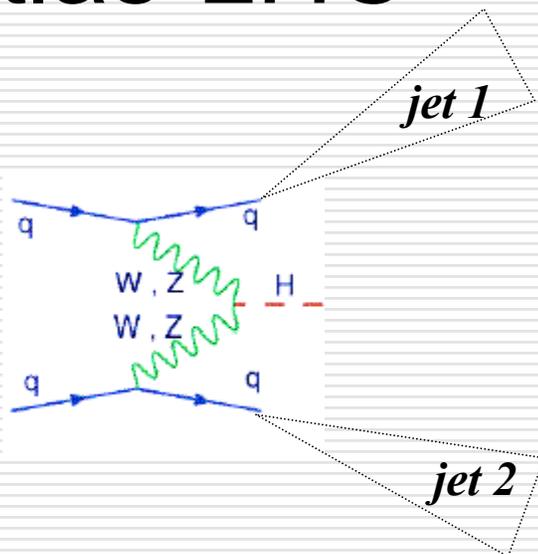


Journées de Rencontre Jeunes Chercheurs

9-15 décembre 2007, Dinard



Le Boson de Higgs en production par fusion de bosons vecteurs à Atlas-LHC



Varouchas Dimitris

*sous la direction de
David Rousseau*

Plan

A. Introduction

- o Boson de Higgs dans le Modèle Standard
- o LHC - ATLAS

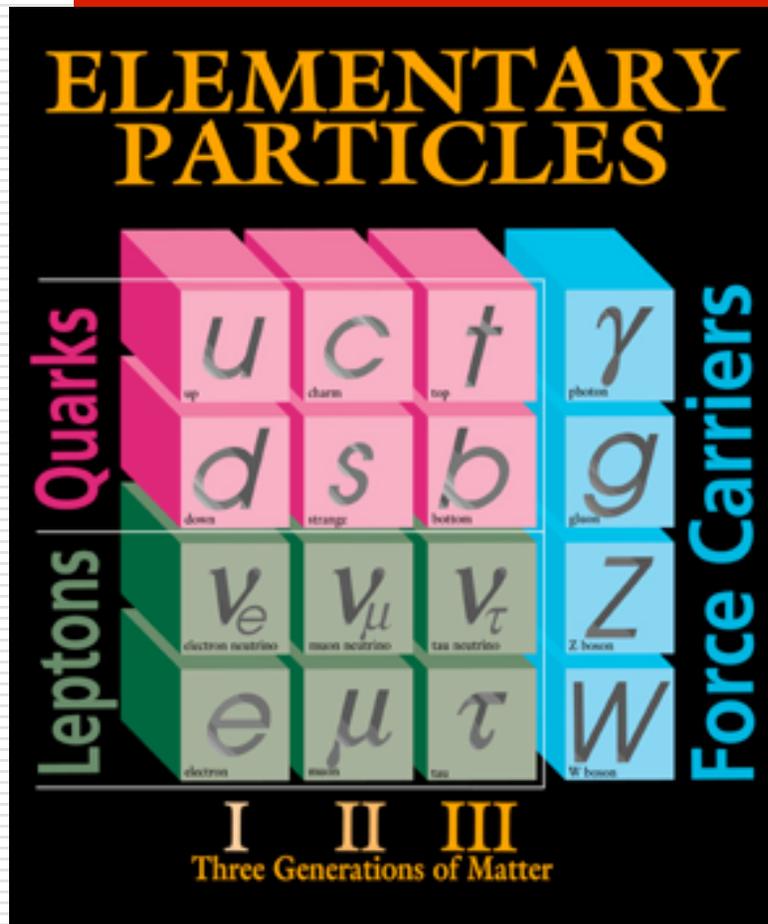
B. VBF Higgs en général

- o Topologie
- o Caractéristiques génériques

C. VBF Higgs en $\tau^+ \tau^-$:

- o Reconstruction de la masse
- o Suppression du bruit de fond
- o Etude du Jet Veto

Modèle Standard et le boson de Higgs (1/2)



□ 3 familles de quarks et de leptons ont les mêmes propriétés :

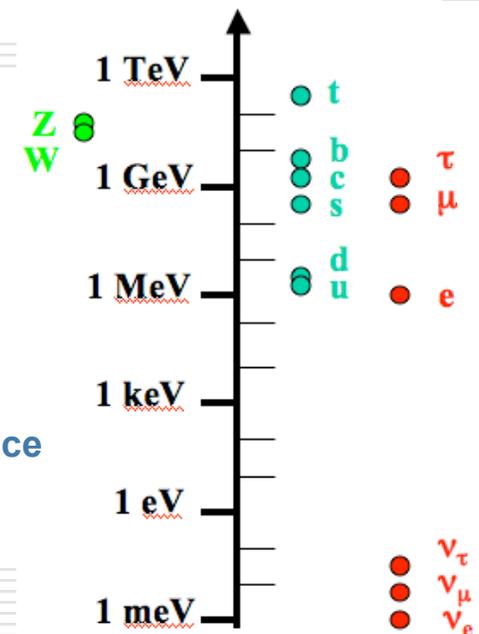
- les mêmes nombres quantiques sous les symétries de la nature

MAIS les particules ont des masses très différentes

- $m_e \approx 10^{-27}$ gram
- $m_\mu \approx 200 m_e$
- $m_t \approx 350,000 m_e$
- $m_{W,Z} \gg m_Y$

Problème crucial :

- Les symétries du modèle ne permettent pas l'existence d'un mécanisme dans le MS qui produirait la masse

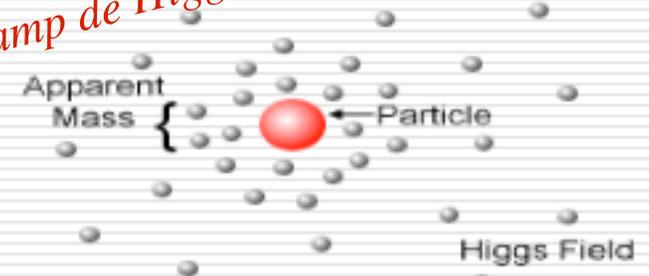


Modèle Standard et le boson de Higgs (2/2)

□ Le Modèle Standard explique les différentes masses en faisant l'hypothèse de l'existence d'un champ spécial qui imprègne tout l'espace : **champ de Higgs**

□ Sans le mécanisme de Higgs -dans la théorie du MS- les bosons W,Z seraient d'une masse nulle \Rightarrow **PAS cohérent avec l'expérience**

Le champ de Higgs



□ Champ de Higgs acquière une valeur non nulle pour réduire au minimum son énergie

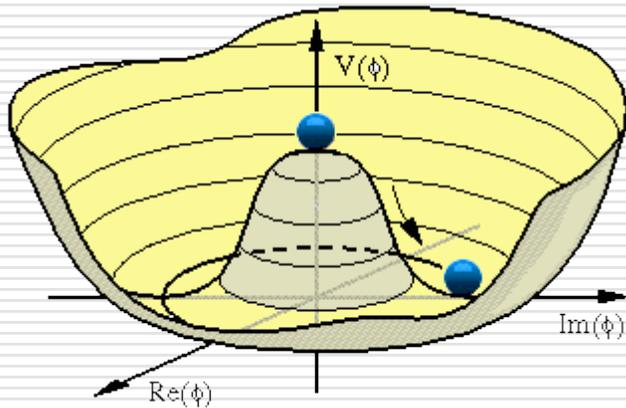


□ Brisure spontanée de la symétrie \Rightarrow le vide devient une source d'énergie = de la masse



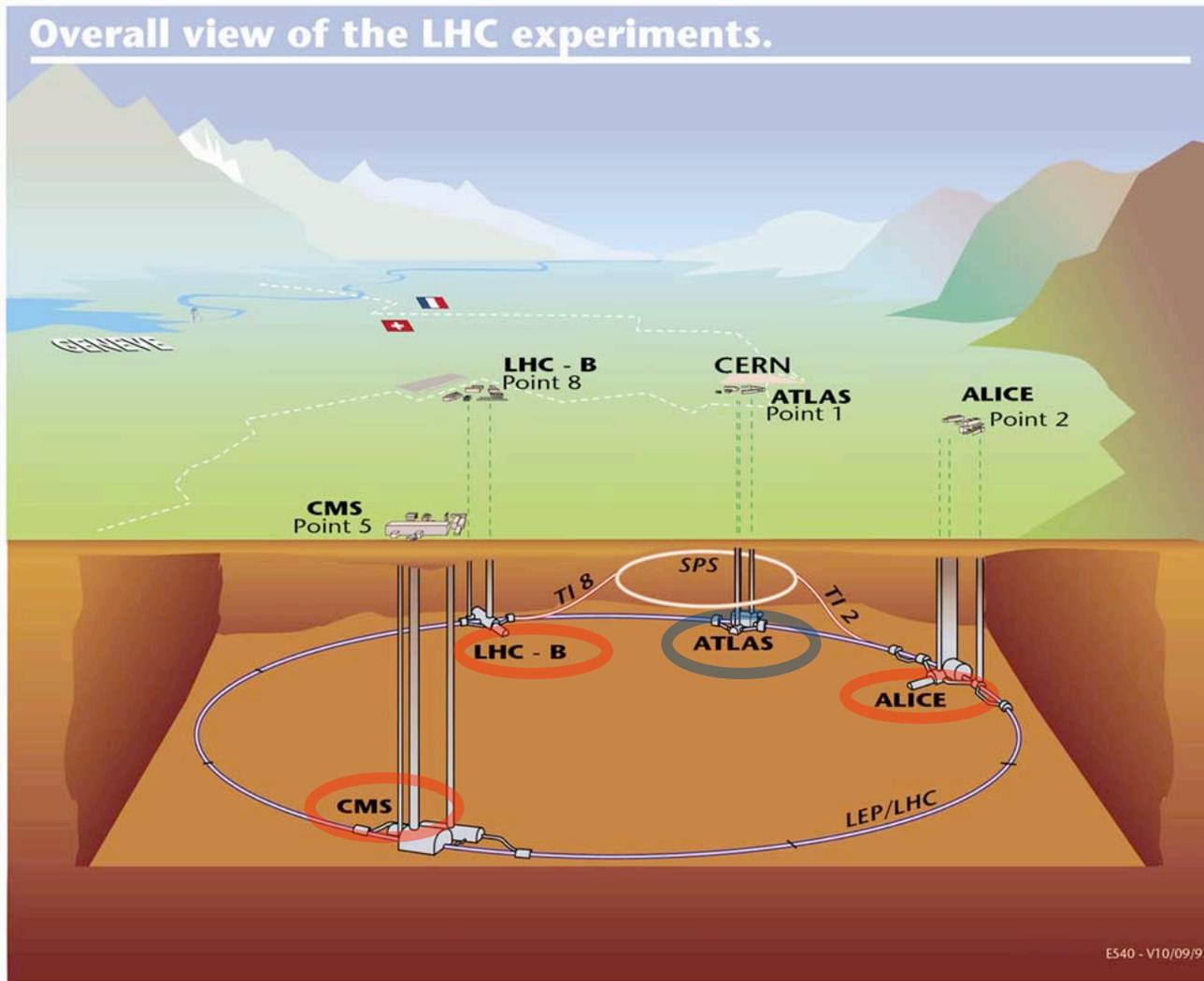
□ Champs sont associés aux particules

□ Champs de Higgs \Rightarrow **Boson de Higgs**



LHC

Overall view of the LHC experiments.



