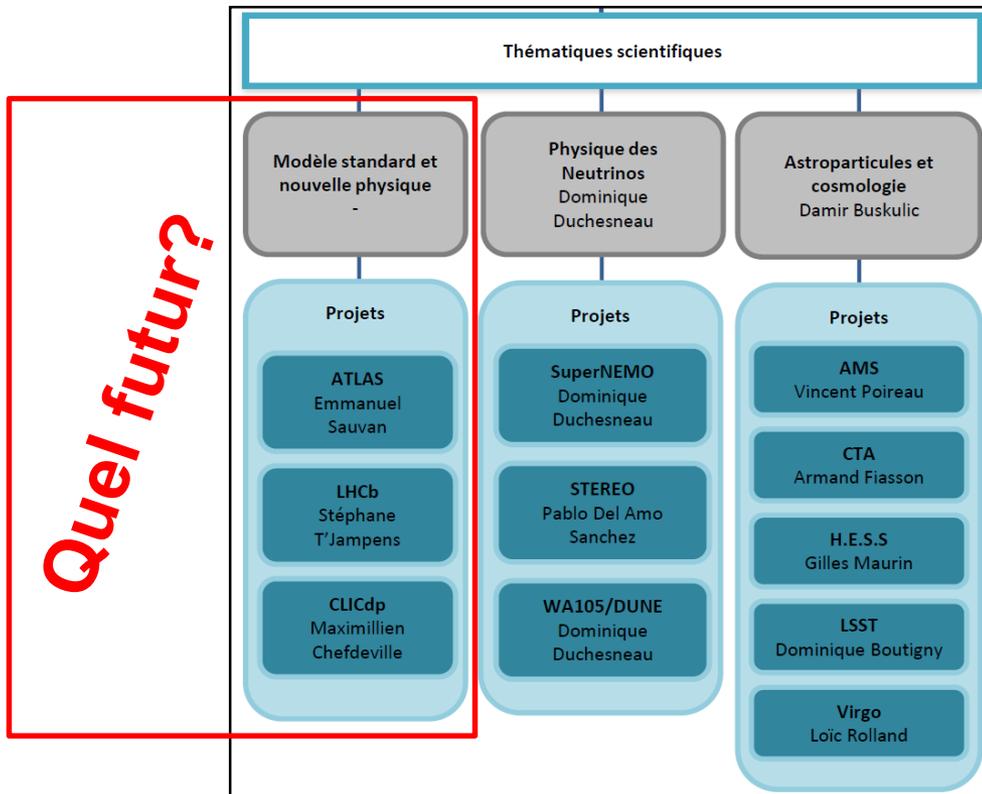


La physique sur collisionneur au-delà de HL-LHC: quelle stratégie pour le LAPP?



Thibault Guillemin

**Journées de
prospectives du LAPP**

11 mars 2019

- Panorama actuel
- Possibles machines futures
- Mise à jour de la stratégie européenne
- Situation au LAPP
- Quelques questions pour la discussion

Les questions ouvertes

Malgré le succès du Modèle Standard, les questions fondamentales restent sans réponse.

Expériences

Matière noire
Masse des neutrinos
Asymétrie matière-antimatière
Energie noire
'Anomalies'
...

Théorie

Naturalité/hiérarchie
Origine de l'inflation
Mélange des saveurs (quark/lepton)
Nature de l'EW phase transition
Unification des forces
Gravitation quantique
...

Une nouvelle physique, au-delà du Modèle Standard, est nécessaire...

Les différentes méthodes

Collisionneurs

New heavy particles
Higgs boson
W, Z, t

ÉNERGIE

Où est la
nouvelle
physique?

INTENSITÉ

COSMIQUE

Flavor

Neutrinos

Light weakly interacting particles

Neutron EDM

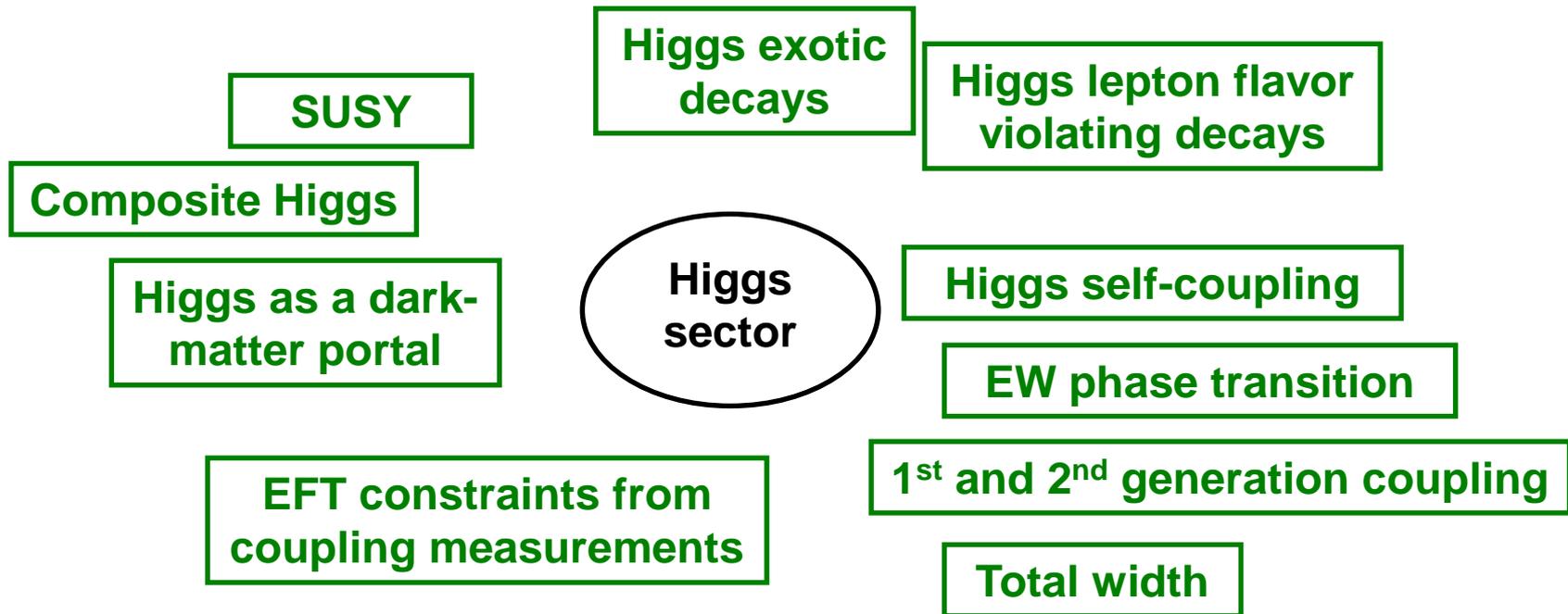
...

Une sonde particulière

Les deux leçons du LHC jusqu'aujourd'hui:

- Le boson de Higgs
- Pas de nouvelle physique à l'échelle du TeV (évasive pour l'instant ou hors d'atteinte au LHC)

Le boson de Higgs est un nouvel outil (2012) pour sonder la physique au-delà du MS. L'exploration de ce nouveau secteur est la priorité d'une future machine.



