

Comité de Suivi Individuel

1ere année

Léo Boudet

Directrice de thèse : Lucia DI CIACCIO
CSI : Corinne GOY (LPSC), Diego GUADAGNOLI (LAPTh)

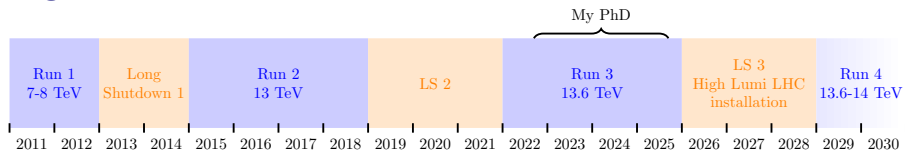
27 octobre 2023



Recherche de nouvelle physique avec les théories de champs effectives dans la production de dibosons WZ avec ATLAS

- 1 **Qualification comme auteur ATLAS** : efficacité d'identification et scalefactors des électrons à bas p_T dans ATLAS
- 2 **Analyse** : Recherche de violation de CP avec la Standard Model EFT
- 3 **Conclusion et suite**

Programme du LHC



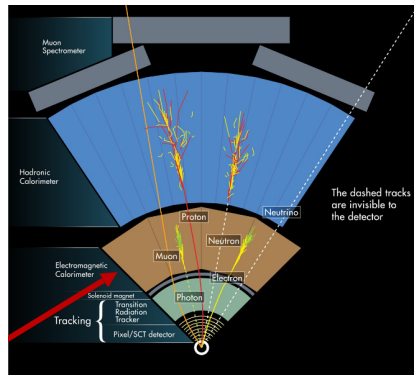
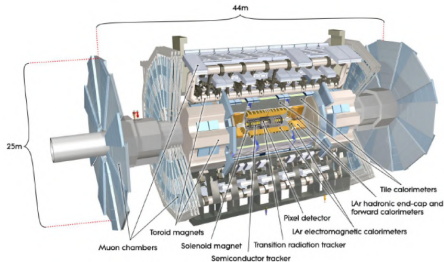
Électrons à bas p_T au LHC

Présence d'électrons isolés dans les états finaux de divers processus :

- $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$
- Processus di-Higgs e.g. $HH \rightarrow \gamma\gamma b\bar{b}$

Incertitude sur l'efficacité d'identification parmi les plus importantes incertitudes systématiques.

Efficacité de détection des électrons



L'efficacité de détection des électrons peut se factoriser comme :

$$\varepsilon = \varepsilon_{trigger} \times \varepsilon_{cluster} \times \varepsilon_{reco} \times \varepsilon_{ID} \times \varepsilon_{iso} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{ID} = \frac{N_{ID}^{e-}}{N_{reco}^{e-}} \quad \text{pour 24 bins de } (p_T, |\eta|) \text{ et pour chaque année} \quad (2)$$

→ Critères d'identification basé sur les distributions attendues de plusieurs variables discriminantes (e.g. forme de la gerbe EM, association de la trace,...)

Procédure : utilisation de scalefactors

Efficacité mesurée séparément pour :

- données
- les simulations Monte-Carlo

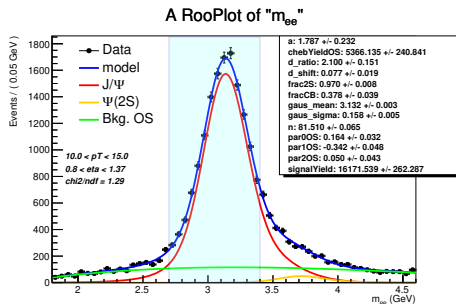
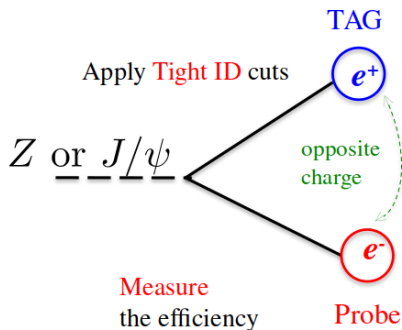
$$\rightarrow \text{scalefactor SF} = \varepsilon_{ID}^{data} / \varepsilon_{ID}^{MC}$$

Correction MC en appliquant ce SF "data-driven" pour améliorer la prédiction, comparaison des quantités mesurées à la théorie.

La méthode Tag and Probe

Comment avoir des candidats e^- reco dont on sait qu'ils sont bien des électrons sans appliquer de cut ID ?

Utiliser les désintégrations en paire électron-positron, signal region autour de la résonance en m_{ee} .



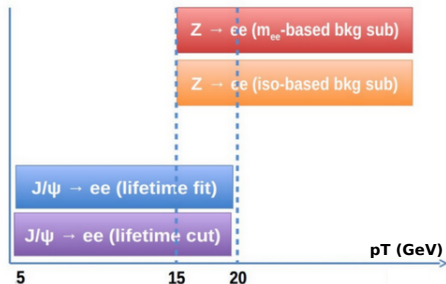
Extraction $N_{ID}^{e^-}$ et $N_{reco}^{e^-}$

La méthode Tag and Probe

Selon le p_T des électrons différentes résonances et méthodes.

