

## Avant-propos

Ceci ne constitue en rien une revue exhaustive mais plutôt une promenade sur les sujets qui ont retenu mon attention (ou celle de ceux que j' a plagié)

Les résultats de physique proviennent le plus souvent de simulations rapides du détecteur mais aussi de simulations détaillées du détecteur, en particulier BRAHMS développé sur GEANT3 et maintenant MOKKA, développé sur GEANT4.

# La physique au TLC

Ce que nous savons, ou presque, voir au collisionneur linéaire  
entre le Z et 1 TeV

Impact des contraintes indirectes, les effets quantiques

Refaire le Z

Refaire WW

Etude du top et mesure précise de sa masse

Etude du Higgs

Diffusion WW

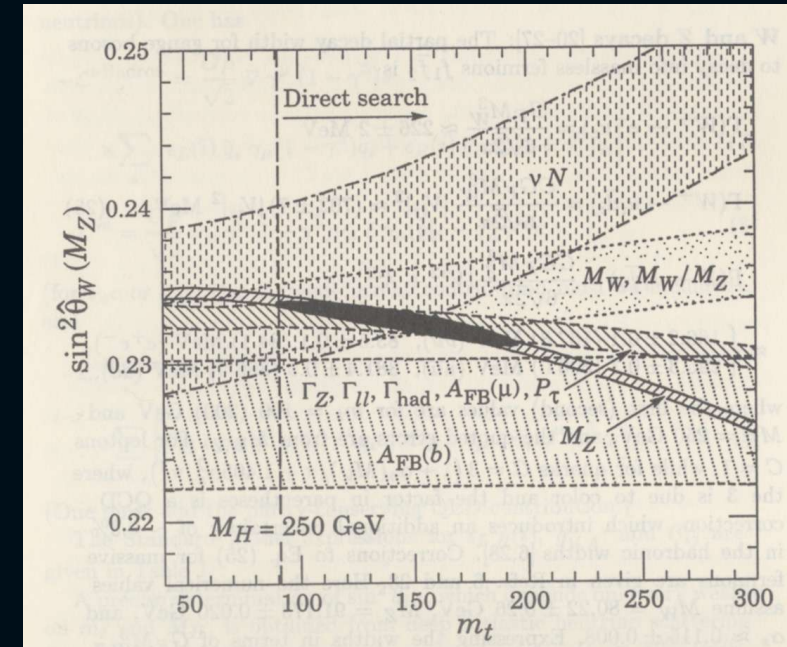
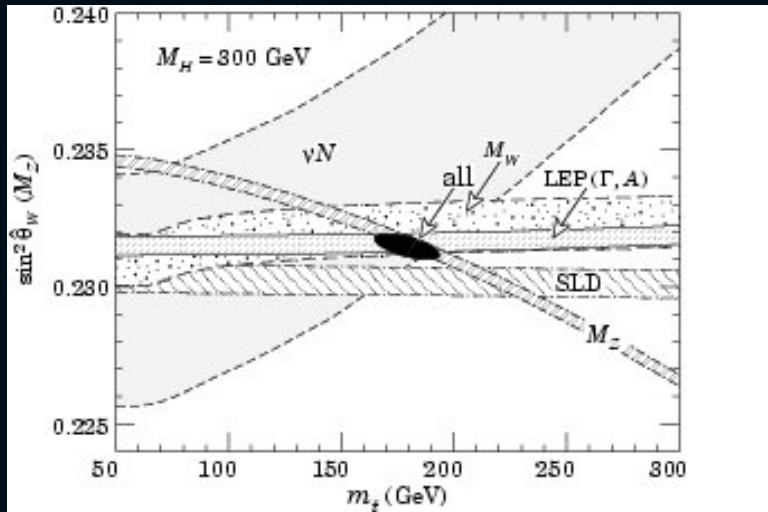
Supersymétrie

Alternatives

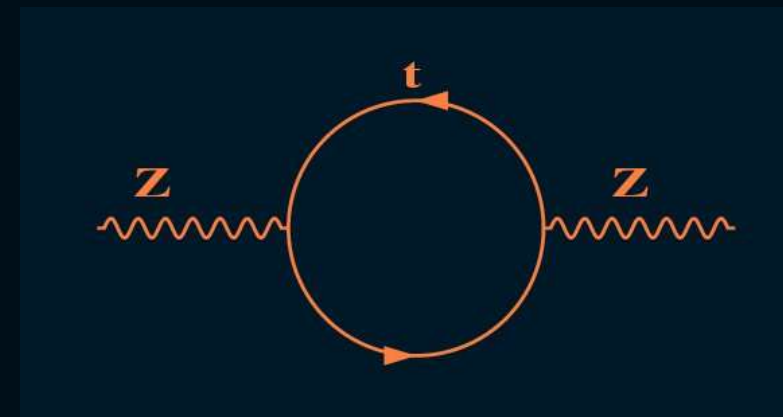
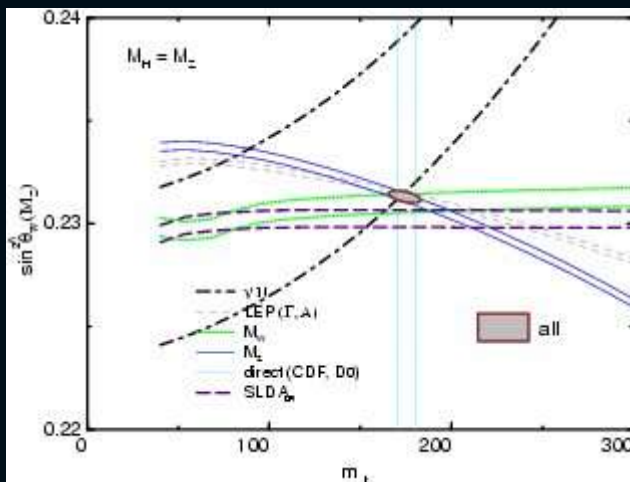
C'est au niveau des corrections quantiques que nous témoignons de notre compréhension tant théorique qu' expérimentale

Voir le top

Les mesures indirectes



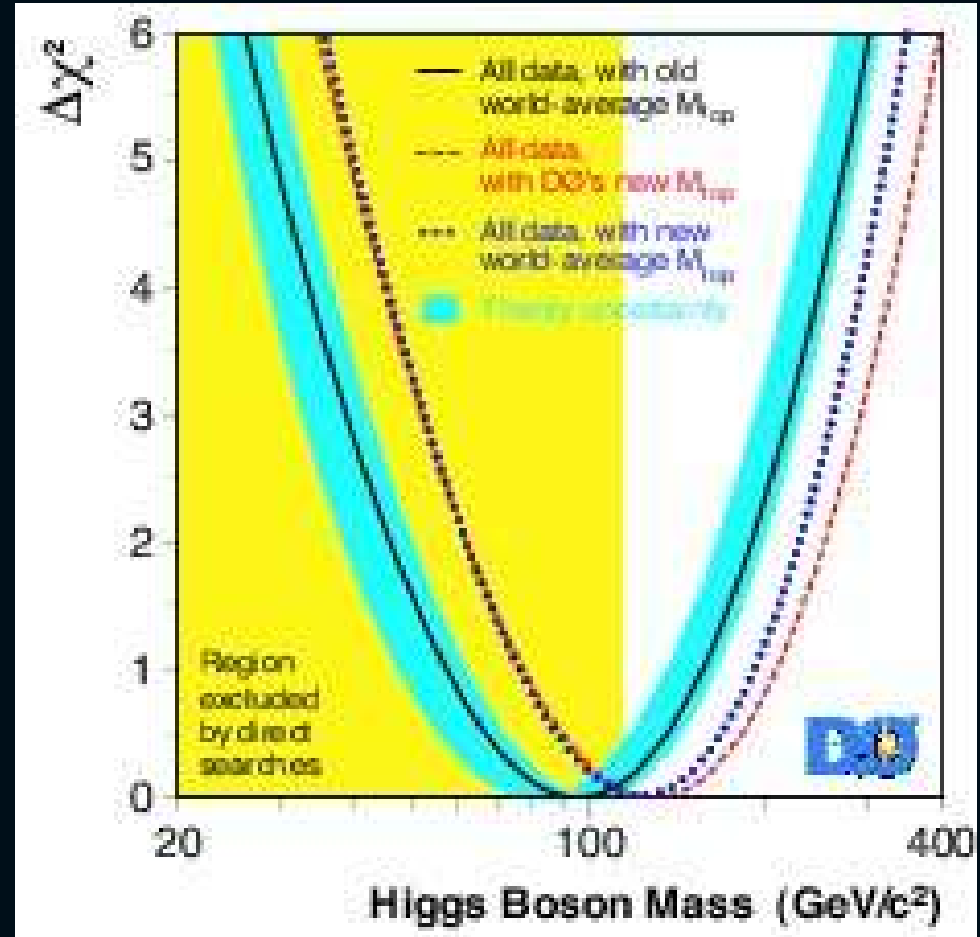
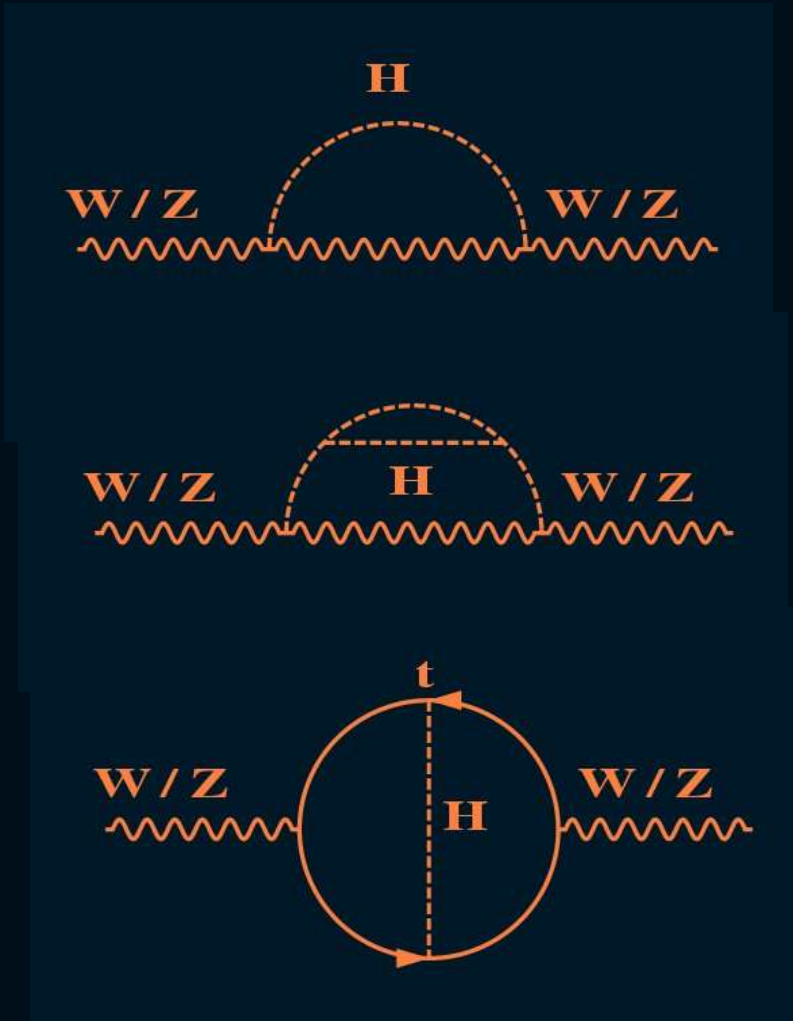
Comment les mesures de  $M_Z$ ,  $\Gamma_Z$ ,  $M_W$ , prédisent la masse du top



Extraits de Review of particle properties

# Impact des contraintes indirectes, les effets quantiques

ont prouvé leur impact avec la masse du top, celle du Higgs?

