



## Prospectives du LPC

# Pôle Particules et Univers : Futurs Accélérateurs

Domaine Marand 11 Juillet 2018

# Prospectives futurs accélérateurs

## Enjeux de physique HEP

- Programme physique LHC puis HL-LHC bien établi jusqu'en ~2037
- Futurs accélérateurs : physique à l'horizon 2030 (ILC) → 2050 (CLIC)
- Projets longs et nécessitant une implication continue

## Prospectives LPC 2013

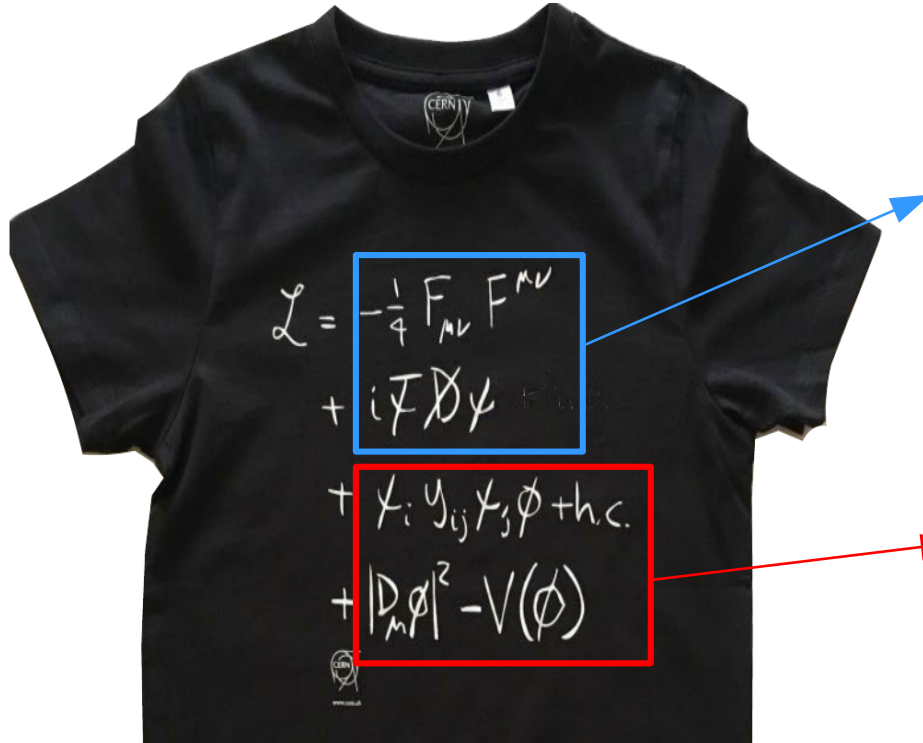
- 2013 : *status quo* ILC, annonce TLEP (FCC-ee), question synergie R&D LPC
- Sondage : un quart des physiciens HEP pourraient travailler sur un futur collisionneur de type  $e^+e^-$  dans les 5 à 10 ans

## Prospectives LPC 2018

- International Linear Collider (ILC) : collisionneur linéaire  $e^+e^-$  (Japon)
- Futur Circular Collider (FCC-ee) : collisionneur circulaire  $e^+e^-$  (CERN)
- Chinese electron-positron Collider (CepC) : collisionneur circulaire  $e^+e^-$  (Chine)

Projets non discutés FCC- $pp$ , ILC (échelle de temps) et HE-LHC (option défavorisée par rapport à FCC- $pp$ ).

# Contexte théorique



**Interactions de jauge** : qqy, qqZ, qgg, evW, ggg ...

Établi depuis des décennies (collisionneurs ep, ee, pp ...)

## Secteur de Higgs

- couplages Yukawa
- interaction boson jauge – scalaire
- potentiel de Higgs

Exploré seulement depuis **2012**

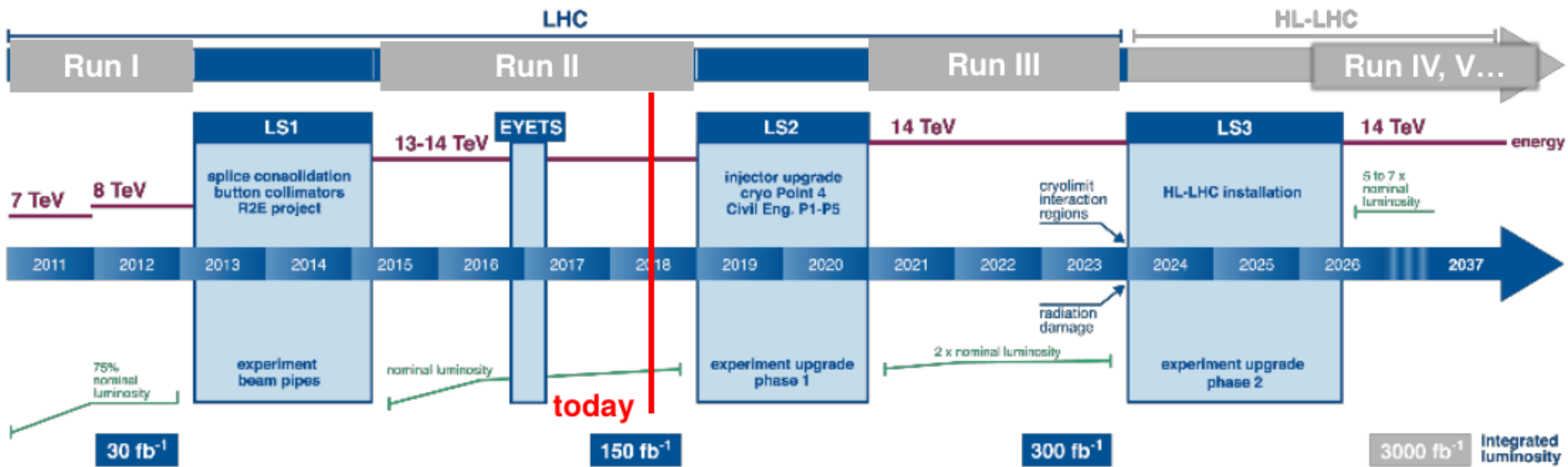
$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{SM} + \sum \frac{c_i}{\Lambda^2} \mathcal{O}_i^{d=6} + \sum \frac{c_i}{\Lambda^4} \mathcal{O}_i^{d=8} + \dots$$

