



Activités du groupe CMS

Xavier Coubez pour le groupe CMS

La naissance de la physique des particules & l'essor du Modèle Standard



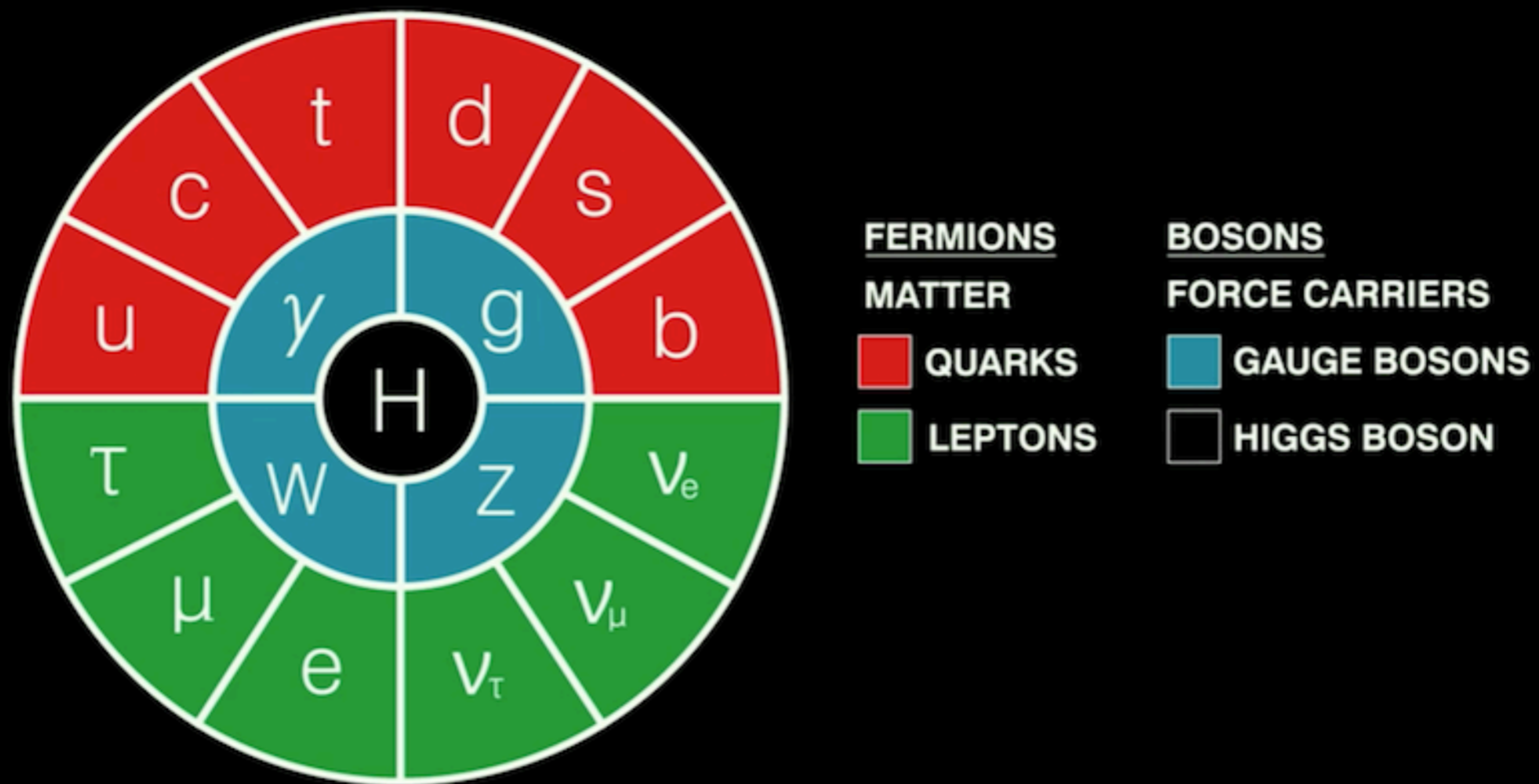
ELECTRON

La naissance de la physique des particules & l'essor du Modèle Standard

ELECTRON



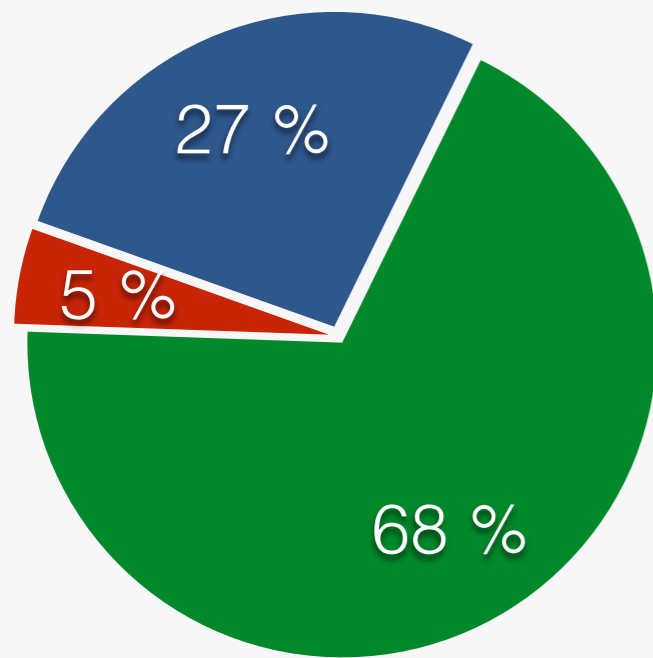
La naissance de la physique des particules & l'essor du Modèle Standard



PARTICLES OF THE STANDARD MODEL

... et au-delà

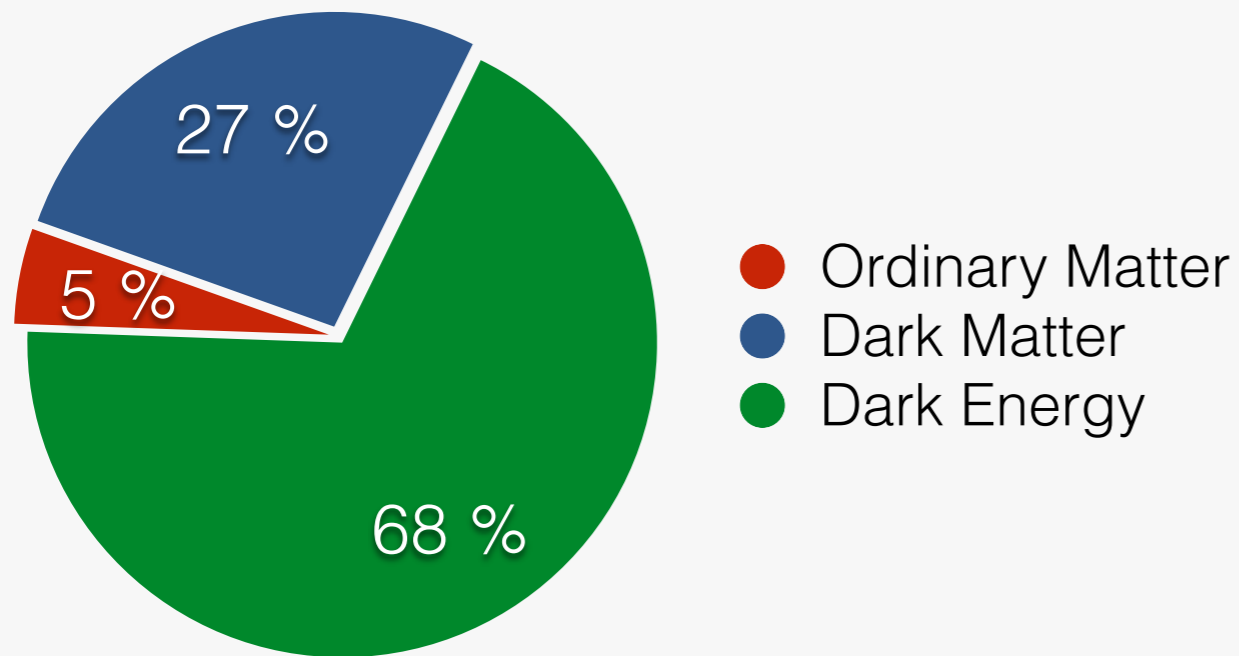
... et au-delà



- Ordinary Matter
- Dark Matter
- Dark Energy

Problèmes expérimentaux
masse des neutrinos,
matière noire, énergie noire,
asymétrie matière/antimatière

... et au-delà

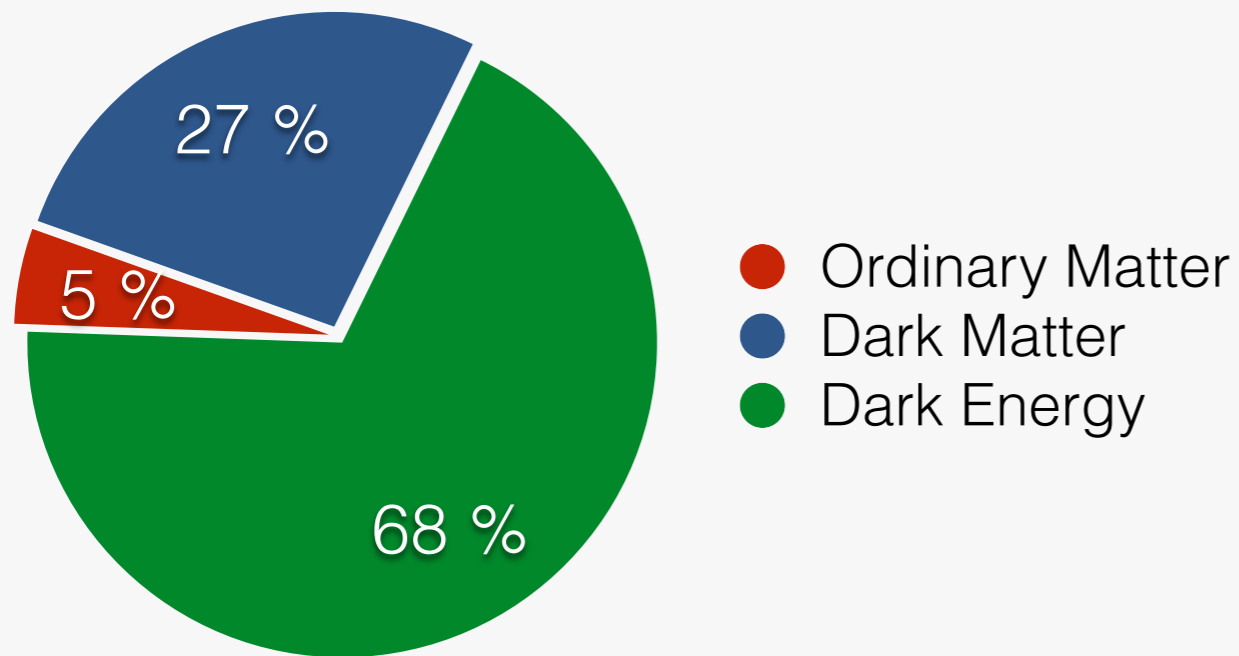


Problèmes expérimentaux
masse des neutrinos,
matière noire, énergie noire,
asymétrie matière/antimatière

Problèmes théoriques

échelle de masse des particules, pourquoi trois familles?
origine du potentiel de Higgs, unification des interactions
électrofaible et forte (unification avec la gravitation)...

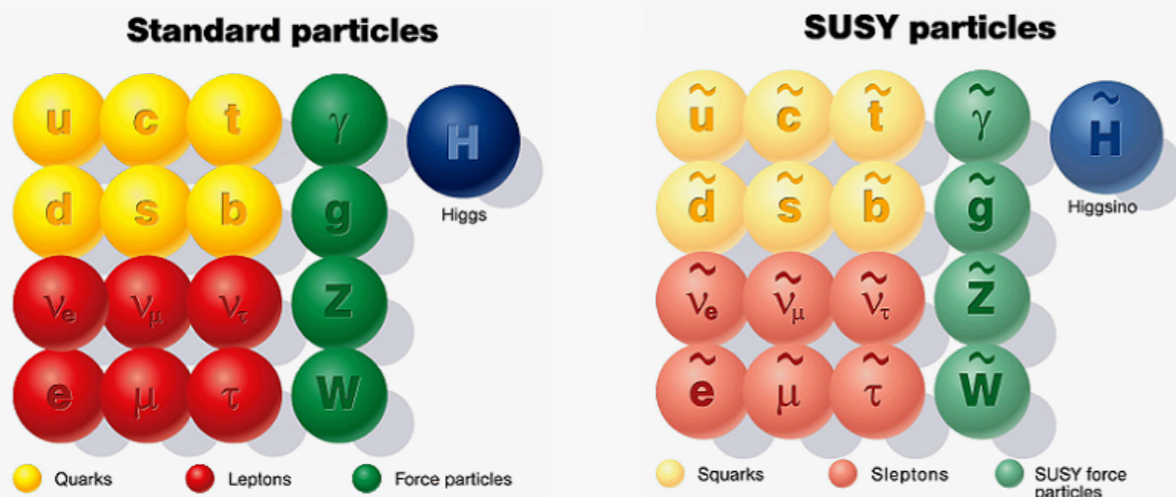
... et au-delà



Problèmes expérimentaux
masse des neutrinos,
matière noire, énergie noire,
asymétrie matière/antimatière

Problèmes théoriques

échelle de masse des particules, pourquoi trois familles?
origine du potentiel de Higgs, unification des interactions
électrofaible et forte (unification avec la gravitation)...



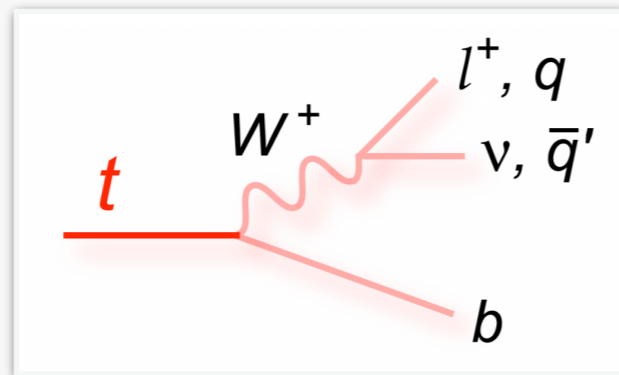
Aller au-delà du Modèle Standard
Modèles composites
Extra-dimensions
Supersymétrie

Le quark top et le boson de Higgs

La physique du top

- particule la plus lourde du MS
- seul quark qui se désintègre avant de s'hadroniser

top : 173.3 GeV
W: 80.4 GeV
(Z: 91.2 GeV)
b: 4.2 GeV

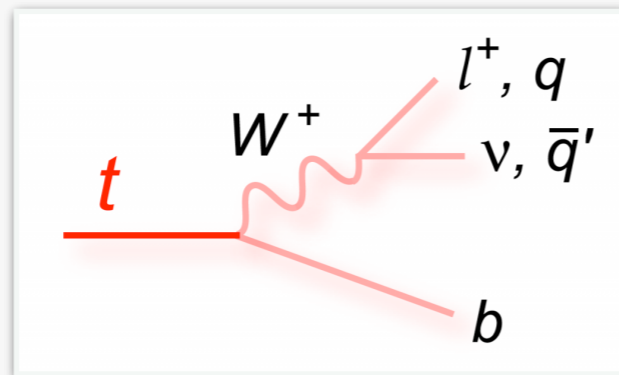


Le quark top et le boson de Higgs

La physique du top

- particule la plus lourde du MS
- seul quark qui se désintègre avant de s'hadroniser

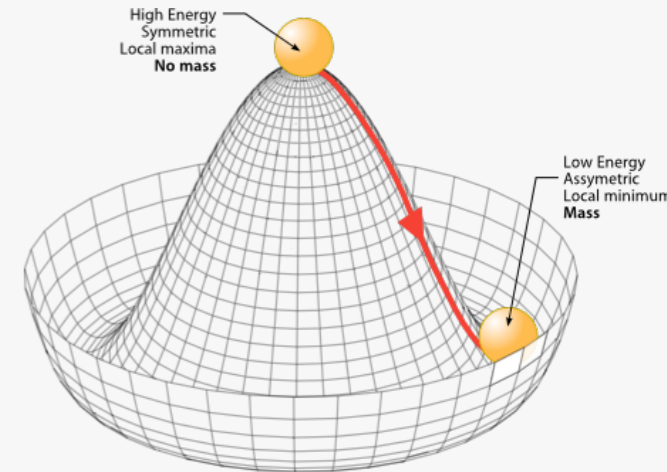
top : 173.3 GeV
W: 80.4 GeV
(Z: 91.2 GeV)
b: 4.2 GeV



Le boson de Higgs

existence prédite en 1964

responsable de la brisure spontanée de symétrie électrofaible \rightarrow masse de W,Z

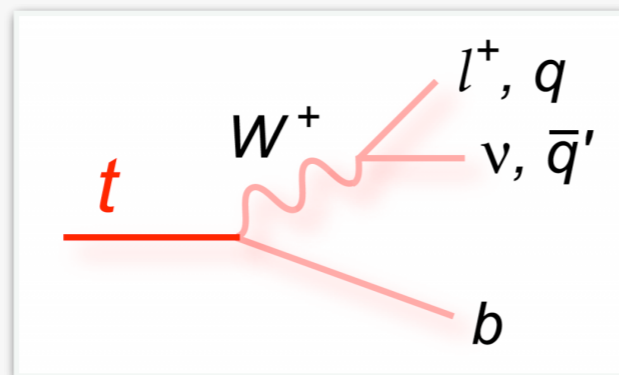


Le quark top et le boson de Higgs

La physique du top

- particule la plus lourde du MS
- seul quark qui se désintègre avant de s'hadroniser

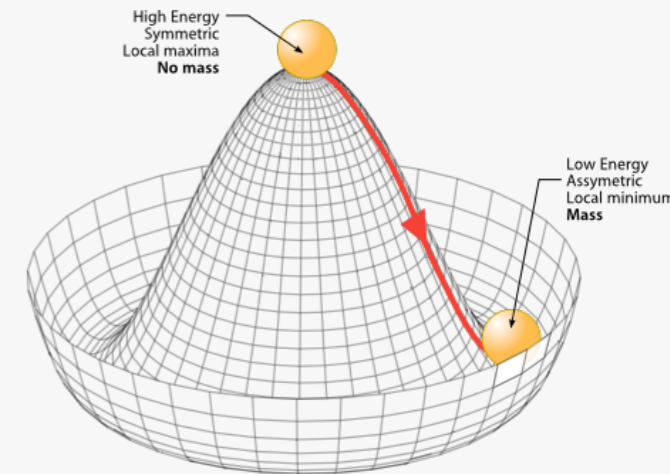
top : 173.3 GeV
 W: 80.4 GeV
 (Z: 91.2 GeV)
 b: 4.2 GeV



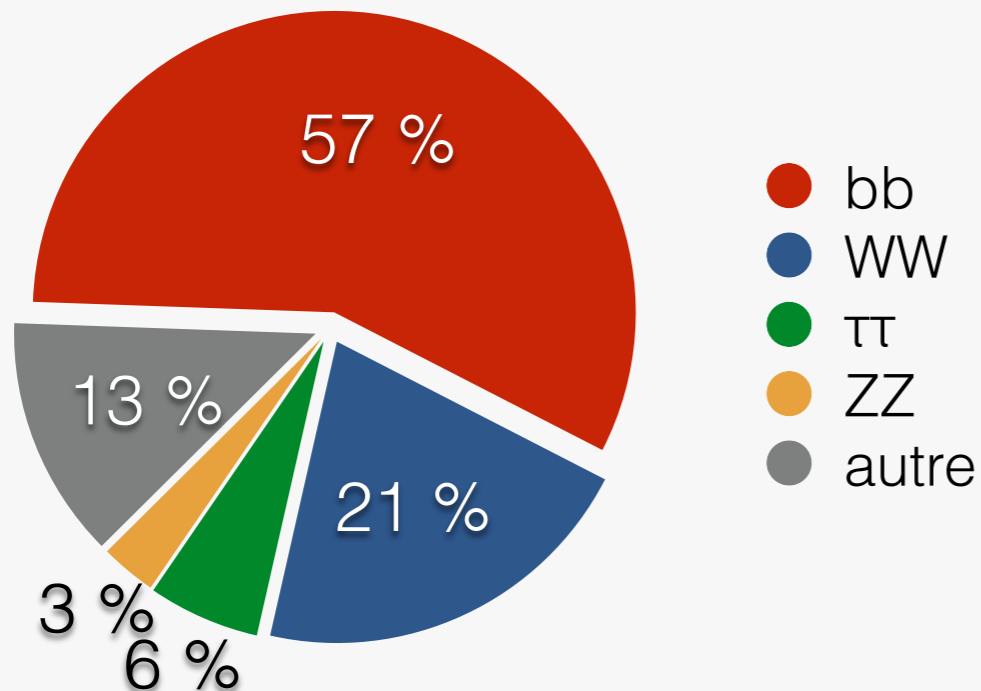
Le boson de Higgs

existence prédite en 1964

responsable de la brisure spontanée de symétrie électrofaible \rightarrow masse de W,Z



