

# 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 leptoniques (usines à Higgs)

## ● En développement

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

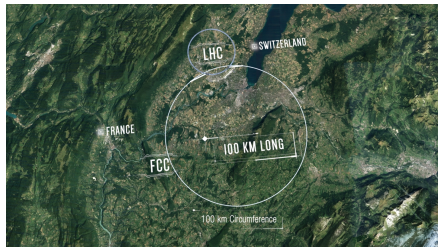


Figure: Projet en Europe (CERN)

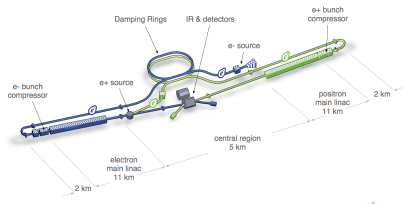


Figure: Projet au Japon

# 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
  - ➊ Pré-sélection
  - ➋ Sélection finale par Boosted Decision Tree (BDT)
  - ➌ Calcul de la signification statistique

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

- ➍ 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

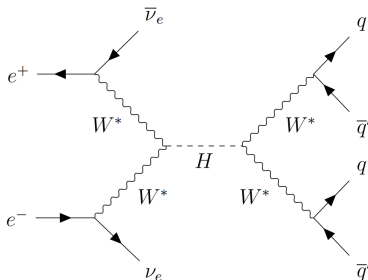


Figure: Diagramme de Feynman du canal étudié pour le signal



# Critères de pré-sélection

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

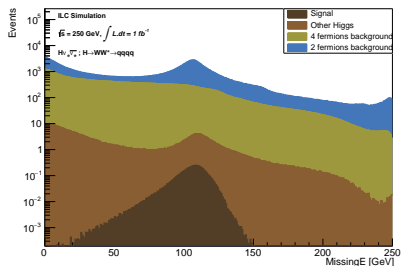
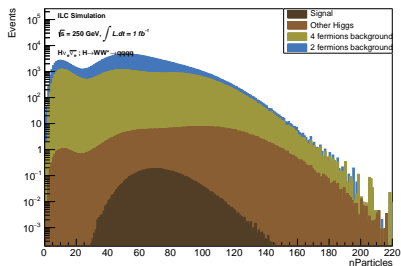


Figure: Distribution du nombre de particules

Figure: Distribution de l'énergie manquante

# Résultats de l'analyse actuelle

- Comparaison des deux méthodes

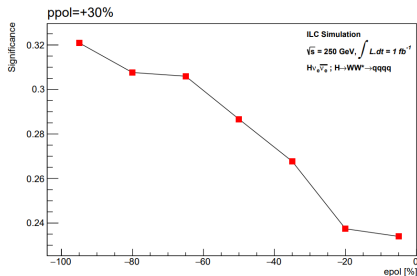
|                                  | $L = 1 \text{ fb}^{-1}$ |                   | $L = 3 \text{ ab}^{-1}$ |                    |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|
|                                  | Anciens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

**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%

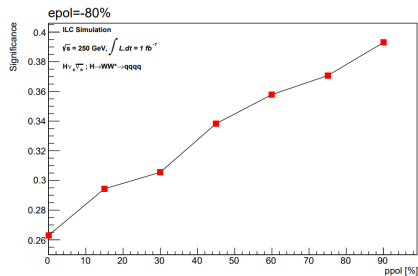
- Pistes d'améliorations
  - Modifier les paramètres du BDT (taux d'entraînement, profondeur maximale, etc)

# 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  $10.986 \pm 0.009$  pb

# Comparaison des PFA

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

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

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

# Conclusion

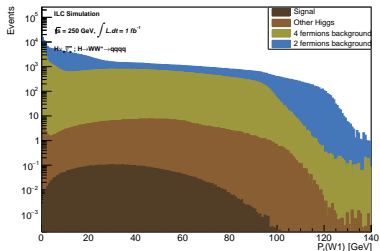
# Conclusion

- 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

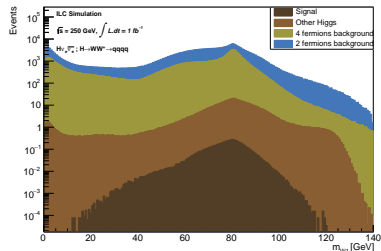


# Backup

# 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 $\rightarrow$ 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                | $5.78 \times 10^{-4}$ |
| Bruit de fond 4 fermions      |                      |                       |
| 4f_leptonique                 | 2.77                 | $2.00 \times 10^{-5}$ |
| 4f_hadronique                 | 8.30                 | $1.51 \times 10^{-4}$ |
| 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  $1 \text{ fb}^{-1}$  pour les critères de pré-sélection initiaux

| Processus                     | $\epsilon_{pre}(\%)$ | $\epsilon_{fin}(\%)$  |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Signal                        | 98.35                | 44.39                 |
| Bruit de fond Higgs           |                      |                       |
| Autres Higgs $\rightarrow$ 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                | $5.31 \times 10^{-4}$ |
| Bruit de fond 4 fermions      |                      |                       |
| 4f_leptonique                 | 0.41                 | $1.51 \times 10^{-5}$ |
| 4f_hadronique                 | 4.98                 | $2.89 \times 10^{-4}$ |
| 4f_semi-leptonique            | 70.96                | 0.077                 |