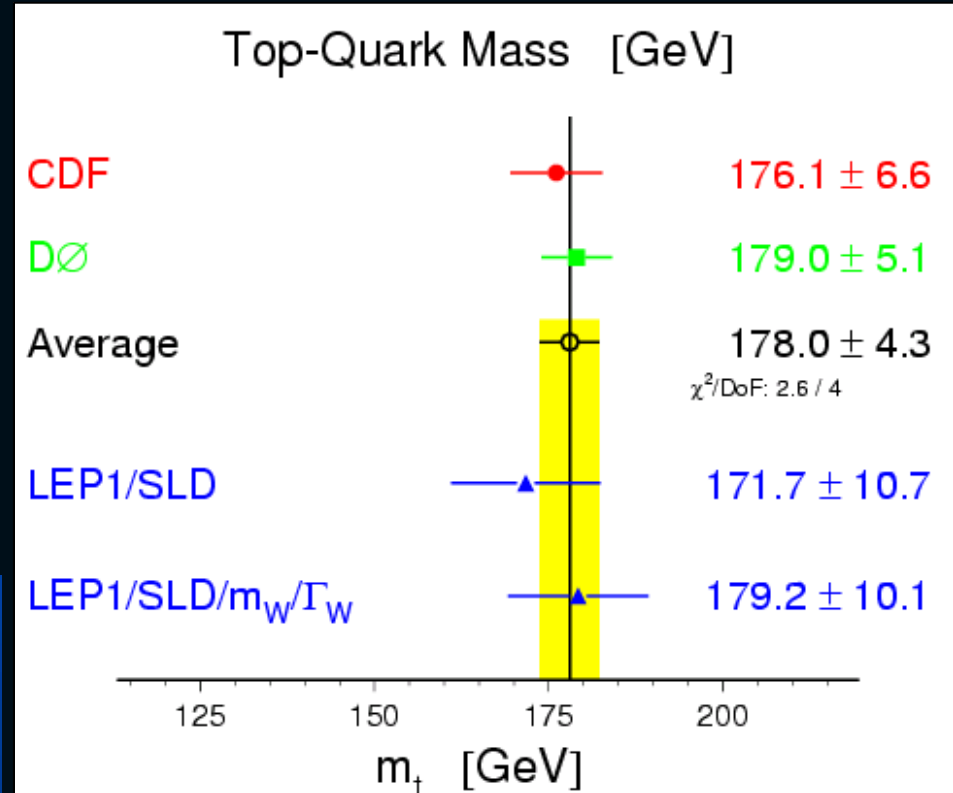


$M_H = 117 \text{ GeV}$

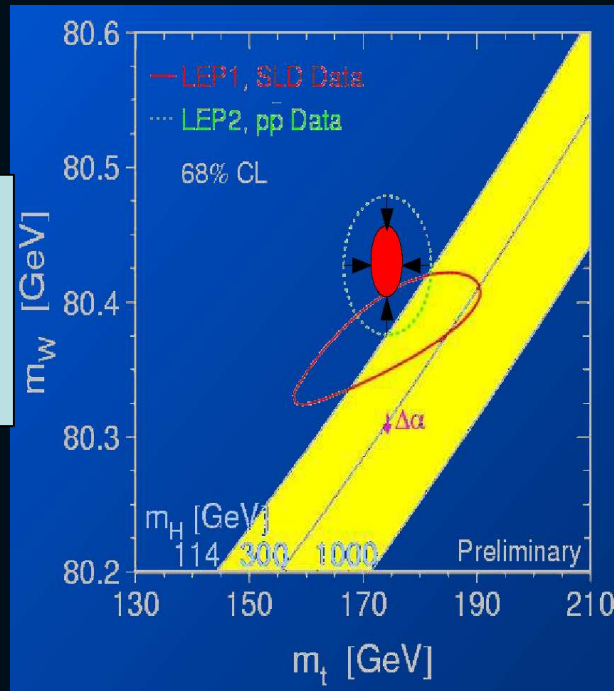
une clef possible en cas de désert

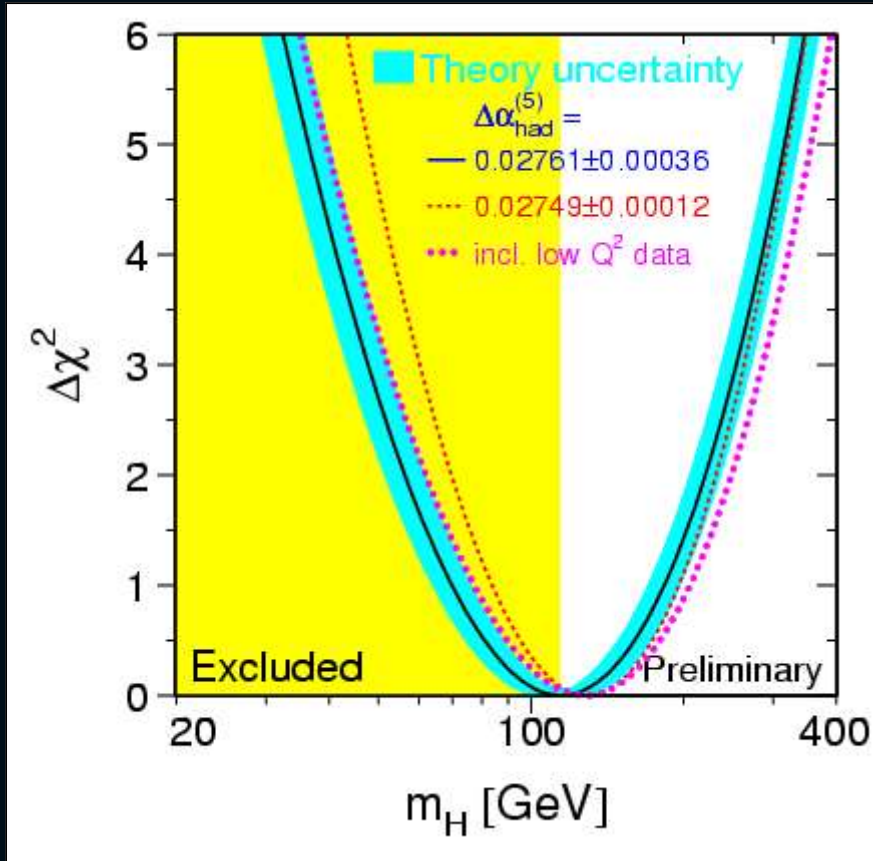
# Extraits du summary talk de Beijing par J. Ellis

**New world average (Run 1 only):**  
 $m_t = 178.0 \pm 2.7(\text{stat}) \pm 3.3(\text{syst}) \text{ GeV}$   
 $= 178.0 \pm 4.3 \text{ GeV}$



Future  
Tevatron  
Prospects





Global electroweak fit — high Q<sup>2</sup> data

$m_t = 178.2 \pm 3.9 \text{ GeV}$   
 $s(M_Z) = 0.1186 \pm 0.0027$   
 $m_H = 114^{+69}_{-45} \text{ GeV}$   
 $\chi^2 = 15.8/13 \text{ df} \quad (\text{prob} = 26 \%)$   
 $m_H < 260 \text{ GeV} \quad (95\% \text{ cl})$

for  $\alpha_{\text{had}}^{(5)}(M_Z) = 0.02749 \pm 0.00012 \quad m_H = 129 \text{ GeV}$

BES et al

un déplacement de  $m_t$  de 4 GeV induit 20 GeV sur  $m_H$

## Le CL peut-il améliorer ces mesures indirectes?

Le CL dispose a priori d' une assez grande souplesse pour varier son énergie (vers le bas).

Enregistrer des données au Z, très abondantes, est certainement une bonne manière d' étalonner l' accélérateur et le détecteur.

Aux luminosités envisagées, il est aisé d'accumuler 100 fois la statistique du LEP . Le GigaZ.

Ceci représente des centaines d' événements par seconde.

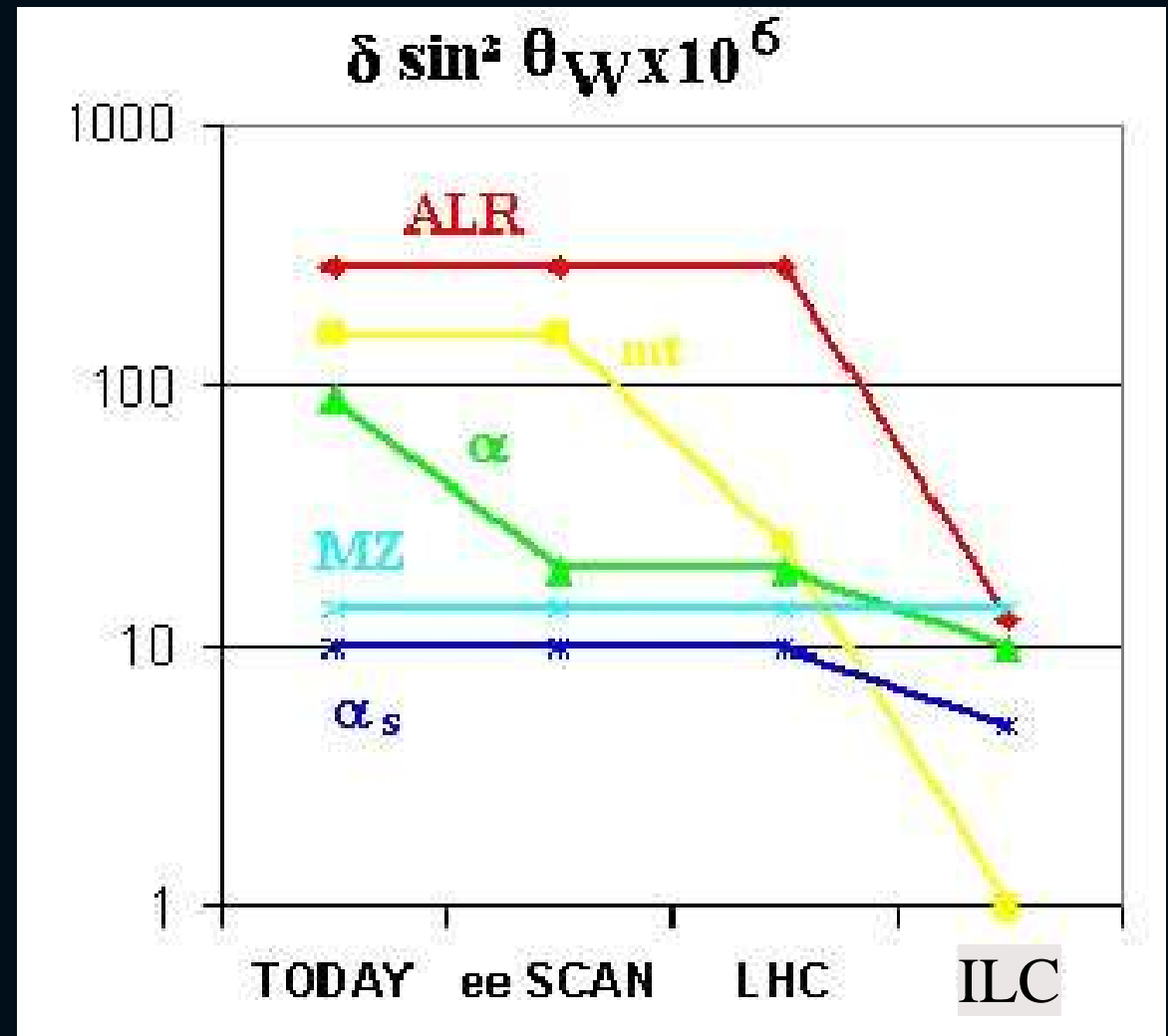
A priori des mesures remarquables

La polarisation des faisceaux permet une mesure de  $A_{LR}$  et donc  $\sin^2\theta_W$  avec un gain d' un facteur 10.

Peut-être la seule chose à faire si le LHC ne voit rien!

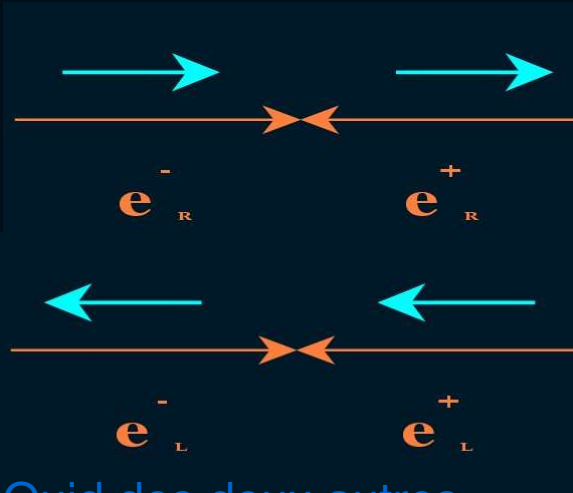
Contributions de différents facteurs à la connaissance de  $\sin^2\theta_W$  et leur évolution attendue.

F. Richard





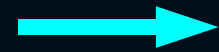
## Expression des asymétries



Quid des deux autres combinaisons de chiralité?

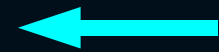
ne considérant que le Z

R couplage au Z:  $v_e - a_e$



Z

L couplage au Z:  $v_e + a_e$



où  $v_e$  est  $a_e$  sont les couplages vectoriel et axial du Z à l' électron

De même à la désintégration en ff après une rotation de  $\theta$  pour un spin 1

et 
$$\frac{d\sigma}{d\cos\theta} \propto L(V_e + a_e)^2 [(v_f + a_f)^2 (1 - \cos\theta)^2 + (v_f - a_f)^2 (1 + \cos\theta)^2] + R..$$

Ecrivant: 
$$P_{beam} = \frac{-R+L}{R+L} \quad A_e = \frac{(2v_e a_e)}{(a_e^2 + v_e^2)} \quad A_f = \frac{(2v_f a_f)}{(a_f^2 + v_f^2)} \quad \text{et divisant par } (R+L)(a_e^2 + v_e^2)(a_f^2 + v_f^2)$$

$$\frac{d\sigma}{d\cos\theta} \propto (1 + A_e P_{beam})(1 + \cos^2\theta) + (P_{beam} + A_e) 2 A_f \cos\theta$$

$$\frac{d\sigma}{d\cos\theta} \propto (1 + A_e P_{beam})(1 + \cos^2\theta) + (P_{beam} + A_e) 2 A_f \cos\theta$$

intégrons sur  $\theta$        $\sigma_L \propto (1 + A_e |P_{beam}|)$        $\sigma_R \propto (1 - A_e |P_{beam}|)$

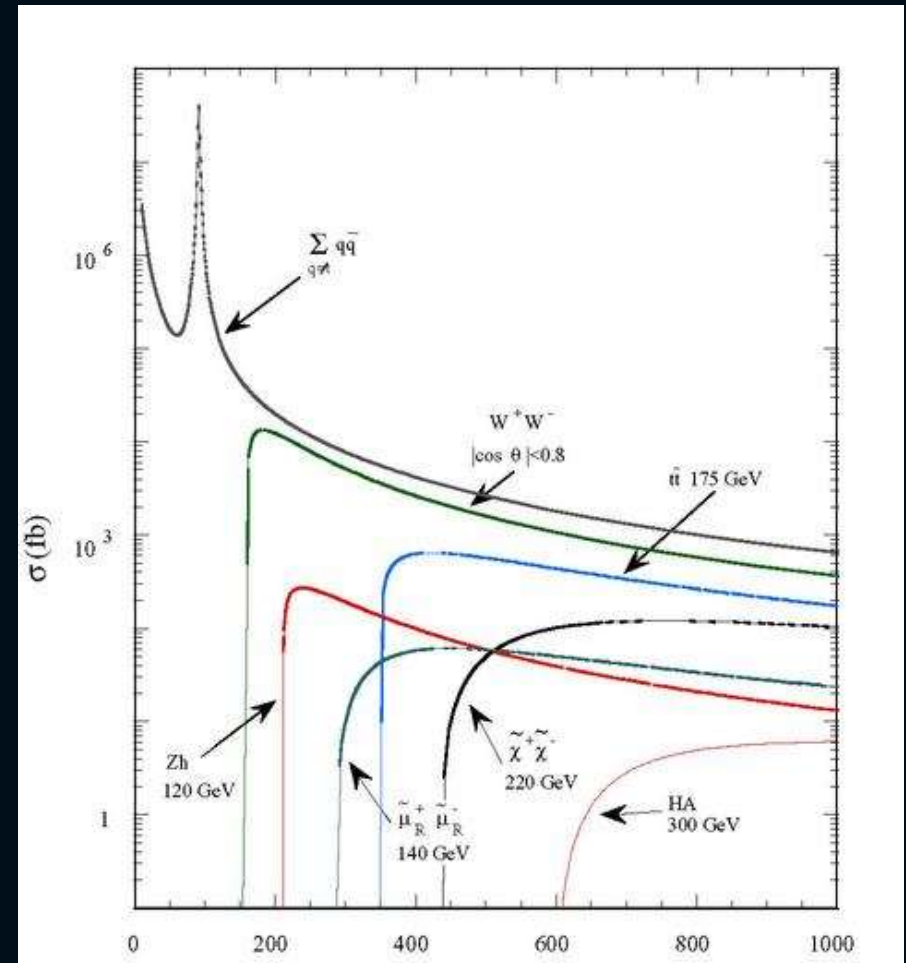
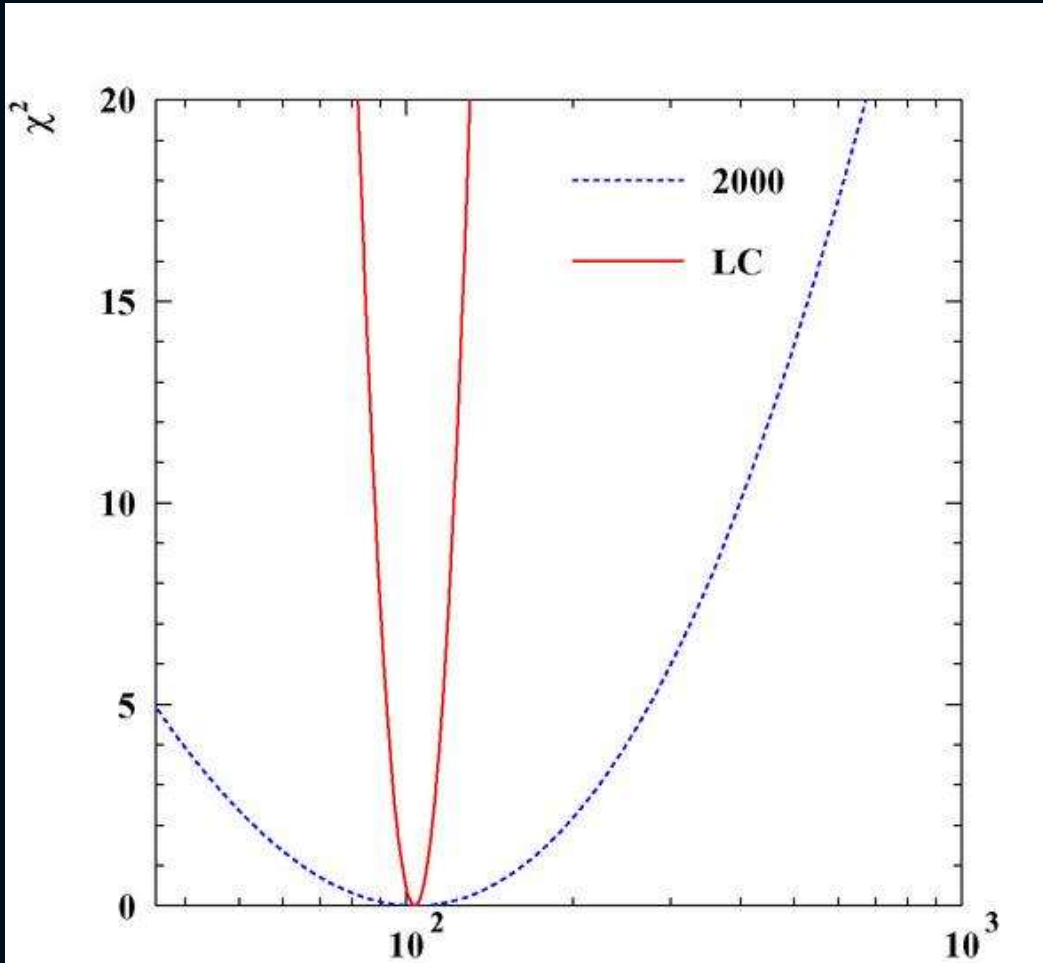
$$\frac{(\sigma_L - \sigma_R)}{(\sigma_L + \sigma_R)} = \frac{2 A_e |P_{beam}|}{2} \quad A_{LR} = \frac{1}{P_{beam}} \frac{(\sigma_L - \sigma_R)}{(\sigma_L + \sigma_R)} = A_e = \frac{(2 v_e a_e)}{(a_e^2 + v_e^2)}$$

la mesure de l' asymétrie avant-arrière sélectionne le deuxième terme de la section différentielle fournissant  $A_f$

$A_e$  donne  $v_e/a_e$  à une ambiguïté près d'où  $\sin^2\theta_W$

Il nous manque ici le terme d' interférence avec le photon

Mesures indirectes



Mais ceci n' est en rien trivial sur un linéaire!

