



Institut national de physique nucléaire
et de physique des particules



Repousser les frontières expérimentales actuelles : quel collisionneur pour le futur ?



Journée SFP 2023 : Champs et particules

LPNHE Paris, 10 Juillet 2023

Patrice Verdier (IP2I Lyon – IN2P3) – patrice.verdier@in2p3.fr

Plan de l'exposé

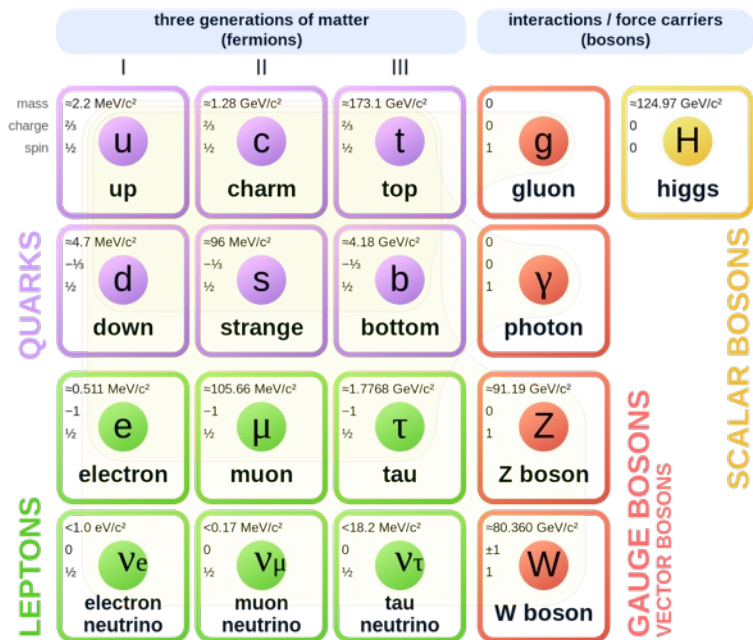
Motivations scientifiques

Futurs collisionneurs

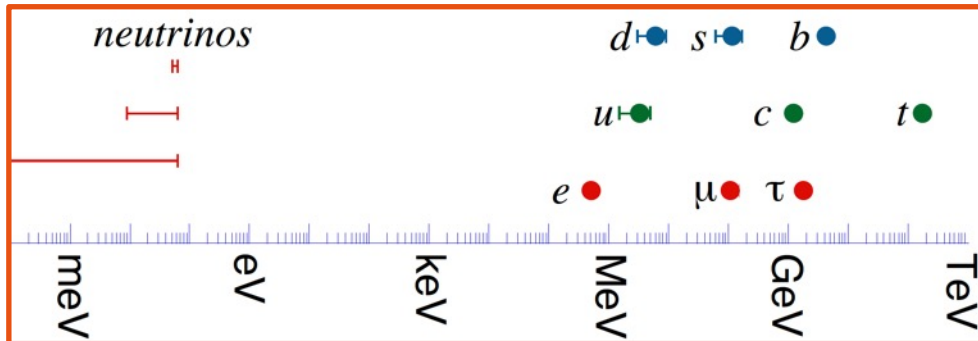
Prospectives Nationales 2023 : Plan Stratégique pour la Physique Nucléaire,
Physique des Particules et Astroparticules

Introduction

Standard Model of Elementary Particles



$$SU(3) \times SU(2) \times U(1)$$



Pièces manquantes dans le Modèle Standard:

- Matière noire non-baryonique
- Masse non-nulle des neutrinos
- Energie noire
- Fluctuations primordiales de densité et inflation cosmique
- Asymétrie baryonique

Le rôle central du boson Higgs

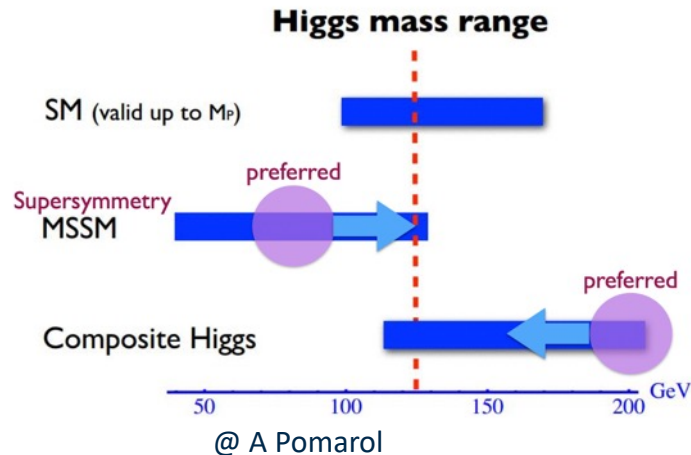
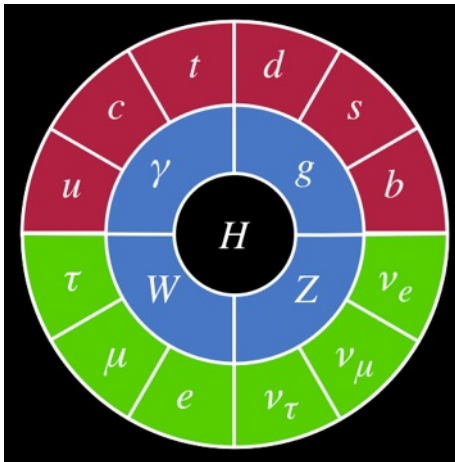
Le boson de Higgs est au cœur des problèmes à résoudre en HEP

$$\mathcal{L}_{\text{Higgs}} = V_0 - \mu^2 H^\dagger H + \lambda (H^\dagger H)^2 + (y_{ij} \bar{\psi}_{Li} \psi_{Rj} H + h.c.)$$

$V_0 \approx (2 \times 10^{-3} \text{ eV})^4 \ll M_{\text{Pl}}^4$

vacuum energy / cosmological constant
 hierarchy problem / $m_H \approx 100 \text{ GeV} \ll M_{\text{Pl}}$
 triviality/stability of EW vacuum
 mass and mixing hierarchy
 flavour & CP

@ C. Grojean



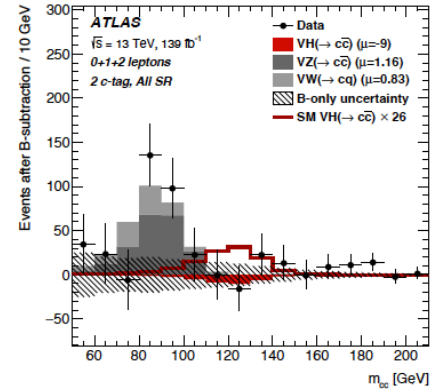
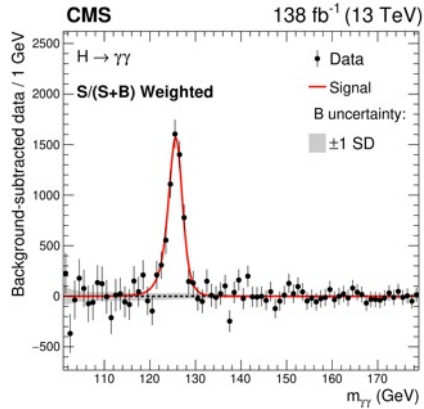
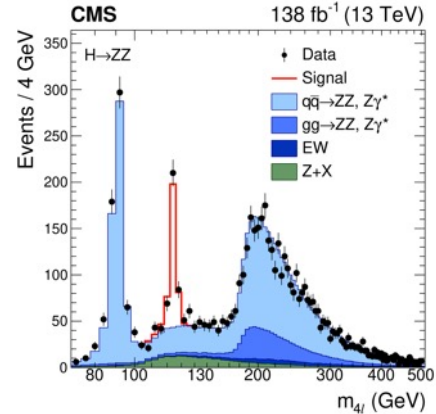
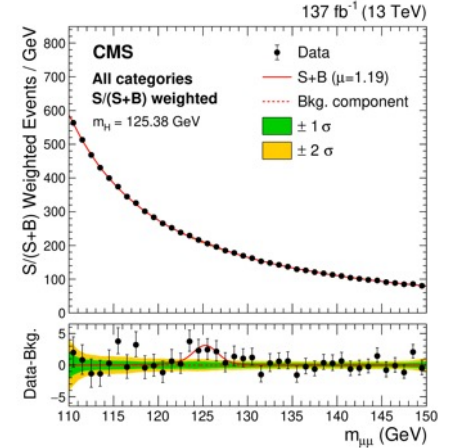
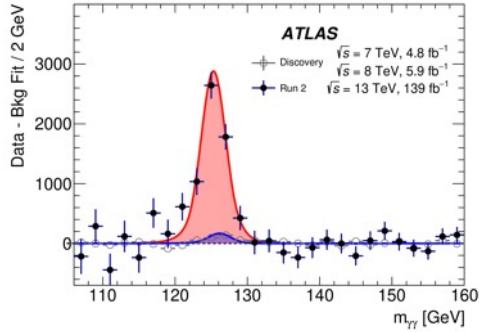
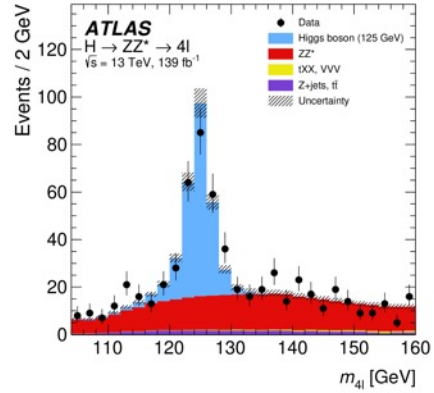
Physique du boson de Higgs:

- Origine de l'EWSB
- Higgs Portal, secteurs cachés ?
- Stabilité de l'Univers
- CPV et baryogénèse et Leptogénèse
- Origine de la masse
- Origine de la saveur
- Autres bosons scalaires ?
- Higgs : fondamental ou composite ?
- Naturalité

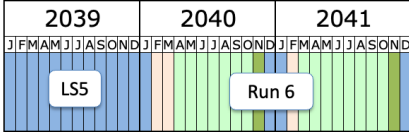
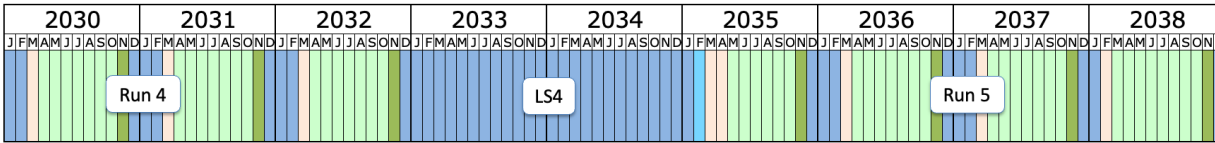
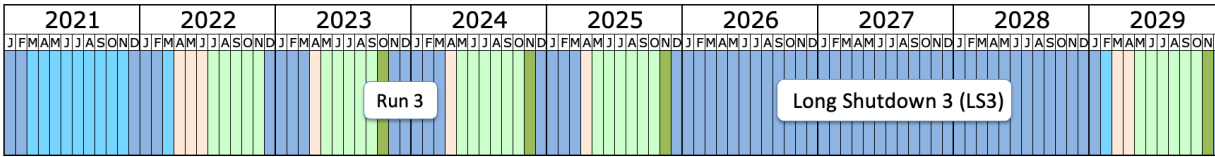
Le boson de Higgs

Des canaux de désintégration de découvertes ...

... à la recherche de canaux rares



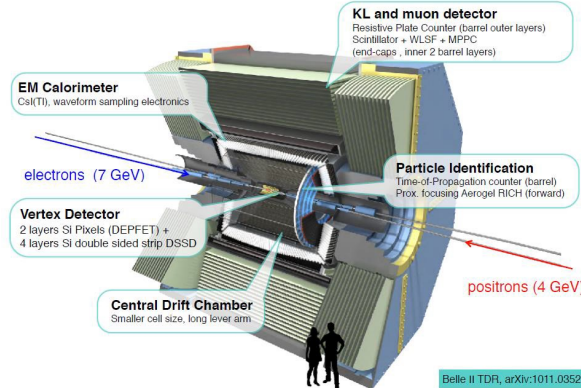
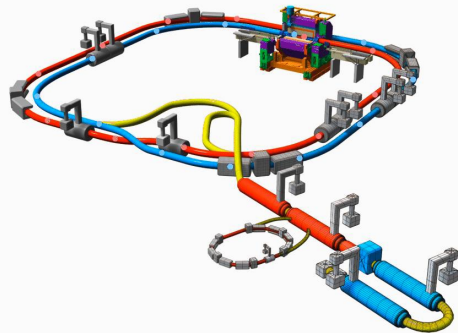
High-Luminosity LHC et SuperKEKb



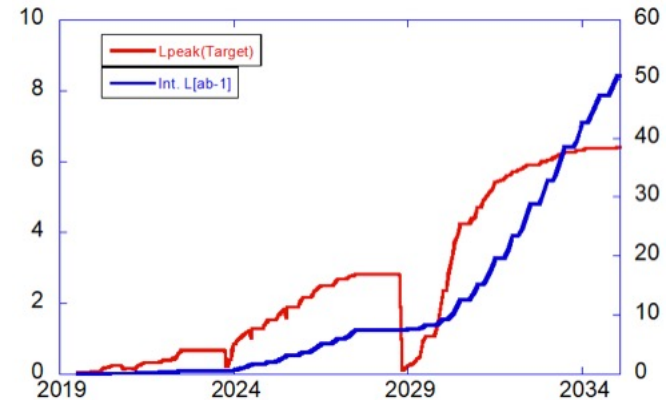
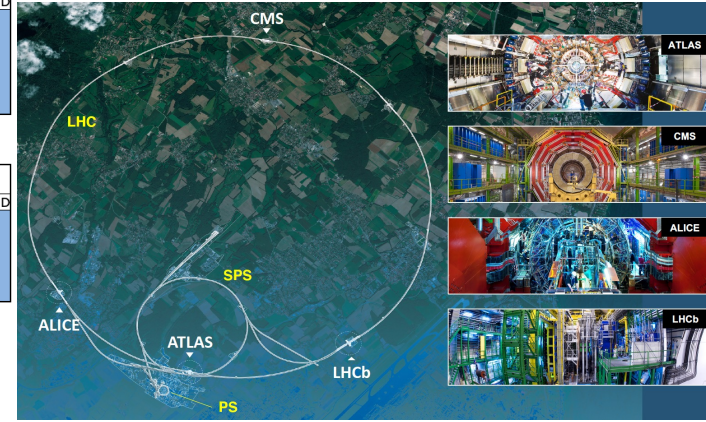
Calendrier LHC / HL-LHC