Défis à bas p_T :

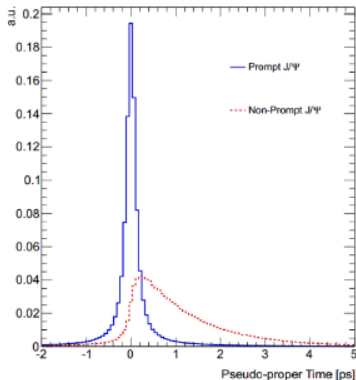
- background QCD complexe
- présence de J/ψ non-prompts



Nécessité de recalculer les ε et SF à chaque amélioration du programme de reconstruction d'ATLAS : **nouveau "release"**.

- release 21 $\rightarrow$ release 22
- À $p_T < 15$ GeV, ε_{ID} et SF sont encore ceux calculés avec rel 21, sous-optimaux
- **OBJECTIF** : Réécrire le programme de calcul pour le Run 3 (2022 à 2025), recalculer ε_{ID} et SF pour Run 2 rel22 et fournir pour Run 3 rel22

Tag and Probe à bas p_T



Deux types de J/ψ :

- Prompt : donne e- avec comportement similaire aux e- d'intérêt
- Non-Prompt : trace déplacée, comportement différent

$$\tau = \frac{L_{xy} m_{J/\psi}}{p_T} \quad (3)$$

Cut sur τ pour enrichir l'échantillon en prompt

$$\varepsilon_{ID} = (1 - f_{NP})\varepsilon_{ID}^P + f_{NP}\varepsilon_{ID}^{NP} \quad (4)$$

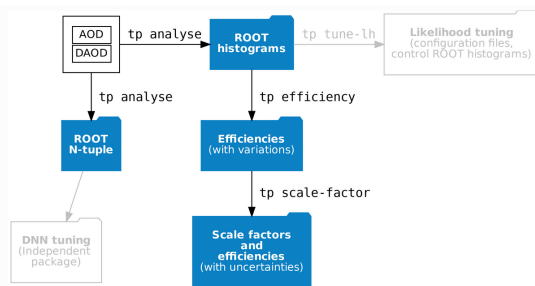
→ Ma qualification porte sur les e- à $p_T \in [4.5-20]$ GeV par la méthode τ -cut

Ma qualification

Le code général T&P (framework), à utiliser par **toutes** les analyses ATLAS, est en réécriture.

Objectif : Fournir SF fiables pour Run 2/3

New !



tp analyse

- Sélection évènements
- Output : histogrammes

tp efficiency

Réimplémentation de la méthode τ -cut :

- Modèle de fit sur m_{ee}
- Combinaison des MC prompt et non-prompt
- Calcul efficacités + incertitudes

Améliorations apportées par le nouveau framework

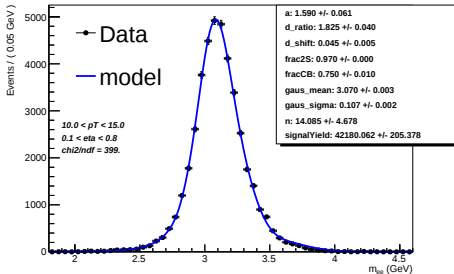
- Structure uniformisée et cohérente pour différentes méthodes Tag&Probe
- Meilleure lisibilité et subdivision du code
- Se défaire des valeurs hard-codées
- Reproductibilité des résultats
- Procédure de fit plus stable que la précédente (notamment données)
- **Perspective** : Meilleure sélection des électrons dans le cas où plusieurs paires T&P possibles

Ma contribution

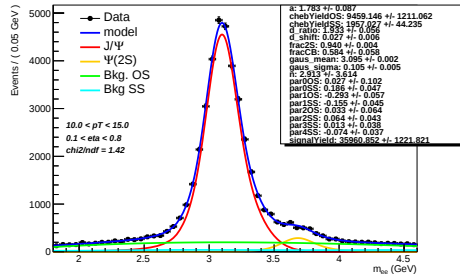
tp efficiency : ✓ opérationnel depuis le mois de mars

- Programmé pour récupérer les histogrammes nécessaires d'un fichier .root
- Performe les fits sur les distributions m_{ee} pour les données et MC avec succès
- Combine les Monte-Carlo P et NP avec les f_{NP} en input ¹

A RooPlot of " m_{ee} "



A RooPlot of " m_{ee} "

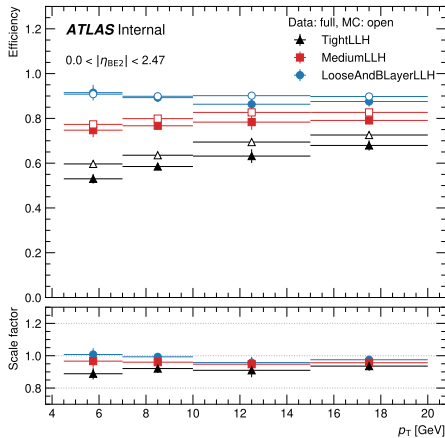
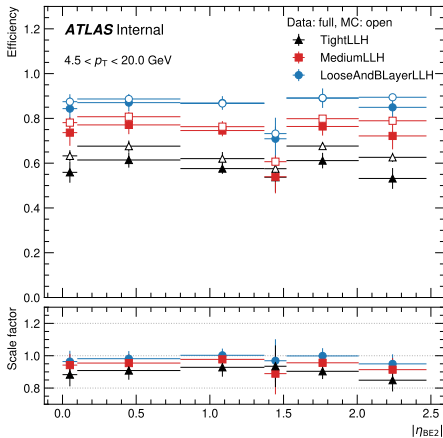


1. arXiv:1104.3038v2

Ma contribution

tp efficiency : ✓ opérationnel depuis Mars

Efficacités et SF rel 22 calculés pour différents likelihood WP plus ou moins stricts.