Contrôle de l'énergie, sa dispersion  
de la luminosité  
de la polarisation e-

Obtention et contrôle de la polarisation des e+  
Dans le schéma actuel les positrons viennent  
d'un faisceau d' électrons de 150 GeV!  
Est-il possible de basculer vite la polarisation?

+ théorie

Energie: pour tirer  $\sin^2\theta_W$  de la mesure de  $A_{LR}$ ,  
l'énergie moyenne doit être connue par rapport à  $m_Z$   
avec une précision de l'ordre du MeV

## Rappel

Avec un GZ l'erreur statistique est  $4 \cdot 10^{-5}$  mais

$$\frac{\Delta A_{LR}}{A_{LR}} = \frac{\Delta \text{curl}P}{\text{curl}P}$$

mesure de  $P$  au niveau de l'interaction!

Avec des deux polarisations en utilisant le couplage  $V-A$  des  $W$   
 $W$  seul (par fusion  $W/\gamma$ )  $W^-$  vient d' électron gauche,  
 $W^+$  de positron droit

Avec la polarisation des positrons on peut utiliser le "schéma de Blondel" en mesurant les sections efficaces correspondant aux quatre états de polarisation.

Il faut alors que la polarisation absolue des états gauche et droit soit égale

par construction + polarimètre (Compton)  
 qui suit aussi les variations rapides

## Schéma de Blondel

$$\sigma = \sigma_u \left[ 1 - P_{e^+} P_{e^-} + A_{LR} (P_{e^+} - P_{e^-}) \right]$$

Les  $P$  sont les polarisations de chaque faisceau  
et  $\sigma_u$  est la section efficace non polarisée

On peut donc mesurer quatre  $\sigma$  :  $\sigma_{++}, \sigma_{+-}, \sigma_{-+}, \sigma_{--}$

On a donc 4 inconnues pour 4 équations

peut donner le pour mille sur la polarisation mais..

Fortes hypothèses: le processus étudié  $e + e^- \rightarrow f \bar{f}$   
est produit strictement par un vecteur en voie s,  
absence de corrélation entre polarisations  
des électrons et positrons  
égalité des polarisations absolues entre les deux états

Ceci est en utilisant la polarisation longitudinale, mais

contribution tensorielle (graviton)

grâce a la polarisation transverse (Rizzo)

tests de violation de CP

## Mesurer la masse du W.

Les mesures indirectes la donnent à 3 MeV près.

On peut attendre du LHC et Tevatron une mesure à 15 MeV

Avec le CL, mesure au seuil ou par reconstruction des masses à 500 GeV.

Ce n' est pas évident statistiquement,

atteindre 5 MeV peut nécessiter 1 an,

$$\sigma \sim 10^4 \text{ fb}$$

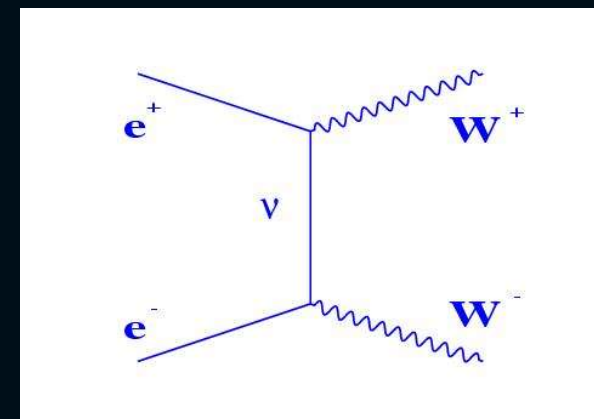
et moins encore pour les erreurs systématiques:

contrôle de l'énergie des faisceaux par rapport au Z au MeV près.

Usage de la polarisation des faisceaux.

Au seuil la production est dominée par la voie t couplage au seul état  $e^-_L e^+_R$ .

Réduit le bruit de fond



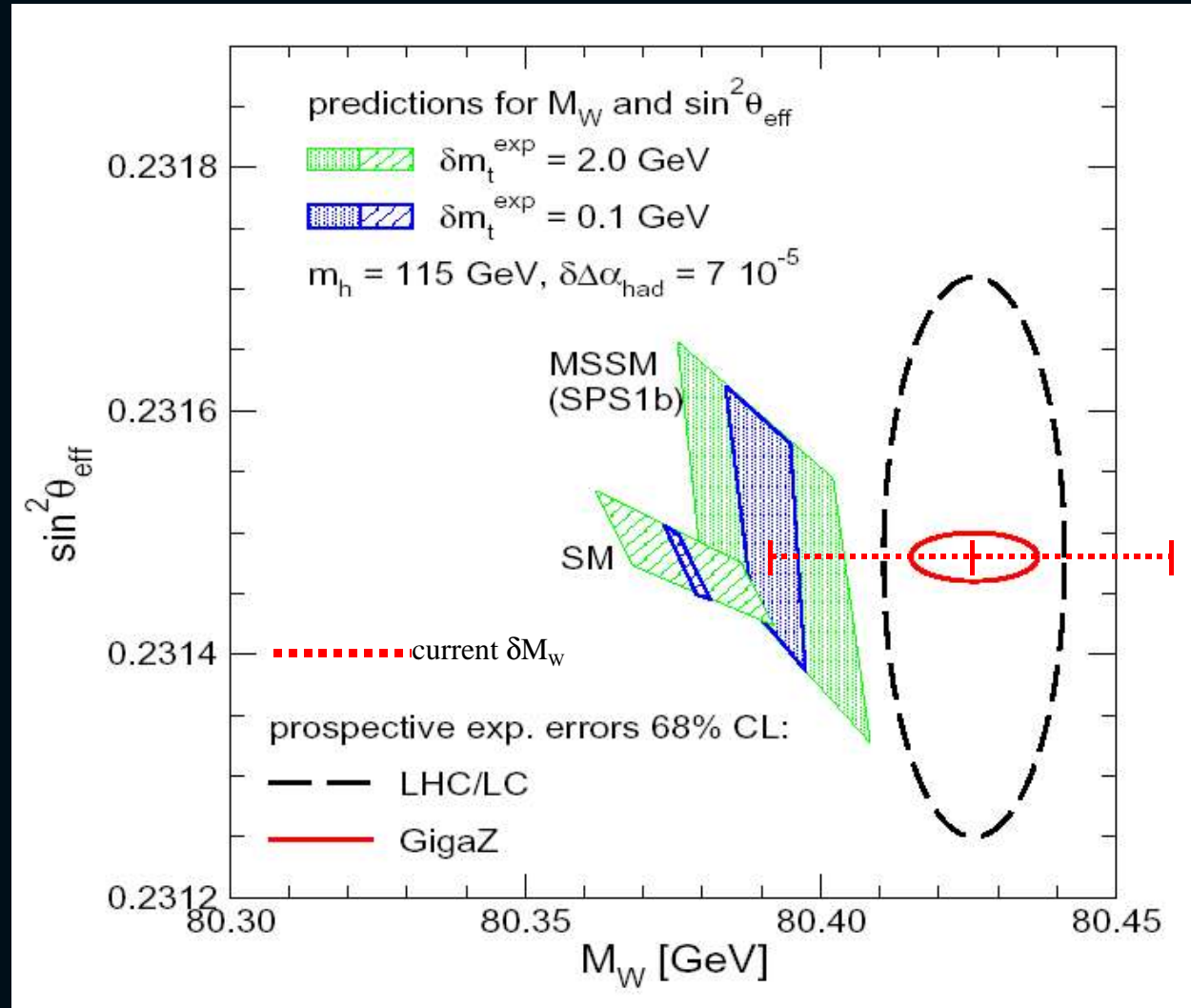


Ces mesures visent à établir la cohérence  
entre les mesures directes et indirectes  
preuve de la validité de notre compréhension  
au niveau quantique,

ou à mettre en évidence  
qu' il nous manque des éléments du puzzle

La masse du top est connue aujourd'hui à 4 GeV près  
or elle est un ingrédient essentiel des mesures indirectes

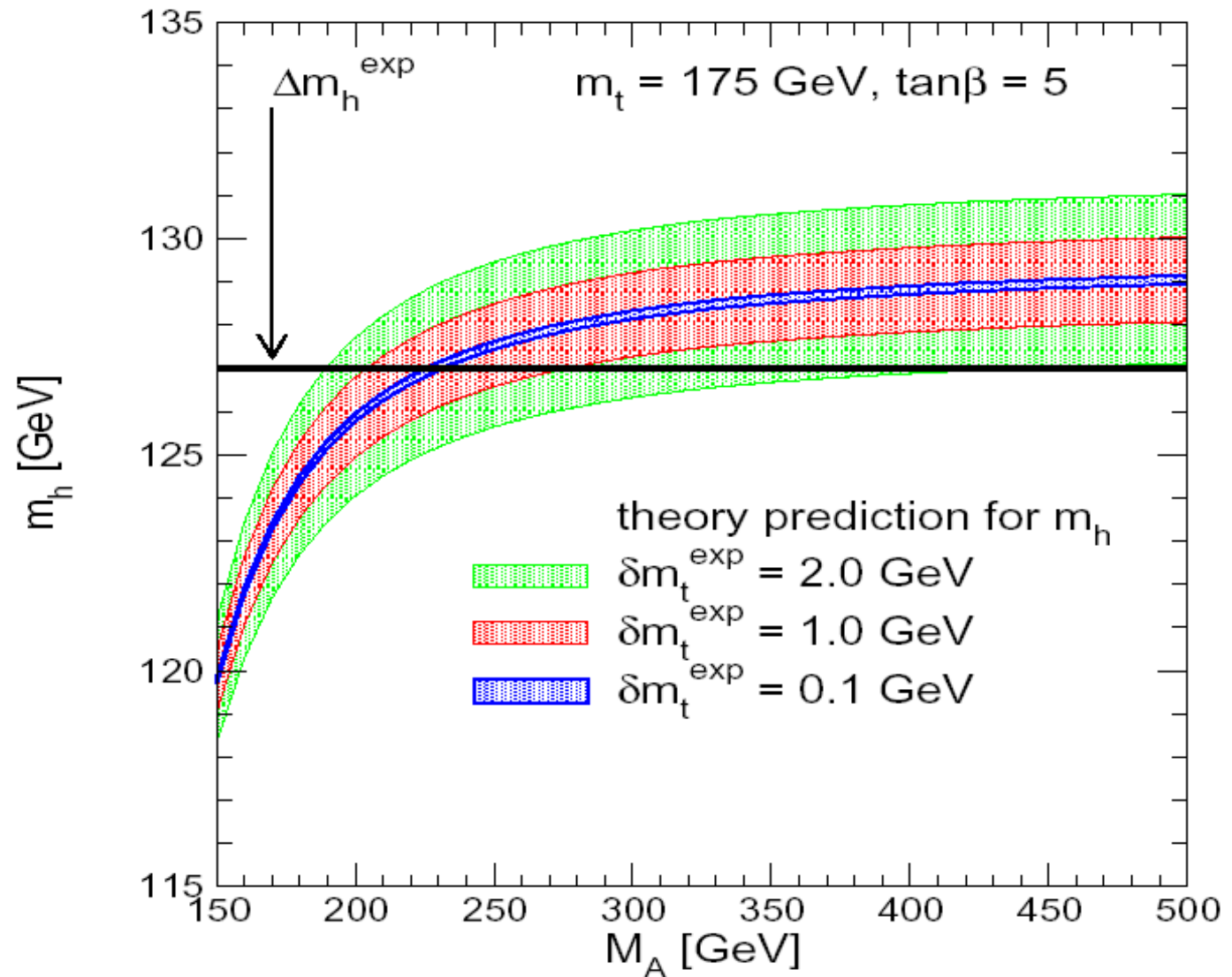
## Impact de la masse du top dans le cadre du MS