Désintégrations du Higgs (125 GeV)

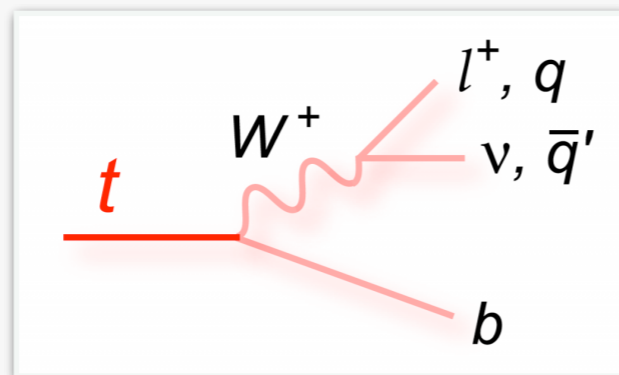


Le quark top et le boson de Higgs

La physique du top

- particule la plus lourde du MS
- seul quark qui se désintègre avant de s'hadroniser

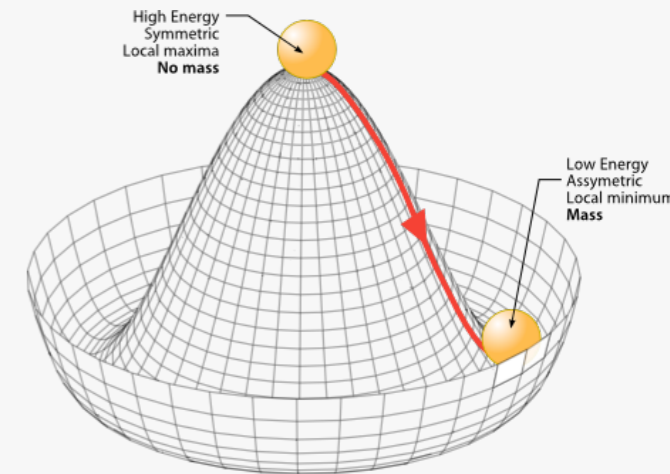
top :	173.3 GeV
W:	80.4 GeV
(Z:	91.2 GeV)
b:	4.2 GeV



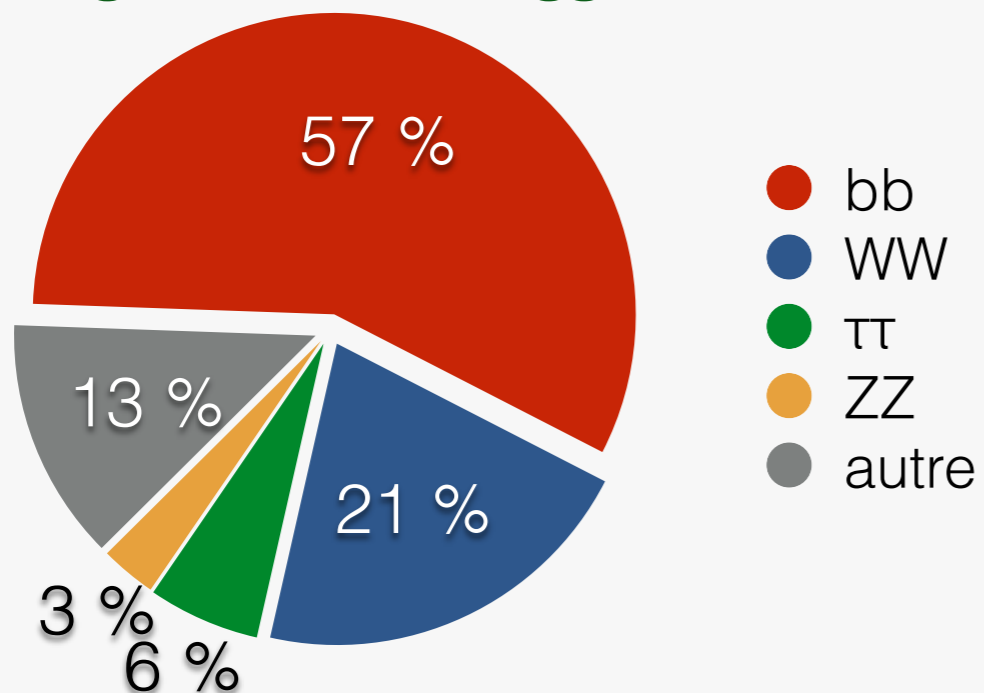
Le boson de Higgs

existence prédite en 1964

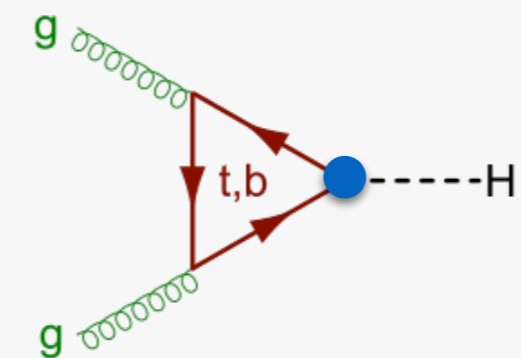
responsable de la brisure spontanée de symétrie électrofaible → masse de W,Z



Désintégrations du Higgs (125 GeV)

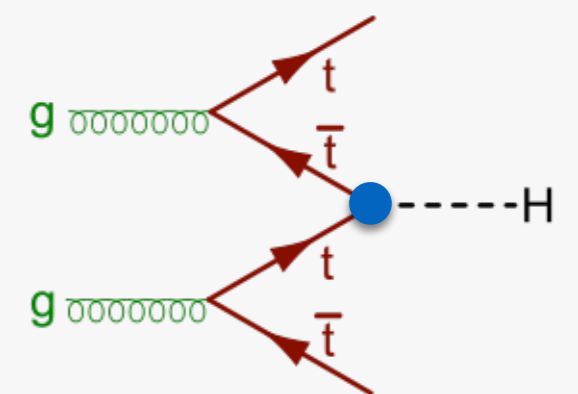


Le couplage top-Higgs (Yukawa)



mesure indirecte du couplage

mesure directe du couplage



Le LHC (Large Hadron Collider)

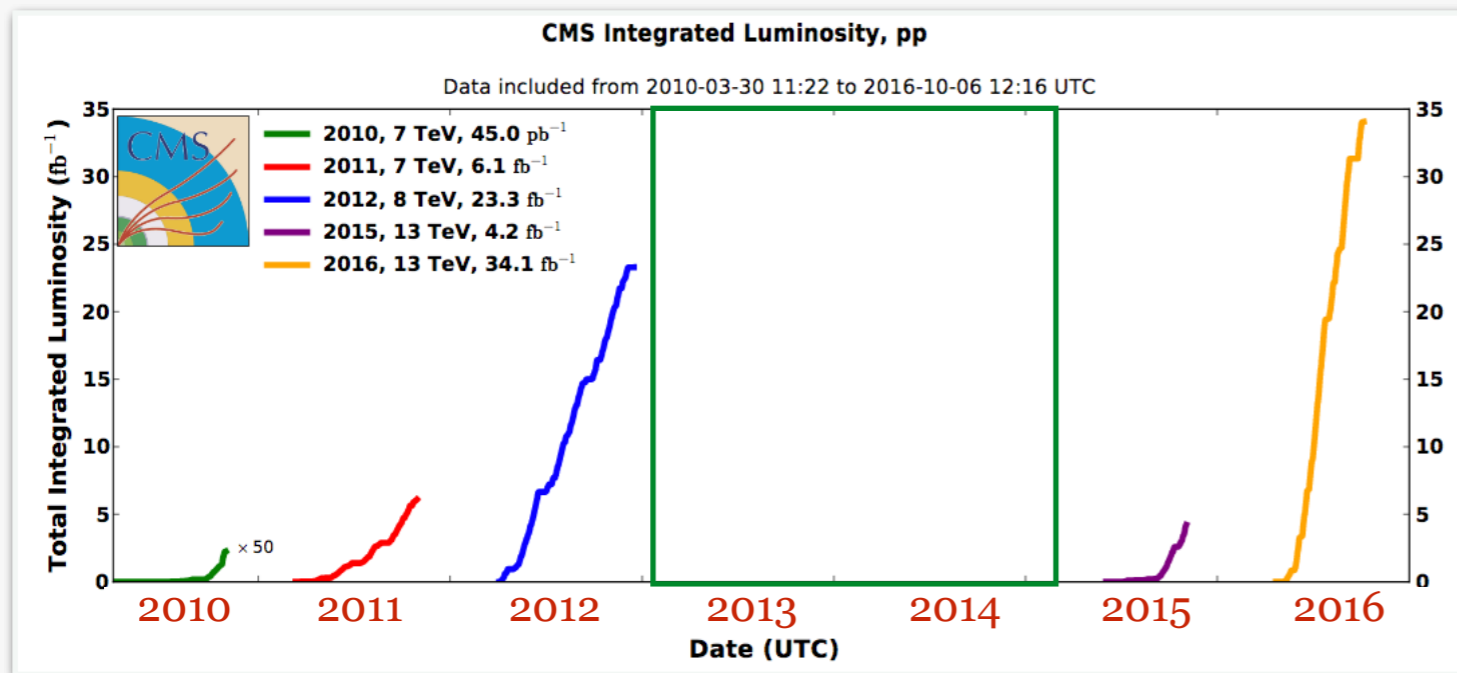
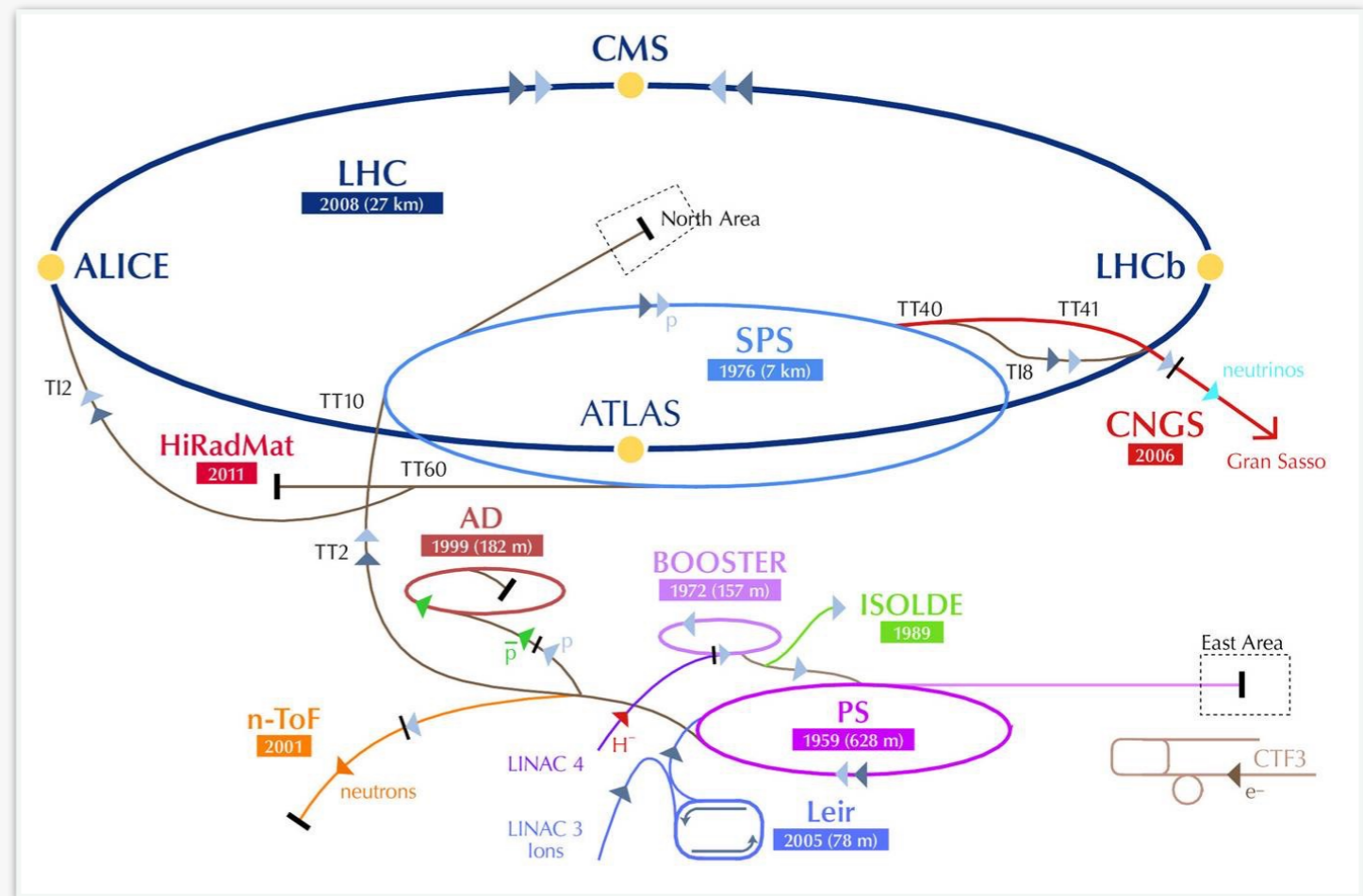
Run I 2009-2012

7 puis 8 TeV

~20 fb⁻¹ (dans CMS)

! découverte du boson de Higgs

Arrêt technique 2013-2015



Run II 2015-2018

13 TeV

luminosité ~ 10³⁴ cm⁻².s⁻¹

empilement ~20-40

~40 fb⁻¹ en 2016

>100 fb⁻¹ attendus au Run II

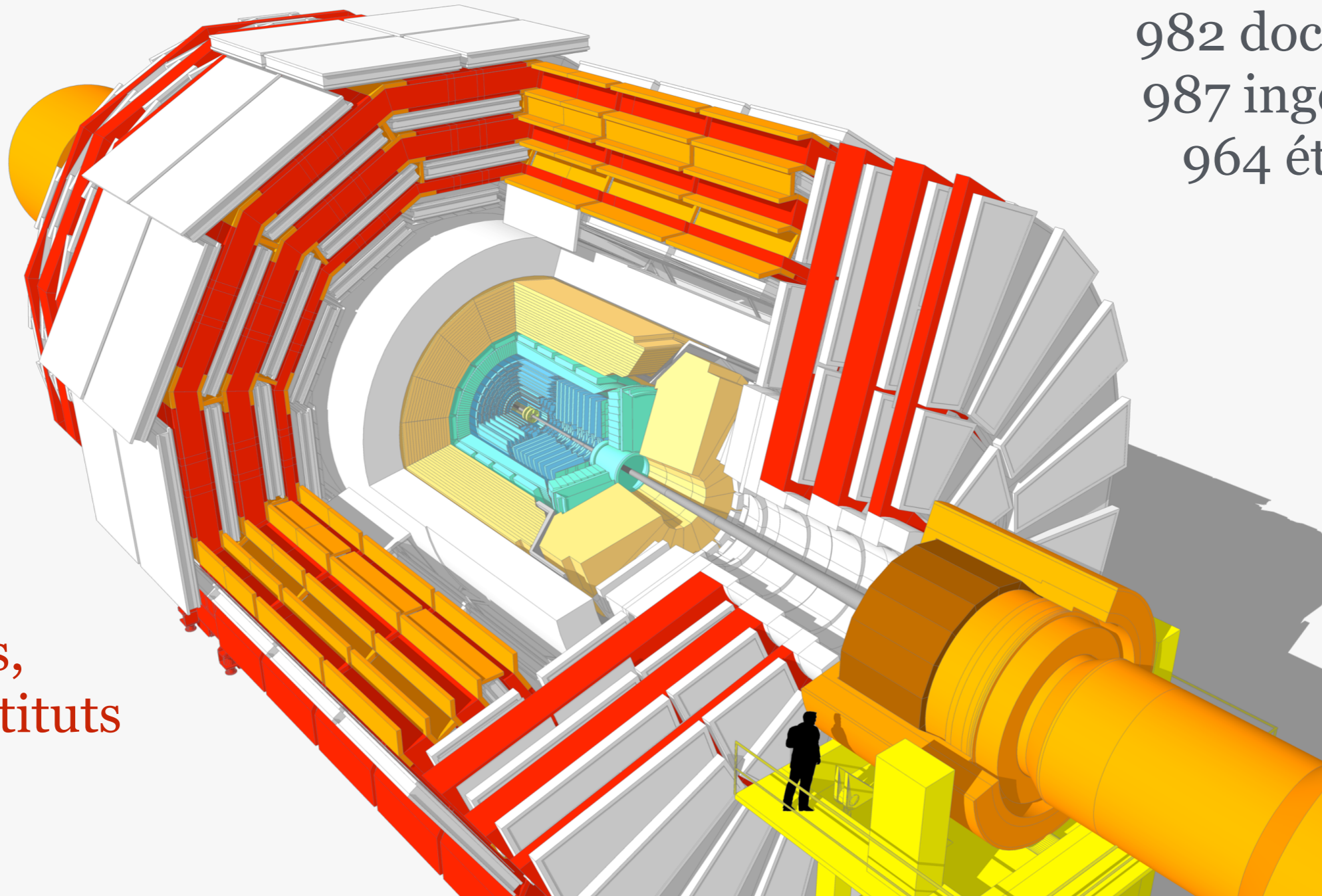
$$L = (N1 \times N2 \times n_{\text{paquets}} \times f) / \sigma^*$$

La collaboration CMS (Compact Muon Solenoid)

4800 personnes (physiciens, doctorants, ingénieurs, techniciens, ...)

