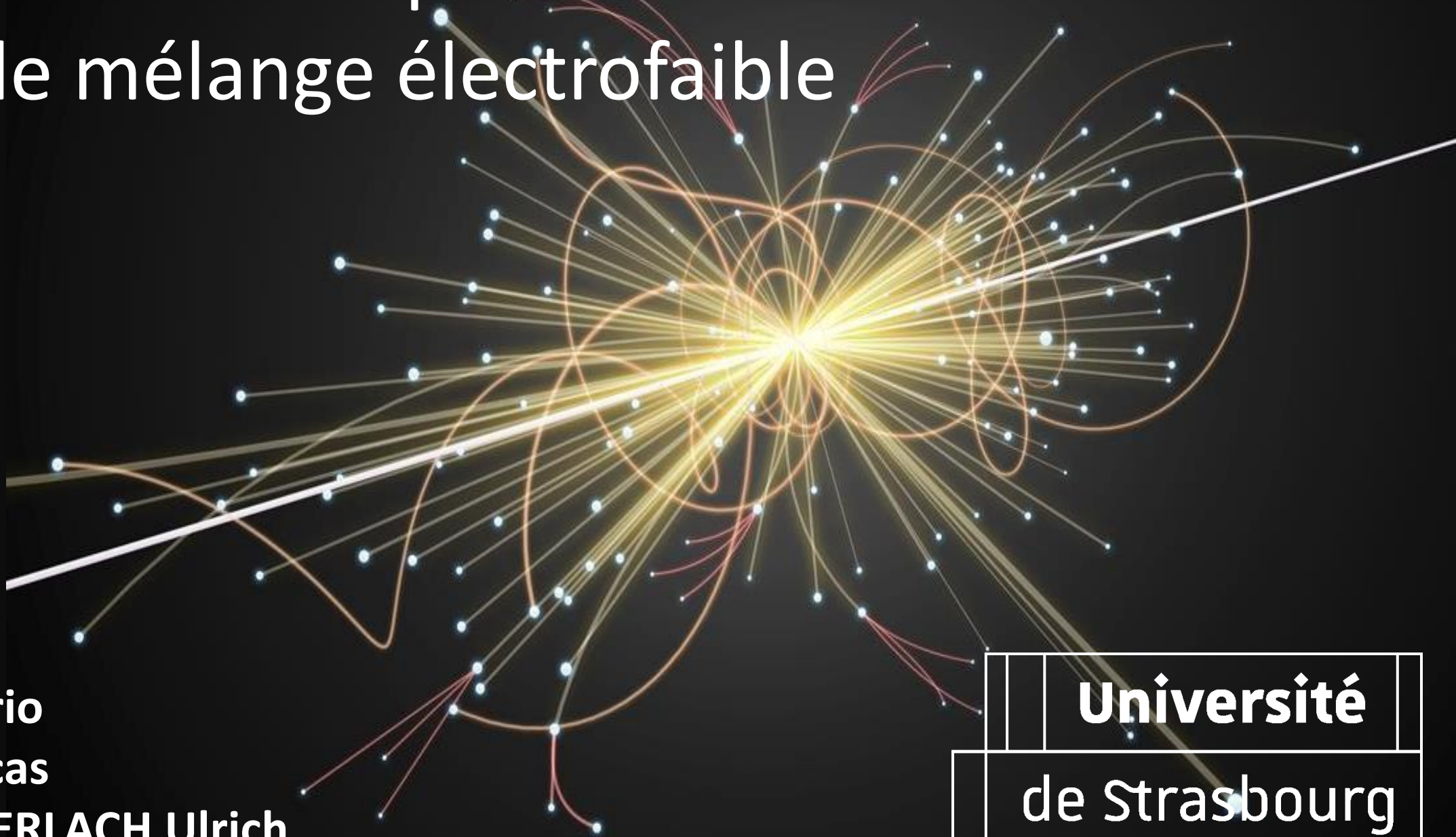


Polarisation du lepton tau et angle de mélange électrofaible



SESSINI Mario

MARTEL Lucas

Tuteur : GOERLACH Ulrich

Université

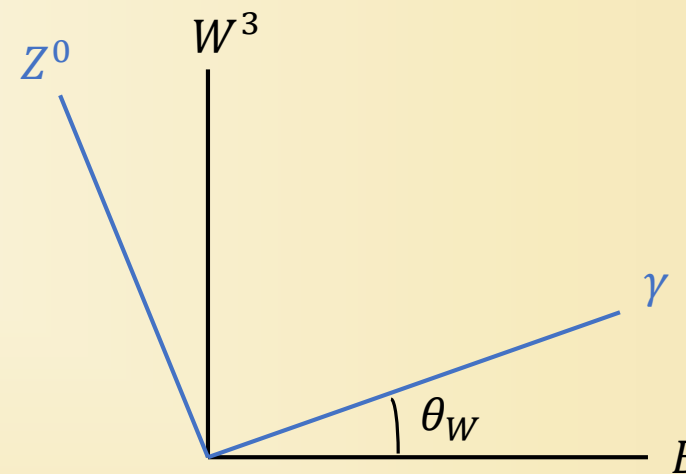
de Strasbourg

Contexte théorique

- *Cadre de l'étude : vérification des paramètres du modèle standard*
- *En particulier : mesure de l'angle de Weinberg θ_W , paramètre fondamental de la théorie électrofaible*
- *Z et photon = combinaisons linéaires*

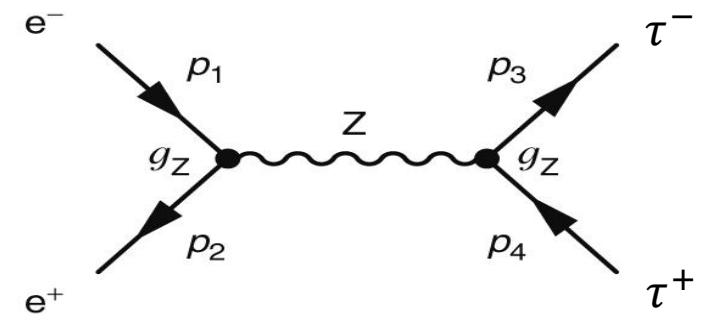
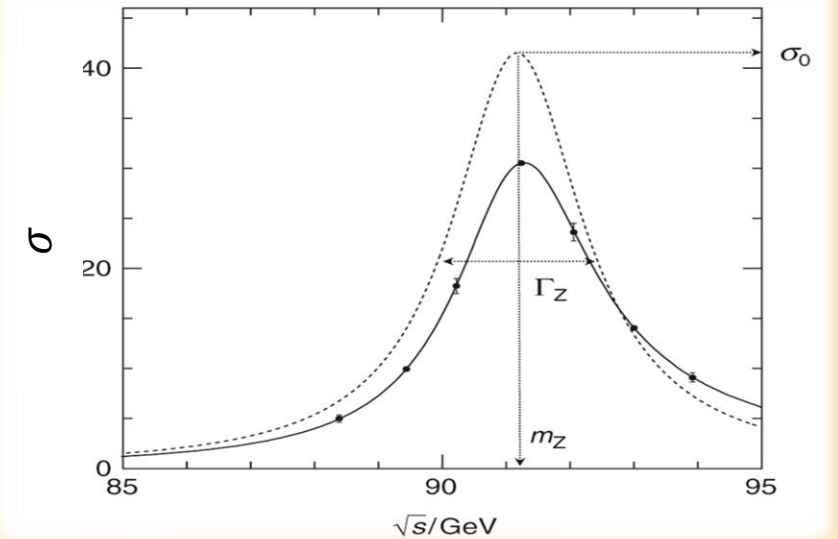
$$\begin{aligned} Z^0 &= W^3 \cos \theta_W - B \sin \theta_W \\ \gamma &= W^3 \sin \theta_W + B \cos \theta_W \end{aligned}$$

- *Tests déjà réalisés auparavant : LEP, SLC...*



Contexte théorique

- Collisions e^+e^- à $\sqrt{s} = M_Z$: production maximale de Z
- Désintégration du Z quasi instantanée :
 - $Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$ $3,363 \pm 0,004 \%$
 - $Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$ $3,366 \pm 0,007 \%$
 - $Z^0 \rightarrow \tau^+ + \tau^-$ $3,370 \pm 0,008 \%$
 - $Z^0 \rightarrow \nu + \bar{\nu}$ $20,00 \pm 0,06 \%$
 - $Z^0 \rightarrow q + \bar{q}$ $69,91 \pm 0,06 \%$



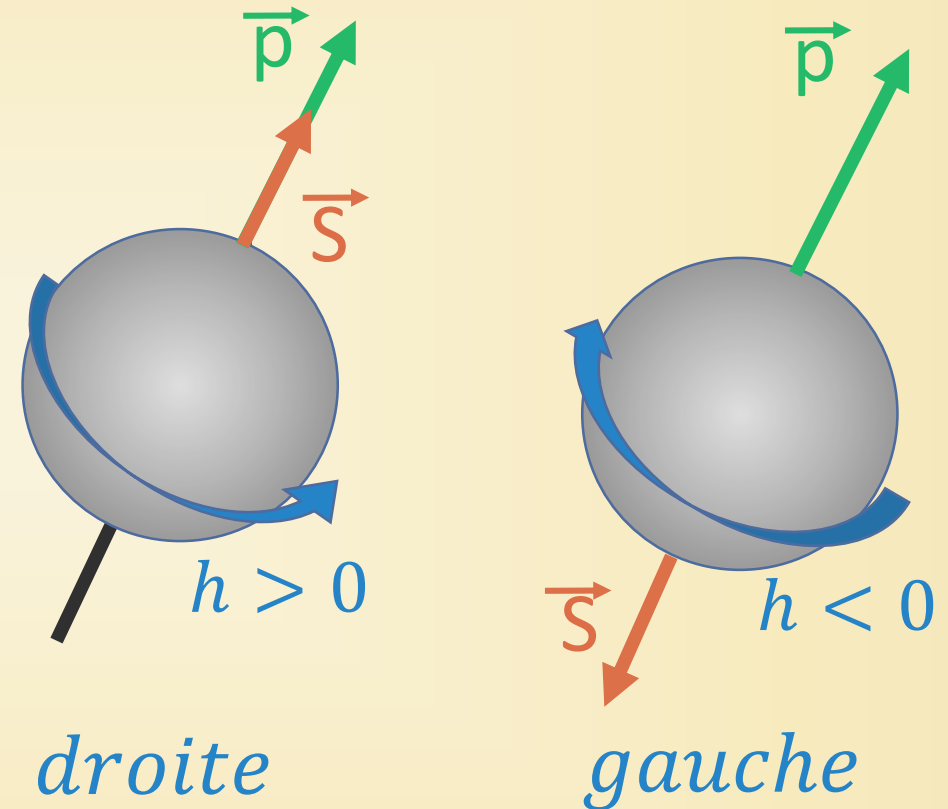
Contexte théorique

Chiralité

- Fermions : $S = \pm \frac{1}{2}$
- Hélicité : Projection du spin sur l'impulsion