BSM effects      SM particles

## Mesures MS

Interprétation (d'éventuelles) déviations en termes BSM (ex : EFT)

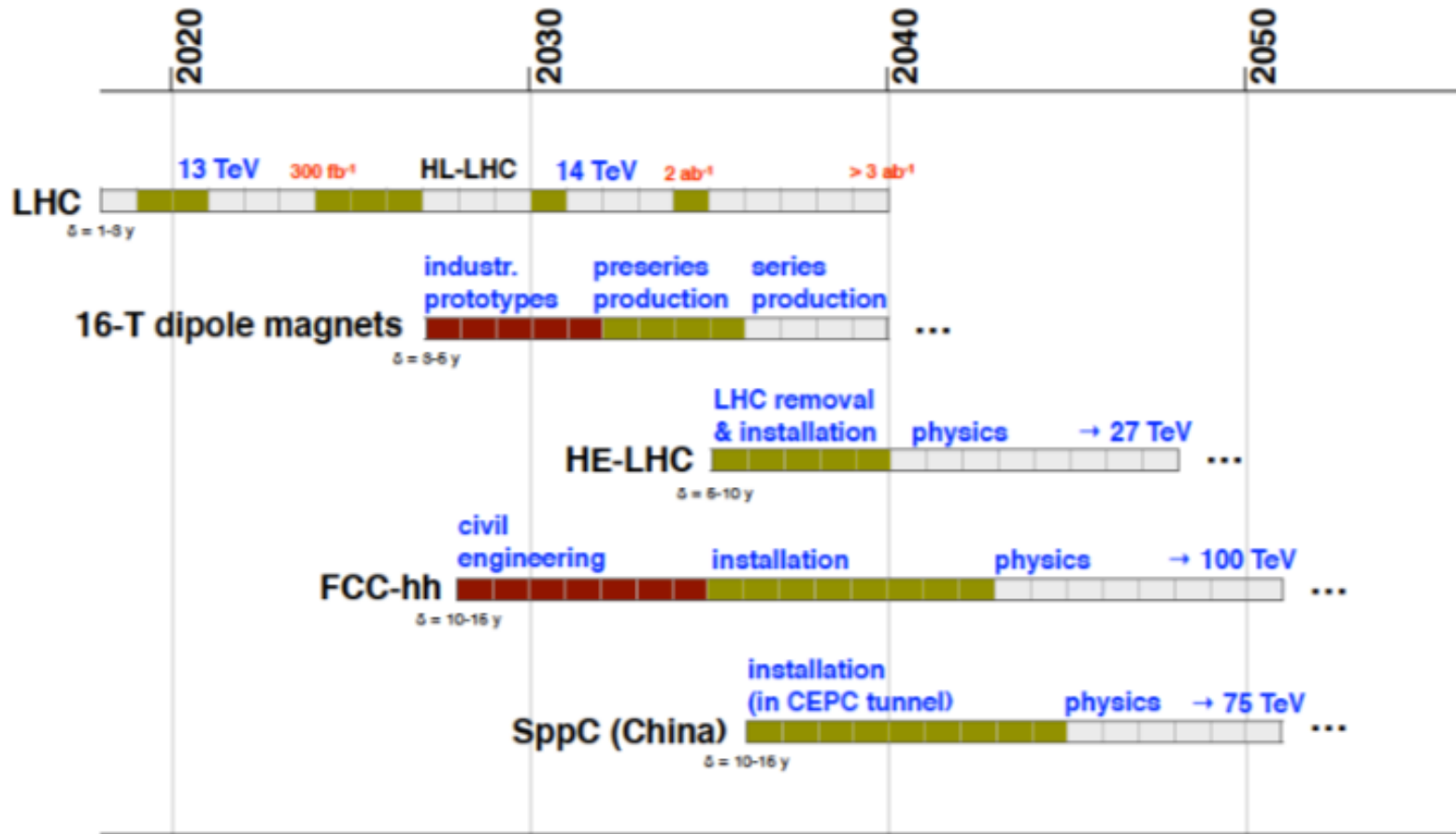
# LHC et HL-LHC



## Physique au HL-LHC

- Étude approfondie de la brisure de symétrie électrofaible (Higgs, interaction bosons vecteurs)
- Recherche directe de nouveaux phénomènes (nouvelle échelle BSM, résoudre le problème de hiérarchie).
- Mesures de précision (électrofaibles, quark top, saveurs)

