

Comparaison de PFA dans la mesure du couplage Higgs-WW dans le canal $e^+e^- \rightarrow H\nu\nu$

Tanguy Pasquier

IP2I - Université Lyon 1
Tuteur : Gérald Grenier

7 juillet 2023

Plan

- 1 Introduction
- 2 Étude du couplage pour ILD
- 3 Impact du choix d'algorithme PFA
- 4 Conclusion

Introduction

Contexte

- Contexte

- Besoin de résultats expérimentaux précis pour tester le Modèle Standard
- Prochaine étape : collisionneurs leptonaïques (usines à Higgs)

- En développement

- Nouveaux collisionneurs géants
- Nouvelles techniques de détection et d'analyse
- Calorimétrie ultragranulaire et Algorithmes de flux de particules (PFA)



Figure: Projet en Europe (CERN)

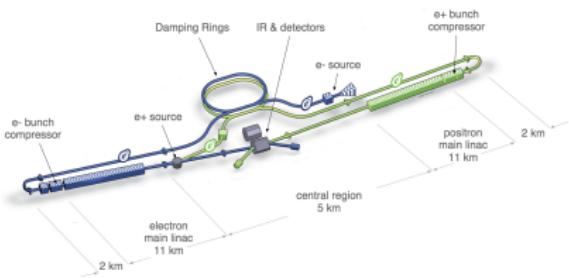


Figure: Projet au Japon

Objectifs

- Objectifs
 - Étudier l'impact du choix de PFA sur la mesure de g_{HWW}
- Déroulement
 - Analyse actuelle pour ILD avec PandoraPFA
 - Production de nouvelles données avec APRIL PFA
 - Analyse avec APRIL et comparaison avec PandoraPFA

Étude du couplage pour ILD

Fonctionnement et données

- Données utilisées
 - Simulations de collisions dans ILD à 250 GeV
 - Configuration avec AHCAL
 - Reconstruction via PandoraPFA
- Fonctionnement de l'analyse
 - ① Pré-sélection
 - ② Sélection finale par Boosted Decision Tree (BDT)
 - ③ Calcul de la signification statistique

$$S = \frac{N_{\text{sig}}}{\sqrt{N_{\text{sig}} + N_{\text{bkg}}}} \quad (1)$$

- ④ Calcul de l'incertitude statistique relative sur la mesure de g_{HWW}

$$N_{\text{sig}} \propto g_{HWW}^4 \Rightarrow \frac{\Delta N_{\text{sig}}}{N_{\text{sig}}} = S^{-1} = 4 \frac{\Delta g_{HWW}}{g_{HWW}} \quad (2)$$

Signal et bruit de fond

- Signal : $e^+e^- \rightarrow H\nu_e\bar{\nu}_e (H \rightarrow W^+W^- \rightarrow q\bar{q}'q\bar{q}')$
- Bruit de fond
 - Autres Higgs (création ou désintégration différente)
 - Événements à 2 fermions
 - Événements à 4 fermions

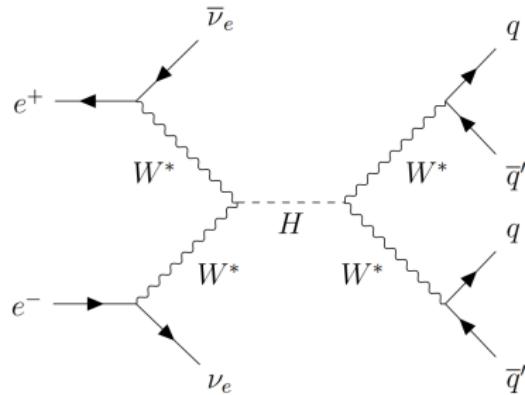


Figure: Diagramme de Feynman du canal étudié pour le signal

Critères de pré-sélection

- Initiaux de G. Garillot
 - Peu restrictifs
 - Laisse le BDT découvrir les meilleures critères.
- Amélioration des critères de pré-sélection
 - Beaucoup plus restrictifs
 - Guide le BDT en contraignant l'espace de paramètres à étudier.

