

QCD sombre

depuis le dernier CS (2021)

Marie-Hélène Genest

Avec:

Guillaume Albouy (PhD 2021-2024)

Maël Chantreau (M1 2022)

Pierre-Antoine Delsart

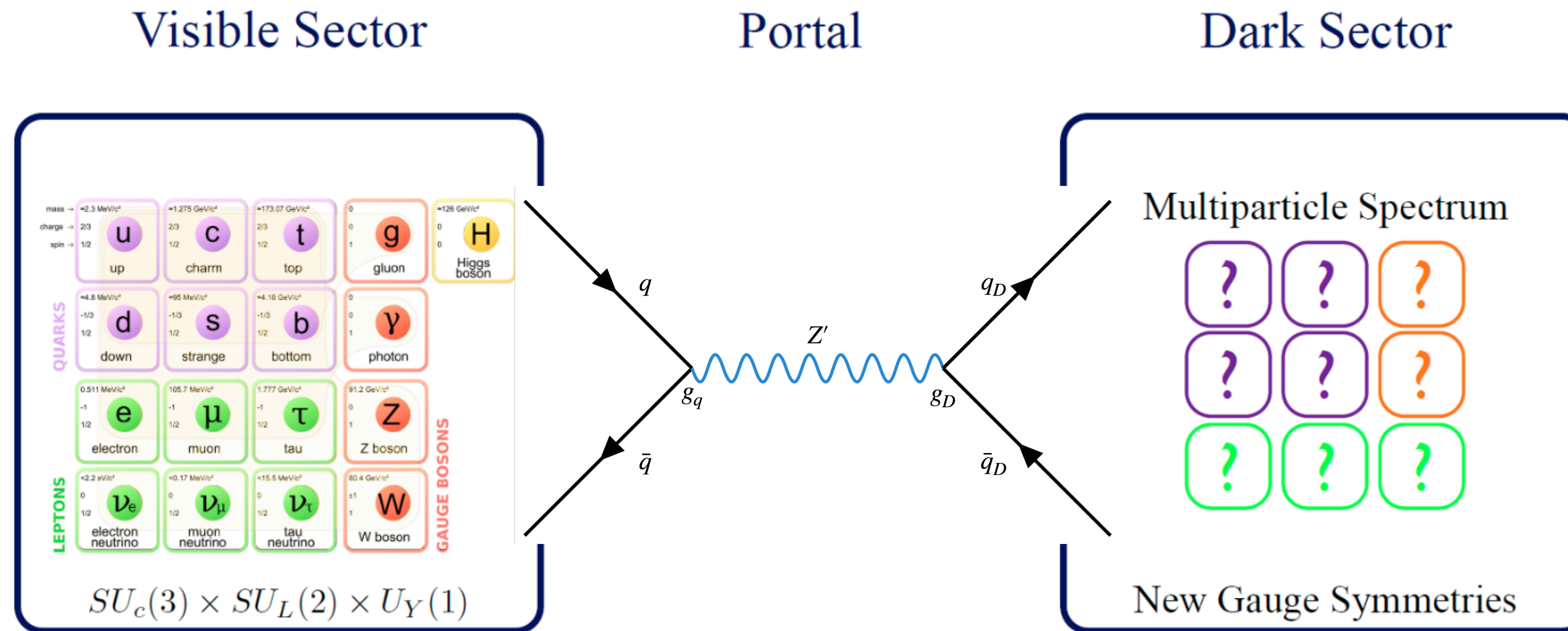
Nathan Lalloué (PhD 2019-2022)

Ana Paola Pereira Peixoto (Postdoc 2021-2023)

Luka Selem (Postdoc 2023-)

Thomas Wojtkowski (PhD 2022-)

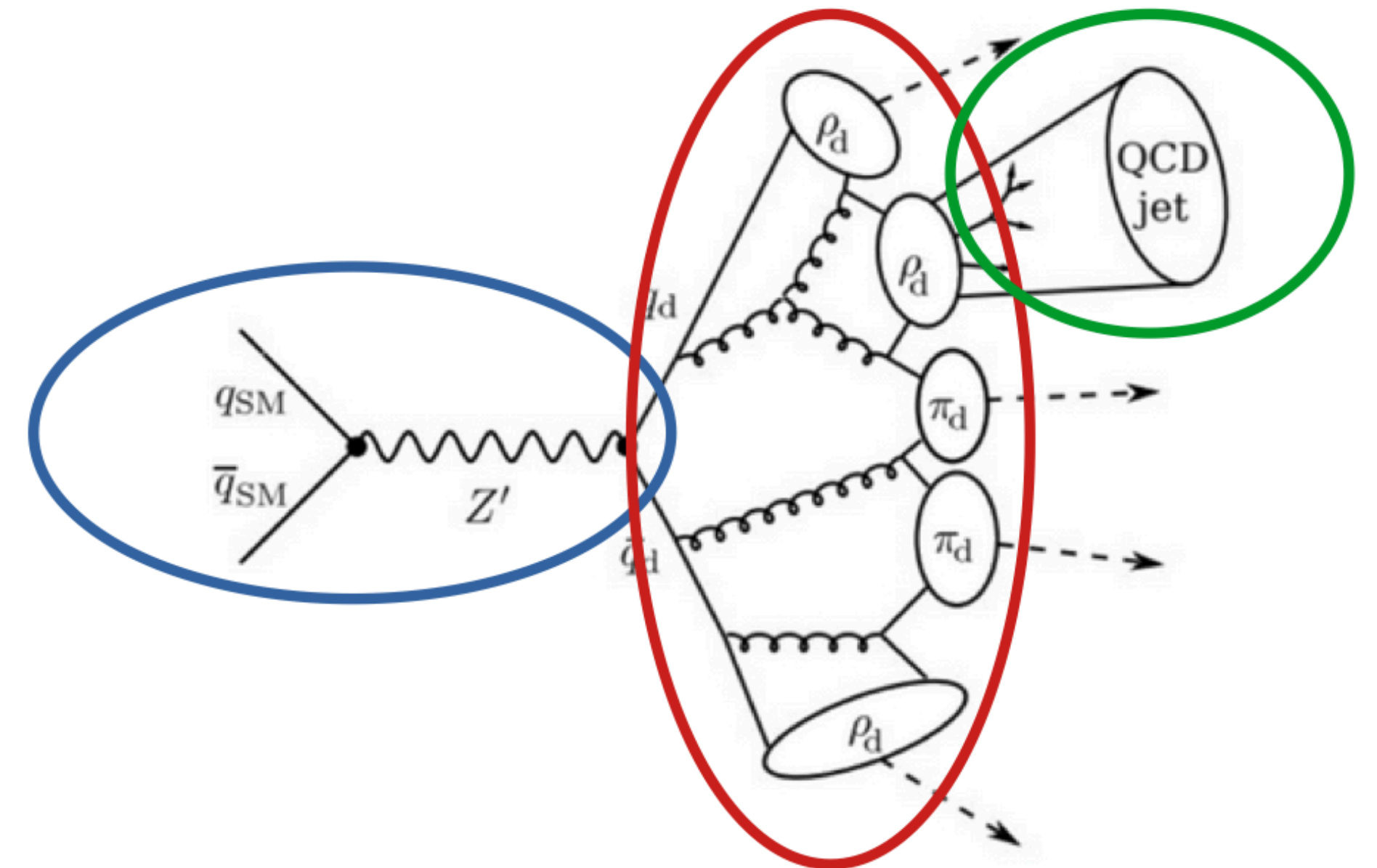
Secteur sombre



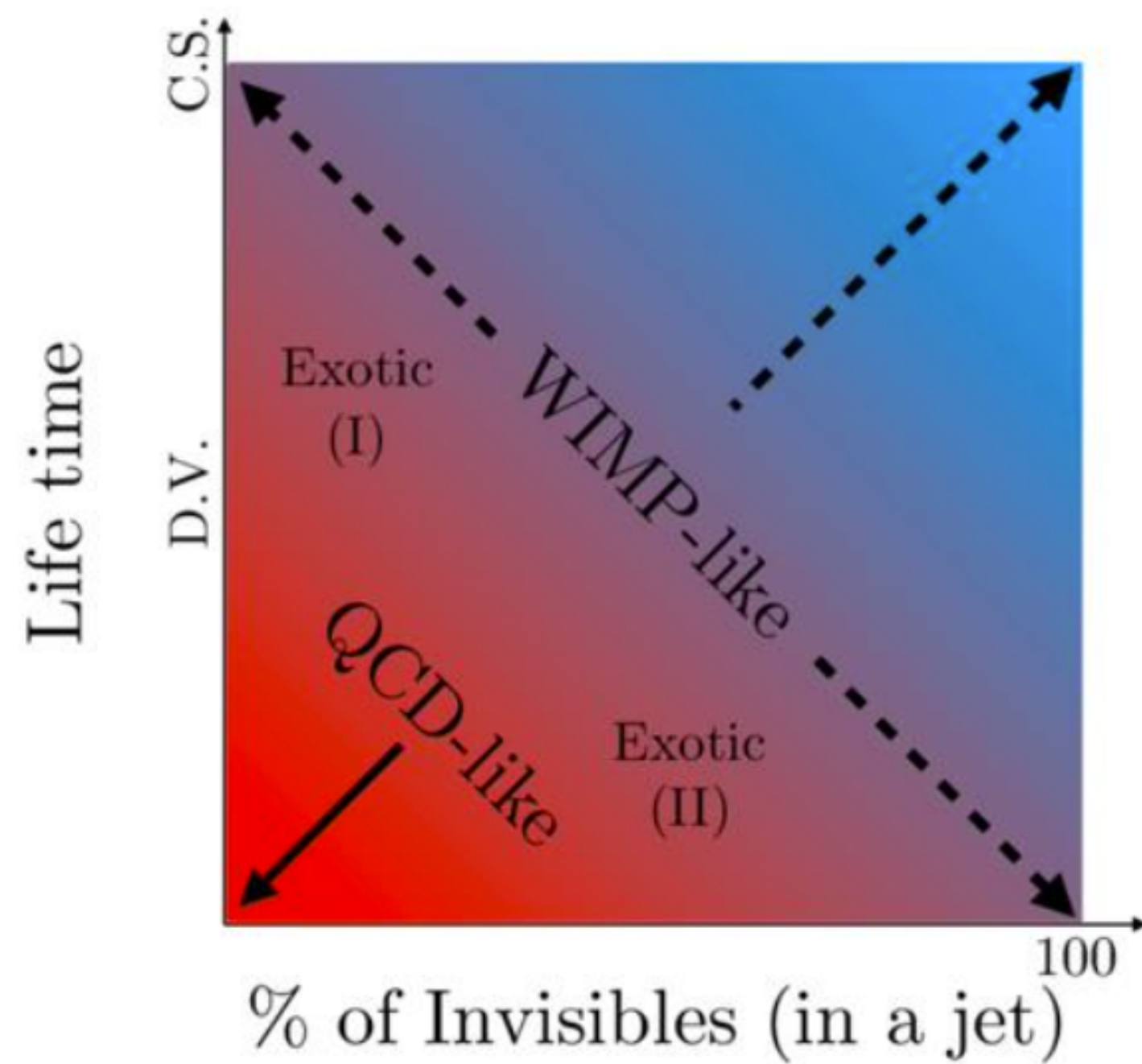
Gerbes sombres



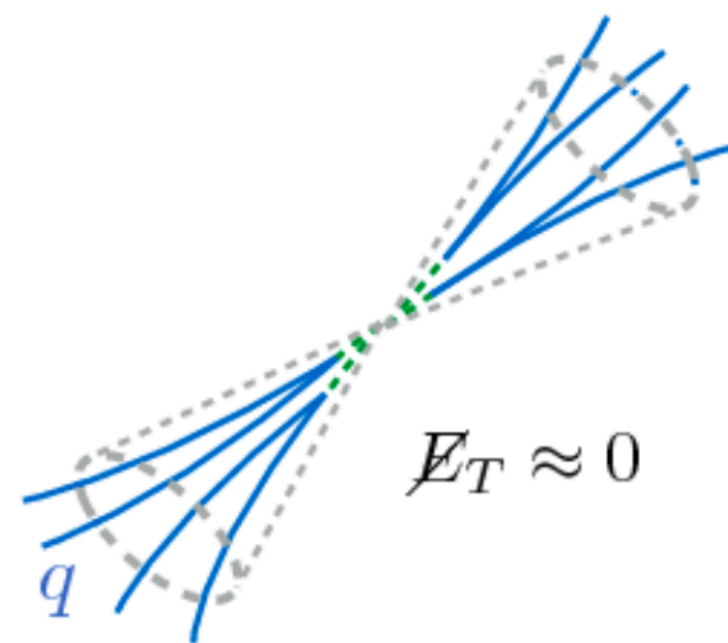
- Le médiateur peut être produit au LHC et se désintégrer en quarks sombres
- Ceux-ci s'hadronisent dans le secteur sombre
- Certains des mésons sombres peuvent se désintégrer en particules du MS, d'autres peuvent être stables (et donc invisibles - *candidats à la matière noire*)
- Certains de ces mésons peuvent avoir un temps de vie non négligeable