■ 27 km de circonférence dans le tunnel du LEP

■ Des faisceaux de protons de 7 TeV vont se rencontrer

$$(\sqrt{s} = 14 \text{ TeV})$$

■ L'énergie disponible dans le centre de masse de la réaction élémentaire *parton1-parton2* est plus faible:

$$\sqrt{\hat{s}} = \sqrt{s \cdot x_1 x_2} \approx \frac{1}{6} \sqrt{s}$$

avec x_1 et x_2 les fractions d'impulsion prises par chaque parton dans un proton

■ Premières collisions été 2008



■ But: Luminosité $10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

($10 \text{ fb}^{-1}/\text{an}$)

et puis passer à $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

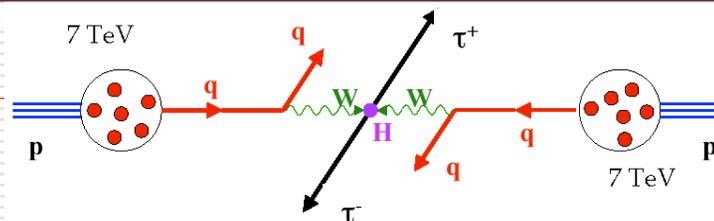
($100 \text{ fb}^{-1}/\text{an}$)

- Δt entre croisements = 25 ns

- 20 interactions par croisement

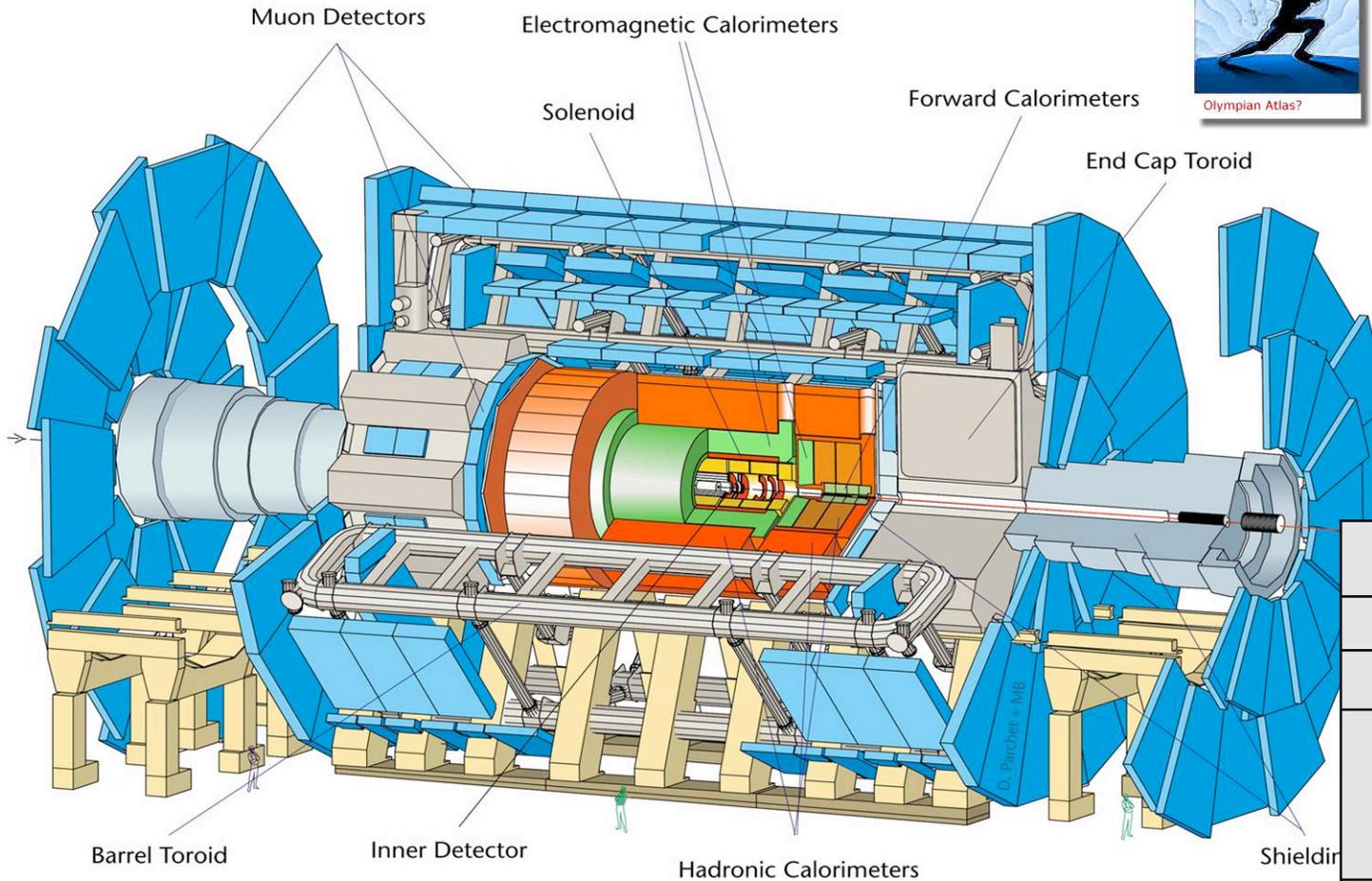
- Taux de interactions $\sim 600 \text{ MHz} !!$

12/12/07 J.R.J.C.



A Toroidal Lhc Apparatus

Le détecteur ATLAS



■ Trajectographe interne :

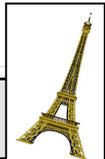
- impulsion et direction de particules chargées

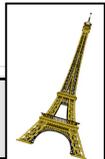
■ Calorimètres :

- EM et Hadronique
- énergie électron photon, hadron
- un peu de direction

■ Chambres à muon :

- impulsion et direction des muons



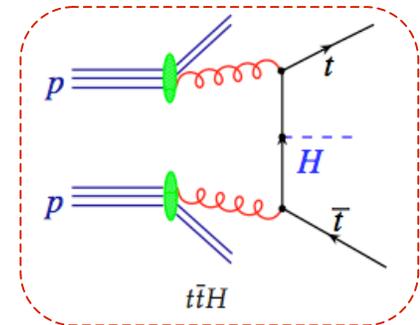
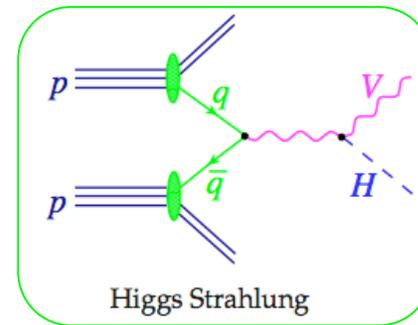
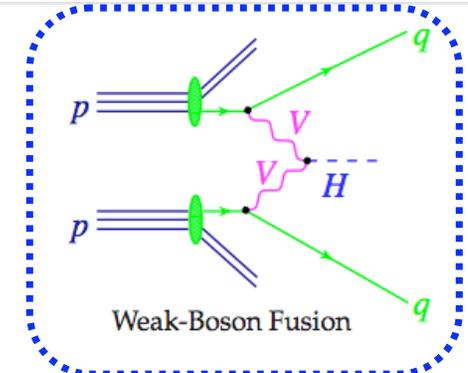
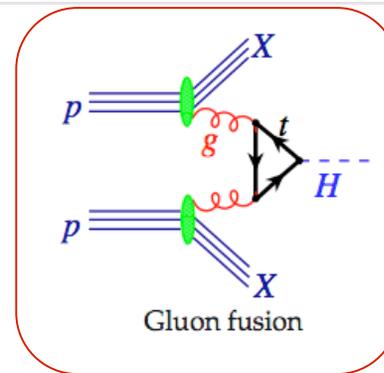
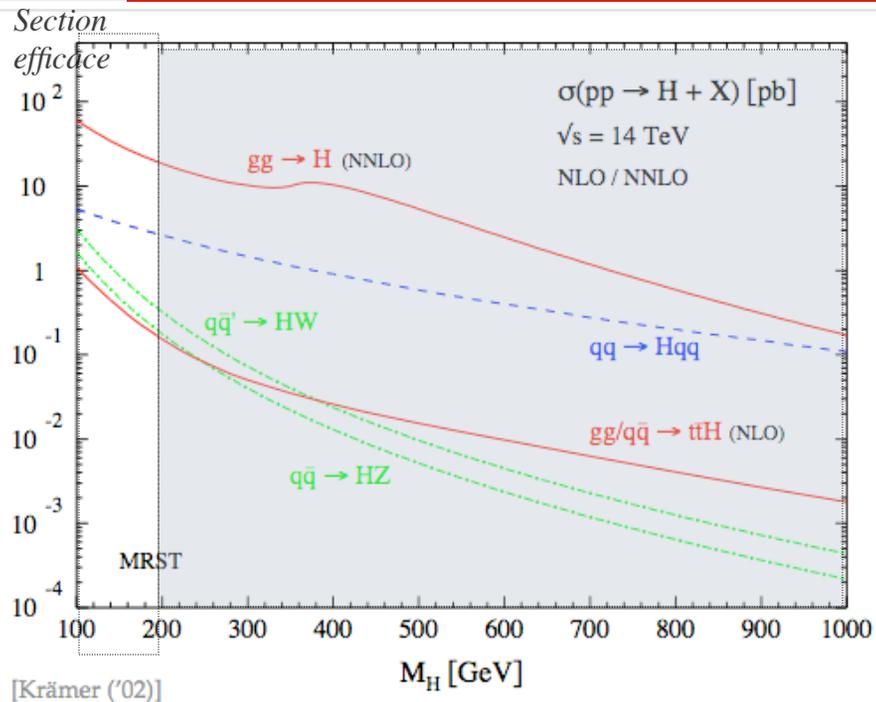
Poids	7k t	
Diamètre	22 m	
Longueur	46 m	
Champ Magnétique	2 T pour tracking, 1.2 GJ énergie	
	334 M euros	

Production du boson de Higgs

□ Quelques limitations sur la masse:

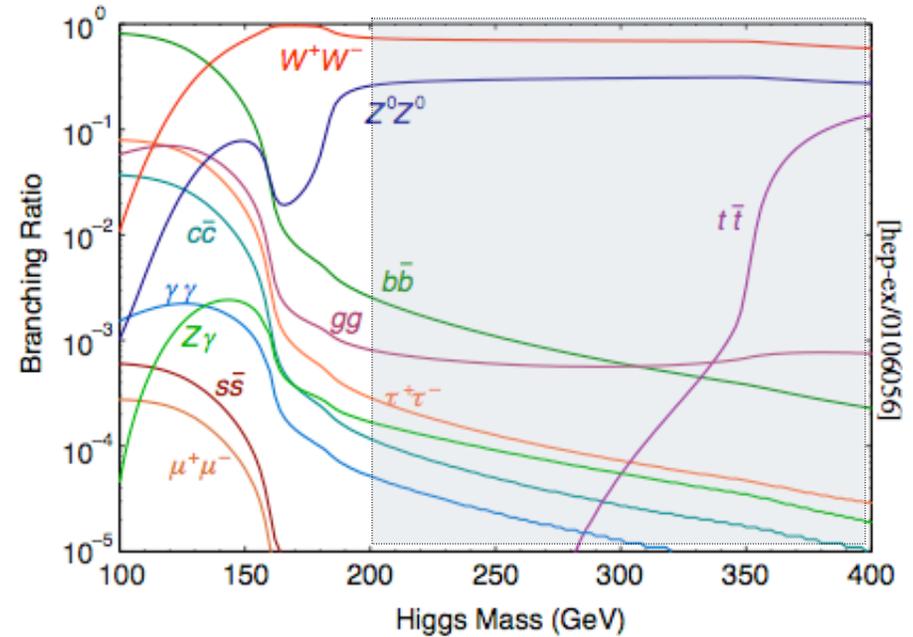
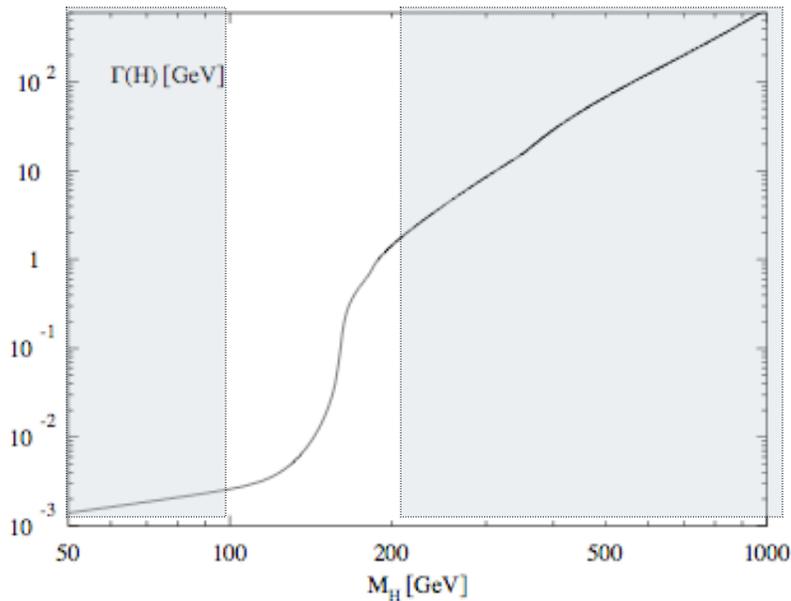
□ $m_H \geq 114.4 \text{ GeV}/c^2$ (LEP)

□ $m_H \leq 200 \text{ GeV}/c^2$ (corrections électrofaibles dans le cadre du Modèle Standard)



□ 4 modes différents de production du boson de Higgs

Désintégrations de Higgs



□ Désintégrations principales du boson de Higgs selon sa masse :

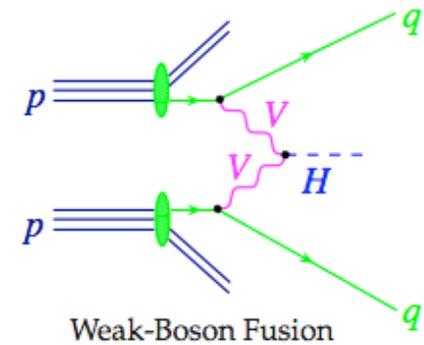
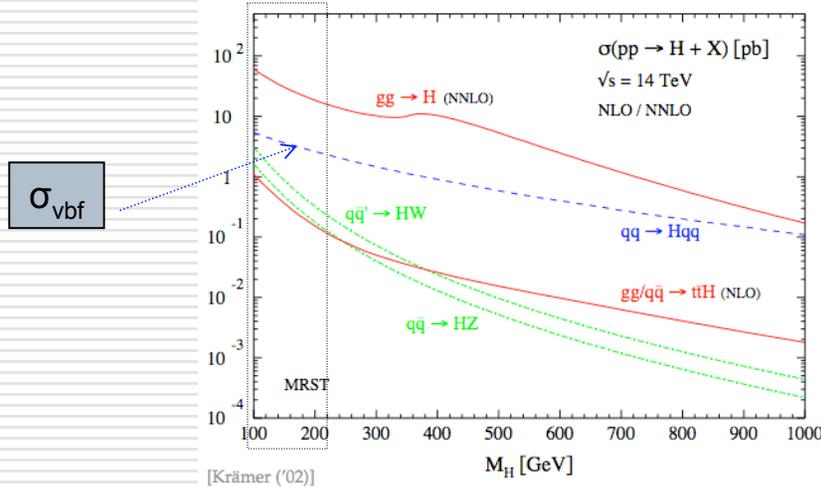
□ $b\bar{b}, \tau^+\tau^-, \gamma\gamma$ $m_H \leq 140 \text{ GeV}/c^2$

□ W^+W^-, ZZ $m_H \geq 140 \text{ GeV}/c^2$

Topologie de VBF

□ VBF ou WBF se rapporte au mode de production du boson de Higgs dans le cadre du M.S.

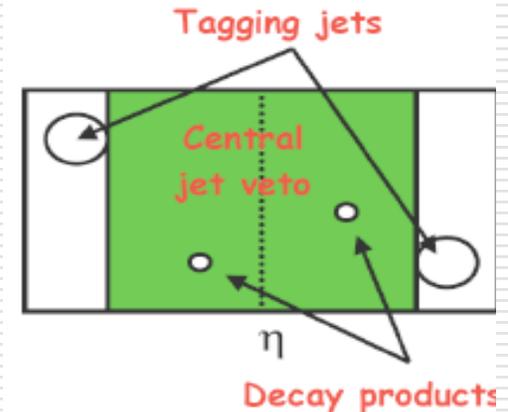
□ 2^{ème} plus grande section efficace après la fusion de gluons



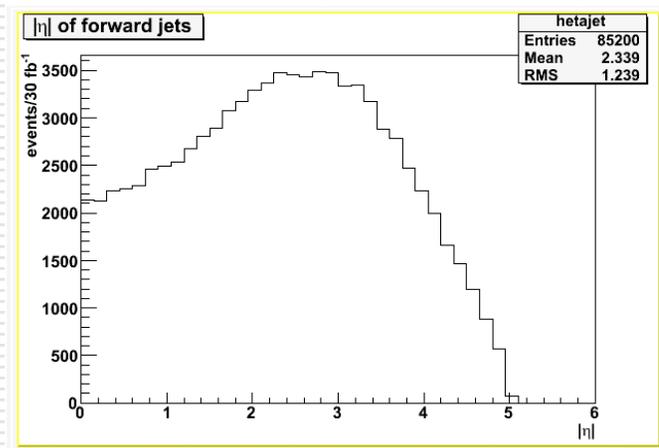
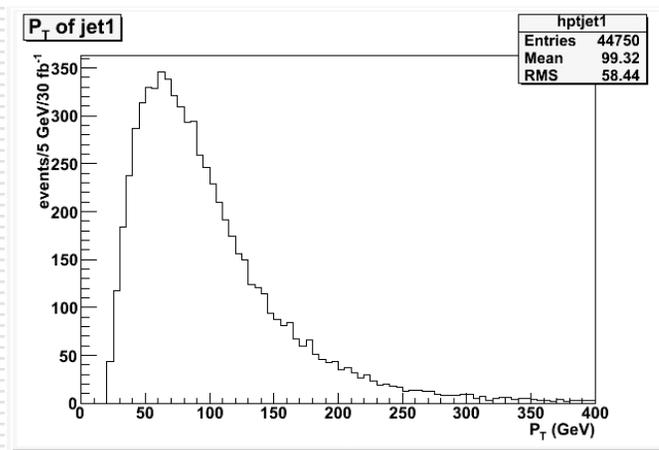
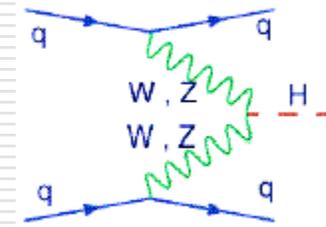
□ Caractéristiques plus importantes

- 2 jets vers l'avant (**forward jets**)
- Région centrale, faible radiation de gluon en raison de **colorless W/Z échange** : pas d'activité centrale de jets

→ **central jet veto** peut être appliqué pour supprimer le bruit de fond

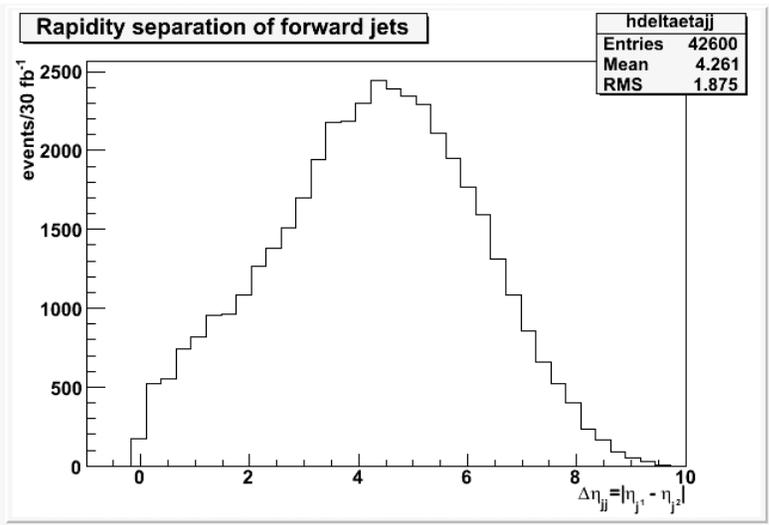


Caractéristiques Vector Boson Fusion

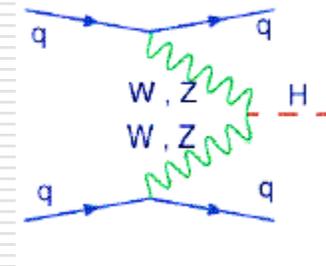


□ Les quarks diffusés donnent 2 jets vers l'avant assez énergétiques

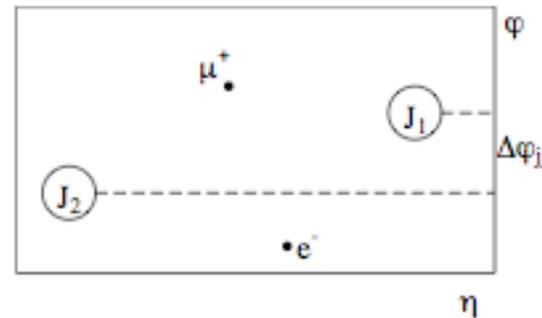
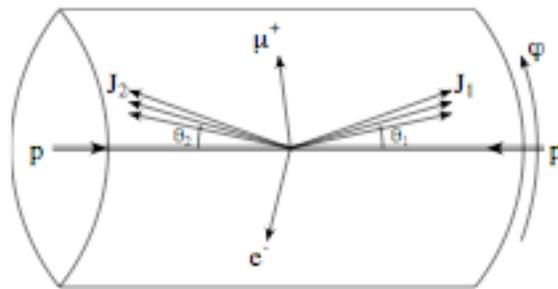
□ «Pseudo-Rapidity Gap» entre les 2 jets