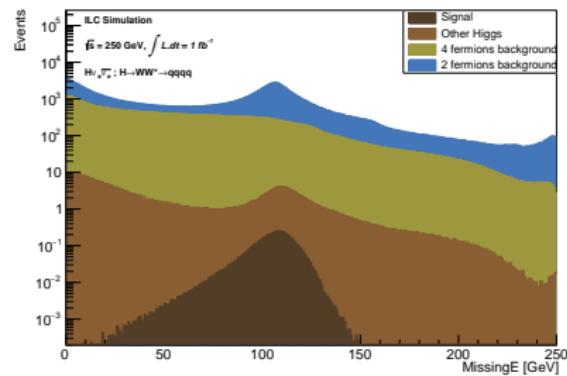
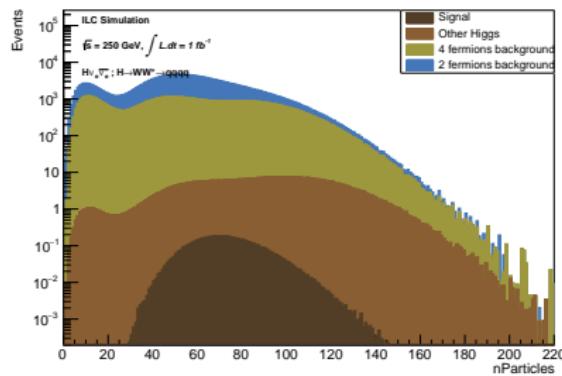


Figure: Distribution du nombre de particules

Figure: Distribution de l'énergie manquante

Résultats de l'analyse actuelle

- Comparaison des deux méthodes

	$L = 1 \text{ fb}^{-1}$		$L = 3 \text{ ab}^{-1}$	
	Anciens critères	Nouveaux critères	Anciens critères	Nouveaux critères
S	0.306 ± 0.005	0.319 ± 0.007	16.60 ± 0.37	17.52 ± 0.16
$\frac{\Delta g_{HWW}}{g_{HWW}}$	$81.6 \pm 1.4 \%$	$78.4 \pm 1.7 \%$	$1.51 \pm 0.02 \%$	$1.43 \pm 0.01 \%$

Figure: Signification statistique et incertitude statistique relative sur la mesure de g_{HWW} pour ILD, pour différentes luminosités et pour différentes règles de présélection avec un taux d'entraînement de 20%

- Pistes d'améliorations

- Modifier les paramètres du BDT (taux d'entraînement, profondeur maximale, etc)

Impact de la polarisation

- Polarisation nominale pour ILC : $P(e^+) \gtrsim 30\%$, $P(e^-) \cong 80\%$
- Signal étudié favorisé par $e_L^- e_R^+$
- Polarisation la plus importante possible

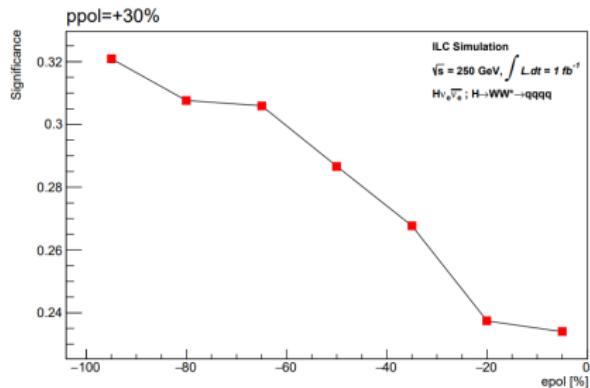


Figure: Signification statistique en fonction de la polarisation du faisceau d'électrons pour $ppol=+30\%$

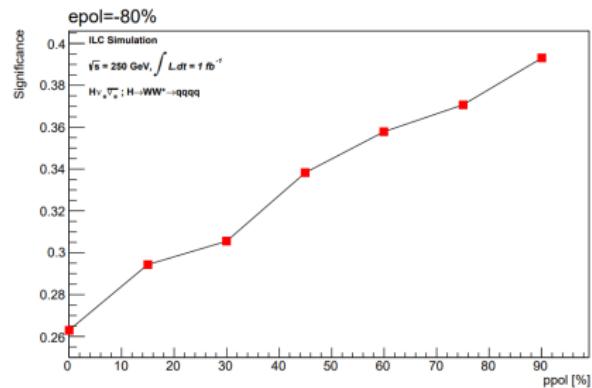


Figure: Signification statistique en fonction de la polarisation du faisceau de positrons pour $epol=-80\%$