# Futurs collisionneurs (pp)

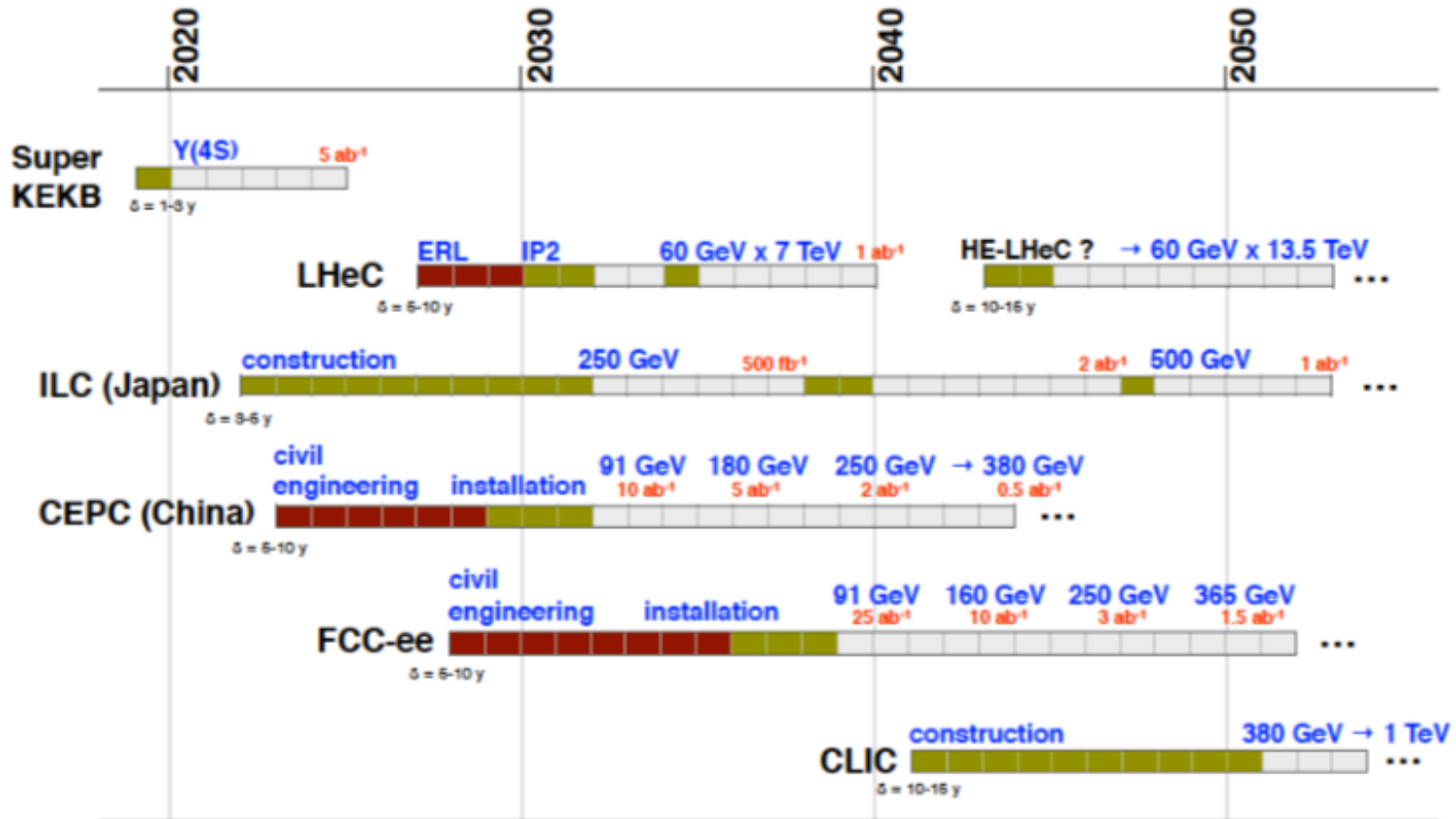


© G.Hamel de Monchenault

## Physique à long terme : au plus tôt 2040-2045

- Sections efficaces (Higgs, top) relativement importantes
- Fond QCD dominant, pile-up, fonctions densité partoniques