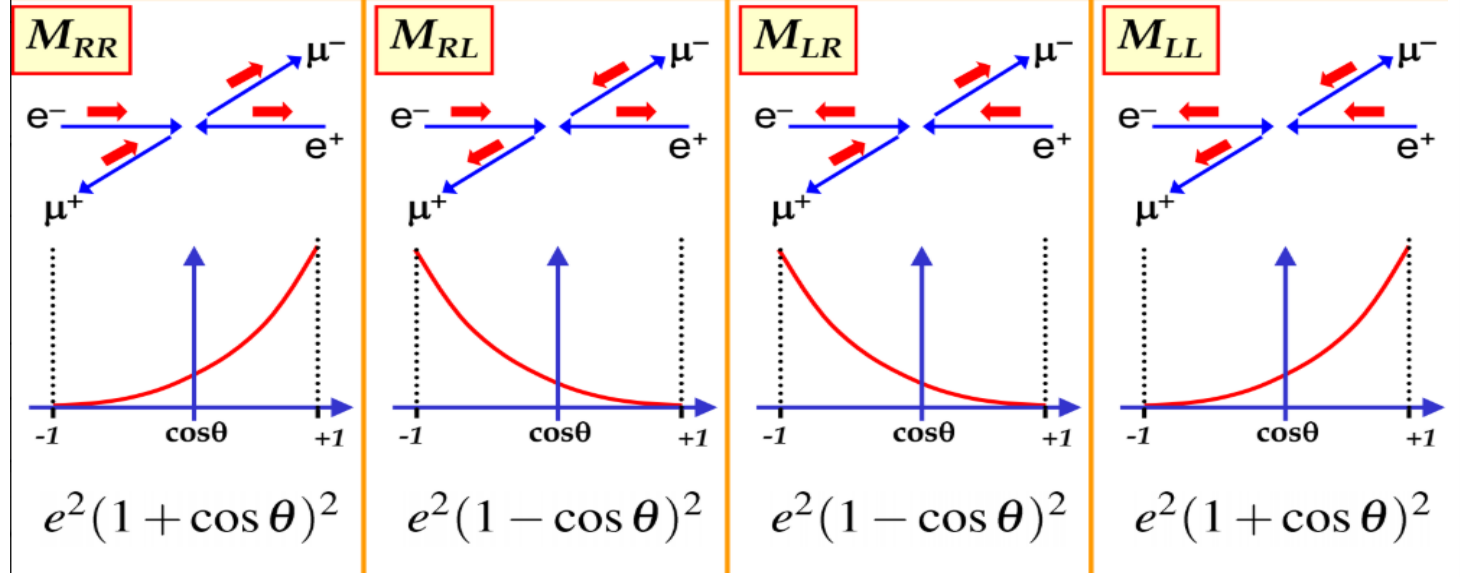
$$h = \frac{\vec{S} \cdot \vec{p}}{|\vec{p}|}$$

- Limite relativiste : chiralité = hélicité

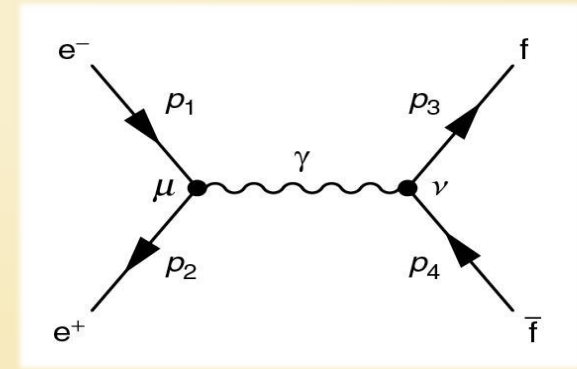


Contexte théorique

- 4 combinaisons dans l'état initial, 4 dans l'état final
- 16 combinaisons possibles ?
- En réalité seulement 4
- Conservation du spin



- Conservation de l'hélicité
- EM : autant de particules envoyées vers « l'avant » que vers « l'arrière »
- Le photon se couple de la même façon aux particules gauches/droites

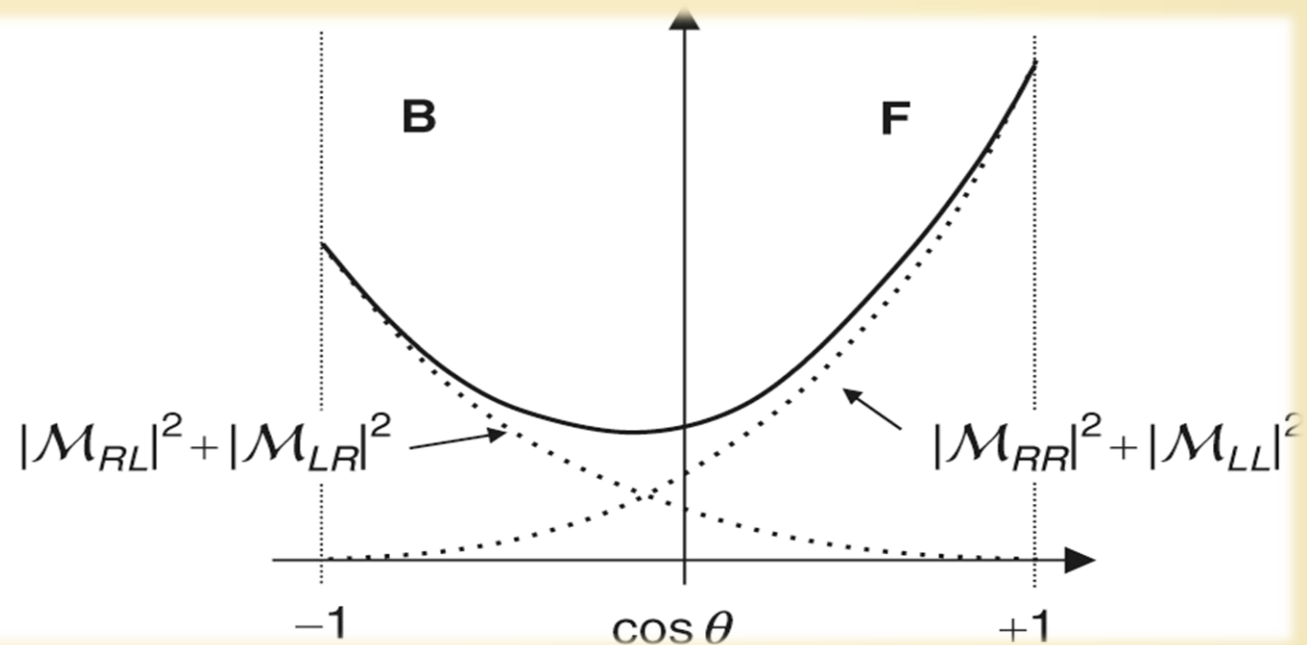


Contexte théorique

- Sommation des 4 contributions : apparition d'une asymétrie
- Plus de particules envoyées en « avant » qu'en « arrière »

$$A_{FB}^{\tau} = 0,0188 \pm 0,0017$$

- Le Z se couple différemment aux particules gauches et droites



$$N^{\tau} \propto A(1 + \cos \theta)^2 + B(1 - \cos \theta)^2$$

$$\rightarrow A_{FB}^{\tau} = \frac{3(A+B)}{4(A-B)} = \frac{3}{4} \mathcal{A}_e \mathcal{A}_{\tau} \sim \frac{3}{4} \mathcal{A}_{\tau}^2$$

Contexte théorique

- On définit le couplage du Z aux particules gauches/droites :

$$c_L = \underbrace{I_W^3}_{\text{Int. faible}} - \underbrace{Q}_{\text{EM}} \sin^2 \theta_W \qquad c_R = -\underbrace{Q}_{\text{EM}} \sin^2 \theta_W$$

- Le paramètre d'asymétrie d'un fermion est défini de la façon suivante :

$$\mathcal{A}_f = \frac{c_R^2 - c_L^2}{c_L^2 + c_R^2} \longrightarrow \text{Dépend de la } \underline{\text{chiralité}}$$

- La polarisation d'un fermion est définie de la façon suivante :

$$P_f = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} = -\mathcal{A}_f \longrightarrow \text{Dépend de } \underline{\text{l'hélicité}}$$

- La mesure expérimentale de P_τ ou A_{FB}^τ permet de déterminer θ_W

$$\sin^2 \theta_W = 0,23146 \pm 0,00012$$

Simulation

*-Simulation grâce à
l'environnement
Pythia*

*-Génération Monte
Carlo de collisions
e+e- basée sur la
théorie*

*-Utilisation du
module Tauola pour
l'étude spécifique des
leptons tau*

PYTHIA



TAUOLA



ARBRE DE DONNEES

Simulation

TAUOLA

Décroissances principales du τ :

τ	\rightarrow	$e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau$	17.83
τ	\rightarrow	$\mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau$	17.41
τ	\rightarrow	$\pi^- \nu_\tau$	10.83
τ	\rightarrow	$\pi^- \pi^0 \nu_\tau$	25.52
τ	\rightarrow	$\pi^- 2\pi^0 \nu_\tau$	9.30
τ	\rightarrow	$\pi^- \pi^+ \pi^- \nu_\tau$	9.00

Simulation

TAUOLA

$\tau \rightarrow \pi^- \nu_\tau \quad 100$

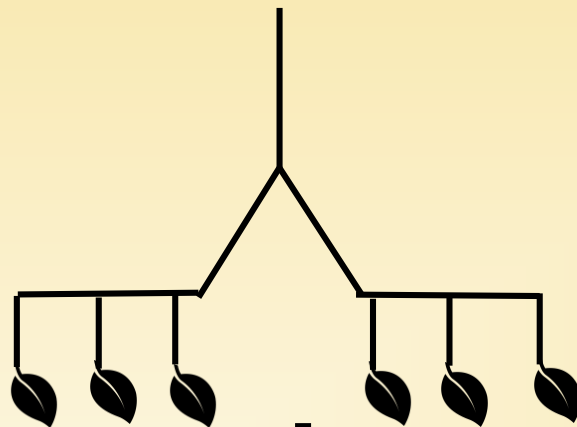
- Sélection d'un seul canal de décroissance
→ Simplicité d'étude
- Simulation de la trajectoire des τ sans désintégration
→ Corrélation τ /mesure

Simulation

-Stockage des données dans des arbres

-Extraction et traitement des données via le logiciel ROOT

-Création de macros (Remplissage d'histogrammes, fit, etc..)