ϵ_{ID} et SF pour 2018

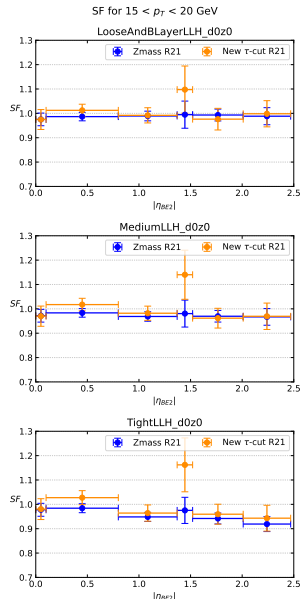
Ma contribution

tp analyse : sélection e- reco

Désaccord des SFs calculés
précédemment à $p_T < 10$ GeV
(jusqu'à 10 %)

Vérification très chronophage de
la procédure n'a pas amélioré
l'accord (peu de documentation)

Excellent accord avec T&P Z-mass
(indépendante)



What plans after ending the qualification?

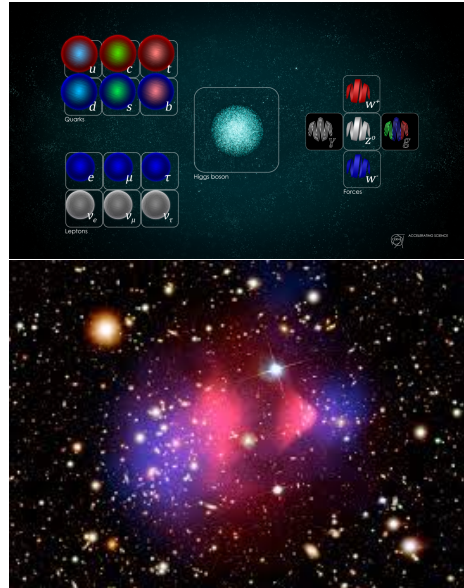


(En fait si, nous avons un plan ...)

II - Analyse

Recherche directe de résonances infructueuse depuis le Higgs en 2012 → nouvelles résonances au-delà de l'énergie disponible au LHC.

Nécessité de recherche **indirecte** de nouvelle physique !



Standard Model Effective Field Theory (SMEFT)

Le SM est une théorie effective à basse énergie d'un modèle plus complet : les champs contenus dans le SM sont les degrés de liberté pertinents aux énergies accessibles.

Soit Λ l'échelle d'énergie de la nouvelle physique :

$$m_i \ll \sqrt{s} \ll \Lambda \quad \text{pour } i \in \text{SM} \quad (5)$$

Le Lagrangien de la SMEFT s'écrit en ajoutant des opérateurs de dimension supérieure :

$$\mathcal{L}_{SMEFT} = \mathcal{L}_{SM} + \sum_{d>4} \sum_i \frac{c_{d,i}}{\Lambda^{d-4}} \mathcal{O}_{d,i} \quad (6)$$

où les $\mathcal{O}_{d,i}$ sont **composés des champs SM seuls**, $c_{d,i}$ sont les **coefficients de Wilson**.

Violation de CP avec la SMEFT

Recherche de violation CP à travers les **couplages de jauge triples anormaux (aTGC)** dans le vertex WWZ.

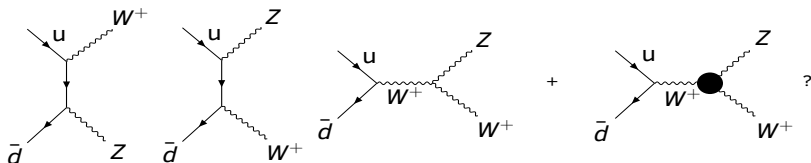


Figure – Exemple de diagrammes de Feynman LO pour la production inclusive W^+Z avec possible aTGC

Les opérateurs de dim 6 pouvant indépendants contribuer sont ¹ :

$$\mathcal{O}_{\phi\tilde{W}B} = \phi^\dagger \sigma^I \phi \tilde{W}^{I,\mu\nu} B_{\mu\nu} \quad \mathcal{O}_{\tilde{W}WW} = \varepsilon_{IJK} \tilde{W}_\nu^{I,\mu} W_\rho^{J,\nu} W_\mu^{K,\rho} \quad (7)$$

1. arXiv :2110.02993v1

Observables CP-odd pour $pp \rightarrow WZ \rightarrow e\nu_e\mu\mu$

Triple produit $p_{\perp}(\vec{p}_1, \vec{p}_2, \vec{p}_3) = \vec{p}_1 \frac{\vec{p}_2 \times \vec{p}_3}{|\vec{p}_2 \times \vec{p}_3|}$

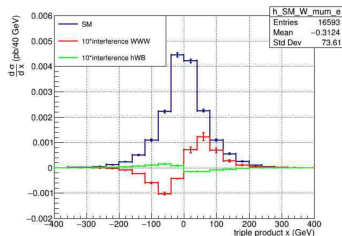
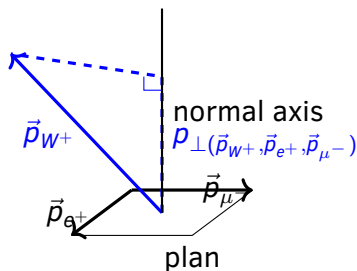


Figure – Simulation MC des contributions à la section efficace différentielle (MadGraph + SMEFTsim interfacé avec Pythia). Ici $c_i/\Lambda^2 = 1 \text{ TeV}^{-2}$.