Futurs projets de collisionneur

Aujourd'hui, nous n'avons aucune indication de l'échelle de la nouvelle physique (mis à part la naturalité)...

HL-LHC (2038)

Super-KEKB (2025)

Approuvé

Non Approuvé

Linear colliders:

e^+e^- for Higgs and 'LHC-reachable' new physics

→ ILC, CLIC

Circular colliders:

- e^+e^- for Higgs and EW precision observables

→ FCC-ee, CEPC

- pp for Higgs and highest energy new physics

→ HE-LHC, FCC-hh, SPPC

- ep: pdf's

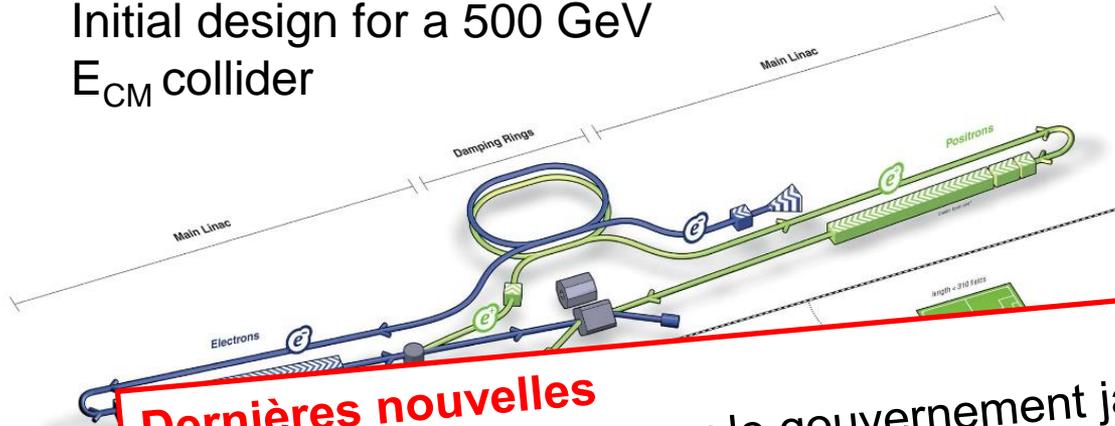
→ LHeC, FCC-eh

HL-LHC



ILC

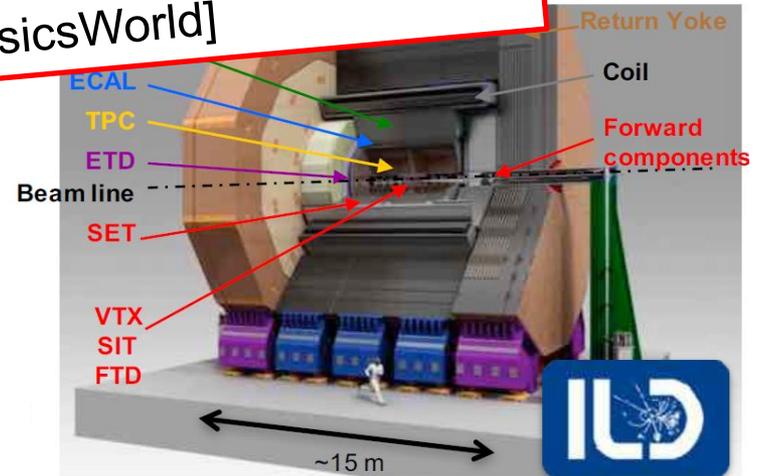
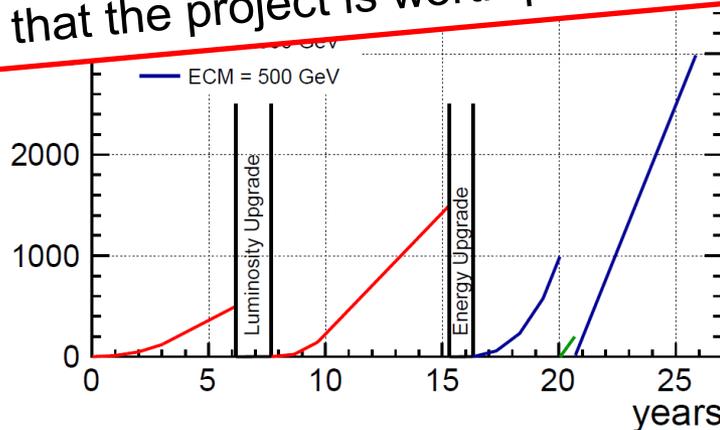
Initial design for a 500 GeV E_{CM} collider



Validation of the ILC accelerating technique (SRF) in XFEL

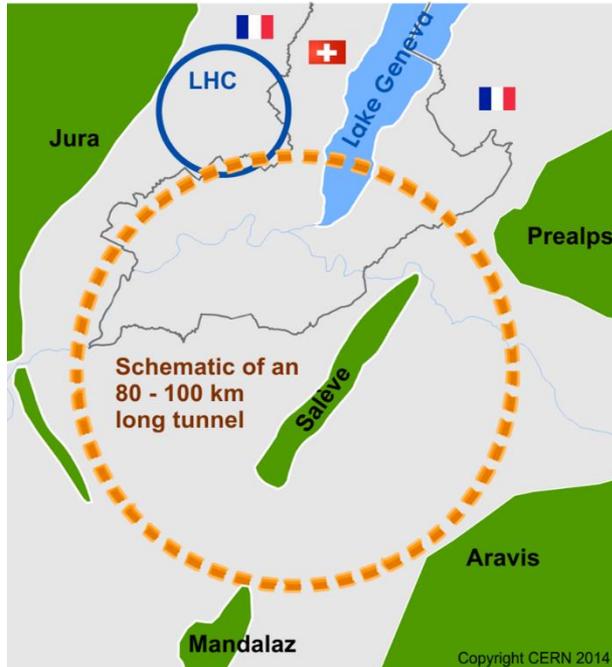


Dernières nouvelles
 Jeudi 7 mars: annonce par le gouvernement japonais
 Pas de réponse définitive ("intéressé mais...")
 → "The final go-ahead will only be given if enough international support and funding can be found to construct the machine and there is a consensus within the Japanese scientific community that the project is worth pursuing." [PhysicsWorld]



dy (TDR)

Futur Collisionneur Circulaire (FCC)

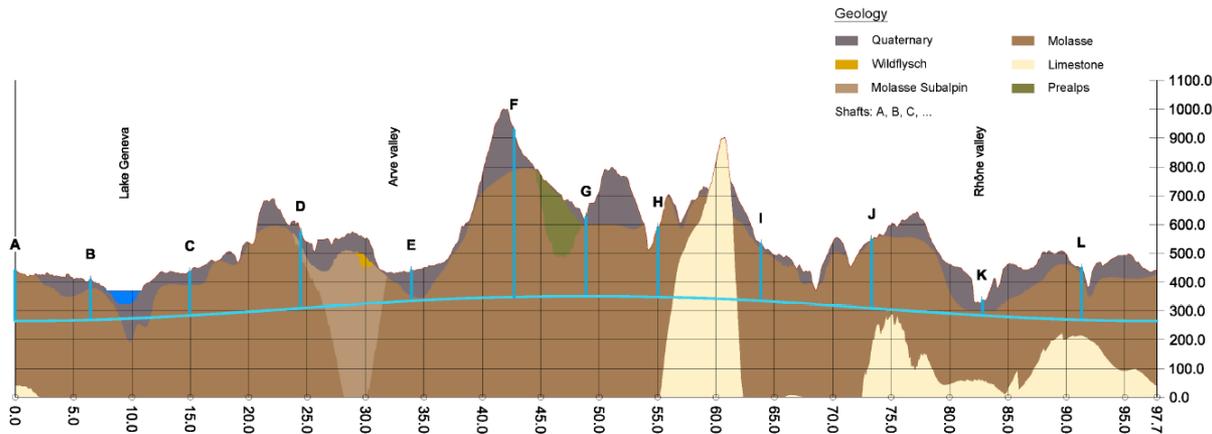


- FCC project at CERN: 100 km tunnel
- FCC-ee: collisions between 88 and 365 GeV
- FCC-hh: pp at 100 TeV