# Futurs collisionneurs (ee)

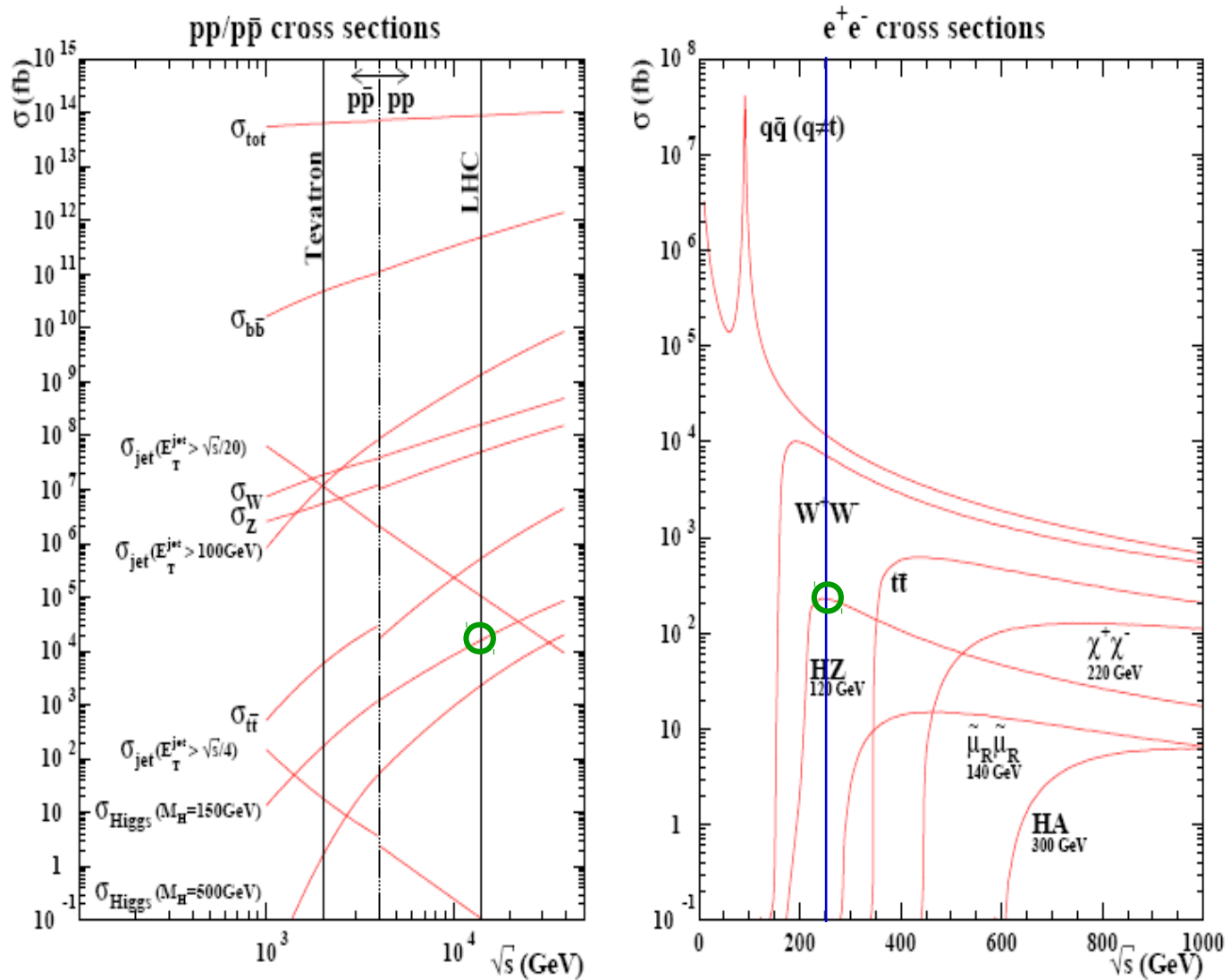


© G.Hamel de Monchenault

## Approche complémentaire et à plus court terme (physique ~2032)

- état initial contrôlé, effets de seuils en section efficace, choix de l'énergie, capacité de mesurer une largeur invisible.
- sections efficaces plus faibles mais environnement expérimental propre.

# Collisionneurs hadronique vs leptonique



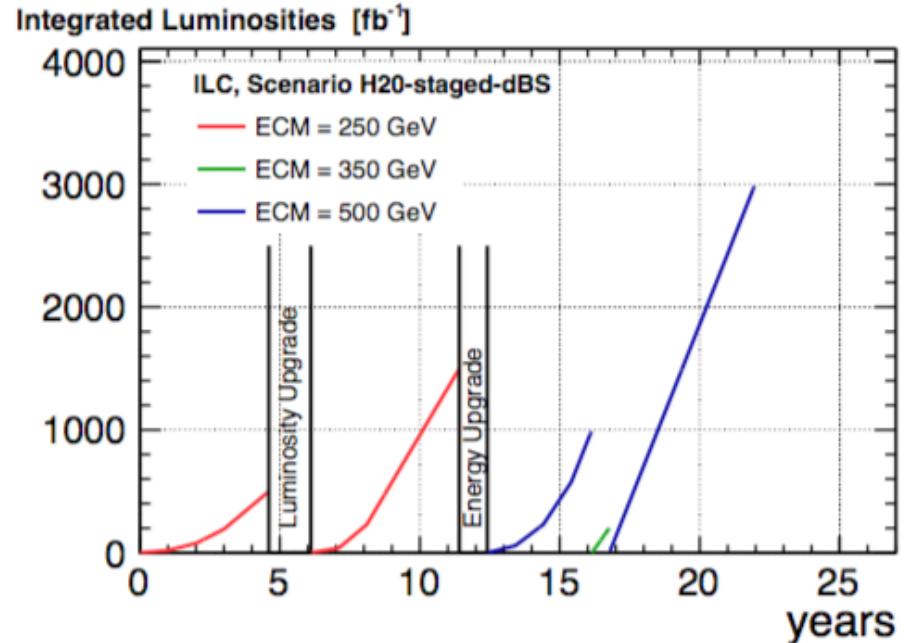
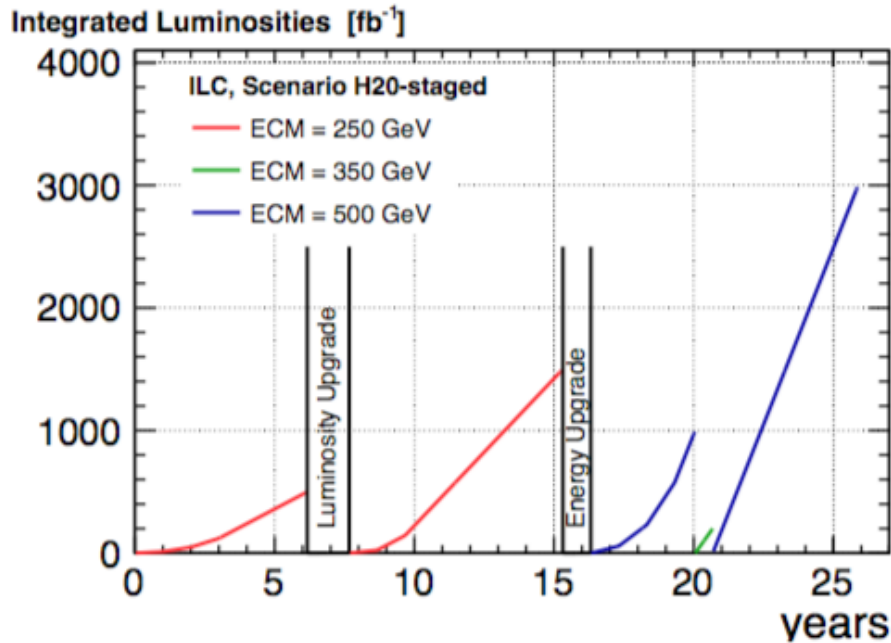
Sections efficaces des principaux processus auprès de collisionneurs hadronique et leptoniques