→ **Distributions et asymétries**

$$A_x = \frac{\sigma(x > 0) - \sigma(x < 0)}{\sigma} \quad \text{ou} \quad \Delta_x = \sigma(x > 0) - \sigma(x < 0) \quad (8)$$

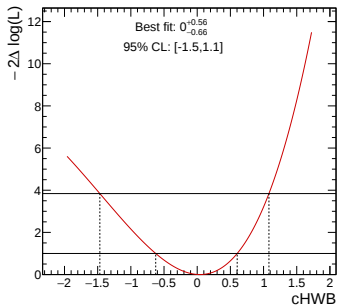
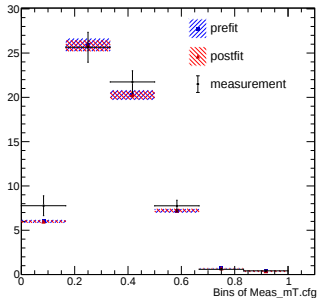
1. arXiv :2110.02993v1

Maximum likelihood fit avec `eft-fun`

`eft-fun` permet de fitter les distributions MC aux sur les données :

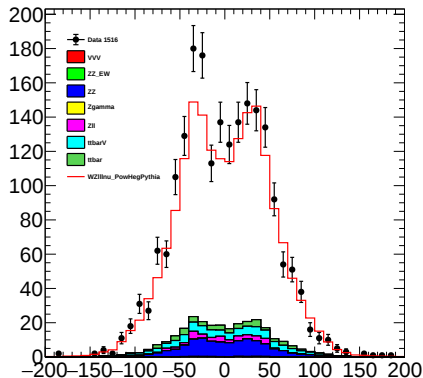
Input : Distributions MC pour SM seul et SMEFT + données ATLAS

Output : Fit, scan des coefficients de Wilson, test statistiques



En cours : utiliser les variables CP impaires précédentes pour contraindre les c_i/Λ^2

Observables MC/data comparison



$p_{\perp}(W, \mu^{-}, \mu)$ en GeV

canal $W + Z \rightarrow \mu\nu + \mu^{-}\mu^{+}$

Définir le binning des variables pour unfolding (corrections effets détecteur)

Comparaison des 4 canaux, possible fusion pour réduire les incertitudes statistiques :

- $W + Z \rightarrow e\nu + ee$
- $W + Z \rightarrow \mu\nu + ee$
- $W + Z \rightarrow e\nu + \mu\mu$
- $W + Z \rightarrow \mu\nu + \mu\mu$

Conclusion et suite

- **Qualification** : Fin en novembre 2023, documentation en cours d'écriture



ATLAS Note
EGAM-2023-10
23rd October 2023



Electron identification scalefactors at low p_T with the J/ψ τ -cut method

Léo Boudet^a

^aLaboratoire d'Annecy de Physique des Particules

In this note is explained how the J/ψ τ -cut method has been reimplemented in the new TagAndProbe software. We present identification efficiencies and scalefactors results within the range $4.5 < p_T < 20$ GeV for Run 2 and early Run 3 in Release 22.



- **Opérations** : 24 + 160 heures de shift en salle de contrôle ATLAS pendant les collisions proton-proton entre fin avril et début juillet, supervision des calorimètres et détecteurs Forward
- **Analyse** : Ajout d'observables dans le framework d'analyse, contribution à la prochaine publication diboson

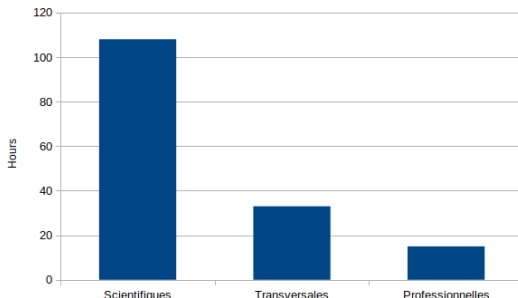
Écoles d'été :

- ❶ **Methods of Effective Field Theory and Lattice Field Theory**, Bad Honnef (Allemagne), 9-21 juillet (poster présenté!)
- ❷ **European School of High Energy Physics**, Grenaa (Danemark), 6-19 septembre



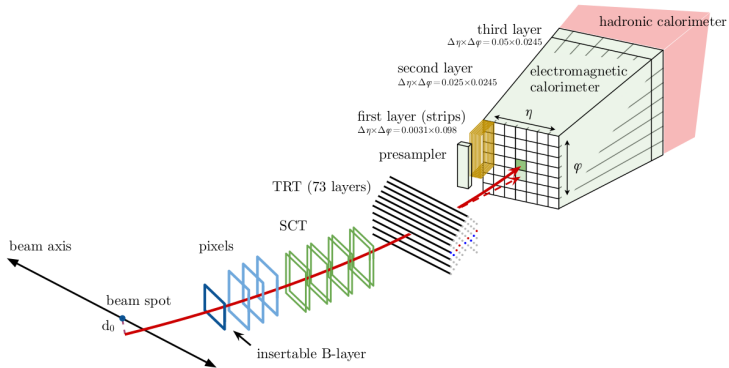
Formations

✓ 156/120 Heures à effectuer



Merci pour votre attention !