Lecture des feuilles (données), sélection

HISTOGRAMMES

Combinaisons d'histogrammes, fits

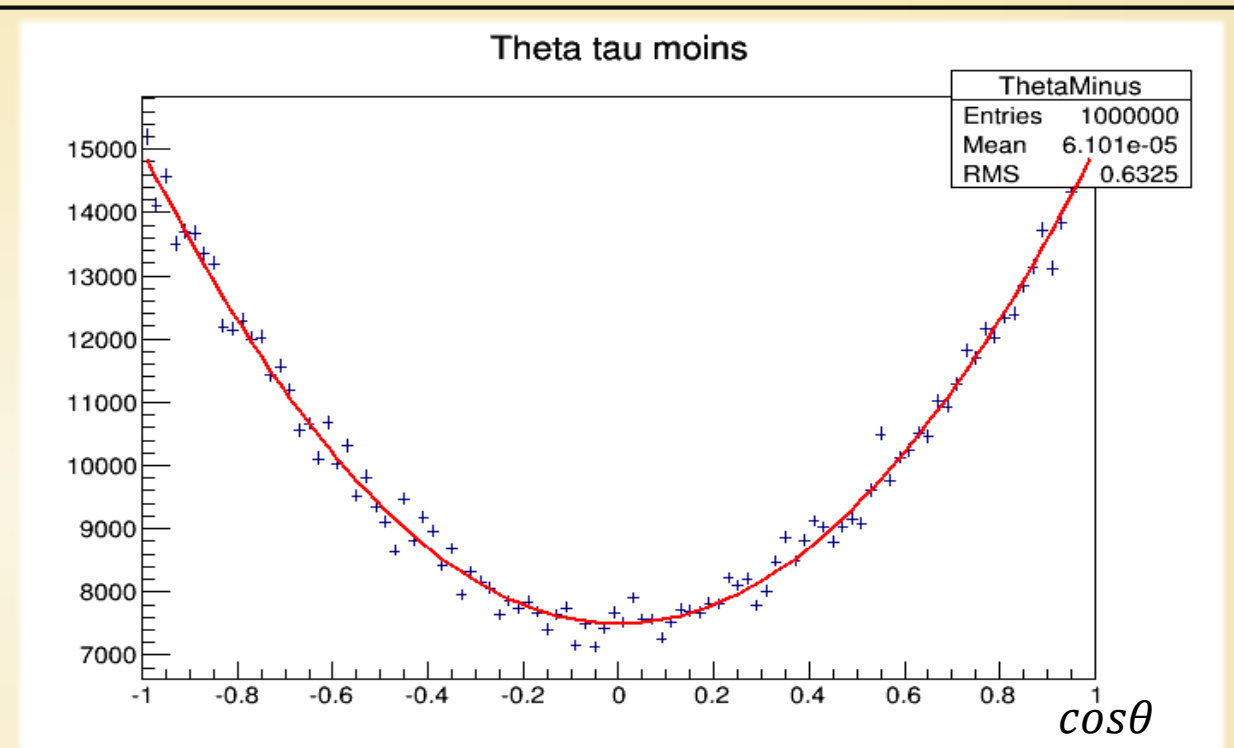
RESULTATS

Mesure de l'asymétrie F-B du τ

- 1 millions d'événements générés à $\sqrt{s} = M_Z = 91,19 \text{ GeV}$
- Histogramme : comptage des τ^- en fonction de $\cos\theta$
- Rappel :
$$N^\tau \propto A(1 + \cos\theta)^2 + B(1 - \cos\theta)^2$$
- Résultat :

$$A_{FB}^\tau = 0,0191 \pm 0,0012$$

→ Résultat cohérent avec la théorie



Points bleus : nombre d'événements = $f(\cos\theta)$

Courbe rouge : fit

$$N^\tau \propto \frac{3}{8} (1 + \cos^2 \theta) + A_{FB}^\tau \cos \theta$$

Mesure de l'asymétrie F-B du τ

- 1 millions d'événements générés

Theta tau moins

ThetaMinus	
Entries	1000000

Problème : Dans les conditions expérimentales

$$A_{FB}^{\tau} \simeq 0$$

→ **Résultat cohérent avec la théorie**

$$N^{\tau} \propto \frac{3}{8} (1 + \cos^2 \theta) + A_{FB}^{\tau} \cos \theta$$

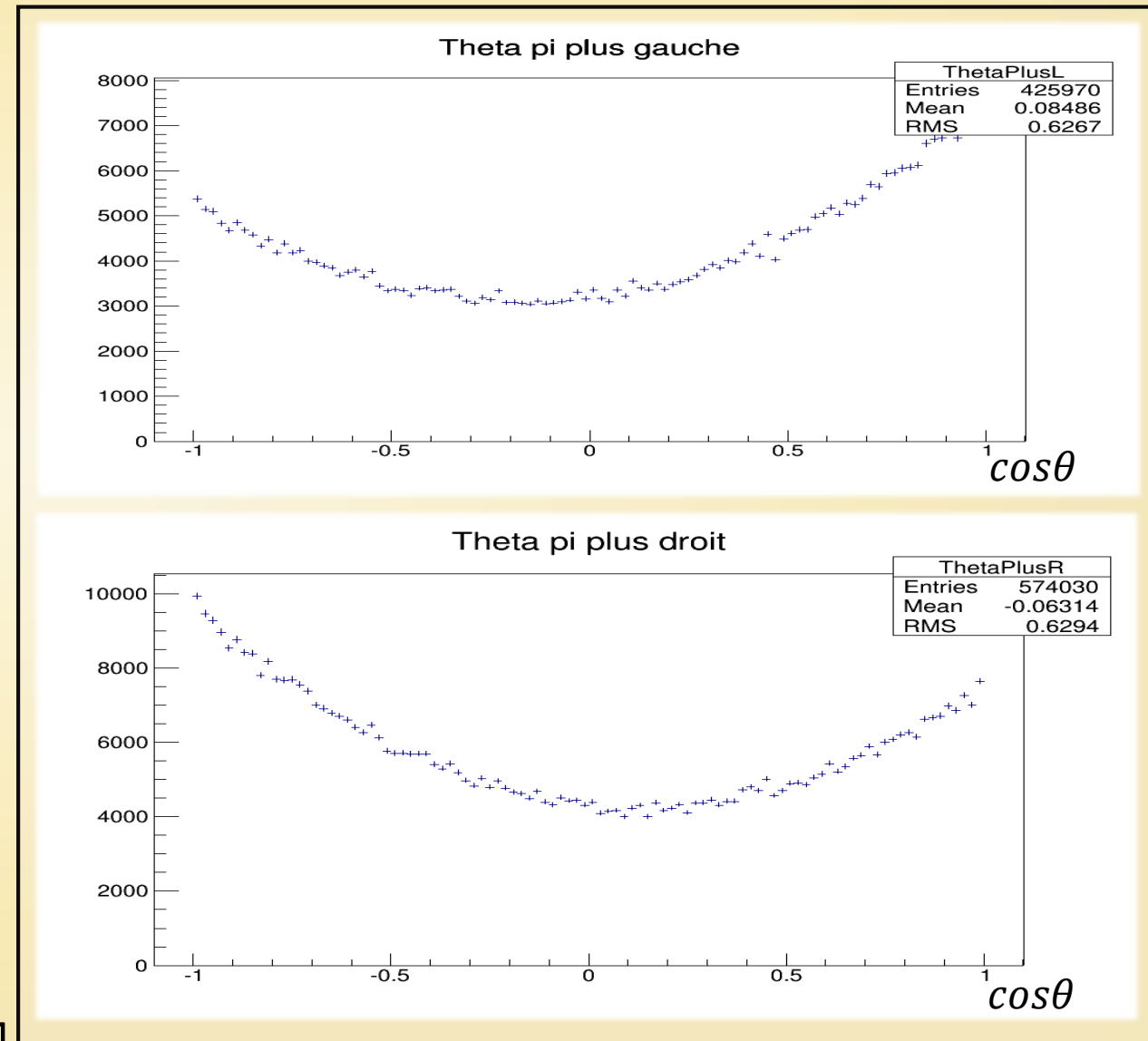
Mesure de la polarisation du τ

A partir de l'hélicité

- Pythia : accès à l'hélicité des τ
→ Pas accessible expérimentalement
- Mesure par comptage des τ gauches et droits :

$$P_{\tau} = \frac{h_{+} - h_{-}}{h_{+} + h_{-}} = 0,1481 \pm 0,0010$$

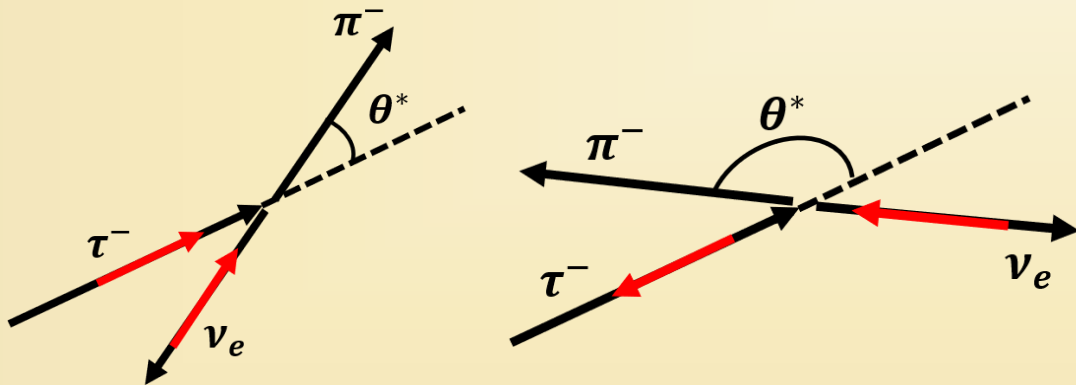
$$P_{\tau}^{\text{th}} = 0,1449 \pm 0,0040$$