1956 physiciens,
982 doctorants,
987 ingénieurs,
964 étudiants

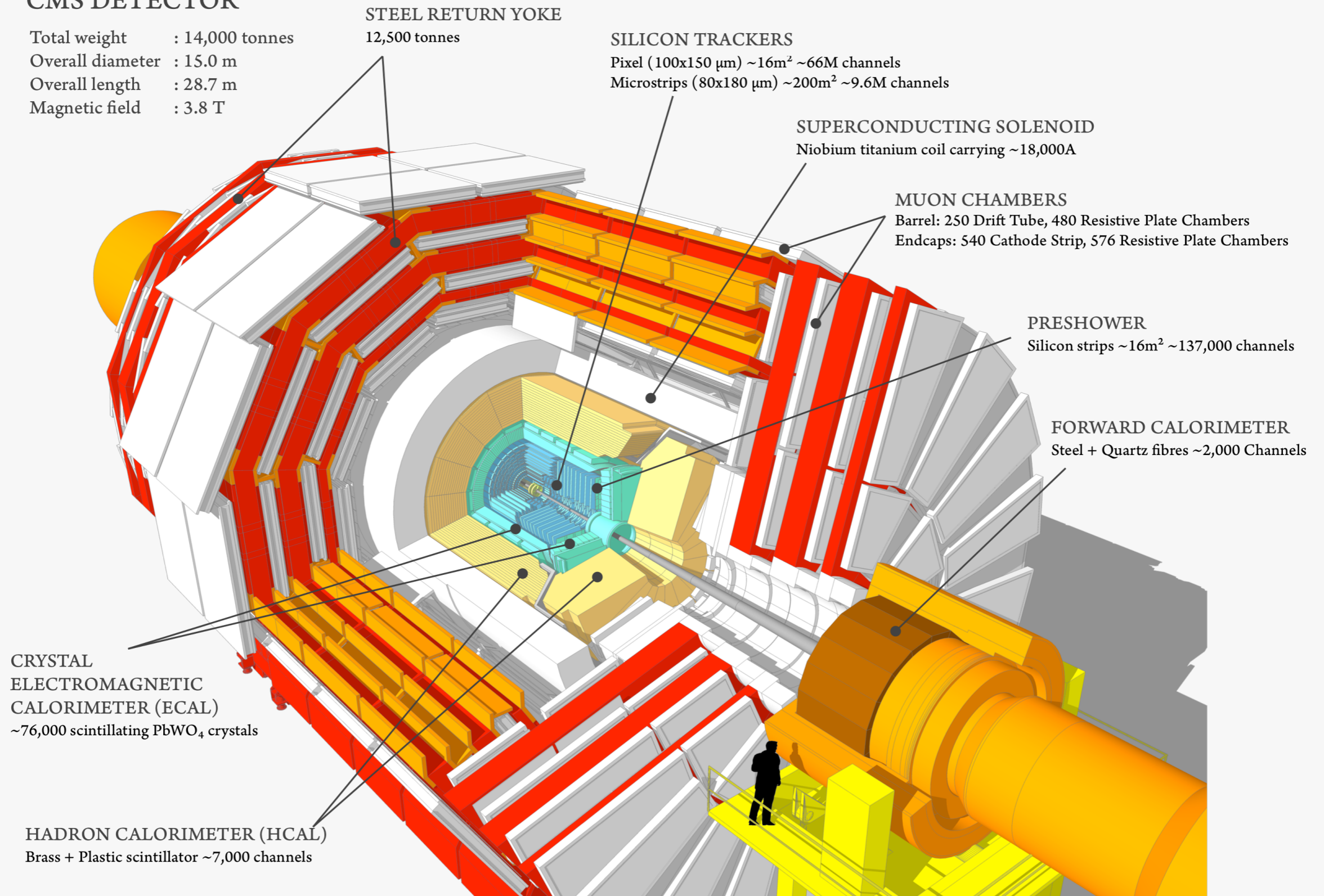
43 pays,
194 instituts



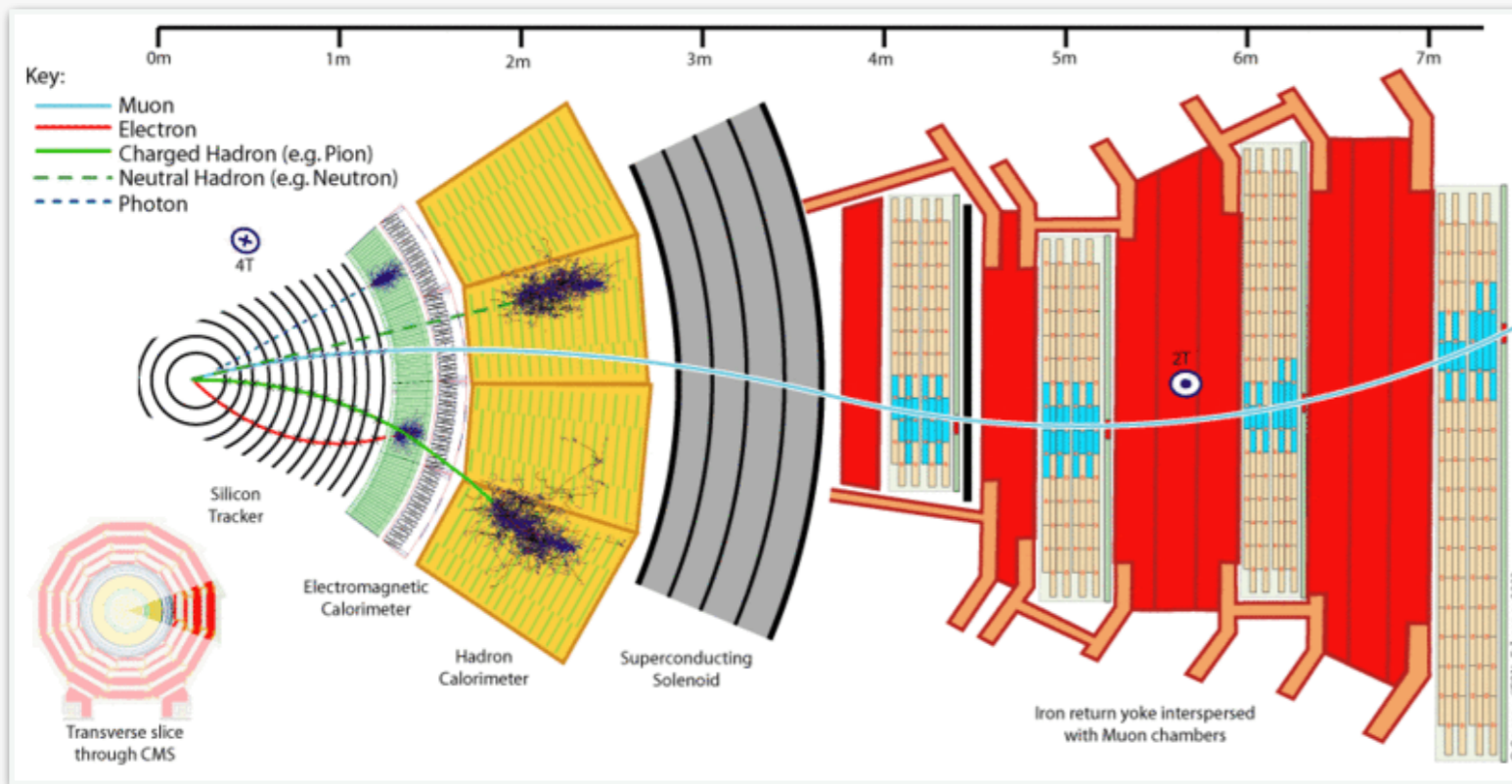
L'expérience CMS (Compact Muon Solenoid)

CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T



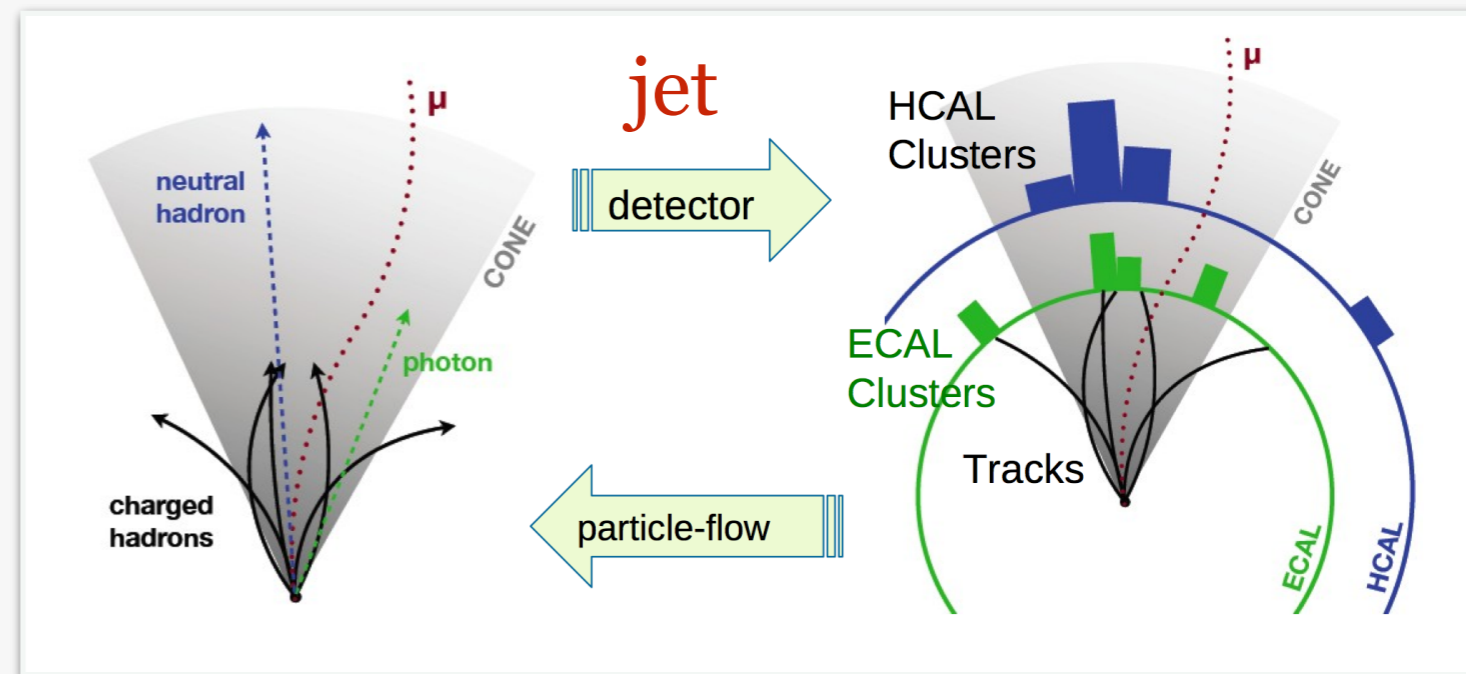
Détection, reconstruction des particules



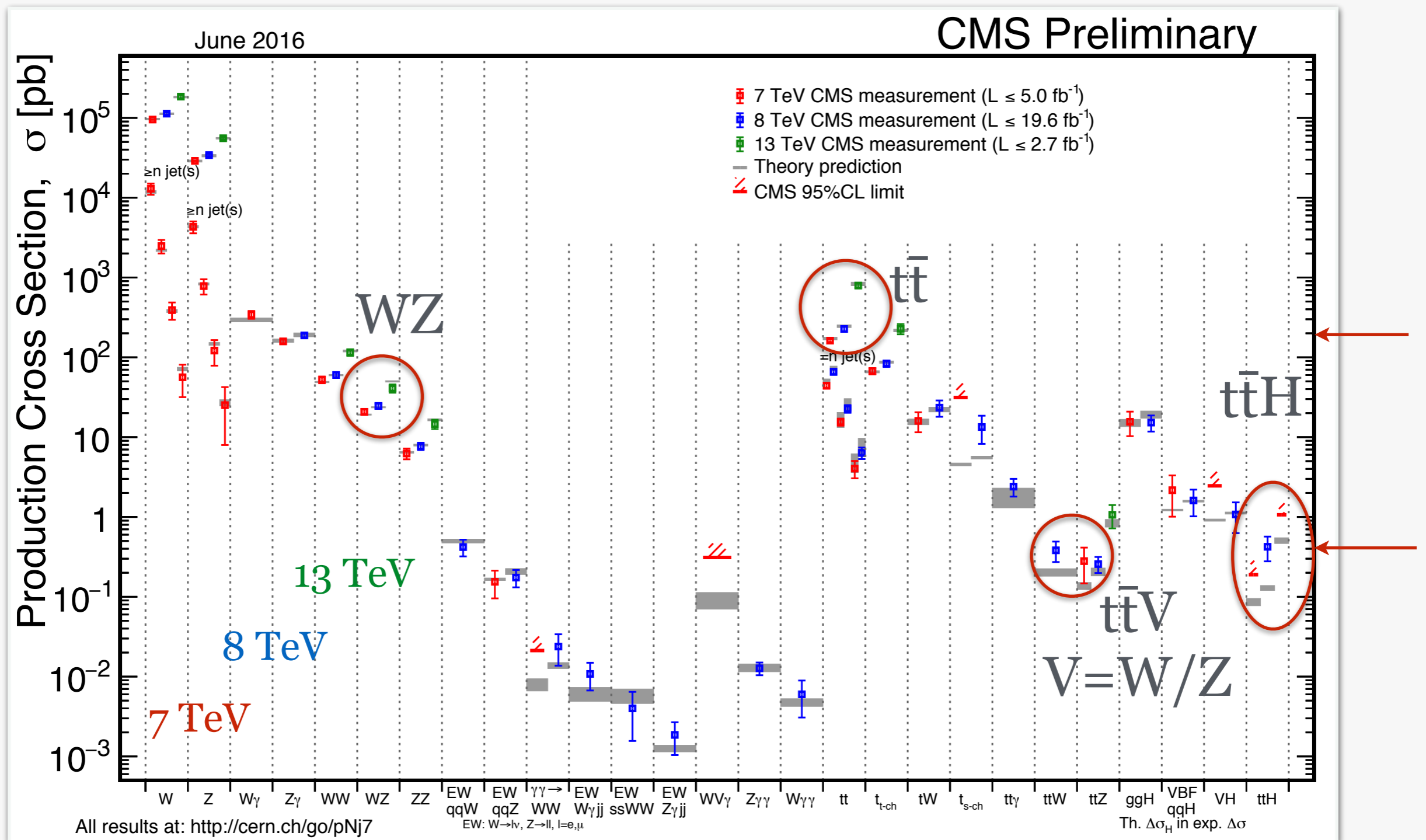
Energie transverse manquante
opposé de la somme des impulsions
vectorielles dans le plan transverse
du faisceau pour les particules
reconstruites

Reconstruction des particules:

- trajectographie
- calorimétrie
- flux de particules



Comparaison mesures expérimentales / théorie MS



Le groupe CMS à l'IPHC

13 permanents, 3 doctorants

Nicolas Chanon



Pierre Van Hove



Jeremy Andrea



Ulrich Goerlach



Caroline Collard



Jean-Charles Fontaine



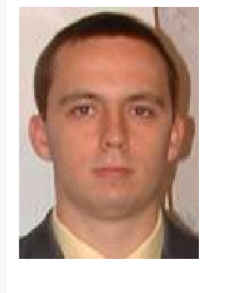
Anne-Catherine Le Bihan



Eric Chabert



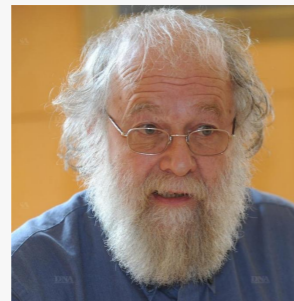
Eric Conte



Daniel Bloch



Jean-Marie Brom



Marketa Jansova



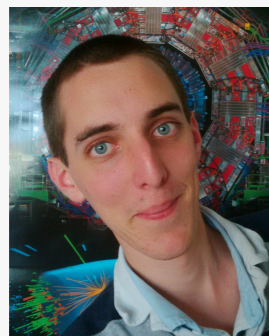
Jean-Laurent Agram



Nicolas Tonon



Xavier Coubez



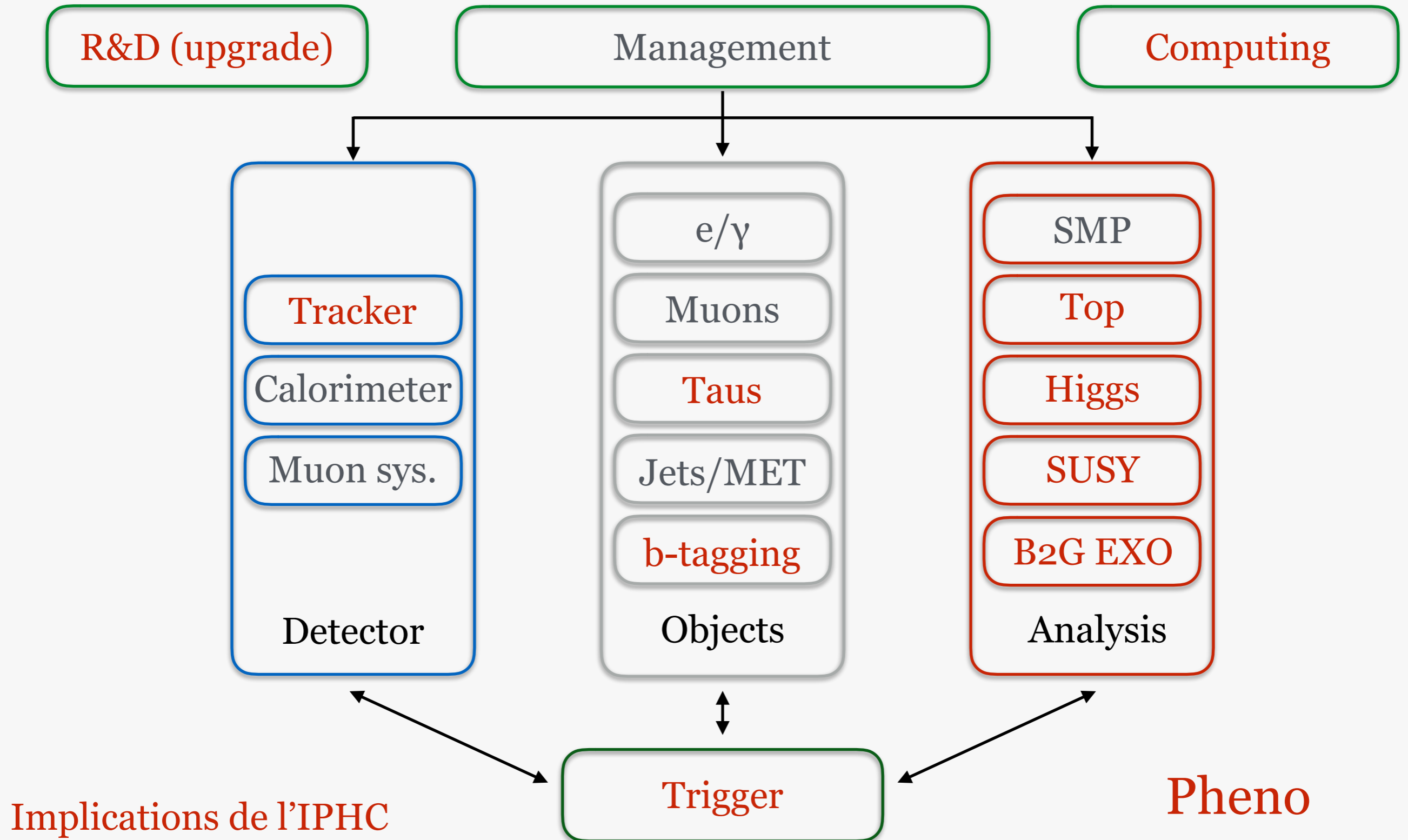
Denis Gelé

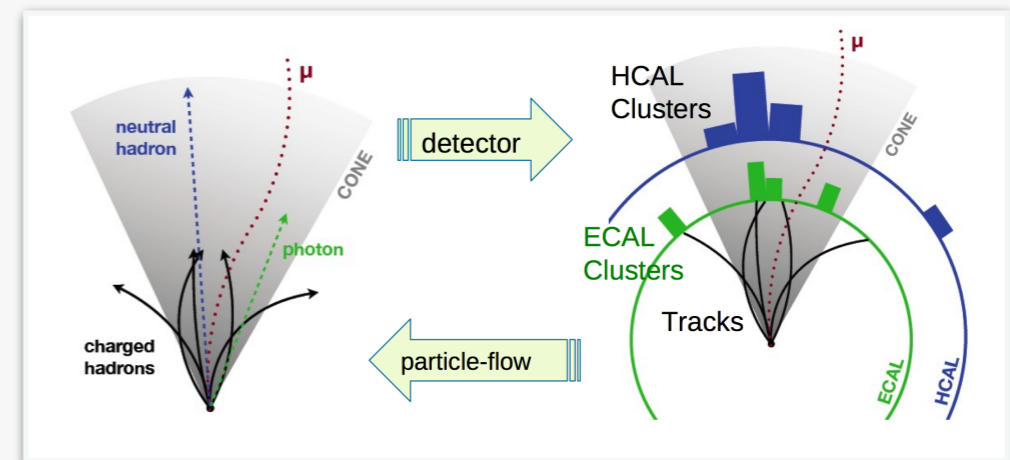
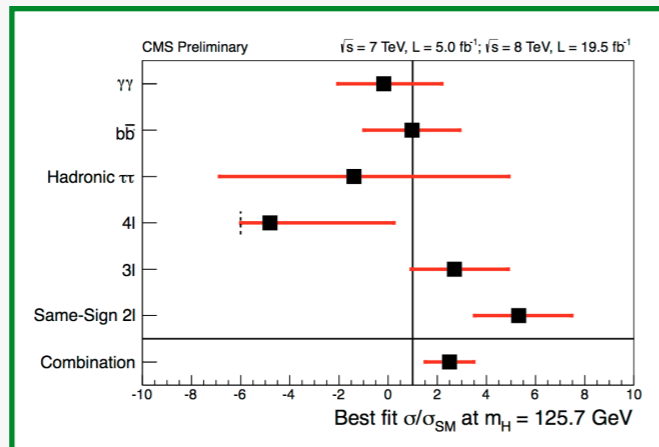
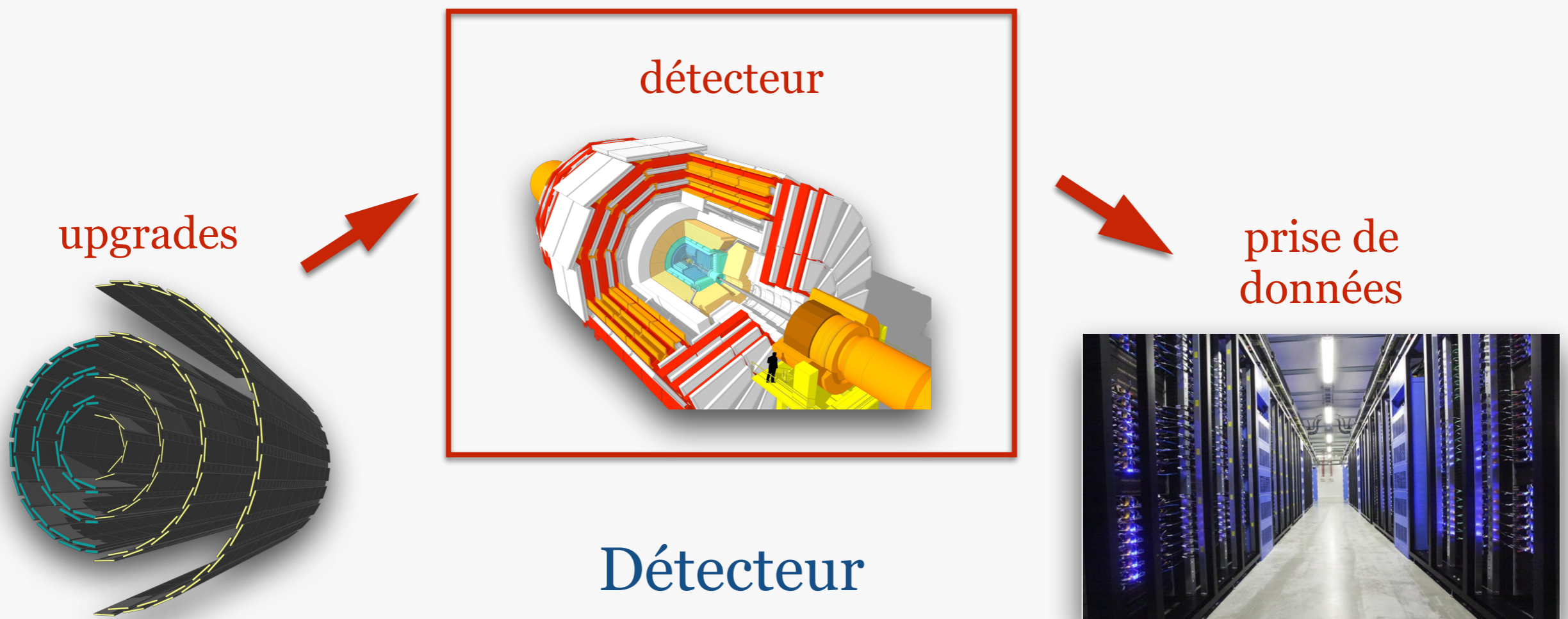