Parcours d'un électron



- presampler : estimer perte d'énergie avant le calorimètre EM
- layer 1 : fine granularité, différencier e^-e^+ des π^0 ou γ convertis
- layer 2 : plus large, mesure dépôt d'énergie
- layer 3 : estimer la fuite vers le calorimètre hadronique

Choix de mésons et f_{NP}

$J/\psi(1S)$ DECAY MODES

	Mode	Fraction (Γ_i/Γ)	Scale factor/ Confidence level
Γ_1	hadrons	$(87.7 \pm 0.5) \%$	
Γ_2	virtual $\gamma \rightarrow$ hadrons	$(13.50 \pm 0.30) \%$	
Γ_3	ggg	$(64.1 \pm 1.0) \%$	
Γ_4	γgg	$(8.8 \pm 1.1) \%$	
Γ_5	e^+e^-	$(5.971 \pm 0.032) \%$	
Γ_6	$e^+e^- \gamma$	[a] $(8.8 \pm 1.4) \times 10^{-3}$	
Γ_7	$\mu^+ \mu^-$	$(5.961 \pm 0.033) \%$	

$\tau(1S)$ DECAY MODES

	Mode	Fraction (Γ_i/Γ)	Confidence level
Γ_1	$\tau^+ \tau^-$	$(2.60 \pm 0.10) \%$	
Γ_2	$e^+ e^-$	$(2.38 \pm 0.11) \%$	
Γ_3	$\mu^+ \mu^-$	$(2.48 \pm 0.05) \%$	

Hadronic decays

Γ_4	$\eta'(958)$ anything	$(2.94 \pm 0.24) \%$
Γ_5	$J/\psi(1S)$ anything	$(6.5 \pm 0.7) \times 10^{-4}$

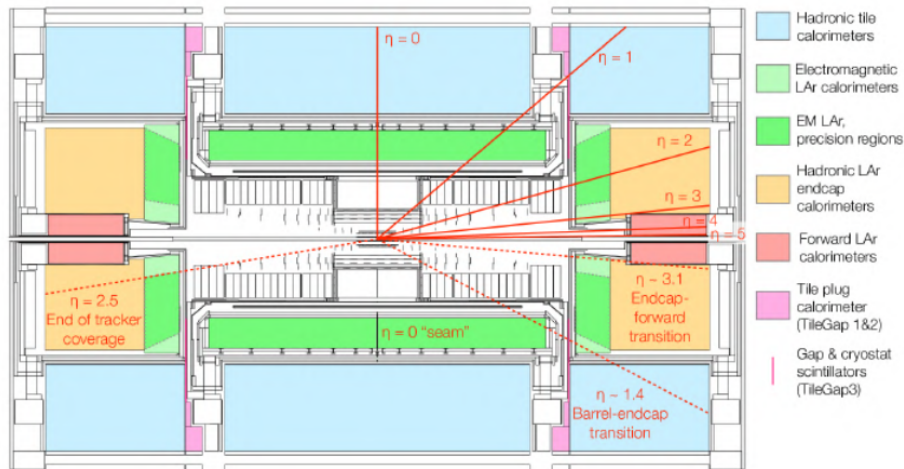
$$f_{NP} = \frac{\sigma(pp \rightarrow B + X \rightarrow J/\psi + X')}{\sigma(pp \xrightarrow{\text{inclusive}} J/\psi + X'')} a \quad (9)$$

a. arXiv:1104.3038v2

Incertitudes systématiques

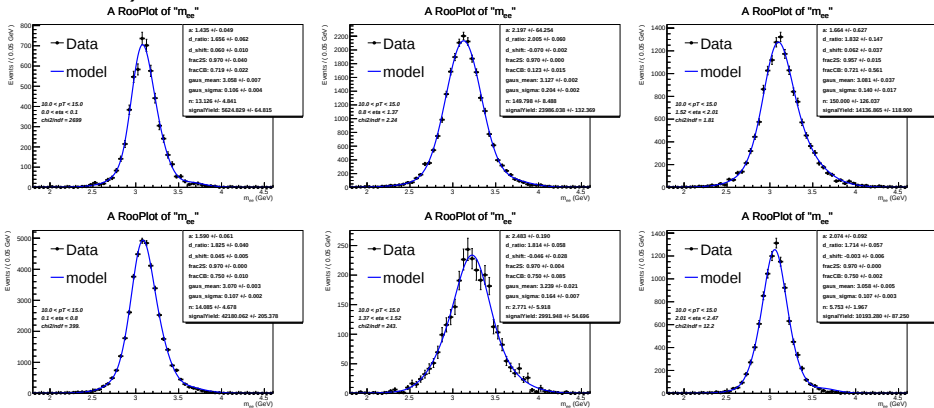
Systematic source	Variations
Cut sur τ	$\tau < 0.2 \text{ ps}$ $\tau < 0.4 \text{ ps}$
Isolation du probe e-	Aucune condition $p_T^{\text{cone}0.2}/p_T$ $p_T^{\text{cone}0.2}/p_T < 0.02$ $p_T^{\text{cone}0.2}/p_T < 0.20$
Chebychev SS background	Polynôme ordre 3 Polynôme ordre 2
m_{ee} signal region	$[2.7, 3.4] \text{ GeV}$ $[2.8, 3.3] \text{ GeV}$