Impact du choix d'algorithme PFA

Production des nouvelles données

- Objectif : remplacer reconstruction PandoraPFA par APRIL PFA
- Problème : temps restreint et calculs longs
- 2 processus choisis
 - Processus "signal" donnant $H\nu_e\bar{\nu}_e$ avec $H \rightarrow WW$
 - Contient la majorité du signal
 - Processus de bruit de fond à quatre fermions : $WW \rightarrow$ semi-leptoniques
 - Grande section efficace de 10.986 ± 0.009 pb

Comparaison des PFA

- Impact de la statistique Monte Carlo sur la performance prédictive
- Écart pas significatif → Performances équivalentes

$L = 3 \text{ ab}^{-1}$				
	Signal uniquement		Signal et bruit de fond	
	PandoraPFA	APRIL	PandoraPFA	APRIL
S	15.88 ± 0.39	16.25 ± 0.37	15.37 ± 0.47	14.86 ± 0.36
$\frac{\Delta g_{HWW}}{g_{HWW}}$	$1.57 \pm 0.04 \%$	$1.54 \pm 0.04 \%$	$1.63 \pm 0.05 \%$	$1.68 \pm 0.04 \%$

Figure: Signification statistique et incertitude statistique relative sur la mesure de g_{HWW} pour ILD, pour une luminosité intégrée de 3 ab^{-1} et pour différents algorithmes de PFA appliqués sur le signal seul ou sur le signal et le principal bruit de fond.

Conclusion

Conclusion

- Conclusion
 - Analyse améliorée par la nouvelle présélection
 - Polarisation des faisceaux importante pour la mesure de g_{HWW}
 - Performances équivalentes pour APRIL et PandoraPFA sur cette étude
- Pour la suite :
 - Essayer d'autres paramètres pour le BDT
 - Comparaison sur plus d'évènements pour APRIL et PandoraPFA
 - Thèse : Passer APRIL de 3D à 4D

Backup

Autres distributions

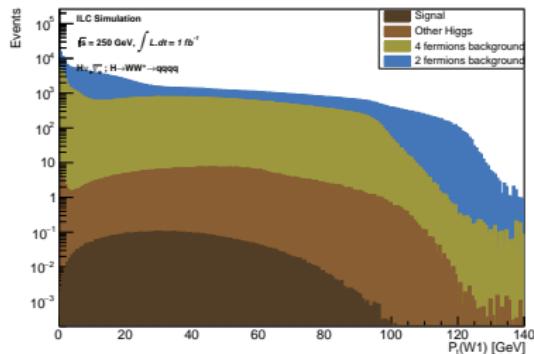


Figure: Distribution de l'impulsion transverse du boson W on-shell

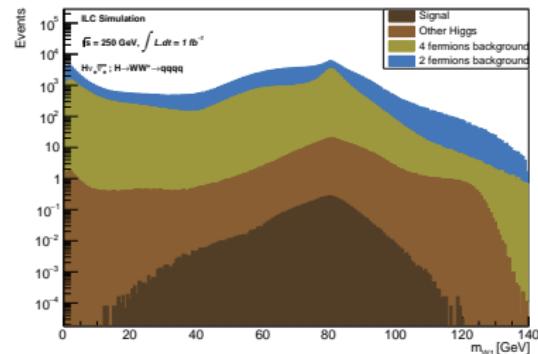


Figure: Distribution de la masse du boson W on-shell

Résultats de l'analyse actuelle (efficacité)

- Efficacités de pré-sélection et sélection

Processus	$\epsilon_{pre}(\%)$	$\epsilon_{fin}(\%)$
Signal	82.45	40.85
Bruit de fond Higgs		
Autres Higgs → WW	12.86	3.05
Autres Higgs	28.13	1.41
Bruit de fond 2 fermions		
2f_leptonique	1.20	0
2f_hadronique	65.71	5.78×10^{-4}
Bruit de fond 4 fermions		
4f_leptonique	2.77	2.00×10^{-5}
4f_hadronique	8.30	1.51×10^{-4}
4f_semi-leptonique	12.57	0.084

Figure: Efficacités de pré-sélection et de sélection du signal et du bruit de fond avec une luminosité intégrée de 1 fb^{-1} pour les critères de pré-sélection initiaux

Processus	$\epsilon_{pre}(\%)$	$\epsilon_{fin}(\%)$
Signal	98.35	44.39
Bruit de fond Higgs		
Autres Higgs → WW	38.42	3.36
Autres Higgs	29.29	1.38
Bruit de fond 2 fermions		
2f_leptonique	0.48	0
2f_hadronique	45.29	5.31×10^{-4}
Bruit de fond 4 fermions		
4f_leptonique	0.41	1.51×10^{-5}
4f_hadronique	4.98	2.89×10^{-4}
4f_semi-leptonique	70.96	0.077

