** (189 pages)
- **Volume 4: physics with heavy ions** (56 pages)
- **Volume 5: physics opportunities with the FCC-hh injectors** (14 pages)

**published as CERN yellow report
CERN-2017-003-M**

Physics at FCC-ee

P. Janot et al.

**“First Look at the Physics Case of TLEP”, JHEP
1401 (2014) 164,**

<https://link.springer.com/article/10.1007%2FJHEP01%282014%29164>

<https://arxiv.org/abs/1308.6176>



Timeline of the ESPP update

The strategy update is prepared by the European Strategy Group (ESG)
The Physics Preparatory Group (PPG) provides scientific input
(includes ECFA Chair and 4 members proposed by ECFA)

September 2017: Strategy Secretariat appointed by Council

Chairperson: Halina Abramowicz (→ also chair of ESG and PPG)

SPC Chair: K. Ellis

ECFA Chair: J. D'Hondt

LDG* Chair: L. Rivkin

*LDG=Laboratory Directors Group

September 2018: appointment of PPG and ESG by Council → formal start of the ESPP

2019: broad consultation with the community, including 1-2 open meetings

Common session ECFA - EPS HEPP in Ghent (July 2019)

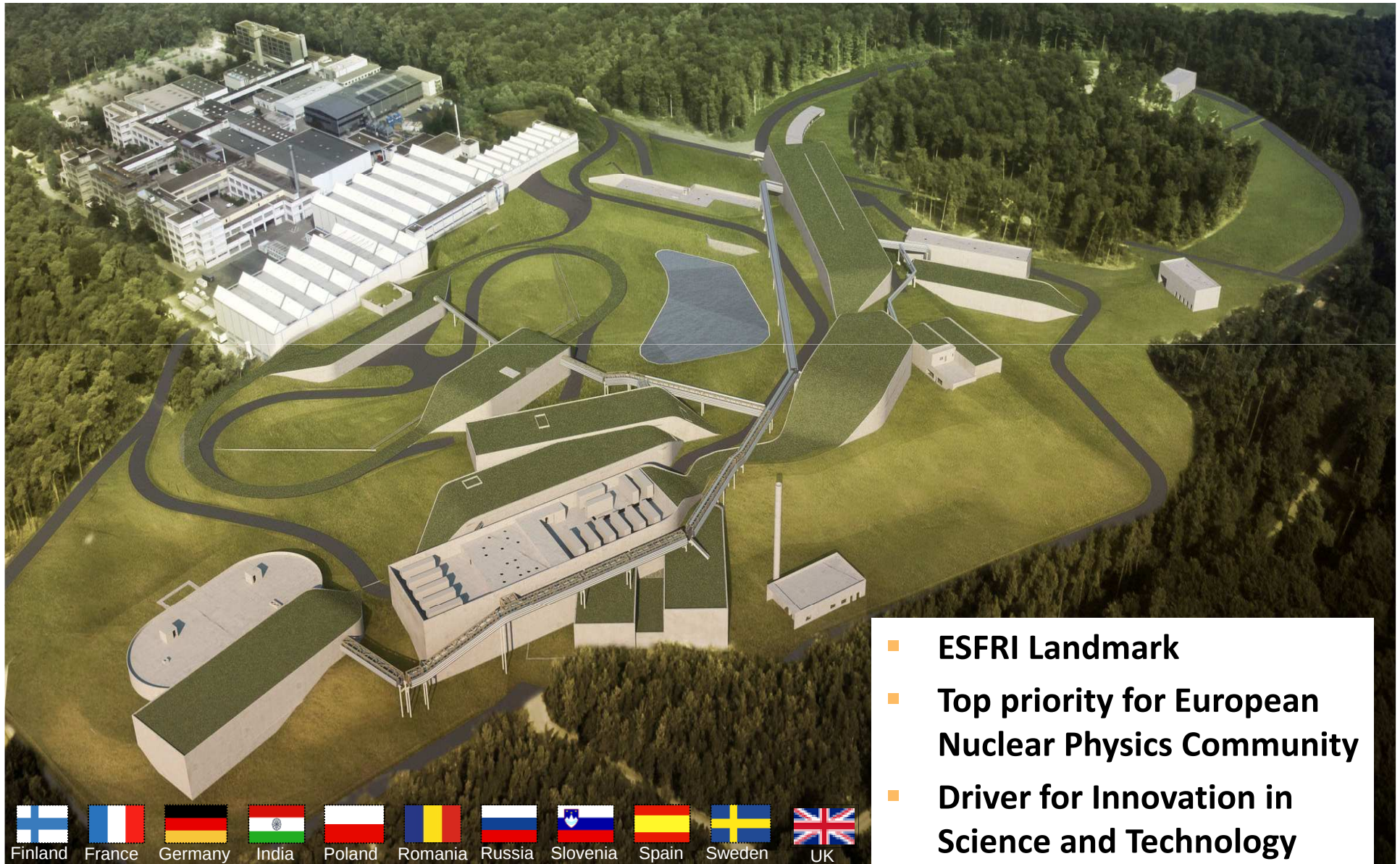
May 2020: approval of the ESPP update by Council

Scientific input (e.g. design studies for future projects, results from current projects)
to be submitted by end 2018.