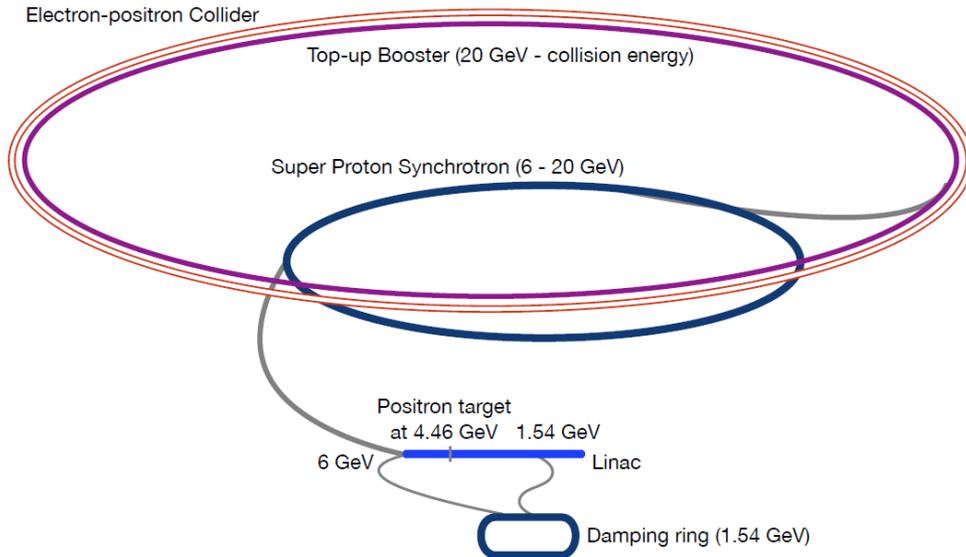
**Key technological challenge (FCC-hh):
16 T dipoles**

Conceptual Design Report (machine, detector, physics) released in February 2019

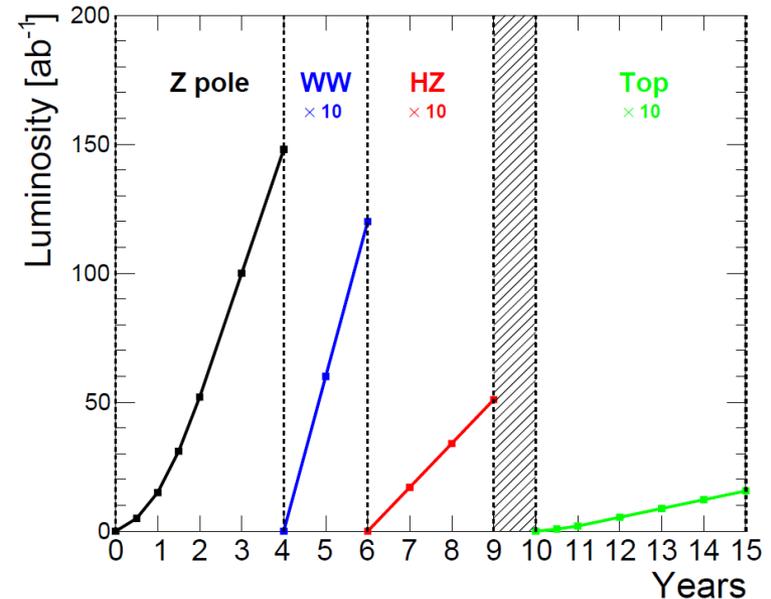
HE-LHC: pp at 27 TeV
(16 T dipoles in the LHC tunnel)



FCC-ee



- Top-up injection
- Crab waist type collisions
- 3 sets of RF cavities required for each running mode

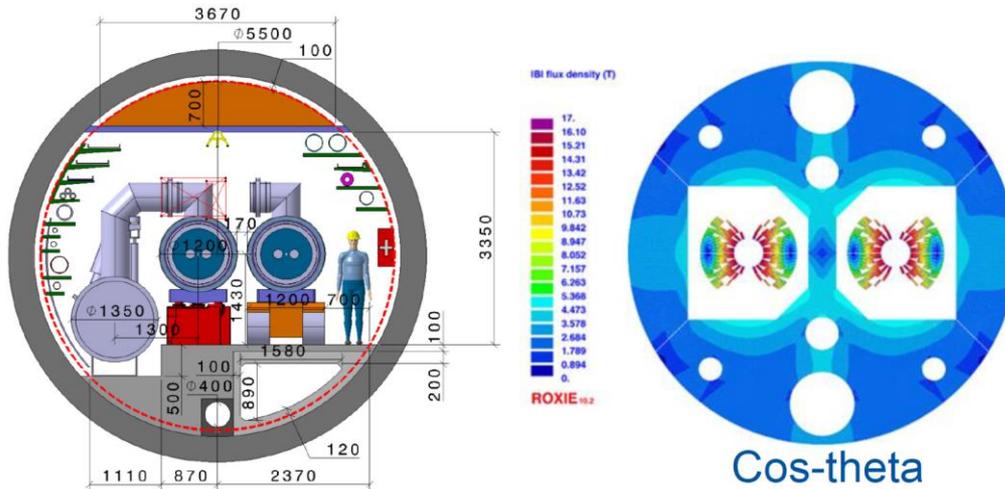


15 years of running at different energies

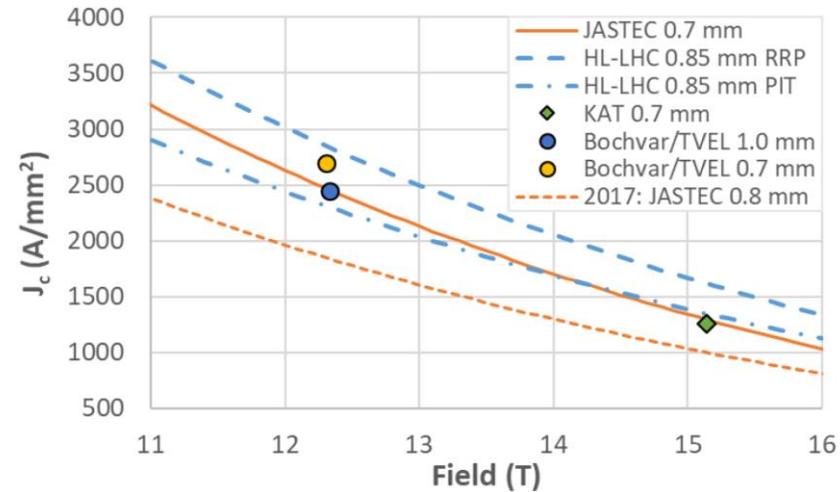
CDR: 2 interaction points considered

Scenario with 4 IP now under consideration (CERN management)