Mesure de la polarisation du τ

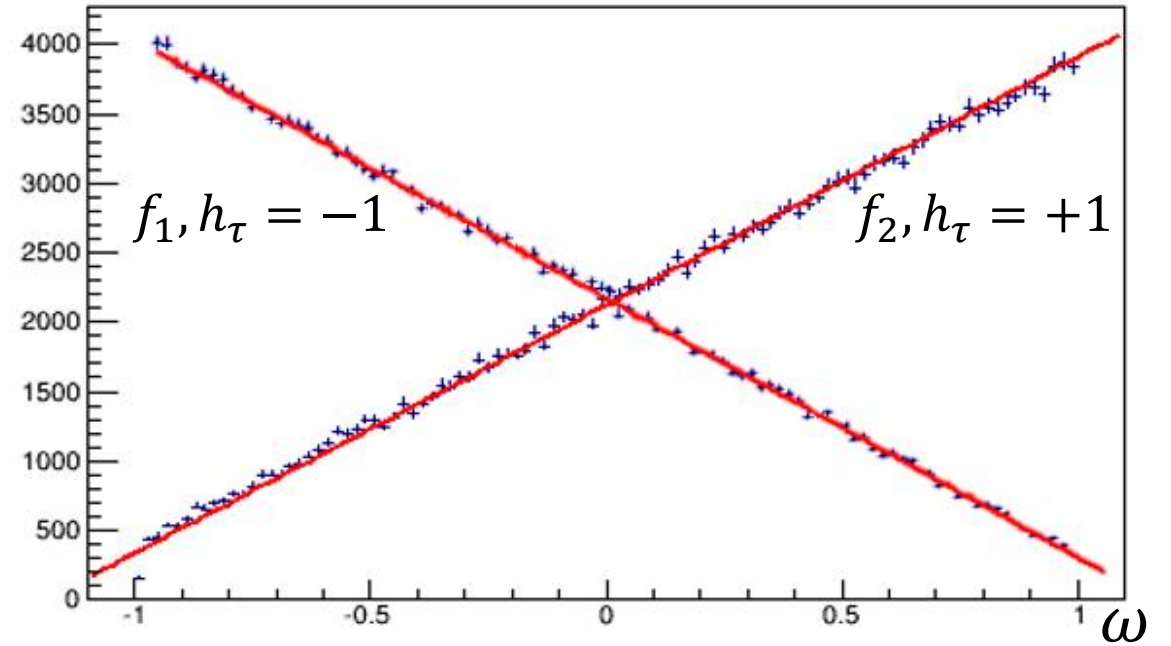
A partir de ω

- Pythia : accès à $\omega = \cos\theta^*$
- Accessible expérimentalement
- Détermine l'hélicité du τ :
- Neutrino toujours gauche
- Petit angle : Tau droit
- Grand angle : Tau gauche



15

Omega gauche/droite



Points bleus : nombre d'événements = $f(\omega)$

Courbe rouge : fit

$$f_1 = a_1 x + b_1, \quad a_1 < 0$$

$$f_2 = a_2 x + b_2, \quad a_2 > 0$$

Mesure de la polarisation du τ

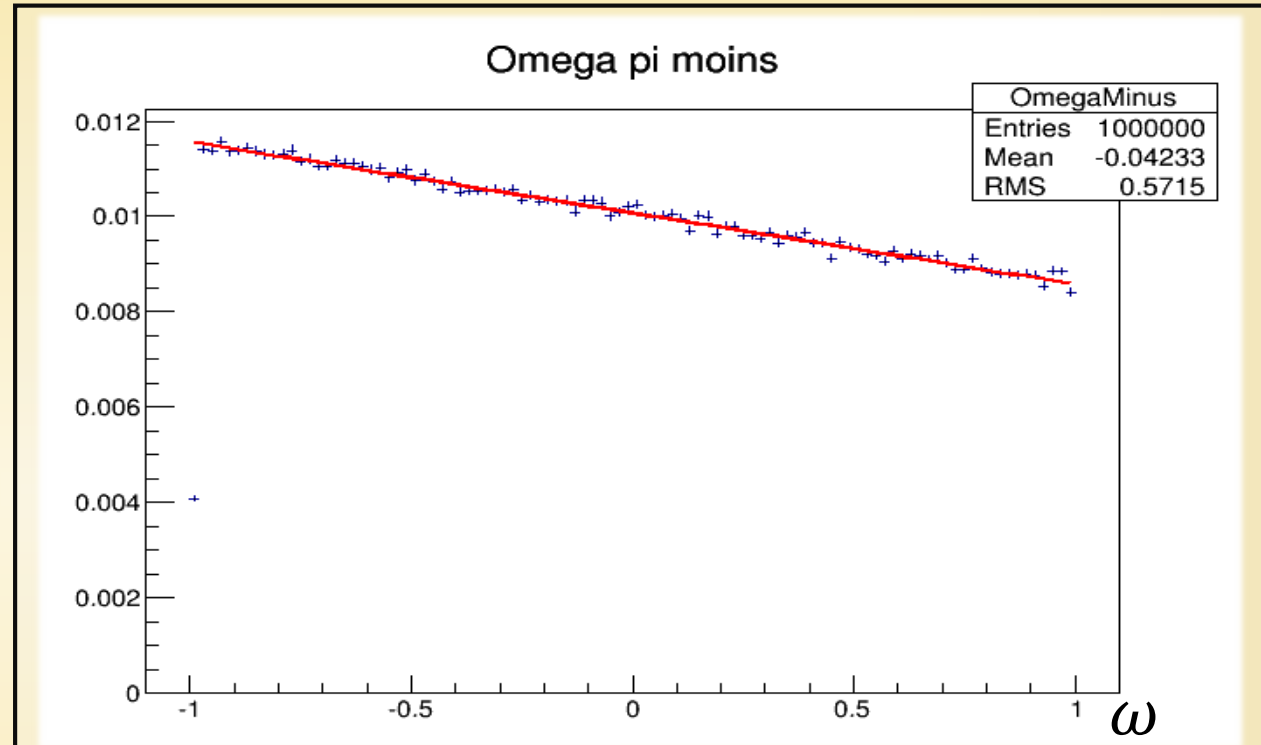
A partir de ω

- Pythia : accès à $\omega = \cos\theta^*$
- Accessible expérimentalement
- Détermine l'hélicité du τ
- Fit issu d'une combinaison linéaire des deux précédents :

$$P_{\tau} = \frac{A - B}{A + B}$$

$$P_{\tau} = 0,1479 \pm 0,0002$$

16



Points bleus : nombre d'événements = $f(\omega)$
Courbe rouge : fit

$$N \propto Af_1 + Bf_2$$

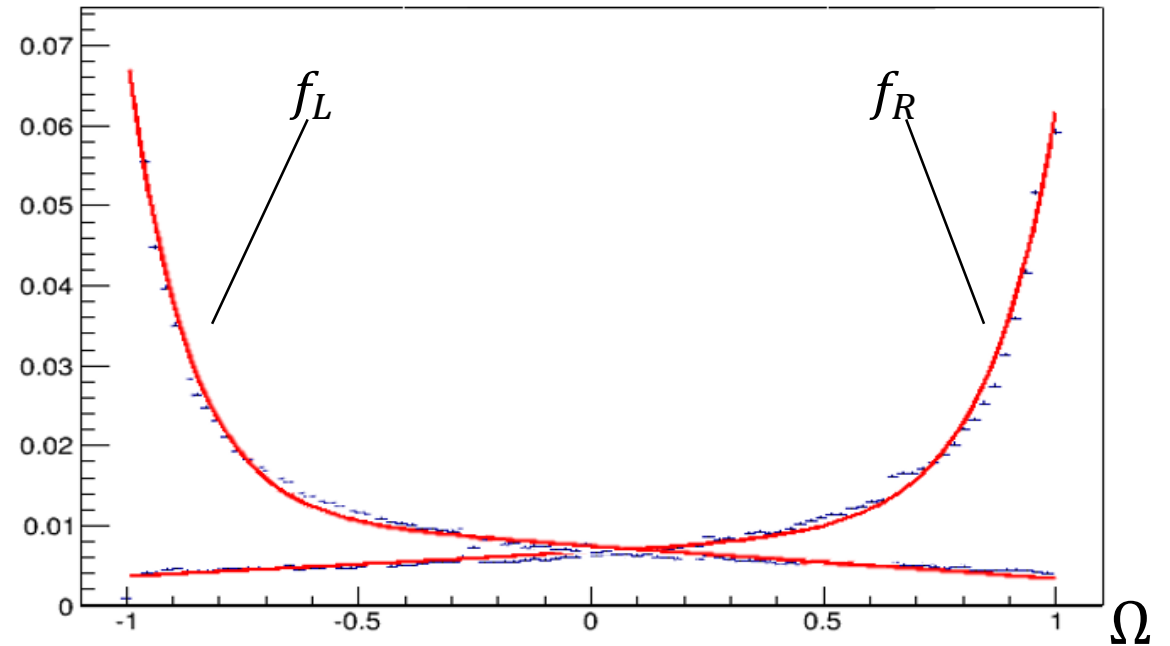
Mesure de la polarisation du τ

A partir de Ω

- Rappel :

$$\Omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{1 + \omega_1 \cdot \omega_2}$$

OMEGA gauche/droite



Points bleus : nombre d'événements = $f(\Omega)$

Courbe rouge : fit

$$f_R = a_1 \exp(b_1 x) + c_1 x + d_1, \quad b_1, c_1 > 0$$

$$f_L = a_2 \exp(b_2 x) + c_2 x + d_2, \quad b_2, c_2 < 0$$

Mesure de la polarisation du τ

A partir de Ω

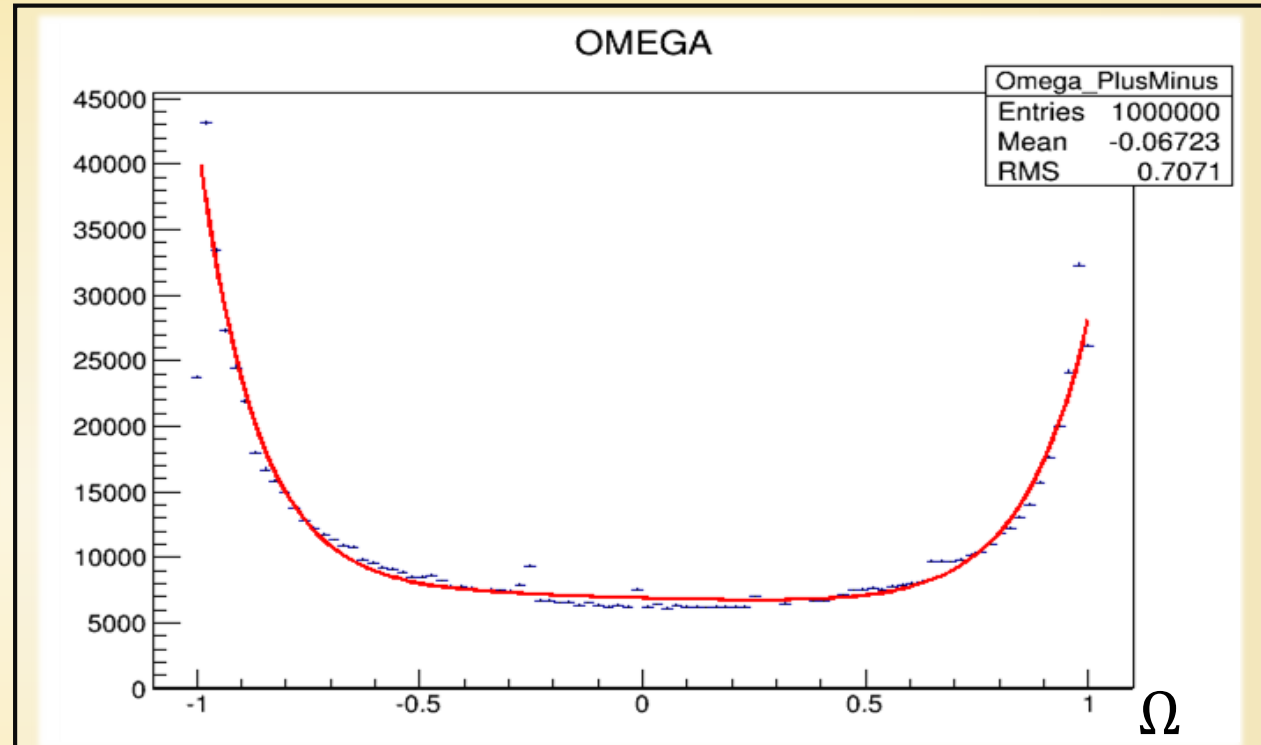
- Rappel :

$$\Omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{1 + \omega_1 \cdot \omega_2}$$