Ref Plenary ECFA Paola Gianotti, CERN 16/11/2017

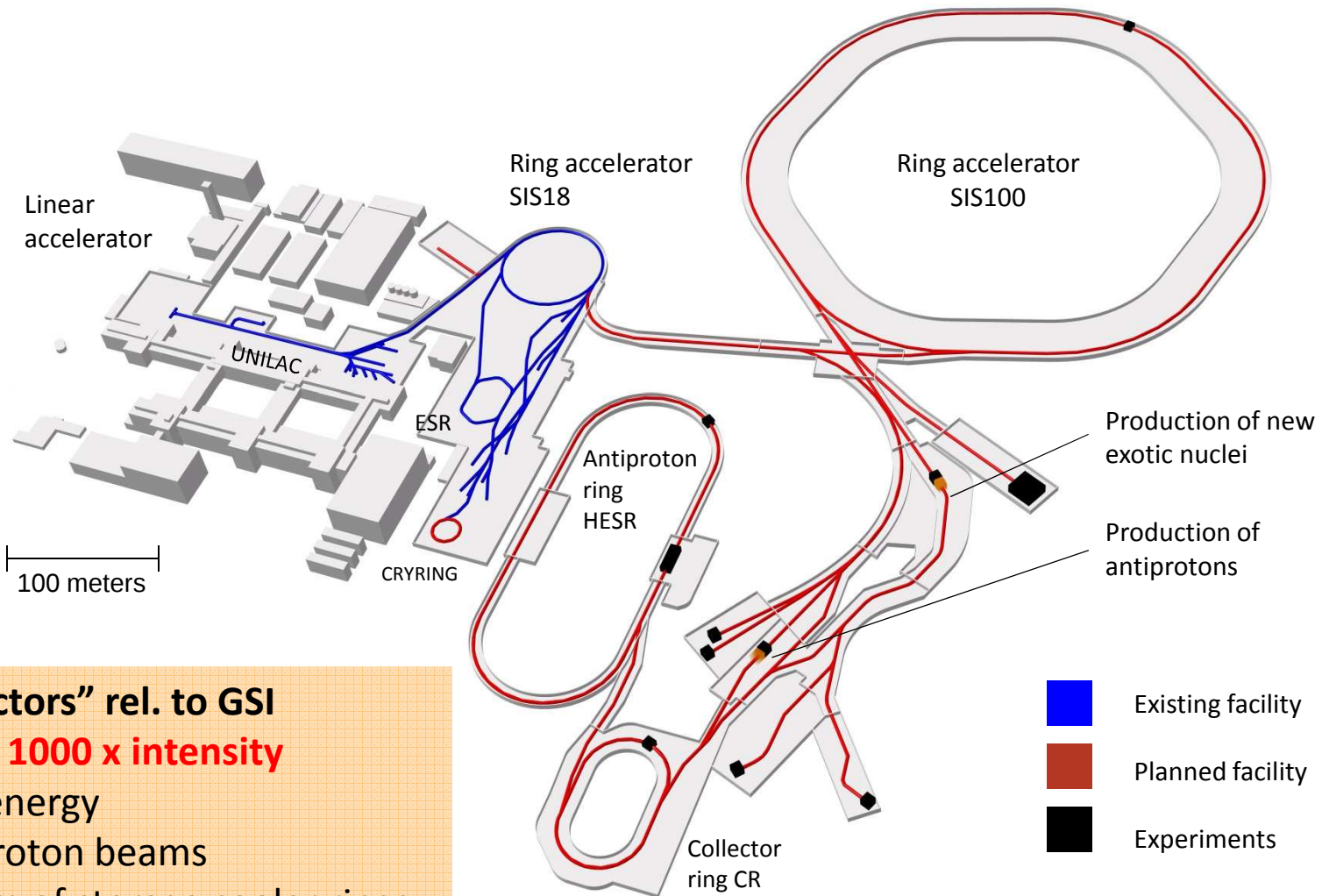
FAIR: Facility for Antiproton and Ion Research

– A World-Wide Unique Accelerator Facility



- **ESFRI Landmark**
- **Top priority for European Nuclear Physics Community**
- **Driver for Innovation in Science and Technology**