Signature VBF en tau tau

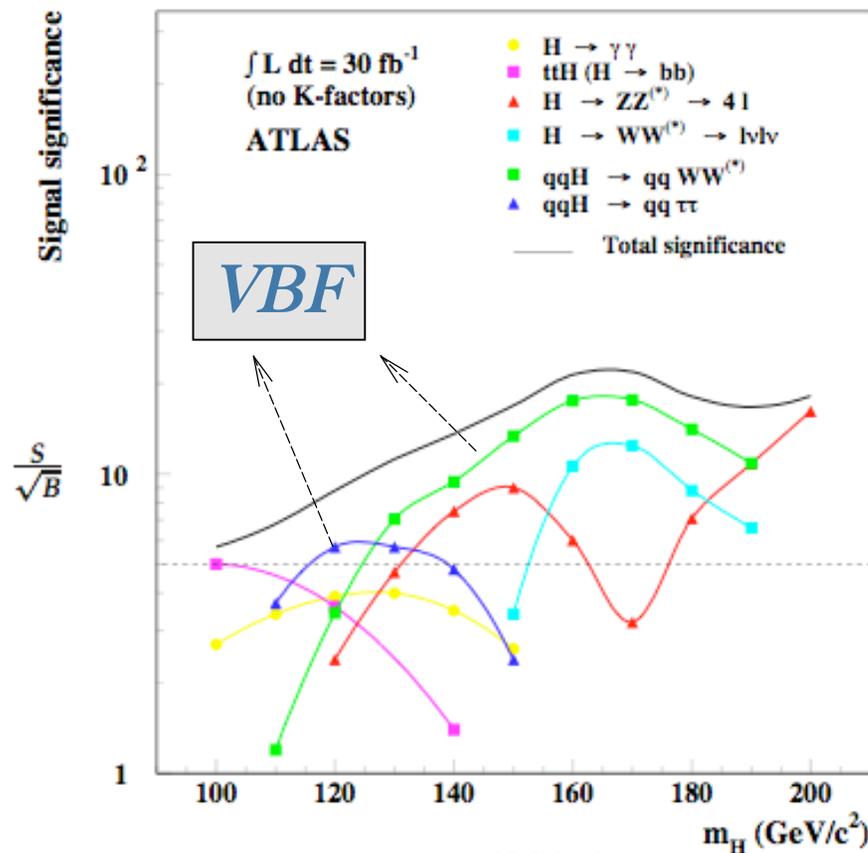


- **Un exemple: $H \rightarrow \tau^+ \tau^- \rightarrow e^- \mu^+ + (\text{énergie manquante})$**



- Jets énergétiques vers l'avant
- Large **séparation en η** et large **masse invariante** des deux forward jets (tagging jets)
- Les **produits de désintégration de Higgs entre** les tagging jets

Potentiel de découverte du boson Higgs



Hep-ph/0402254v1 Asai et al. (2004)

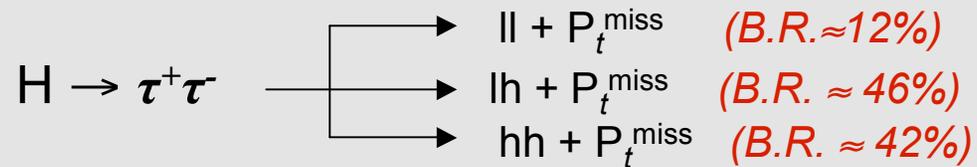
- Boson de Higgs VBF présente une observabilité élevée
- Plot de 2004 basé sur calculs LO

VBF, $H \rightarrow \tau\tau$

• Higgs léger ($110 \text{ GeV} < \text{masse} < 140 \text{ GeV}$)

Higgs Branching Ratios (ATLAS note, G.Unal and al.)	
$M_H(\text{GeV})$	$H \rightarrow \tau^+\tau^-$
110	7.5 %
120	6.8 %
130	5.3 %

□ 14 groupes dans le monde collaborent sur ce canal dans ATLAS

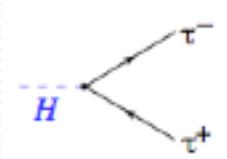


- Une étude complète pour se préparer avant le démarrage du LHC en utilisant la simulation la plus détaillée possible des événements et d' ATLAS
- Utilisation des plusieurs générateurs:
 - AlpGen , Pythia, Herwig, MC@NLO

Reconstruction de la masse

- Bruit de fond:
 - $Z \rightarrow \tau^+\tau^- + \text{jets}$
 - $t \bar{t}$
 - $W + \text{jets}$
- Boson de Higgs désintègre immédiatement en $\tau \tau$

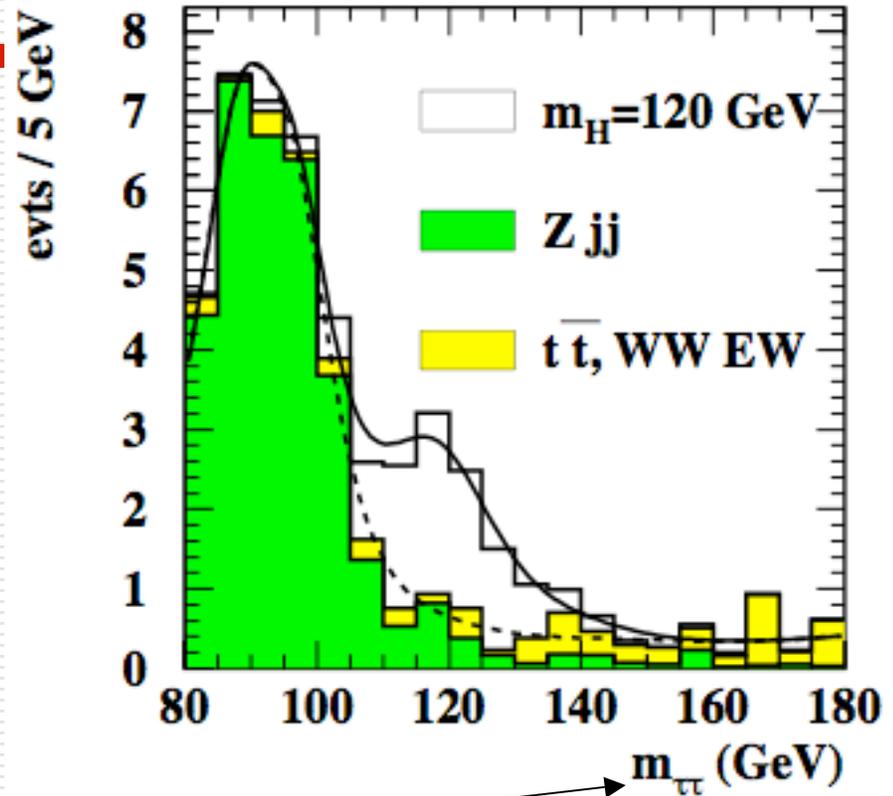
$$H \rightarrow \tau^+\tau^-$$



- $m_H = m_{\tau\tau}$

- Il faut reconstruire la masse de $\tau \tau$

$Z \rightarrow \tau^+\tau^- + N \text{ jets} : \text{ Le processus dominant du bruit de fond}$



Données MC & Software

	Données MC
Signal	VBF H→tautau→lh : ~46k év.
Bruit de fond	Z→tautau+jets : ~ 212k év. ----- t t-bar production = ~523k év.
Modèle de l'Analyse: <i>Distributed Analysis</i>	<ul style="list-style-type: none">• Travail dans ATHENA Software framework d'ATLAS (<i>c++ , python</i>)• Accès aux données officiellement produits pour l'ensemble des physiciens ATLAS avec la grille : rien localement• Faire l'analyse en utilisant la puissance de la grille• Récupérer les résultats produits par mon analyse dans mon pc• Interpréter les résultats via des histogrammes et graphes grâce à ROOT

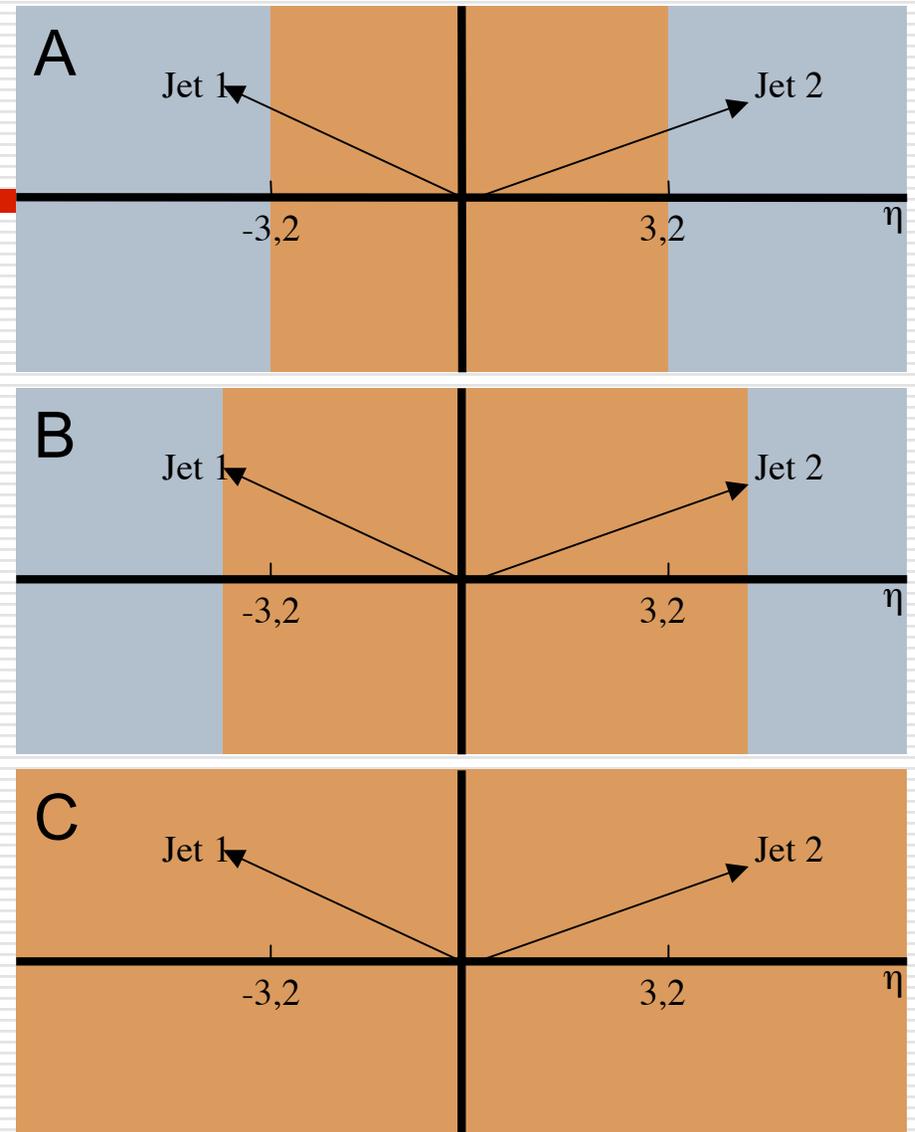
Sélections des événements

- Appliquer différentes coupures pour diminuer le bruit de fond par rapport le signal : Augmenter l'observabilité du boson de Higgs
- Un exemple:

Coupure	Signal VBFH120tautaulh		Bruit de Fond AlpGen Ztautau+jets	
	Nombre événements	Efficacité (%)	Nombre événements	Efficacité (%)
Aucune	49950		255750	
1. 2. . .	↓		↓	
Jet veto	170	0,34 ± 0,03	25	0,010 ± 0,003
Toutes coupures	170	0,34 ± 0,03	25	0,010 ± 0,003