- Fit issu d'une combinaison linéaire des deux précédents :

$$P_\tau = 0,1449 \pm 0,0016$$

- Méthode précise mais peu efficace pour appliquer des coupures



Points bleus : nombre d'événements = $f(\Omega)$

Courbe rouge : fit

$$N \propto \frac{1}{2} [(1 - \mathcal{A}_\tau)f_1 + (1 + \mathcal{A}_\tau)f_2]$$

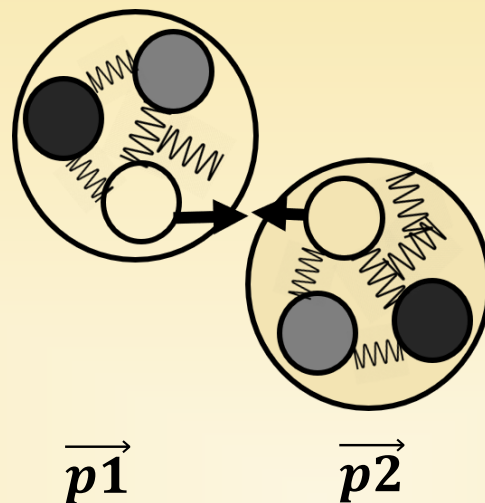
Mesure de la polarisation du τ

-Principales coupure sur l'impulsion transverse \mathbf{p}_T

-Important dans les collisions d'objets composites

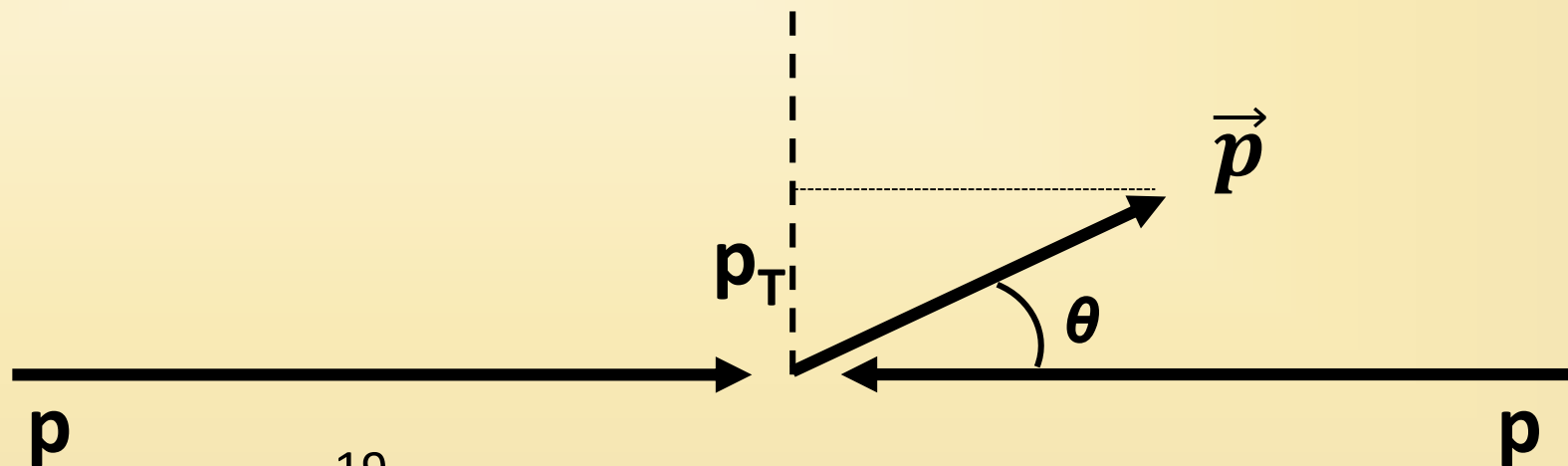
→ Impossibilité de connaître l'état initial en impulsion

-Détecteurs = acceptance sur p_T

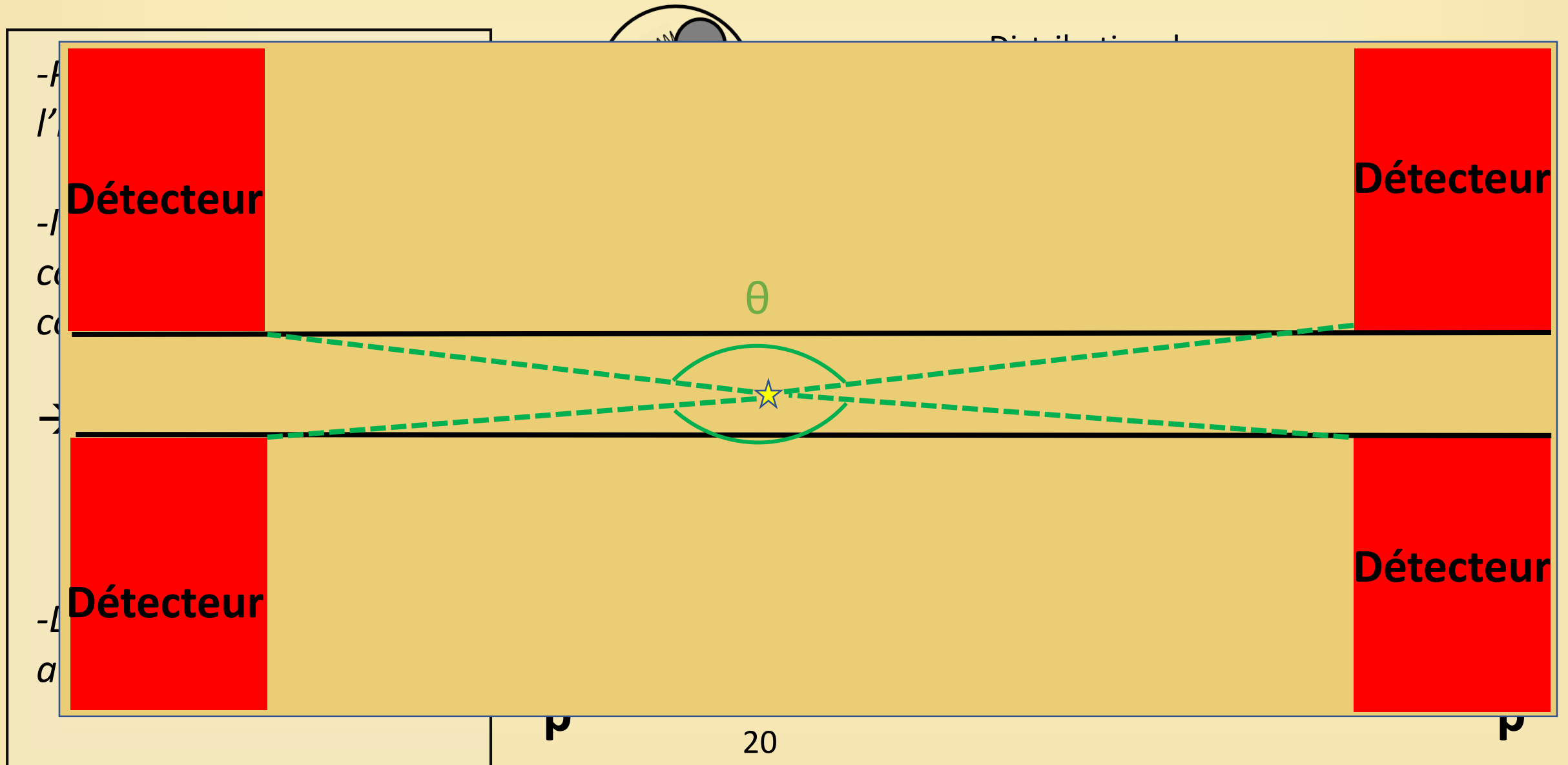


Distribution de l'impulsion ?