Upgrade DAQ tracker CMS
Laurent Gross, Laurent Charles,
Christian Bonnin, Jérôme
Hosselet, Damien Tromson

Grille de calcul (et cloud) IPHC
Yannick Patois, Jérôme Pansanel,
Eric Kieffer, Emmanuel Medernach,
Nicolas Rudolf, Christoph Helfer,
Sébastien Geiger, Vincent Legoll

Organigramme de CMS





Trajectographe

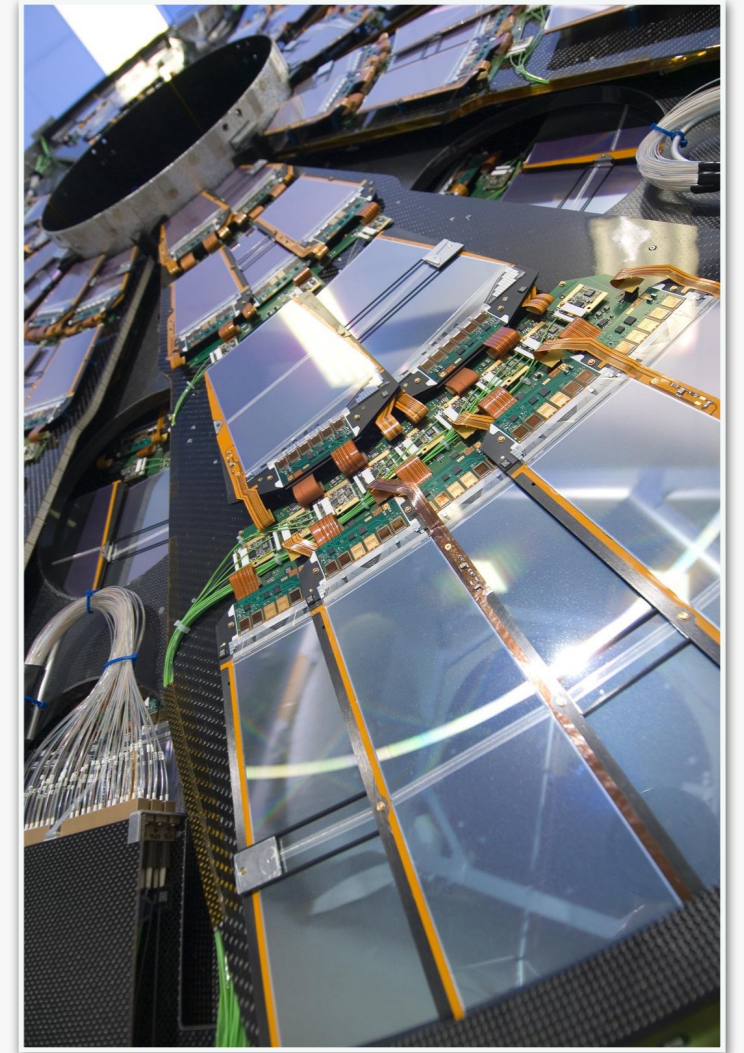
Implication historique de l'IPHC

→ construction du trajectographe

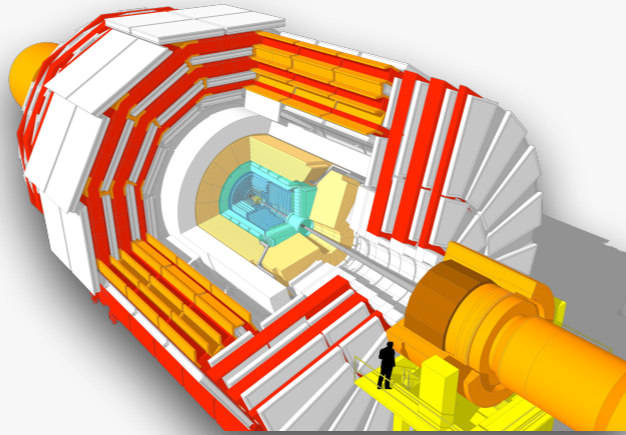
- fonctionnement du détecteur (shifts)
- études de performances
vieillesse et pertes d'efficacité

Calibration et reconstruction locale
des pistes du trajectographe

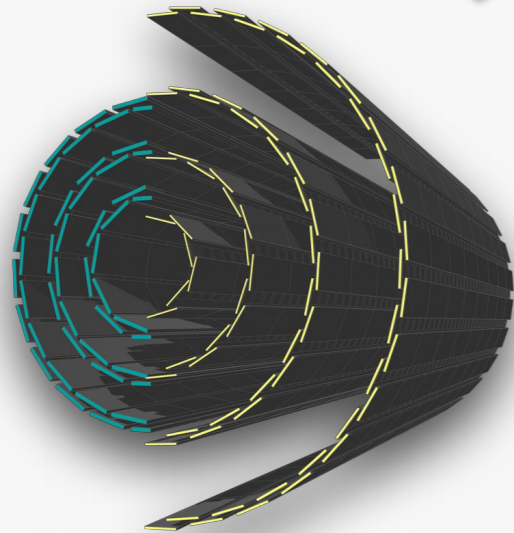
Participation aux upgrades



détecteur



upgrades

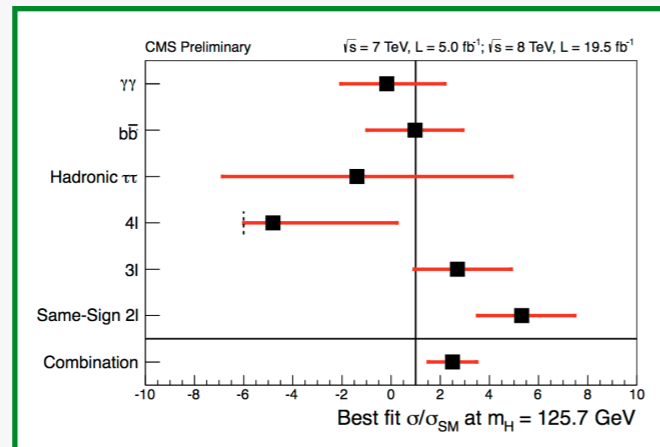


prise de données

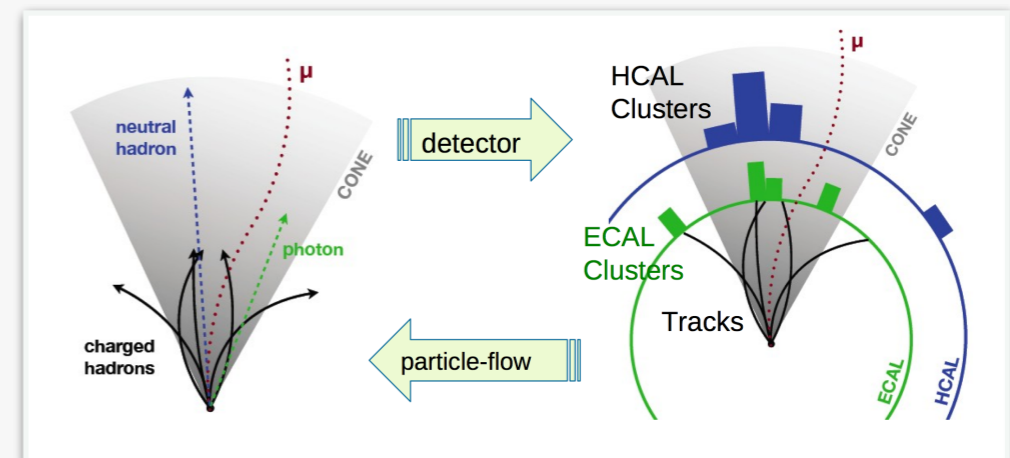


Prise de données

phéno/analyses

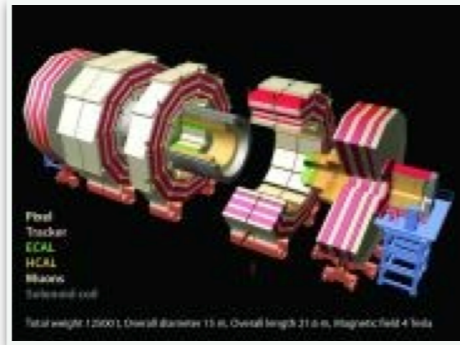


reconstruction des événements

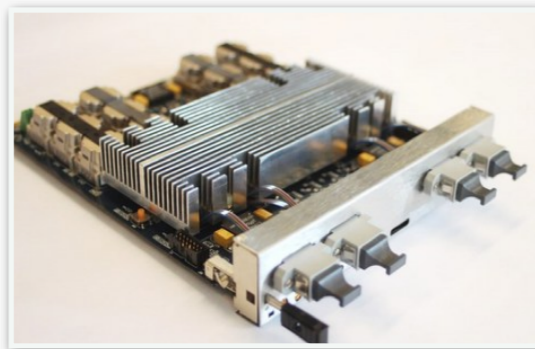


Systeme de declenchement

Strategie dans CMS

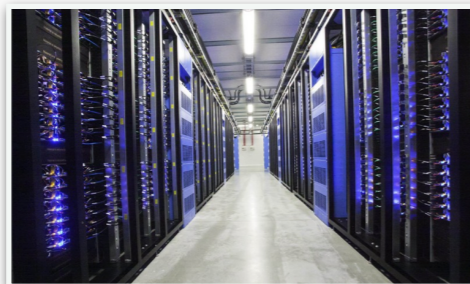


L1 ↓ 40 MHz



hardware

HLT ↓ 100 kHz



software

↓ 1 kHz

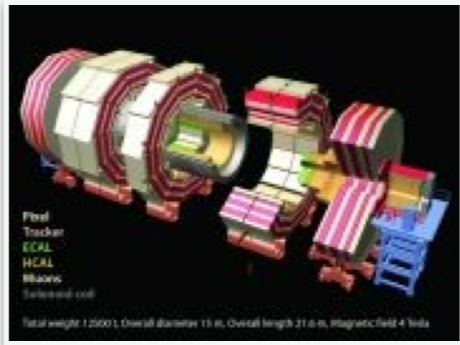
STOCKAGE

Objectif:

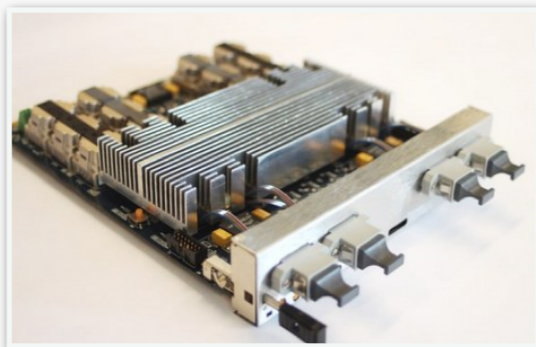
sélectionner 1000 événements intéressants pour la physique parmi les 40 millions de croisements de faisceau par seconde

Systeme de declenchement

Strategie dans CMS



L1 ↓ 40 MHz



hardware

HLT ↓ 100 kHz



software

↓ 1 kHz

STOCKAGE

Objectif:

sélectionner 1000 événements intéressants pour la physique parmi les 40 millions de croisements de faisceau par seconde

Algorithmes tournant en parallèle

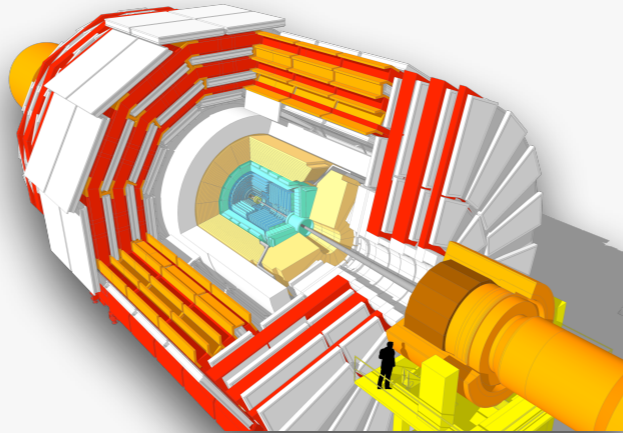
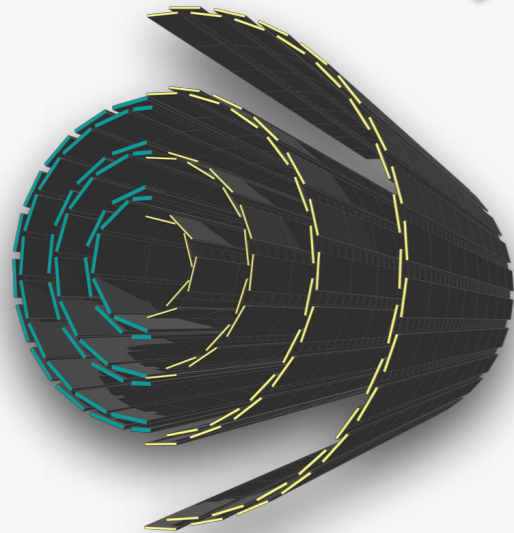
Succession d'étapes

- production
- filtre

détecteur

upgrades

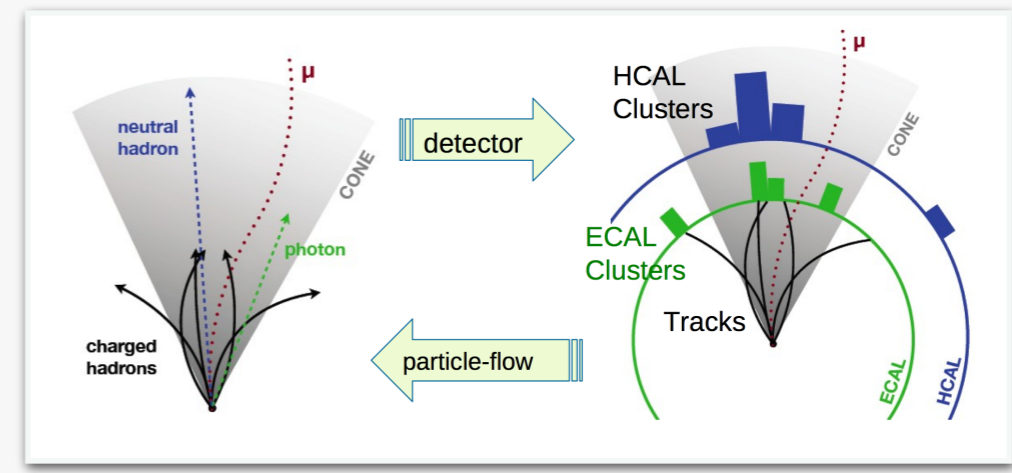
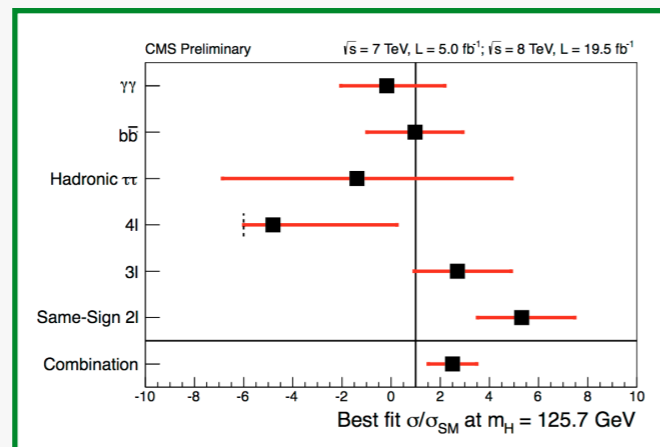
prise de données