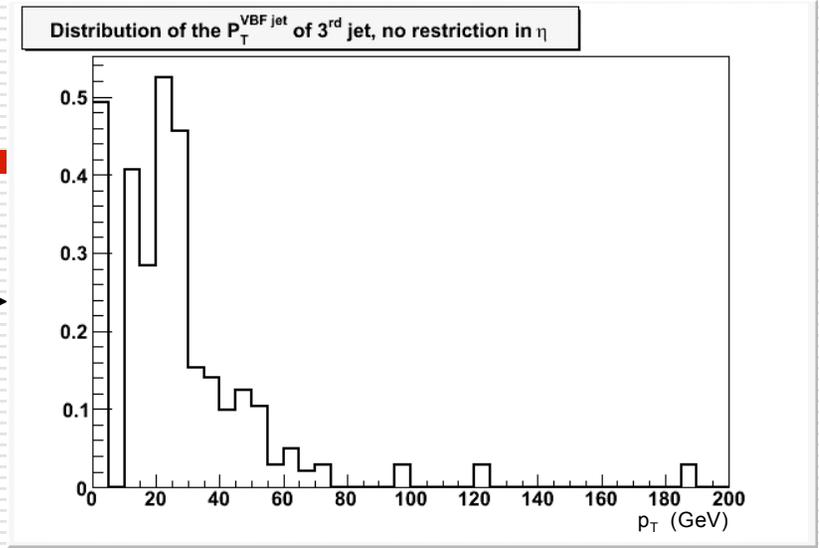
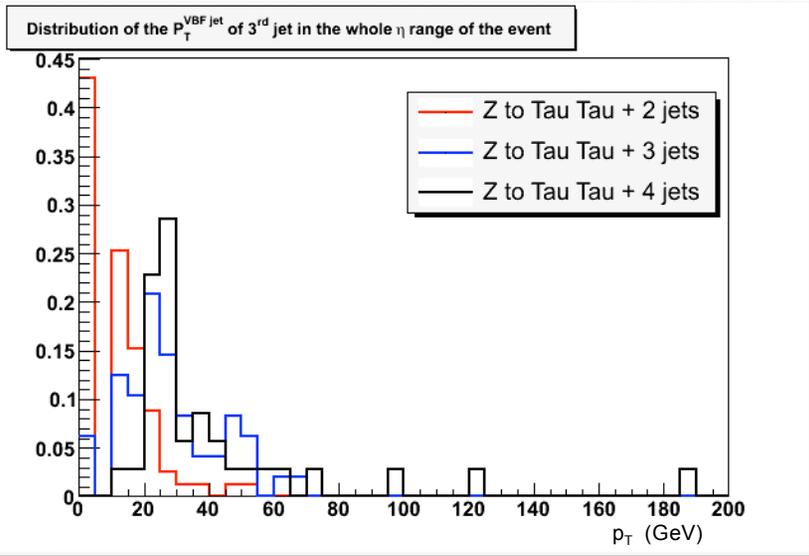
Etude de Jet Veto

- Coupure de Jet Veto :
 - **A)** Rejeter l'événement si il y a 3^{ème} jet avec $p_T > 20$ GeV en $|\eta| < 3.2$
(Event Selection BaseLine proposal+ hep-ph/0402254v1 Asai et al.)
- Est-ce la seule façon de choisir le jet veto? **Non, 2 autres possibilités ont été étudiées**
 - **B)** Rejeter l'événement si $p_T(\text{jet}_3) > 20\text{GeV}$ et si $\eta_{\text{jet1}} < \eta^{\text{3rd}}_{\text{jet}} < \eta_{\text{jet2}}$
 - **C)** Rejeter l'événement si $p_T(\text{jet}_3) > 20\text{GeV}$ sans contrainte en η
- Est-ce qu'on peut optimiser la coupure en changeant la valeur de 20 GeV?



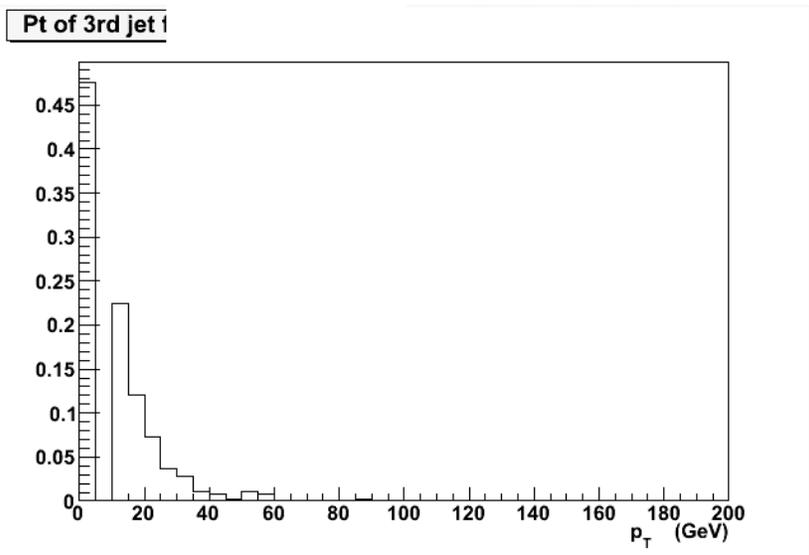
P_T du 3^{ème} jet

B:



Contribution totale

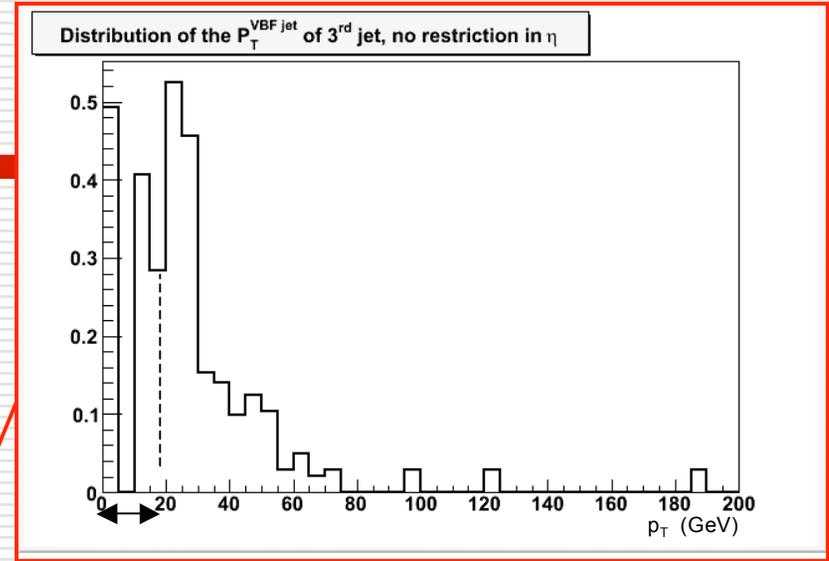
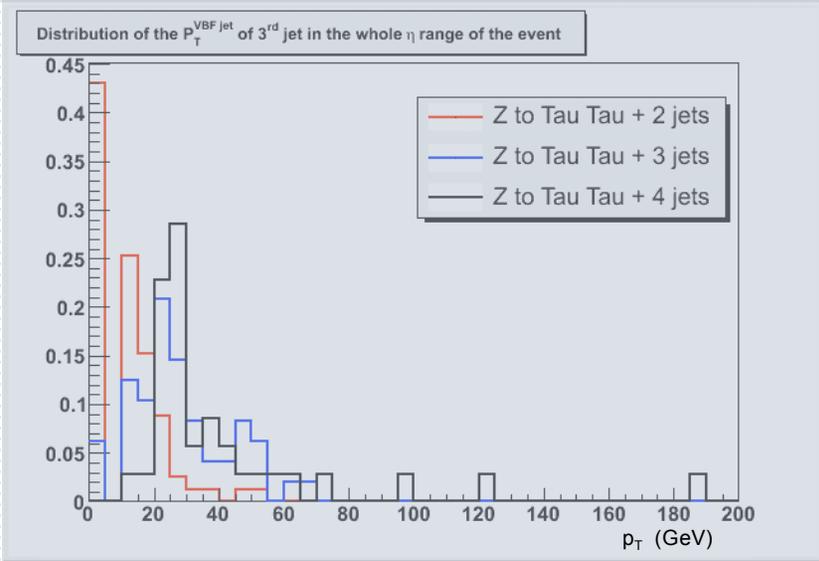
S:



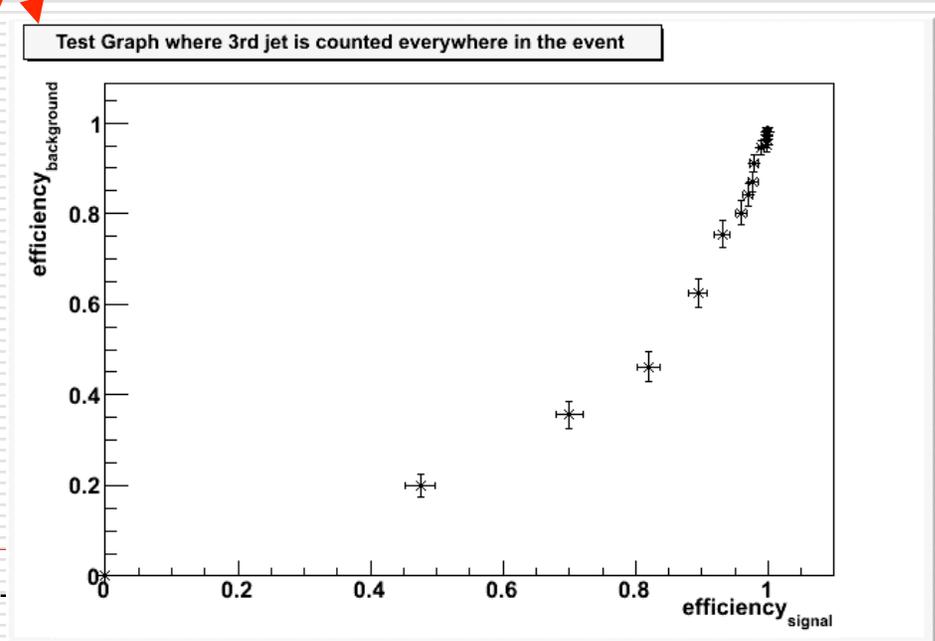
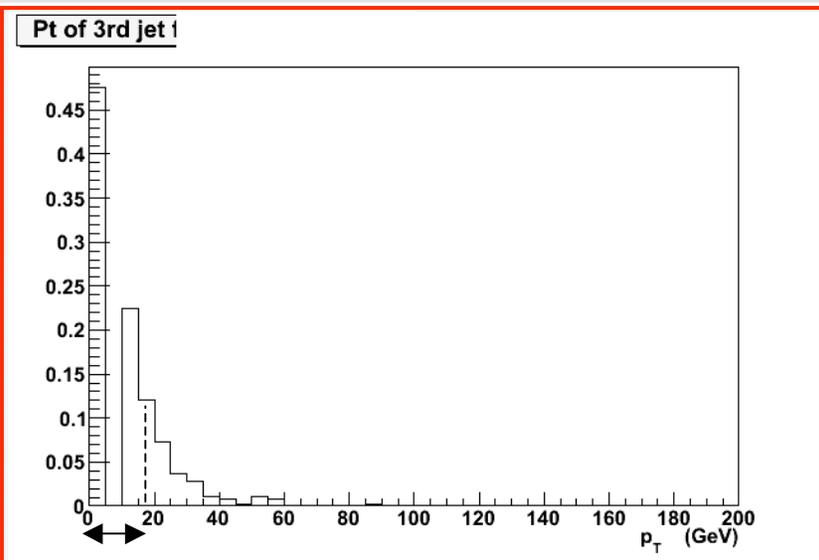
Les événements où il n'y a que 2 jets contribuent au premier bin