$$\rightarrow \sqrt{s} \neq p_1 + p_2$$



Mesure de la polarisation du τ

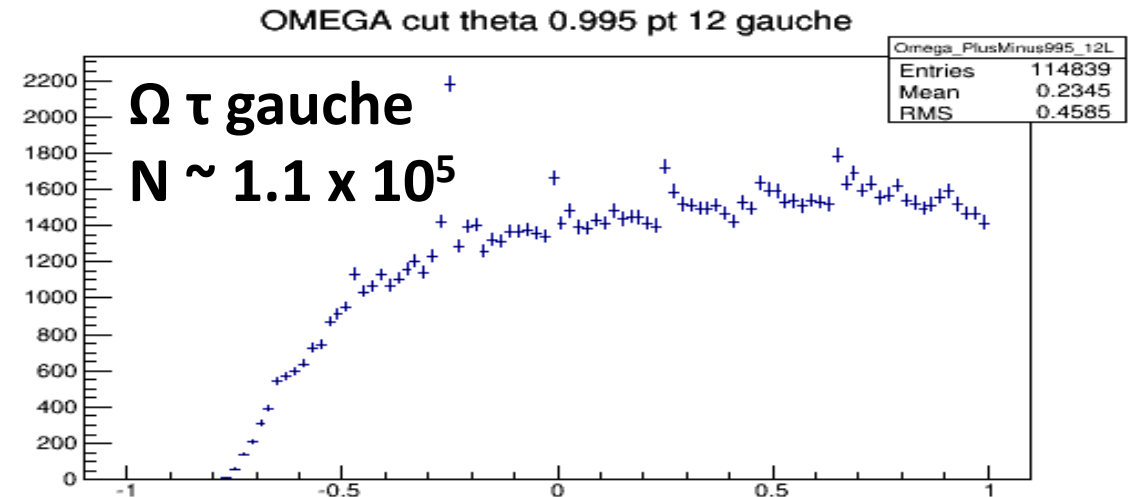
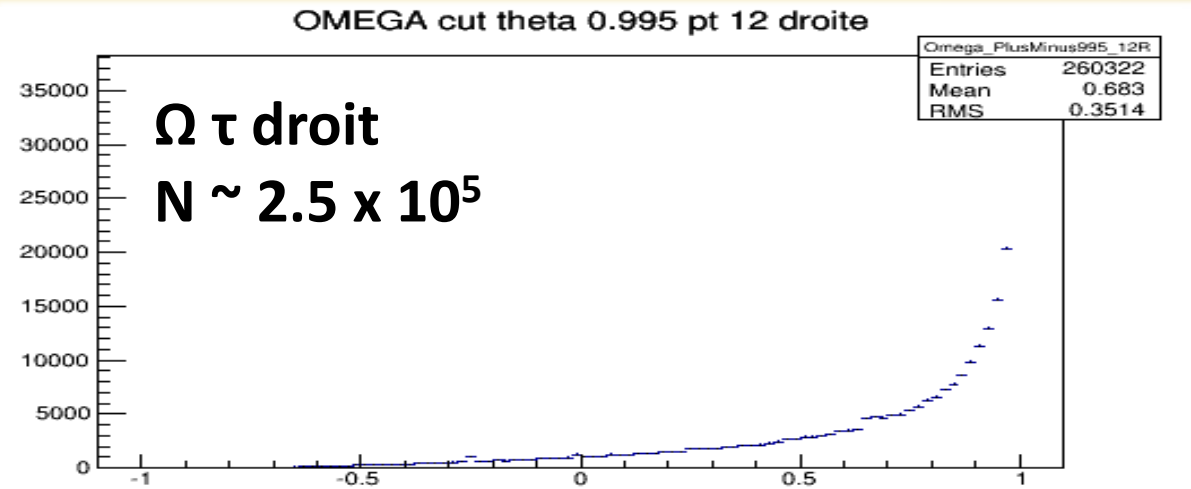


Mesure de la polarisation du τ

Coupure

-Cut sur les variables = perte de statistique

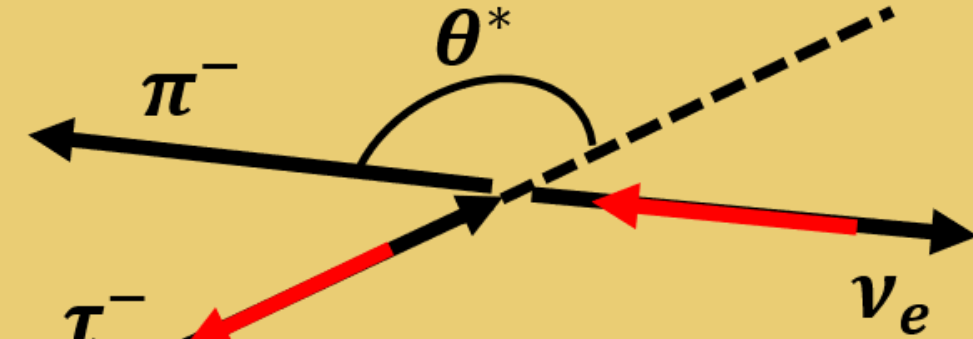
-Effet différent sur les produits des τ_L et τ_R



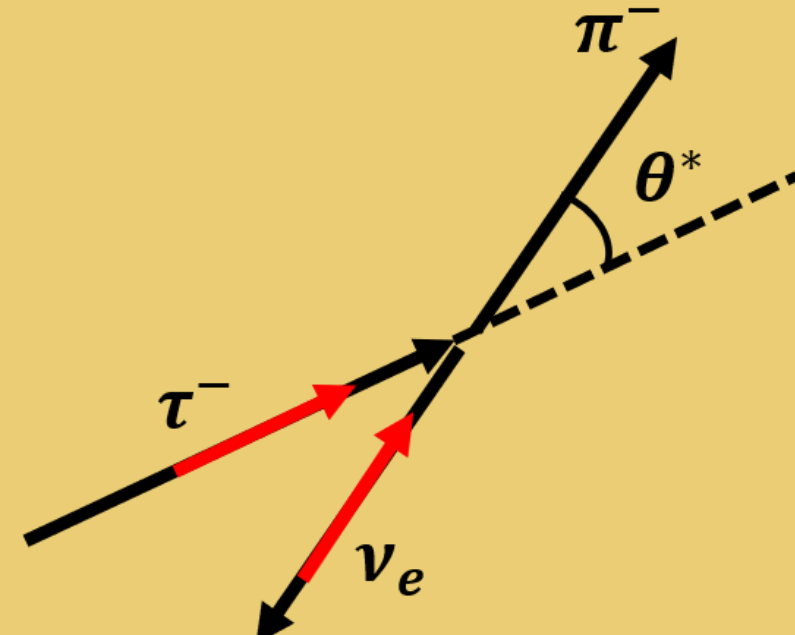
Mesure de la polarisation du τ

Coupure

Distribution de l'impulsion



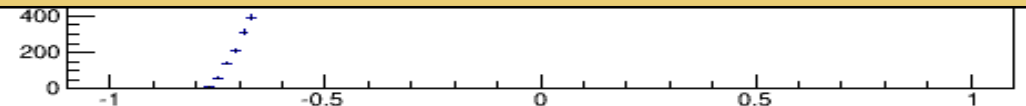
$\tau_L \rightarrow \vec{p}$ petit



$\tau_R \rightarrow \vec{p}$ grand

OMEGA cut theta 0.995 pt 12 droite

Omega_PlusMinus995_12R	
Entries	260322
Mass	0.633
	4



Mesure de la polarisation du τ

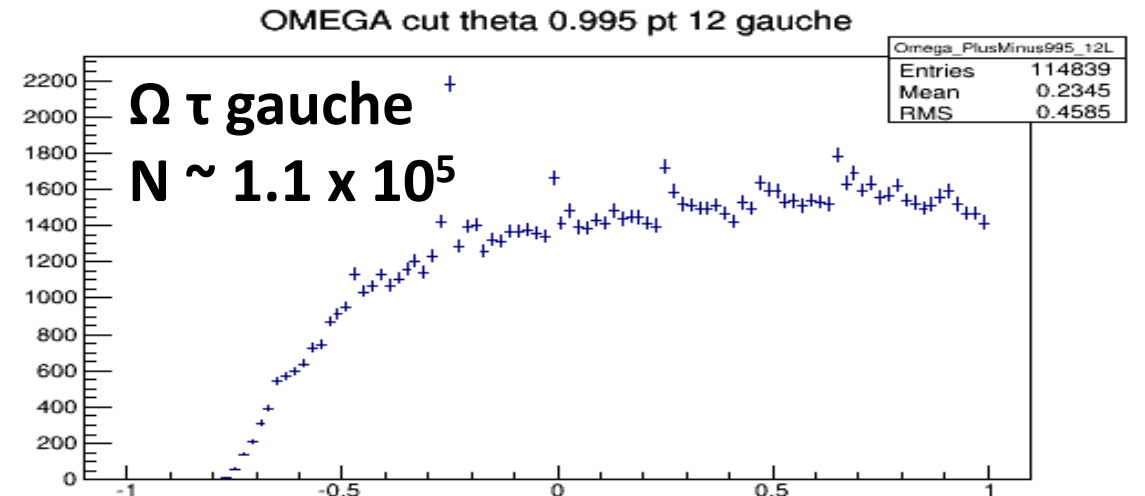
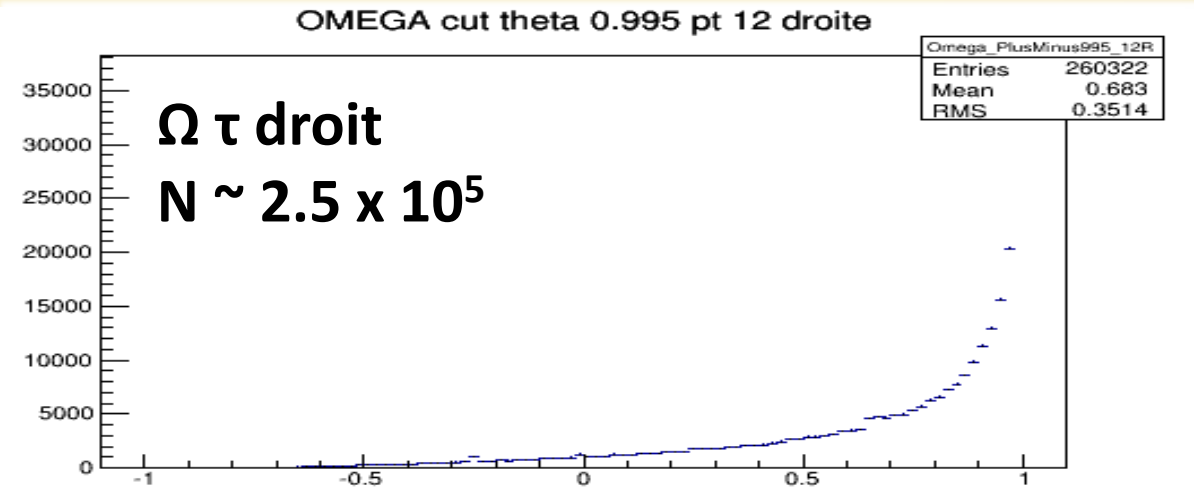
Coupure

-Cut sur les variables = perte de statistique

-Effet différent sur les produits des τ_L et τ_R

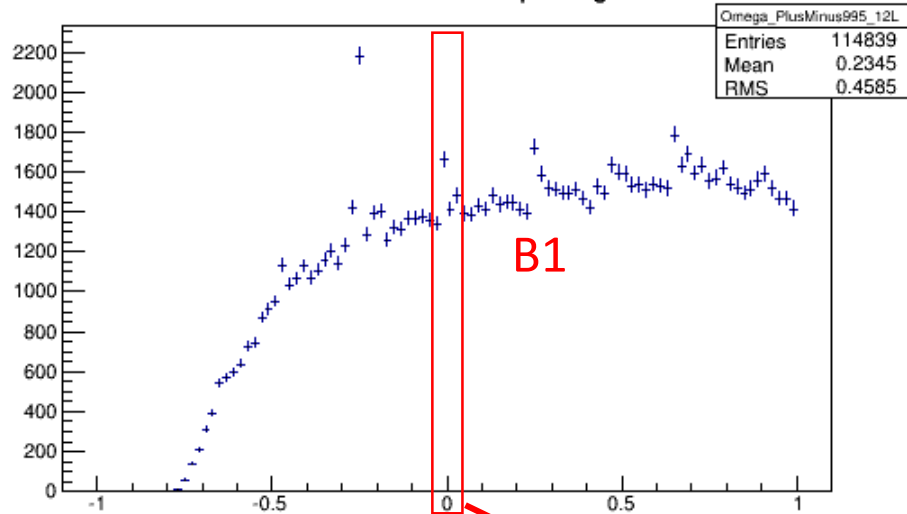
→ Evolution des histogrammes :
Impossibilité d'ajustement analytique