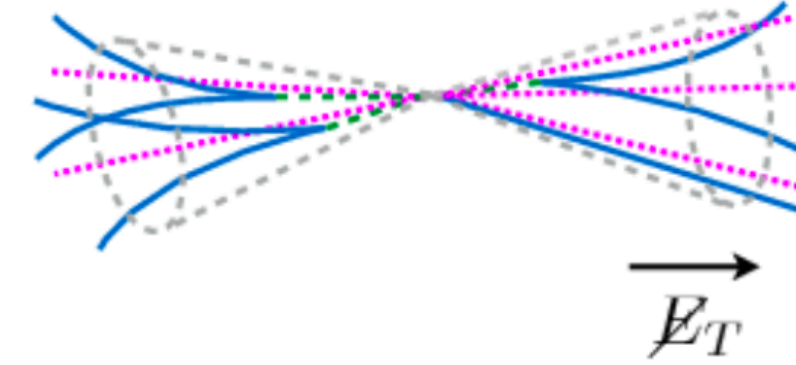
Signatures



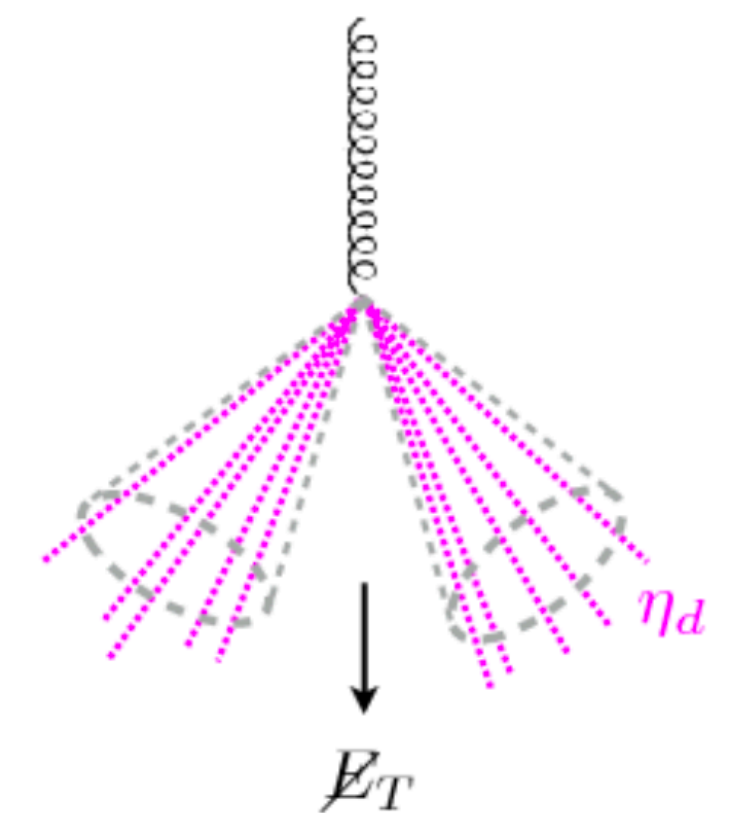
Jets sombres visibles
 $r_{\text{inv}} = 0$