P_T du 3^{ème} jet

B:

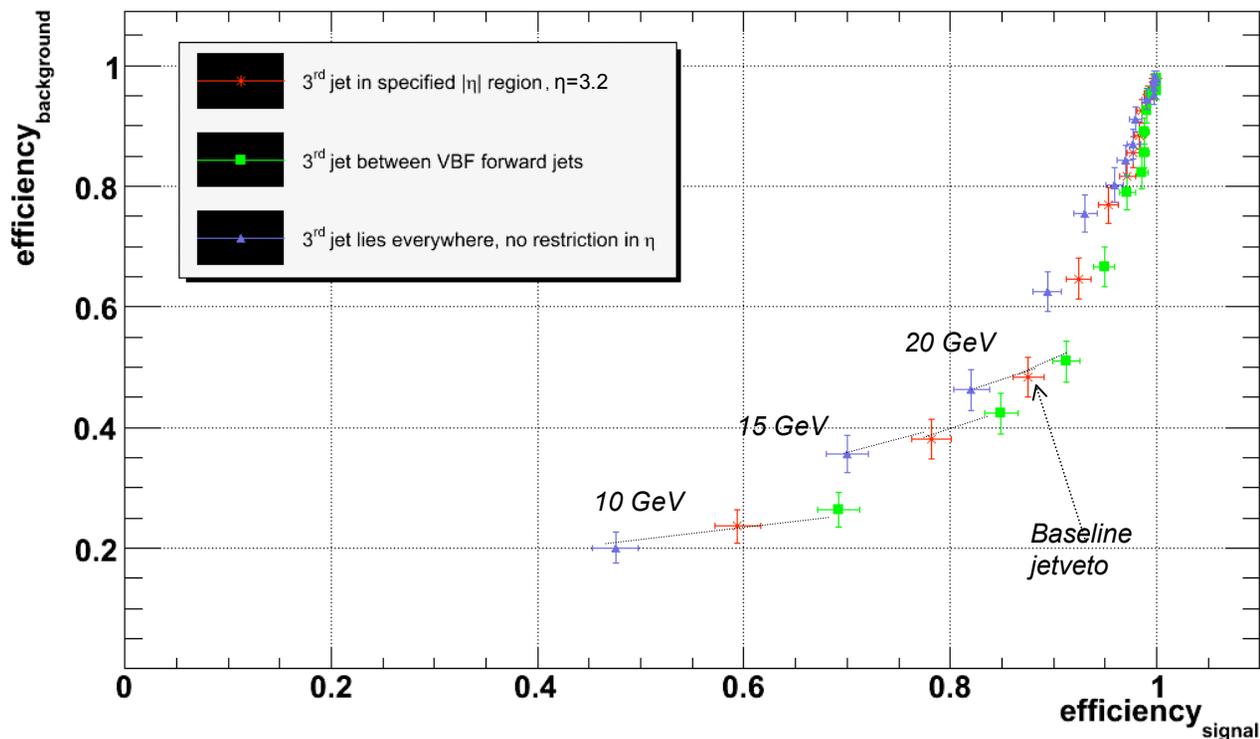


S:



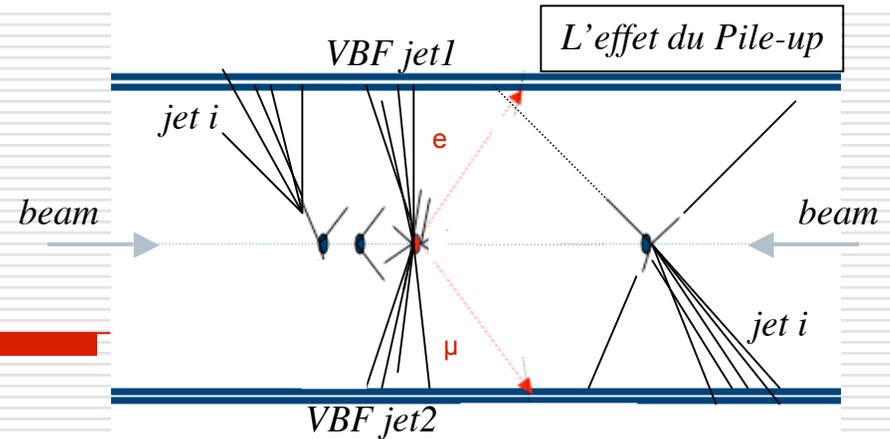
Meilleure méthode?

Efficiencies Graph,

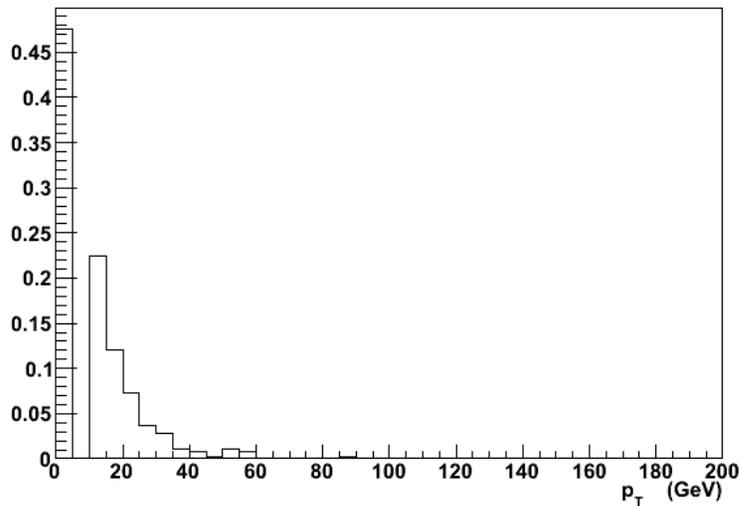


- ❑ Méthode où le 3^{em} jet se trouve entre les 2 tagging jets (*courbe verte*) présente une meilleure performance
- ❑ Méthode sans contraintes en η (*courbe bleue*), la plus mauvaise comme attendu

Comparaison *pile-up* - Sans *pile-up* Signal (VBF H \rightarrow tautau \rightarrow lh)



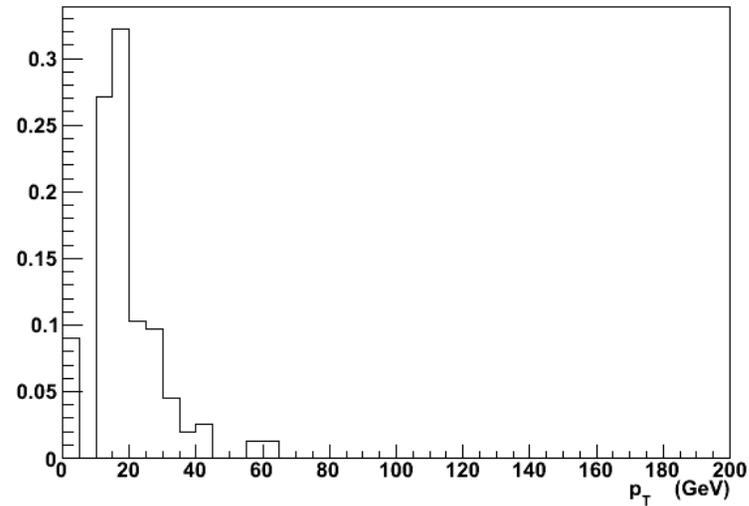
Pt of 3rd jet



Signal sans pile-up

- p_T de 3rd jet sans contrainte en eta

Pt of 3rd jet 1



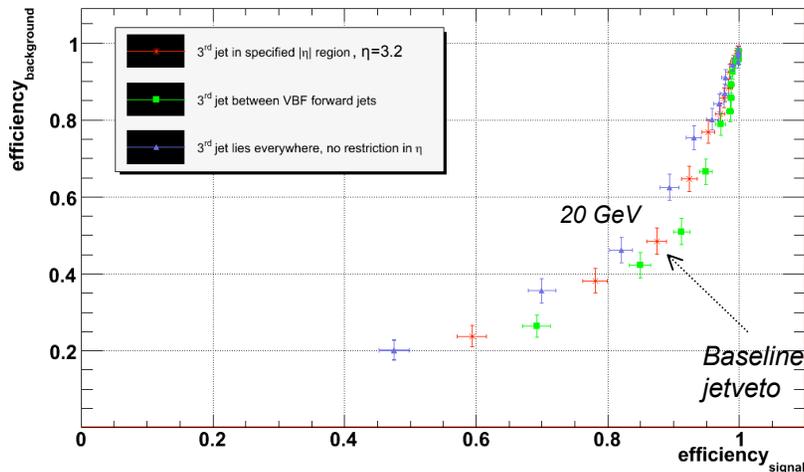
Signal avec pile-up ($L=2 \cdot 10^{33}$)

- p_T de 3rd jet sans contrainte en eta
 - distribution plus grande en bas P_T
 - beaucoup moins d'événements à 0 (1er bin : $N_{jet} = 2$)

Comparaison pileUp - NO pileUp

Signal ($VBF H \rightarrow \tau\tau \rightarrow l_h$) Vs $Z\tau\tau + jets$

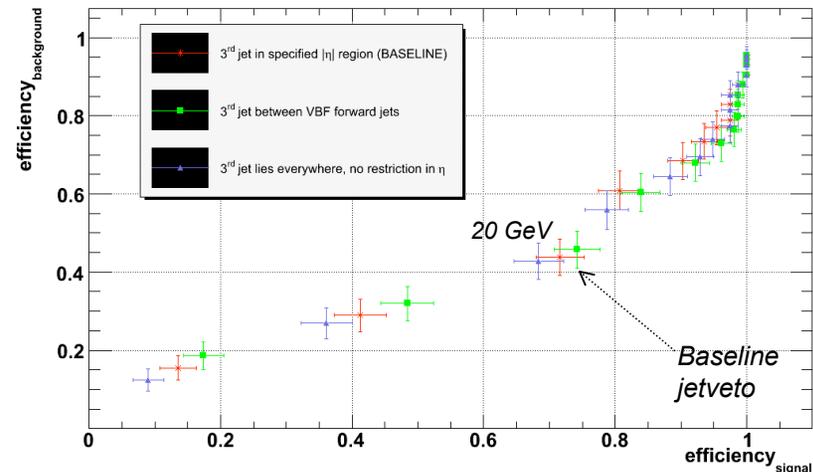
Efficiency graph, $\eta = 3.2$



Echantillon sans pile-up

- Efficacité de signal meilleure

Efficiency graph, pileUP signal Vs Z to tau tau + jets, $\eta = 3.2$



Echantillon avec pile-up

(signal: $L=2 \cdot 10^{-33}$)

