

Recherche de nouveaux bosons de Higgs & potentiel scalaire

Didier-Esteve Eva

Aix-Marseille Université (AMU)

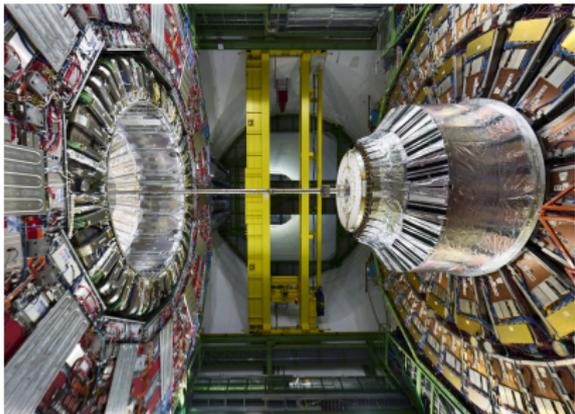
Sous la supervision de Maxime Gouzevitch (IP2I)

Juin 2025



L'expérience CMS

CMS est l'une des 4 expériences du Large Hadron Collider (LHC), au CERN.



CMS, c'est:

- Un “Solénoïde Compact pour Muons”: détection des particules grâce à un aimant.
- Une des plus grandes collaborations scientifiques (5 500 personnes, 241 universités, 54+ pays)
- De la recherche de pointe sur multiples sujets (Higgs, matière noire, mesures de précision...)

Le boson de Higgs: la pièce manquante du puzzle

Pourquoi les particules ont-elles une masse?

- 1964 : Brout, Englert & Higgs expliquent la masse des particules via le **mécanisme de Higgs**.
- 2012 : CMS et ATLAS observent le **boson de Higgs**.

Potentiel de Higgs

$$V(\phi) \approx \lambda(\phi^2 - v^2)^2$$

Couplage Higgs-fermions \propto masse:

$$g_f = \sqrt{2} \frac{m_f}{v}$$

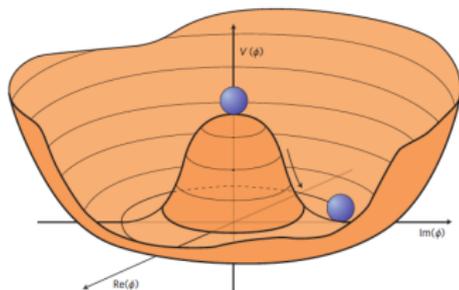


Figure 2: Potential de Brout-Englert-Higgs (B.E.H) : le "chapeau mexicain".

Source: CERN

Challenges de la physique moderne et Higgs

Le secteur du Higgs, portail vers la Nouvelle Physique?

Les mystères de la physique des particules

- Pourquoi matière $>$ antimatière?
- Qu'est ce que la matière noire?
- et bien d'autres...

Les mystères du Higgs

- $V(\phi) \approx \lambda(\phi^2 - v^2)^2$:
l'**autocouplage** λ est la seule constante de couplage du SM **jamais mesurée expérimentalement**.
- Valeur de λ prédite par le SM: $\lambda=0.13$.
 \Rightarrow tout écart signifierait Nouvelle Physique!

Stage de M2: Potentiel de Higgs & baryogénèse

- Transition de phase électrofaible: après le Big Bang, la chute de température cause un **changement de phase**. Les particules deviennent **massives**.
- Buts: Exprimer le potentiel de Higgs $V(\phi)$ en fonction de la température de l'Univers $T(K)$. Observer l'impact de λ sur la création de matière & d'antimatière, avec des modèles simplifiés.

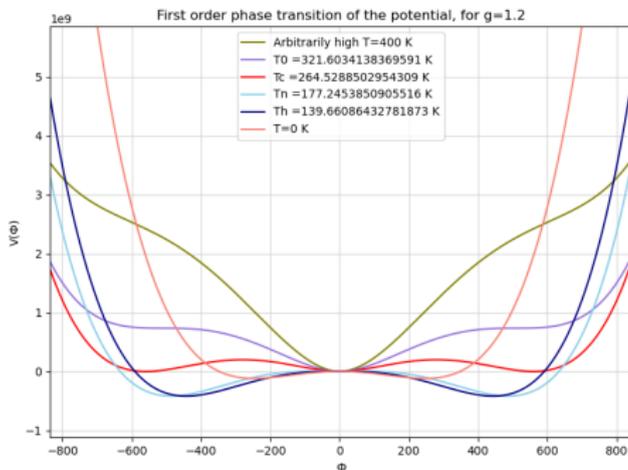


Figure 3: Evolution du potentiel de Higgs, pour différentes températures de l'Univers.