Jets semi-visibles
 $0 < r_{\text{inv}} < 1$

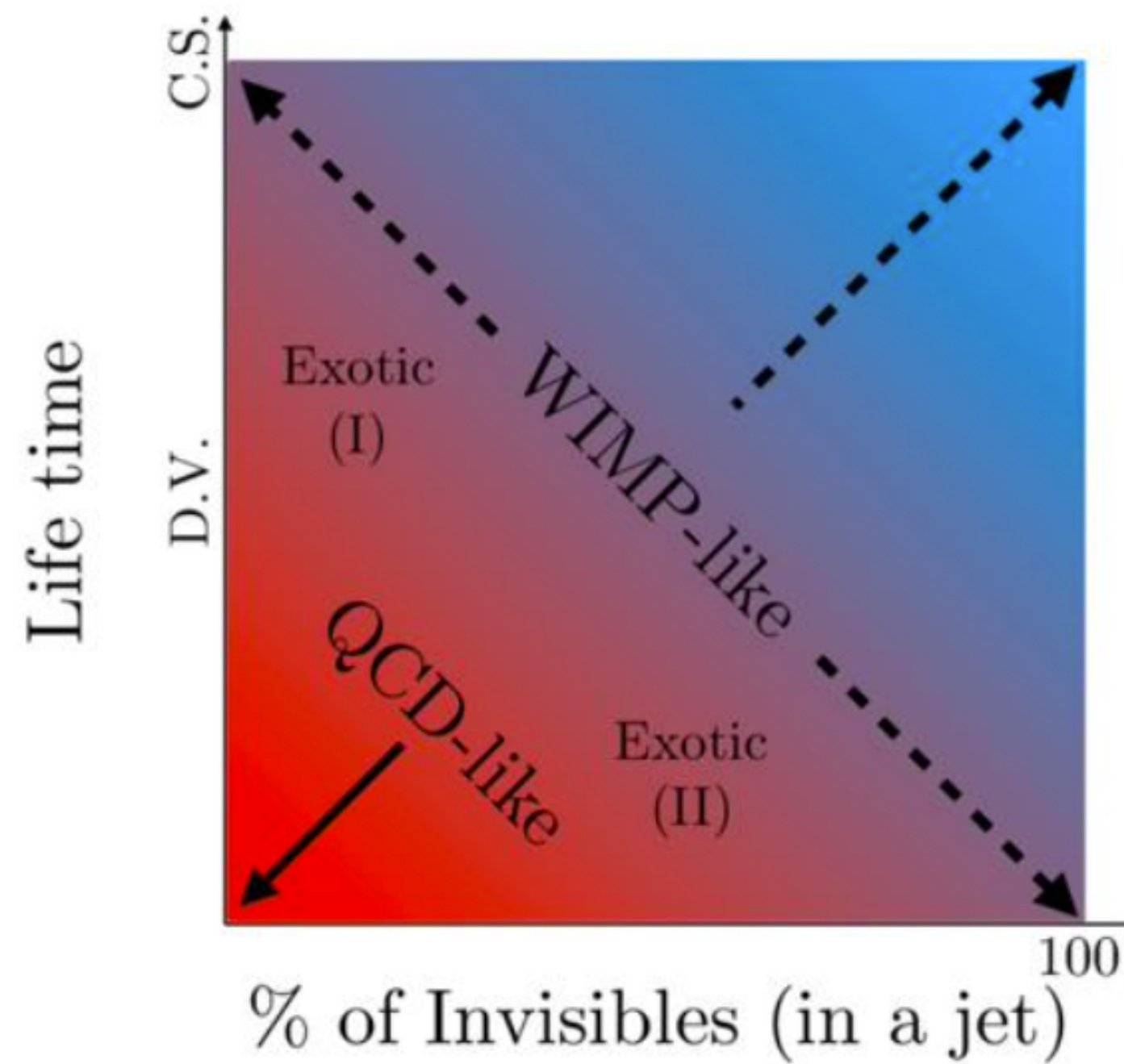


Analyse mono-jet : déjà faite!
 $r_{\text{inv}} = 1$

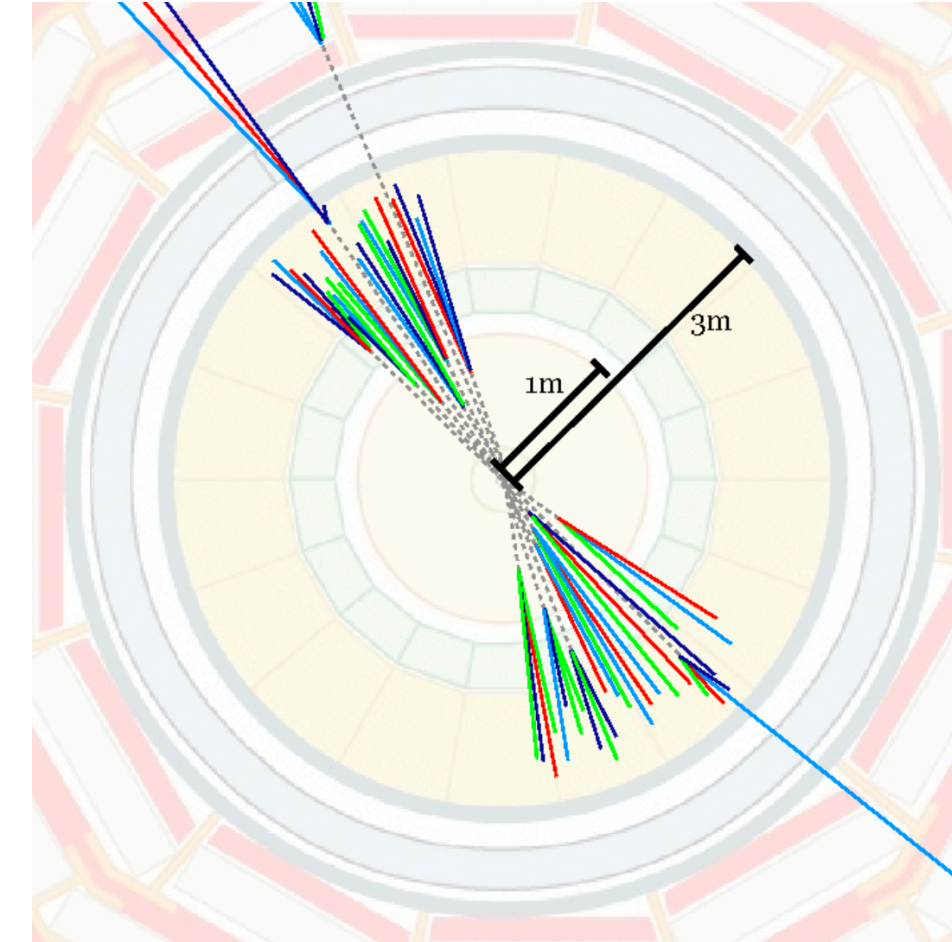


Fraction of invisible particles
in the jet

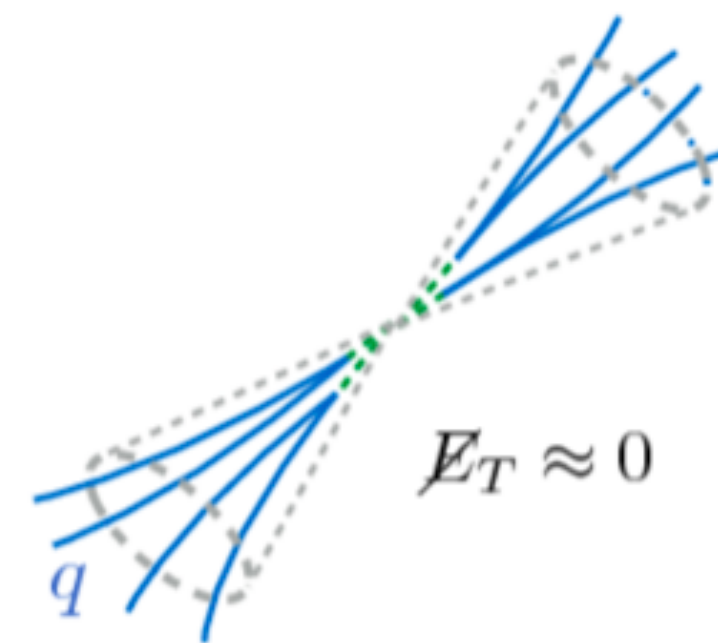
Signatures



Distance of the majority of the jet constituents from the interaction point



Jets émergeants



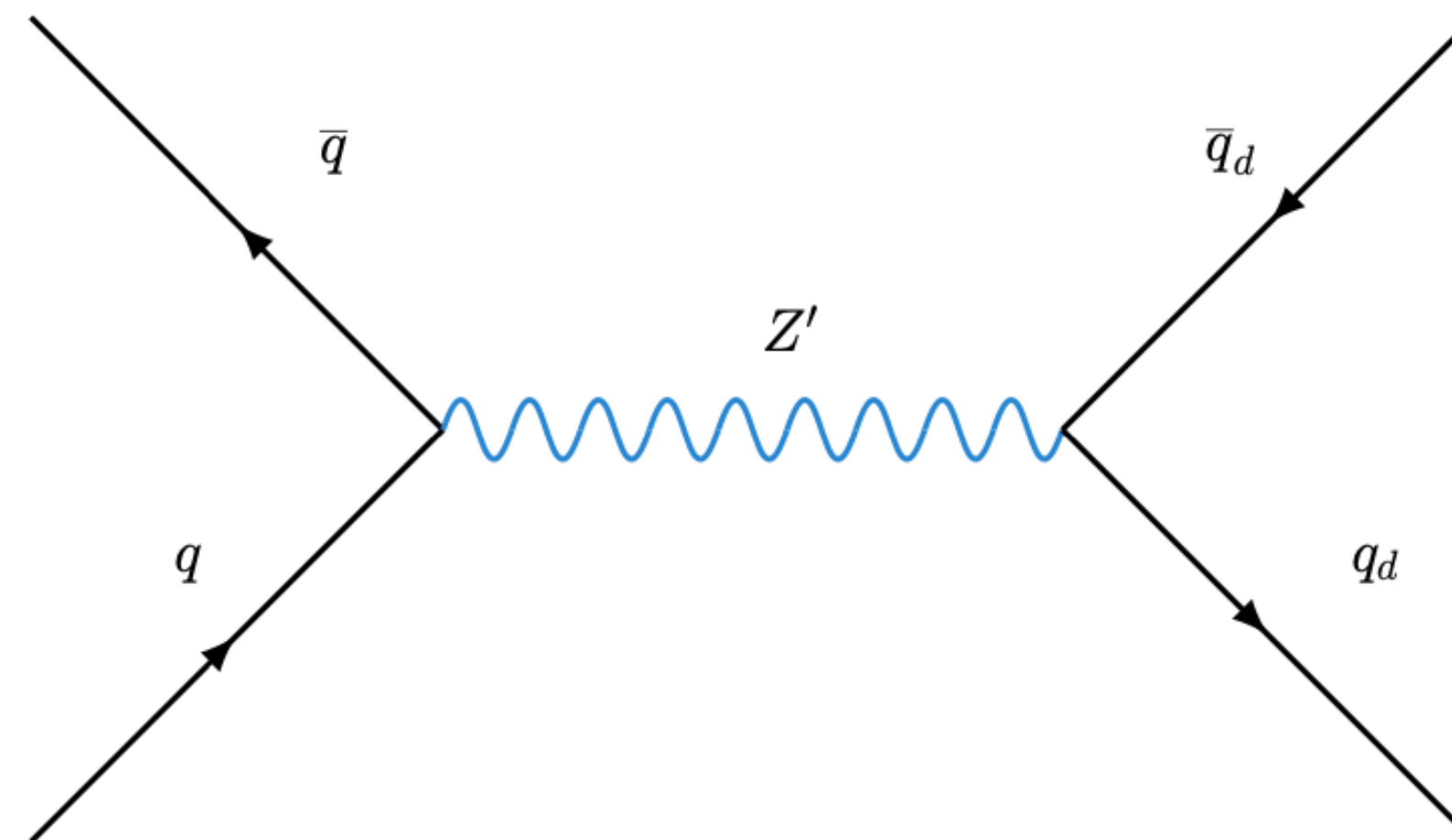
Dark jets prompts

Ces deux analyses sont celles sur lesquelles le groupe a travaillé / travaille actuellement

Jets prompts visibles (Run 2)

JHEP02 (2024) 128, <https://arxiv.org/abs/2311.03944>

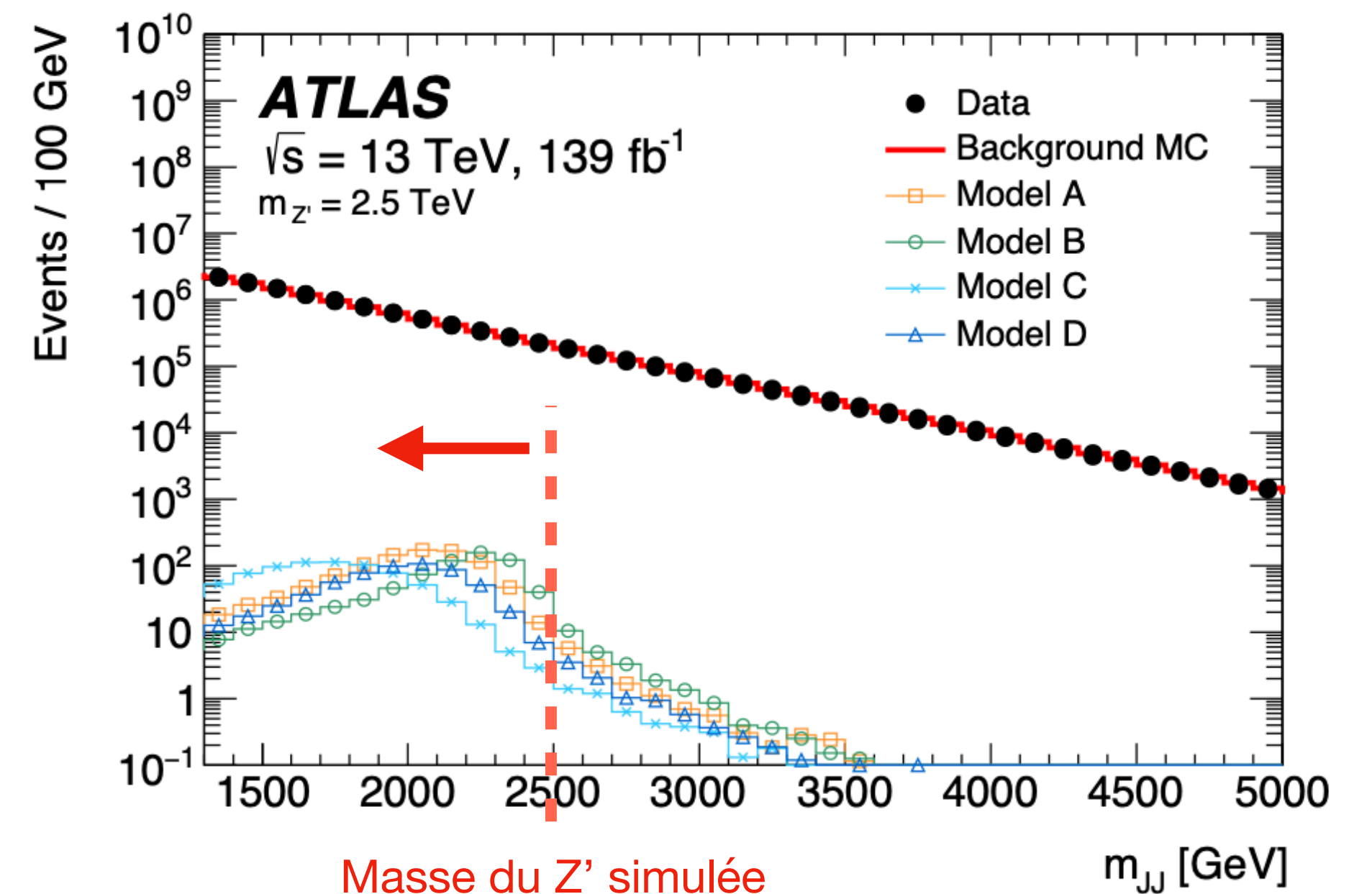
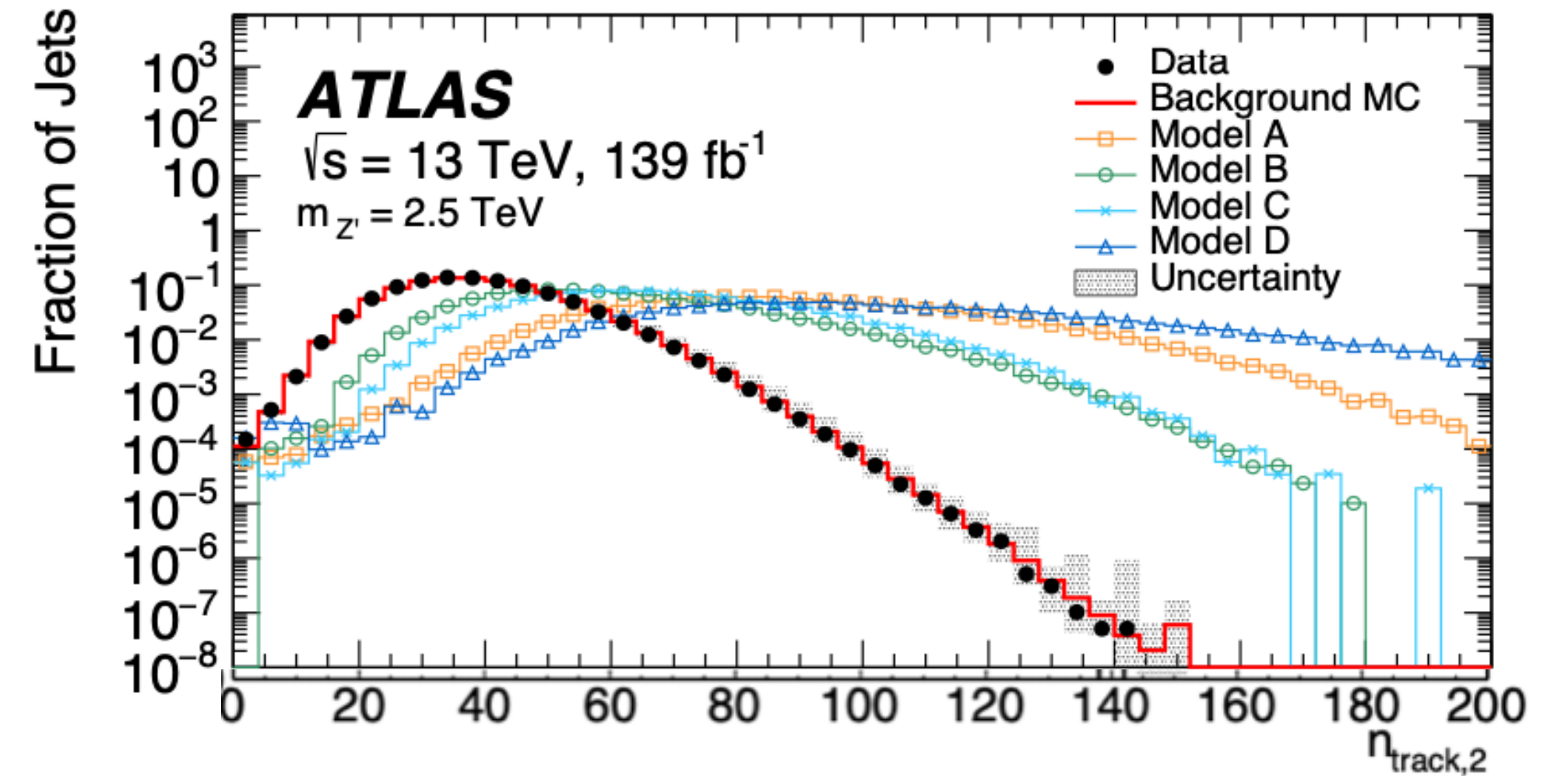
Thèse de Nathan Lalloué (2022)