- Shutdown/Technical stop
- Protons physics
- Ions
- Commissioning with beam
- Hardware commissioning

Last update: April 2023



Belle II TDR, arXiv:1011.0352

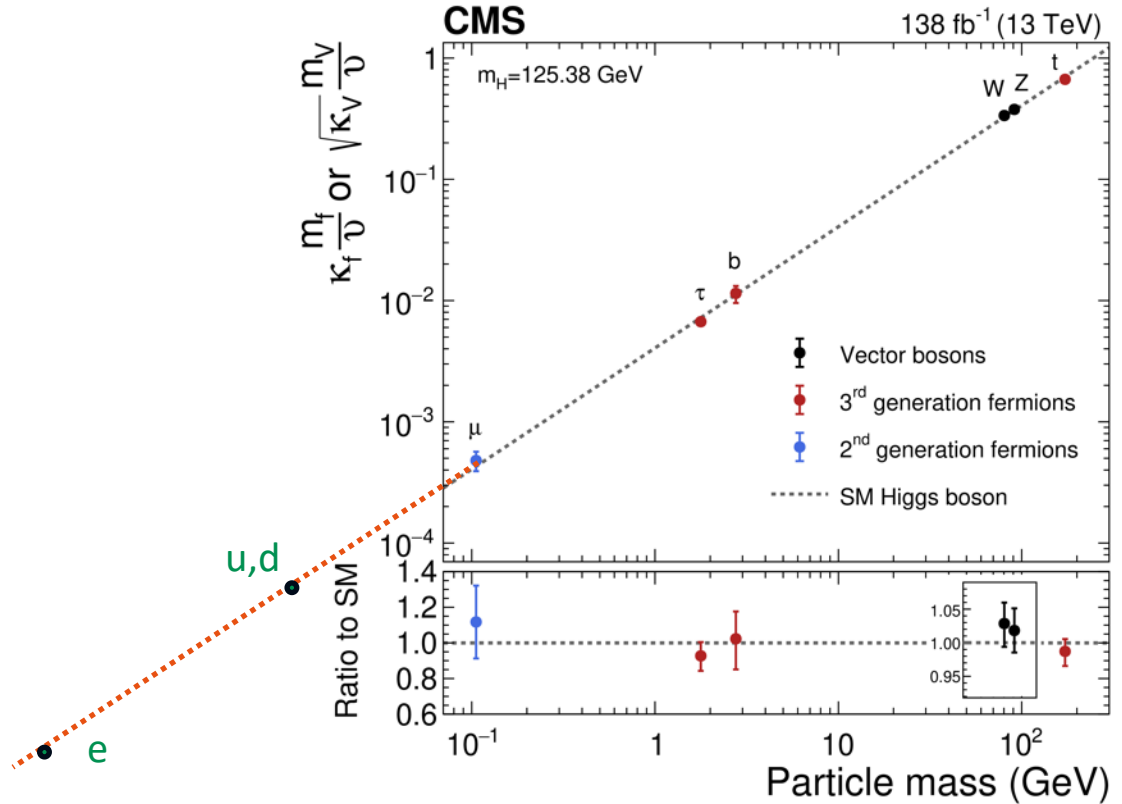
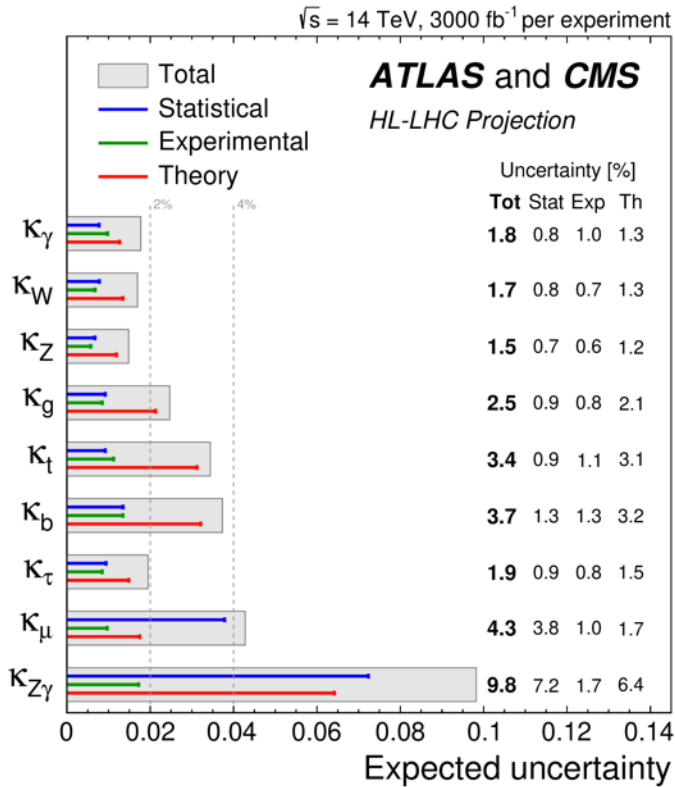


Le boson de Higgs, masses et quark top

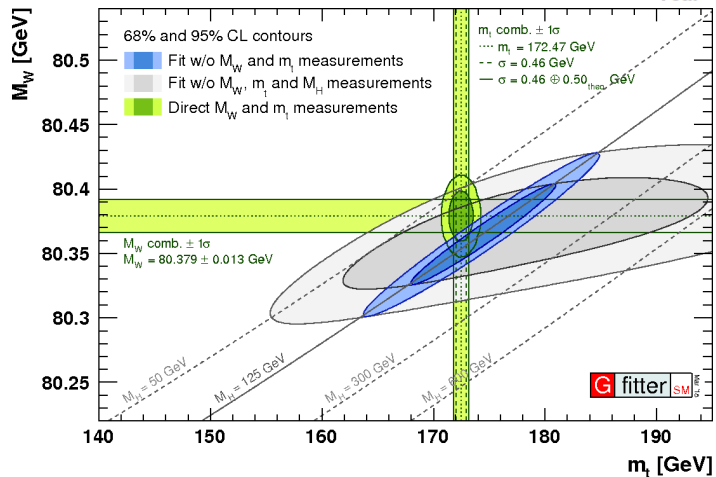
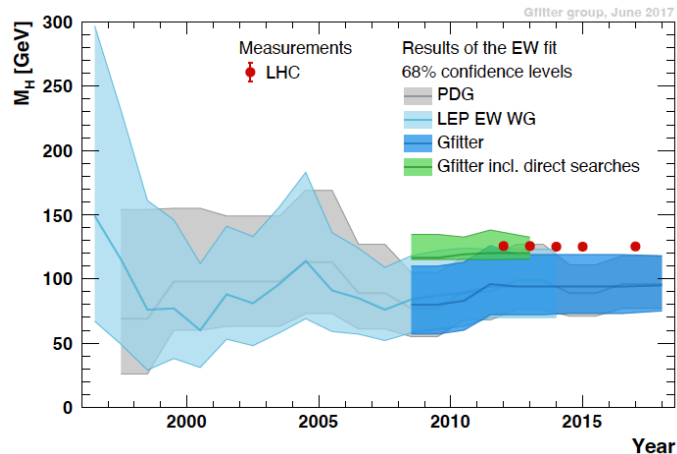
HL-LHC



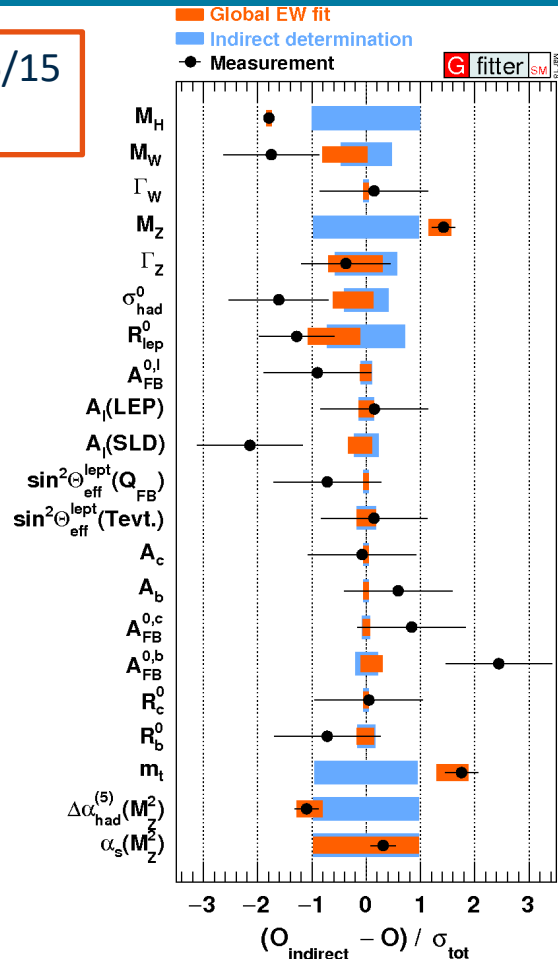
Aujourd'hui



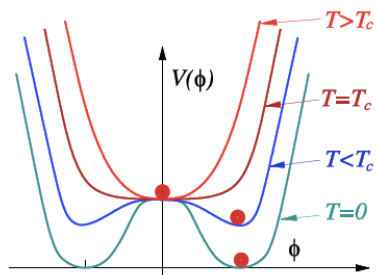
Le Fit électrofaible



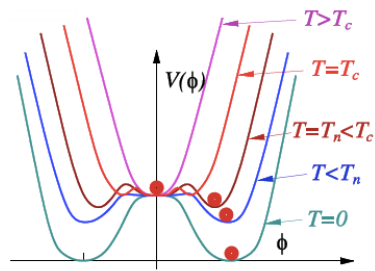
$\chi^2_{\min}/\text{NDF} = 18.6/15$
 Prob = 0.23



Le potentiel de Higgs

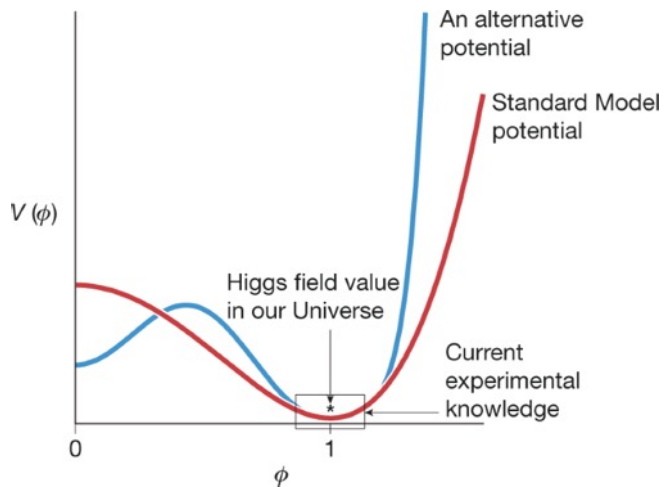
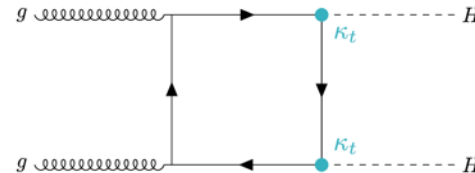
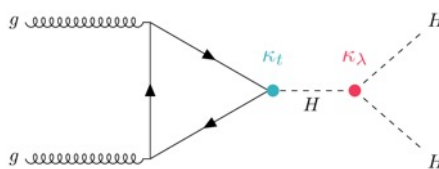


2^{ème} ordre: $M_H=125$ GeV

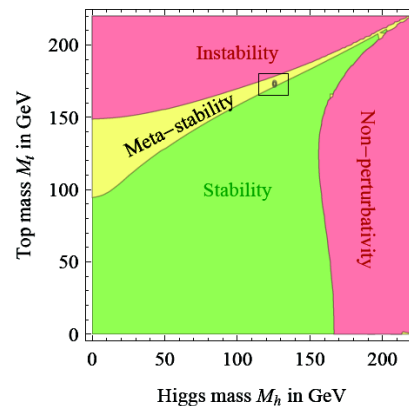


1^{er} ordre: baryogénèse EW

$$V(\phi) = \frac{1}{2}m_H^2\phi^2 + \sqrt{\lambda/2}m_H\phi^3 + \frac{1}{4}\lambda\phi^4$$



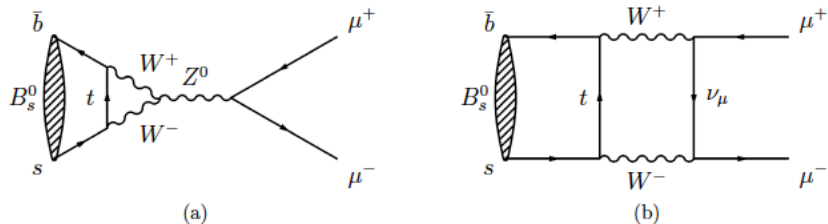
Et l'extrapolation du MS à très haute énergie interroge sur la stabilité du vide