Figure produite pendant mon stage à l'IP2I

Stage de M2: iRPCs à CMS, CERN

Les "Resistive Plate Chambers" (RPC) font partie des détecteurs de CMS: permettent la détection de muons.



Figure 4: iRPCs en train d'être testées sur des stands cosmiques.

Figure 5: Photo de Maxime Gouzevitch.



Technologie complexe: production et calibration doivent être strictes!
Update: version i-RPC. Participation à l'assemblage, aux différents tests, à la calibration...

Le projet de thèse

Recherche de nouveaux bosons de Higgs et le potentiel scalaire

Potentiel du Higgs

$$V(\phi) \approx \lambda(\phi^2 - v^2)^2$$

Valeur théorique de λ à partir de v , m_H :

$$\lambda = \frac{m_H^2}{2v^2} \approx 0.13.$$

Pourquoi pas de mesure expérimentale?

- Le nombre d'état finaux à 2 Higgs dépend de la valeur de λ .
- HH **très rare**: interférence destructive entre les diagrammes.
- Le Higgs est **instable**: il faut reconstituer sa présence via les produits de désintégration.

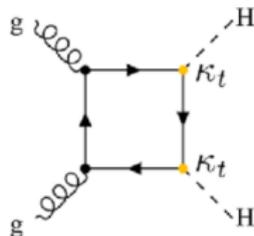
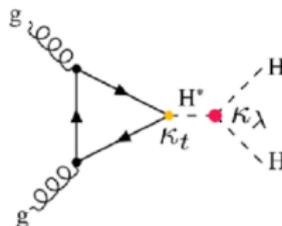


Figure 6: Etats finaux à deux Higgs.

Source: DOI=10.1103/physrevd.107.034014

Le projet de thèse

Profiter du RunIII au LHC pour contraindre λ .

Incertitude actuelle sur λ : 300%.

Solutions:

- LHC RunIII: 2022-2026. Plus de données et plus d'énergie ($\sqrt{s} = 13.6\text{TeV}$)
- Choix de canaux de désintégration spécifiques: $H \rightarrow \gamma\gamma b\bar{b}$
 - $\gamma\gamma$: meilleure résolution & reconstruction;
 - $b\bar{b}$: meilleur ratio de production.

⇒ Meilleures statistiques = meilleures contraintes sur λ !

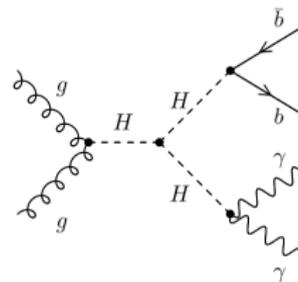


Figure 7: $HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$

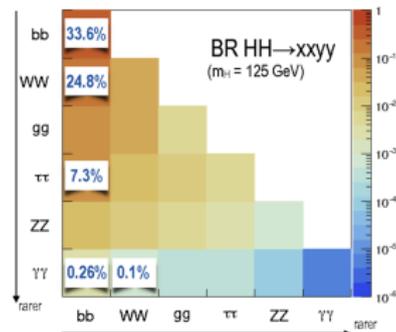


Figure 8: HH branching ratios.

Source: E.Petit

Conclusion: des perspectives de nouvelle physique

Recherche de nouveaux bosons de Higgs et potentiel scalaire

- Mise à jour de CMS + Run III: nouvelles techniques de reconstruction et d'analyse + nouvelles données importantes + nouveau seuil d'énergie
- Objectifs de la thèse: collection des données du Run III, & amélioration des techniques d'analyse (ML, réseaux neuronaux) pour contraindre $\lambda \Rightarrow$ papier final de référence.
- Travail sur le détecteur CMS: certification des iRPC & intégration dans le trigger CMS phase II.

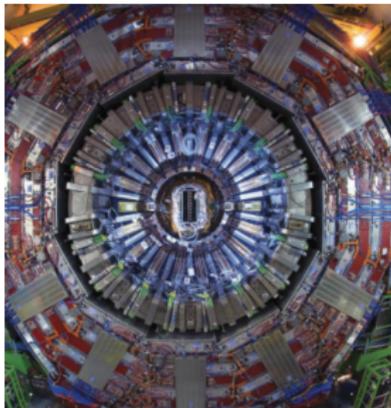


Figure 9: CMS. (Source: CERN.)

Merci de votre attention!