# ILC

Démarrage à  $\sqrt{s} = 250$  GeV (HZ, HW) puis possibilité d'upgrade à 500 GeV (tt, HH).

- Physique  $\sim 2032$  (si décision Japon d'ici fin 2018)
- Mesures de précision dans le secteur du Higgs
- Si upgrade à 500 GeV : mesures couplage de Yukawa du quark top

Deux scénarios types d'upgrade :

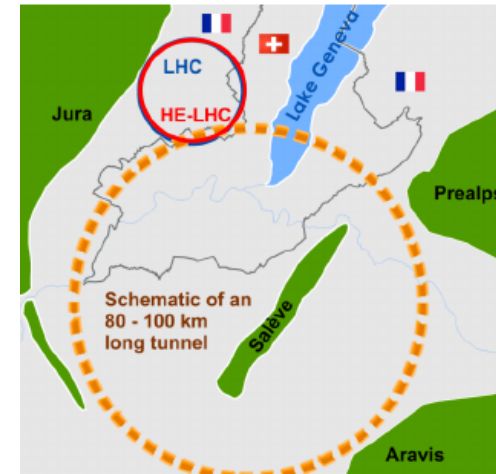




# FCC-ee / CepC

## FCC-ee : collisionneur circulaire (100 km circonférence, CERN)

- Construction ~ 2028, Physique ~2039
- $\sqrt{s} = 91 \text{ GeV} - 365 \text{ GeV}$  : 4 seuils électrofaibles (Z, WW, H, t)
- Luminosité élevée et mesures de précision
- Recherche de phénomènes rares
- Upgrade FCC-pp (100 TeV, Physique >2044)