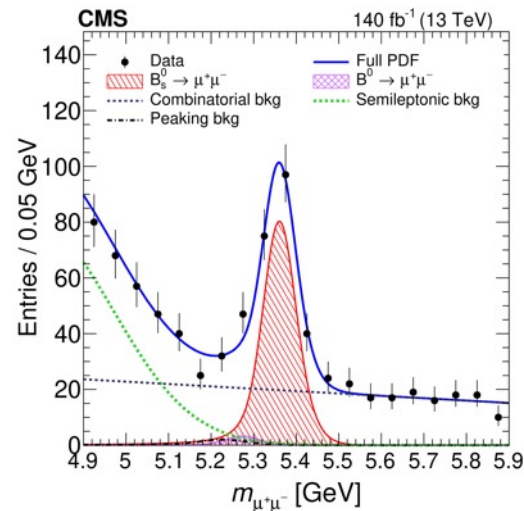
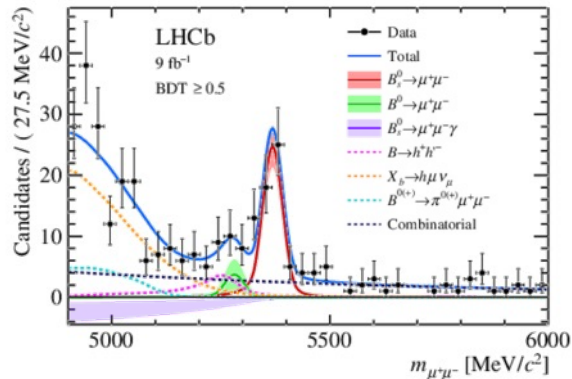
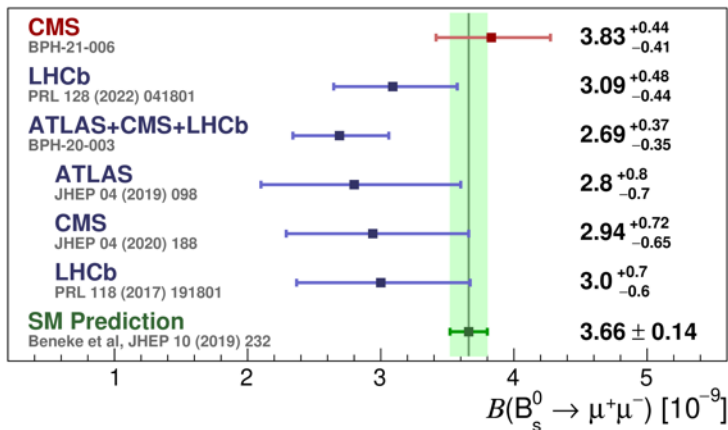
La mesure de λ est au cœur du programme de physique du HL-LHC et des futurs collisionneurs

Mesures de précisions et contraintes BSM

Modèle standard



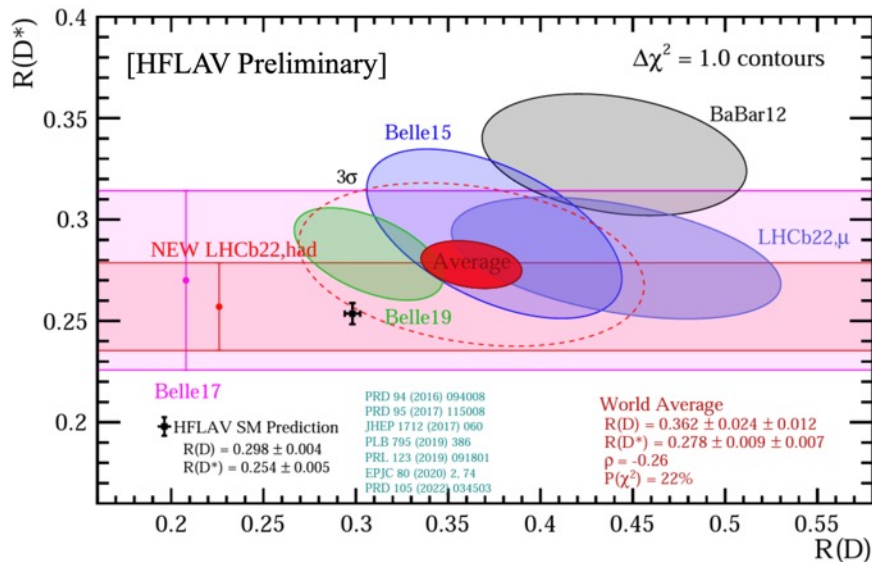
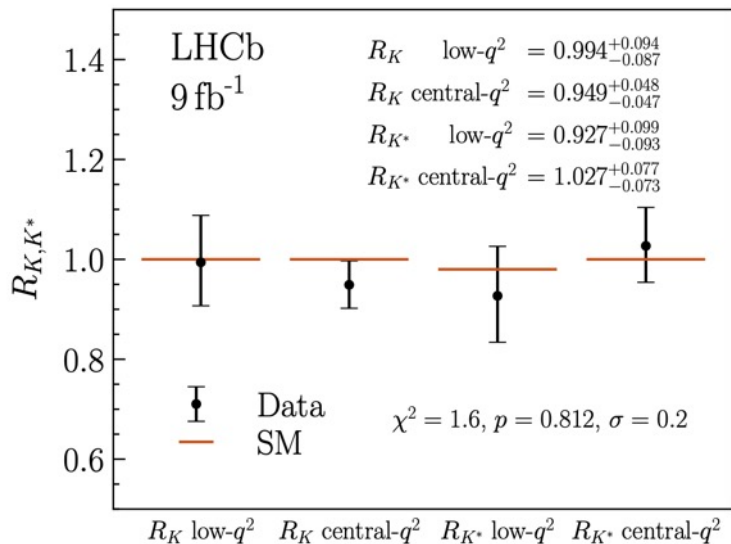
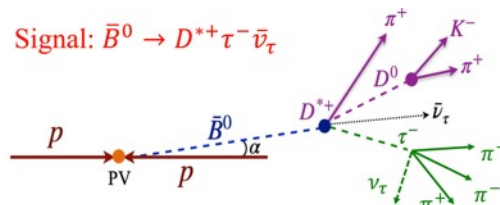
Supersymétrie: en général, $BR \propto (\tan \beta)^6$



Mesures de précisions et contraintes BSM

$$R_K = \frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ \mu^+ \mu^-)}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ e^+ e^-)} \times \frac{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ J/\psi (\rightarrow e^+ e^-))}{\mathcal{B}(B^+ \rightarrow K^+ J/\psi (\rightarrow \mu^+ \mu^-))}$$

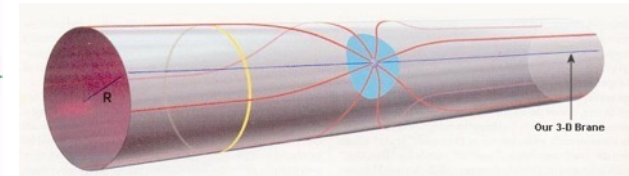
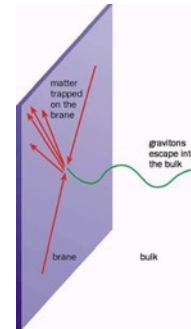
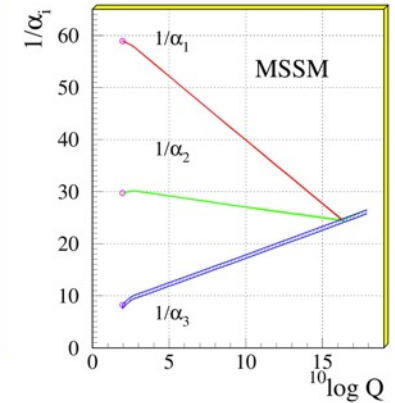
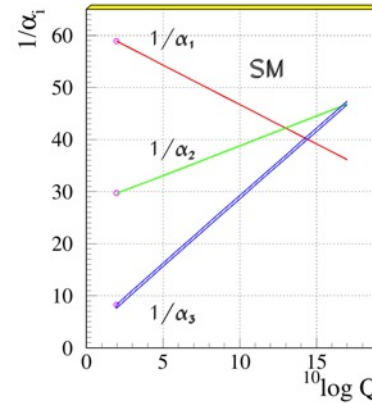
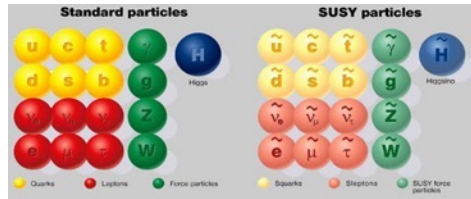
$$\mathcal{R}(D^{(*)}) = \frac{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{(*)-} \tau^+ \nu_\tau)}{\mathcal{B}(B^0 \rightarrow D^{(*)-} \mu^+ \nu_\mu)}$$



Recherche directe de physique delà du modèle standard

Supersymétrie:

- Corrections radiatives à la masse du Higgs
- Unification des constantes de couplages
- Inclure la gravitation
- Problème de la hiérarchie de masse

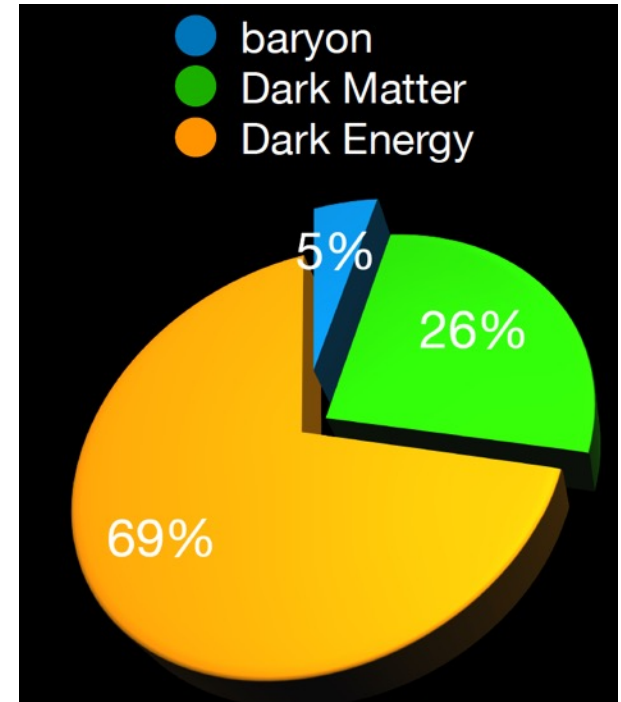
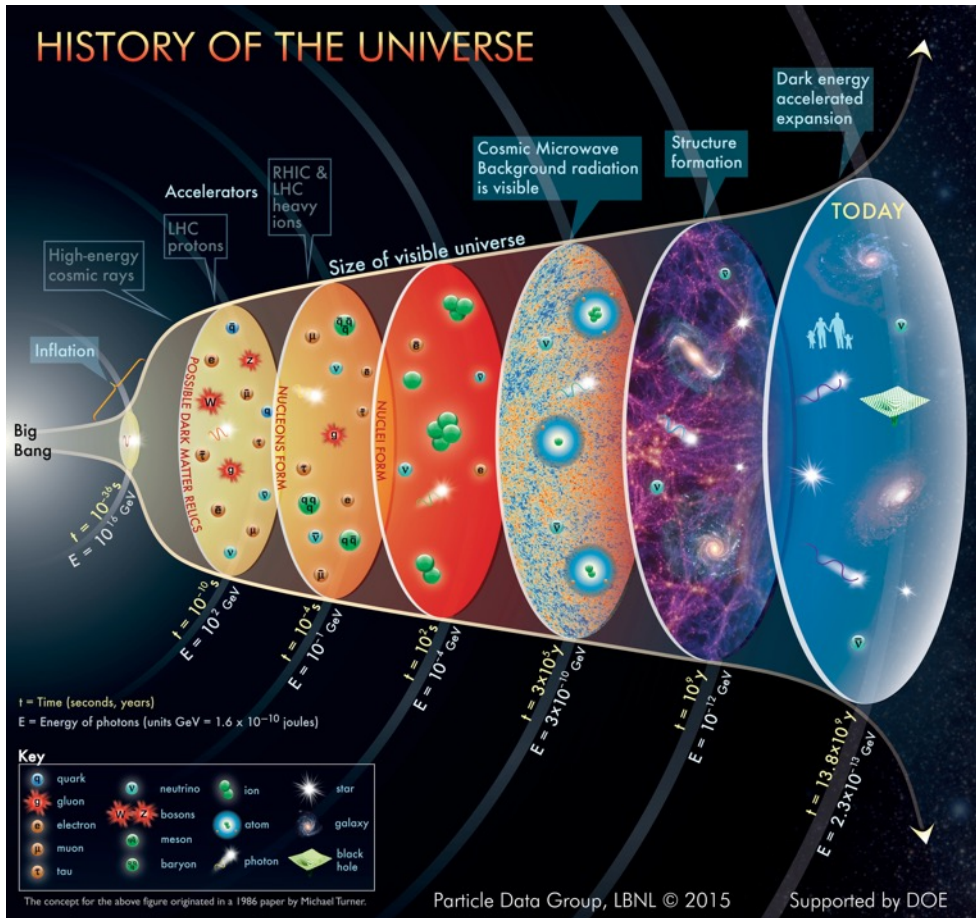


Dimensions supplémentaires:

- Inspiration théorie des supercordes
- Compactification des ED

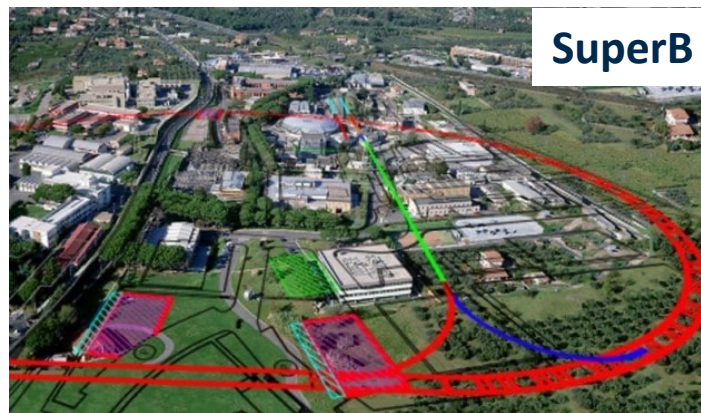
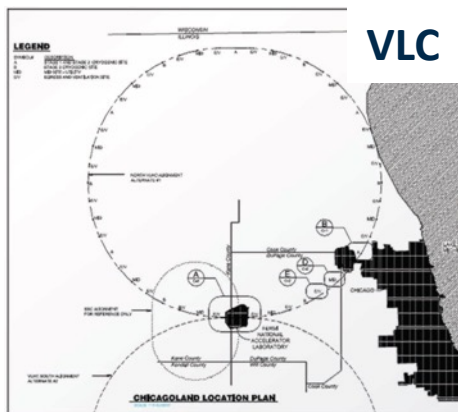
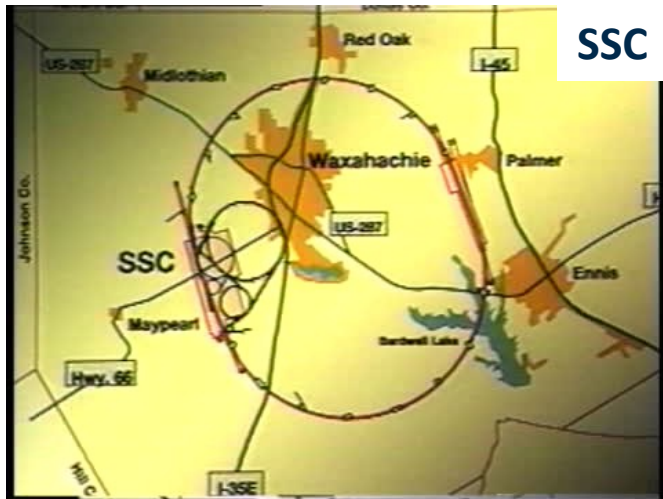
La physique BSM recherchée de manière directe sous la forme de nouvelles particules ou interactions restent à ce jour infructueuses \Rightarrow poursuivre l'exploration de la frontière en énergie

La physique des 2 Infinis



**Quel accélérateur
pour le futur ?**

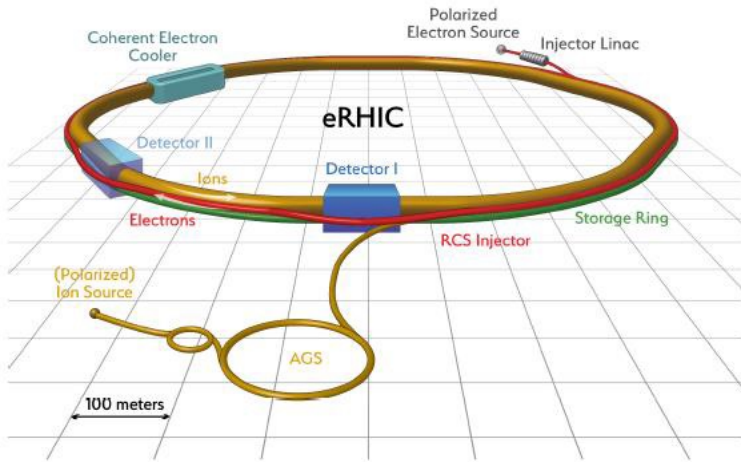
“The graveyard of Future Colliders Concepts”



Electron Ion Colliders à BNL

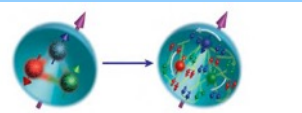
	I	II	III	
mass	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	0
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	t top	c charm	u up	g gluon
	b bottom	s strange	d down	γ photon
	τ tau	μ muon	e electron	Z Z boson
	ν_τ tau neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_e electron neutrino	W W boson
				H higgs

QUARKS (left side)
LEPTONS (left side)
SCALAR BOSONS (right side)
GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS (right side)



Faisceaux polarisés d'électrons,
 de protons et d'ions légers
 $\sqrt{s} = 20\text{-}140 \text{ GeV}$
 $\mathcal{L} = 10^{33\text{-}34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

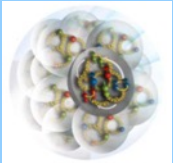
- 2025:** TDR et début de la construction
- 2030:** Mise ne service
- 2034:** début du programme de physique



Origine du spin du nucléon



Origine de la masse des hadrons



Saturation de la densité de gluons à haute énergie ?

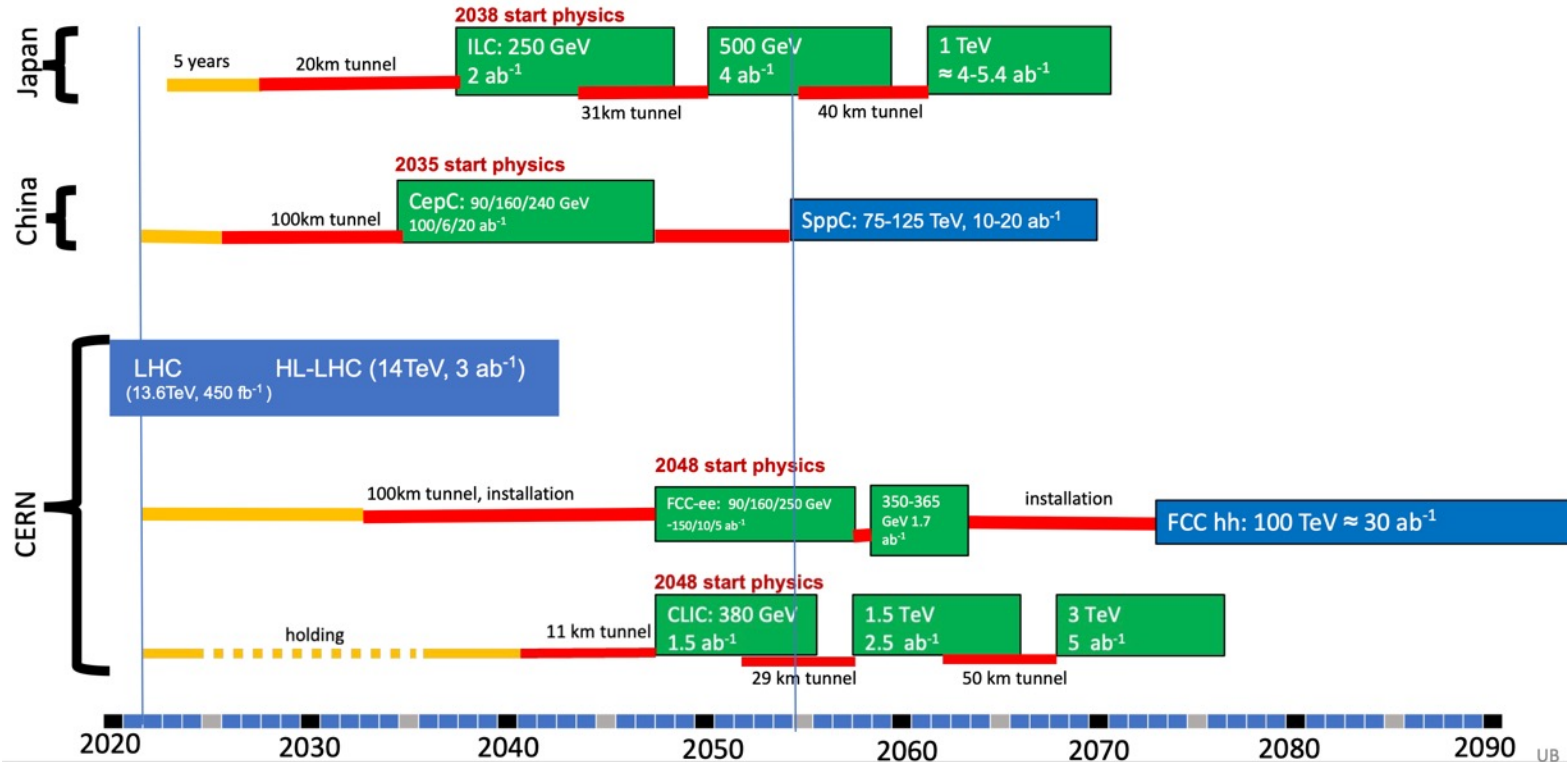
Collisionneurs du futur : ESPP en 2020

Indicative scenarios of future colliders [considered by ESG]

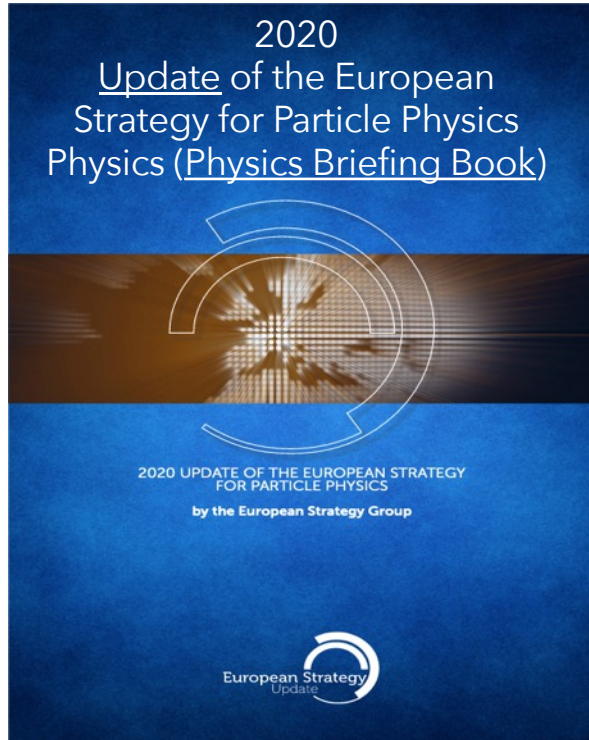
- Proton collider
- Electron collider
- Muon collider

- Construction/Transformation
- Preparation / R&D

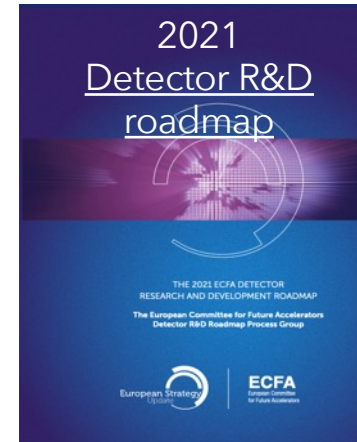
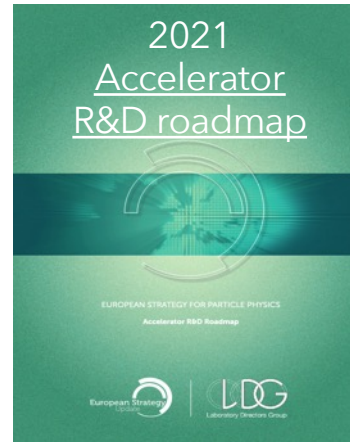
Original from ESG by UB
Updated July 25, 2022 by MN



Feuille de route Européenne 2020 - 2021

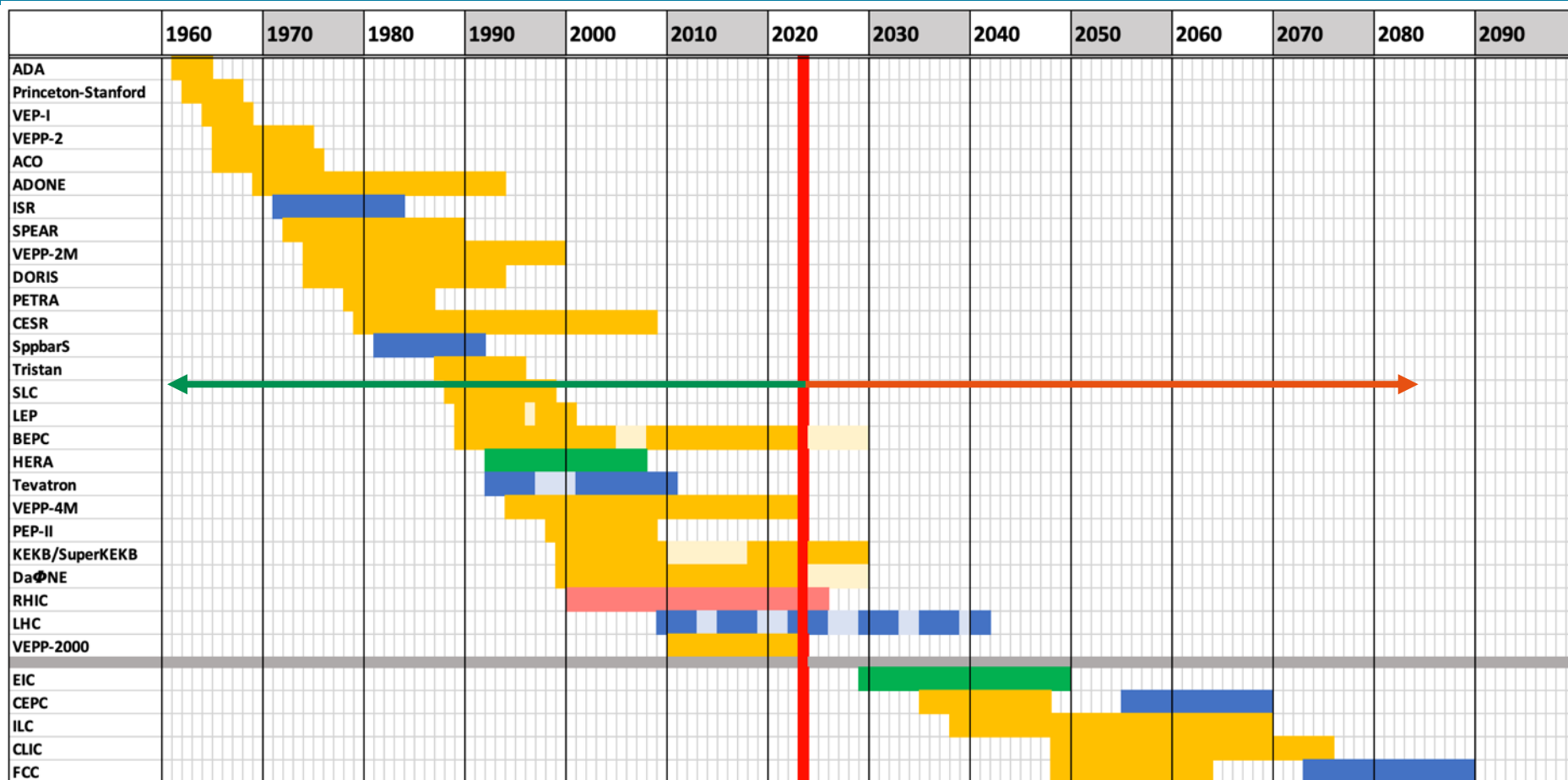


« An electron-positron Higgs factory is the highest-priority next collider. »