-**Solution** : Macro réalisant un fit des histogrammes bin par bin (= template fit)

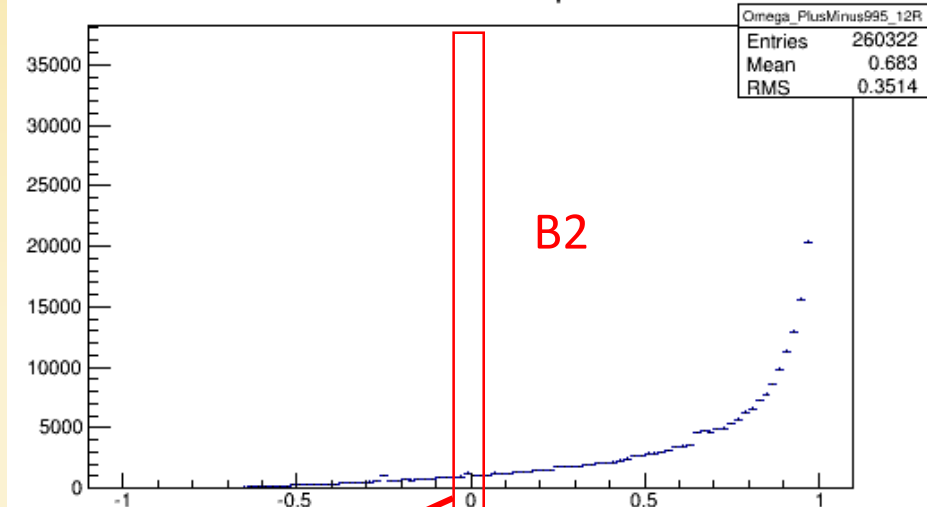


Template fit

OMEGA cut theta 0.995 pt 12 gauche



OMEGA cut theta 0.995 pt 12 droite

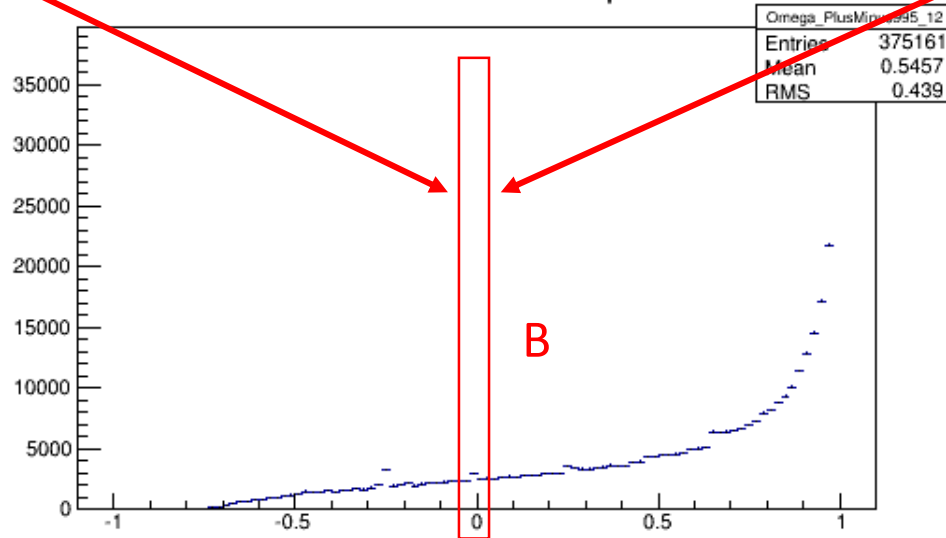


$$B \propto \frac{1}{2} [(1 - \mathcal{A}_\tau) B1 + (1 + \mathcal{A}_\tau) B2]$$

α

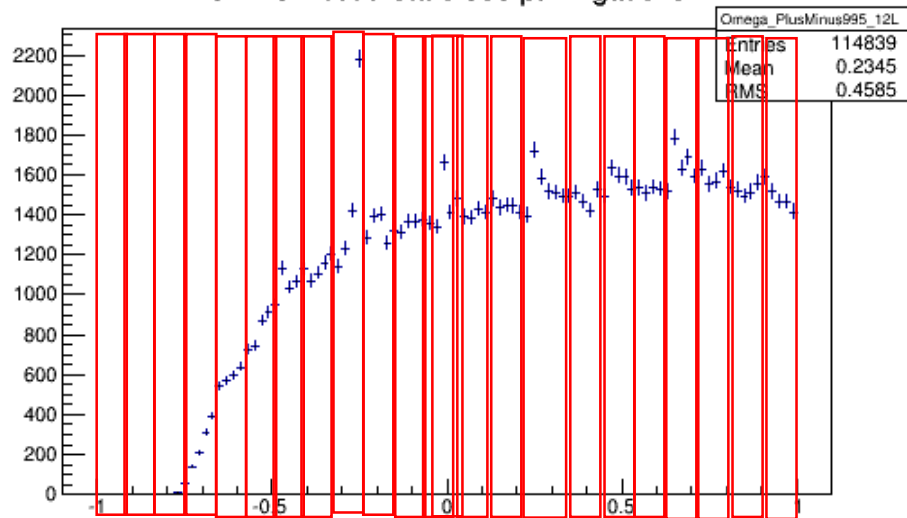
β

OMEGA cut theta 0.995 pt 12

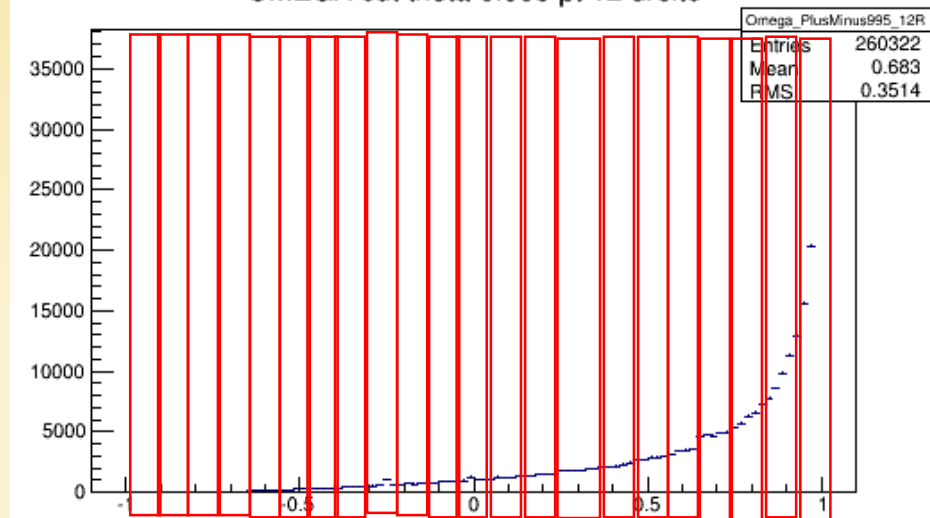


Template fit

OMEGA cut theta 0.995 pt 12 gauche



OMEGA cut theta 0.995 pt 12 droite



$$B \propto \frac{1}{2} [(1 - \mathcal{A}_\tau) B1 + (1 + \mathcal{A}_\tau) B2]$$

$\alpha_1, \dots, \alpha_n$



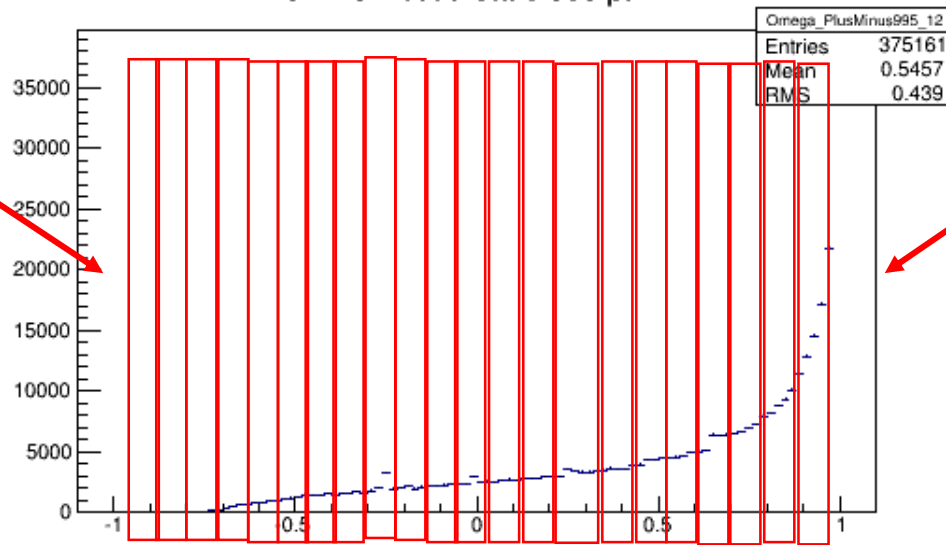
α_{opti}

β_1, \dots, β_n



β_{opti}

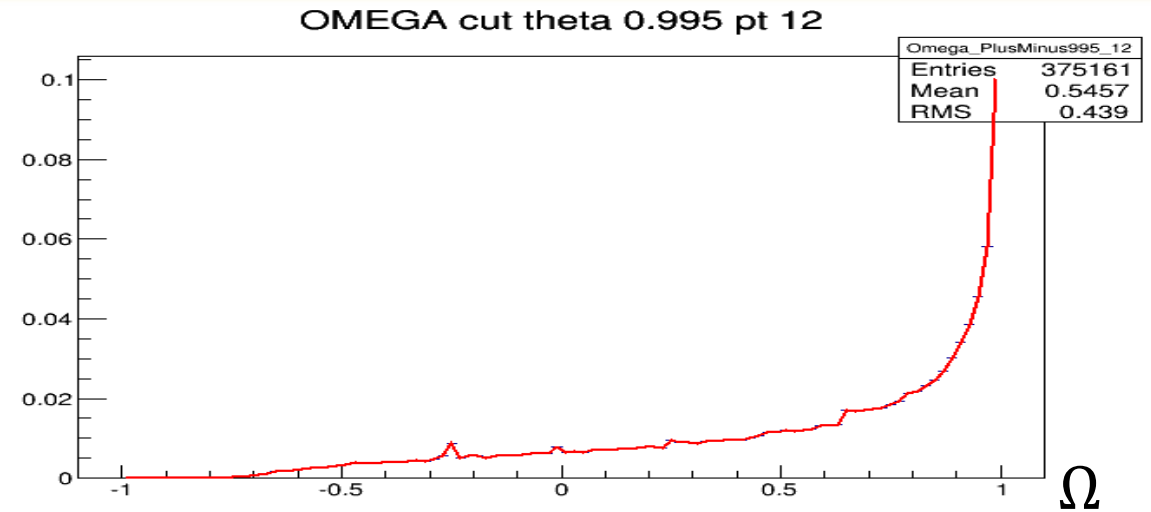
OMEGA cut theta 0.995 pt 12



Mesure de la polarisation du τ

Template fit

- On fit les données en appliquant différentes coupures sur θ_π et p_t
- Principal impact statistique : coupures sur p_t
- On obtient la polarisation en fonction des coupures (= valeur attendue pour des données de détecteurs)



