

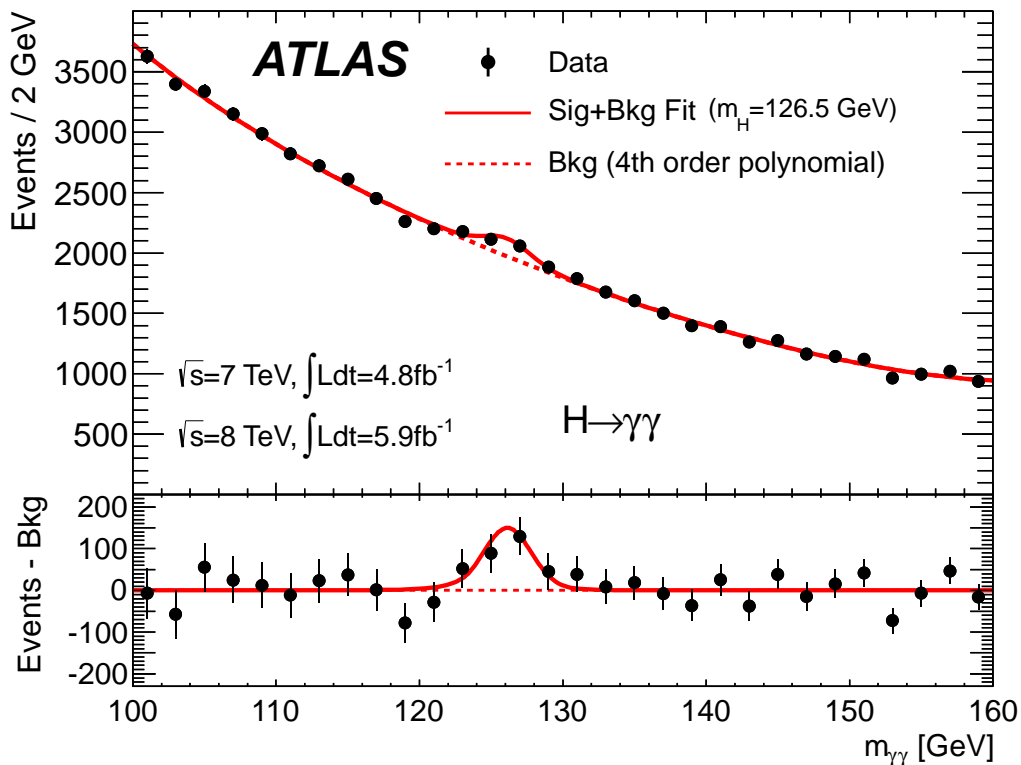
## 7.1 Higgs en $\gamma\gamma$

Le 4 juillet 2012, les expériences ATLAS et CMS, menées au Grand collisionneur de hadrons (LHC), ont annoncé qu'elles avaient toutes deux observé une nouvelle particule dont la masse se situait dans la région des 126 GeV. Cette particule présente des caractéristiques compatibles avec celles du boson de Higgs prédit par le Modèle standard. Le boson de Higgs, tel que le décrit ce modèle, est la manifestation la plus simple du mécanisme de Brout-Englert-Higgs qui permet, notamment, d'expliquer théoriquement la masse des particules élémentaires.

Le 8 octobre 2013, le prix Nobel de physique a été attribué conjointement à François Englert et à Peter Higgs « pour la découverte théorique d'un mécanisme contribuant à notre compréhension de l'origine de la masse des particules subatomiques, une théorie qui s'est confirmée récemment, lorsque les expériences ATLAS et CMS, menées au Grand collisionneur de hadrons du CERN, ont découvert la particule prédite. »

Pour détecter le boson de Higgs, les physiciens des expériences ATLAS et CMS étudient notamment la désintégration de cette particule en une paire de photons  $\gamma$ . On peut alors mesurer le nombre d'événements comprenant uniquement deux photons et le comparer à un modèle dans lequel le boson de Higgs n'existe pas. Une différence significative entre données et modèle signe alors l'existence d'une nouvelle particule.

Les données `higgs-gg.csv` [représentent les résultats obtenus par l'expérience ATLAS au cours des années 2011/2012](#). Dans ce fichier, figure en première colonne l'énergie des deux photons exprimée en GeV, le nombre de paire di-photons observées en deuxième colonne et l'incertitude sur ce nombre en troisième colonne. Dans cet exercice, on cherche à reproduire la figure ci-dessous publiée dans *Phys. Rev. Letter B716 (2012)* [et annonçant la découverte d'une nouvelle particule](#).



- Représenter le nombre d'événements di-photons en fonction de l'énergie. On oubliera pas d'intituler les axes de cette figure afin d'y faire figurer toute information pertinente.