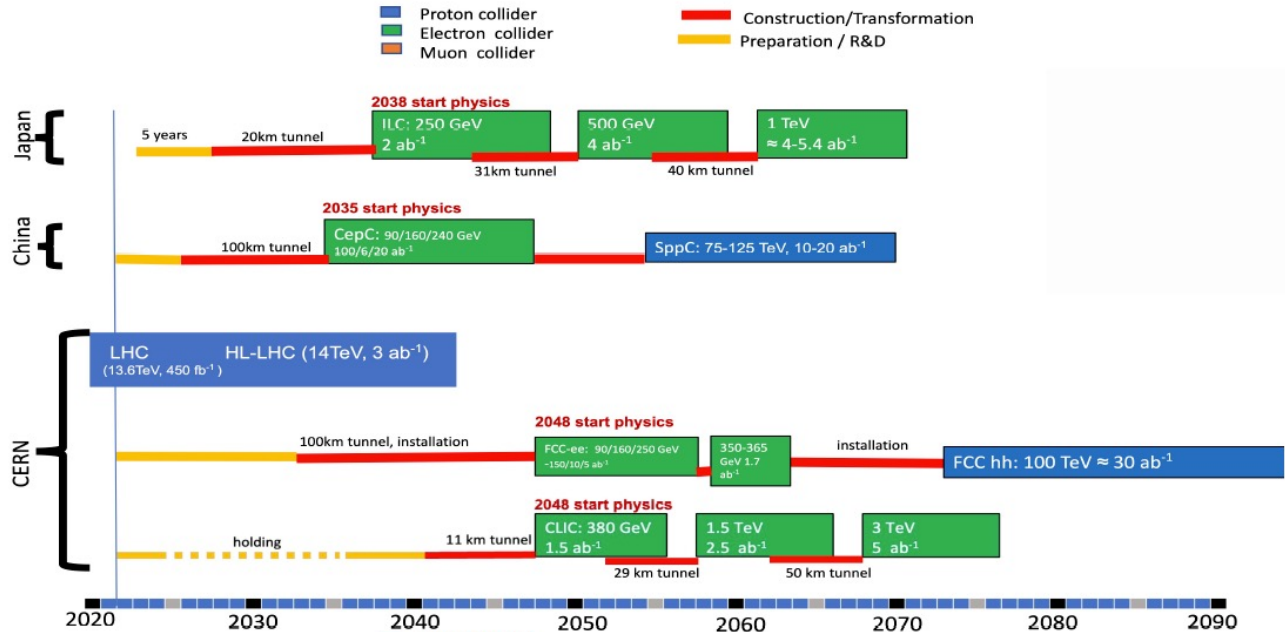


Roadmap US (P5) attendue pour l'automne 2023

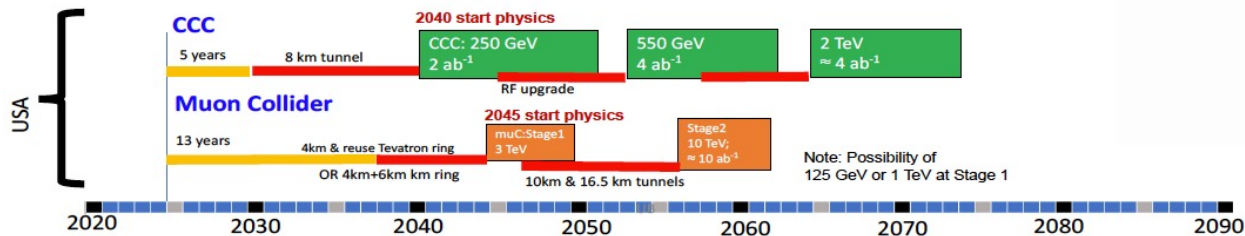
Collisionneurs: présent, passé et futur



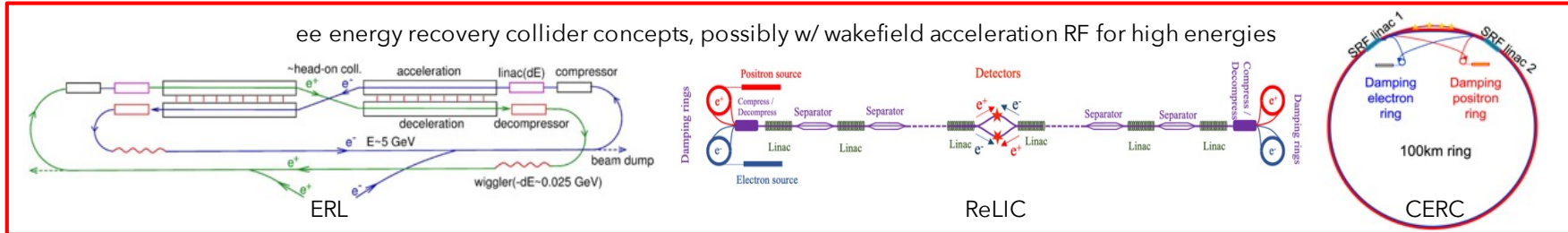
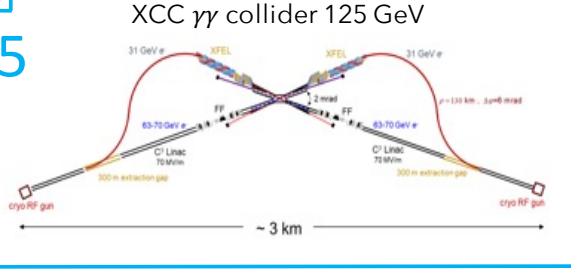
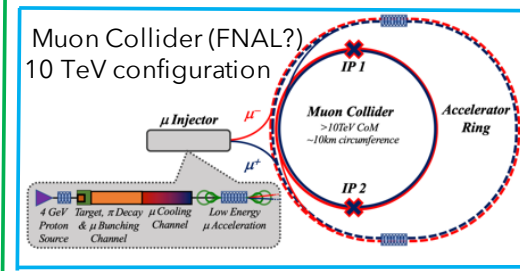
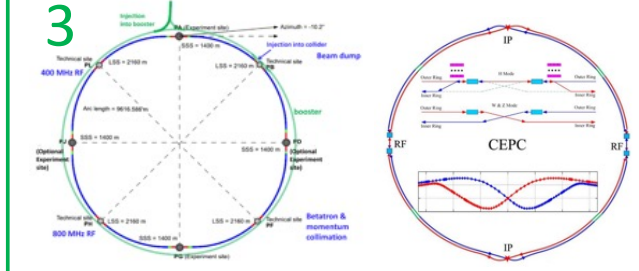
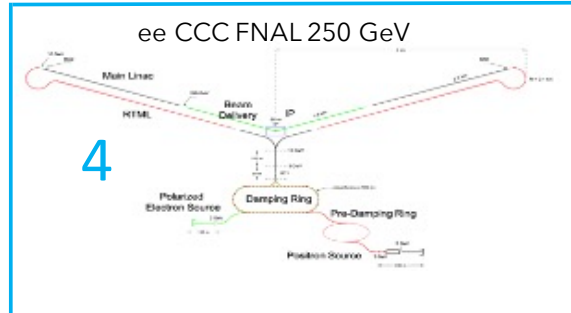
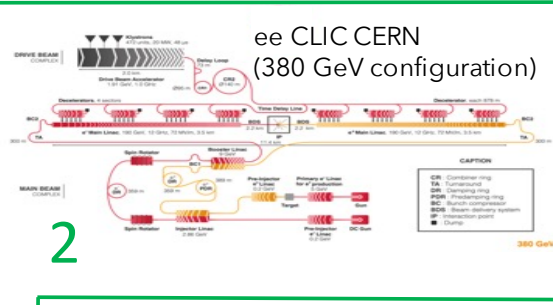
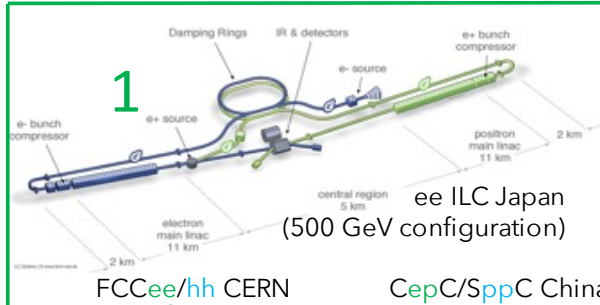
Situation aux Etats-Unis: Snowmass 2021 et P5 2023



Proposals emerging from Snowmass 2021 for a US based collider



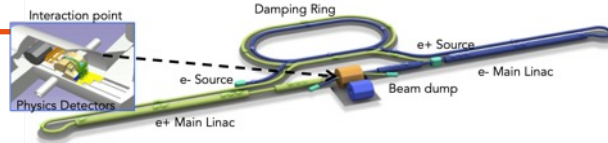
Collisionneurs à l'étude



Etat de R&D très avancé/intermédiaire/initial

@ D. Contardo

Collisionneurs e^+e^-

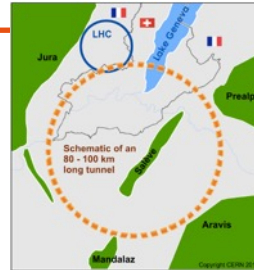


Collisionneurs linéaires:

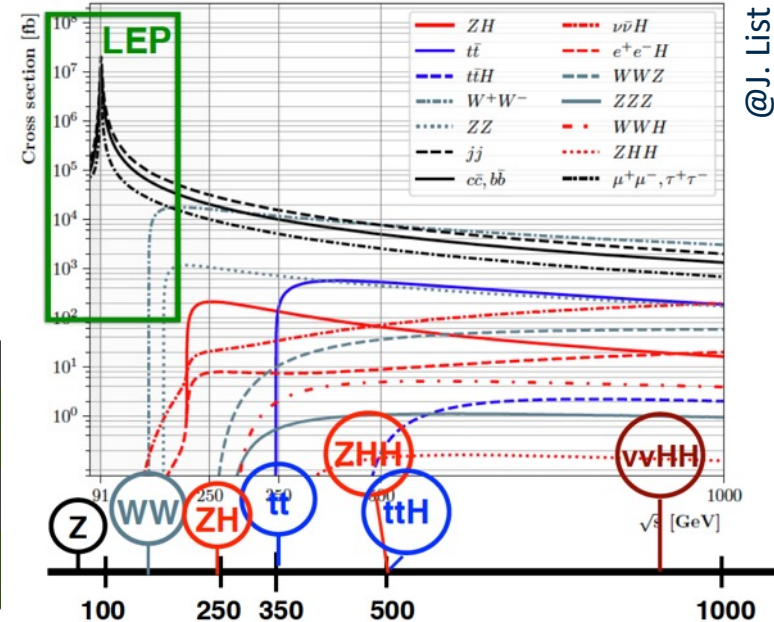
- ILC
 - CLIC
 - Faisceaux polarisés
 - Concepts de détecteurs très avancés: ILD, SiD,
- Long terme:** augmenter la longueur (ILC : 500 GeV/30km, 1 TeV/50 km), cavités à plus haut gradient, ...