Le médiateur Z' donne lieu à deux jets sombres complètement visibles

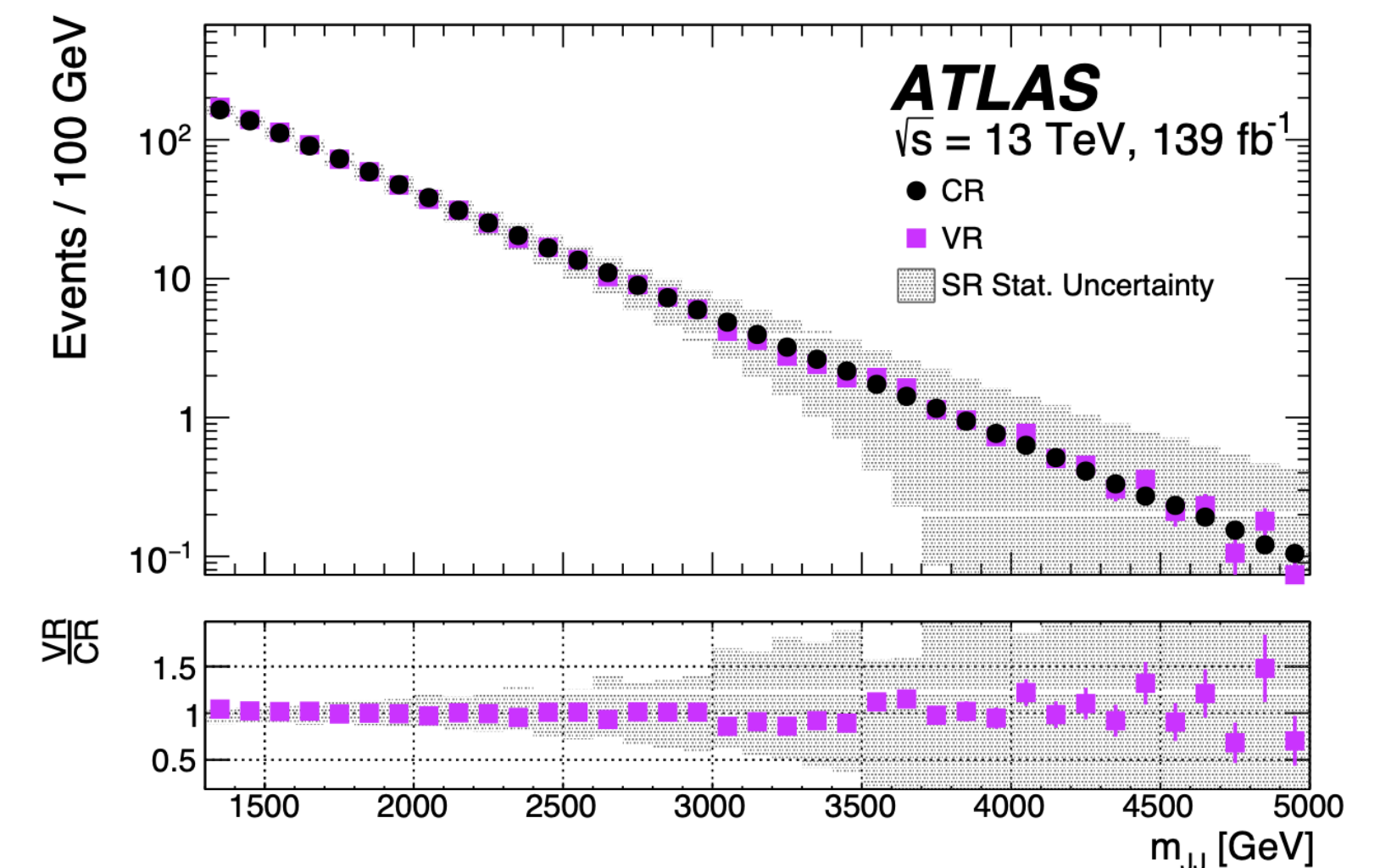
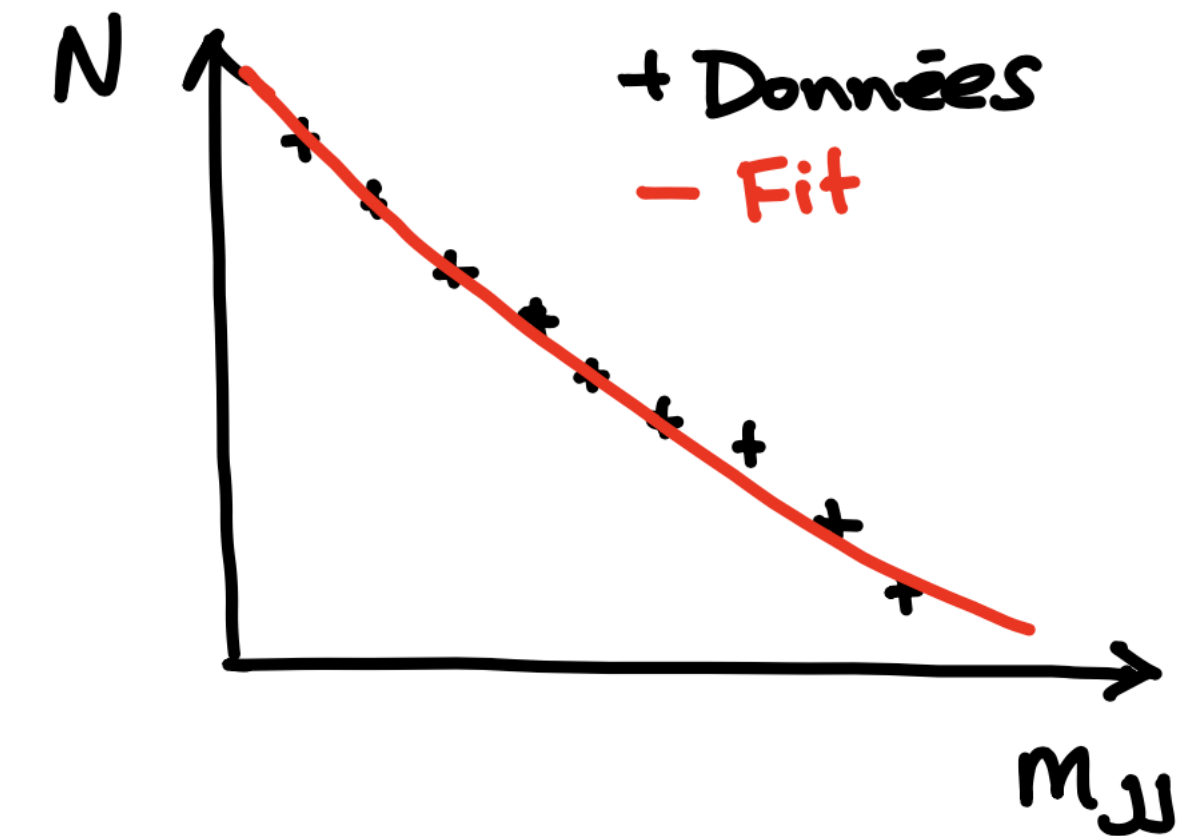
Des jets sombres particuliers

- Double hadronisation!
 - Des jets plus larges ($R=1.0$)
 - Beaucoup plus de traces associées
 - 2 jets larges et énergétiques avec beaucoup de traces demandés pour réduire le bruit de fond
- Mais:
 - Les procédures de soustraction du bruit d'empilement standards affectent la reconstruction
 - Perte d'énergie des jets sombres
 - Pic de résonance reconstruit large