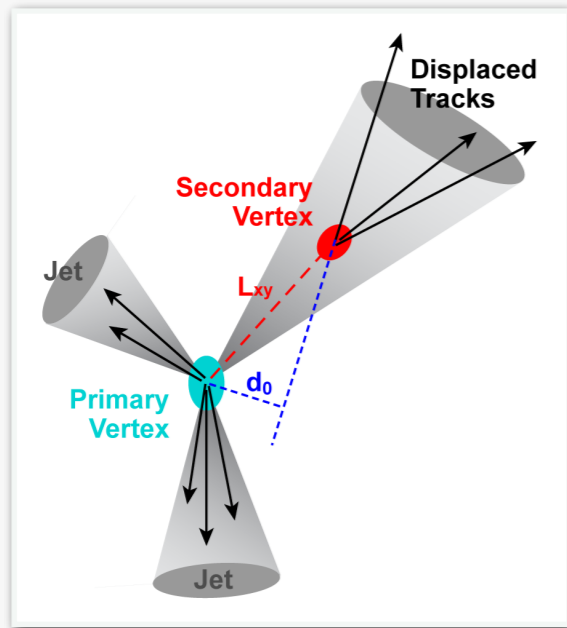
Reconstruction des événements

phéno/analyses

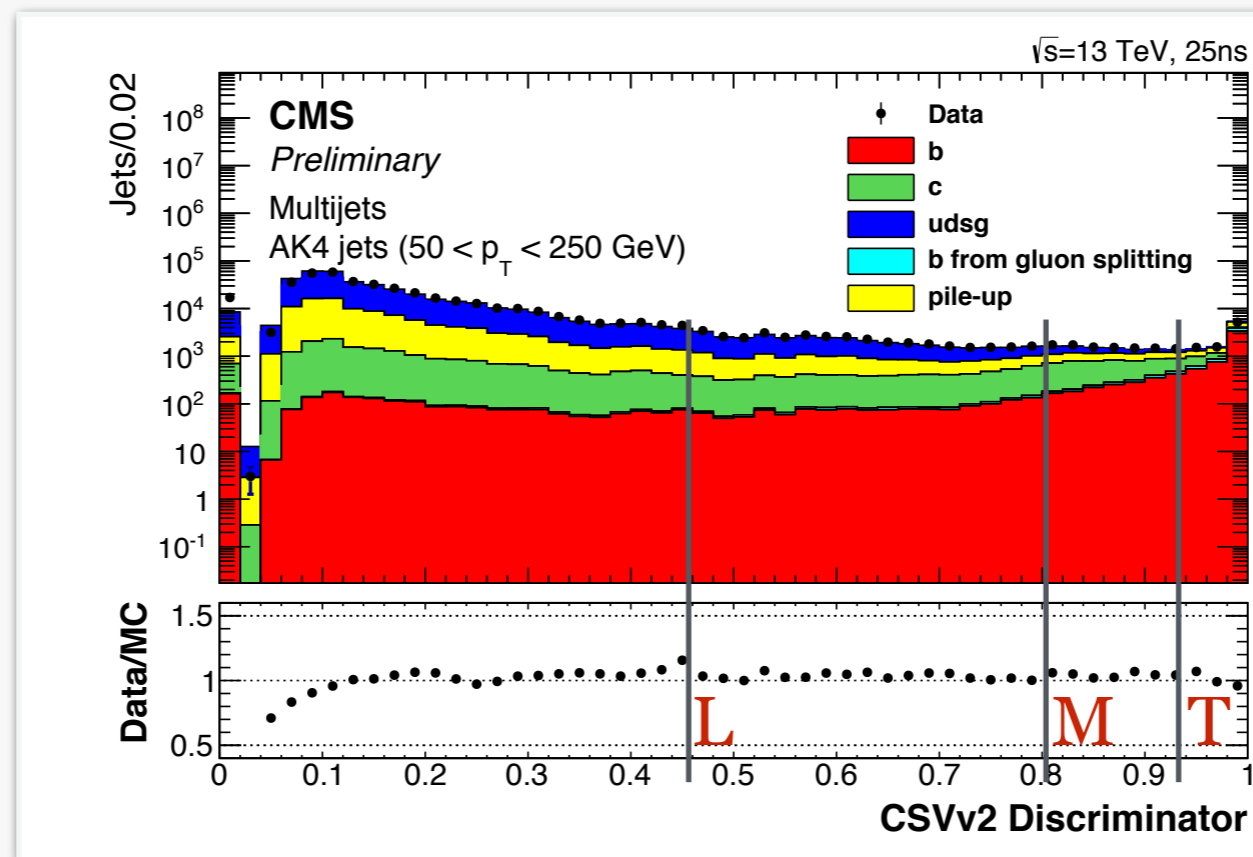
reconstruction des événements



Identification des jets issus de quark beau



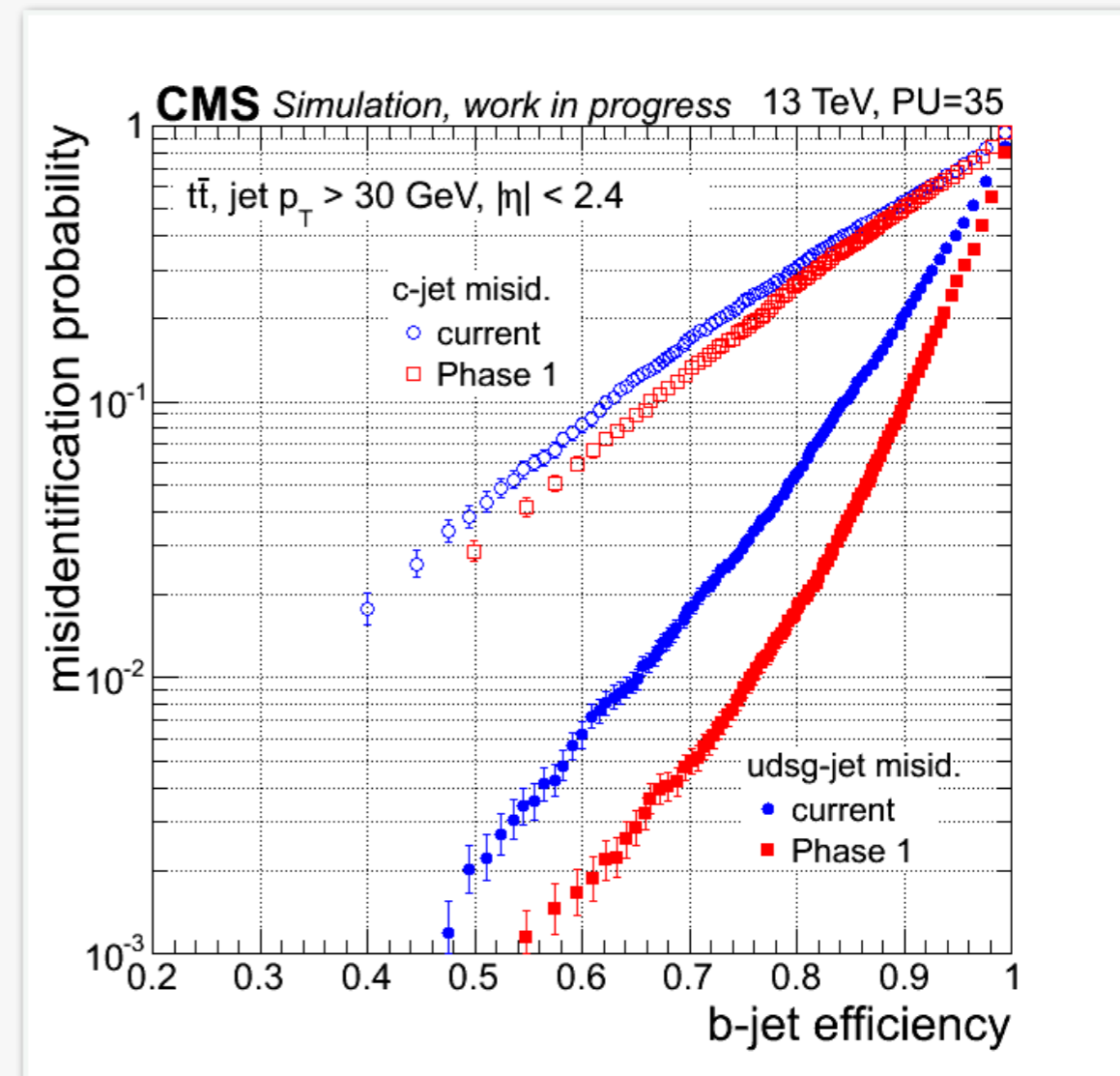
- Propriétés des jets contenant des hadrons b:
- masse élevée (5 GeV)
 - long temps de vie (1.5 ps)
 - grand γ_{CT} (qq mm)
 - grand nombre de particules chargées par désintégration (~ 5)
 - désintégration possible en lepton ($b \rightarrow \mu X$ 20%)



Le *b*-tagging

Expertise reconnue de l'IPHC

- développement pour le déclenchement
- validation des observables d'entrées
- calibration d'un des discriminants
- mesure de performances
- préparation des upgrades

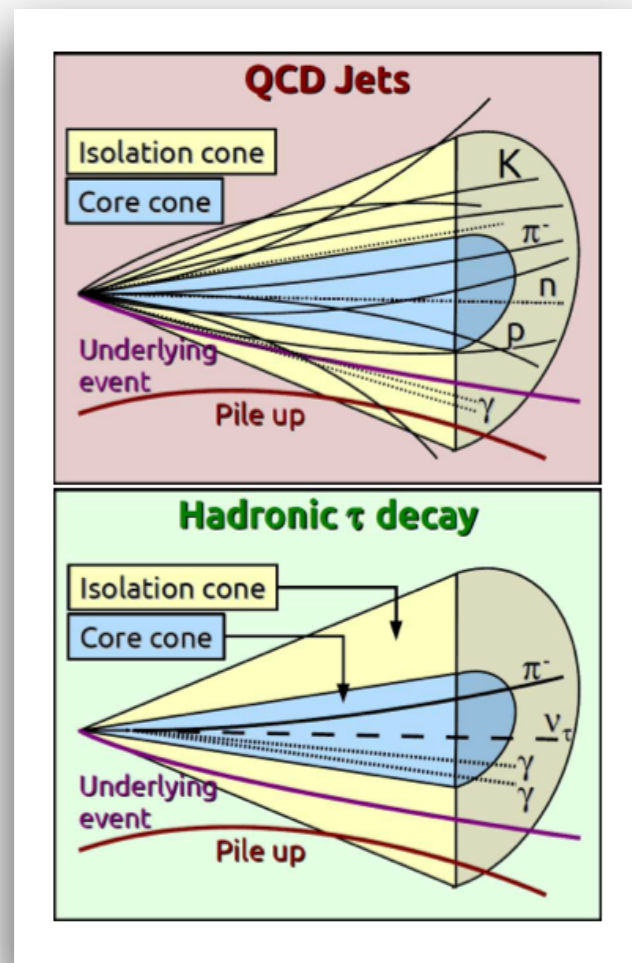


Taus

Propriété des leptons taus:

- lepton le plus lourd (1.7 GeV)
- désintégration majoritaire en hadrons (65%)

Decay mode	Meson resonance	\mathcal{B} [%]
$\tau^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau$		17.8
$\tau^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau$		17.4
$\tau^- \rightarrow h^- \nu_\tau$		11.5
$\tau^- \rightarrow h^- \pi^0 \nu_\tau$	$\rho(770)$	26.0
$\tau^- \rightarrow h^- \pi^0 \pi^0 \nu_\tau$	$a_1(1260)$	9.5
$\tau^- \rightarrow h^- h^+ h^- \nu_\tau$	$a_1(1260)$	9.8
$\tau^- \rightarrow h^- h^+ h^- \pi^0 \nu_\tau$		4.8
Other modes with hadrons		3.2
All modes containing hadrons		64.8



Signature expérimentale: jet collimé

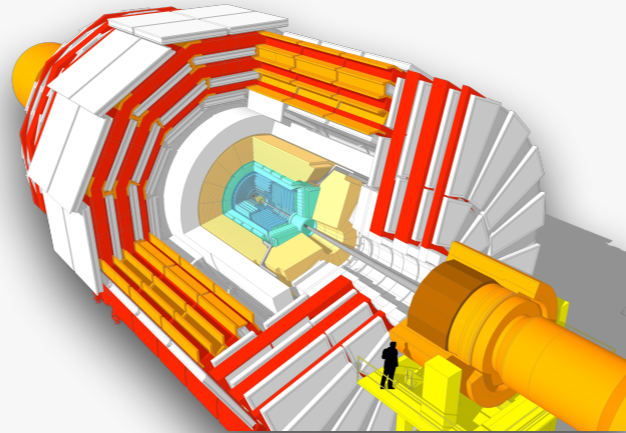
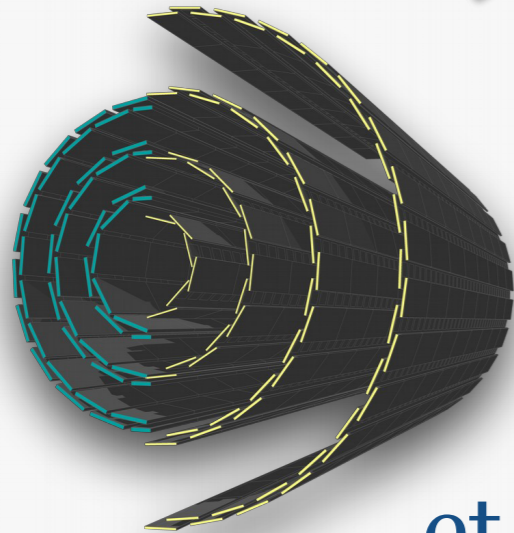
Propriétés:

faible nombre de traces (1-3 chargées & $< 2 \pi^0$)
reconstruction des résonances intermédiaires

détecteur

upgrades

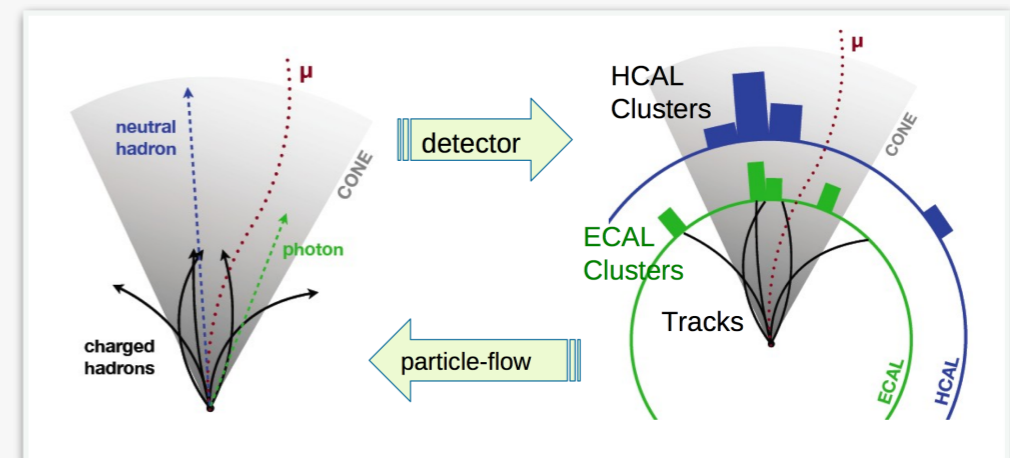
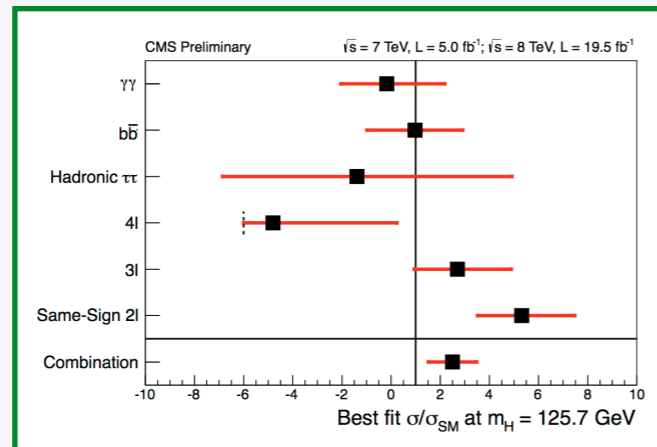
prise de données



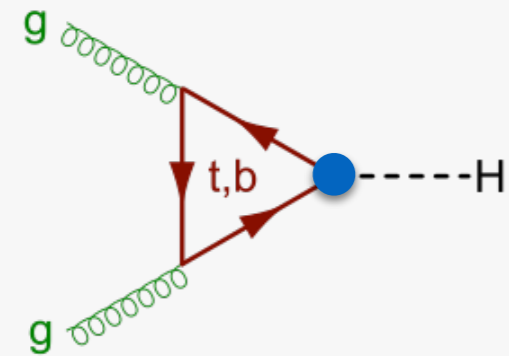
Mesure de processus du Modèle Standard et recherche de nouvelle physique

phéno/analyses

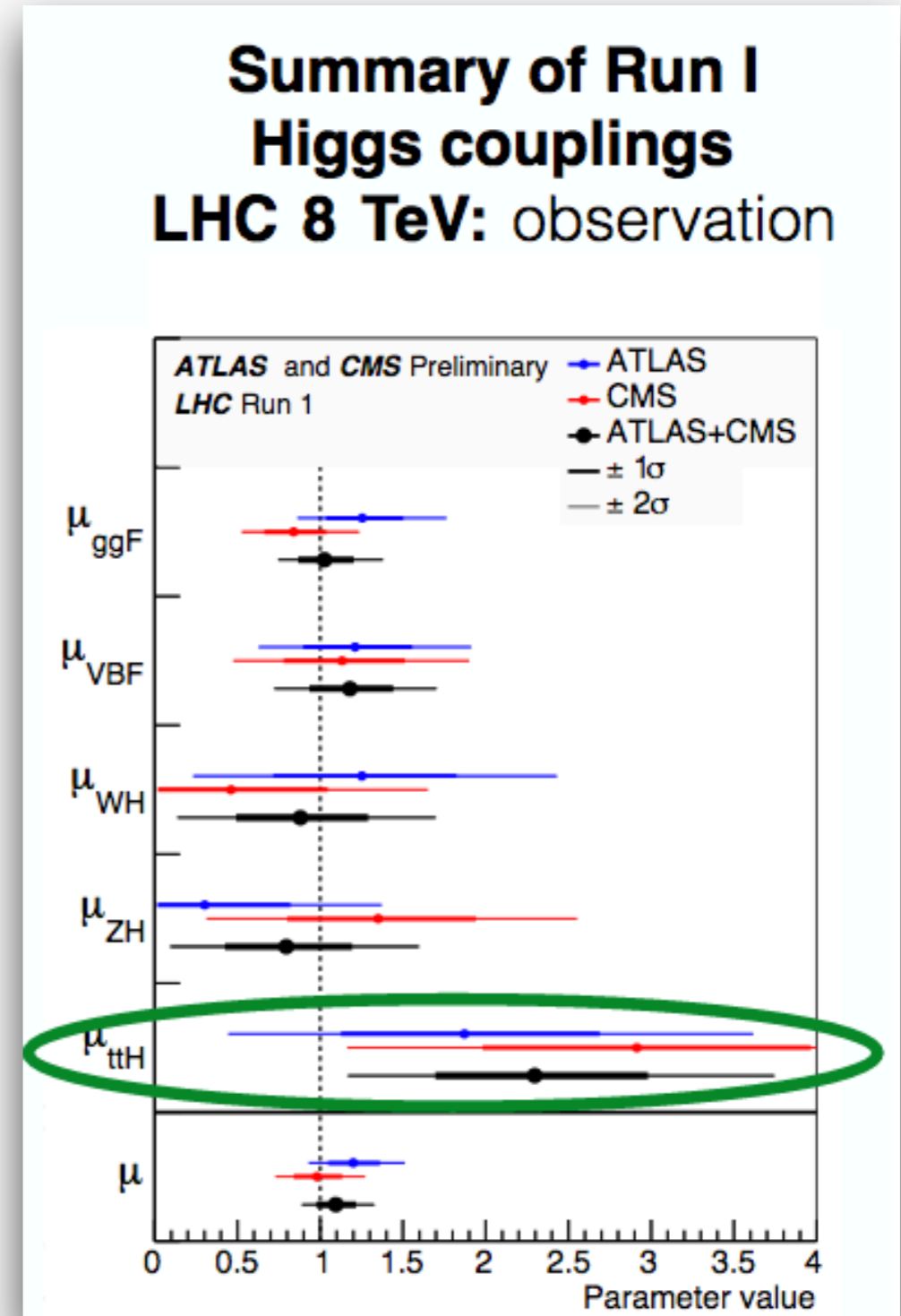
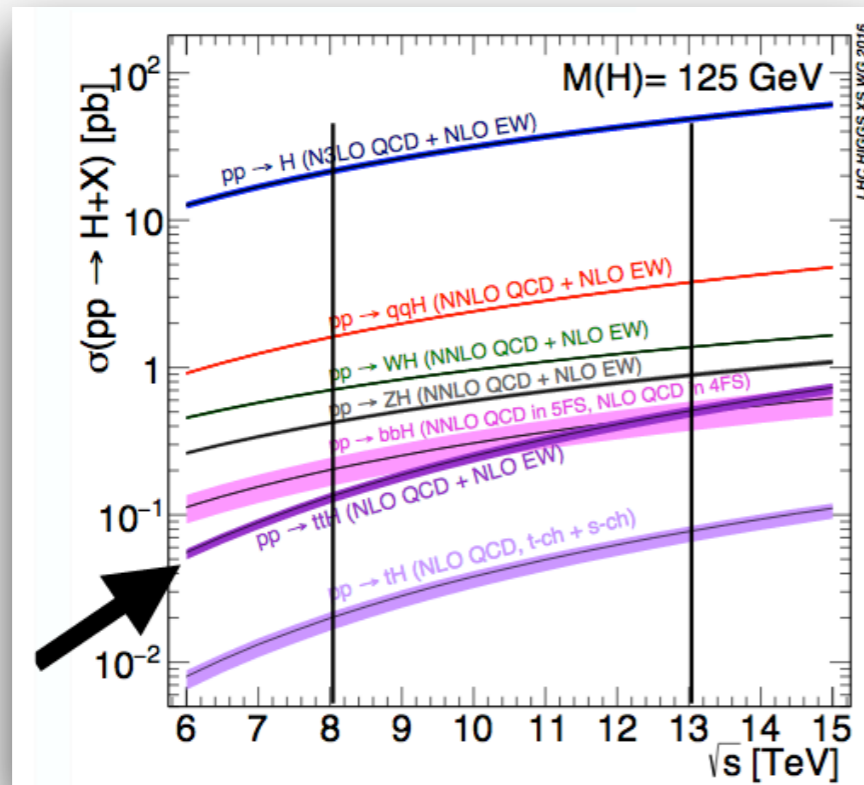
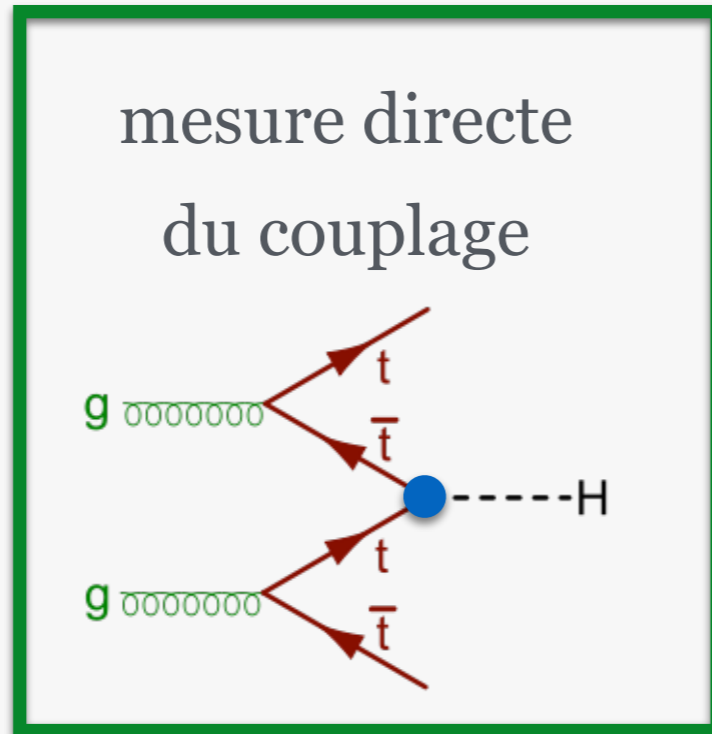
reconstruction des événements