FAIR – The Facility

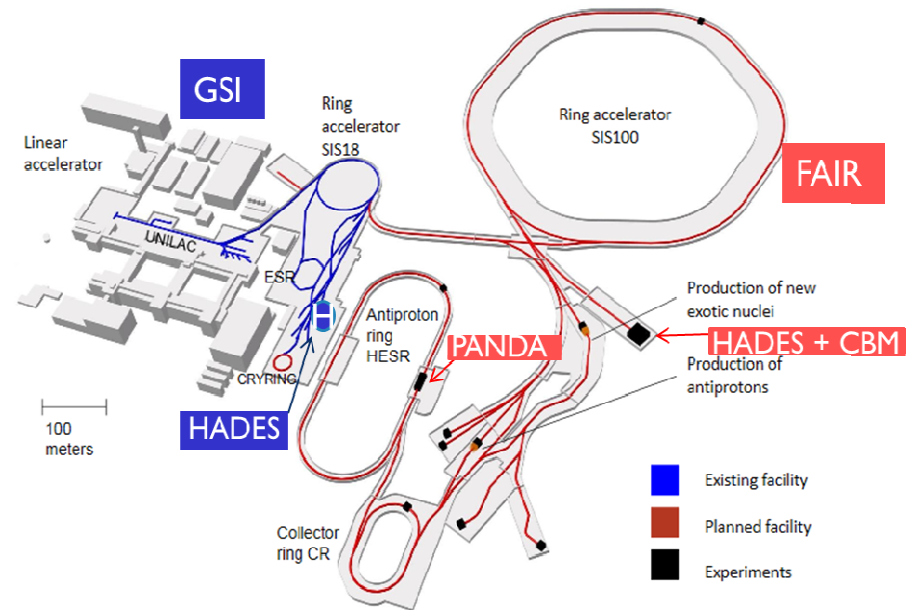
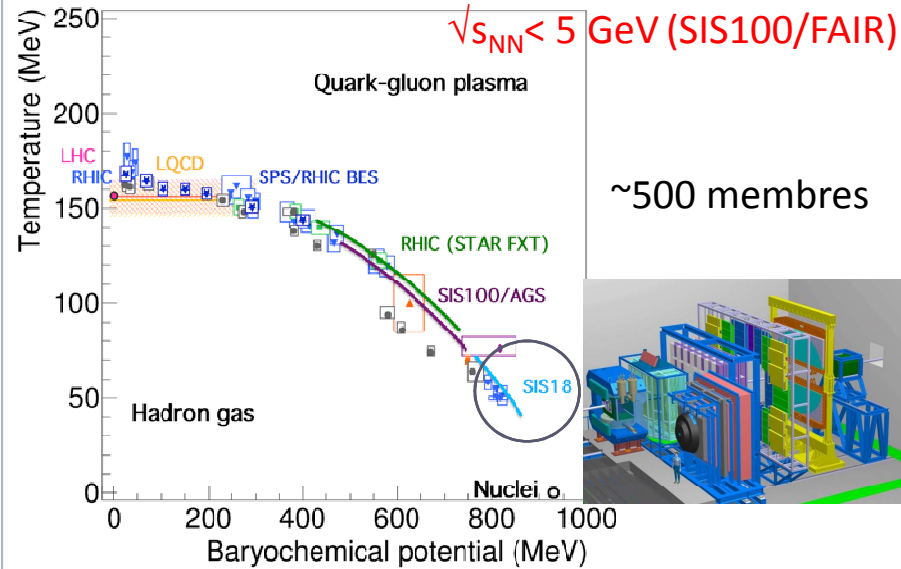


“Gain factors” rel. to GSI

- **100 – 1000 x intensity**
- 10 x energy
- antiproton beams
- system of storage cooler rings

Etudes de QCD à GSI/FAIR

CBM: **matière hadronique:**



HADES : **matière hadronique**

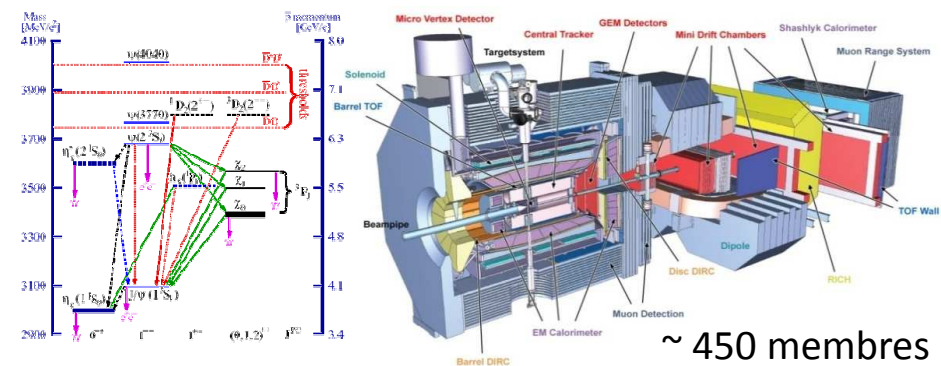
$\sqrt{s_{NN}} < 2.4$ GeV (SIS18/GSI)
 $\sqrt{s_{NN}} < 3$ GeV/c² (SIS100/FAIR)
 + résonances baryoniques et
 hyperons dans le vide
 π 0.7-1.7 GeV/c;
 p $E < 4.5$ GeV (SIS18/GSI)
 p : $E < 29$ GeV (SIS100/FAIR)