World-wide R&D efforts to produce cost-effective 16 T supraconducting dipoles
 Technology: Nb³Sn



Goal: achieve $J_c = 1500 \text{ A/mm}^2$ at 4.2 K, 16 T

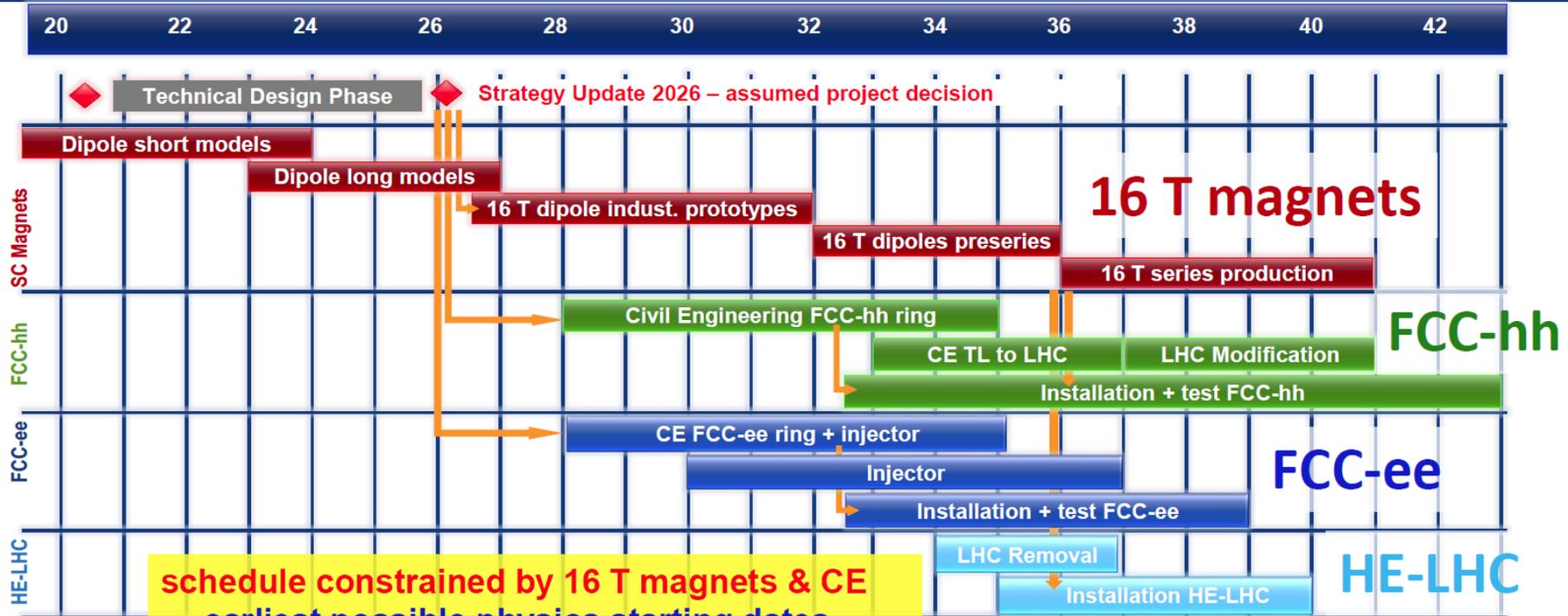


- 4668 dipoles 14-m long required
- ~half the total price

Luminosity:
 $3 \times 10^{35} \text{ cm}^2\text{s}^{-1} \rightarrow \text{pileup} \sim 1000$
 30 ab^{-1} in 25 years



Technical Schedule for each of the 3 options



FCC Status
Michael Benedikt
4th FCC Workshop

- FCC-hh: 2043
- FCC-ee: 2039
- HE-LHC: 2040 (with HL-LHC stop LS5 / 2034)

32

**Si FCC-ee: date FCC-hh décalée (~20 ans)
150 TeV alors accessible?**

Coût FCC-hh (seul): 24 G€

La mise à jour de la stratégie européenne

- December 2018: deadline for contribution submission
- The Open Symposium: Granada, Spain (13-16 May 2019)
- The Strategy Drafting Session: Bad Honnef, Germany (20-24 January 2020)
- May 2020: approval of the updated strategy by the CERN council

13-16 May 2019 - Granada, Spain



Physics Preparatory Group

Halina Abramowicz (Chair)
Shoji Asai Beate Heinemann
Stan Bentvelsen Xinchou Lou
Caterina Biscari Krzysztof Redlich
Marcela Carena Leonid Rivkin
Jorgen D'Hondt Paris Sphicas
Keith Ellis Brigitte Vachon
Belen Gavela Marco Zito
Gian Giudice Antonio Zoccoli

Local Organizing Committee

Francisco del Águila Juan José Hernández
Antonio Bueno (Chair) Mario Martínez
Alberto Casas Carlos Salgado
Nicanor Colino Benjamín Sánchez Gimeno
Javier Cuevas José Santiago
Elvira Gámiz
María José García Borge
Igor García Irastorza
Eugeni Graugés

Que saura-t-on en mai 2020?



Quelques spéculations...

- Il semble assez clair que la première priorité sera la contribution à un collisionneur ee, machine indispensable pour compléter le LHC et étudier précisément la physique du Higgs.

Mais quelle contribution?

2013

d) To stay at the forefront of particle physics, Europe needs to be in a position to propose an ambitious post-LHC accelerator project at CERN by the time of the next Strategy update, when physics results from the LHC running at 14 TeV will be available. *CERN should undertake design*

groups are eager to participate. Europe looks forward to a proposal from Japan to discuss a possible participation.

- 2^e priorité: R&D pour un futur collisionneur hh

- FCC-ee: préparation de TDRs accélérateur + détecteur pour la mise à jour suivante (2026), en vue d'une décision définitive?

- CLIC: dans la politique du CERN, le projet semble disparaître (définitivement) face à FCC-ee.

- Position par rapport à CepC: pas claire...