Calorimètres d'ATLAS



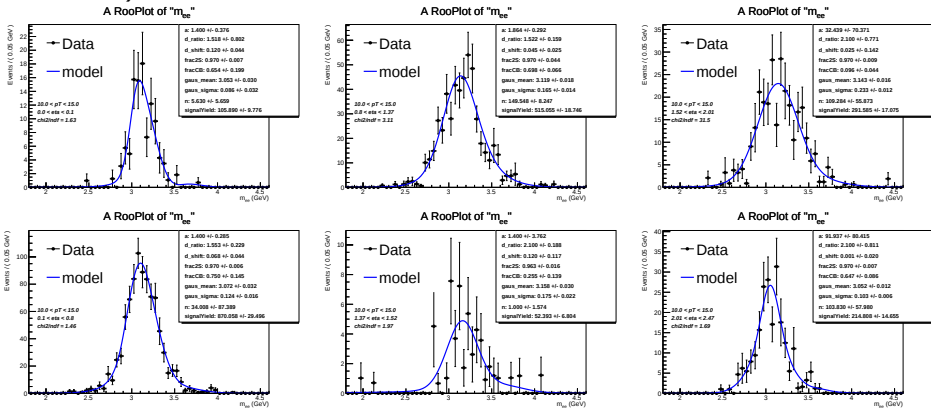
Exemples fits MC prompt

Likelihood WP LooseAndBLayer, $10 < p_T < 15$ GeV (baseline variation)



Exemples fits MC non-prompt

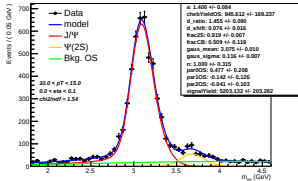
Likelihood WP LooseAndBLayer, $10 < p_T < 15$ GeV (baseline variation)



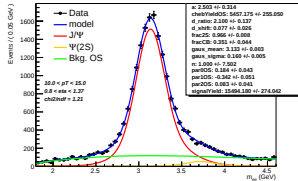
Exemples fits données

Likelihood WP LooseAndBLayer, $10 < p_T < 15$ GeV (baseline variation)

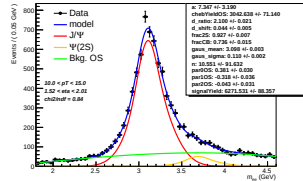
A RooPlot of " m_{ee} "



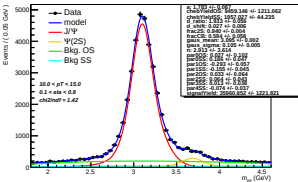
A RooPlot of " m_{ee} "



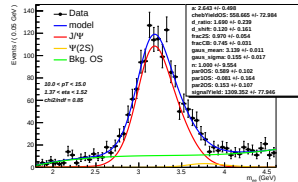
A RooPlot of " m_{ee} "



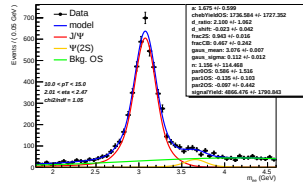
A RooPlot of " m_{ee} "



A RooPlot of " m_{ee} "

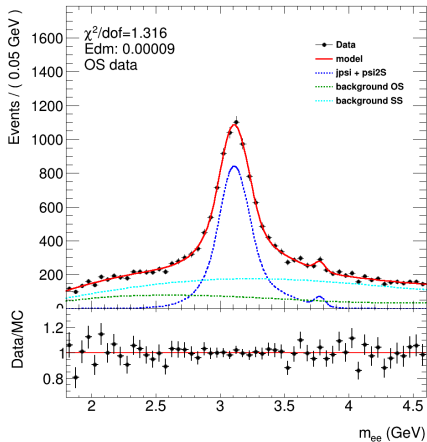


A RooPlot of " m_{ee} "

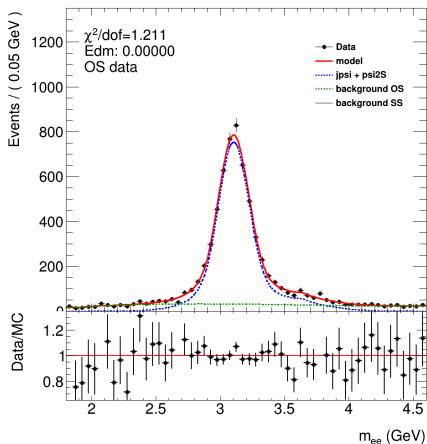


Fit reco vs ID

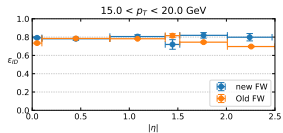
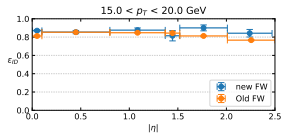
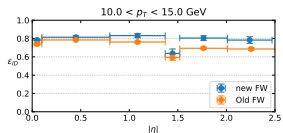
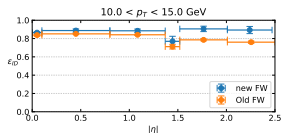
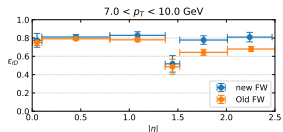
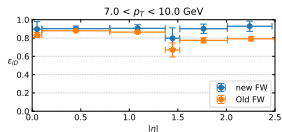
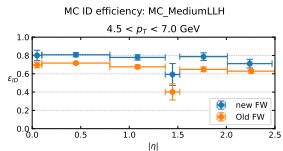
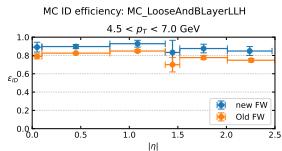
Dénominateur