- Représenter le modèle suivant

$$y_{\text{modèle}} = -1.668 \cdot 10^{-2} x^3 + 7.697 x^2 + -1208.9 x + 6.527 \cdot 10^4$$

Calculer la valeur du  $\chi^2$  où

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(y_i - y_{\text{modèle}}(x_i))^2}{\sigma_{y_i}^2}$$

et la diviser par le nombre de degrés de liberté qui correspond au nombre de points expérimentaux moins le nombre de paramètres du modèle. Pour information, une valeur de  $\chi^2/\text{ndof}$  voisine de 1 démontre l'adéquation statistique entre données et modèle.

- Représenter dans une sous figure, la différence entre le modèle et les données puis normaliser cette différence par rapport à l'erreur sur chacun des points expérimentaux. Une découverte en physique des particules est établie lorsque le nombre d'écart-type  $\sigma$  entre données expérimentales et modèle est supérieur à 5. Isoler graphiquement les points expérimentaux pour lesquels la déviation est supérieure à  $3\sigma$ . Déterminer enfin la valeur maximale de cette déviation en nombre de  $\sigma$  et affirmer ou non avoir découvert le boson de Higgs. Le cas échéant, donner la masse de cette particule.

## 7.2 À la découverte des planètes extrasolaires

Le fichier `planets.csv` [↗](#) contient des informations relatives aux planètes extrasolaires depuis la première découverte en 1989. Le document fait notamment référence aux techniques de découverte de ces objets (première colonne) et recense les informations glanées par leurs découvreurs : période orbitale en jours (colonne 3), masse de la planète (colonne 4), distance à l'objet en années lumières (colonne 5) et année de découverte (colonne 6). Dans cet exercice, on utilisera le module `pandas` plus à même de traiter des fichiers de données mêlant données numériques et alphanumériques. L'installation de ce module se fait *via* `pip install pandas` et on le chargera dans un script python ou dans l'interpréteur python par le biais de

```
import pandas as pd
```

On s'aidera finalement du code ci-dessous pour charger le fichier en mémoire puis exploiter chacune des différentes colonnes

```
data = pd.read_csv("planets.csv")
methods = data["method"].values
years = data["year"].values
```

La "clé" utilisée par `pandas` (dans l'exemple ci-dessus `method` et `year`) se réfère à la première ligne du fichier qui indique le nom des champs.

- Représenter le nombre de planètes découvertes en fonction du temps. Modifier l'abscisse de la figure de telle sorte à indiquer chaque année et s'assurer que chaque donnée est bien centrée par rapport à l'année. Typiquement la "barre" dénombrant le nombre de planètes découvertes en 2015 doit être centrée sur l'abscisse 2015.
- Représenter cette même information tout en indiquant la technique utilisée pour la découverte. *Indication* : on pourra se servir de la fonction `histogram` de `numpy`.
- Dénombrer le nombre total de découverte par méthodes puis, pour les deux principales, représenter la variation de la période orbitale en fonction de la distance à la planète. Finalement, ajouter à la figure précédente, deux sous-figures, présentant les distributions de période orbitale et de distance pour chacune des deux méthodes. Les trois représentations doivent figurer sur la même figure et conclure quant aux caractéristiques des objets extrasolaires mis en évidence par chacune des deux méthodes.

## 7.3 Interfaces graphiques

### 7.3.1 Production de $^{11}\text{C}$

Reprendre l'exercice sur la variation du nombre de noyaux de carbone 11 en ajoutant à la représentation initiale, trois *sliders* respectivement  $n_i$ ,  $T_{1/2}$  et  $t_0$  et faire en sorte que la figure se reconstruise à chaque nouvelle valeur de ces paramètres.

### 7.3.2 Distribution spatiale de photons émis depuis une source en mouvement

On peut montrer (cf. TD Relativité) que la distribution de photons émis depuis une source en mouvement relativiste s'écrit

$$\begin{aligned}\frac{dN}{N_0} &= f(\theta) \cdot \frac{d\Omega}{4\pi} \\ &= \frac{1 - \beta^2}{(1 - \beta \cos \theta)^2} \cdot \frac{d\Omega}{4\pi}\end{aligned}$$

où  $\theta$  est l'angle zénithal et  $d\Omega = \sin \theta d\theta d\phi$  dans le référentiel statique de l'observateur. Représenter la fonction  $f(\theta)$  en représentation polaire puis ajouter un *slider* permettant de faire varier la vitesse  $\beta = \frac{V}{c}$  de la source par rapport à l'observateur.

### 7.3.3 Bon anniversaire