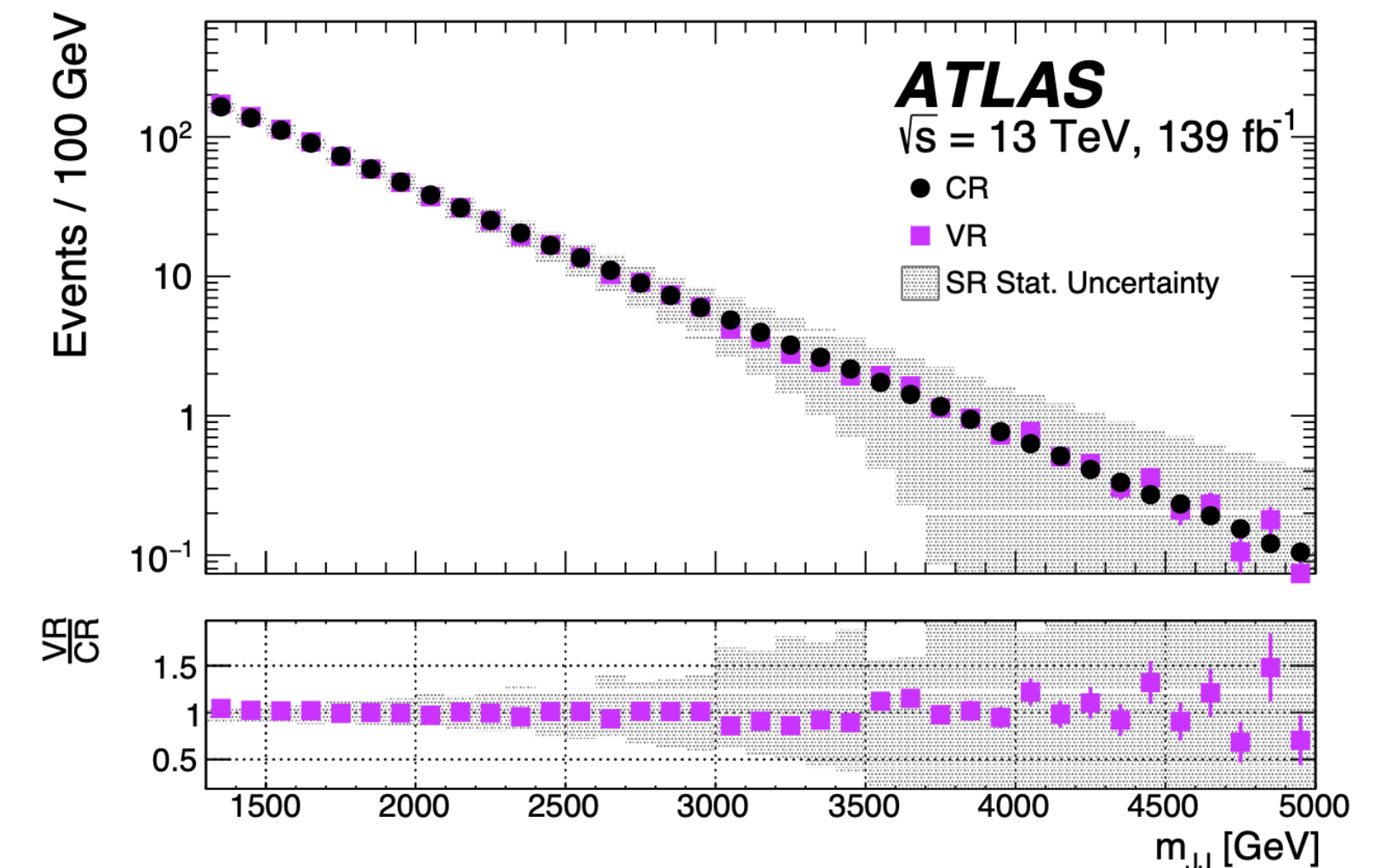
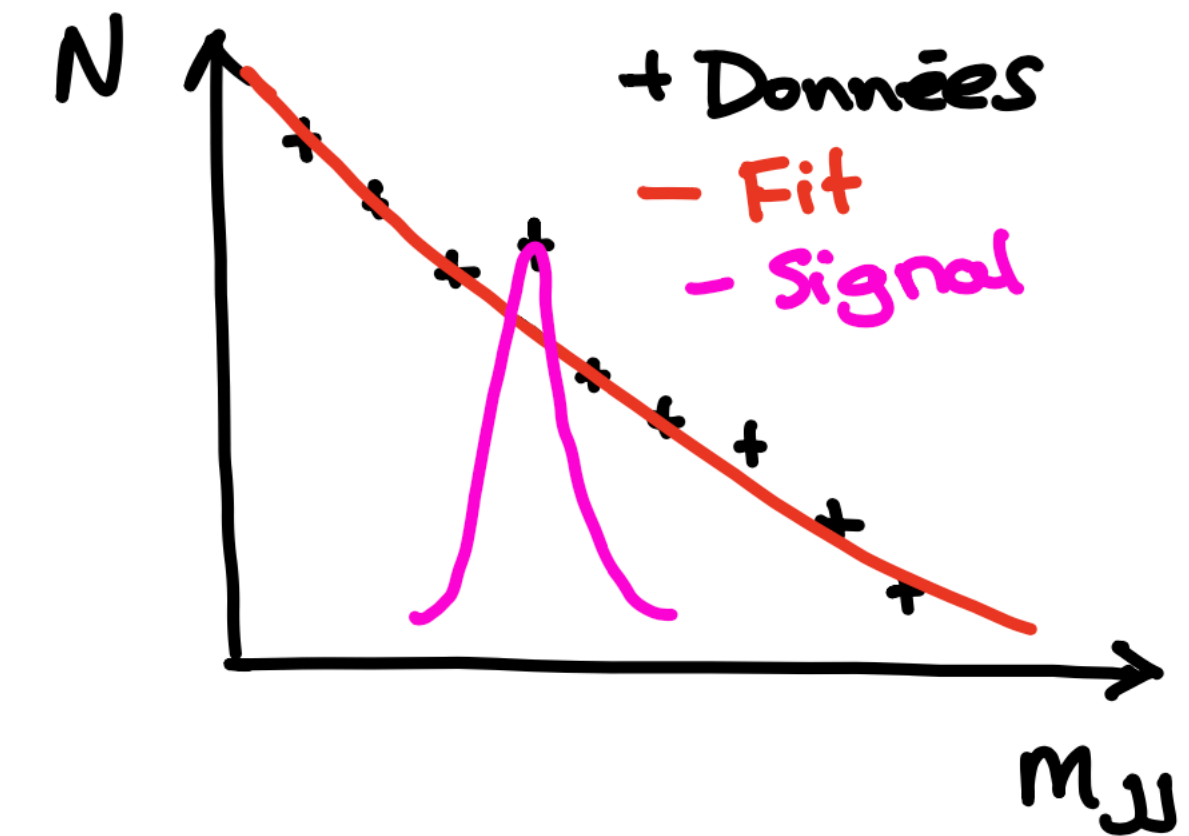
Évaluation du bruit de fond

- Les recherches de résonances di-jets 'standard' font un lissage d'une fonction décroissante sur le spectre $m(JJ)$ et cherche un excès au-dessus de cette estimation
- Pas possible ici: signal large absorbé par le lissage!
- Définition d'une région de contrôle dans laquelle la distribution $m(JJ)$ est extraite
 - Deux étapes: décorréler le nombre de traces requis de la variable $m(JJ)$
 - **Région de contrôle**: renverser la sélection sur le nombre de traces
 - Vérifié dans une **région de validation** où un seul jet a son nombre de traces requis inversé : bon accord!



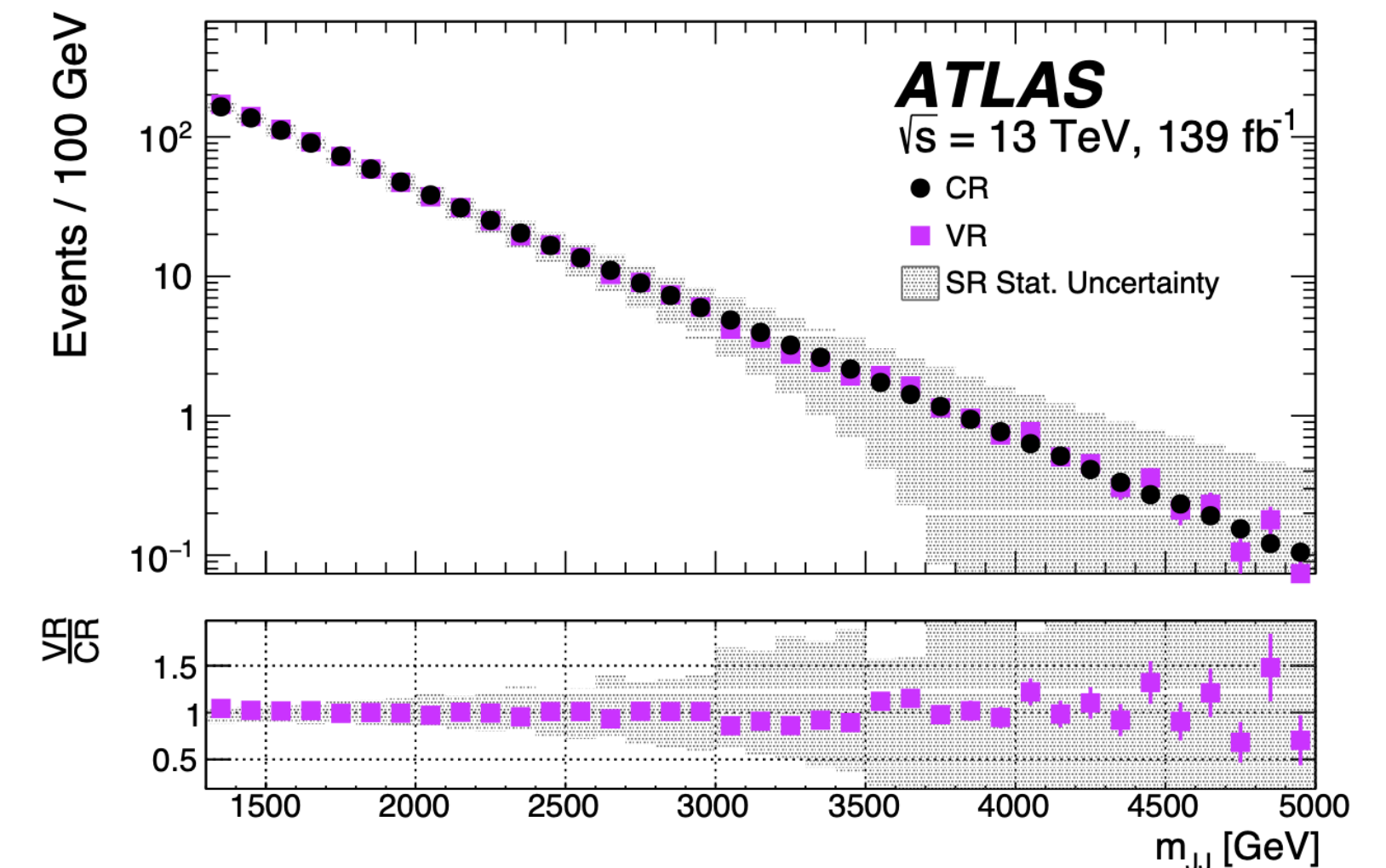
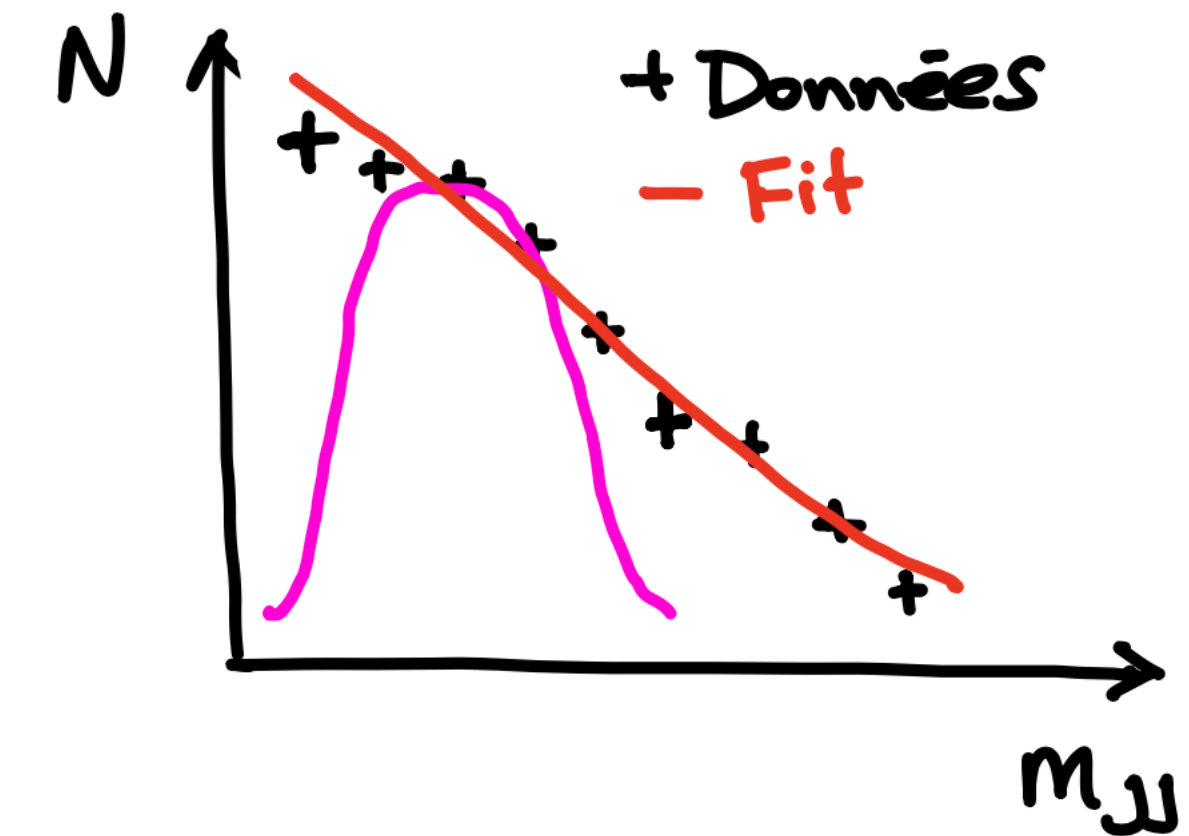
Évaluation du bruit de fond

- Les recherches de résonances di-jets 'standard' font un lissage d'une fonction décroissante sur le spectre $m(JJ)$ et cherche un excès au-dessus de cette estimation
- Pas possible ici: signal large absorbé par le lissage!
- Définition d'une région de contrôle dans laquelle la distribution $m(JJ)$ est extraite
 - Deux étapes: décorréler le nombre de traces requis de la variable $m(JJ)$
 - **Région de contrôle**: renverser la sélection sur le nombre de traces
 - Vérifié dans une **région de validation** où un seul jet a son nombre de traces requis inversé : bon accord!