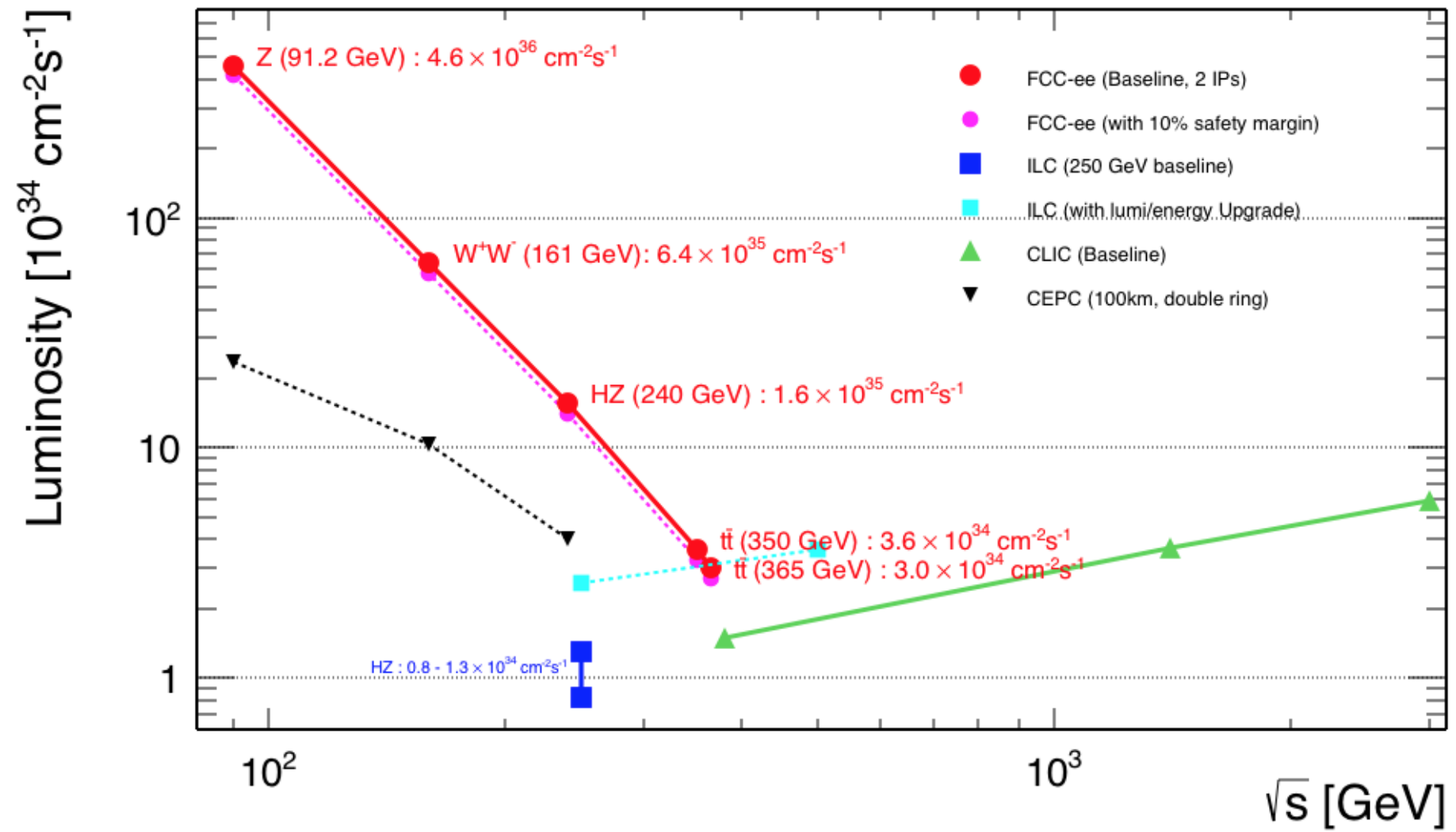


$\sqrt{s}$ (GeV):	90 (Z)	125 (eeH)	160 (WW)	240 (HZ)	350 ( $t\bar{t}$ )	350 (WW→H)
$\mathcal{L}/\text{IP}$ ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$2.2 \cdot 10^{36}$	$1.1 \cdot 10^{36}$	$3.8 \cdot 10^{35}$	$8.7 \cdot 10^{34}$	$2.1 \cdot 10^{34}$	$2.1 \cdot 10^{34}$
$\mathcal{L}_{\text{int}}$ ( $\text{ab}^{-1}/\text{yr}/\text{IP}$ )	22	11	3.8	0.87	0.21	0.21
Events/year (4 IPs)	$3.7 \cdot 10^{12}$	$1.2 \cdot 10^4$	$6.1 \cdot 10^7$	$7.0 \cdot 10^5$	$4.2 \cdot 10^5$	$2.5 \cdot 10^4$
Years needed (4 IPs)	2.5	1.5	1	3	0.5	3

## CepC : collisionneur circulaire (100 km circonférence, Chine)

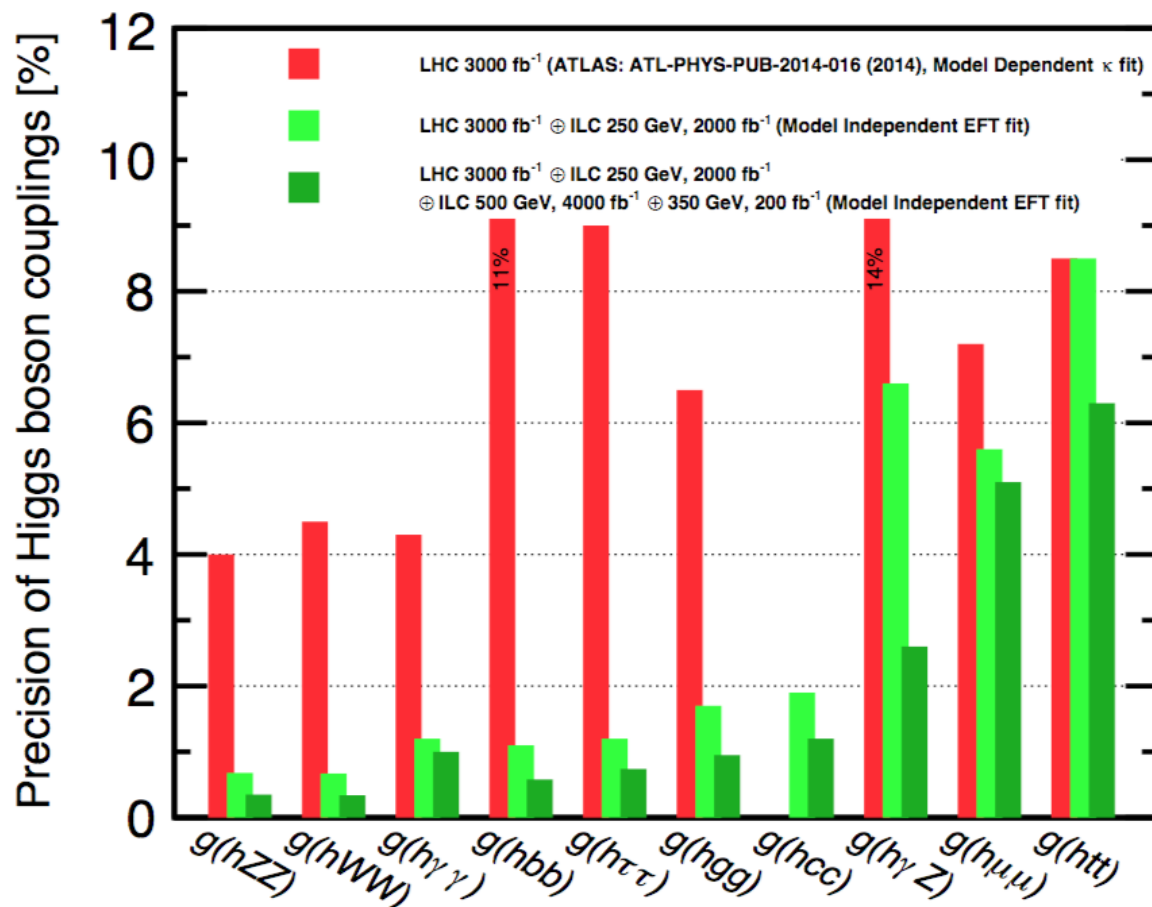
- Caractéristiques très proches de FCC-ee
- Développement machine et détecteurs inspirés de FCC-ee et ILD (ILC)
- Planning agressif, Physique ~ 2032 (avant fin HL-LHC)