Figure: Efficacités de pré-sélection et de sélection du signal du bruit de fond avec une luminosité intégrée de 1 fb^{-1} pour les nouveaux critères de pré-sélection

Nouveaux fichiers I

Index	PROCESS ID	Processus name	Channel	Polarization	NB FILE INITIAL	NB REC	AHCAL	NB REC	SDHCAL	NB SIM	ILD_I5_v02
1	402001	e1e1h	Other Higgs	eL.pR	49	0	708	0	708	0	708
2	402002	e1e1h	Other Higgs	eR.pL	49	0	693	0	693	0	693
3	402003	e2e2h	Other Higgs	eL.pR	49	50	349	0	349	0	399
4	402004	e2e2h	Other Higgs	eR.pL	49	0	357	0	357	0	357
5	402005	e3e3h	Other Higgs	eL.pR	49	0	325	0	325	0	325
6	402006	e3e3h	Other Higgs	eR.pL	49	0	664	0	664	0	664
7	402007	n1n1h	Signal	eL.pR	52	0	364	0	364	0	364
8	402008	n1n1h	Other Higgs	eR.pL	51	0	355	0	355	0	355
9	402009	n23n23h	Other Higgs	eL.pR	49	50	363	0	363	0	413
10	402010	n23n23h	Other Higgs	eR.pL	49	0	355	0	355	0	355
11	402011	qqh	Other Higgs	eL.pR	49	0	312	0	312	0	2602
12	402012	qqh	Other Higgs	eR.pL	47	0	250	0	250	0	2502
13	402013	e1e1h	Other Higgs	eL.pL	49	0	692	0	692	0	692
14	402014	e1e1h	Other Higgs	eR.pR	49	0	693	0	693	0	693
15	402173	n1n1h_bb	Other Higgs	eL.pR	8	25	0	0	0	0	250
16	402176	n1n1h_ww	Signal	eL.pR	32	125	0	0	0	0	1252
17	402182	n1n1h_bb	Other Higgs	eR.pL	8	25	0	0	0	0	250
18	402185	n1n1h_ww	Other Higgs	eR.pL	32	125	0	0	0	0	1252
19	500006	2f_Z_leptonic	2 fermions leptoniques	eL.pR	49	0	0	0	0	0	0
20	500008	2f_Z_leptonic	2 fermions leptoniques	eR.pL	49	0	0	0	0	0	0
21	500010	2f_Z_hadronic	2 fermions hadroniques	eL.pR	169	0	0	0	0	0	0
22	500012	2f_Z_hadronic	2 fermions hadroniques	eR.pL	166	0	0	0	0	0	0
23	500082	4f_ZZ_hadronic	4 fermions hadroniques	eL.pR	49	0	0	0	0	0	0
24	500064	4f_ZZ_hadronic	4 fermions hadroniques	eR.pL	49	500	502	0	0	0	15499
25	500086	4f_VVV_hadronic	4 fermions hadroniques	eL.pR	49	0	0	0	0	0	0
26	500068	4f_VVV_hadronic	4 fermions hadroniques	eR.pL	49	350	102	0	0	0	3500
27	500070	4f_ZZWWMix_hadronic	4 fermions hadroniques	eL.pR	49	0	0	0	0	0	0
28	500072	4f_ZZWWMix_hadronic	4 fermions hadroniques	eR.pL	49	500	202	0	0	0	6000
29	500074	4f_ZZ_semi leptonic	4 fermions semi leptonic	eL.pR	49	2092	252	0	0	0	10499
30	500076	4f_ZZ_semi leptonic	4 fermions semi leptonic	eR.pL	49	600	252	0	0	0	6000
31	500078	4f_ZZnumu_semi leptonic	4 fermions semi leptonic	eL.pR	49	500	252	0	0	0	7750
32	500080	4f_ZZnumu_semi leptonic	4 fermions semi leptonic	eR.pL	49	350	127	0	0	0	3500
33	500082	4f_VVV_semi leptonic	4 fermions semi leptonic	eL.pR	49	500	2502	0	0	0	23601