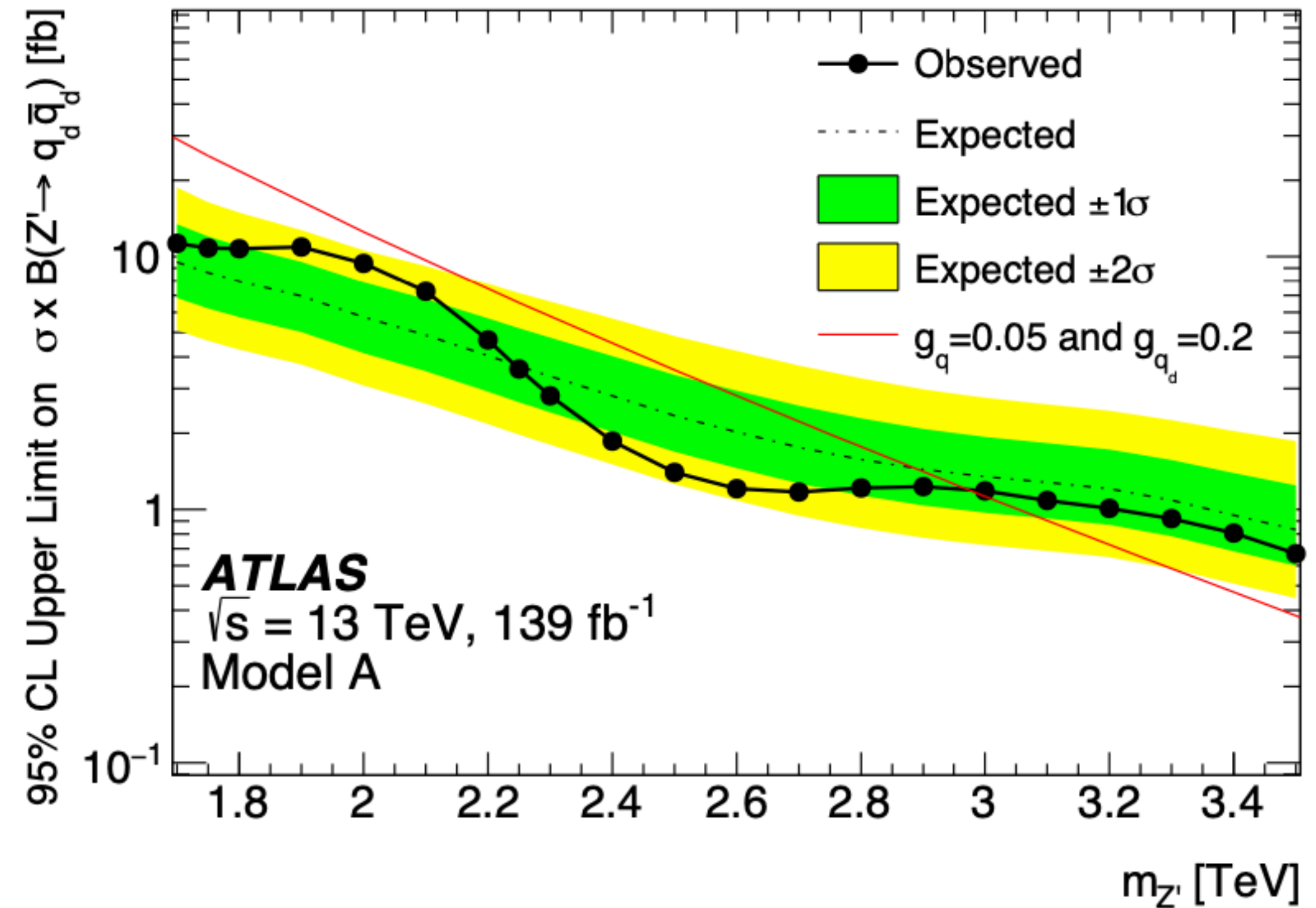
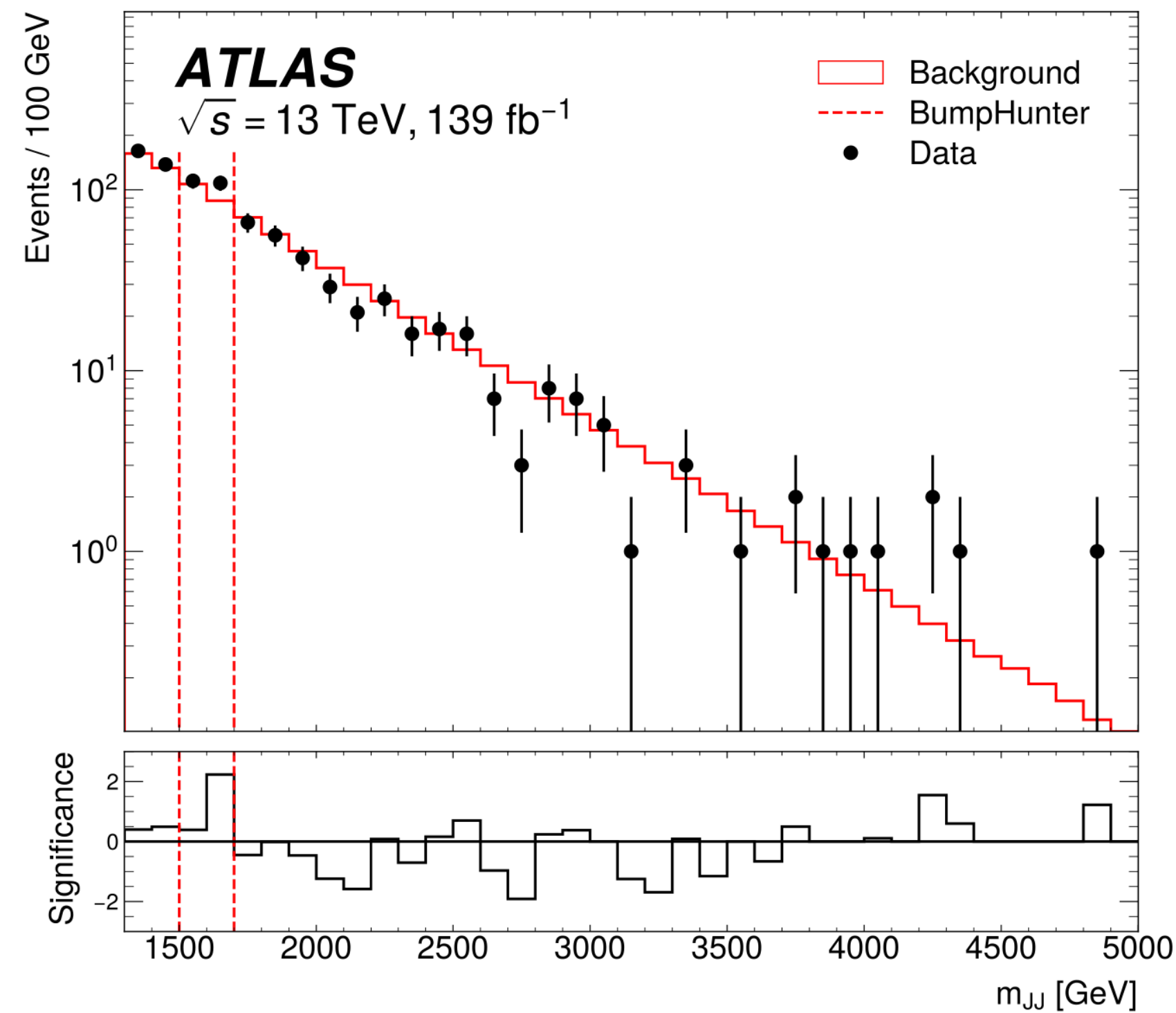
Évaluation du bruit de fond

- Les recherches de résonances di-jets 'standard' font un lissage d'une fonction décroissante sur le spectre $m(JJ)$ et cherche un excès au-dessus de cette estimation
- Pas possible ici: signal large absorbé par le lissage!
- Définition d'une région de contrôle dans laquelle la distribution $m(JJ)$ est extraite
 - Deux étapes: décorréler le nombre de traces requis de la variable $m(JJ)$
 - **Région de contrôle**: renverser la sélection sur le nombre de traces
 - Vérifié dans une **région de validation** où un seul jet a son nombre de traces requis inversé : bon accord!



Résultats

- Pas d'excès significatif observé!
- Premières limites dans ces modèles sur la section efficace de production



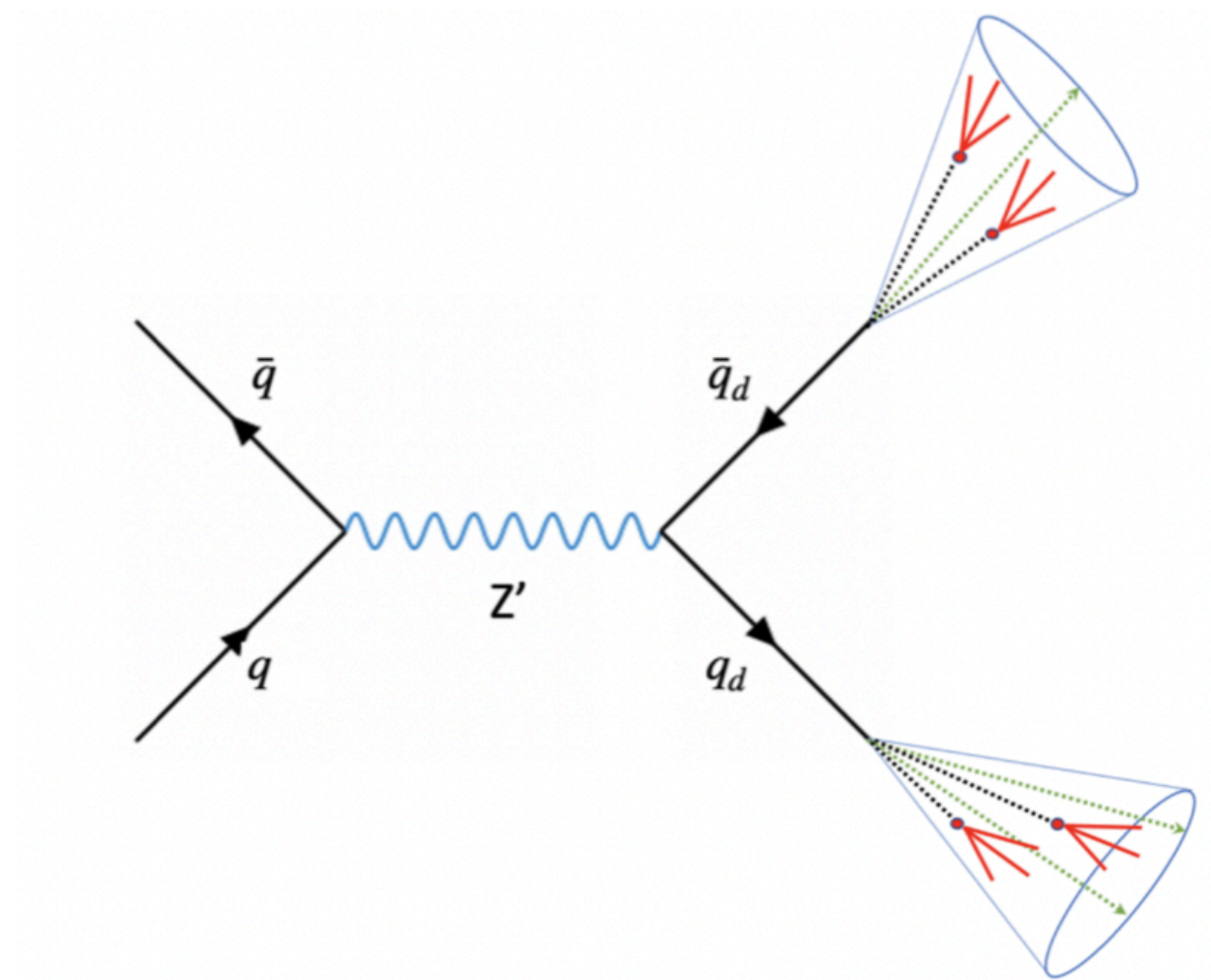
Jets émergents (Run 3)