Heinemeyer et al

# impact de la masse du top sur le MSSM

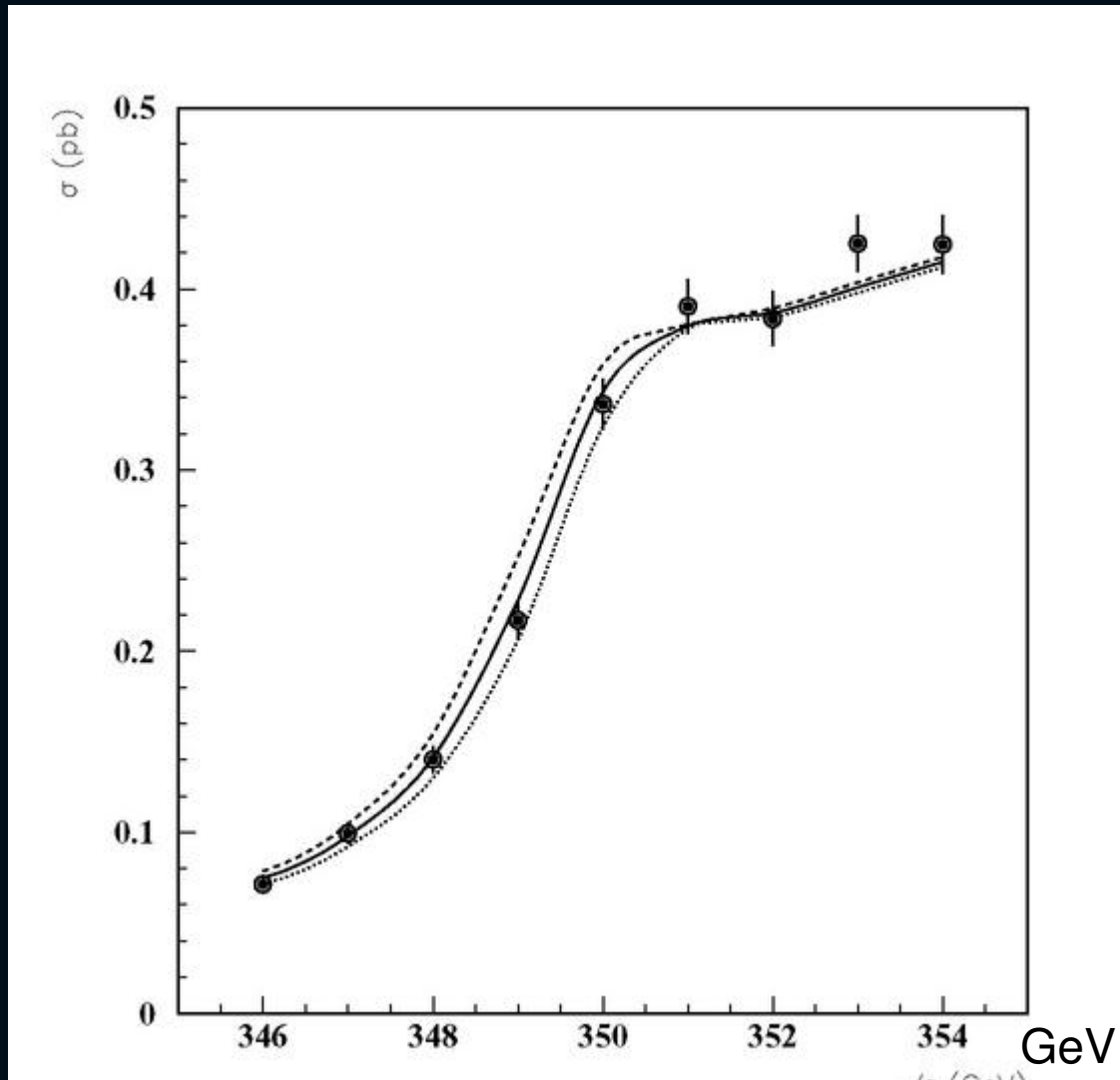
Mesure de  $m_A$   
connaissant  $m_h$



Heinemeyer et al

Le plus lourd des quarks,  
un rôle singulier par rapport au Higgs

Le top



Courbe d'excitation du toponium

Définition de la masse

Impact du beamstrahlung

Masse mesurée  
à mieux que 100 MeV près

Mesure de la largeur à qq %

$t\bar{t}Z$

Couplages du top au Z  
vectoriel et axial  
via les mesures d' asymétries,  
polarisation du top

$t\bar{t}h$  mesuré à <10%  
voir Higgs

## Le Higgs

## Une liste de mesures possibles au CLI

Mesure de la masse de recul au Z en  $e^+e^-$  ou  $\mu^+\mu^-$  ou même en  $qq$

Distribution angulaire de Z/H ( $\sin^2\theta$ ) ou  $\sigma$  au seuil spin 0

Corrélations dans  $e^+e^- \rightarrow ZH \rightarrow 4f$  ou  $H \rightarrow WW 4f$   $JP=0^+$

Test de CP dans  $e^+e^- \rightarrow ttH$  ou  $\gamma\gamma \rightarrow H$  ou dans  $H \rightarrow \tau\tau$

Couplages  $g_{HZZ}$  et  $g_{HWW}$  de  $\sigma_{HZ}$  et  $\sigma_{H\nu\nu}$

Les rapports d'embranchement du Higgs testent

la proportionnalité des couplages aux masses  $bb$   $cc$   $\tau\tau$

$ttH$  de BR ( $gg$ )

$m_b \sim m_c$  ?

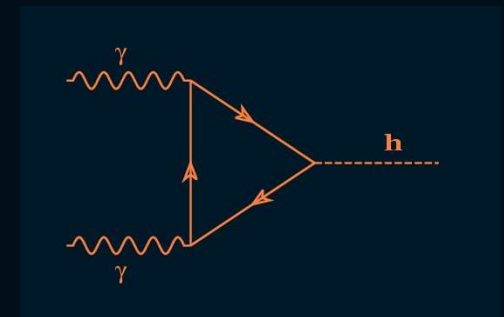
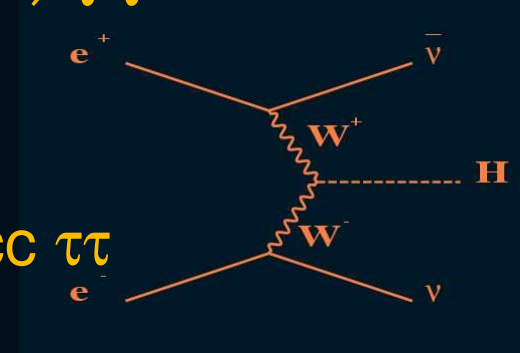
$g_{HWW}$  de BR(WW)

BR( $\gamma\gamma$ ) nouvelles particules chargées

$g_{ttH}$  de  $e^+e^- \rightarrow ttH$  ou  $\gamma\gamma \rightarrow H$

autocouplage de ZHH et  $\nu\nu HH$

$\Gamma_H$  de  $\sigma_{H\nu\nu}$  et BR(WW)



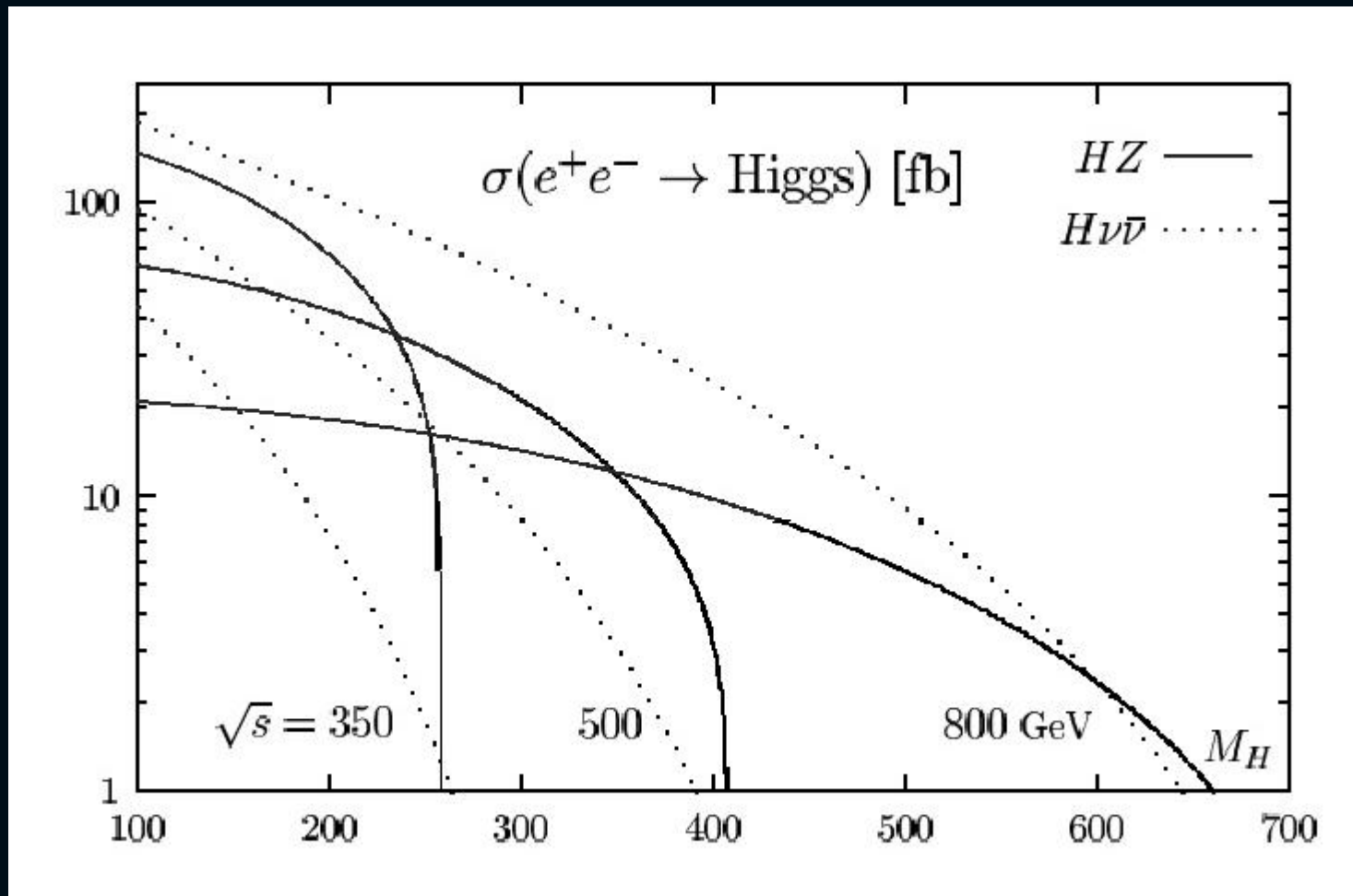
Mais cela dépend en partie du scenario

## Possible scenarios at LHC with the consequences on TeV LC called TLC (and on CLIC)

Scenario	Models	GigaZ at TLC	TLC below 500 GeV	High Energy TLC	LHC	From LHC to CLIC (or SLHC)
Light Higgs alone	SM	Quantum Test (QT) $\Delta M_H = 5 \text{ GeV}$ > SM ?	Spin/Parity BR (fermions, $g/\gamma, W^*W$ ) ZZH and WWH couplings	ZHH 10% ttH <10% anomalous W/Z couplings	~10 times less precise, less BR's no spin/parity ~ no ZHH	Not motivated (SLHC for ZHH)
Light Higgs +SUSY	MSSM	Stop mass, $A_t$	Indirect $m_A, m_H$	Same + $A, H, H^\pm$	Same	Heavier Higgses
	Invisible H	Full info available	Same except WWH	Heavy Higgses (e.g. into $\chi^\pm$ )	Difficult, no Higgs mass information	Heavier Higgses
	NMSSM	QT	ZZH reduced	Heavy Higgses	More Difficult	Heavier Higgses
Heavy Higgs	SM	QT If $m_H < 300 \text{ GeV}$ : Room for Physics beyond SM ?	ZZH, WWH up to 400 GeV	Higgs up to ~0.8 TeV anomalous W/Z couplings	Confirm SM but lower accuracy no QT info	Not Motivated
	Fat Higgs (SUSY)	QT ( $A, H, H^\pm$ isospin violation effects)	Idem	Same + additional Higgses $A, H, H^\pm$	Ambiguous unless $A, H, H^\pm$ identified	Heavier Higgses
	Little Higgs	QT Z-Z' mix for Z' up to 7 TeV	Idem	Z' up to 15 TeV Effect on ZWW	Z' up to ~5 TeV Ambiguous	Not motivated if Z' not seen at LHC (SLHC motivated Z')
	ND>4 ADD	QT Z-Z' mix for Z' up to 13 TeV	Idem	Z' up to 20 TeV	Z' up to ~5 TeV Ambiguous	Not motivated if Z' not seen at LHC (as above for Z')
	ND>4 UED	$\rho$ effect isospin violation for KK masses <1 TeV	Idem	Pair production of KK excitations	KK signals similar to SUSY	CLIC extends LHC/LC mass range
No Higgs	Strong Int.	QT -> Constraints on theory > SM	WLWL >3 $\sigma$ larger with resonance	WLWL >6 $\sigma$ larger with resonance	>5 $\sigma$	Direct observation of $\rho$ -resonance(?)
	Higgsless ND>4	QT -> Constraints on theory		Z' visible ZWW anomaly	Observation of Z' but ambiguous	Z' on shell at CLIC

## Ajuster l'énergie selon la masse du Higgs

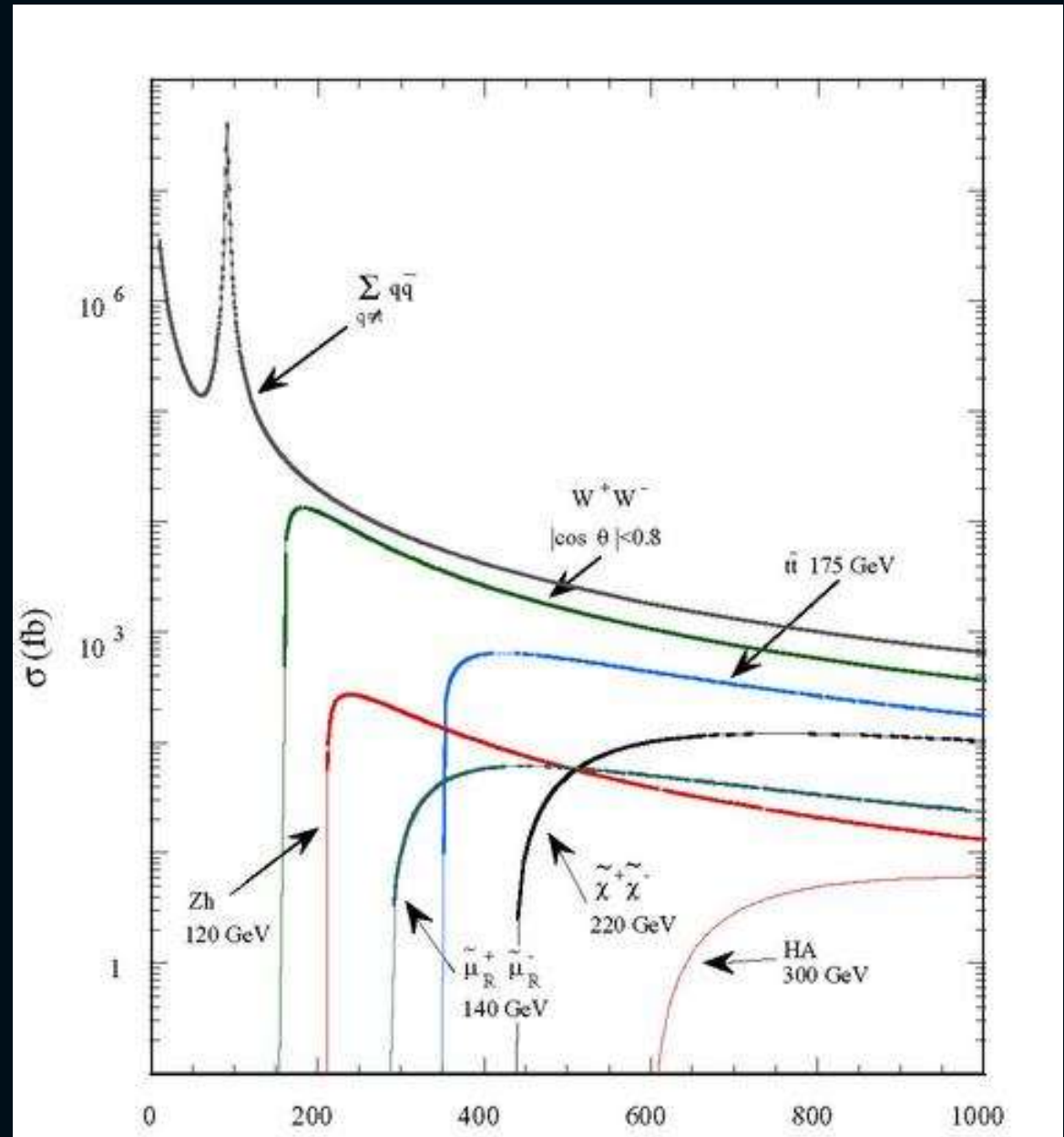
Sections efficaces de production du Higgs en fonction de sa masse pour plusieurs valeurs de l'énergie dans le CM