Numérateur LooseAndBLayer



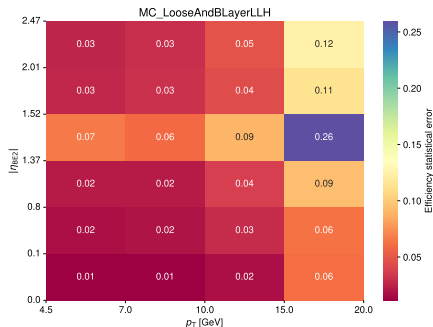
Accord MC release 21



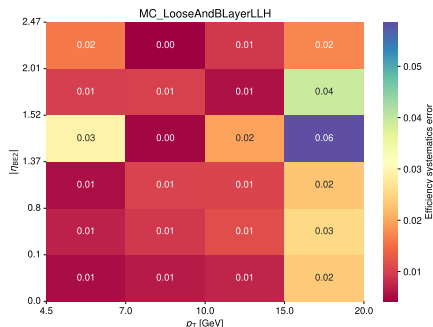
Incertitudes sur les efficacités

Exemple : Incertitudes pour efficacité MC, LooseAndBLayerLLH working point, année 2018.

Statistique



Systématique



Négliger les opérateurs de dimension 8 car $O(\Lambda^{-4})$ avec $\frac{1}{\Lambda} \ll 1$

$$|\mathcal{M}|^2 = |\mathcal{M}_{SM}|^2 + \frac{2}{\Lambda^2} \Re(\mathcal{M}_{SM}^* \mathcal{M}_6) + \frac{1}{\Lambda^4} |\mathcal{M}_6|^2 \quad (10)$$

Terme quadratique $O(\Lambda^{-4})$ également.

Pour rester cohérent, seul l'effet de **l'interférence** pris en compte

Opérateurs dim 6 dans la base Varsovie

(X^3)		$(\psi^2\phi^3)$		$(\psi^2\phi^2D)$	
$O_{\tilde{G}GG}$	$f^{ABC}\tilde{G}_{\mu}^{A\nu}G_{\nu}^{B\rho}G_{\rho}^{C\mu}$	$O_{u\phi}$	$(\phi^\dagger\phi)(\bar{q}u\tilde{\phi})$	$O_{\phi ud}$	$i(\tilde{\phi}^\dagger D_{\mu}\phi)(\bar{u}\gamma^{\mu}d)$
$O_{\tilde{W}WW}$	$\epsilon^{IJK}\tilde{W}_{\mu}^{I\nu}W_{\nu}^{J\rho}W_{\rho}^{K\mu}$	$O_{d\phi}$	$(\phi^\dagger\phi)(\bar{q}d\phi)$		
		$O_{e\phi}$	$(\phi^\dagger\phi)(\bar{l}e\phi)$		
$(X^2\phi^2)$		(ψ^4)		$(X\psi^2\phi)$	
$O_{\phi\tilde{G}}$	$\phi^\dagger\phi\tilde{G}_{\mu\nu}^A G^{A\mu\nu}$	O_{ledq}	$(\bar{l}^j e)(\bar{d}q^j)$	O_{uG}	$(\bar{q}\sigma^{\mu\nu}T^A u)\tilde{\phi}G_{\mu\nu}^A$
$O_{\phi\tilde{W}}$	$\phi^\dagger\phi\tilde{W}_{\mu\nu}^I W^{I\mu\nu}$	$O_{lequ}^{(1)}$	$(\bar{l}^j e)\epsilon_{jk}(\bar{q}^k u)$	O_{uW}	$(\bar{q}\sigma^{\mu\nu}u)\tau^I\tilde{\phi}W_{\mu\nu}^I$
$O_{\phi\tilde{B}}$	$\phi^\dagger\phi\tilde{B}_{\mu\nu} B^{\mu\nu}$	$O_{lequ}^{(3)}$	$(\bar{l}^j\sigma^{\mu\nu}e)\epsilon_{jk}(\bar{q}^k\sigma_{\mu\nu}u)$	O_{uB}	$(\bar{q}\sigma^{\mu\nu}u)\tilde{\phi}B_{\mu\nu}$
$O_{\phi\tilde{W}B}$	$\phi^\dagger\tau^I\phi\tilde{W}_{\mu\nu}^I B^{\mu\nu}$	$O_{quqd}^{(1)}$	$(\bar{q}^j u)\epsilon_{jk}(\bar{q}^k d)$	O_{dG}	$(\bar{q}\sigma^{\mu\nu}T^A d)\phi G_{\mu\nu}^A$
		$O_{quqd}^{(8)}$	$(\bar{q}^j T^A u)\epsilon_{jk}(\bar{q}^k T^A d)$	O_{dW}	$(\bar{q}\sigma^{\mu\nu}d)\tau^I\phi W_{\mu\nu}^I$
				O_{dB}	$(\bar{q}\sigma^{\mu\nu}d)\phi B_{\mu\nu}$
				O_{eW}	$(\bar{l}\sigma^{\mu\nu}e)\tau^I\phi W_{\mu\nu}^I$
				O_{eB}	$(\bar{l}\sigma^{\mu\nu}e)\phi B_{\mu\nu}$

Table 1: List of CP-odd dimension-6 operators present in the Warsaw basis for one fermion generation.