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

# Nouveaux fichiers I

| Index | PROCESS ID | Processus name        | Channel                   | Polarization | NB FILE INITIAL | NB REC AHCL | NB REC SDHCL | NB SIM ILO_I5_v02 |
|-------|------------|-----------------------|---------------------------|--------------|-----------------|-------------|--------------|-------------------|
| 1     | 402001     | e1e1h                 | Other Higgs               | eL pR        | 49              | 0           | 708          | 708               |
| 2     | 402002     | e1e1h                 | Other Higgs               | eR pL        | 49              | 0           | 693          | 693               |
| 3     | 402003     | e2e2h                 | Other Higgs               | eL pR        | 49              | 50          | 349          | 399               |
| 4     | 402004     | e2e2h                 | Other Higgs               | eR pL        | 49              | 0           | 357          | 357               |
| 5     | 402005     | e3e3h                 | Other Higgs               | eL pR        | 49              | 0           | 325          | 325               |
| 6     | 402006     | e3e3h                 | Other Higgs               | eR pL        | 49              | 0           | 664          | 664               |
| 7     | 402007     | n1n1h                 | Signal                    | eL pR        | 52              | 0           | 364          | 364               |
| 8     | 402008     | n1n1h                 | Other Higgs               | eR pL        | 51              | 0           | 355          | 355               |
| 9     | 402009     | n23n23h               | Other Higgs               | eL pR        | 49              | 50          | 363          | 413               |
| 10    | 402010     | n23n23h               | Other Higgs               | eR pL        | 49              | 0           | 355          | 355               |
| 11    | 402011     | qqh                   | Other Higgs               | eL pR        | 49              | 0           | 312          | 2602              |
| 12    | 402012     | qqh                   | Other Higgs               | eR pL        | 47              | 0           | 250          | 2502              |
| 13    | 402013     | e1e1h                 | Other Higgs               | eL pL        | 49              | 0           | 692          | 692               |
| 14    | 402014     | e1e1h                 | Other Higgs               | eR pR        | 49              | 0           | 693          | 693               |
| 15    | 402173     | n1n1h_bb              | Other Higgs               | eL pR        | 8               | 25          | 0            | 250               |
| 16    | 402176     | n1n1h_ww              | Signal                    | eL pR        | 32              | 125         | 0            | 1252              |
| 17    | 402182     | n1n1h_bb              | Other Higgs               | eR pL        | 8               | 25          | 0            | 250               |
| 18    | 402185     | n1n1h_ww              | Other Higgs               | eR pL        | 32              | 125         | 0            | 1252              |
| 19    | 500006     | 2f_Z_leptonic         | 2 fermions leptoniques    | eL pR        | 49              | 0           | 0            | 0                 |
| 20    | 500008     | 2f_Z_leptonic         | 2 fermions leptoniques    | eR pL        | 49              | 0           | 0            | 0                 |
| 21    | 500010     | 2f_Z_hadronic         | 2 fermions hadroniques    | eL pR        | 169             | 0           | 0            | 0                 |
| 22    | 500012     | 2f_Z_hadronic         | 2 fermions hadroniques    | eR pL        | 166             | 0           | 0            | 0                 |
| 23    | 500062     | 4f_ZZ_hadronic        | 4 fermions hadroniques    | eL pR        | 49              | 0           | 0            | 0                 |
| 24    | 500064     | 4f_ZZ_hadronic        | 4 fermions hadroniques    | eR pL        | 49              | 500         | 502          | 15499             |
| 25    | 500066     | 4f_WW_hadronic        | 4 fermions hadroniques    | eL pR        | 49              | 0           | 0            | 0                 |
| 26    | 500068     | 4f_WW_hadronic        | 4 fermions hadroniques    | eR pL        | 49              | 350         | 102          | 3500              |
| 27    | 500070     | 4f_ZZWWMix_hadronic   | 4 fermions hadroniques    | eL pR        | 49              | 0           | 0            | 0                 |
| 28    | 500072     | 4f_ZZWWMix_hadronic   | 4 fermions hadroniques    | eR pL        | 49              | 500         | 202          | 6000              |
| 29    | 500074     | 4f_ZZ_semileptonic    | 4 fermions semileptonique | eL pR        | 49              | 2092        | 252          | 10499             |
| 30    | 500076     | 4f_ZZ_semileptonic    | 4 fermions semileptonique | eR pL        | 49              | 600         | 252          | 6000              |
| 31    | 500078     | 4f_ZZnuu_semileptonic | 4 fermions semileptonique | eL pR        | 49              | 500         | 252          | 7750              |
| 32    | 500080     | 4f_ZZnuu_semileptonic | 4 fermions semileptonique | eR pL        | 49              | 350         | 127          | 3500              |
| 33    | 500082     | 4f_WW_semileptonic    | 4 fermions semileptonique | eL pR        | 49              | 500         | 2502         | 23601             |