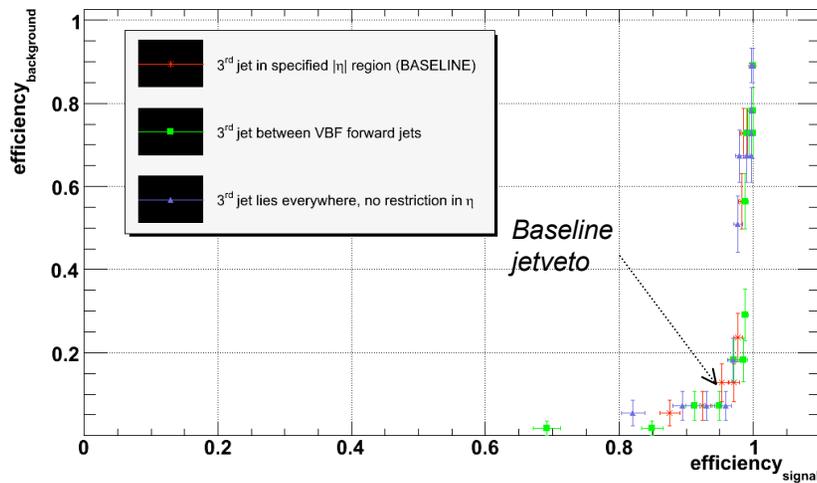
(background: $L=10^{-33}$)

- statistique faible
- une moins bonne efficacité de signal, particulièrement en bas p_T

Comparaison pileUp - NO pileUp

Signal ($VBF H \rightarrow \tau\tau \rightarrow lh$) Vs $t\bar{t}$

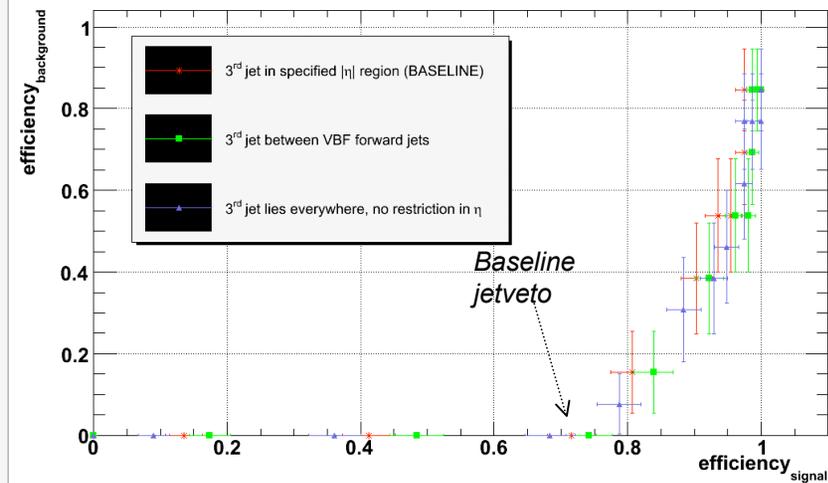
Efficiency graph , pileUP: signal Vs $t\bar{t}$ (5200), $\eta = 3.2$



Echantillon sans pile-up $t\text{-}t\bar{t}$ bruit de fond

- faible statistique pour le fond!
- événements de $t\bar{t}$: 55

Efficiency graph , pileUP: signal Vs $t\bar{t}$, $\eta = 3.2$



Echantillon avec pile-up $t\text{-}t\bar{t}$ bruit de fond ($signal: L=2 \cdot 10^{33}$) ($background: L=10^{33}$)

- moins bonne efficacité de signal, particulièrement en bas p_T
- faible statistique!
- événements de $t\bar{t}$: 13

Jet veto très efficace contre le $t\text{-}t\bar{t}$

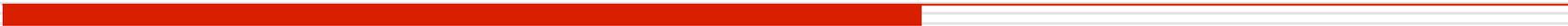
Conclusions

- VBF Higgs, un processus très important pour la découverte d'un boson de Higgs léger dans le cadre du Modèle Standard

- Les caractéristiques de la signature permettent la suppression du bruit de fond

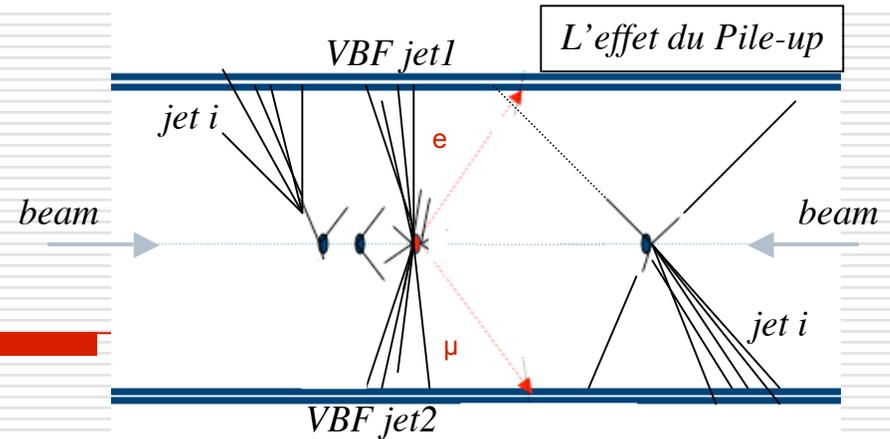
- Une étude complète et précise est en cours pour améliorer les résultats dérivés par une seule note préliminaire en 2003 (*hep-ph/0402254 S.Asai et al.*), sur le jet veto aussi

- Reste beaucoup de travail
 - *Utiliser plus de MC donnés (pile-up, tous les processus du bruit de fond, etc.)*
 - *Optimiser les coupures*
 - *Jet/Cluster Veto & Forward Jet study*
 - *Etude de MET*
 - *...*



Back up Slides

Données MC & Software



	Sans PileUp	Avec PileUp
Signal	VBF $H \rightarrow \tau \text{tautau} \rightarrow l h$: ~46k év.	VBF $H \rightarrow \tau \text{tautau} \rightarrow l h$: ~48k év. <i>luminosité : $L = 2 \cdot 10^{33} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$</i>
Bruit de fond	$Z \rightarrow \tau \text{tautau} + \text{jets}$: ~ 212k év. ----- t t-bar production = ~523k év.	$Z \rightarrow \tau \text{tautau} + \text{jets}$: ~217k év. <i>luminosité : $L = 10^{33} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$</i> ----- t t-bar production = ~453k év. <i>luminosité : $L = 10^{33} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$</i>
Modèle de l'Analyse: <i>Distributed Analysis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Travail dans ATHENA Software framework d'ATLAS (c++ , python) • Accès aux données officiellement produits pour l'ensemble des physiciens ATLAS avec la grille : rien localement • Faire l'analyse en utilisant la puissance de la grille • Récupérer les résultats produits par mon analyse dans mon pc • Interpréter les résultats via des histogrammes et graphes grâce à ROOT 	

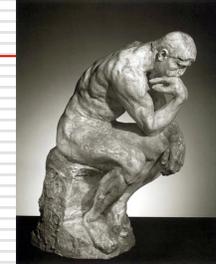
Reconstruction de la masse 2/2

□ Approximation Colinéaire

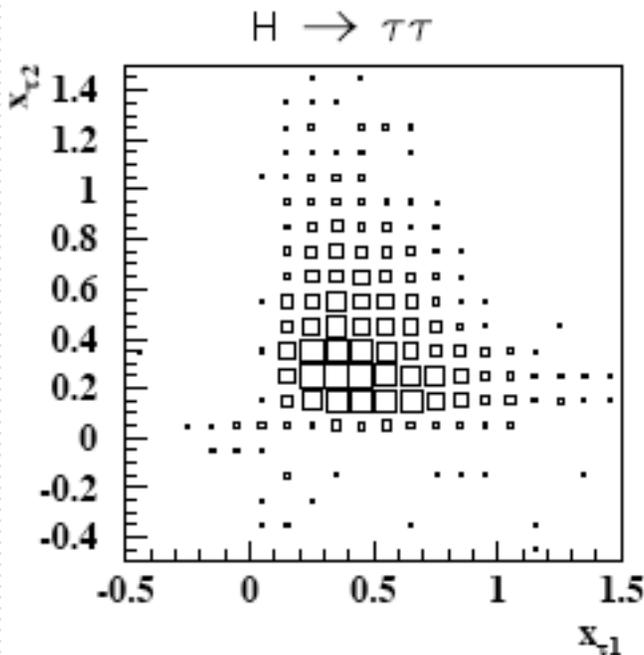
- x_τ = Fraction d'impulsion transférée au produits de tau

$$\vec{p}_\tau = \frac{\vec{p}_l}{x_\tau}$$

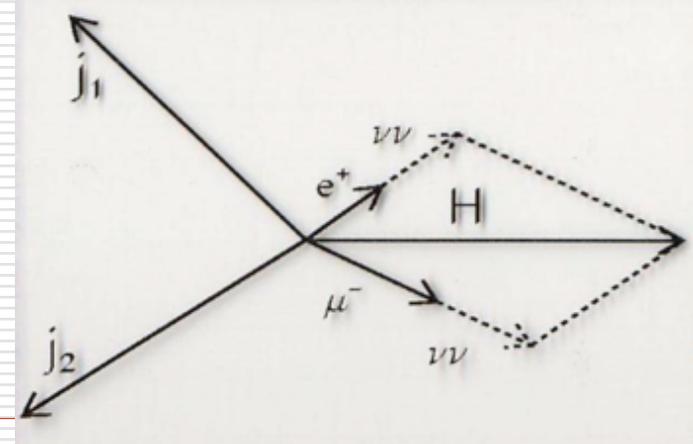
- Hypothèse que les produits de tau sont colinéaire à la direction de tau
- Acceptable car tau est d'impulsion suffisante
- En utilisant $\vec{p}_{T,\tau_1} + \vec{p}_{T,\tau_2} = \vec{p}_{T,e} + \vec{p}_{T,\mu} + \vec{p}_{T,miss}$, les x_τ sont déduits



L'approximation ne marche pas quand les produits sont back-to-back !



$$M_{\tau\tau} \approx \frac{m_{ll}}{\sqrt{x_{\tau_1} x_{\tau_2}}}$$



Sélection des événements

<i>CUTS</i>	<i>ll - case</i>	<i>lh - case</i>	<i>hh - case</i>
<i>Trigger</i>	«e25i» or «mu20i» $e_{p_T} > 25 \text{ GeV}$	$\mu_{p_T} > 20 \text{ GeV}$	«tau35i+MET40» $\tau_{p_T} > 35 \text{ GeV}$
<i>Dilepton</i>	$\#e + \#\mu = 2$	$\#e + \#\mu = 1$	----
<i>Tight jet</i>	$\#\text{jets} > 1$ (leading jet $p_T > 40 \text{ GeV}$)		
<i>Tight tau</i>	----	$\#\text{hadro.tau} = 1$	$\#\text{hadro.tau} = 2$
<i>Missing p_T</i>	$\text{MET} > 40 \text{ GeV}$	$\text{MET} > 30 \text{ GeV}$	$\text{MET} > 40 \text{ GeV}$
<i>Collinear Approximation</i>	$0 < x_l < 0.75$, $\cos(\Delta\phi) > -0.9$	$0 < x_l < 0.75$, $0 < x_h < 1$ $\cos(\Delta\phi) > -0.9$	$0 < x_h < 1$ $\cos(\Delta\phi) > -0.9$
<i>M_T</i>	$M_T < 30 \text{ GeV}$	----	$M_T < 80 \text{ GeV}$
<i>Forward Jet</i>	$\eta_{\text{jet1}} \cdot \eta_{\text{jet2}} < 0$		
<i>Centrality</i>	H decay products lie between two VBF forward jets in eta		
<i>Jet Separation</i>	$\Delta\eta_{jj} > 4.4$		
<i>Di-Jet mass</i>	$M_{jj} > 700 \text{ GeV}$		
<i>Central Jet Veto</i>	If 3th jet with $p_T > 20 \text{ GeV}$, in $ \eta < 3.2$		