~120 membres

PANDA: **spectroscopie des hadrons**

dans le domaine de l'étrangeté et du charme
 Réactions $p\bar{p}$ (HESR/FAIR) $E < 14$ GeV



HADES, CBM et PANDA: activités en cours et perspectives

- **HADES: IPNO**

- Construction de 6 grandes chambres à dérive (3.2 m²) (<2006)
- Matière hadronique et **réactions élémentaires: études de transitions électromagnétiques baryoniques**
- Management
- Construction en cours d'un détecteur de tubes-paille
- Programme sur SIS18 (GSI) (jusque ~ 2022), puis sur SIS100 (FAIR), **intérêt de l'IPNO pour études de hypérons.**

Synergies au niveau scientifique et technique avec **CBM** (matière nucléaire) et **PANDA** (hypérons) (MoUs en commun)

- **CBM: IPHC**

- Depuis 2003: R&D à l'IPHC sur les capteurs CMOS (principalement sur fonds allemands)
- Projet: construction, tests et validation de trois prototypes MIMOSIS (capteurs CMOS)

- **PANDA: IPNO (et LAL?)**

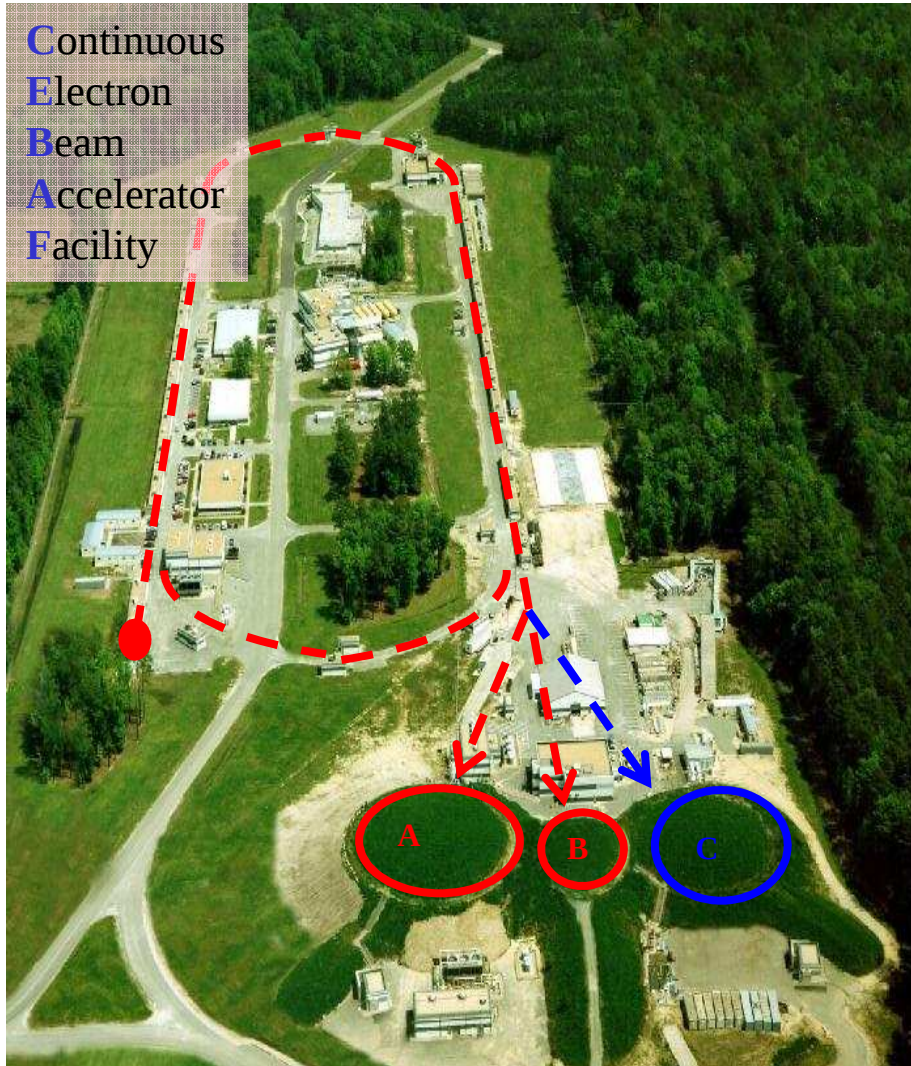
- De 2004 à 2017: études de faisabilité dans le domaine de la structure du nucléon
R&D sur le calorimètre électromagnétique
- Pour PANDA-day1: Synergie avec HADES sur les hypérons (PANDA-Phase0)
- Intérêt récent du LAL : slow control

- Contributions très visibles de l'IN2P3 dans les 3 collaborations
- Renforcer la production scientifique sur HADES pour préparer les expériences de physique hadronique sur FAIR.