Coefficients de Wilson : contraintes existantes

Publication sur la Vector Boson Fusion $Z + jj$ ¹

Wilson coefficient	Includes $ \mathcal{M}_{d6} ^2$	95% confidence interval [TeV ⁻²]		p -value (SM)
		Expected	Observed	
c_W/Λ^2	no	[-0.30, 0.30]	[-0.19, 0.41]	45.9%
	yes	[-0.31, 0.29]	[-0.19, 0.41]	43.2%
$\tilde{c}_W/\Lambda^2$	no	[-0.12, 0.12]	[-0.11, 0.14]	82.0%
	yes	[-0.12, 0.12]	[-0.11, 0.14]	81.8%
c_{HWB}/Λ^2	no	[-2.45, 2.45]	[-3.78, 1.13]	29.0%
	yes	[-3.11, 2.10]	[-6.31, 1.01]	25.0%
$\tilde{c}_{HWB}/\Lambda^2$	no	[-1.06, 1.06]	[0.23, 2.34]	1.7%
	yes	[-1.06, 1.06]	[0.23, 2.35]	1.6%

Table 4: Expected and observed 95% confidence interval for the four Wilson coefficients, using fits to the EW Zjj differential cross-section measured as a function of $\Delta\phi_{jj}$. Results are presented when including or excluding the pure dimension-six contributions to the EFT prediction. The p -value quantifying the compatibility with the SM hypothesis is also shown for each Wilson coefficient. The global p -value associated with constraining these four Wilson coefficients is investigated using pseudo-experiments, as outlined in the text.

f

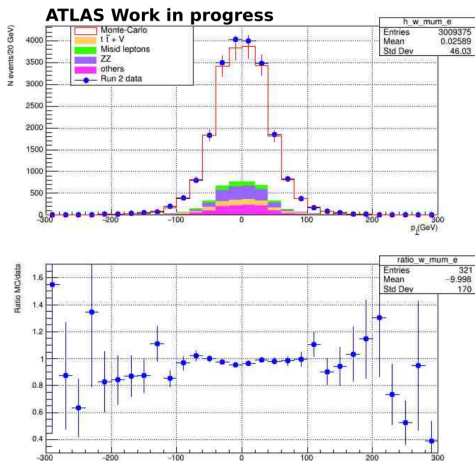
Triple produits d'intérêt

Calcul des asymétries pendant le stage de M2 l'an dernier

Observable	Asymétries Δ (fb)		
	SM	SM+ $\mathcal{O}_{\tilde{W}WW}$	SM+ $\mathcal{O}_{\phi\tilde{W}B}$
$p_{\perp}(\sum \vec{p}^z, \vec{p}_Z, \vec{p}_e)$	0.001	0.618	-0.129
$p_{\perp}(\vec{p}_W, \vec{p}_{\mu^-}, \vec{p}_e)$	0.019	0.548	-0.093
$p_{\perp}(\vec{p}_W, \vec{p}_{\mu^+}, \vec{p}_e)$	-0.030	0.506	-0.100
$p_{\perp}(\vec{p}_W^z, \vec{p}_e, \vec{p}_{\mu^-})$	-0.056	-0.237	0.062
$p_{\perp}(\sum \vec{p}^z, \vec{p}_{\mu^-} + \vec{p}_e, \vec{p}_{\mu^+})$	-0.025	-0.378	0.061
$p_{\perp}(\sum \vec{p}^z, \vec{p}_{\mu^+} + \vec{p}_e, \vec{p}_{\mu^-})$	-0.011	-0.259	0.040
$\sin \phi_{WZ}$	-0.034	-0.749	-0.041
Stat. uncertainty	± 0.03	± 0.008	± 0.03

Table – Asymétries pour SM et SM+SMEFT avec l'échelle d'énergie $c_i/\Lambda^2 = 1 \text{ TeV}^{-2}$

Comparaison simulation SM aux données



Observable	A_{MC}	A_{data}
$p_{\perp}(\sum \vec{p}^z, \vec{p}_Z, \vec{p}_e)$	0.003	-0.007
$p_{\perp}(\vec{p}_W, \vec{p}_{\mu^-}, \vec{p}_e)$	0.001	-0.004
$p_{\perp}(\vec{p}_W, \vec{p}_{\mu^+}, \vec{p}_e)$	0.000	0.008
$p_{\perp}(\vec{p}_W^z, \vec{p}_e, \vec{p}_{\mu^-})$	-0.004	0.002
$p_{\perp}(\sum \vec{p}^z, \vec{p}_e + \vec{p}_{\mu^-}, \vec{p}_{\mu^+})$	-0.002	-0.005
$p_{\perp}(\sum \vec{p}^z, \vec{p}_e + \vec{p}_{\mu^+}, \vec{p}_{\mu^-})$	-0.001	-0.004
$\sin \phi_{WZ}$	-0.000	0.009
Stat. uncertainty	± 0.003	± 0.004

Table – Asymmetries measured in Run 2 data and computed from SM only simulation.

Figure – Comparaison MC pour SM seul, ATLAS Run 2 data