Etude du couplage du boson de Higgs au quark top

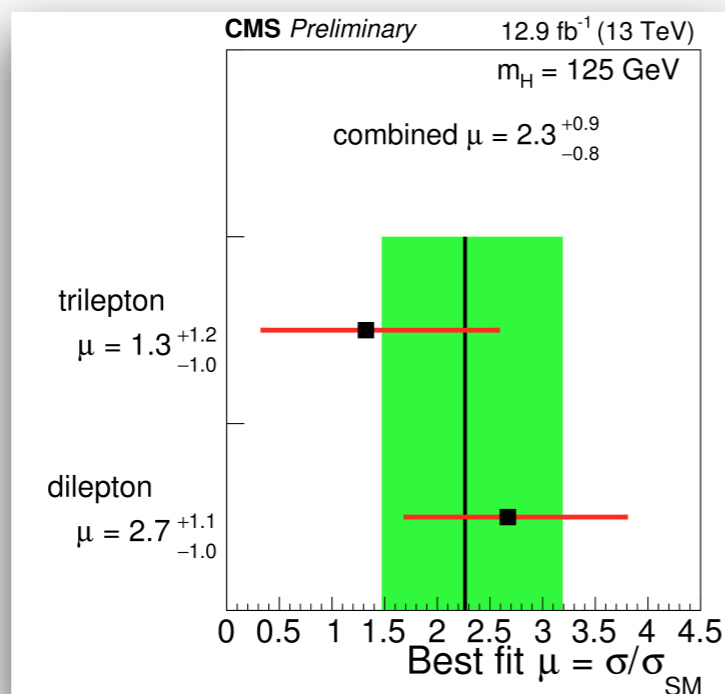
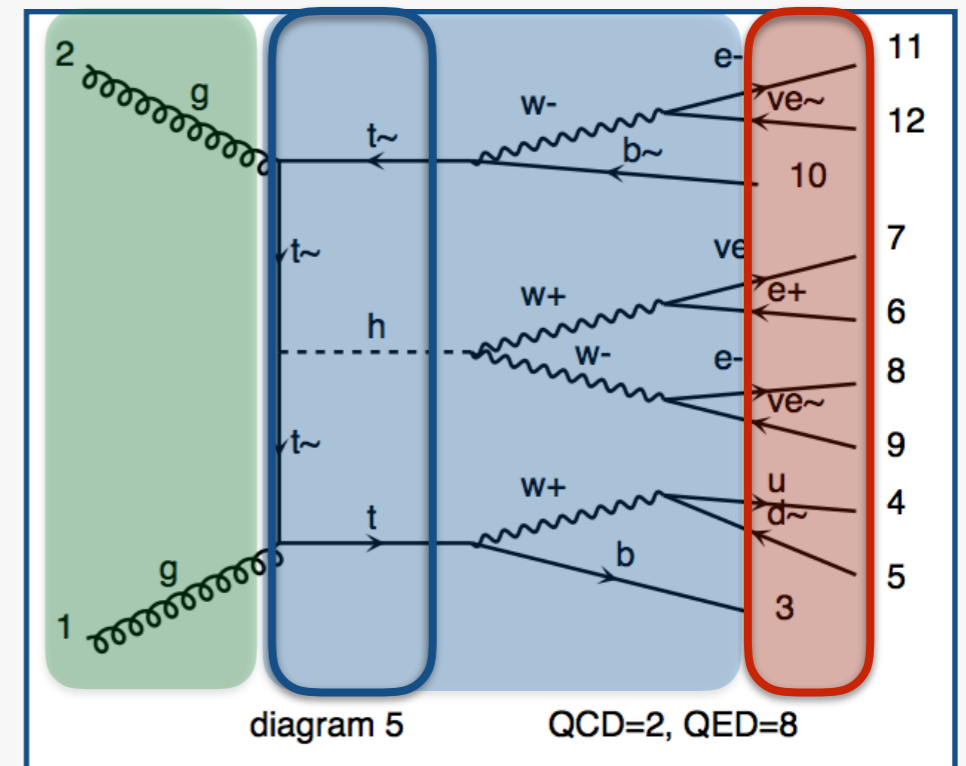


mesure indirecte
du couplage

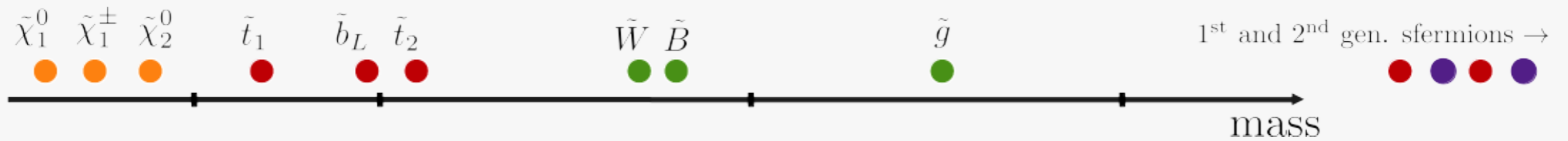


Etude du couplage du boson de Higgs au quark top (MEM)

méthode de discrimination du signal (ttH)
 et des bruits de fonds (ttZ/ttW)
 information complémentaires aux
 analyses multivariées

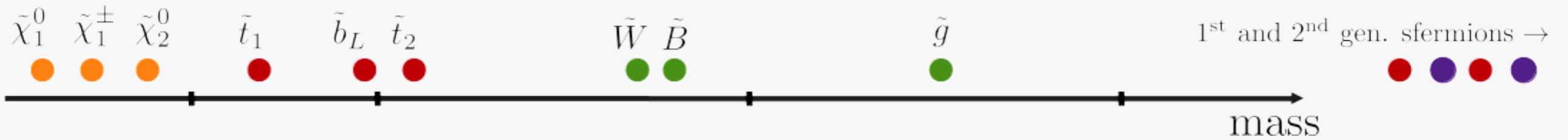


Recherche de nouvelle physique (SUSY)

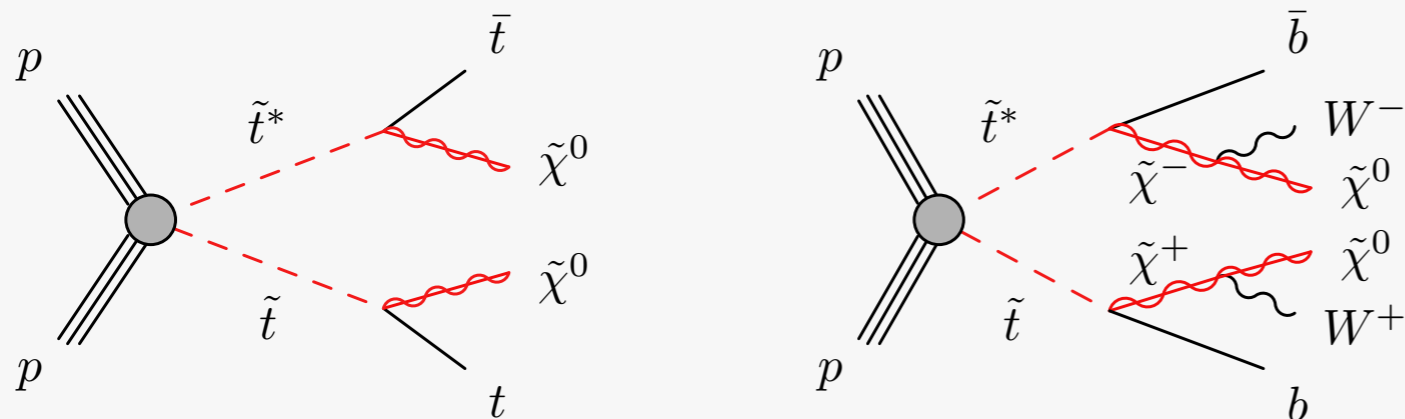
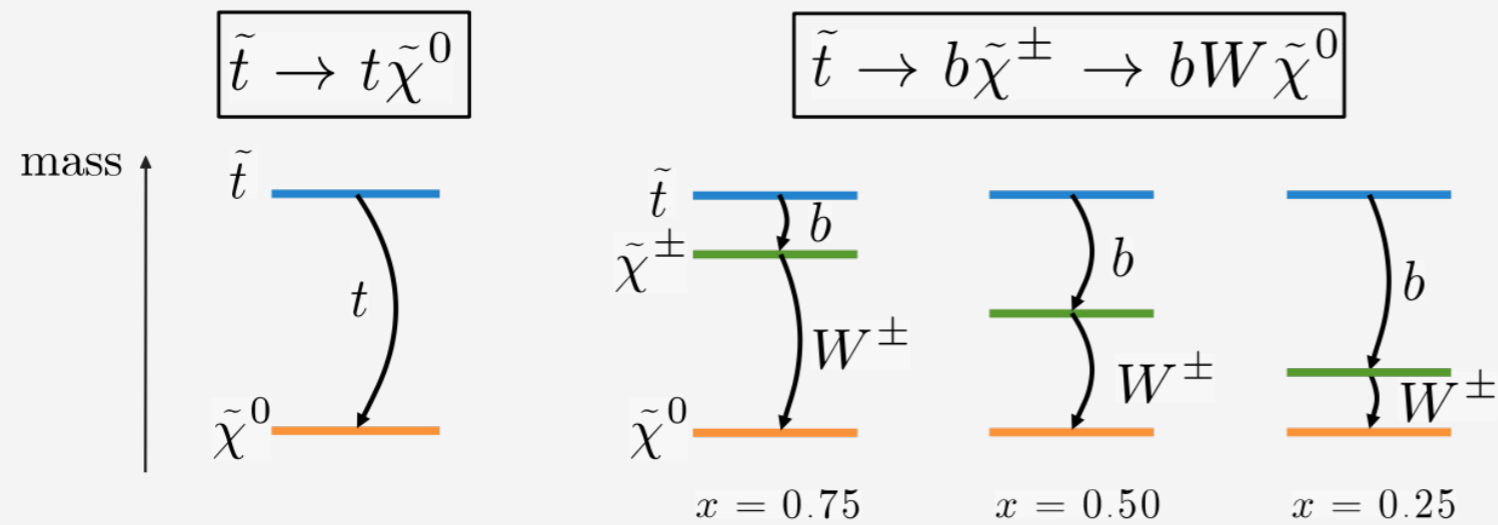


Spectre de masse non prédit \rightarrow utilisation de modèles simplifiés

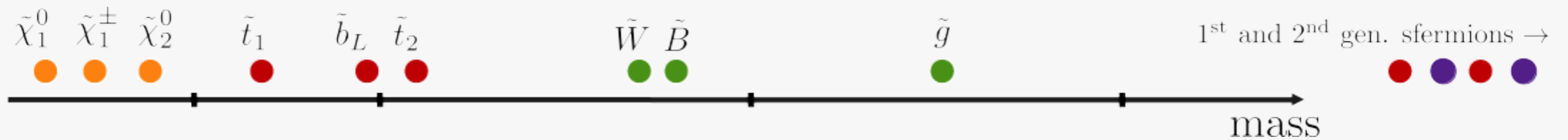
Recherche de nouvelle physique (SUSY)



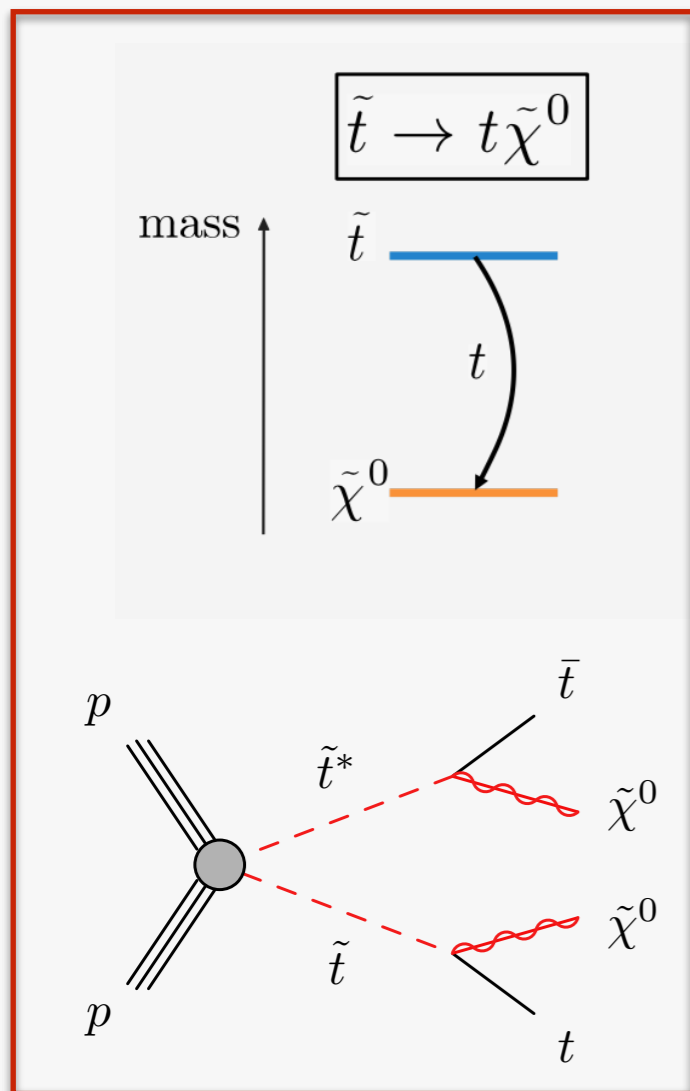
Spectre de masse non prédit → utilisation de modèles simplifiés



Recherche de nouvelle physique (SUSY)

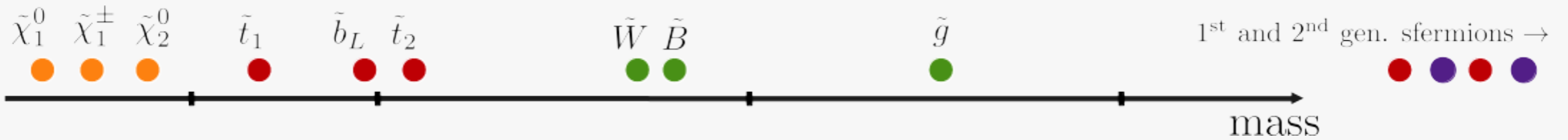


Spectre de masse non prédit → utilisation de modèles simplifiés

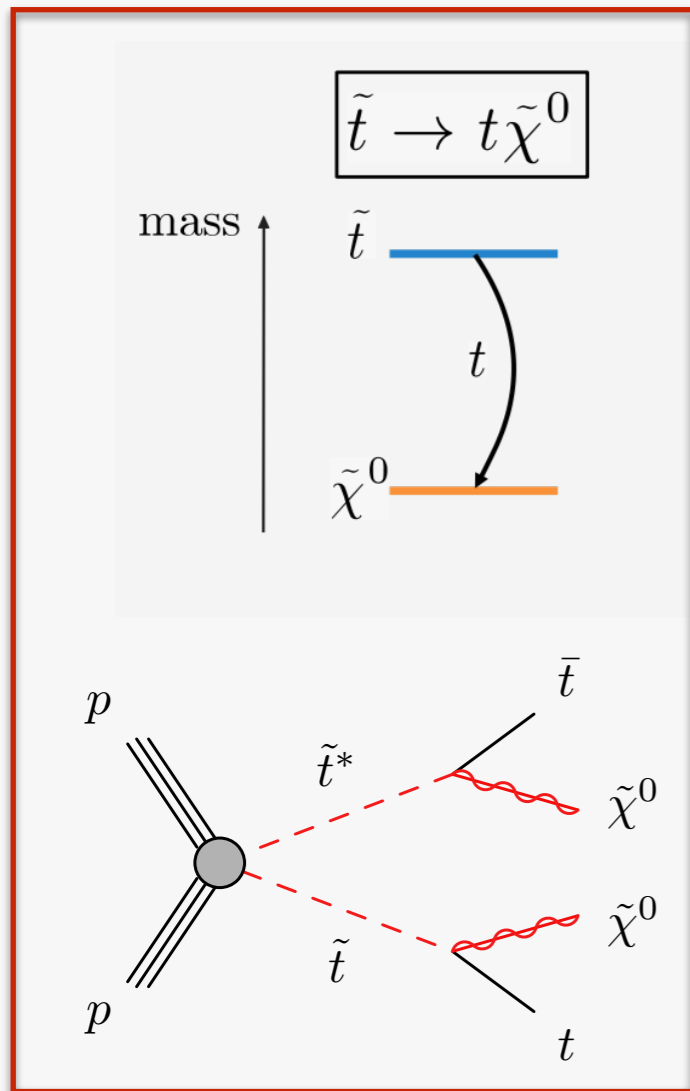


2 paramètres

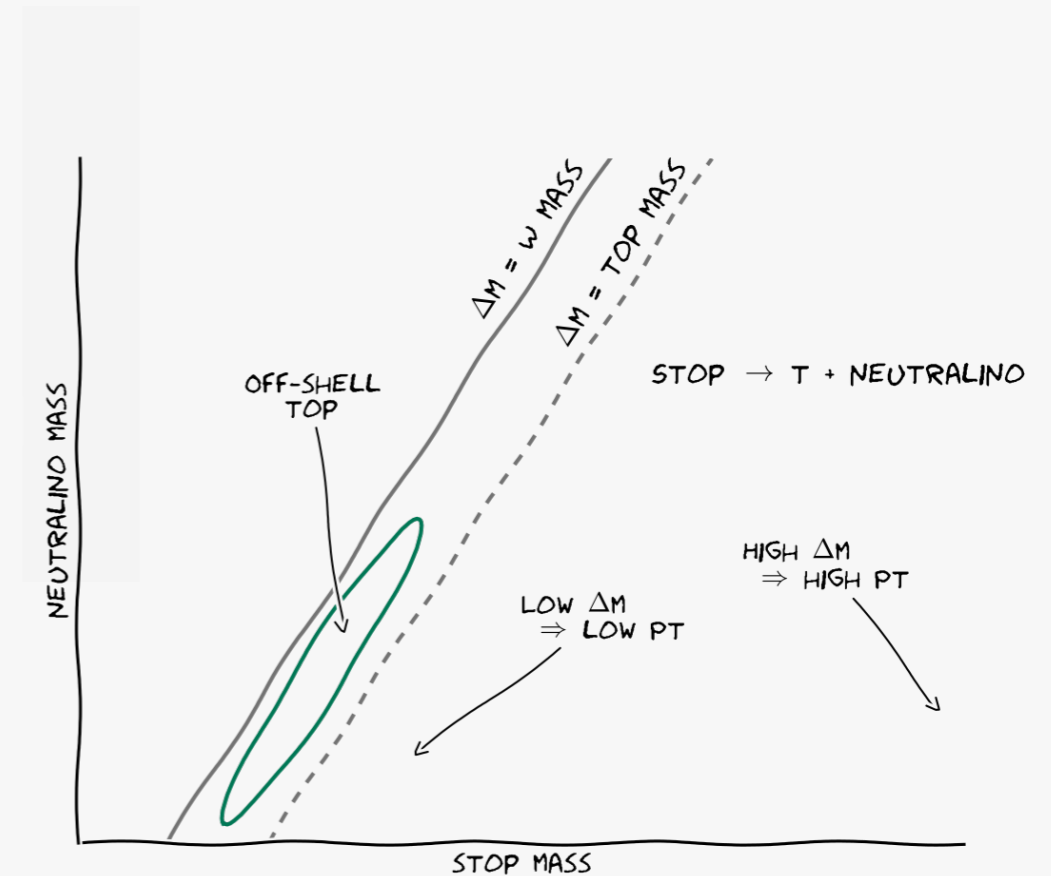
Recherche de nouvelle physique (SUSY)



Spectre de masse non prédit → utilisation de modèles simplifiés



2 paramètres



Recherche de nouvelle physique (SUSY)