Jefferson Lab

(Newport News, VA, USA)

Continuous
Electron
Beam
Accelerator
Facility



- $E_{\text{max}} \sim 6.0 \text{ GeV}$ (**12 GeV depuis 2016**)
- Haute intensité ($I_{\text{max}} \sim 200 \mu\text{A}$), cycle utile $\sim 100\%$
- Haute polarisation du faisceau ($\sim 85\%$)



Hall A : 2
spectromètres
à haute
résolution
 $L \sim 10^{37} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Hall B : CLAS
($\rightarrow$ **CLAS12**)
Grande
acceptance
Etats finaux à
multi-particules
 $L \sim 10^{34}$ (**10^{35}**)
 $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



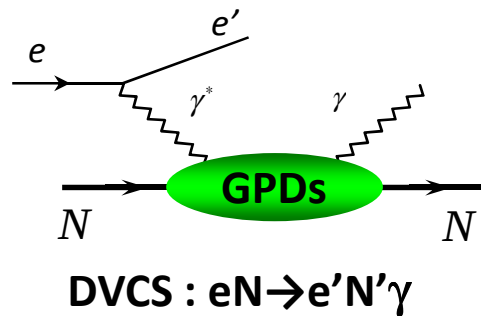
Hall C : 2
spectromètres
(HMS, SOS
 $\rightarrow$ **SHMS**)
 $L \sim 10^{37} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

GPDs à JLab@6 GeV

« **Generalized Parton Distributions** » : Corrélations entre position, impulsion et spin des partons (quarks et gluons) dans le nucléon → **moment angulaire des quarks, tomographie du nucléon,...**

- **Sections efficaces du DVCS sur le proton (CLAS et Hall A) :** tomographie du proton, test de validité du formalisme des GPDs
- **Asymétries de cible polarisée (single et double) du pDVCS:** GPDs polarisées, charge axiale du proton
- **DVCS sur ^4He :** effets du milieu nucléaire sur les GPDs, GPDs des noyaux

Implication directe de l'équipe IPNO dans **tous les aspects** des expériences :
proposition, développement des **détecteurs**, **prise** des données,
analyse, **interprétation** des résultats



Extraction des GPDs des données de CLAS et Hall A
Quarks de valence au centre du nucléon, quarks de la mer à la périphérie.
→ **TOMOGRAPHIE DU PROTON**

JLab@12 GeV : projets techniques et prises de données

Mesures de plusieurs observables pour le DVCS sur le proton et le neutron
→ extraction des 4 GPDs, séparation des GPDs en saveurs des quarks

pDVCS @ Hall A : 1^{ère} expérience de JLab @ 12 GeV, finie 12/2016

Dans toutes ces expériences l'équipe IPNO est **porte-parole** et il y a une **contribution technique de l'IPNO**

Prise de données de **nDVCS @ CLAS12 + CND (2019)**

pDVCS et nDVCS @ CLAS12 + CND, avec cibles polarisées longitudinalement (2020)

pDVCS & π^0 @ Hall C + NPS (2020)
(haute luminosité)

DVCS sur les noyaux – ALERT @ CLAS12 (2021)