Les détecteurs pour ee: déjà une longue R&D

G. Hamel de Montchenault

Particle Flow Detectors

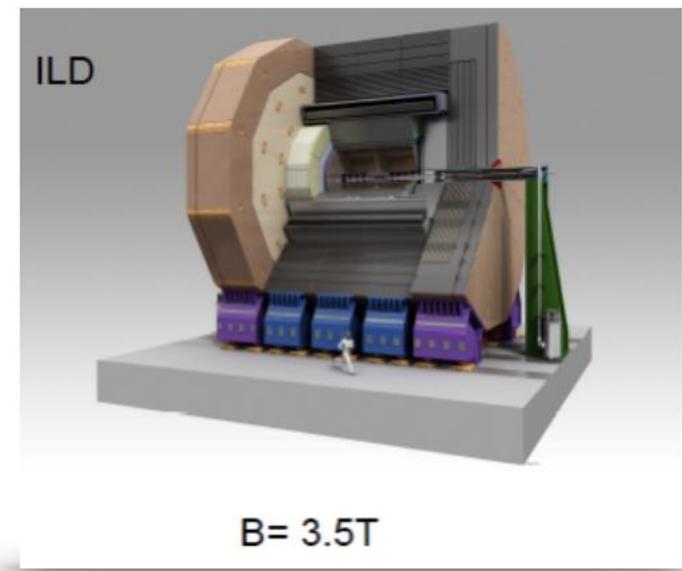
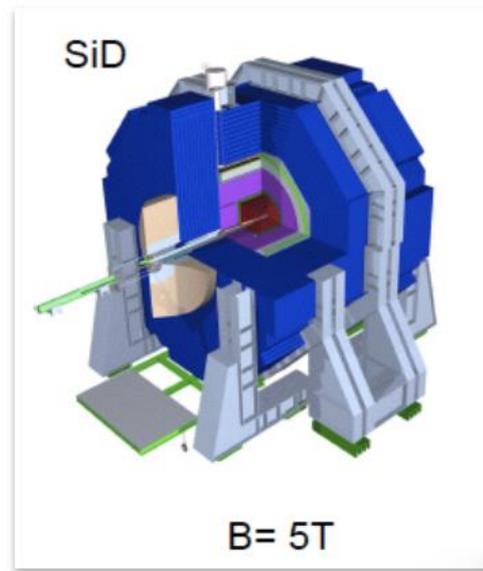
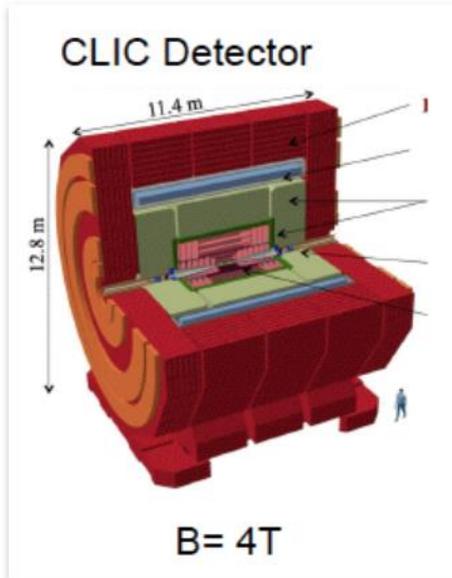
- high hermiticity
- high granularity
- momentum resolution
- high separation power

FCC-ee 2 detector concepts

- CLD: inspired from CLIC detector
- IDEA: from present state-of-the-art

CEPC 2.5 detector concepts

- baseline: ILD/SiD concept (3T)
- IDEA concept (2T)



inner tracking with silicon

central tracking with silicon

central tracking with TPC

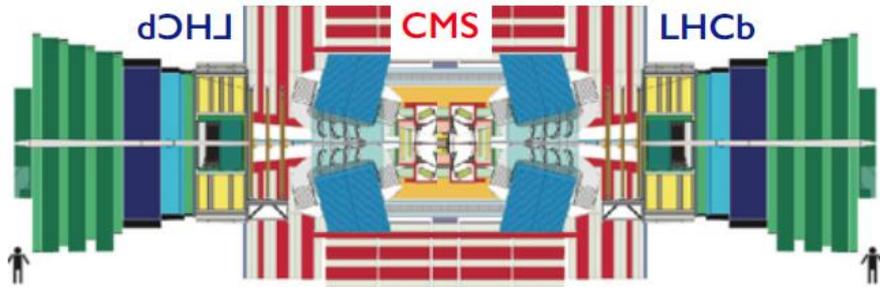
CLIC CDR (2012)
(revised since)

highly-granular calorimeters

ILC DBD (2013)

Les détecteurs pour pp: un territoire inconnu

Starting point

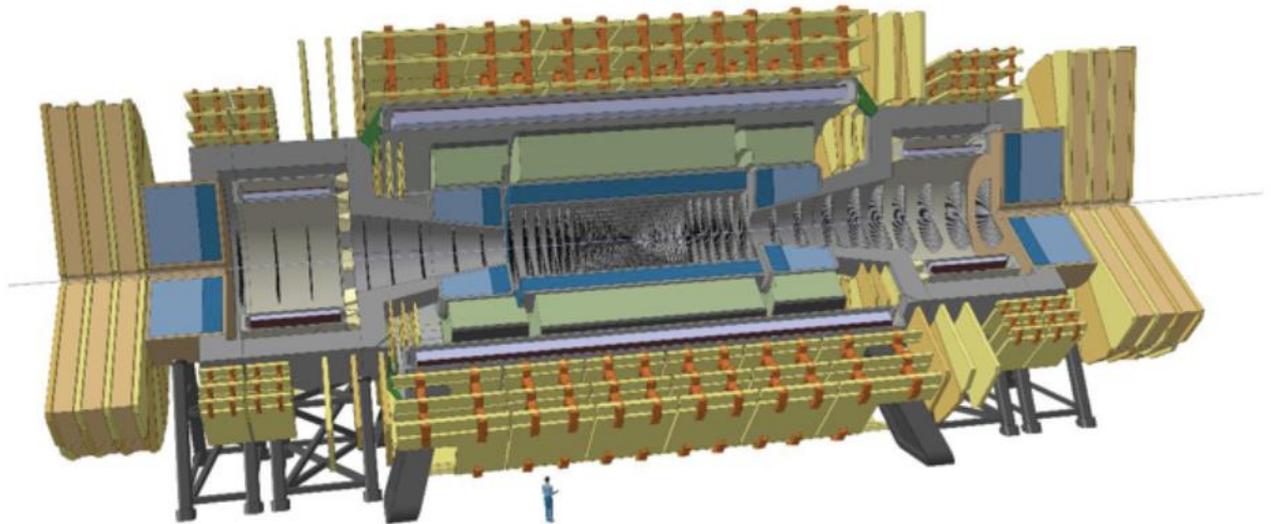


Main features

- 4T solenoid, 10-m bore solenoid
- Two forward 4T, 5-m bore solenoids
- no shielding
- ~ 14 GJ stored energy
- EM and H calorimetry up to $\eta = 6$
- high granularity ($\times 4$ ATLAS or CMS)
- trigger includes muon system

Some of the challenges

- pileup = 1000
($\times 10$ / HL-LHC)
- radiation =
 10^{18} part (1 MeV)/cm²
($\times 100$ / HL-LHC)
- forward SM physics
- high- p_T jets
and leptons
- 1-1.5 PB/s



one billion € project

G. Hamel de Montchenault

Synergie possible avec le groupe accélérateurs?

- Les activités actuelles et futures de ce groupe ne sont pas bien connues par notre groupe de physiciens 'collisionneur'.
- Synergie possible pour le design d'un détecteur auprès d'une future machine?