Figure: Liste des nouveaux fichiers partie 1

# Nouveaux fichiers II

|    |                                    |                                 |    |     |      |       |
|----|------------------------------------|---------------------------------|----|-----|------|-------|
| 33 | 500082 4f_WW_semileptonic          | 4 fermions semileptonique eL_pR | 49 | 500 | 2502 | 23601 |
| 34 | 500084 4f_WW_semileptonic          | 4 fermions semileptonique eR_pL | 49 | 0   | 250  | 250   |
| 35 | 500086 4f_ZZ_leptonic              | 4 fermions leptoniques eL_pR    | 13 | 0   | 0    | 0     |
| 36 | 500088 4f_ZZ_leptonic              | 4 fermions leptoniques eR_pL    | 10 | 0   | 0    | 0     |
| 37 | 500090 4f_ZZnuu_leptonic           | 4 fermions leptoniques eL_pR    | 11 | 0   | 0    | 200   |
| 38 | 500092 4f_ZZnuu_leptonic           | 4 fermions leptoniques eR_pL    | 9  | 0   | 0    | 0     |
| 39 | 500094 4f_WW_leptonic              | 4 fermions leptoniques eL_pR    | 47 | 500 | 0    | 4000  |
| 40 | 500096 4f_WW_leptonic              | 4 fermions leptoniques eR_pL    | 4  | 0   | 0    | 0     |
| 41 | 500098 4f_ZZWMix_leptonic          | 4 fermions leptoniques eL_pR    | 48 | 500 | 0    | 8400  |
| 42 | 500100 4f_ZZWMix_leptonic          | 4 fermions leptoniques eR_pL    | 9  | 0   | 0    | 100   |
| 43 | 500101 4f_singleZee_semileptonic   | 4 fermions semileptonique eL_pL | 49 | 300 | 252  | 3000  |
| 44 | 500102 4f_singleZee_semileptonic   | 4 fermions semileptonique eL_pR | 49 | 500 | 2502 | 18000 |
| 45 | 500103 4f_singleZee_semileptonic   | 4 fermions semileptonique eR_pR | 49 | 300 | 252  | 3000  |
| 46 | 500104 4f_singleZee_semileptonic   | 4 fermions semileptonique eR_pL | 49 | 500 | 252  | 15250 |
| 47 | 500105 4f_singleW_semileptonic     | 4 fermions semileptonique eL_pL | 18 | 0   | 250  | 250   |
| 48 | 500106 4f_singleW_semileptonic     | 4 fermions semileptonique eL_pR | 49 | 0   | 0    | 0     |
| 49 | 500107 4f_singleW_semileptonic     | 4 fermions semileptonique eR_pR | 18 | 0   | 250  | 250   |
| 50 | 500108 4f_singleW_semileptonic     | 4 fermions semileptonique eR_pL | 46 | 0   | 250  | 250   |
| 51 | 500110 4f_singleZnuu_semileptonic  | 4 fermions semileptonique eL_pR | 49 | 500 | 252  | 5750  |
| 52 | 500112 4f_singleZnuu_semileptonic  | 4 fermions semileptonique eR_pL | 43 | 175 | 52   | 1750  |
| 53 | 500113 4f_singleZee_leptonic       | 4 fermions leptoniques eL_pL    | 49 | 500 | 0    | 10008 |
| 54 | 500114 4f_singleZee_leptonic       | 4 fermions leptoniques eL_pR    | 49 | 0   | 0    | 0     |
| 55 | 500115 4f_singleZee_leptonic       | 4 fermions leptoniques eR_pR    | 49 | 500 | 0    | 10008 |
| 56 | 500116 4f_singleZee_leptonic       | 4 fermions leptoniques eR_pL    | 49 | 0   | 0    | 0     |
| 57 | 500117 4f_singleW_leptonic         | 4 fermions leptoniques eL_pL    | 4  | 0   | 0    | 0     |
| 58 | 500118 4f_singleW_leptonic         | 4 fermions leptoniques eL_pR    | 49 | 500 | 0    | 29189 |
| 59 | 500119 4f_singleW_leptonic         | 4 fermions leptoniques eR_pR    | 3  | 0   | 0    | 0     |
| 60 | 500120 4f_singleW_leptonic         | 4 fermions leptoniques eR_pL    | 6  | 0   | 0    | 0     |
| 61 | 500122 4f_singleZnuu_leptonic      | 4 fermions leptoniques eL_pR    | 30 | 0   | 0    | 0     |
| 62 | 500124 4f_singleZnuu_leptonic      | 4 fermions leptoniques eR_pL    | 9  | 0   | 0    | 100   |
| 63 | 500125 4f_singleZsingleWMix_leptor | 4 fermions leptoniques eL_pL    | 3  | 0   | 0    | 0     |
| 64 | 500126 4f_singleZsingleWMix_leptor | 4 fermions leptoniques eL_pR    | 49 | 500 | 0    | 8340  |
| 65 | 500127 4f_singleZsingleWMix_leptor | 4 fermions leptoniques eR_pR    | 3  | 0   | 0    | 0     |
| 66 | 500128 4f_singleZsingleWMix_leptor | 4 fermions leptoniques 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