## Higgs

quelques sections efficaces



# le Higgs, même s'il est invisible,

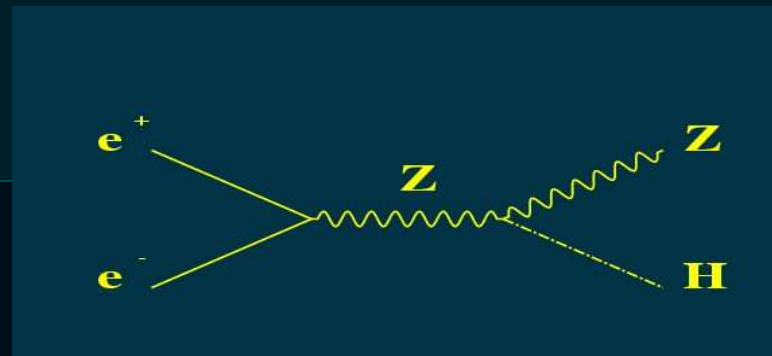
HiggsStrahlung  $\approx 100000$

$\approx 100000$

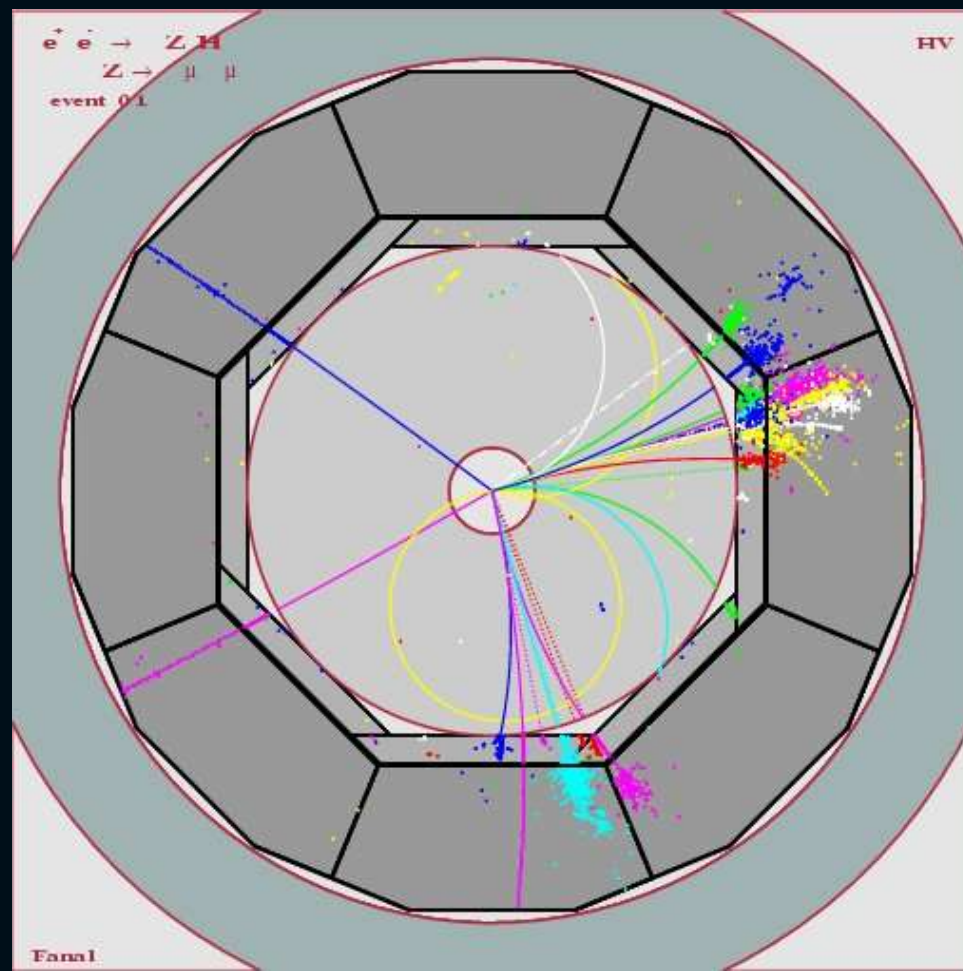
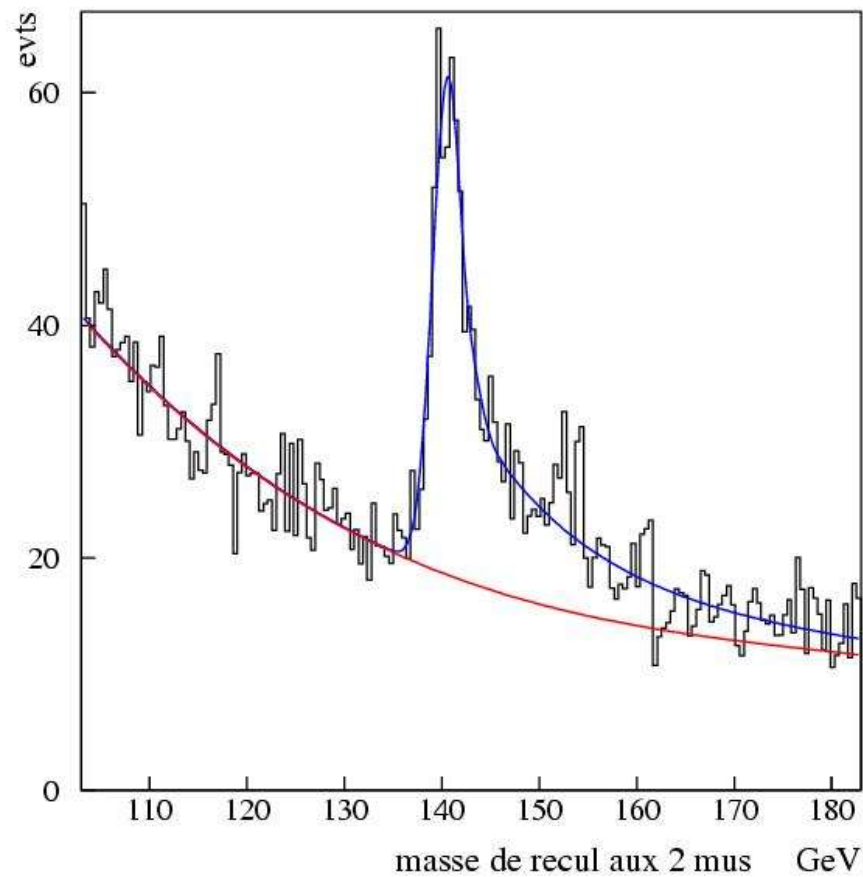
$m_H, \Gamma_H$

$Z H \rightarrow \mu \mu X$

signé par 2  $\mu$  à la masse du Z

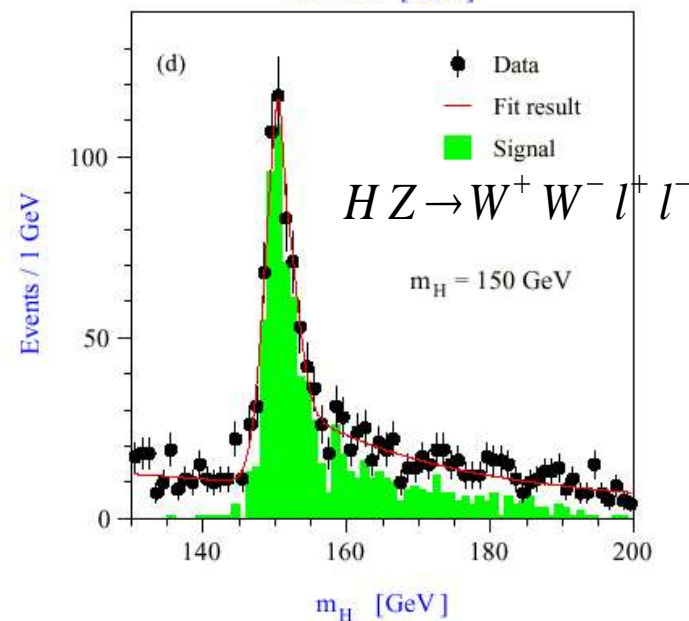
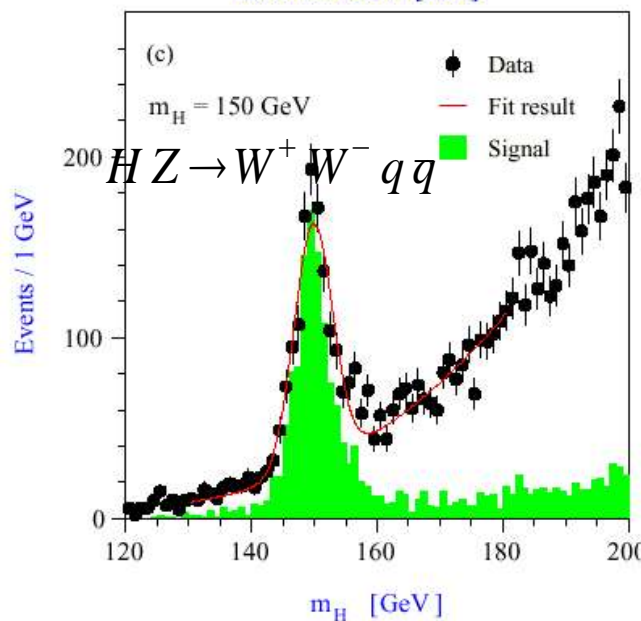
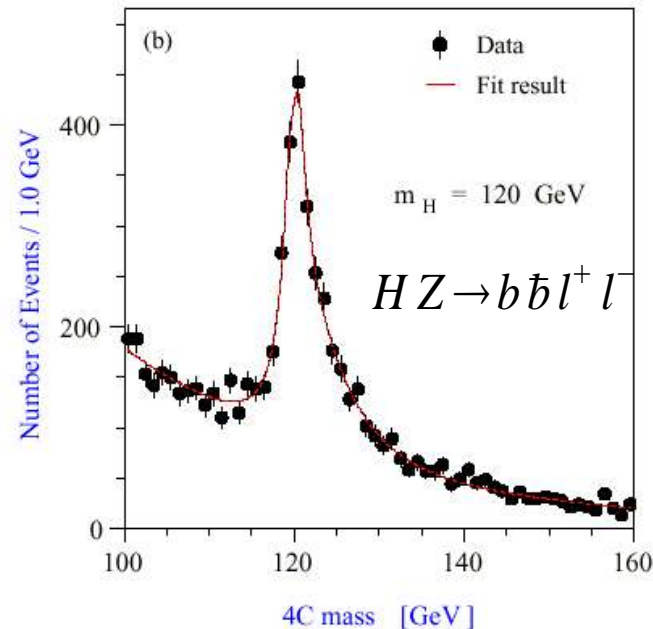
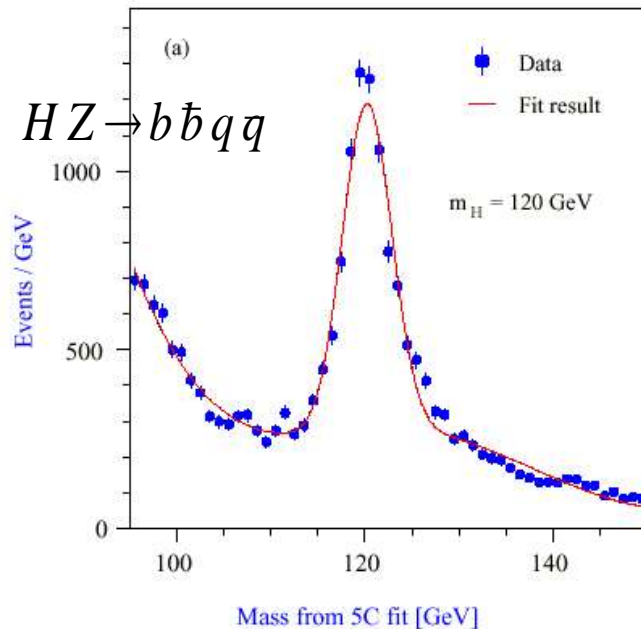


queue due au beamstrahlung



# Mesures de la masse du Higgs (TDR TESLA, confirmé)

500 fb<sup>-1</sup>  
à 350 GeV



$M_H$ (GeV)	Channel	$\delta M_H$ (MeV)
120	$llqq$	$\pm 70$
120	$qqbb$	$\pm 50$
120	Combined	$\pm 40$
150	$ll$ Recoil	$\pm 90$
150	$qqWW$	$\pm 130$
150	Combined	$\pm 70$
180	$ll$ Recoil	$\pm 100$
180	$qqWW$	$\pm 150$
180	Combined	$\pm 80$

Fits contraints  
aux états finaux

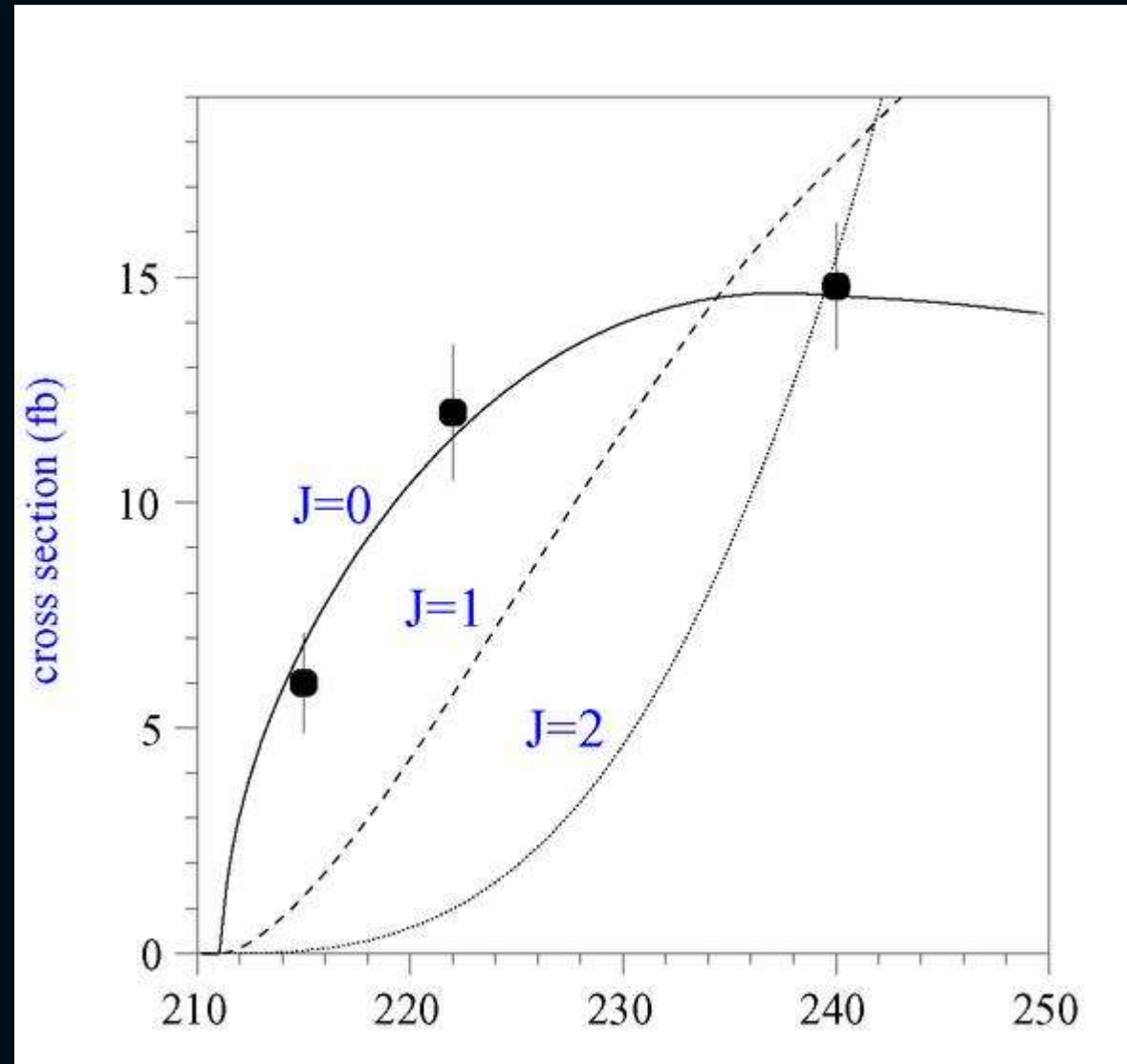
## Théorème de Yang?