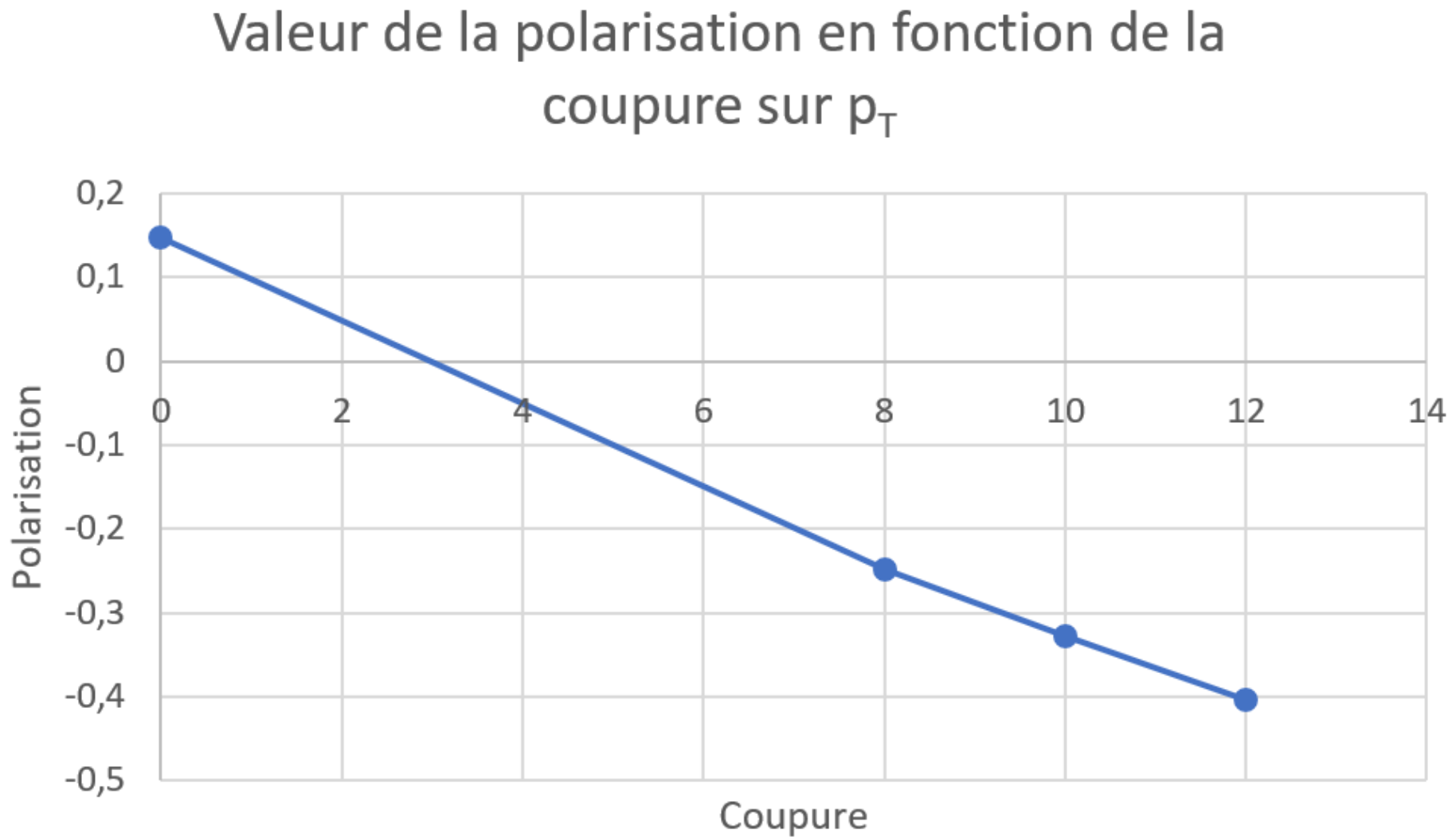
Cut	p_0	p_1	Δ_0	Δ_1	Pol
$\theta : 0 \ p_t : 0$	0.4241	0.5725	0.00128	0.00139	0.1489
$\theta : 0.998 \ p_t : 0$	0.4243	0.5723	0.00128	0.00139	0.1485
$\theta : 0.995 \ p_t : 0$	0.4244	0.5722	0.00128	0.00140	0.1483
$\theta : 0.995 \ p_t : 8$	0.6210	0.3738	0.00218	0.00195	-0.2485
$\theta : 0.995 \ p_t : 10$	0.6602	0.3340	0.00244	0.00212	-0.3281
$\theta : 0.995 \ p_t : 12$	0.6971	0.2967	0.00275	0.00233	-0.4030

Mesure de la polarisation du τ

-On fit les données pour différentes coupures

-Principal Component Analysis sur p_t

-On obtient des coupures optimales à partir des données de simulation



PlusMinus995_12
es 375161
n 0.5457
0.439

Pol
0.1489
0.1485
0.1483
-0.2485
-0.3281
-0.4030

Conclusion

Prise en main ROOT

Introduction à la théorie électrofaible

*Développement de méthodes d'analyse de données utilisables sur de vrais échantillons
(ex: CMS)*

Mais approfondissement possible :

Etude similaire des autres canaux de désintégration du τ

Réflexion expérimentale sur la manière de réduire les coupures



Remerciements

Merci pour votre attention !

Merci également à :

- Ulrich GOERLACH pour son encadrement et ses relectures.
- Clément GRIMAULT et Guillaume BOURGATTE pour leur aide apportée au développement de nos codes.
- L'équipe CMS pour son accueil.

Théorie électrofaible

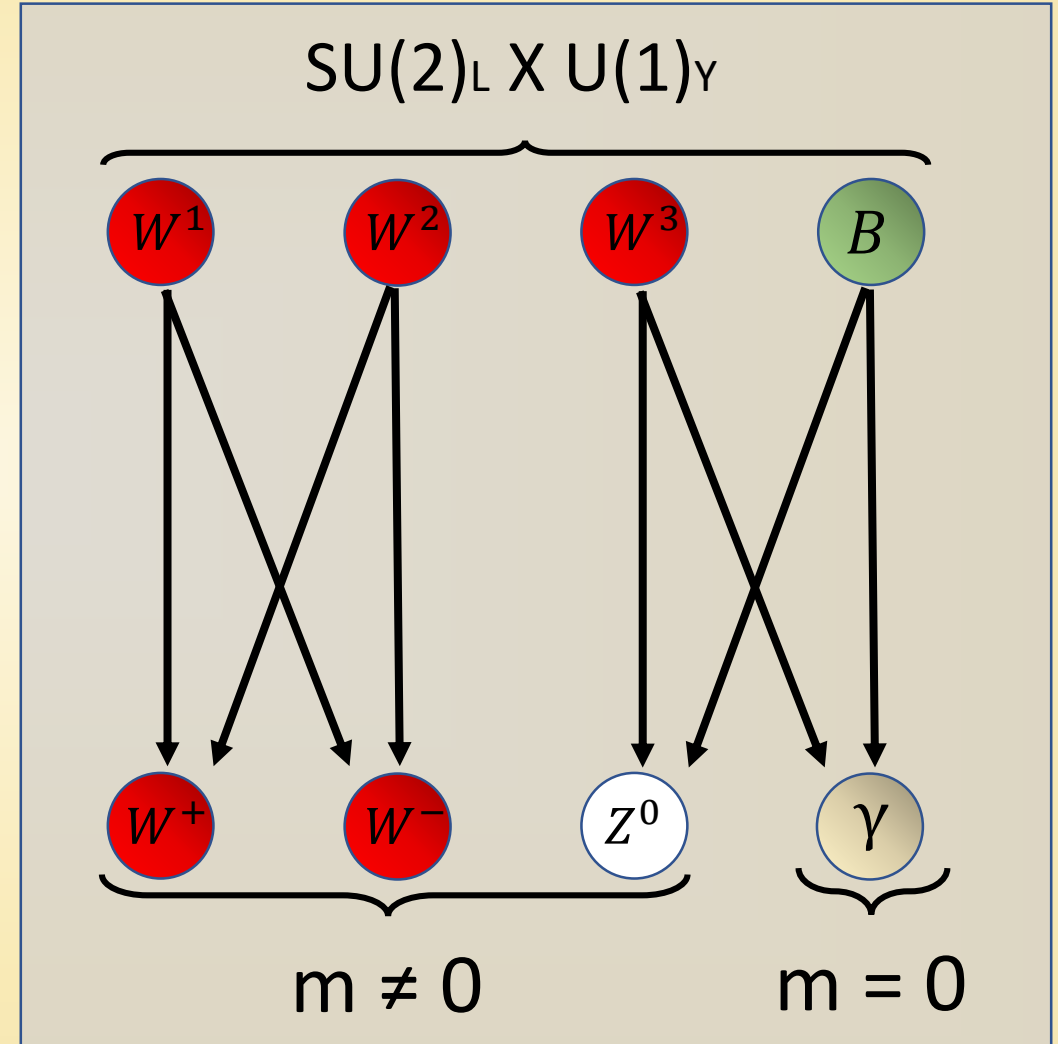
Après brisure

- Les bosons W et Z acquièrent une masse via le mécanisme de Higgs (boson de Higgs)
→ *Interaction faible*
- Le photon reste sans masse
→ *Electromagnétisme*

$$W^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{2}} (W^1 \pm iW^2)$$

$$Z^0 = W^3 \cos \theta_W - B \sin \theta_W$$

$$\gamma = W^3 \sin \theta_W + B \cos \theta_W$$



Rayonnement dans l'état initial

Corrections ISR

- ISR : *Initial State Radiation*
- Les particules peuvent rayonner avant la collision
 - Perte d'énergie
 - Modifie la valeur centrale et la largeur du pic