Figure: Liste des nouveaux fichiers partie 1

Nouveaux fichiers II

33	500082_4f_VV_semi leptonic	4 fermions semi leptonic eL_pR		49	500	2502	23601
34	500084_4f_VV_semi leptonic	4 fermions semi leptonic eR_pL		49	0	250	250
35	500085_4f_ZZ_leptonic	4 fermions leptonic eL_pR		13	0	0	0
36	500088_4f_ZZ_leptonic	4 fermions leptonic eR_pL		10	0	0	0
37	500090_4f_ZZnumu_leptonic	4 fermions leptonic eL_pR		11	0	0	200
38	500092_4f_ZZnumu_leptonic	4 fermions leptonic eR_pL		9	0	0	0
39	500094_4f_VV_leptonic	4 fermions leptonic eL_pR		47	500	0	4000
40	500096_4f_VV_leptonic	4 fermions leptonic eR_pL		4	0	0	0
41	500098_4f_ZZWWMix_leptonic	4 fermions leptonic eL_pR		48	500	0	8400
42	500100_4f_ZZWWMix_leptonic	4 fermions leptonic eR_pL		9	0	0	100
43	500101_4f_singleZee_semi leptonic	4 fermions semi leptonic eL_pL		49	300	252	3000
44	500102_4f_singleZee_semi leptonic	4 fermions semi leptonic eL_pR		49	500	2502	18000
45	500103_4f_singleZee_semi leptonic	4 fermions semi leptonic eR_pL		49	300	252	3000
46	500104_4f_singleZee_semi leptonic	4 fermions semi leptonic eR_pR		49	500	252	15250
47	500105_4f_singleW_semi leptonic	4 fermions semi leptonic eL_pL		18	0	250	250
48	500106_4f_singleW_semi leptonic	4 fermions semi leptonic eL_pR		49	0	0	0
49	500107_4f_singleW_semi leptonic	4 fermions semi leptonic eR_pR		18	0	250	250
50	500108_4f_singleW_semi leptonic	4 fermions semi leptonic eR_pL		46	0	250	250
51	500110_4f_singleZhunu_semi leptonic	4 fermions semi leptonic eL_pR		49	500	252	5750
52	500112_4f_singleZhunu_semi leptonic	4 fermions semi leptonic eR_pL		43	175	52	1750
53	500113_4f_singleZee_leptonic	4 fermions leptonic eL_pL		49	500	0	10008
54	500114_4f_singleZee_leptonic	4 fermions leptonic eL_pR		49	0	0	0
55	500115_4f_singleZee_leptonic	4 fermions leptonic eR_pR		49	500	0	10008
56	500116_4f_singleZee_leptonic	4 fermions leptonic eR_pL		49	0	0	0
57	500117_4f_singleW_leptonic	4 fermions leptonic eL_pL		4	0	0	0
58	500118_4f_singleW_leptonic	4 fermions leptonic eL_pR		49	500	0	29189
59	500119_4f_singleW_leptonic	4 fermions leptonic eR_pR		3	0	0	0
60	500120_4f_singleW_leptonic	4 fermions leptonic eR_pL		6	0	0	0
61	500122_4f_singleZhunu_leptonic	4 fermions leptonic eL_pR		30	0	0	0
62	500124_4f_singleZhunu_leptonic	4 fermions leptonic eR_pL		9	0	0	100
63	500125_4f_singleZingleWMix_leptonic	4 fermions leptonic eL_pL		3	0	0	0
64	500126_4f_singleZingleWMix_leptonic	4 fermions leptonic eL_pR		49	500	0	8340
65	500127_4f_singleZingleWMix_leptonic	4 fermions leptonic eR_pR		3	0	0	0
66	500128_4f_singleZingleWMix_leptonic	4 fermions leptonic eR_pL		6	0	0	0

Figure: Liste des nouveaux fichiers partie 2

BDT Input

```
INPUT_NAMES = [  
    "visible_e",  
    "nParticles",  
    "eIsoLep",  
    "higgs_e", "higgs_pt", "higgs_m", "higgs_cosTheta",  
    "w1_m", "w1_pt", "w1_e", "w1_cosBetw",  
    "w2_m", "w2_pt", "w2_e", "w2_cosBetw",  
    "higgs_ww_cosBetw",  
    "y_12", "y_23", "y_34", "y_45", "y_56", "y_67",  
    "zz_z1_m", "zz_z2_m",  
    "sl_w_m", "sl_rec_m",  
    "oblateness",  
    "sphericity",  
    "cosThrust",  
    "principleThrust", "majorThrust", "minorThrust"]
```

Figure: Input du BDT