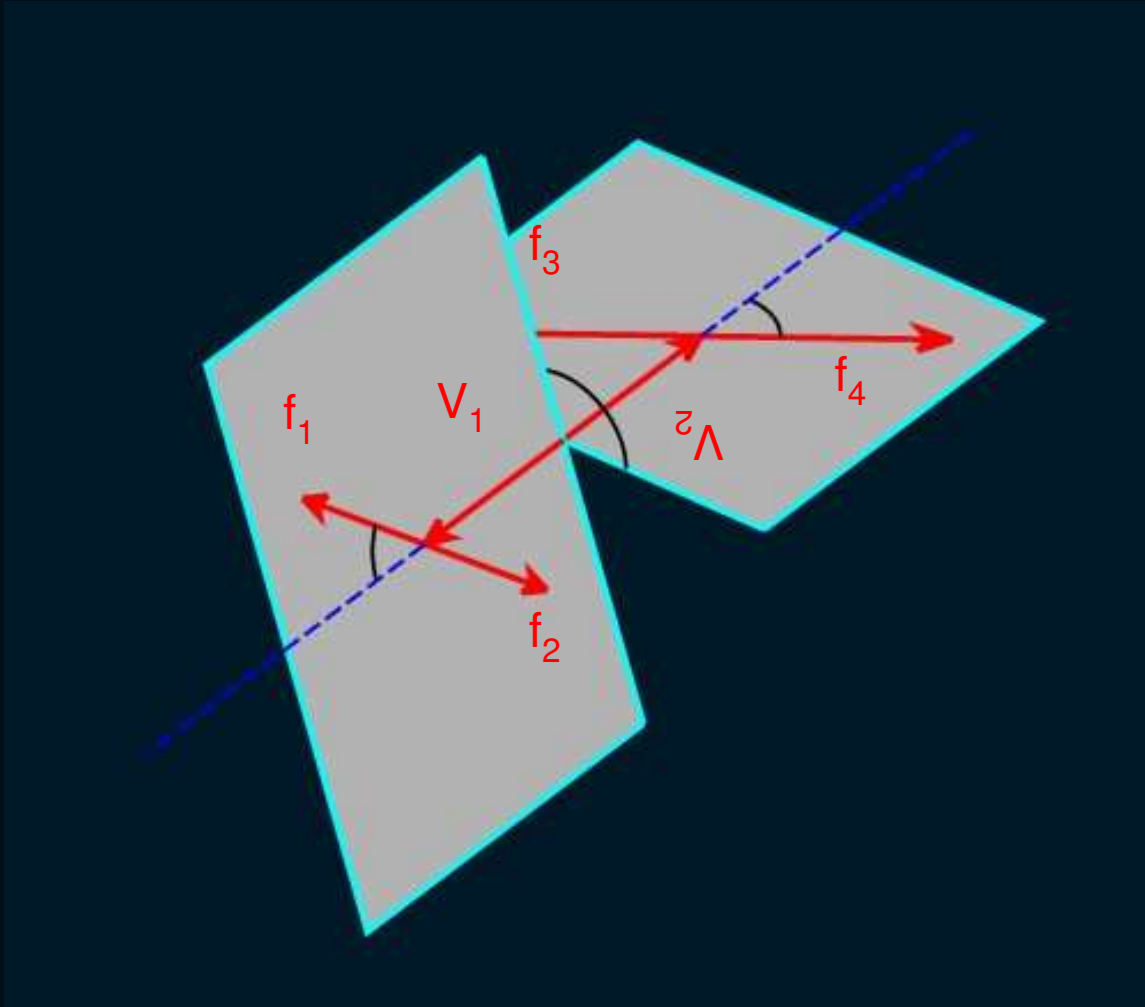
## Spin et parité, CP.

$J=1$   $C=+$  éliminé par  
l'observation de  $H \rightarrow \gamma\gamma$   
mais aussi par la distribution  
angulaire en  $\sin^2\theta$

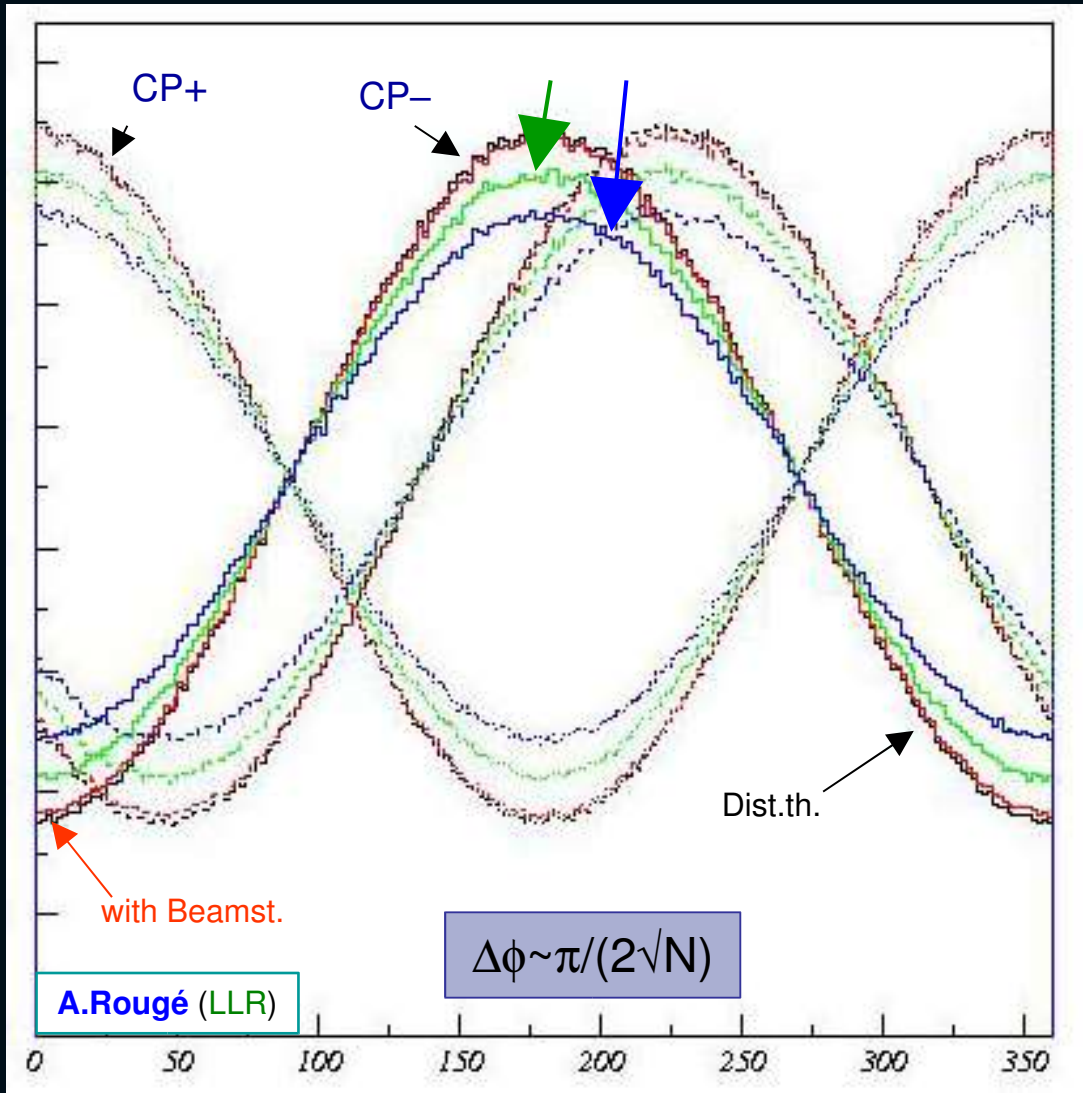
distribution de l'angle entre  
les plans de désintégration  
dans  $H \rightarrow 4f$  via deux vecteurs  
corrélacion entre  
la direction du  $Z$  et  
son angle de désintégration  
(plan de production, plan de désintégration)  
corrélacions de polarisations  
transverses dans  $H \rightarrow \tau^+\tau^-$   
ou  $H \rightarrow t\bar{t}$

## Spin par la section efficace au seuil





# CP violation in the Higgs sector



CP angle analyser

$e^+e^-$  ZH at  $\sqrt{s} = 230$  GeV

Z  $\mu\mu, qq$  and H  $+ - \pi \nu \rho \nu$

JC.Brient  
Calor 2004

$\phi$  angle is reconstructed from Z energy/direction and

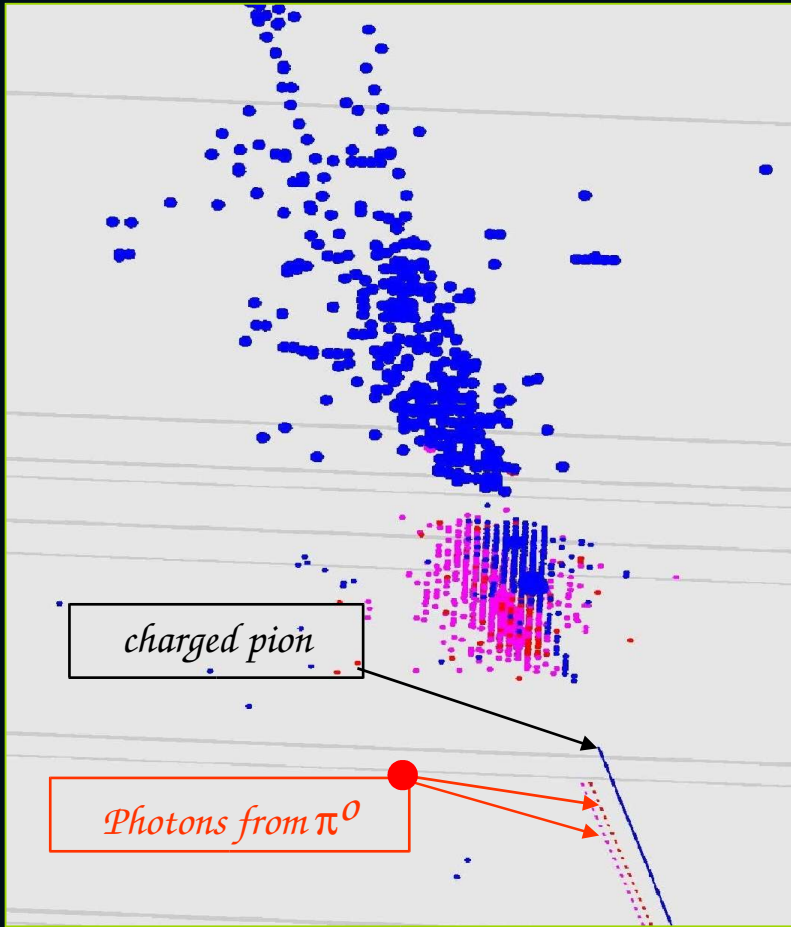
- 1 - decays channel selection
- 2 - reconstruction of

$\pi$  and  $\rho$  energy /direction

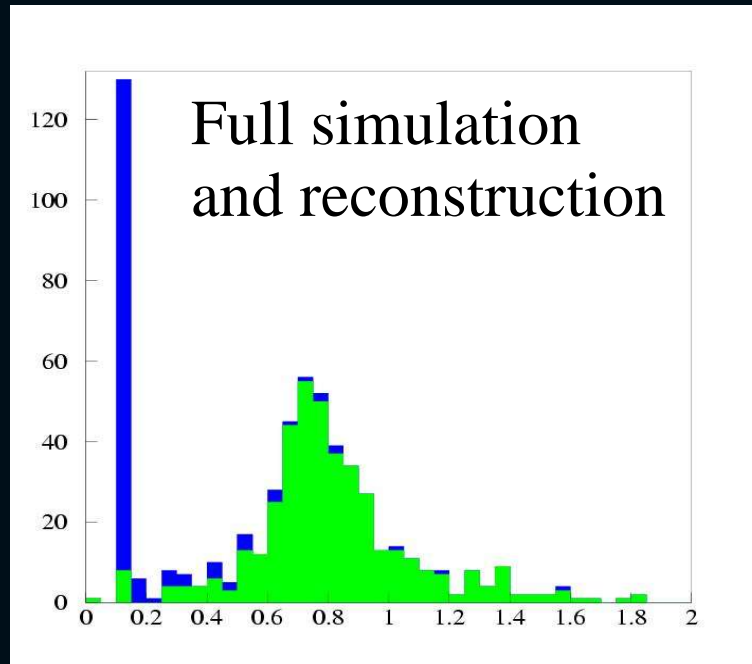
*Tau decays ID is essential for  
ID and polarisation measurement*

JC.Brient  
Calor 2004

(250 GeV) →



	Jet mass < 0.2	Jet mass in 0.2-2
→	82%	17%
→	2%	90%







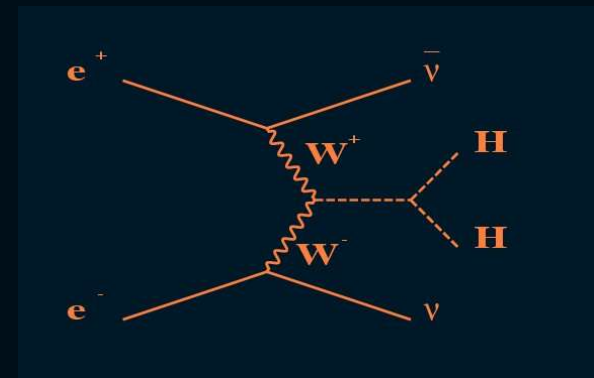
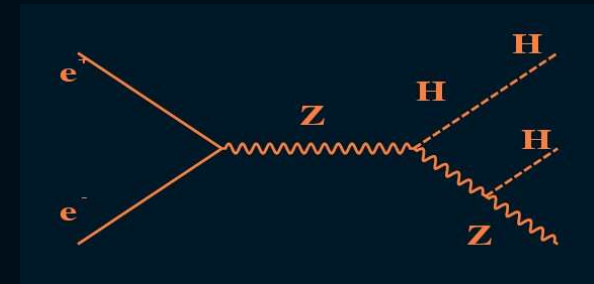
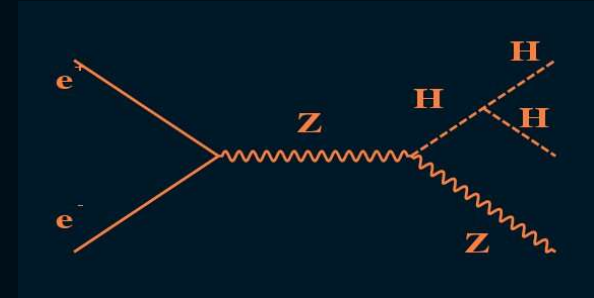
## Couplage HHH

via  $e^+ e^- \rightarrow ZHH$

ou  $e^+ e^- \rightarrow \nu\nu HH$

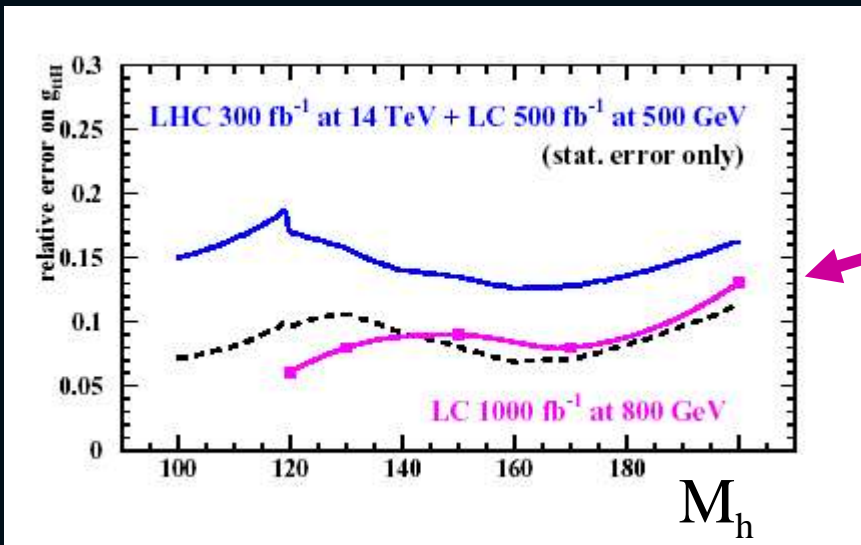
à haute énergie

mesuré à 10%

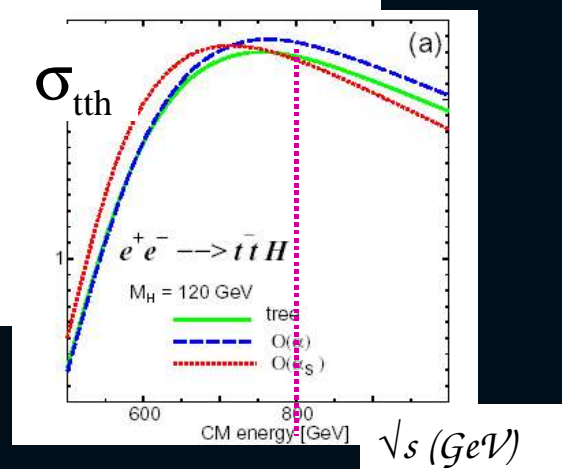


d'où les erreurs sur les couplages (conservatif)