En cours dans la collaboration

Thèse de Guillaume Albouy (2024)

Thèse de Thomas Wojtkowski (prévue 2025)

Postdocs: Ana Pereira Peixoto (2021-2023), Luka Selem (2023-2025)

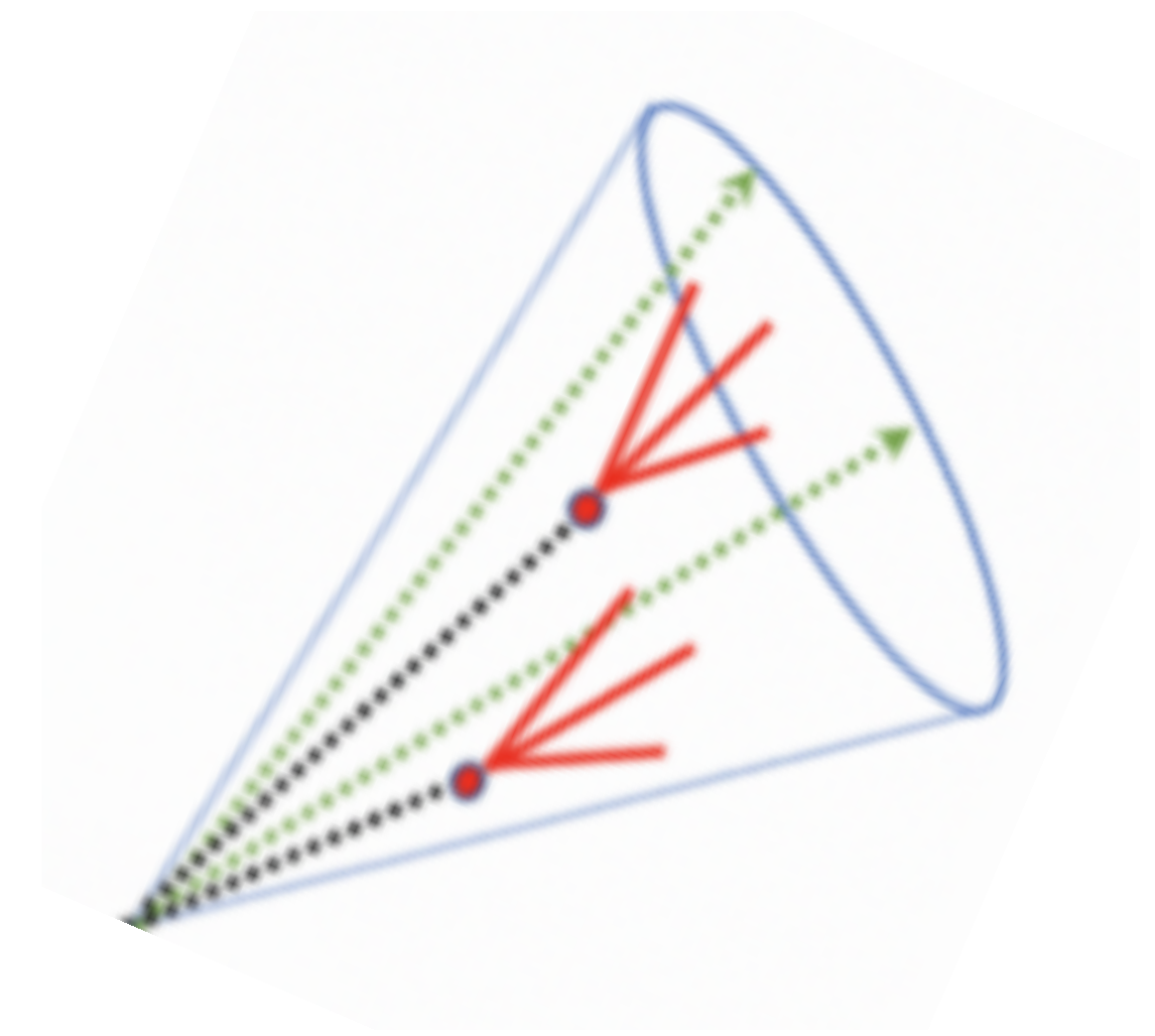


Médiateur Z' donnant deux jets émergents

Jets and PTF

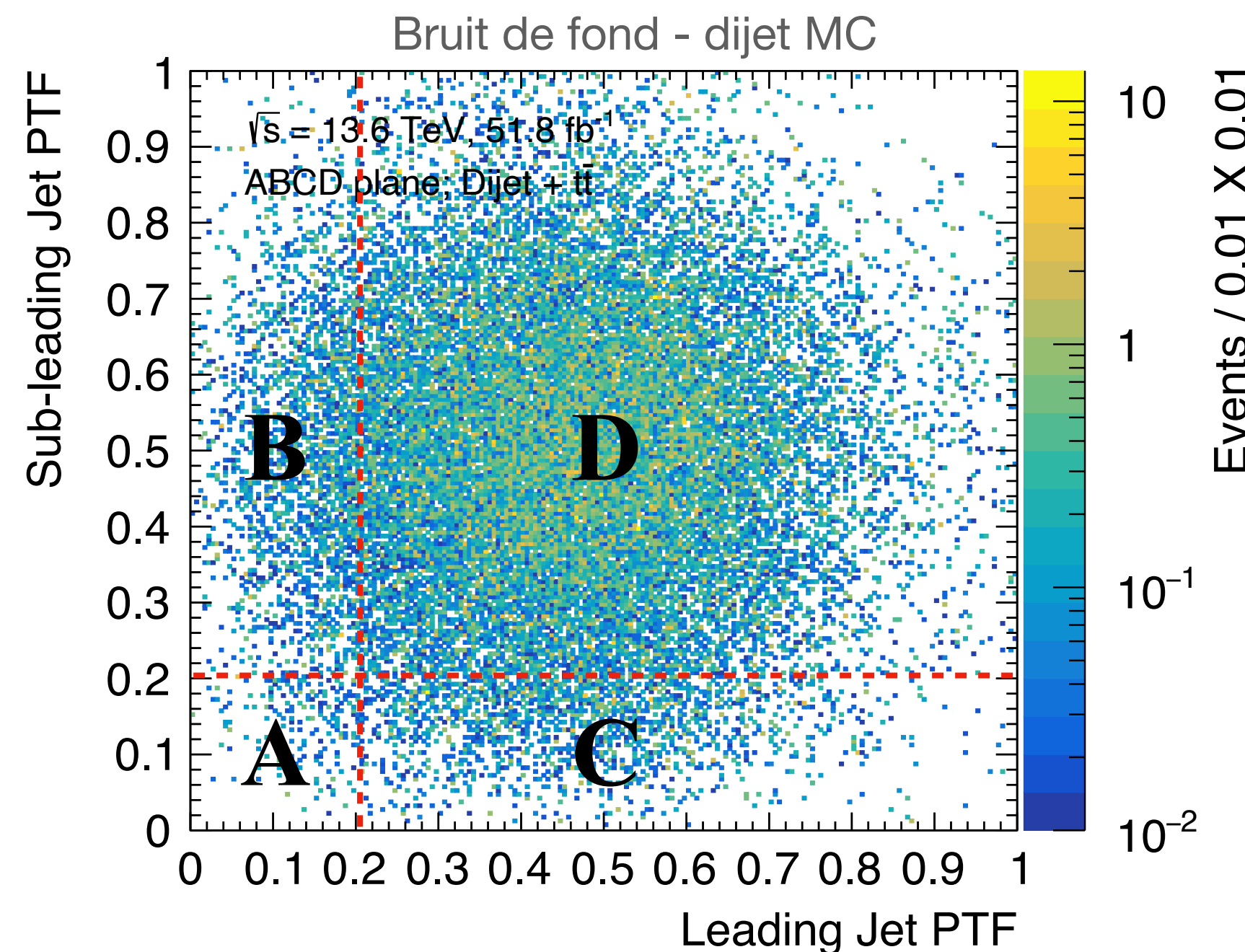
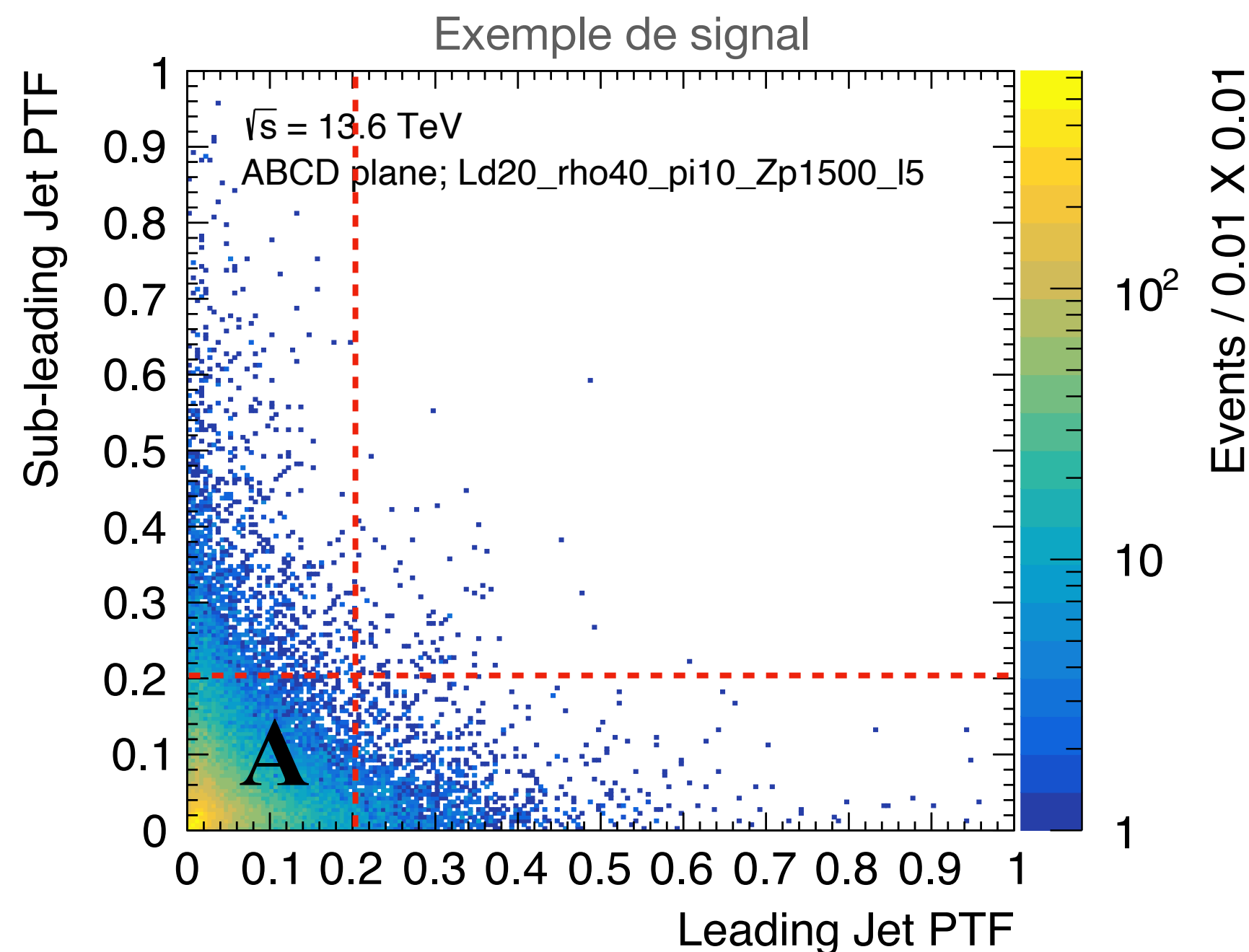
- À nouveau, des jets larges:
 - Nouvelle collection de jets pour éviter les problèmes liés à la soustraction de l'empilement
 - Seulement basés sur des constituants calorimétriques, car les **traces attendues** sont non-standard (commencent à grand rayon dans le trajectographe!)
- Une variable très discriminante:

$$PTF = \frac{\sum_{\text{trk}(J) \in d_0/\sigma_{d_0} < 2.5} p_T^{\text{trk}(J)}}{p_T^J}$$