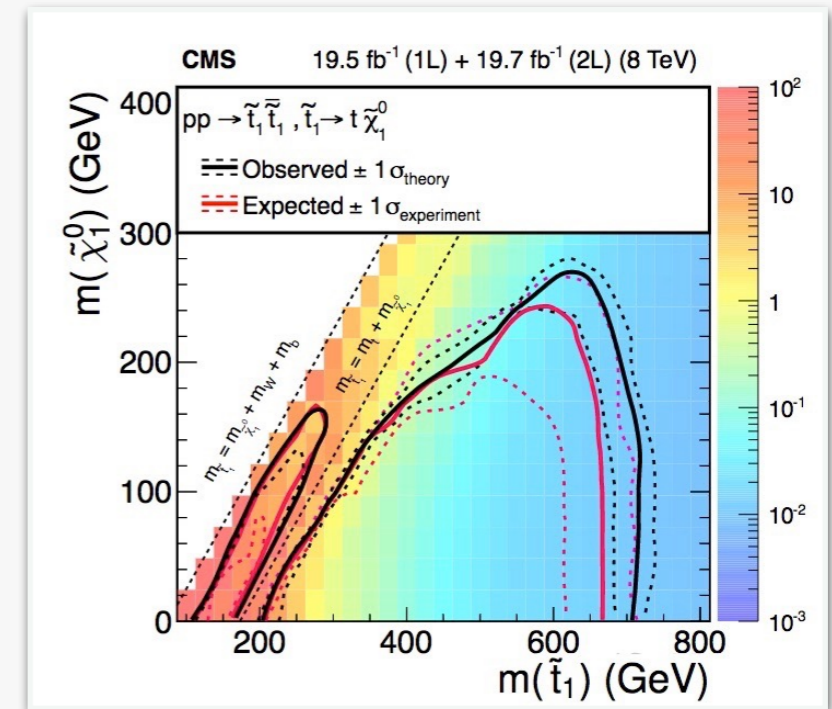
missing transverse energy (E_T^{miss})

- jets
- leptons
- invisible

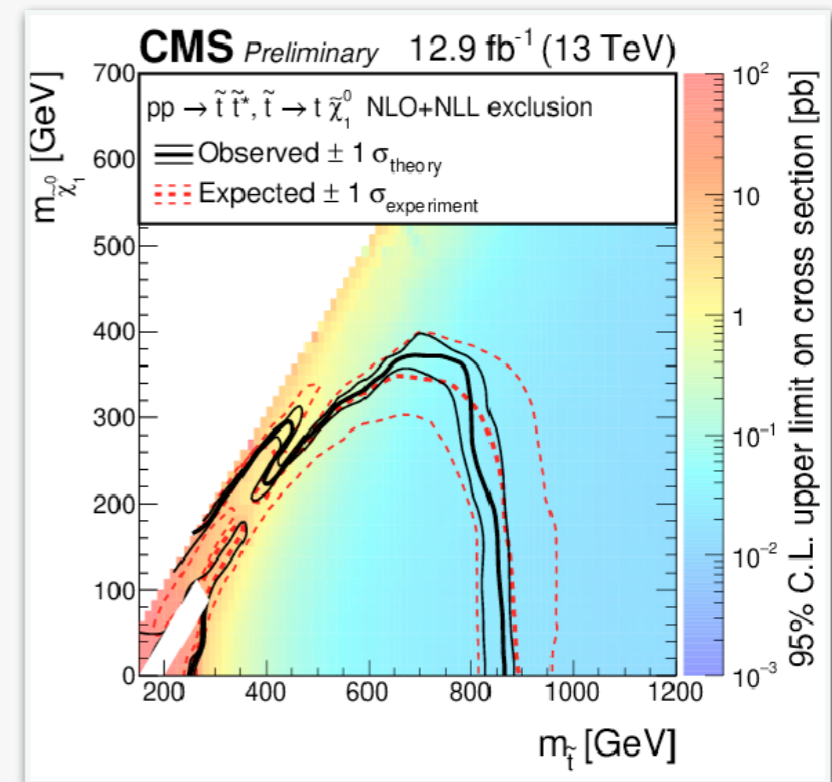
Preselection

- Triggered on single e/μ
- Exactly 1 lepton (isolated, $p_T > 20/30$ GeV)
- At least 4 jets ($p_T > 30$ GeV)
- At least 1 b -tag (medium WP)
- $E_T^{\text{miss}} > 80$ GeV

Run I



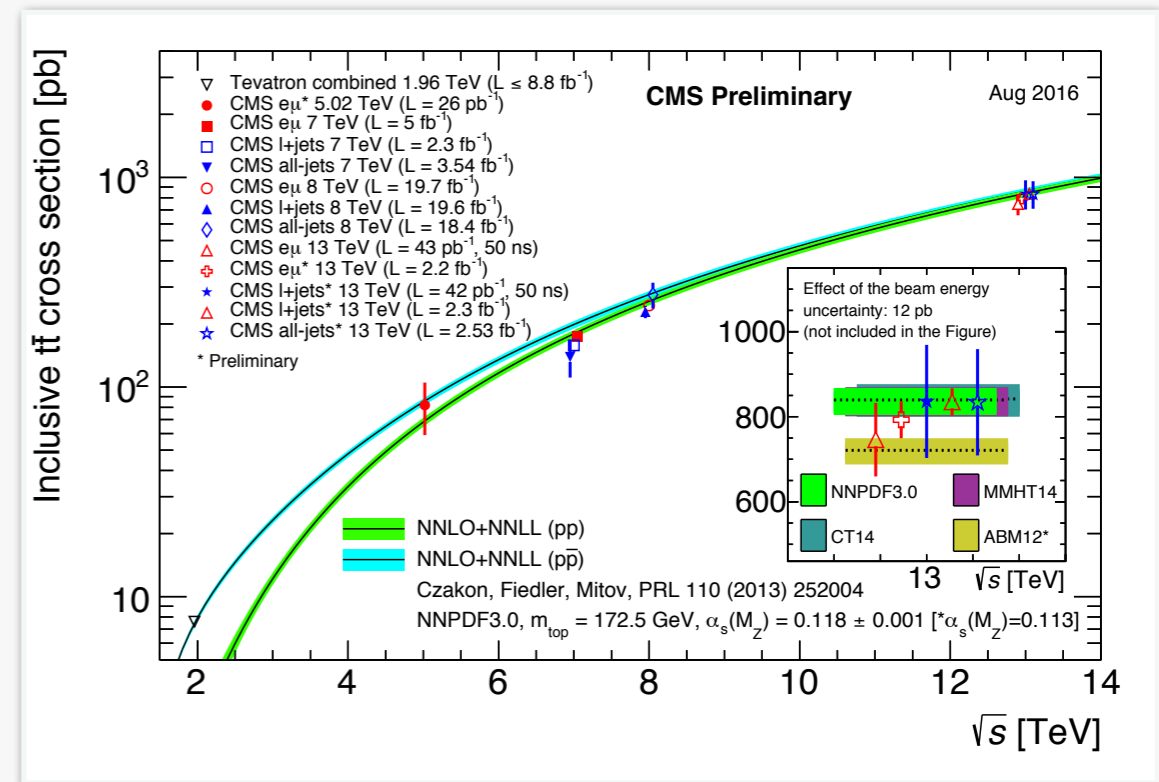
Run II



Recherche indirecte de nouvelle physique

Etape initiale : Mesure de la section efficace de production $t\bar{t}$

- bruit de fond pour les analyses SM et SUSY
- améliorer la modélisation
- contraintes sur la nouvelle physique

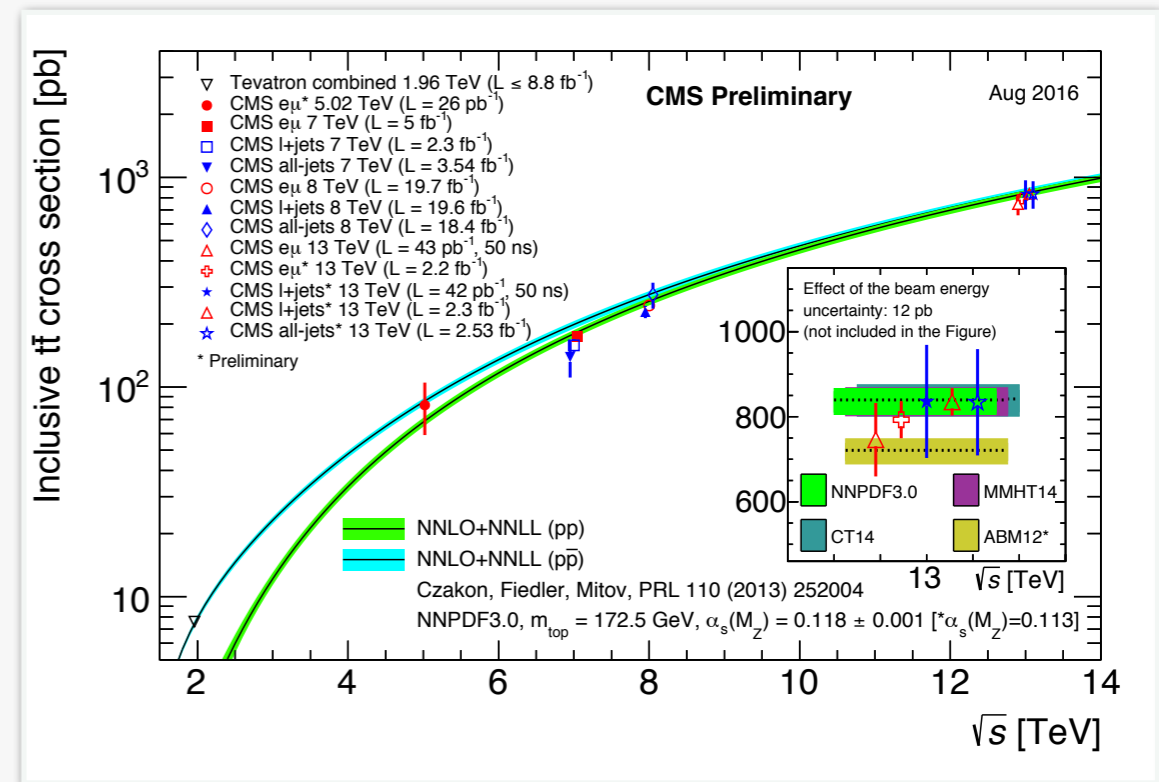
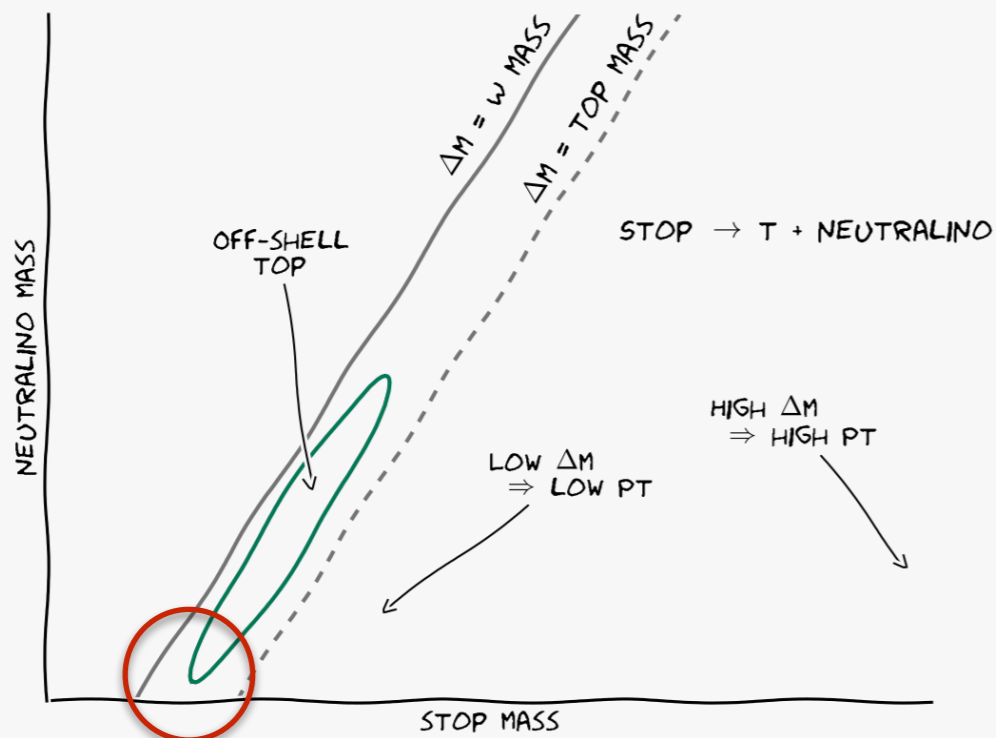


Recherche indirecte de nouvelle physique

Etape initiale : Mesure de la section efficace de production $t\bar{t}$

- bruit de fond pour les analyses SM et SUSY
- améliorer la modélisation
- contraintes sur la nouvelle physique

Réinterprétation de mesures de précision en terme de limites sur la nouvelle physique



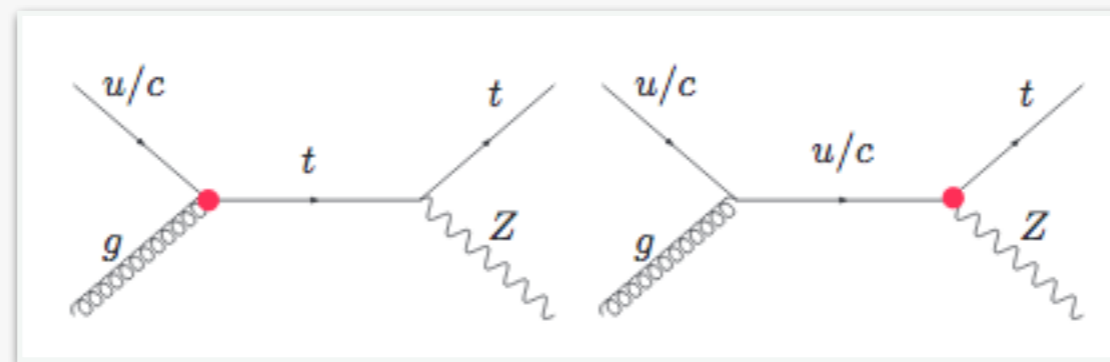
Recherche de processus rares dans le secteur du top

Mesure de la section efficace de production tZ / tH
processus rare du Modèle Standard
couplage augmenté en cas de nouvelle physique (FCNC)

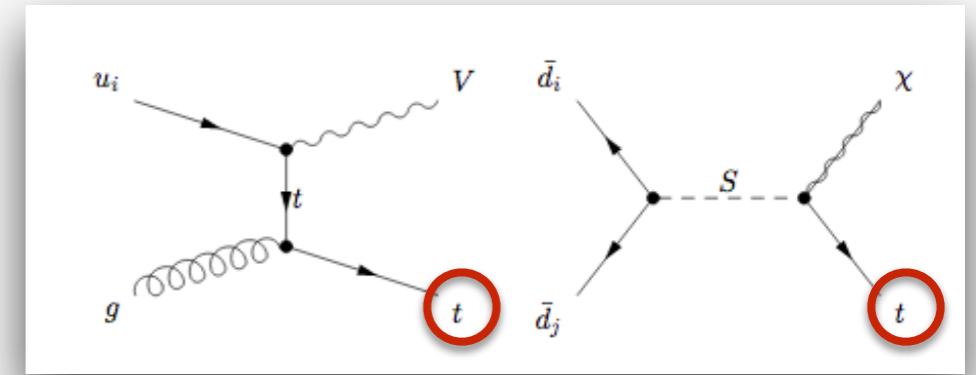
Mesure réinterprétée en limites sur les couplages

Etudes phénoménologiques
pour estimer a priori la sensibilité

tZ ($Z \rightarrow$ invisible) : monotop
réinterprétable en limite sur la matière noire