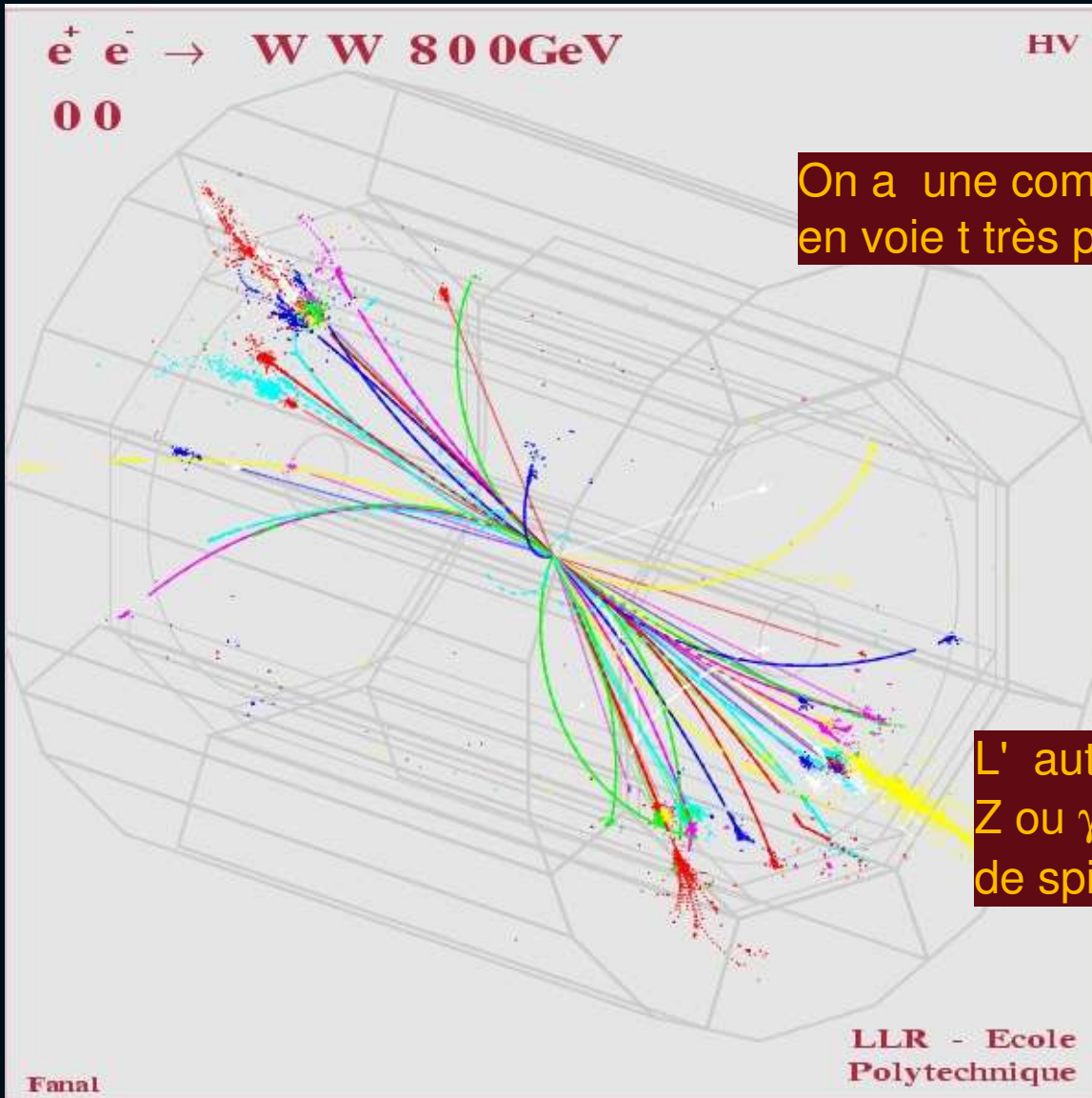
$M_H$	$\Delta M_H$	$\Delta CP$	$\Gamma_{tot}$	$g_{HWW}$	$g_{HZZ}$	$g_{Htt}$	$g_{Hbb}$	$g_{Hcc}$	$g_{H\tau\tau}$	$g_{HHH}$
120	0.033	3.8	6.1	1.2	1.2	3.0	2.2	3.7	3.3	17
140	0.050		4.5	2.0	1.3	6.1	2.2	10	4.8	23



Direct  $t\bar{t}h$  with  $ILC$  at  $\sim 800$  GeV makes a big difference



Et s' il n'est pas là, mesure de la diffusion  $W^+ W^-$  à haute énergie

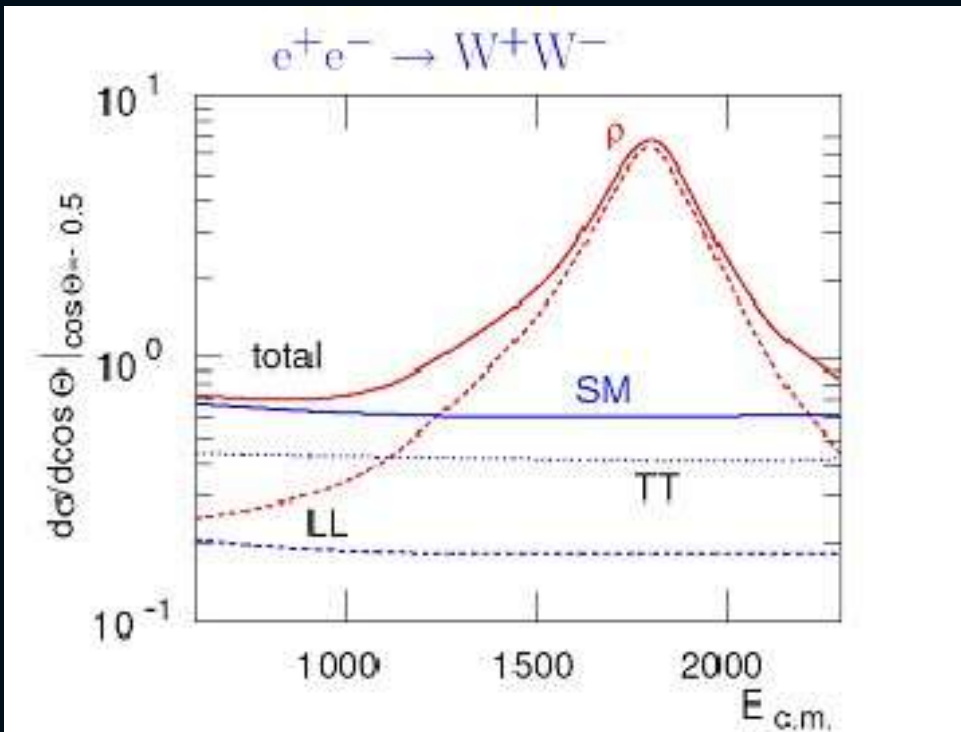


On a une composante en voie t très piquée vers l'avant

L' autre en voies passe par les Z ou  $\gamma$ , ou par une résonance de spin 1, isospin 1, de type  $\rho$ .



# mesure de la diffusion $W_L W_L$ à haute énergie



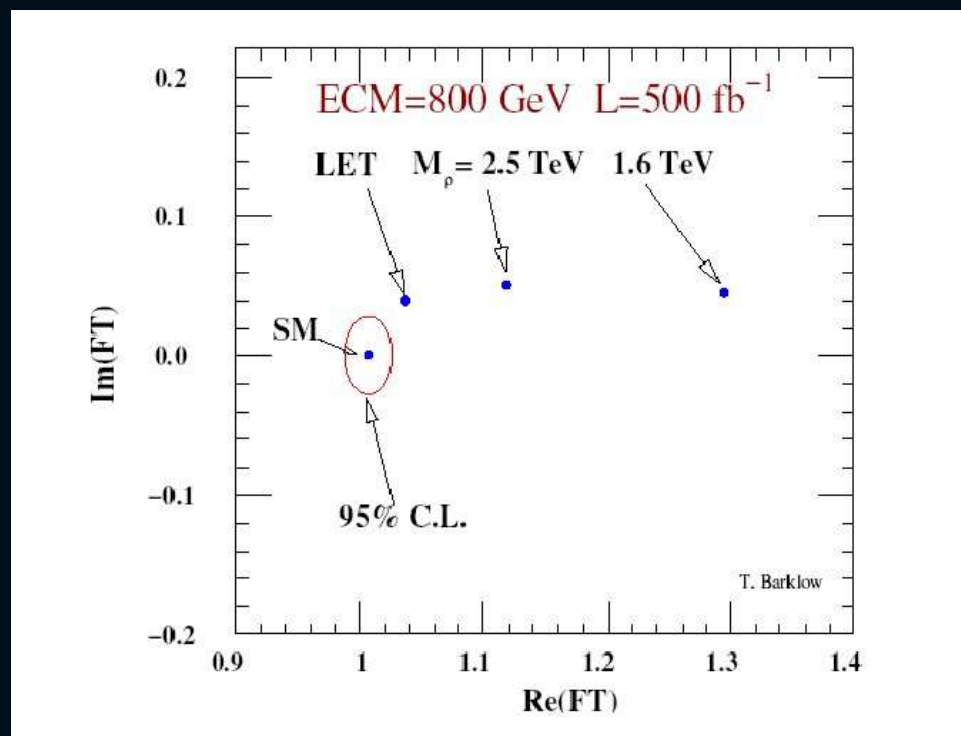
En l'absence de Higgs, la section efficace  $W_L W_L$  diverge.

Pour l'éviter on peut introduire une nouvelle interaction forte qui induit des résonances  $WW$  à la QCD ( $\rho$ )

Variation avec l'énergie machine de la section efficace à l'arrière

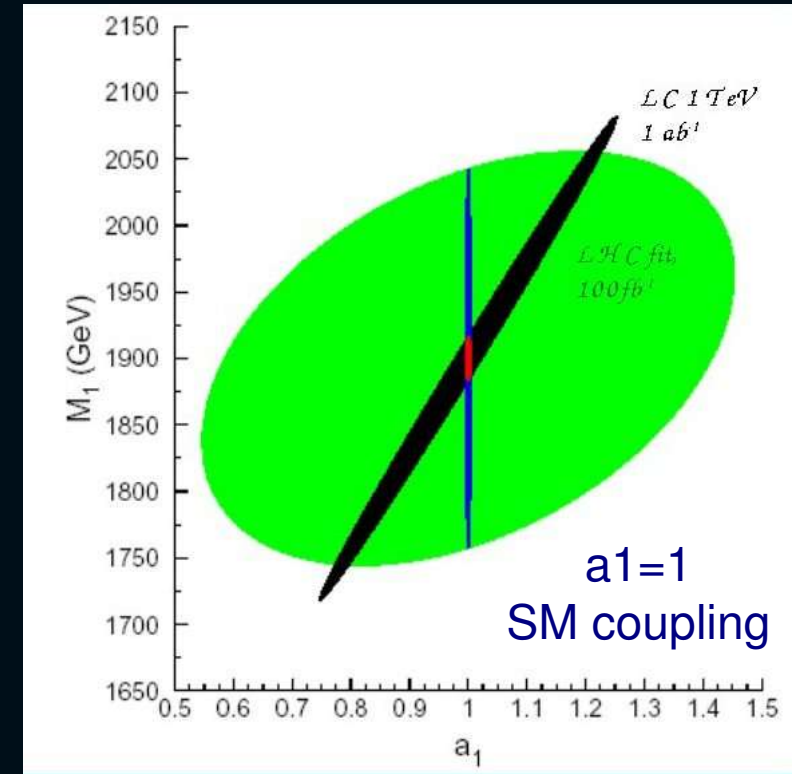
en pointillé la partie longitudinale de la section efficace, SM et en présence de  $\rho$

Détecter une résonance  
mesure du facteur de forme du W



On  $W_L W_L$  Resonances; LHC sees direct up to  $\sim 1.5$  TeV

$E_{CM}$ TeV	$\mathcal{L}$ fb $^{-1}$	1.6 TeV	LET
0.5	300	16 $\sigma$	3 $\sigma$
0,8	500	38 $\sigma$	6 $\sigma$
1,5	200	204 $\sigma$	5 $\sigma$
LHC	100	6 $\sigma$	5 $\sigma$