Collisionneurs circulaires:

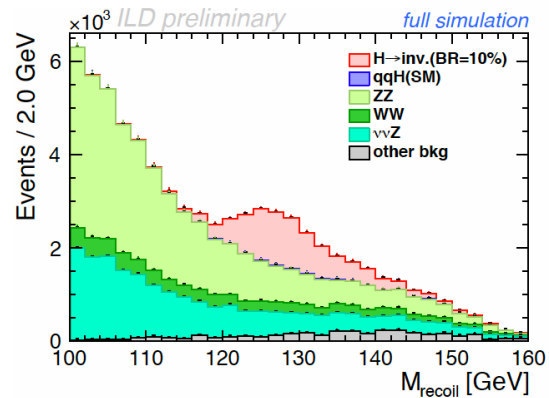
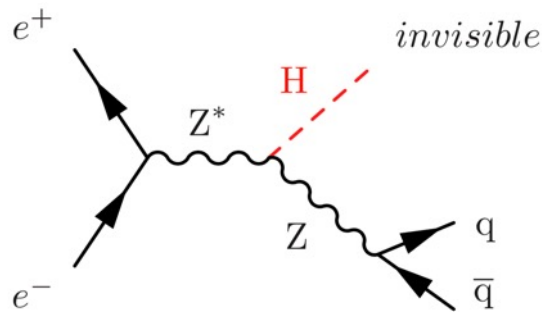
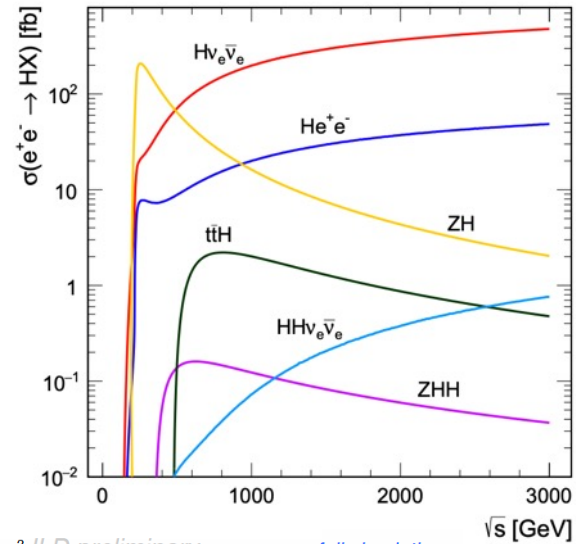
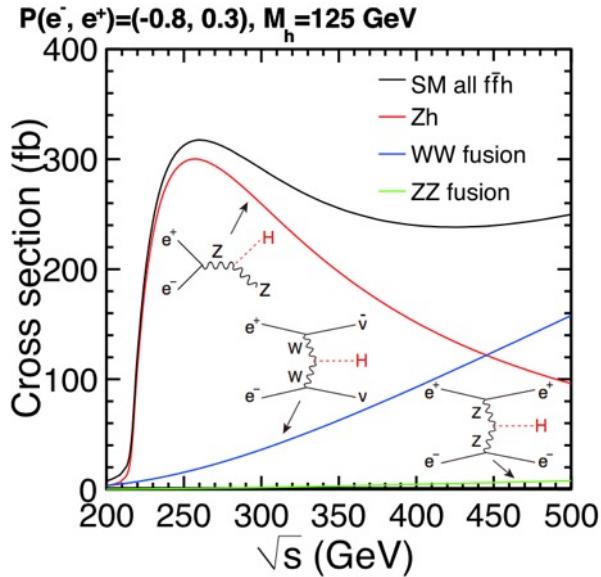
- FCC-ee
- CEPC en Chine
- Limités par le rayonnement synchrotron, mais les faisceaux continuent de tourner !
- Plusieurs points d'interaction



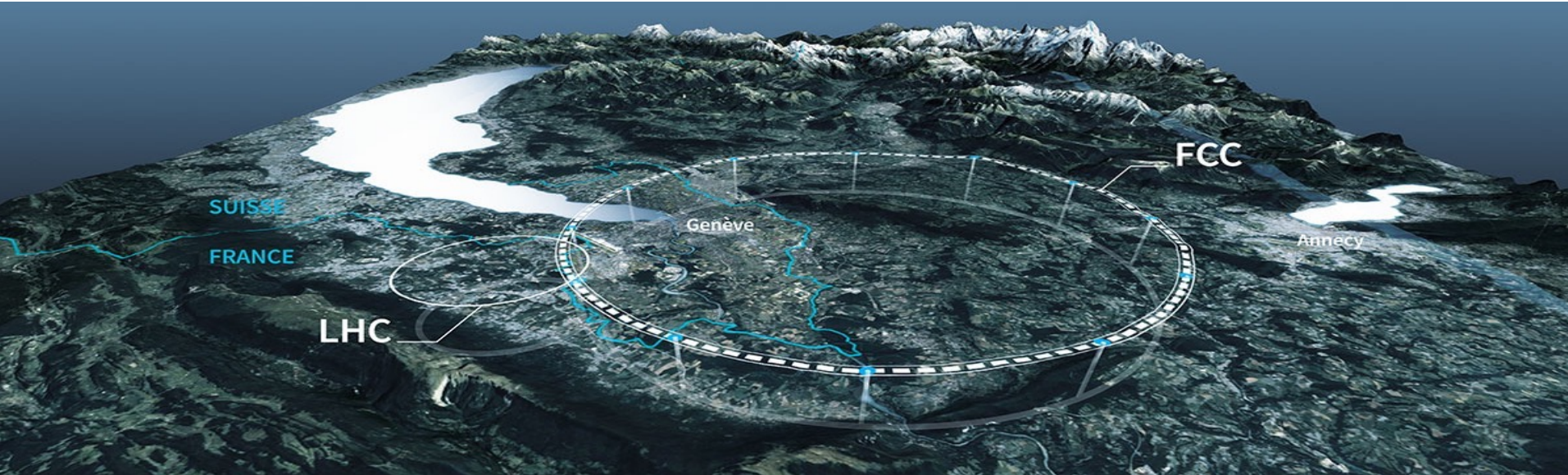
Long terme: utilisation du tunnel pour un collisionneur hadronique (FCC-hh, SppC) à 100 TeV



International Linear Collider



Le Future Circular Collider: FCC-ee



Etudes de précisions à haute lumi du Z, W, H, and $t\bar{t}$

$2 \times 10^{36} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}/\text{IP}$ (TeraZ)

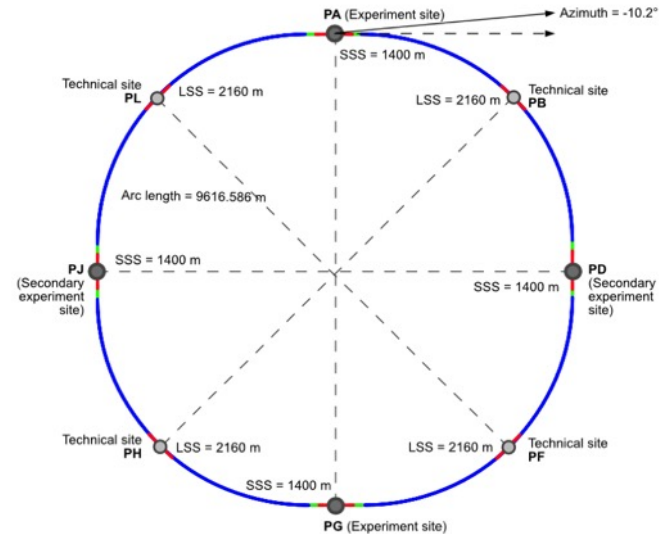
$7 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (ZH)

$1.3 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($t\bar{t}$)

Un tunnel et une infrastructure pour un futur programme (à partir de ~2075), collisionneur FCC-hh à 100 TeV (ou autre)

Le Future Circular Collider FCC-ee

Parameter [4 IPs, 91.1 km, $T_{rev}=0.3$ ms]	Z	WW	H (ZH)	ttbar
beam energy [GeV]	45	80	120	182.5
beam current [mA]	1400	135	26.7	5.0
number bunches/beam	8800	1120	336	42
bunch intensity [10^{11}]	2.76	2.29	1.51	2.26
SR energy loss / turn [GeV]	0.0391	0.37	1.869	10.0
total RF voltage 400/800 MHz [GV]	0.120/0	1.0/0	2.48/0	4.0/7.67
long. damping time [turns]	1170	216	64.5	18.5
horizontal beta* [m]	0.15	0.2	0.3	1
vertical beta* [mm]	0.8	1	1	1.6
horizontal geometric emittance [nm]	0.71	2.17	0.64	1.49
vertical geom. emittance [pm]	1.42	4.34	1.29	2.98
horizontal rms IP spot size [μm]	10	21	14	39
vertical rms IP spot size [nm]	34	66	36	69
beam-beam parameter ξ_x / ξ_y	0.004/ .159	0.011/0.111	0.0187/0.129	0.096/0.138
rms bunch length with SR / BS [mm]	4.32 / 15.2	3.55 / 7.02	2.5 / 4.45	1.67 / 2.54
luminosity per IP [$10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]	181	17.3	7.2	1.25
tot. integr. luminosity / yr [ab^{-1}/yr]	86	8	3.4	0.6
beam lifetime rad Bhabha / BS [min]	19 / ?	20 / ?	10 / 19	12 / 46



Le Future Circular Collider FCC-ee

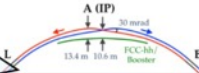
"Higgs Factory" Programme

- Momentum resolution of $\sigma_{p_T}/p_T^2 \approx 2 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-1}$ commensurate with $\mathcal{O}(10^{-3})$ beam energy spread
- Jet energy resolution of 30%/√E in multi-jet environment for Z/W separation
- Superior impact parameter resolution for c, b tagging

LC-inspired.
Update from
physics studies
ongoing

Ultra Precise EW Programme & QCD

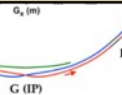
- Absolute normalisation (luminosity) to 10^{-4}
- Relative normalisation (e.g. $\Gamma_{\text{had}}/\Gamma_{\ell}$) to 10^{-5}
- Momentum resolution "as good as we can get it"
 - Multiple scattering limited
- Track angular resolution $< 0.1 \text{ mrad}$ (BES from $\mu\mu$)
- Stability of B-field to 10^{-6} : stability of \sqrt{s} meast.



It is not unlikely that the most stringent requirements will come from **the intensity frontier**
Just pick up a case study in **the TeraZ programme**, and you'll make a unique contribution

Heavy Flavour Programme

- Superior impact parameter resolution: secondary vertices, tagging, identification, life-time measts.
- ECAL resolution at the few %/√E level for inv. mass of final states with π^0 s or γ s
- Excellent π^0/γ separation and measurement for tau physics
- PID: K/ π separation over wide momentum range for b and τ physics