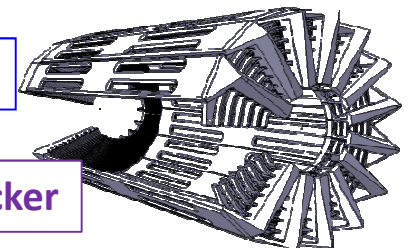
ALERT: A Low Energy Recoil Tracker



NPS: Neutral Particle Spectrometer



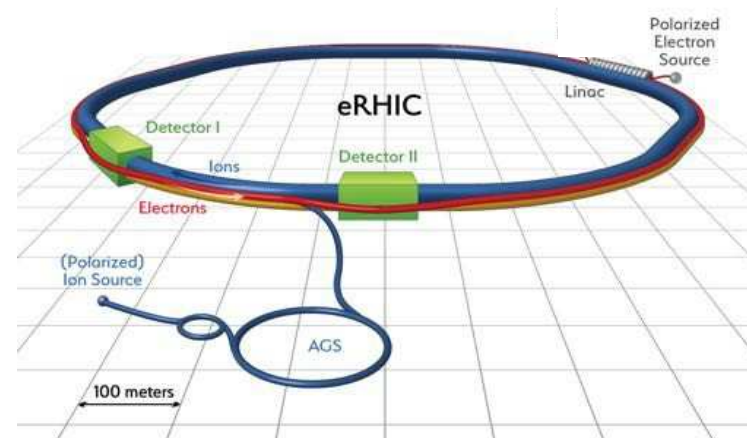
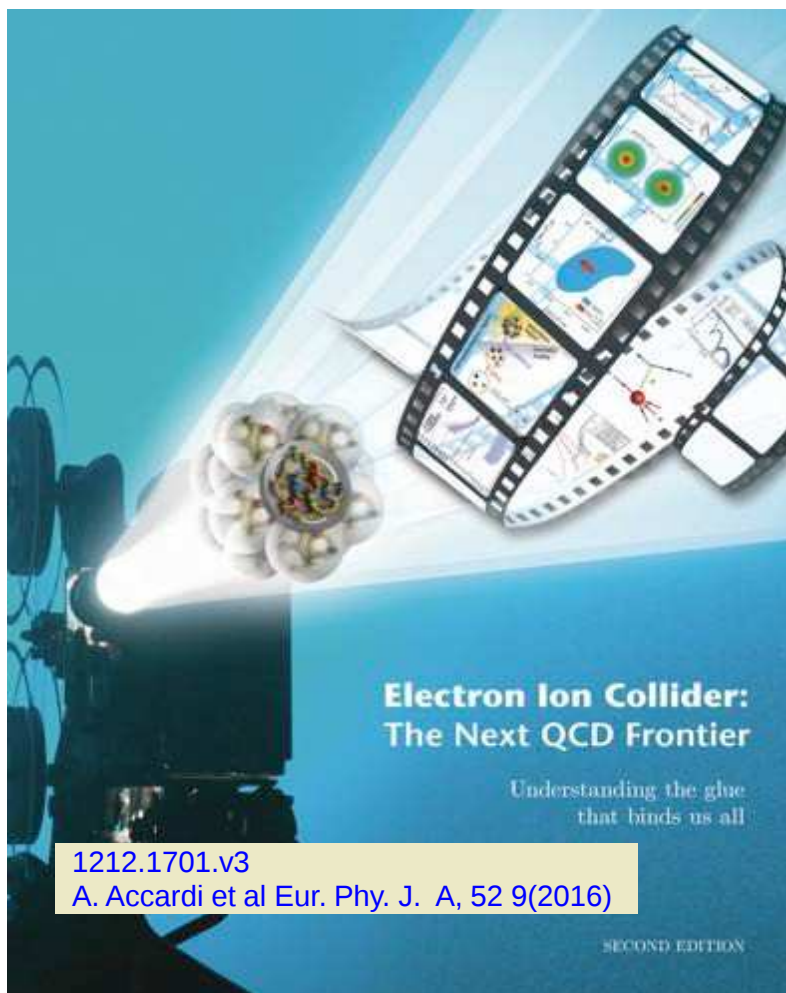
CND: Central Neutron Detector



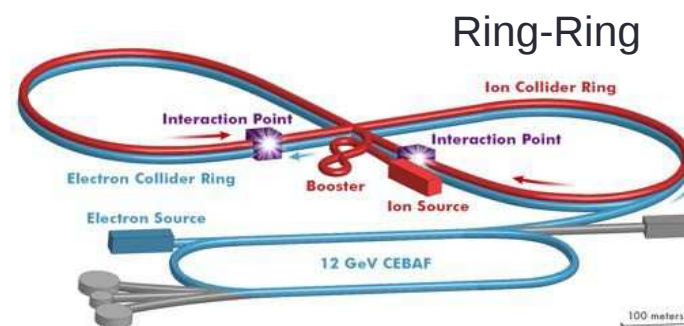
+ études en cours pour le **double DVCS** et **faisceau de positrons**

The Electron Ion Collider

Two options of realization!



Not to scale



Abhay
Deshpande

Path forward for the EIC:

- Science Review by National Academy of Science (& Engineering & Arts) (National Research Council)
 - Committee writing now, expect report **by ~May 2018**
- Positive NAS review will trigger the DOE's CD process
 - CD0 (acceptance of the critical need for science by DOE) FY19
 - EIC-Proposal's Technical & Cost review à FY20 (site selection)(/)
 - CD1 requires site selection
 - **CD3 Major Construction funds available by 2022/23"**
 - Assuming 1.6% sustained increase over inflation of the next several years (Long Range Plan)
 - Consistent with the past 10 years of NP funding increases in the US