Activités Machine Detector Interface? (Expérience interlock dans ATLAS)

- Opportunités intéressantes de collaboration dans le cadre du programme R&D du CERN

Rapport: <https://cds.cern.ch/record/2649646>

- 8 working groups:
 - Silicon detectors
 - Gas detectors
 - Calorimetry and light based detectors
 - Detector mechanics
 - IC technologies
 - High speed links
 - Software
 - Detector magnets

- Discussions avec M. Aleksa

R&D for future high-granularity noble liquid calorimetry (towards FCC-hh)

Instituts intéressés: CERN, BNL, LAL, Prague

'Kick-off meeting' prévu bientôt

High granularity noble liquid calorimetry will be essential for future accelerator experiments, due to its radiation hardness, stability, high resolution energy measurement, high position resolution, timing resolution and high granularity, for 3D imaging, pile-up suppression, particle ID, jet substructure and more. It is part of the reference design of an FCC-hh experiment presented in the FCC CDR [1]. Due to the high radiation environment a fully passive calorimeter with read-out electronics sitting behind the calorimeter outside the cryostat is the preferred choice, leading, however, to long transmission lines of the signals.

- Intérêt 'formalisé' dans un pre-proposal d'ANR jeune soumis en octobre (T. Guillemin): **DEciPhering The Higgs potential at FCC-hh (DEPTH)**

WP1: A highly granular electromagnetic calorimeter

WP2: Calorimeter reconstruction techniques

WP3: Higgs self-coupling sensitivity study

Classé B en février.

- Maintenant à l'étude: LAr calorimeter pour un détecteur à FCC-ee (HCAL)

Nos activités détecteurs

ATLAS

- Upgrade phase 1 (2019-2020)
 - LAr electronics
LATOME, IPMC, code online
 - Upgrade phase 2 (jusqu'en 2025)
 - ITK
Electronique et mécanique
Flex, refroidissement CO2, isolateurs,
assemblage et tests des modules, simulation
 - LAr electronics
Carte calibration, carte TTC et code online
- + R&D computing pour HL-LHC
+ R&D tracking software pour HL-LHC

LHCb

- Upgrade 1 (2019-2020)
Micro-code pour cartes DAQ
- Discussion sur la (quelle?)
participation à la possible
upgrade 2 (installation après le
Run 4, ~2030)
LHCb EoI soumise en 2017

CLICdp

R&D micromegas
(pour SDHCAL)
Arrêté fin 2018

Après 2025?

- Il n'y a pas de projets R&D/construction actuellement prévus.
Il semble crucial de commencer à s'engager d'ici là, pour préparer cette nouvelle période.
- Etant donné les contraintes en ressources humaines, il faut capitaliser un maximum sur la grande expertise acquise.
- Important de pérenniser un maximum les compétences (départ d'ingénieurs).

Domaines d'expertise

- Calorimétrie

Expertise très large et reconnue (AMS, ATLAS, CALICE, ...)

- Electronique / trigger / DAQ

- FPGA firmware

- ATCA / μ TCA technologies

- DAQ code

- Compétences plus récentes développées dans le cadre d'ITK:

- Refroidissement CO₂ (micro-channel cooling)

- Conception de structures carbone

- High speed links

Autres expériences sur accélérateur

- Intérêt pour participer à une expérience complémentaire sur accélérateur (Physics Beyond Collider group du CERN) ?
Exemple : NA64 (dark photons), SHIP (HNL), ...
- Possibilité de créer un petit groupe de permanents intéressés (~3), puis 1 postdoc / un thésard via le LABEX?
1^{ère} étape: identifier une expérience puis une contribution possible.
- Récent workshop organisé par le 'Physics Beyond Collider' groupe du CERN : <https://indico.cern.ch/event/755856/timetable/> .

Quelques questions (1/2)

Il semble clair que nous devons définir une stratégie scientifique pour aller au-delà de HL-LHC (physique, détecteur et accélérateur) et continuer la recherche de nouvelle physique.

- Intérêts ILC? Position du LAPP si jamais il y avait un feu vert? Qui? Contribution à un détecteur? Electronique/DAQ?
- Intérêts FCC-ee? FCC-hh? Qui? Implication dans la phase post-CDR? TDR pour la prochaine mise à jour de la stratégie européenne?
- CepC / SppC?
- A quel horizon temporel s'impliquer? Davantage côté R&D détecteur ou simulation/software/physics case pour l'instant?
- Privilégier de toute façon des expériences au CERN (l'ADN du LAPP)?

Quelques questions (2/2)

- Quelles ressources humaines (chercheurs et ingénieurs) pour mener de front un engagement nouveau et le programme physique/upgrade LHC?
- Après 2025, quels projets pour les équipes techniques?
- Cohérence avec le programme accélérateur du LAPP?
- Participation à d'autres expériences:
Belle II? Expériences hors collisionneur?

A définir:

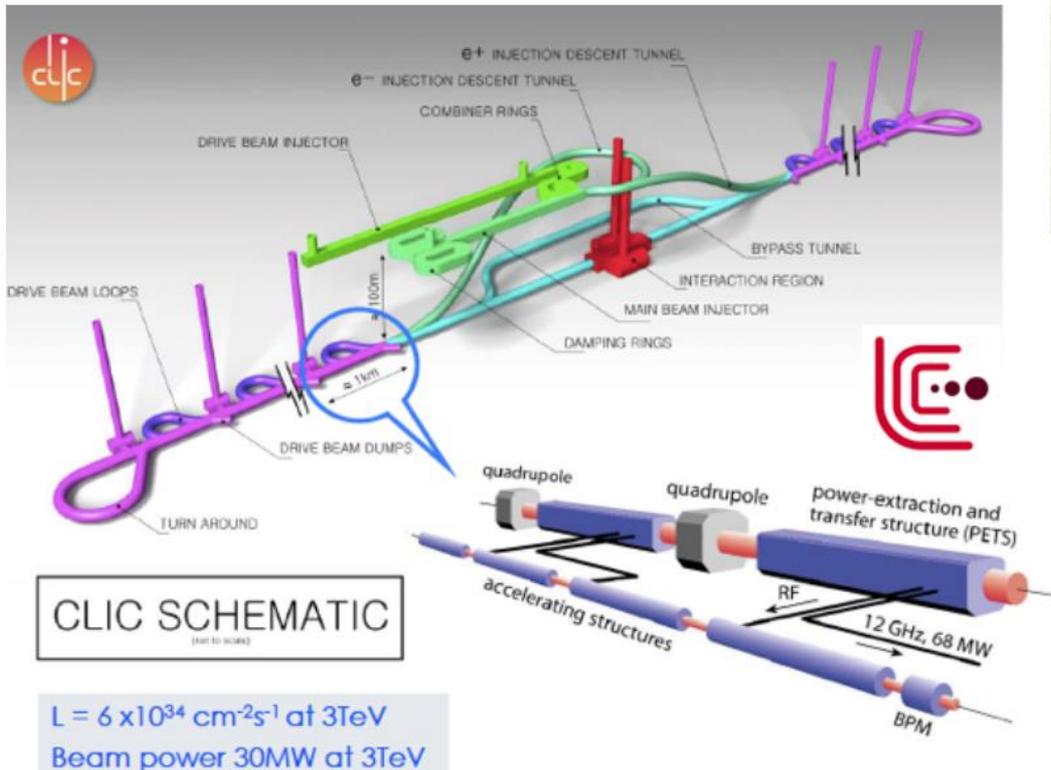
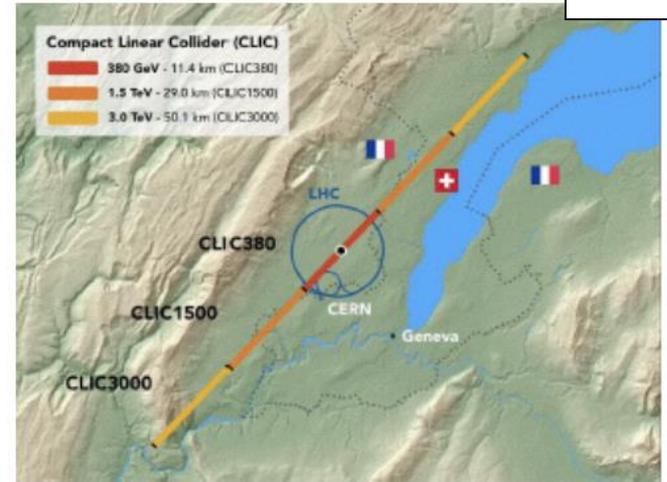
- **Qui?**
- **Quel projet R&D détecteur?**
- **En vue de quel projet scientifique?**