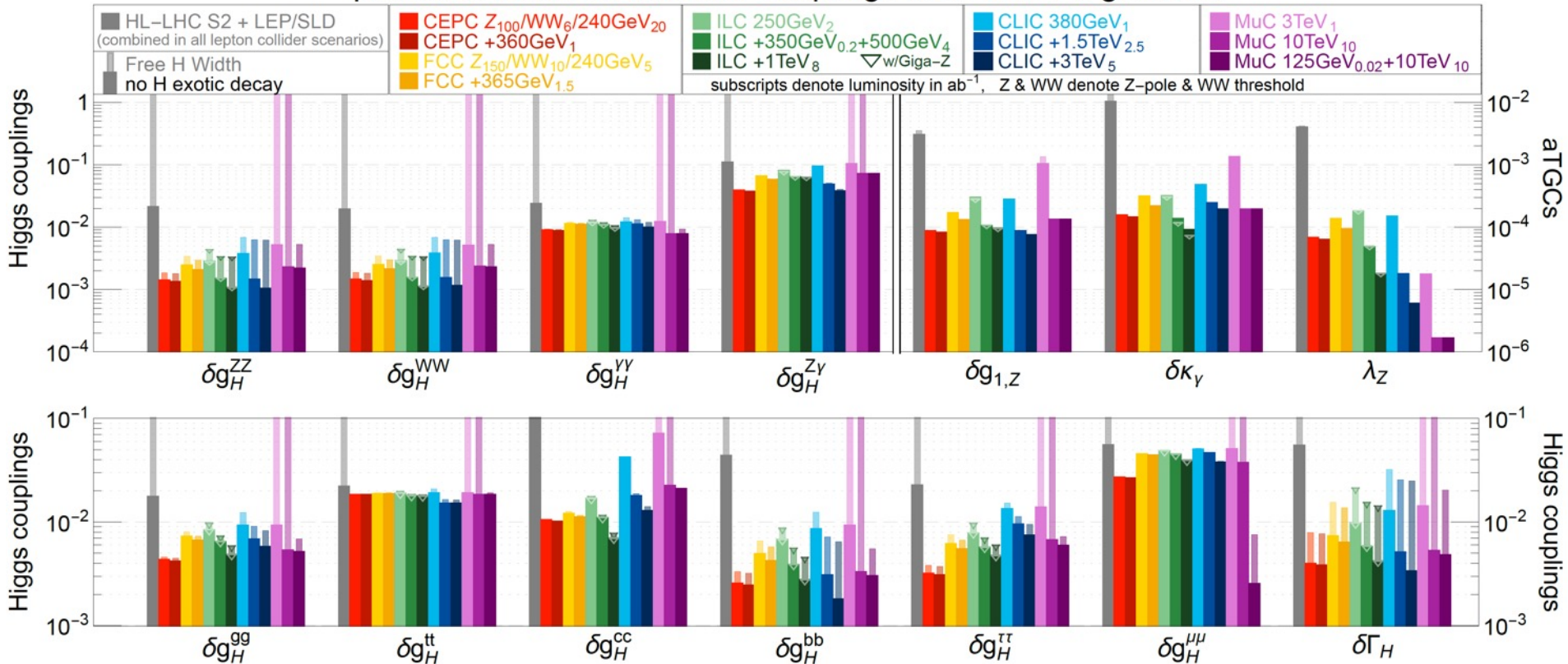


Feebly Coupled Particles - LLPs

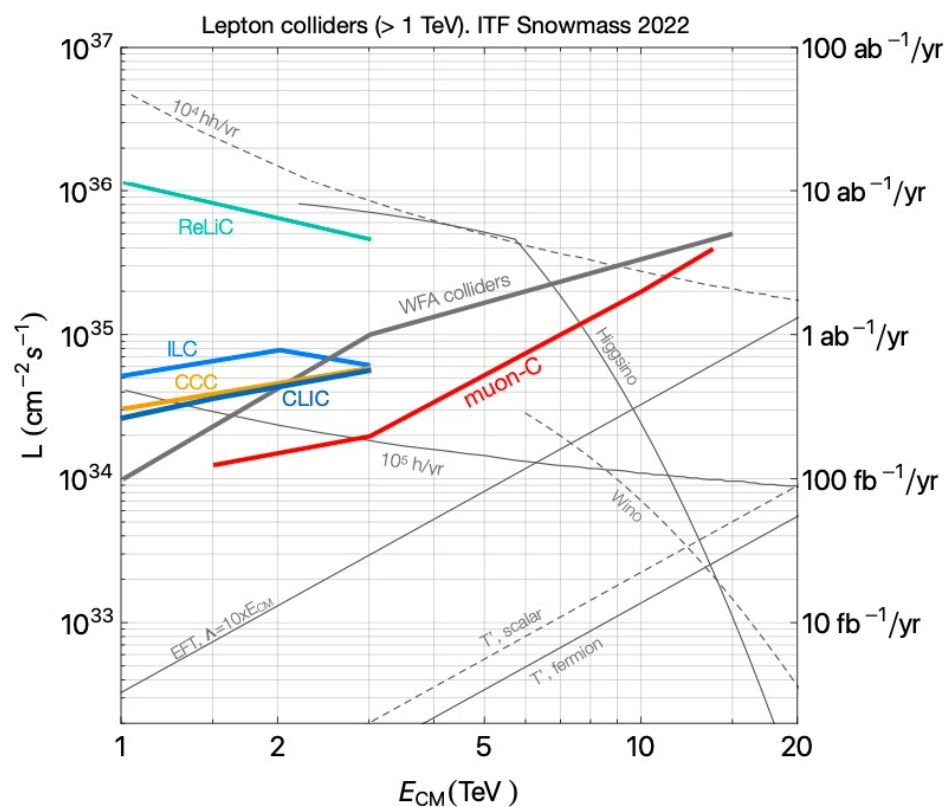
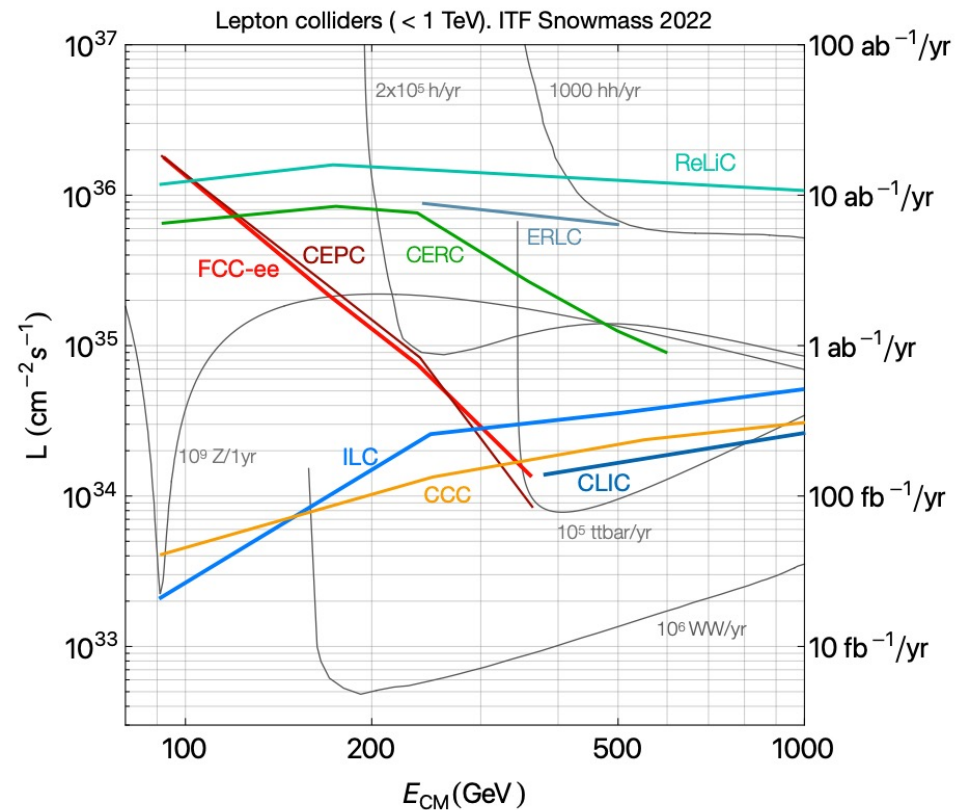
- Benchmark signature: $Z \rightarrow \nu N$, with N decaying late
- Sensitivity to far detached vertices (mm \rightarrow m)
 - Tracking: more layers, continuous tracking
 - Calorimetry: granularity, tracking capability
 - Large decay lengths \Rightarrow extended detector volume
 - Precise timing for velocity (mass) estimate
 - Hermeticity

Prospectives sur les mesures des couplages du Higgs

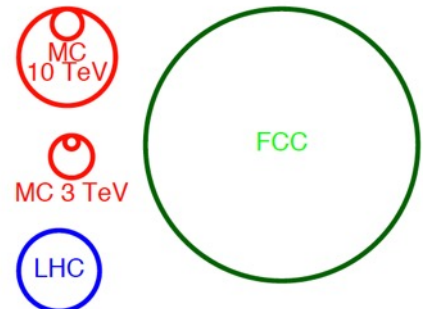
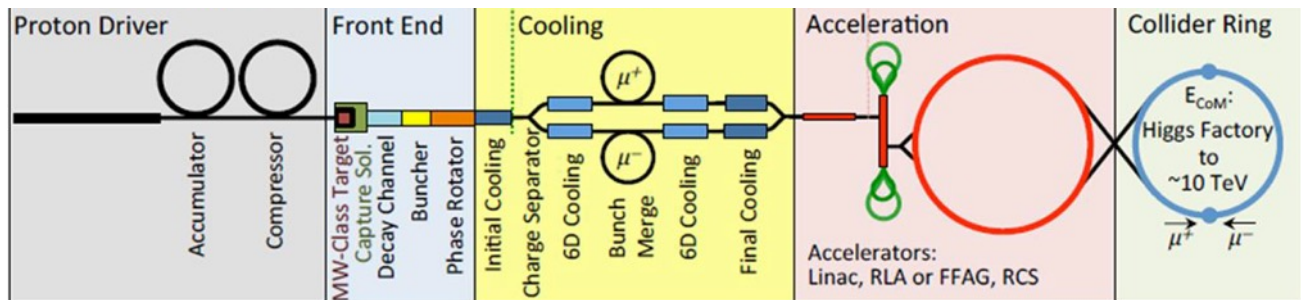
precision reach on effective couplings from SMEFT global fit



Futurs collisionneurs



Collisionneurs à muons



CLIC

paquets de protons
Courts et intenses

Cooling des muons

Accélération à l'énergie
de collision

Collisions

Capture des muons
muons \leftarrow pions \leftarrow protons

Le concept de collisionneur à muons est étudié depuis de nombreuses années : International Muon Collider Collaboration

- Objectif: $\sqrt{s} = 10 \text{ TeV}$
- Staging: $\sqrt{s} = 125 \text{ GeV}, 1 \text{ TeV}, 3 \text{ TeV}$

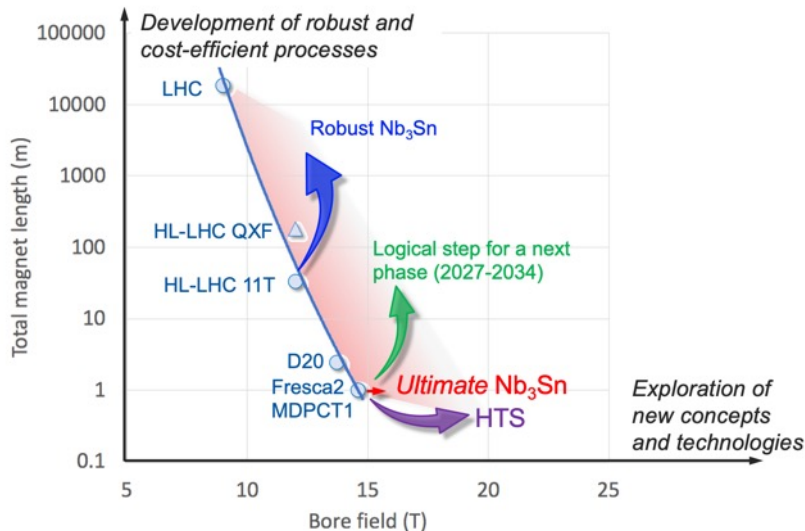
Challenges: Bruits induits des faisceaux, neutrinos



Aimants Supraconducteurs

ESPP 2020:

« the particle physics community should ramp up its R&D effort focused on advanced accelerator technologies, in particular that for high-field superconducting magnets, including high-temperature superconductors; »



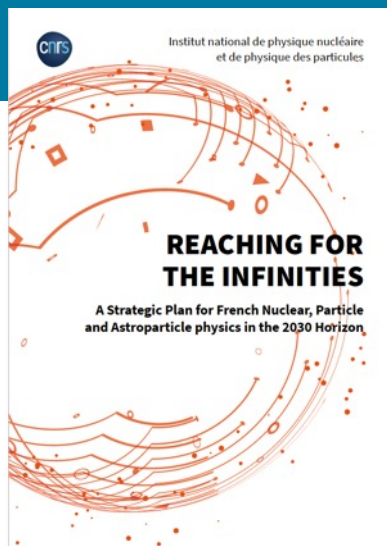
Le budget du CERN pour les aimants à haut champ a doublé dans le midterm plan 2020 (~ 200 MCHF sur dix ans)

Principales activités de R&D :

- Matériaux: ~16 T pour Nb₃Sn, et ~20 T pour inserts HTS
- Technologie des aimants : ingénierie, robustesse mécanique, matériaux isolants, qualité du champ
- production de modèles et de prototypes : démontrer les choix de matériaux, de conception et d'ingénierie,
- Industrialisation et coûts
- infrastructure et stations d'essai: pour les essais jusqu'à ~ 20 T et 20-50 kA

Livrables détaillés et calendrier en cours de définition dans la feuille de route R&D de l'accélérateur en cours d'élaboration

**Plan stratégique pour
la physique nucléaire,
la physique des particules
et des astroparticules
à l'horizon 2030**



Feuille de route publiée le 13 décembre 2022

Sur le site web des prospectives:

<https://prospectives2021.in2p3.fr/>

Références:

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7794586>

<https://hal.in2p3.fr/in2p3-04056277>

Un résumé en 4 pages en français est également disponible

12 Science Drivers

- Améliorer les connaissances sur le secteur du boson de Higgs.
- Étudier l'asymétrie matière-antimatière et les transitions de saveur.
- Poursuivre les recherches de nouvelles particules et interactions.
- Comprendre la structure et l'origine des propriétés des hadrons.
- Poursuivre l'exploration du diagramme de phase de la matière nucléaire.
- Explorer les limites de stabilité des systèmes nucléaires.
- Comprendre comment les processus nucléaires façonnent l'Univers.
- Utiliser les ondes gravitationnelles pour explorer l'Univers et ses lois fondamentales.
- Étudier la physique des messagers de haute énergie et sonder les phénomènes astrophysiques extrêmes.
- Comprendre la physique derrière l'inflation cosmique et l'énergie noire.
- Explorer les propriétés physiques des neutrinos
- Identifier la nature de la matière noire.

Chronologie des projets prioritaires

SCIENTIFIC DOMAIN	PROJECT	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
QUARKS AND LEPTON PHYSICS	ATLAS	Upgrade	Operations				Upgrade			Operations	
	CMS	Upgrade	Operations				Upgrade			Operations	
	LHCb	Upgrade	Operations				Shutdown			Operations	
	Belle-II	Operations	Upgrade	Operations			Upgrade	Operations			
	FCC Feasibility Study	Feasibility study									
HADRON PHYSICS	ALICE	Upgrade	Operations				Shutdown			Operations	
	CMS HI	Upgrade	Operations				Shutdown			Operations	
	LHCb HI	Upgrade	Operations				Shutdown			Operations	
	EIC project	Conception			Construction						Operations
NUCLEAR PHYSICS & ASTROPHYSICS	AGATA	Operations @ GANIL	Operations @ LEGNARO				Operations @ FAIR, ISOLDE, GANIL...				
	SPIRAL2/S3	Construction			Operations						
	SPIRAL2/DESIR	Construction					Operations				
	FAIR/NUSTAR	Construction					Operations				
ASTROPARTICLE PHYSICS	HESS	Operations									
	PAO	Operations									
	Adv Virgo+	Construction		Operations - O4	Construction			Operations - O5			
	CTA	Construction						Operations			
	USA	Construction									
	ET project	Design study									
COSMIC INFLATION & DARK ENERGY	LSST	Construction			Operations						
	Euclid	Construction					Operations				
	LiteBird project	Construction									
	CMB-S4 project	Design study					Construction				
NEUTRINO PHYSICS & DARK MATTER	XenonNT	Construction	Operations								
	T2K-II/SK	Upgrade		Operations							
	JUNO	Construction			Operations						
	KM3NeT	Construction					Operations				
	HK	Construction					Operations				
	DUNE	Construction								Operations	

Science Drivers addressed by each major project in Nuclear, Particle and Astroparticle physics

SCIENTIFIC DOMAIN	PROJECT	SD1 HIGGS	SD2 FLAVOR	SD3 NEW PHENOMENA	SD4 HADRONS	SD5 NUCLEAR MATTER	SD6 NUCLEAR STRUCTURE	SD7 NUCLEAR PROCESSES	SD8 GRAVITATIONAL WAVES	SD9 HIGH ENERGY GAMMA & COSMIC RAYS	SD10 INFLATION & DARK ENERGY	SD11 Neutrinos	SD12 DARK MATTER
QUARKS AND LEPTON PHYSICS	ATLAS	●		●		●							●
	CMS	●		●									●
	LHCb		●	●	●								
	Belle-II		●	●	●								
	FCC Feasibility Study	●	●	●	●	●							●
HADRON PHYSICS	ALICE				●	●							
	CMS HI				●	●							
	LHCb HI				●	●							
	EIC project				●	●							

Prospectives scientifiques vers 2030 et au-delà

Les grands développements à venir ...

Du LHC
au FCC



Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire (CERN)

Established in 1954, CERN is a European research organization that operates accelerators dedicated to particle and nuclear physics. It is located near Geneva on the France-Swiss border. With the LHC, CERN became the world leading laboratory for high energy physics, attracting 12,500 international users. French scientists from CNRS, CEA and universities, who represent about 10% of users from the 23 member states, provide key contributions to CERN research programs, whether for physics experiments, technology developments for particle detectors and accelerators or in intensive computing.

GANIL 2030



Grand Accélérateur National d'Ions Lourds (GANIL)

GANIL is a world leading heavy-ion research laboratory for research in nuclear physics, atomic physics, astrophysics and condensed matter physics located in Caen, which offers a wide range of ion beams. GANIL hosts about 600 users, 2/3 of whom come from foreign research organizations. SPIRAL2 is a new facility consisting of a linear ion accelerator which delivered its first beams in 2020 and of 3 new experimental areas currently being set up: NFS, DESIR, and S3. The organizations leading this pluridisciplinary research laboratory are CNRS-IN2P3 and CEA-DRF.