# Luminosité et énergie de collision



# Couplages du boson de Higgs

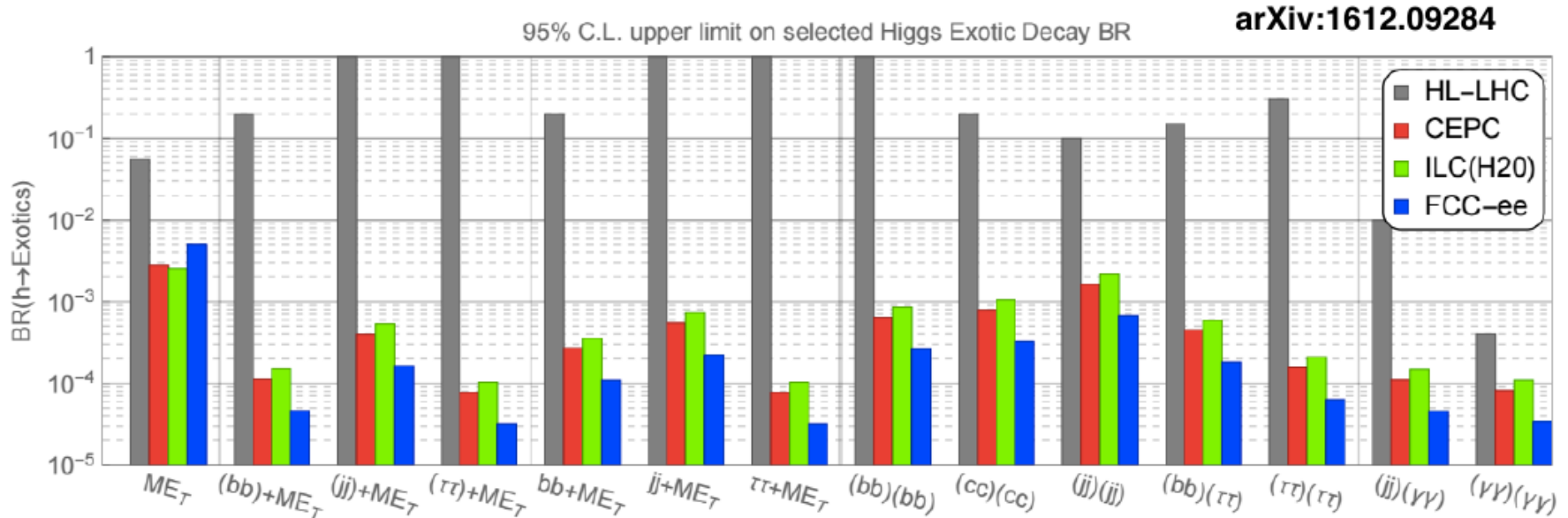
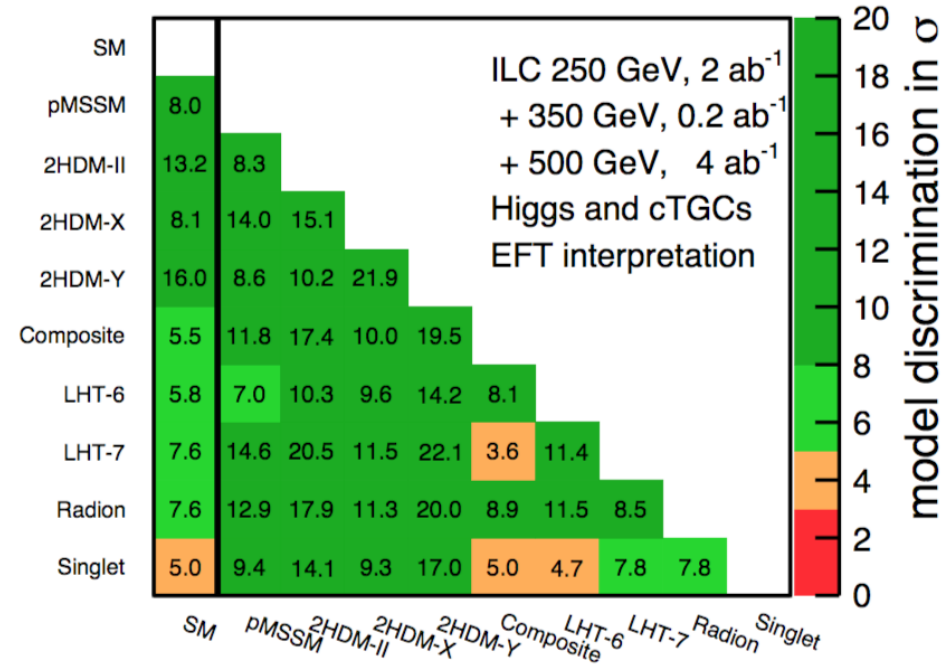
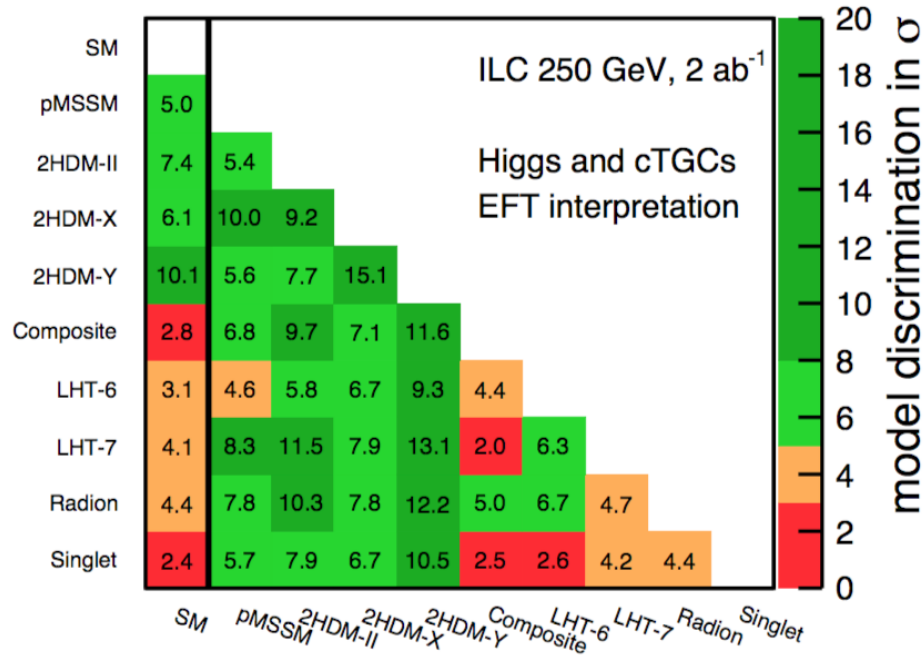
Précision drastiquement améliorée par rapport aux mesures du HL-LHC .