Bonus

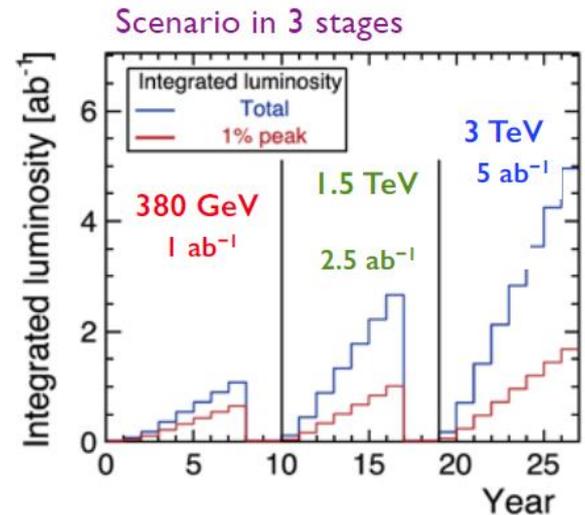
Linear e^+e^- collider at CERN

in the up-to multi-TeV energy range

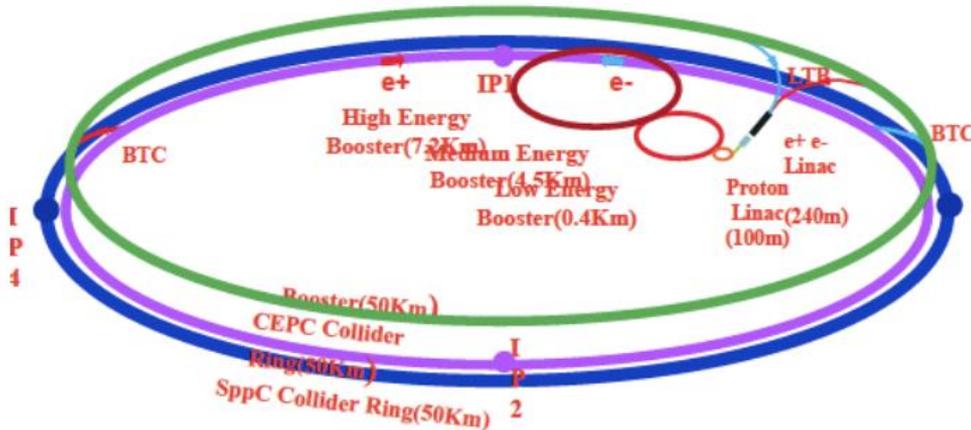
- normal conducting high-frequency RF (X-band, 12 GHz)
- e^- drive beam for RF power generation



Beam polarisation: ($\pm 80\%$, $\mp 80\%$)
LR / RL = 50% / 50%



CERN/SPC/1114 (2018)



Project similar to FCC-ee in China

- two colliding rings and a booster
- $\sqrt{s} = 90\text{-}240 \text{ GeV}$
- Hosted in a 100-km tunnel which could eventually host a 70-TeV pp collider
- several possible sites

Peak luminosity (2 IPs) (CDR parameters)

- at the Z: $1.7 \times 10^{35} \text{ cms}^{-2}\text{s}^{-1}$ (3T)
- at the W: $1.0 \times 10^{35} \text{ cms}^{-2}\text{s}^{-1}$
- at the H: $3 \times 10^{34} \text{ cms}^{-2}\text{s}^{-1}$

Physics goals:

- $> 3 \times 10^{11}$ Z bosons (8 ab^{-1})
- 2×10^7 W pairs (2.6 ab^{-1})
- 10^6 Higgs bosons (5.6 ab^{-1})

Timeline

2013-2015	pre-studies	• Starts before the end of the HL-LHC
2016-2022	R&D Engineering Design	
2022-2030	Construction	• possibly concurrent with the ILC
2030-2040	data taking	

CEPC CDR in preparation (2019)

CEPC symposium (Nov. 2018)

R&D détecteur (rapport ECFA 2018)

Most promising future R&Ds	# answers (380 total)
Precision timing	210
Precise position resolution	63
Precise energy measurements	25
Radiation Hardness	29
CMOS HV-MAPS monolithic	24
High granularity imaging calorimetry	21
Artificial intelligence / Machine Learning	16
Fast (tracker) triggers (online)	16
High rate capability	14
Low power consumption in detector systems/electronics,	14
4D tracking	14

Table 11: Perceived most promising future R&D topics (top-11).

Les équipes techniques (COM 2018)

Bien sûr, ce sont des ressources humaines non étiquetées 'physique sur collisionneur', mais cela donne une idée.

ATLAS

6 ETP IT électronique [COM 2018 : 7.2]

Sébastien Cap, Eric Chabanne, Nicolas Chevillot, Pierre-Yves David, Cyril Drancourt, Nicolas Dumont-Dayot, Renaud Gaglione, Richard. Hermel, Nicolas Massol, Jean-Marc Nappa, Sébastien Villalte

3.2 ETP IT mécanique [COM 2018 : 4.2]

Nicolas Allemandou, Pierre Delebecque, Jean-Marc Dubois, Nicolas Geffroy, Fabrice Pelletier, Olivier Prevost, Thibaut Rambure

3.25 ETP IT informatique [COM 2018 : 3.25]

Fatih Bellachia, Thierry Bouedo, Sylvain Lafrasse, Laurent Gantel

LHCb

Équipes techniques :

- **Mécanique** : Bruno Lieunard, Laurent Brunetti, Laurent Journet, Tamer Yildizk
- **Électronique** : Sébastien Cap, Guillaume Vouters, Cyril Drancourt

CLICdp

- COM 2018: C. Drancourt, F. Peltier, G. Vouters (bonus: S. Cap, J. Jacquemier)

La contribution de l'IN2P3

SM and BSM physics at the high energy frontier:

- Ensure the success of the HL-LHC, i.e., the upgrade of the machine, the detectors and the exploitation of the data, including especially computing aspects.
- Support the need for an e^+e^- collider running at the Higgs production resonance. This machine should be upgradable to higher energies in order to reach the top pair production, as well as the associated top and Higgs production thresholds. IN2P3 is supporting the ILC proposal in Japan.
- Support of accelerator R&D for a project at CERN after the HL-LHC. In order to plan for a FCC-hh, it is essential to continue high field magnets R&D in particular high temperature superconducting magnets. Further R&D on improved accelerating concepts should be part of the strategy (muon colliders, plasma).