De VIRGO à
Einstein
Telescope



European Gravitational Observatory (EGO-Virgo)

EGO is the European laboratory dedicated to the detection of gravitational waves. Founded in 2000 by CNRS and INFN and joined by NWO/Nikhef in 2021, it hosts and operates Virgo, the laser interferometer with 3 km arms located near Pisa in Italy. Virgo is able to measure variations in length of the order of a billionth of a billionth of a meter caused by GW space-time distortion. The laser beams are contained in vacuum tubes and are reflected by mirrors (cylinders of fused silica of 35 cm in diameter with a flatness better than one nanometer) suspended from chains of cascading pendulums, the seismic super-attenuators. EGO employs 60 people and hosts 800 visiting scientists from the Virgo collaboration (136 institutions from 15 countries).

Institut national de physique nucléaire
et de physique des particules

REACHING FOR THE INFINITIES

**A Strategic Plan for French Nuclear, Particle
and Astroparticle physics in the 2030 Horizon**

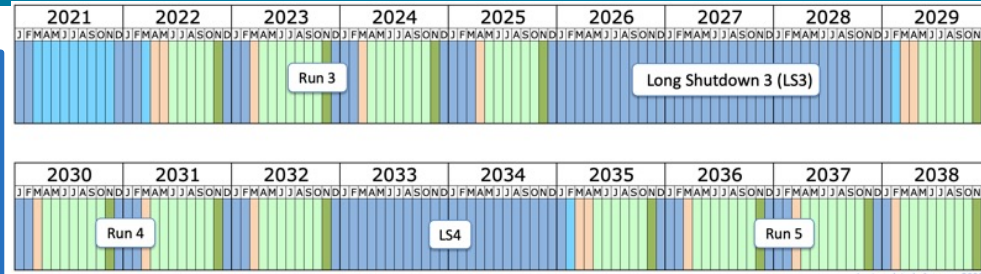
Priorités Physique des Quarks & Leptons

Poursuivre l'exploration de la frontière en énergie auprès des collisionneurs de haute énergie

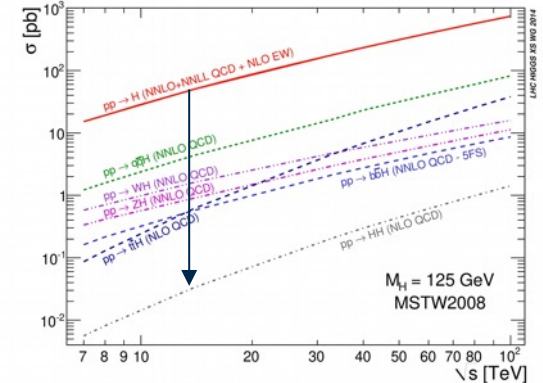
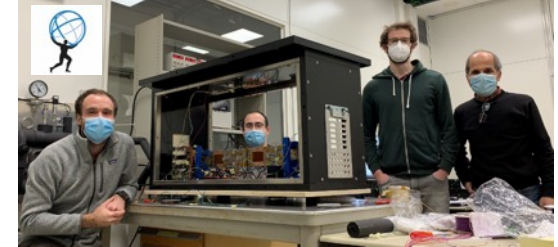
(I) Poursuivre l'exploitation complète et optimale des expériences polyvalentes ATLAS et CMS au LHC.

(II) Achever les mises à niveau de phase 2 d'ATLAS et CMS dans les délais prévus et préparer leur exploitation au HL-LHC.

(III) Contribuer à l'effort européen pour étudier la faisabilité du FCC au CERN et s'engager dans les programmes de R&D pour développer des technologies nouvelles de détection et d'accélération de particules.



Last updated: January 2022



Priorités Physique des Quarks & Leptons

Poursuivre les études sur la physique des saveurs à la frontière en intensité

(I) Exploiter pleinement le programme de physique en cours de LHCb. Maintenir une participation appropriée à d'autres expériences portant sur les Science Drivers.

(II) Préparer un programme expérimental durable de physique des saveurs au-delà de 2030.

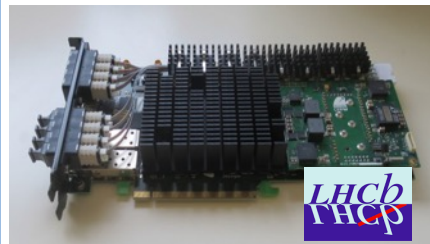
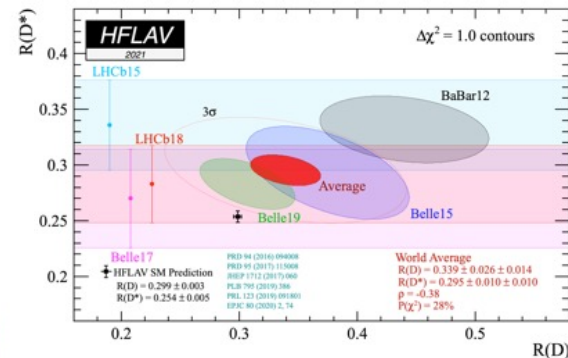
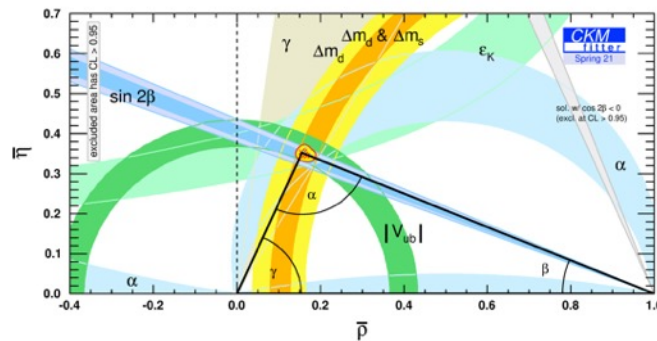


Image : Patrick Dumas/CNRS / Photothèque IN2P3



Dernières remarques

Champs et particules,
la crise de la cinquantaine ?

Journée thématique
jeudi 6 avril 2023 de 9h à 17h
www.journeechampsetparticules2023.fr

Intervenants :
Costas Bachas (ENS, Paris)
Marc Henneaux (Collège de France, Paris)
Jean Illopoulos (ENS, Paris)
Michel Spiro (IN2P3, Paris)
Daniel Treille (CERN, Genève)
Patrice Verdier (IP2I, Lyon)
Christophe Yèche (CEA, Saclay)

Table ronde "Regards de physiciennes sur l'évolution de la physique des hautes énergies" animée par Dominique Legti, Directrice éditoriale de Science et Avenir/La Recherche

Lieu :
Amglni Charpak du Laboratoire de physique nucléaire et de hautes énergies (LPNHE), 4 place Jussieu, Paris

Comité d'organisation :
Jean-Marie Broin, Jacques Dumarchez, Sandrine Emery, Nicolas Morange, Marlos Petropoulos, Philippe Rosnet, Yves Sacquin

Pourquoi ce terme "crise de la 50aine" ?

- Est-ce l'approche de la 50aine ?
- Ou bien 50 ans à travailler sur le MS ?

Rester humble et ne pas confondre le temps long de la science et le temps de l'activité humaine [Ex: le temps qu'il a fallu pour découvrir les ondes gravitationnelles, le boson de Higgs ou les oscillations de neutrinos]

Et si 1 année de science valait 3-4 années de vie humaine ?

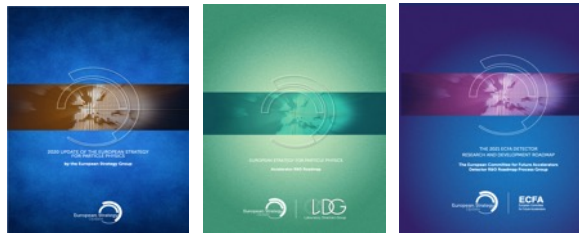
⇒ Cette « crise de la cinquantaine » est en fait une crise d'adolescence 😊

Dernières remarques

Et que demande t-on à un adolescent ?

Range ta chambre

L'ESPP 2020 a donné lieu à une réflexion intense des physiciens HEP et à une roadmap claire et précise



Pose ton portable

Des discussions scientifiques et stratégiques renforcées entre ECFA, NuPPEC et APPEC. Liens avec sciences des photons et neutrons à renforcer



Mets-toi au travail

Mise en place effective de projets de R&D pour répondre à l'étude de faisabilité FCC et apporter des réponses précises pour la prochaine mise à jour de l'ESPP (~2027)



Comment construire un programme scientifique d'envergure mondiale ?



Dans le contexte mondial actuel, comment maintenir et construire des collaborations scientifiques internationales ?

Impact économique, politique et sociétal sur les projets « Big Sciences » ?

Quid de la stabilité de ces collaborations pour les prochaines décennies ?

Les scientifiques Européens en HEP ont sans aucun doute un rôle central à jouer en s'appuyant sur le CERN et ce modèle de collaboration développé depuis 69 ans

Conclusion

Le programme de physique auprès du LHC et de SuperKEKb est bien balisé pour les années à venir
Un programme de physique essentiel, notamment sur l'étude du boson de Higgs, est en place jusqu'à la phase Haute-Luminosité du LHC (2041)

Le programme de physique s'inscrit dans un vaste contexte : physique des particules auprès des collisionneurs et hors-collisionneurs, physique des neutrinos, physique des astroparticules

La physique des particules auprès des collisionneurs nécessite une organisation et une planification au niveau mondial: les exercices de prospectives ont largement mobilisé les scientifiques du domaine HEP.
Après l'ESPP 2020, en attente des priorités américaines (P5) pour l'automne 2023

Priorité en Europe (ESPP 2020), l'étude de faisabilité pour le FCC : structuration des activités de R&D détecteurs et accélérateurs, études de site. La prochaine mise à jour de l'ESPP sera cruciale: être prêt pour 2026-2027

BACKUP

5 Program Wide Priorities

Program Wide Priorities:

Enable optimal research programs which address the Science Drivers

Complete French commitments to large national and international projects and secure the expected science return

Pave the way to sustainable programs which will enable to support small scale projects which could result in a leading role when opportunities arise

Enable the definition of French contributions supporting emerging or evolving projects

Maintain a world-class theoretical and computational physics research program, and support developments aligned with the Science Drivers

- ▶ Enable world-leading research to be undertaken in the fields of NPA physics
 - ▶ Require optimal research environments, collaborations and infrastructures
 - ▶ Foster international partnerships in the framework of a national organization
-
- ▶ Complete existing commitments to research programs from previous prioritizations, in particular those issued in the associated European roadmaps
-
- ▶ Require a balance between large-and-mid scale international projects and small-scale projects, together with strong support from theoretical inputs
 - ▶ Require dedicated programs of Research & Technological Development to push available or emerging technologies beyond their current limits
 - ▶ Set up an innovative and renewed R&D program, drawing on existing expertise, technological platforms and industrial partnerships
-
- ▶ Keep the potential for discovery and innovation at the highest level
 - ▶ Require mechanisms to exploit new opportunities, either completely new projects or upgrades of existing ones
-
- ▶ Support in theoretical and computational activities in NPA physics should be further enhanced in order to enable new discoveries and progress in these fields

Méthodologie: 12 Science Drivers

Définition des Science Drivers :

les SD ont été définis pour la prochaine décennie comme des pistes de recherche exploitables, dérivées de celles identifiées dans les rapports des GT01 à GT06.

Améliorer les connaissances sur le secteur du boson de Higgs	Higgs
Étudier l'asymétrie matière-antimatière et les transitions de saveur	Flavor
Poursuivre les recherches de particules et d'interactions inconnues	New Phenomena
Comprendre la structure et l'origine des propriétés des hadrons	Hadrons
Poursuivre l'exploration du diagramme de phase de la matière nucléaire	Nuclear Matter
Explorer les limites de stabilité des systèmes nucléaires	Nuclear Structure
Comprendre comment les processus nucléaires façonnent l'Univers	Nuclear Processes
Utiliser les ondes gravitationnelles pour explorer l'Univers et ses lois fondamentales	Gravitational Waves
Étudier la physique des messagers de haute énergie et sonder les phénomènes astrophysiques extrêmes	High Energy Gamma and Cosmic Rays
Comprendre la physique derrière l'inflation et l'énergie noire	Inflation and Dark Energy
Explorer la physique associée aux propriétés des neutrinos	Neutrinos
Identifier la nature de la matière noire	Dark Matter

Développements technologiques: Détecteurs, Accélérateurs, Computing

Pousser le développements des détecteurs vers

- Sensibilités accrues et bruits de fonds réduits
- Meilleures résolutions énergétiques, temporelles et spatiales
- Efficacité accrue, réduction des émissions de gaz à effet de serre, fiabilité et durée de vie accrues
- Lecture à haut débit et grande vitesse avec des acquisitions de données efficaces

GDR DI2I:

Détecteurs et Instrumentation pour les 2 Infinis

Pousser le développement des accélérateurs vers

- Énergies de faisceau plus élevées: collisionneurs à haute énergie de la prochaine génération
- Intensité et luminosité de faisceau améliorées pour la physique nucléaire, les collisionneurs de frontière de haute précision ou pour la physique des neutrinos
- Amélioration de la qualité, de l'efficacité et de la fiabilité des faisceaux, afin d'accroître la performance générale des infrastructures de recherche basées sur des accélérateurs

Pousser le développement de l'informatique et du traitement des données vers

- Des solutions informatiques plus puissantes et plus efficaces pour les collaborations scientifiques mondiales dans le domaine nucléaire, des particules et des astroparticules
- Consolider l'organisation des ressources informatiques nationales
- Renforcer davantage les liens entre CC-IN2P3 et les laboratoires
- Renforcer les collaborations avec les informaticiens en ML/AI
- Utilisation accrue de l'analyse en temps réel
- S'engager davantage dans les technologies émergentes et en évolution, y compris les technologies quantiques.



Mai 2022 : UCLab reçoit la première cavité prototype pour le projet PIP-II.