in %	FCC-ee 240 GeV	+FCC-ee 365 GeV	+HL- LHC
$\delta g_{HZZ}$	0.25	0.22	0.21
$\delta g_{HWW}$	1.3	0.47	0.44
$\delta g_{Hbb}$	1.4	0.68	0.58
$\delta g_{Hcc}$	1.8	1.23	1.20
$\delta g_{Hgg}$	1.7	1.03	0.83
$\delta g_{H\tau\tau}$	1.4	0.8	0.71
$\delta g_{H\mu\mu}$	9.6	8.6	3.4
$\delta g_{H\gamma\gamma}$	4.7	3.8	1.3
$\delta g_{Htt}$			3.3
$\delta \Gamma_H$	2.8	1.56	1.3

ICHEP 2018 (P. Giacomelli)

# Potentiel d'observation de nouvelle physique



# Activités et expertises au LPC

## ILC

Participation du LPC depuis ~15 ans

Implication (total) : 6 physiciens, 3 post docs, 2 doctorants, ingénieurs, stagiaires.

- Contribution à la rédaction du TDR de l'ILC (études de performance, R&D).
- Activité sur les détecteurs dans la collaboration CALICE (calorimétrie).
- Contribution à une 10aine de publications (essentiellement calorimétrie).
- Calorimètre hadronique sDHCAL (test-beam, simulation)

## FCC-ee

Participation plus récente : design study, coordination du groupe saveur

- Etudes de sensibilité ( $B^0$  en  $K^0 \tau \tau$ , violation de saveur au pic du Z).
- Travail en collaboration équipe théorique ayant donné lieu à 2 publications
- Conceptual Design Report (Automne 2018)

# Conclusions

La nature du (des) futur(s) collisionneurs dépend du **contexte international**.  
**Intérêt** de la communauté HEP du **LPC** pour ces futurs machines

La **rapidité** ainsi que la **nature** de l'implication de membres du laboratoire dépendra fortement de l'évolution de ce **contexte** et du **type** de collisionneur.

Un nouveau projet bénéficiera d'un **intérêt** de la communauté et offrira de nombreuses **opportunités** (R&D, étude performances)

Il pourra voir le jour sans mettre à mal les grandes expériences en cours.

Dans le contexte de l'**European Strategy Committee** un texte synthétisant la position que le LPC pourrait adopter a été proposé à la direction :

*The LPC (Laboratoire de Physique de Clermont) has a longstanding involvement in the detector designs for e+ e- colliders at high energy. The detector developments are conducted in the framework of the International Linear Collider (ILC) collaborations but can be generalised to other leptonic colliders. On a similar note, LPC participated to the Future Circular Collider (FCC) Design Study hosted by CERN since the beginning, and singularly on the Physics case definition of the e+e- machine. There is a strong support of the LPC towards the next generations of leptonic colliders at large.*