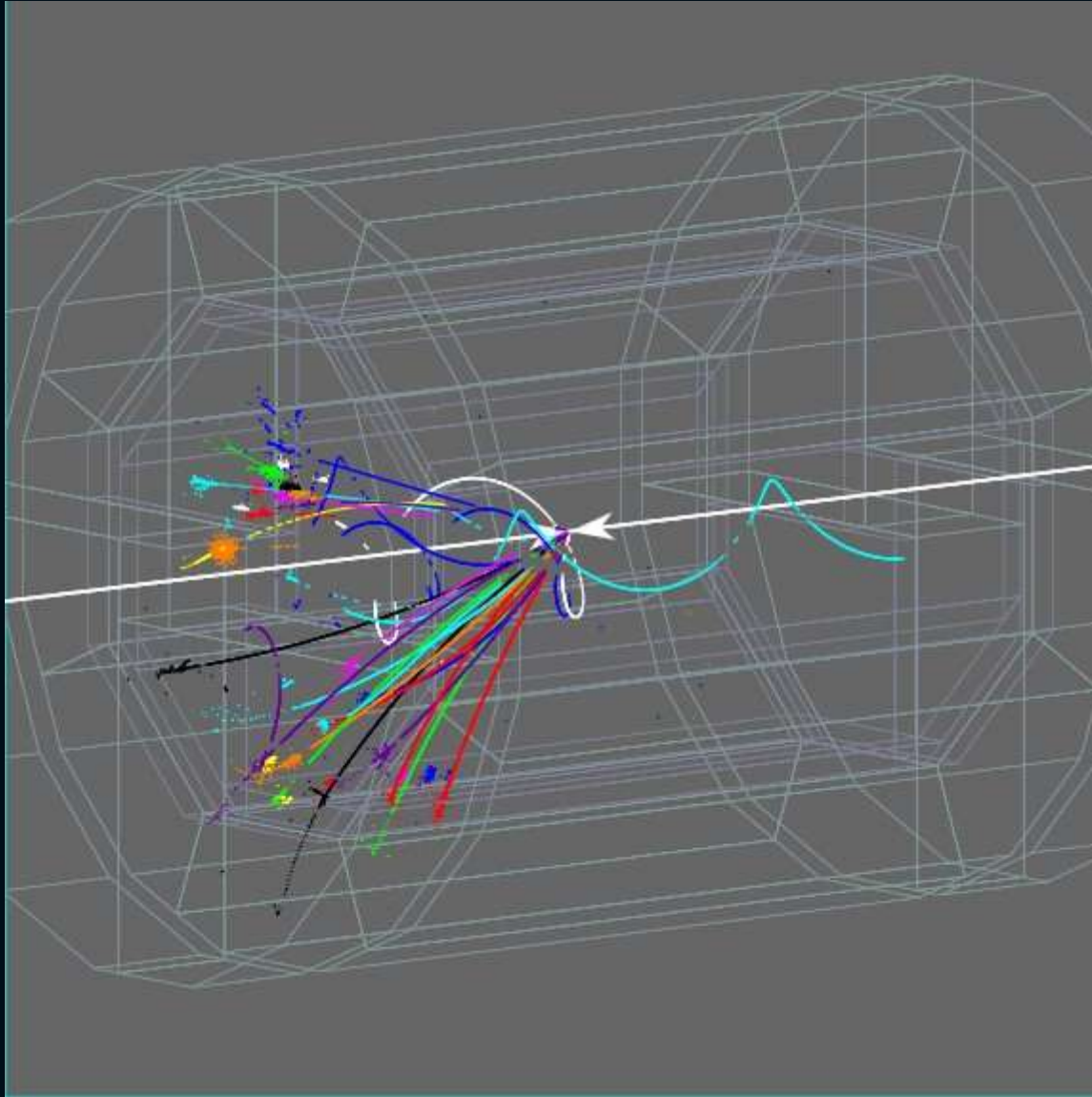


*1.9 TeV resonance parameters; above direct threshold for both colliders.*

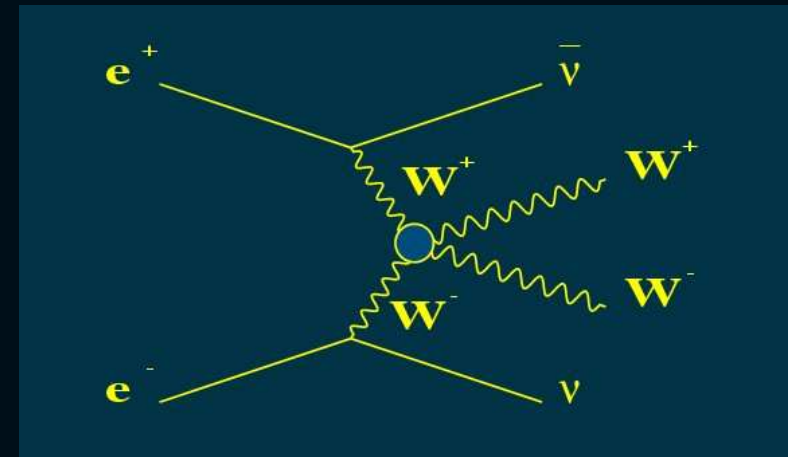
*ILC resolves single resonance from LET point up to 2.5 TeV*

*( $\sqrt{s} = 500$ ), 4.1 TeV ( $\sqrt{s} = 1000$  GeV).*

*Well beyond LHC*

mesure de la diffusion  $W_+ W_+$  à haute énergie

Pour tester d'autres  
nombres quantiques  
on utilise  $\nu\nu WW$



Attention,  
l'énergie du système  $WW$   
n'est pas  $E_{CM}$ !

mesure de la diffusion  $W_1 W_1$  à haute énergie

Mais:

nous avons aussi  $\nu\nu ZZ$

et  $e\nu ZW$

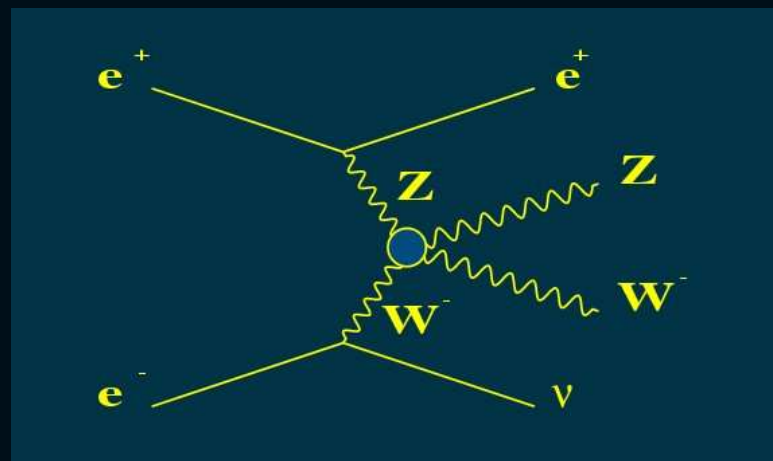
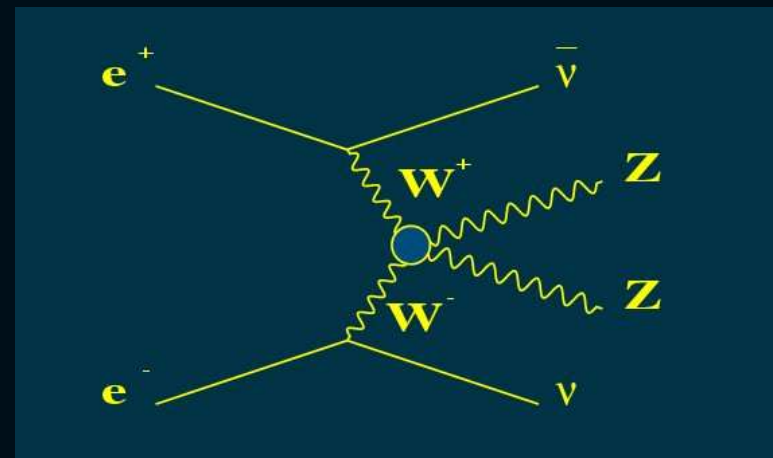
cette dernière réaction  
a une section efficace bien  
plus élevée que  $\nu\nu WW \sim 1000$

Note: on pourrait s'attendre à ce que la réaction soit très piquée vers l'avant et que l'électrone échappe dans le tube à vide. Ce n'est pas le cas en raison de la masse du W.

mais est coupée  
par la présence  
de l'électron dans le détecteur

néanmoins importance d'une excellente herméticité

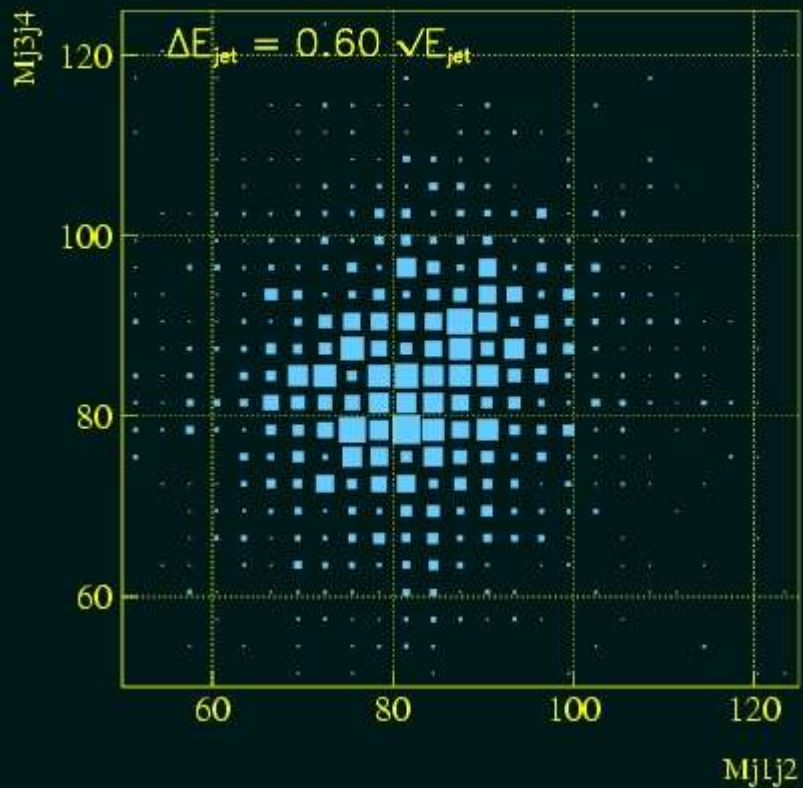
il reste donc à séparer un système ZZ de WW  
où les W se désintègrent en hadrons



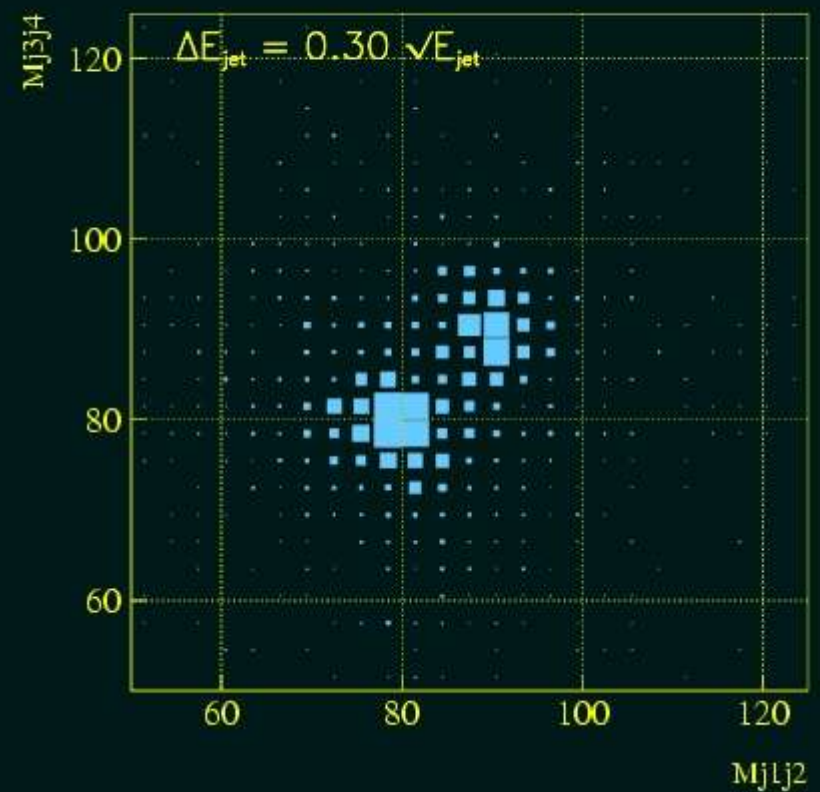
## Séparation WW / ZZ

Une question de résolution sur la masse des dijets

Effet de la différence entre une résolution de  $0,6 / \sqrt{E}$  et  $0,3 / \sqrt{E}$

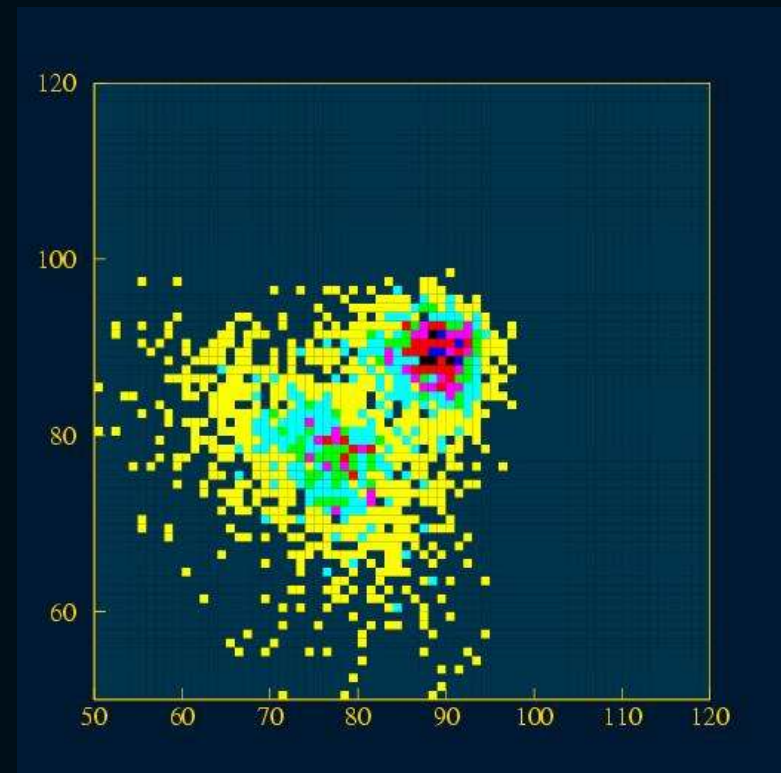
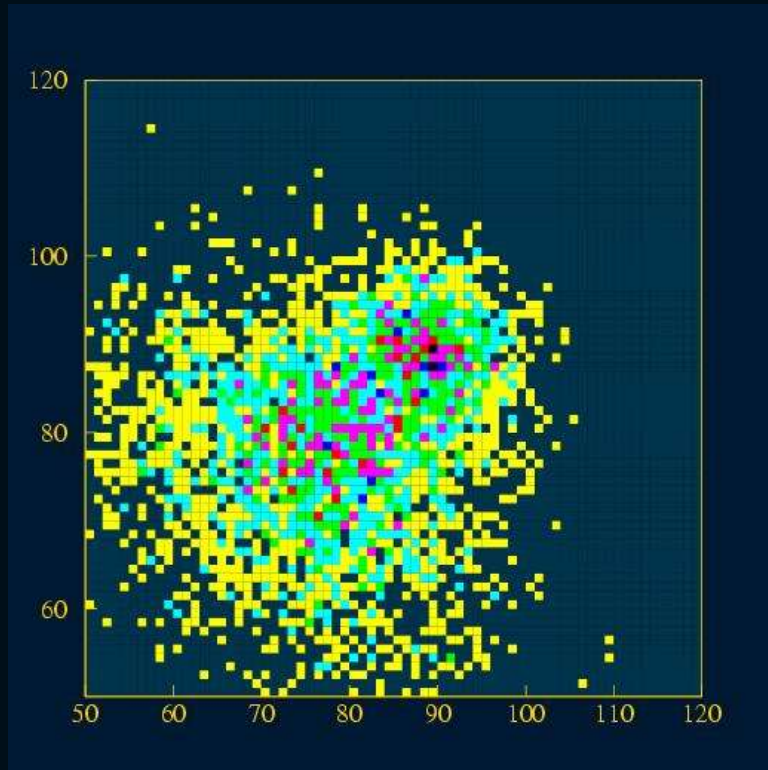


0.6



0.3





Fin de Physique 1