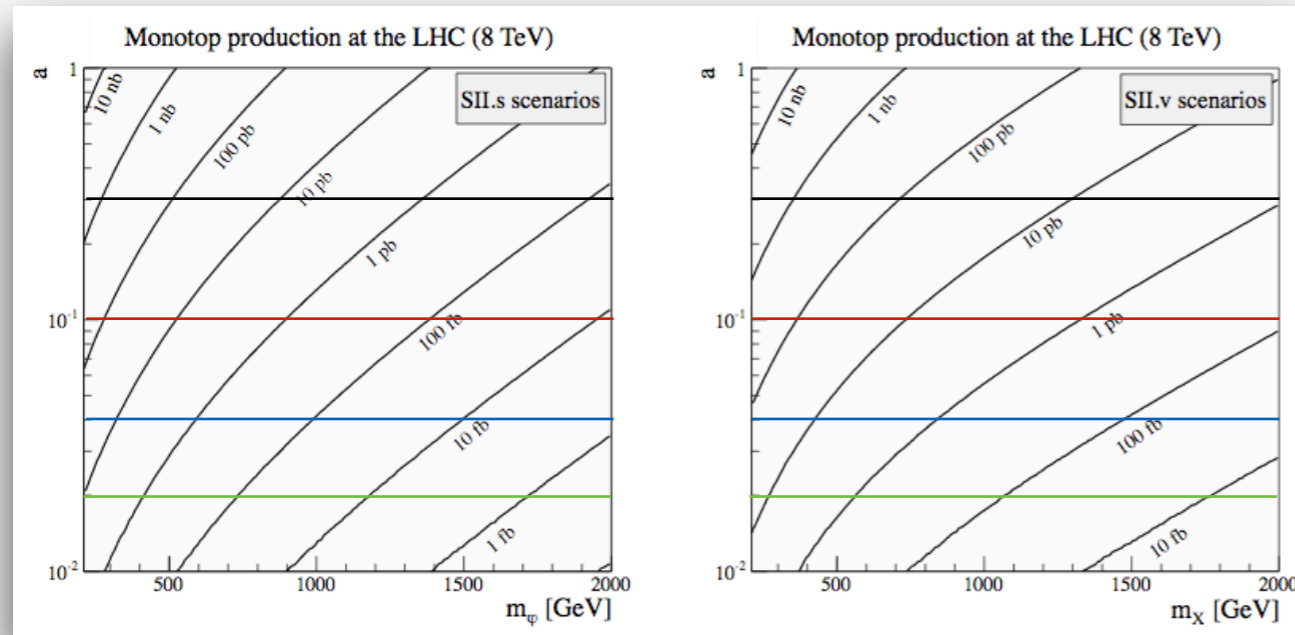
Etudes phénoménologiques



production monoton

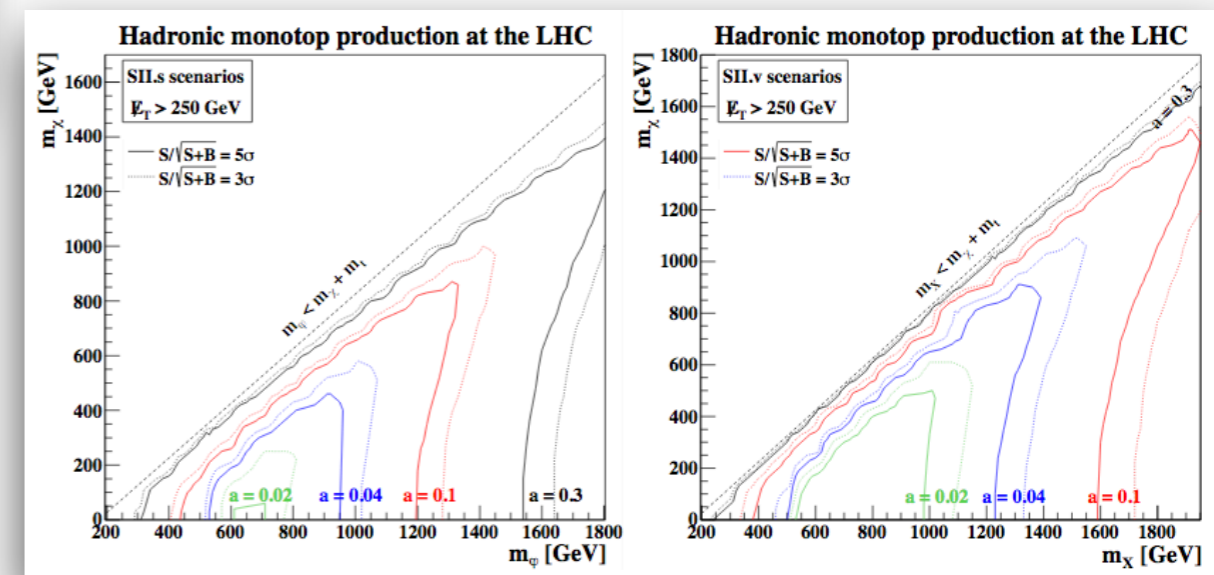
Objectif

Déterminer a priori la sensibilité d'une étude auprès du LHC

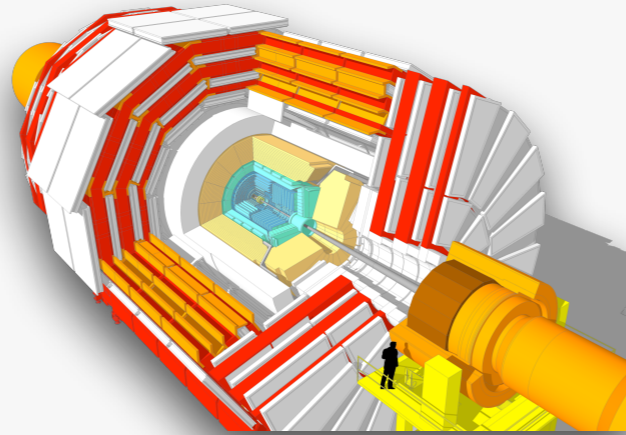


Contraintes en fonction de la quantité de données enregistrée

Potentiel d'exclusion d'une recherche de monoton auprès du LHC



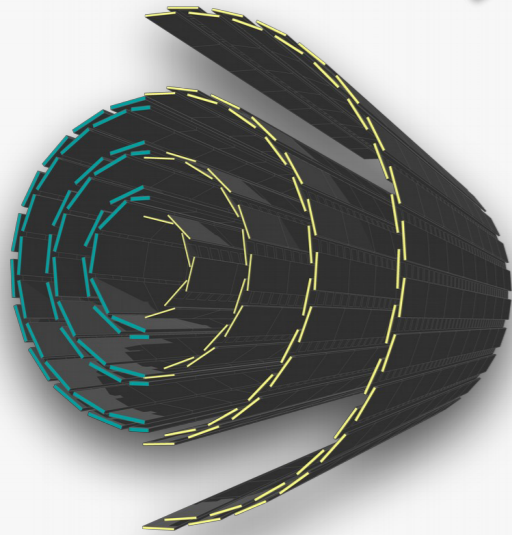
détecteur



prise de données

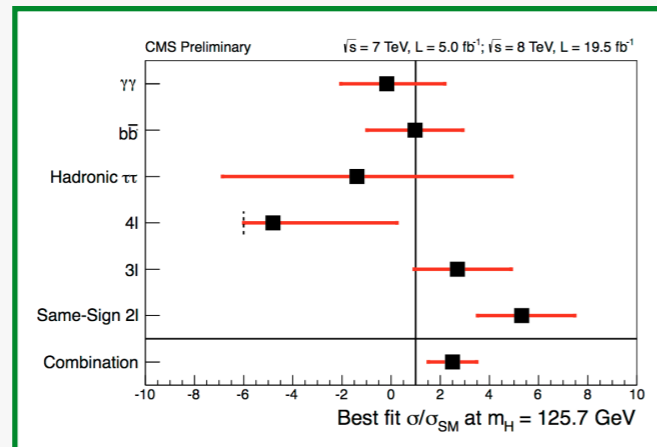


upgrades

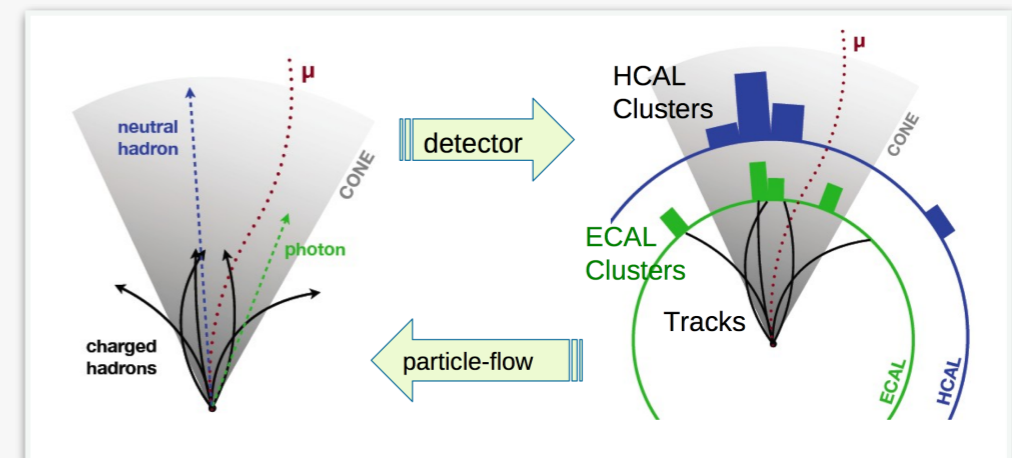


Les upgrades

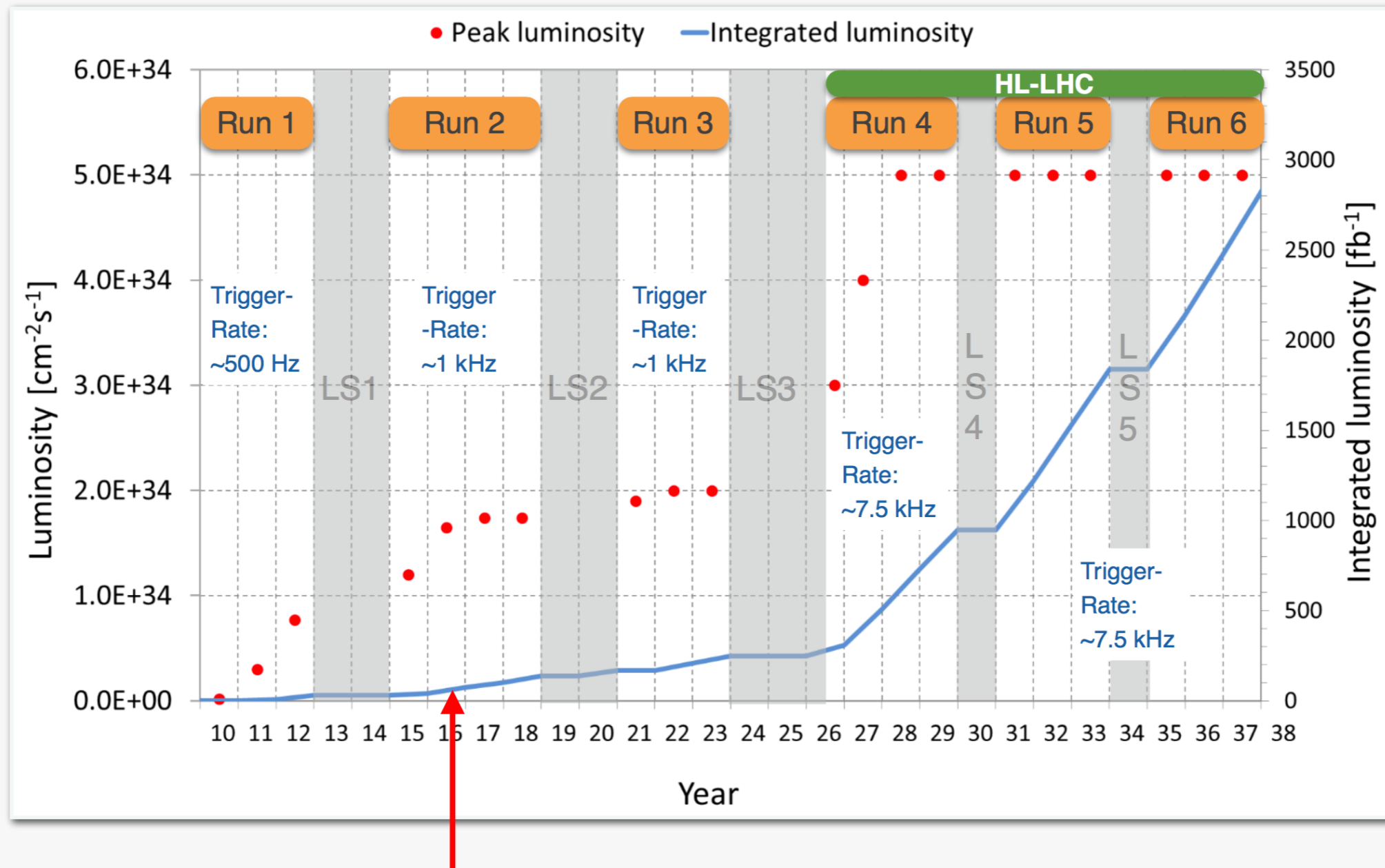
phéno/analyses



reconstruction des événements



La physique au LHC ne fait que commencer...

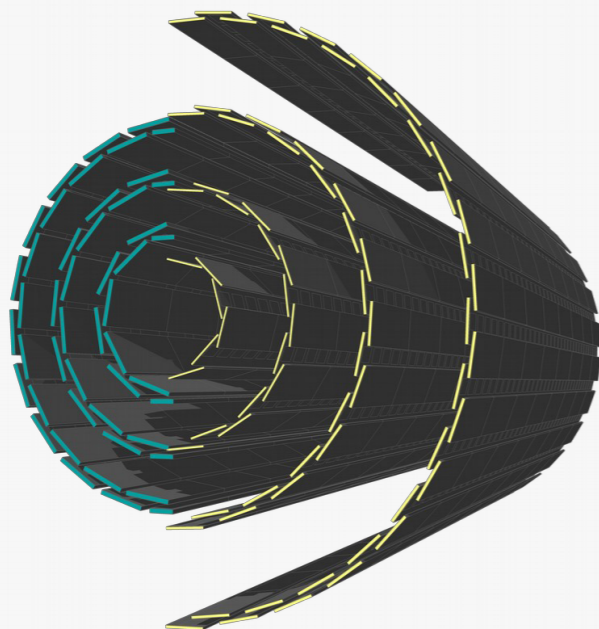


La phase I (→ 2017)

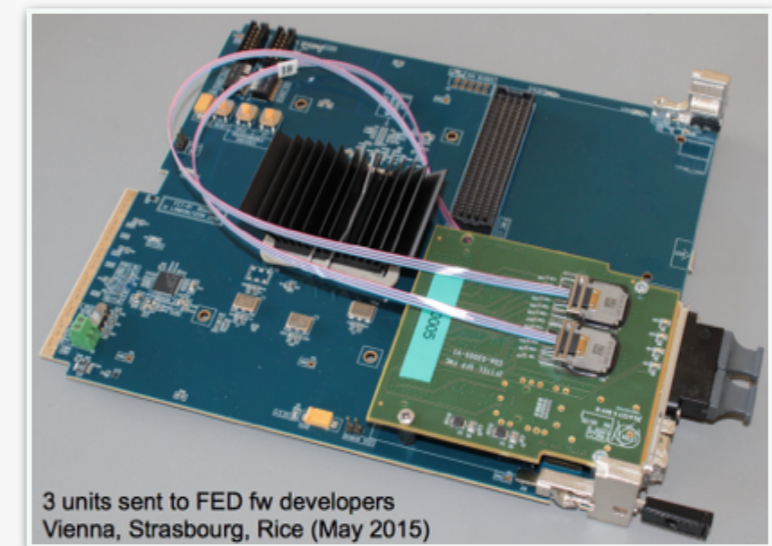
Arrêt technique étendu → remplacement du détecteur à pixel

- excellente efficacité même à haute luminosité
- passage de 3 à 4 couches (mais 2x moins de matière)
- plus rapide
- meilleure résolution
- responsabilité du développement du système d'acquisition de données (DAQ) pour le nouveau détecteur à pixel sur la base d'une électronique de dernière génération (μ TCA)
- coordination de la totalité des activités DAQ Phase 1 au CERN

pixel
actuel



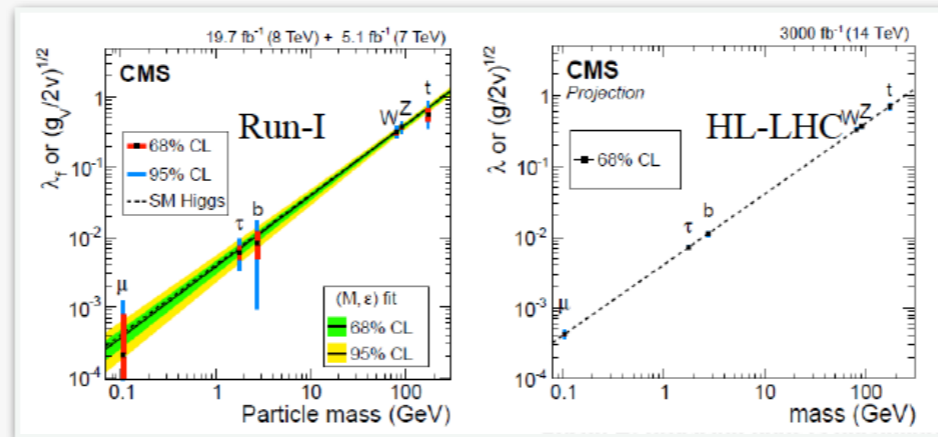
pixel
Phase 1



HL LHC

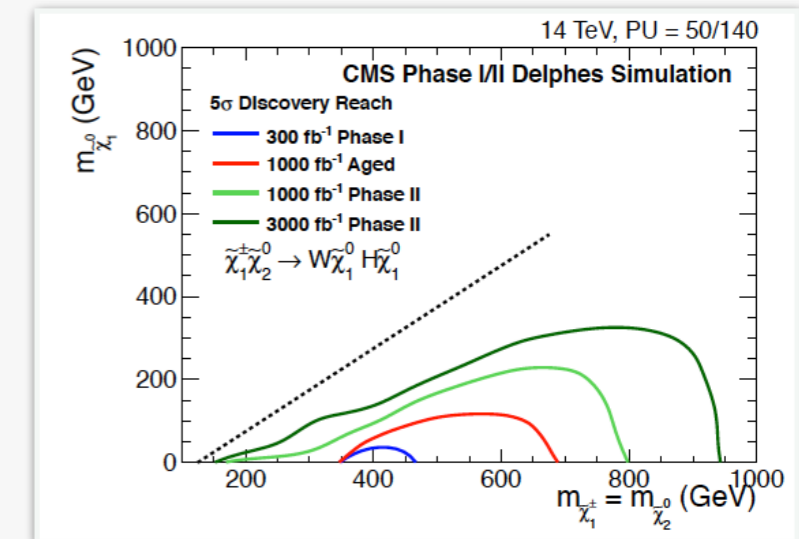
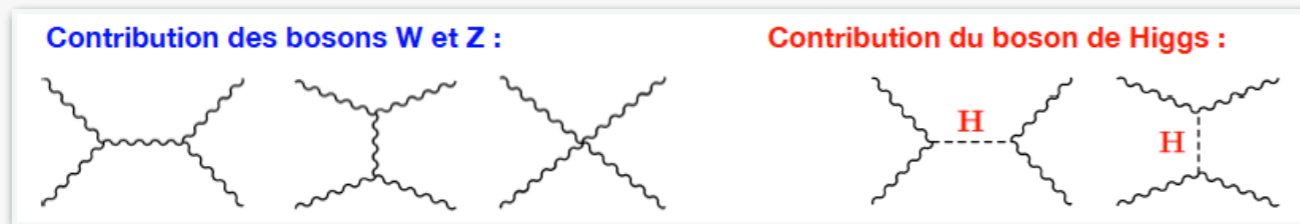
Vérifier si le boson de Higgs est celui attendu:

- mesure de précision de ses couplages aux bosons et fermions
- mesure de précision des distributions cinématiques
- observation de canaux rares de désintégration ($H \rightarrow \mu\mu$)



Vérifier l'unitarité de la théorie électrofaible dans le domaine du TeV

- mesure de précision de la fusion $WW \rightarrow WW$
- observation de l'auto-couplage $H \rightarrow HH$

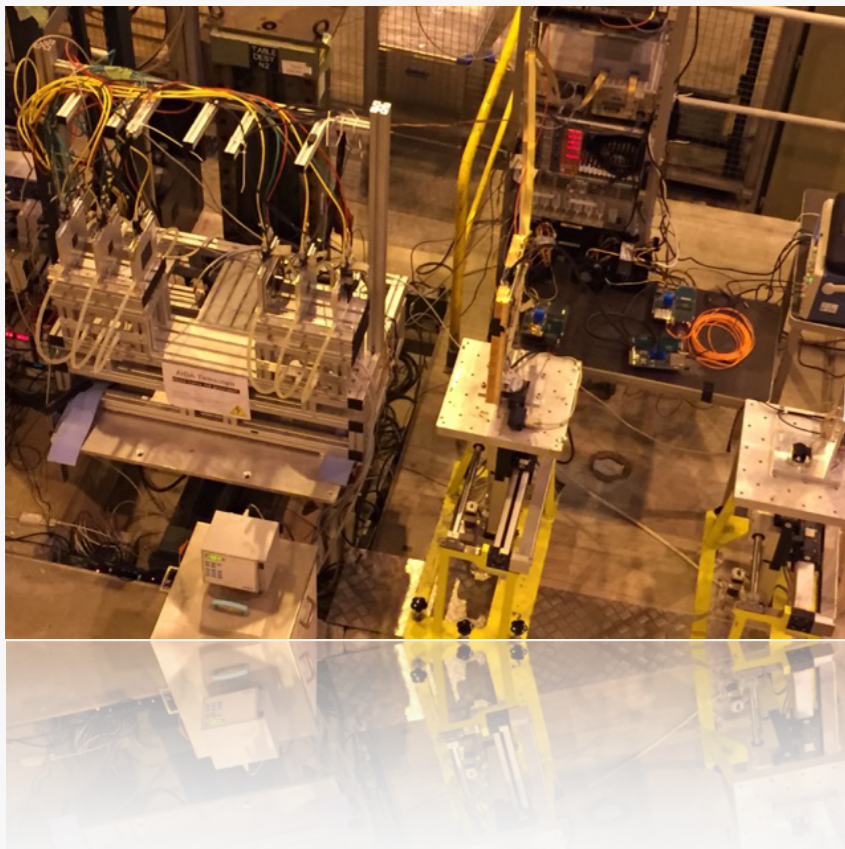
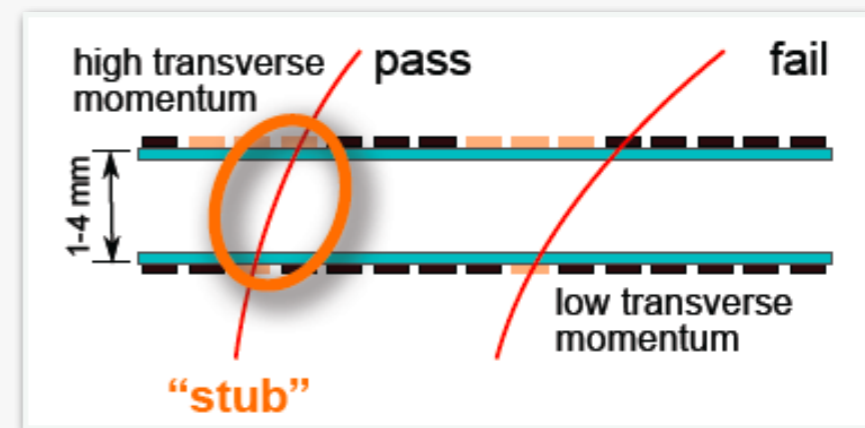
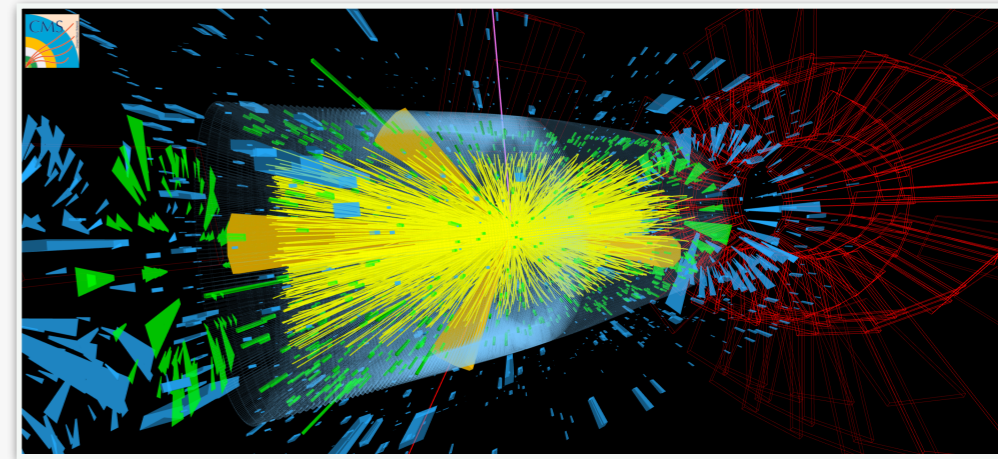


Extension des recherches directes de nouvelle physique

La phase II (à partir de 2024)

Remplacement de tout le trajectographe

- couverture angulaire étendue
- déclenchement dès le niveau 1 (track trigger)
- adapté à 200 collisions simultanées
- résistant aux radiations



- responsabilité de l'IPHC dans l'électronique d'acquisition du futur trajectographe
- IPHC maître d'oeuvre pour la conception du système d'acquisition de données (DAQ) du futur trajectographe sur la base d'une électronique de dernière génération (μ TCA)
- responsabilité et coordination des activités DAQ durant les faisceaux tests pour les prototypes de modules Si

Conclusion

Le groupe CMS de l'IPHC mène **un programme de physique ambitieux** à travers:

- une participation aux upgrades du détecteur
- une implication dans le suivi du trajectographe
- une expertise reconnue dans l'identification des jets b
- une implication dans des analyses de physique couvrant
mesure du Modèle Standard,
recherche directe de nouvelle physique
réinterprétation de mesures de précision (aidée par la phéno)