Flavour physics and the intensity frontier:

- Exploit the two large-scale facilities with a wide flavour physics programme, LHCb and Belle2, which are in particular expected to provide further insights into the nature of the current flavor anomalies.
- Pursue a long-term intensity frontier physics programme with the LHCb upgrade II, a possible Belle II upgrade, a FCC-ee running at the Z pole and beam dump experiments or upgrades to existing experiments searching for long-lived particles.
- Support experiments dedicated to specific measurements of crucial observables, in particular Electric Dipole Moments and Lepton Flavour Violation.

How the LHC came to be ...

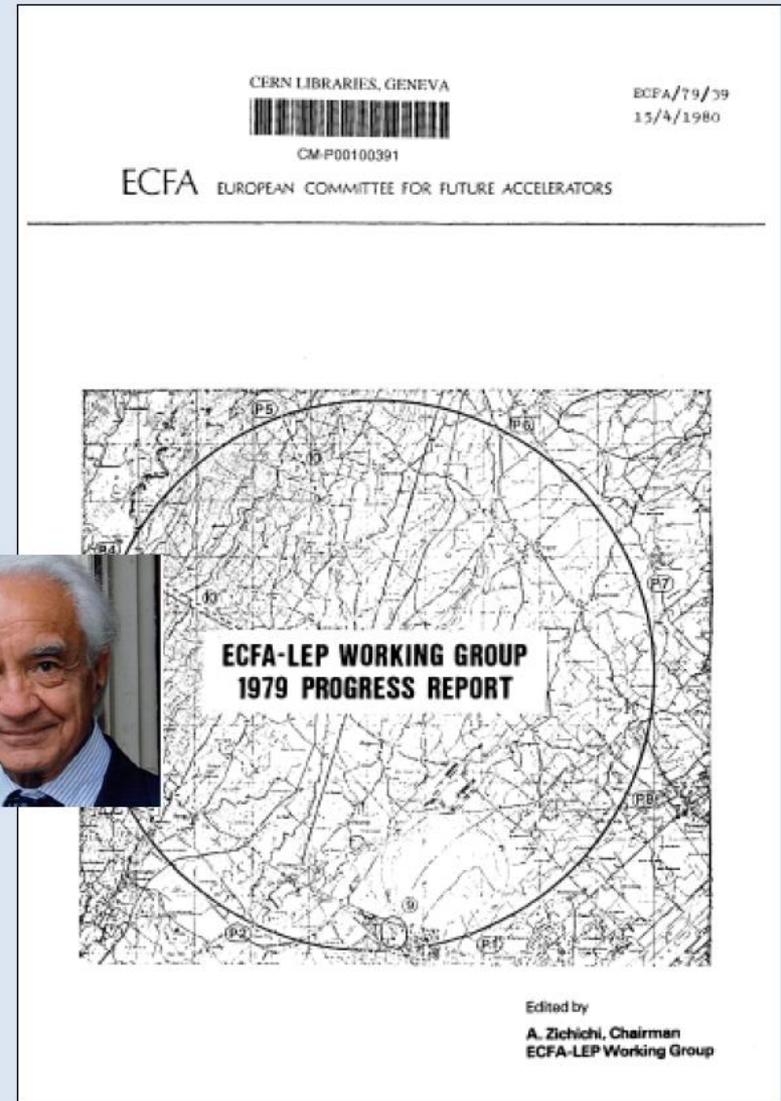
Some very early key dates

1977 The community talked about the LEP project, and it was already mentioned that a new tunnel could also house a hadron collider in the far future

1979 LEP White Book:

ECFA-LEP Working Group 1979
chaired by A Zichichi

'Tunnel with 27 km circumference and a diameter of 5 m, with a view to the replacement of LEP at the end of its activities by a proton-proton Collider using cryogenic magnets'



Les dates du LHC

1984 For the community it all started with the CERN - ECFA Workshop in Lausanne on the feasibility of a hadron collider in the future LEP tunnel

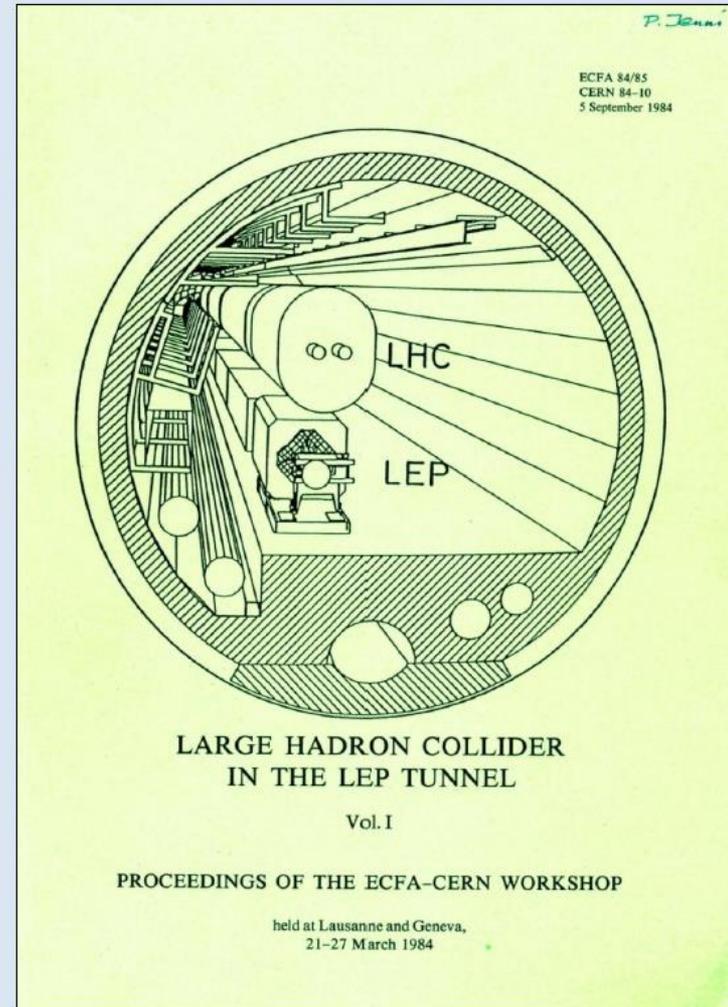
1986 LAA R&D on new detector technologies started, later followed by the DRDC

1987 La Thuile Workshop

Many LHC colleagues were already involved in this WS set up by Carlo Rubbia as part of the Long Range Planning Committee

1996

December Council approved finally the single-stage 14 TeV LHC for completion in 2005



Les dates d'ATLAS

The birth of ATLAS

March 1992 – Summer 1992

Merging of EAGLE and ASCOT

September 1992: Decision on the name

October 1992:

**ATLAS Lol submitted to the LHCC
(as well as the CMS Lol)**

Approval of the
project: 1995



EMFCSC, Erice, June 2017
P.Jenni (Freiburg and CERN)

LHC, Higgs and Beyond (ATLAS)