*Abhay
Deshpande*

Electron-Ion Collider en France

EIC USERS GROUP MEETING Trieste, Juillet 2017

Forte participation Européenne et soutien DOE

CEA/Irfu impliqué (road map et position permanente)

IPNO envisage de participer au programme du **EIC** :

- **Extension naturelle** du programme de JLab :
des quarks de valence aux quarks de la mer et aux gluons

L'IPNO participe au **développement du « physics case »**, avec études phénoménologiques et simulations :

- Etudes pour l'**hadronisation** et le « **geometrical tagging** » au EIC
- Résultats publiés sur les **2 White Papers** du EIC
- Participation à un « **Laboratory Directed R&D program** » de JLab

Consortium sur la calorimétrie au EIC, crée en 2012 (IPNO en fait partie depuis 2014)



Horizon 2020

- Horizon 2020 ou H2020 est le programme européen pour la recherche et le développement pour la période 2014-2020
- Doté d'un budget de 79 milliards d'euros
- Plusieurs appels
 - H2020-INFRAIA-01-2018-2019

Infrastructures de recherche

Sujet	Budget (million EUR)		Dates limites
	2018	2019	
Lancement : 5 décembre 2017			
INFRAIA-01-2018-2019 (RIA)	101,5		22 mars 2018
Lancement : 14 novembre 2018			
INFRAIA-01-2019-2020 (RIA)		125	20 mars 2019
Budget total indicatif	136,5		



Appel INFRAIA-01-2018-2019. Activités intégrantes pour des communautés avancées

- o Programme de travail 2018-2020
 - Plusieurs sujets : biologie, mathématiques, physique...
 - Physique hadronique
- o Fournir et faciliter l'accès à des infrastructures de recherche clés en Europe pour l'étude des propriétés de la matière nucléaire dans des conditions extrêmes, transformant les avancées de l'expérimentation en physique des hadrons et de nouvelles applications

Il devrait présenter une perspective durable à long terme sur l'intégration des installations pertinentes et des ressources connexes



Projet Hadrons Physics Horizon 2018

- o Budget: 10 M €
- o Appel à lettres d'intention envoyé à 2000 personnes :
 - 52 reçus
 - 27 approuvés
 - 13 rejetés
 - 12 projets fusionnés en 5
- o 32 Work Packages
 - Management
 - Dissémination
 - 7 Infrastructures transnationales CERN, GSI, LNF, COSY, MAMI, ELSA, ECT*
 - 2 Infrastructures virtuelles
 - Activités expérience / théorie / instrumentation
 - 7 Activités de réseautage (NA)
 - 14 Activités de recherche conjointe (JRA)
- o Soutenu par l'IN2P3 et le CEA en France
- o 43 instituts participants



Projet Hadrons Physics Horizon 2018

- **Comité de direction**

- Barbara Erazmus (coordinatrice) : IN2P3/SUBATECH (France)
- Nora Brambilla : TUM (Allemagne)
- David d'Enterria : CERN
- Carlo Guaraldo : INFN (Italie)
- Boris Hippolyte : IN2P3/IPHC (France)
- Tord Johansson : University of Uppsala (Suède)
- Chiara La Tessa : INFN-Tifpa (Italie)
- Frank Maas : UMainz (Allemagne)
- Franck Sabatié : CEA (France)
- Carlos Salgado López : Universidad de Santiago de Compostela (Espagne)
- Víctor de Benito Rubio (chargé de montage de projet) : CNRS/IN2P3



Projet Hadrons Physics Horizon 2018

Liste de Work Packages

Numéro	Acronym	Nom
WP1	MAN	Management
WP2	DIS	Dissémination
WP3	TA1-COSY	Accès transnational à COSY
WP4	TA2-MAMI	Accès transnational à MAMI
WP5	TA3-LNF	Accès transnational à LNF
WP6	TA4-ELSA	Accès transnational à ELSA
WP7	TA5-GSI-FAIR	Accès transnational à GSI-FAIR
WP8	TA6-ECT*	Accès transnational à ECT*
WP9	TA7-CERN	Accès transnational au CERN
WP10	VA1-APPROACHES	Automated Portal For Perturbative Reactions of Complex Hadron Ensembles
WP11	VA2-QCDSoft	A Virtual Access on Nucleon Structure
WP12	NA1-FAIRnet	FAIRnet – Mastering the information challenge for experiments on QCD at FAIR
WP13	NA2-Small-x	Small-x Physics at the Large Hadron Collider and in new Deep-Inelastic Scattering experiments
WP14	NA3-HIJetWG	Inter-experimental, phenomenological and theoretical working group on jets in heavy-ion physics
WP15	NA4-PREN	Proton Radius European Network
WP16	NA5-THEIA	The role of strange Hadrons for the Equation-of-state In compact Astronomical bodies
WP17	NA6-LatticeHadrons	Hadron physics from lattice quantum field theory
WP18	NA7-Chart_QGP	Characterization of the QGP with heavy flavour probes