Estimation du bruit de fond

- Très peu de bruit de fond après les sélections:
 - pas de recherche de résonance: seulement un *cut and count*
- Estimation du bruit de fond à partir des données elles-mêmes: méthode « ABCD »
- La thèse de Guillaume montre que cela fonctionne bien:



$$N_{\text{bkg,estimated}}^A = \frac{N_{\text{bkg}}^C}{N_{\text{bkg}}^D} N_{\text{bkg}}^B$$

$$N_{\text{bkg,estimated}}^A = 29.0 \pm 2.1$$

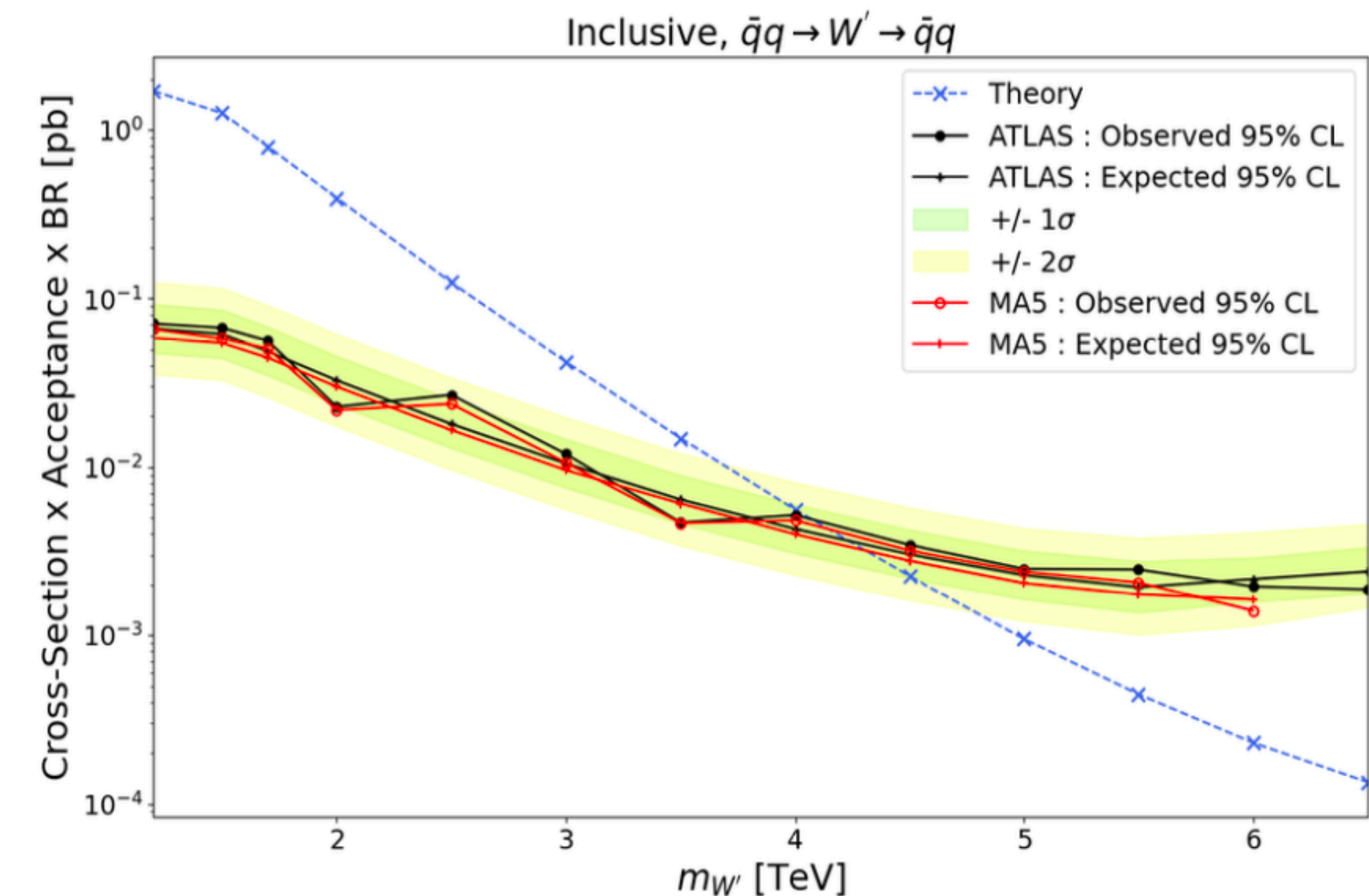
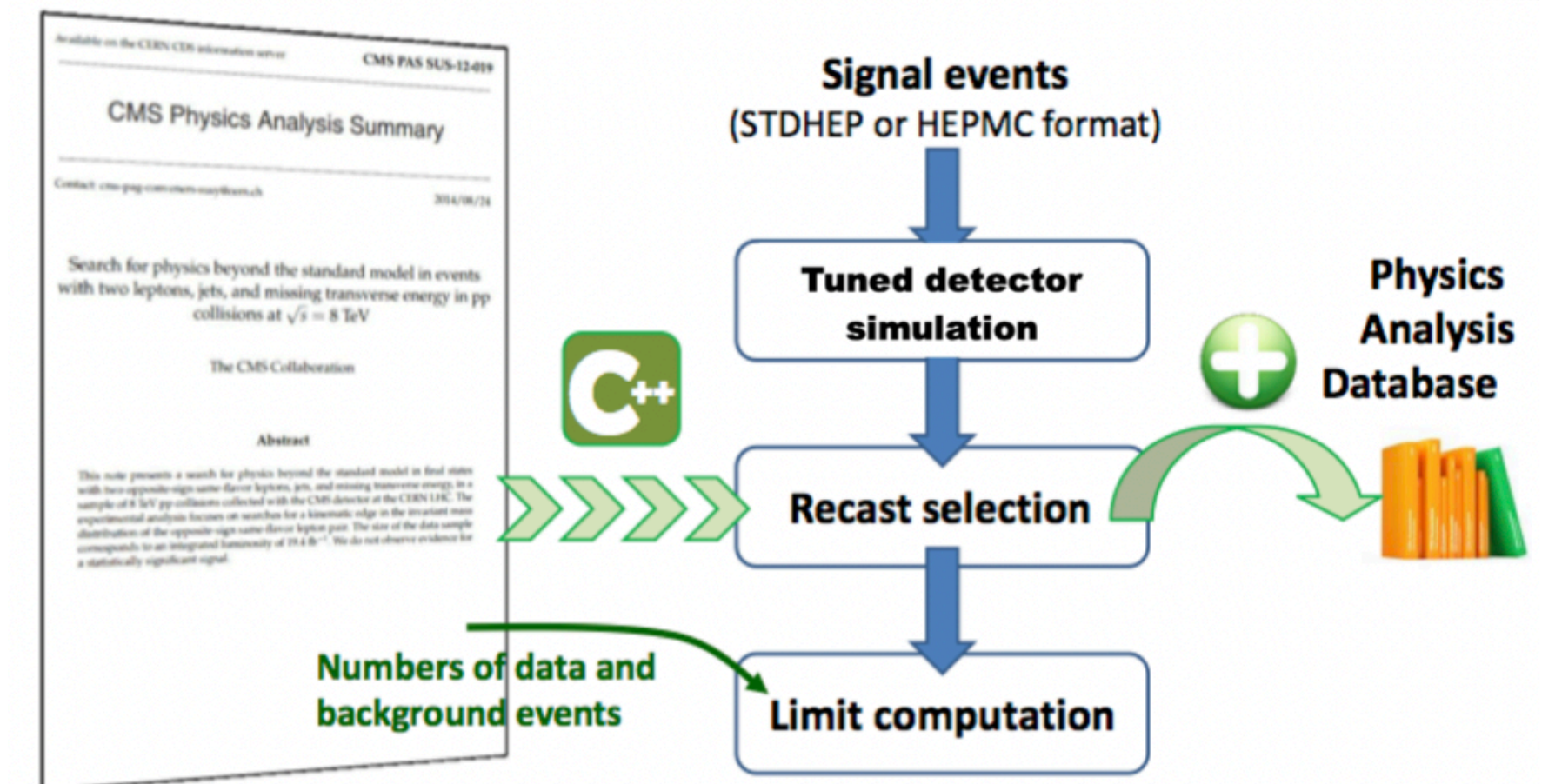
$$N_{\text{bkg}}^A = 27.2 \pm 5.2$$

À suivre...

Ré-interprétation

Thèse de Thomas Wojtkowski (prévue 2025)

- Avec des théoriciens du LPTHE (ANR [DMwithLLPatLHC](#) 2022-2026) et de KIT
- Préparation d'un papier explorant la couverture des paramètres de la QCD sombre par les analyses existantes
- Première étape: préparer les outils de réinterprétation (reproduction des analyses hors ATLAS)
- Trois analyses déjà mises en place par Thomas dans MadAnalysis:
 - T. Wojtkowski, Implementation of a search for new dijet resonances (139 fb-1; ATLAS-EXOT-2019-03), version V1, 2023, <https://doi.org/10.14428/DVN/KHJ1MW>
 - T. Wojtkowski and S. Sinha, Implementation of a search for semi-visible jet production (139/fb; ATLAS-EXOT-2022-37), version V1, 2024, <https://doi.org/10.14428/DVN/AFYF5Y>
 - T. Wojtkowski, Implementation of a search for dark jet resonances (139 fb-1; ATLAS-HDBS-2018-45), en préparation



À suivre...

Conclusions et perspectives

- L'analyse cherchant des jets sombres prompts et visibles a été publiée
- Le groupe se concentre désormais à:
 - la recherche de jets émergents au Run III
 - la ré-interprétation des analyses existantes de QCD sombre pour comprendre s'il y a des espaces de paramètres moins bien couverts
- La bonne connaissance des jets, l'intérêt dans les techniques de machine learning mènent à poursuivre ces recherches, se développant vers la recherche d'anomalies dans les données (jets, traces,...)
 - La réinterprétation de ces recherches est un défi par contre - intérêt à poursuivre également cette voie