- Cut Flow, BaseLine Analysis (simplifié) suivi par tous les membres du groupe
- Les valeurs des coupures sont encore discutées
- Permet d'être sur que tous travaillent dans le même cadre («acceptance challenge»)

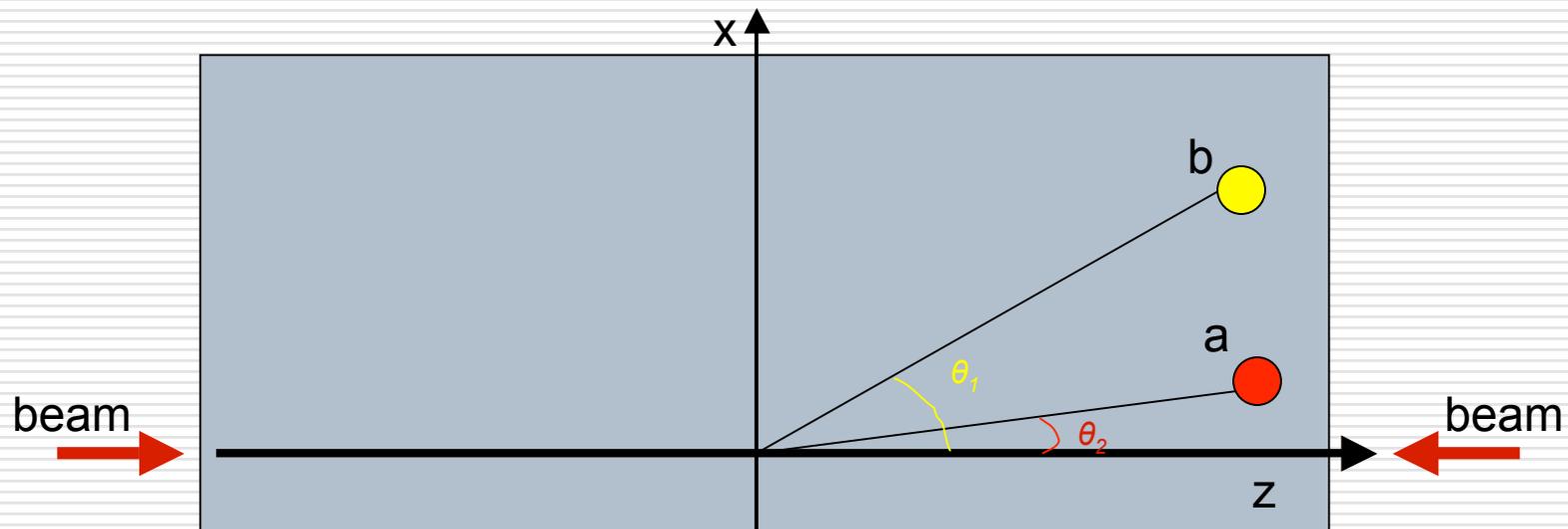
Sélections des évènements ⇒ Cut Flow

Cut	DataSet 5334 Herwig VBFH120tautaulh			DataSet 8162 AlpGen Ztautau+2,3,4,5jets		
	Total Events	<i>Total Efficiency (%)</i>	<i>Rel. Efficiency (%)</i>	Total Events	<i>Total Efficiency (%)</i>	<i>Rel. Efficiency (%)</i>
None	49950			255750		
a) Trigger & at least one lepton	16424	32,88 ± 0,21	32,88 ± 0,21	81061	31,69 ± 0,14	31,69 ± 0,14
b) Di - lepton Veto	14553	29,14 ± 0,20	88,6 ± 0,2	73570	28,77 ± 0,14	90,8 ± 0,2
c) Hadronic Tau	2091	4,19 ± 0,09	14,4 ± 0,3	7175	2,805 ± 0,036	9,8 ± 0,1
d) N Jets	1514	3,03 ± 0,08	72,4 ± 1,0	6361	2,487 ± 0,031	88,7 ± 1,1
e) MET Cut	1020	2,04 ± 0,06	67,4 ± 1,2	4008	1,567 ± 0,024	63,0 ± 1,4
f) Collinear Approximation	639	1,28 ± 0,05	62,6 ± 1,5	2323	0,908 ± 0,019	58,0 ± 1,9
g) Transverse Mass	498	1,00 ± 0,04	77,9 ± 1,6	1940	0,759 ± 0,017	83,5 ± 1,7
h) Opposite Hemi	408	0,82 ± 0,04	81,9 ± 1,7	1039	0,406 ± 0,013	53,6 ± 2,6
i) Centrality	374	0,75 ± 0,04	91,7 ± 1,4	528	0,206 ± 0,010	50,8 ± 3,4
j) Tagging jet separation	227	0,45 ± 0,03	60,7 ± 2,5	95	0,037 ± 0,005	18,0 ± 3,7
k) Mjj cut	202	0,40 ± 0,03	89,0 ± 2,1	58	0,023 ± 0,004	61,1 ± 9,6
l) Jet Veto	170	0,34 ± 0,03	84,2 ± 2,6	25	0,010 ± 0,003	43,1 ± 8,3

Pseudorapidity - η - eta

□ $\eta = -\ln[\tan(\theta/2)]$

$\theta [^\circ]$	90	45	40.4	15.4	15	10	5.7	2.1
η	0	0.88	1	2	2.03	2.44	3	4



❑ Pile-up related to Luminosity

- high-luminosity: $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - ~ 23 minimum bias events per bunch crossing (“pile-up”)
 - ~ 1000 charged tracks per event
- low-luminosity: $10^{33}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (3 years): still 2.3 min. bias per event

❑ \Rightarrow minimize out of time pile-up with a fast detector response

❑ \Rightarrow minimize in-time pile-up with high granularity

In scattering theory and accelerator physics

In [scattering theory](#) and [accelerator](#) physics, **luminosity** is the number of particles per unit [area](#) per unit [time](#) times the [opacity](#) of the target, usually expressed in $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ or $\text{b}^{-1}\text{s}^{-1}$. The integrated luminosity is the [integral](#) of the luminosity with respect to time. The luminosity is an important value to characterize the performance of an accelerator.

Elementary relations for luminosity

- L is the Luminosity.
- N is the number of interactions.
- σ is the total [cross section](#).

$$\frac{dN}{dt} = L\sigma$$

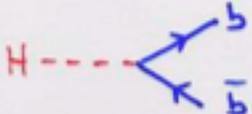
For an intersecting storage ring collider:

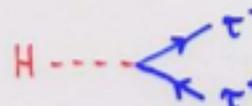
- f is the revolution frequency
- n is the number of bunches in one beam in the storage ring.
- N_i is the number of particles in each beam
- A is the cross section of the beam

$$L = fn \frac{N_1 N_2}{A}$$

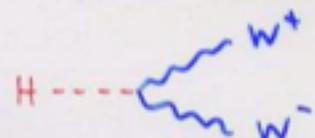
Boson de Higgs

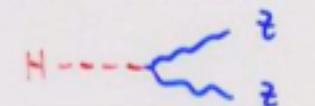
Main Higgs decay channels

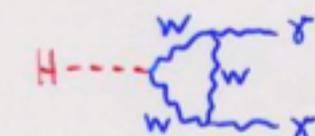
$H \rightarrow b\bar{b}$  $m_H \lesssim 150 \text{ GeV}$

$H \rightarrow \tau^+\tau^-$  $m_H \lesssim 140 \text{ GeV}$

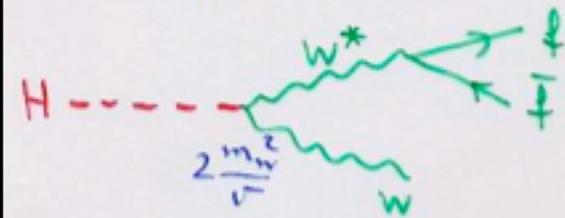
and into gauge bosons

$H \rightarrow W^+W^-$  $m_H \gtrsim 120 \text{ GeV}$

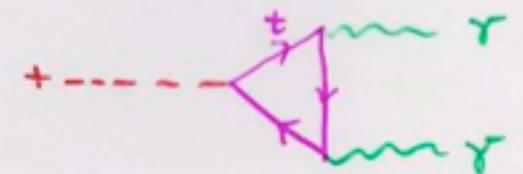
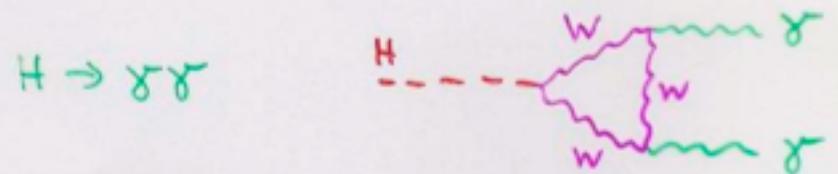
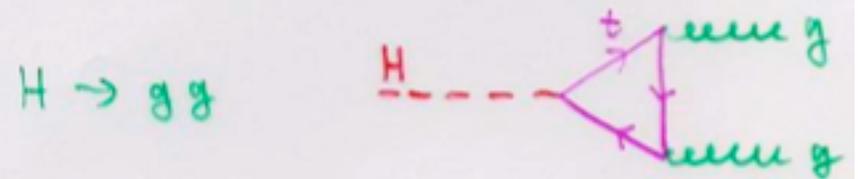
$H \rightarrow ZZ$  $m_H \gtrsim 120/180 \text{ GeV}$

$H \rightarrow \gamma\gamma$  $m_H \lesssim 150 \text{ GeV}$

For $m_H \gtrsim 110 \text{ GeV}$: $H \rightarrow WW^*$



Loop decays



Central jet veto

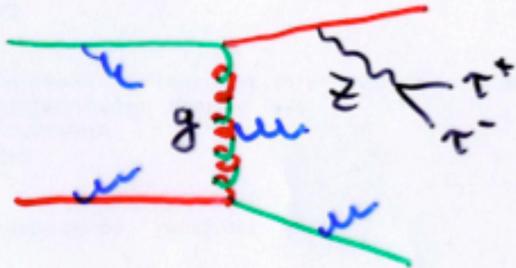
- $t\bar{t}$ + jets background for $q\bar{q} \rightarrow q\bar{q} H$, $H \rightarrow W^+W^-$
 \Rightarrow veto b-jets from $t \rightarrow bW$

- t-channel color singlet exchange



"synchrotron" radiation between initial and final quark direction
 \Rightarrow central jets suppressed

- Major QCD backgrounds: t-channel color octet exch.



deflection of color charge by $\sim 180^\circ \Rightarrow$ strong color acceleration
 \Rightarrow enhanced central gluon emis.

\Rightarrow central jet veto suppresses QCD backgrounds to weak boson fusion

On pense que le vide est rempli
par **le champ de Higgs** qui
interagit avec les particules qui
acquièrent alors une masse

La valeur dans le vide du champ
de Higgs est $v/\sqrt{2}$

avec $v = (G_F\sqrt{2})^{-1/2} = 246 \text{ GeV}$

Le **boson de Higgs** correspond aux
excitations du champ autour de
cette valeur moyenne dans le vide

Le chapeau mexicain

$$V(\phi) = \mu^2(\phi^\dagger\phi) + \lambda(\phi^\dagger\phi)^2$$

$$\mu^2 < 0$$

Le minimum est à $v/\sqrt{2}$ avec $v = \sqrt{-\mu^2/\lambda}$