Projet Hadrons Physics Horizon 2018

Liste de Work Packages

Numéro	Acronym	Nom
WP19	JRA1-HONEXCOMB	Heavy Ion Experimental Combination @ LHC
WP20	JRA2-FTE@LHC	Fixed Target Experiments at the LHC
WP21	JRA3-PRECISION	QCD and Hadronic Structure for Precision Tests of Standard Model
WP22	JRA4-TMD-neXt	3D structure of the nucleon in momentum space: opening the next stage
WP23	JRA5-GPD-ACT	Generalized Parton Distributions
WP24	JRA6-Next-DIS	Challenges for Next-generation DIS facilities
WP25	JRA7-HaSP	Hadron Spectroscopy and Phenomenology
WP26	JRA8-ASTRA	Advanced ultra-fast solid STate detectors for high precision RAdiation spectroscopy
WP27	JRA9-TIIMM	Tracking and Ions Identifications with Minimal Material budget
WP28	JRA10-CryPTA	Cryogenic Polarized Target Applications
WP29	JRA11-CRYOJET	Cryogenically cooled particle streams from nano- to micrometer size for internal targets at accelerators
WP30	JRA12-SPINFORFAIR	SPIN FOR FAIR
WP31	JRA13-P3E	Polarized Electrons, Positrons and Polarimetry
WP32	JRA14-MPGD_HP	Micro Pattern Gaseous Detectors for Hadron Physics



Projet Hadrons Physics Horizon 2018

La France coordonne 9 projets :

- **Access virtuel 1 - Automated Portal For Perturbative Reactions of Complex Hadron Ensembles**
Jean-Philippe Lansberg (IN2P3/IPNO)
- **Accès virtuel 2 – A Virtual Access on Nucleon Structure**
Hervé Moutarde (CEA)
- **NA4 - Proton Radius European Network**
Dominique Marchand (IN2P3/IPNO) / Randolph Pohl (UMainz)
- **NA7 - Characterization of the QGP with heavy flavour probes**
Joerg Aichelin (IN2P3/SUBATECH) / Giuseppe Bruno (INFN)
- **JRA1 - Heavy Ion Experimental Combination @ LHC**
Raphael Granier de Cassagnac (IN2P3/LLR)
- **JRA2 - Fixed Target Experiments at the LHC**
Cynthia Hadjidakis (IN2P3/IPNO) / Pasquale Di Nezza (INFN)
- **JRA5 - Generalized Parton Distributions**
Silvia Niccolai (IN2P3/IPNO) / Kresimir Kumericki (University of Zagreb)
- **JRA6 - Challenges for Next-generation DIS facilities**
Francesco Bossu (CEA) / Daria Sokhan (University of Glasgow)
- **JRA13 - Polarized Electrons, Positrons and Polarimetry**
Eric Voutier (IN2P3/IPNO)



Projet Hadrons Physics Horizon 2018

La France participe à 13 projets :

- **Centre National De La Recherche Scientifique (CNRS)**
 - VA1- Automated Portal For Perturbative Reactions of Complex Hadron Ensembles
 - NA2- Small-x Physics at the Large Hadron Collider and in new Deep-Inelastic Scattering experiments
 - NA4- Proton Radius European Network
 - NA7- Characterization of the QGP with heavy flavor probes
 - JRA2- Fixed Target Experiments at the LHC
 - JRA4- 3D structure of the nucleon in momentum space: opening the next stage
 - JRA5- Generalized Parton Distributions
 - JRA7- Hadron Spectroscopy and Phenomenology
 - JRA9- Tracking and Ions Identifications with Minimal Material budget
 - JRA13- Polarized Electrons, Positrons and Polarimetry
- **Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)**
 - VA2- A Virtual Access on Nucleon Structure
 - NA4- Proton Radius European Network
 - JRA4- 3D structure of the nucleon in momentum space: opening the next stage
 - JRA5- Generalized Parton Distributions
 - JRA6- Challenges for Next-generation DIS facilities
 - JRA14- Micro Pattern Gaseous Detectors for Hadron Physics



Physique Hadronique

- Communauté très large
- Thématiques variées
- Projets scientifiques ambitieux
- Infrastructures de pointe
- Perspectives à long terme
- **Programme structurant en préparation**
 - **Infrastructures Européennes**
 - **MoUs avec des instituts de recherche hors Eu**



MERCI

- Abhay Deshpande, Paolo Giubellino, Rachid Guernan, Michel Guidal, Raphael Granier de Cassagnac, John Jowett, Gines Martinez, Silvia Niccolai, Mathieu Nguyen, Beatrice Ramstein, Patrick Robbe, Franck Sabatié, Yves Schutz
Victor de Benito