

Stage du Master 2 PSA de Grenoble

Reconstruction du canal $B_s \rightarrow J/\Psi(\mu^+\mu^-)\eta(\gamma\gamma)$ dans l'expérience LHCb

Sébastien Valat



Plan

- **La violation CP dans le canal $B_s \rightarrow J/\Psi \eta$**
 - Matrice CKM, violation CP, triangles d'unitarité
 - Mesure de β_s
- **L'expérience**
 - Le LHC
 - Le détecteur LHCb
 - Identification des muons et des photons
- **Reconstruction et sélections**
 - Les événements simulés
 - Reconstruction des particules
 - Coupures de reconstruction
 - Sélections
 - Bruit de fond $J/\Psi X$
- **Conclusion**



Matrice CKM, violation CP, triangles d'unitarité

Matrice CKM et représentation de Wolfenstein :

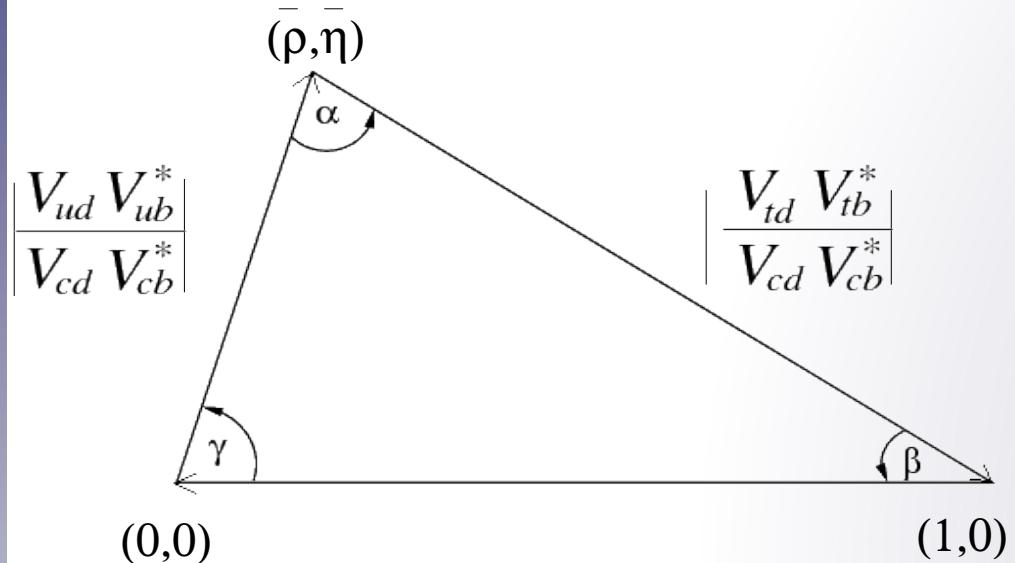
$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 \\ -\lambda \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) \end{pmatrix}$$

Source de la violation CP

$$\begin{pmatrix} \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & A\lambda^2 \\ -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + O(\lambda^4)$$

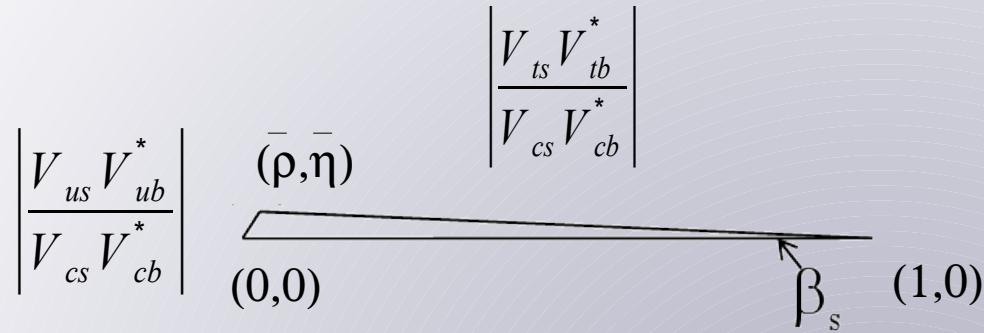
Système des mésons B_d

$$V_{ud}V_{ub}^* + V_{cd}V_{cb}^* + V_{td}V_{tb}^* = 0$$



Système des mésons B_s

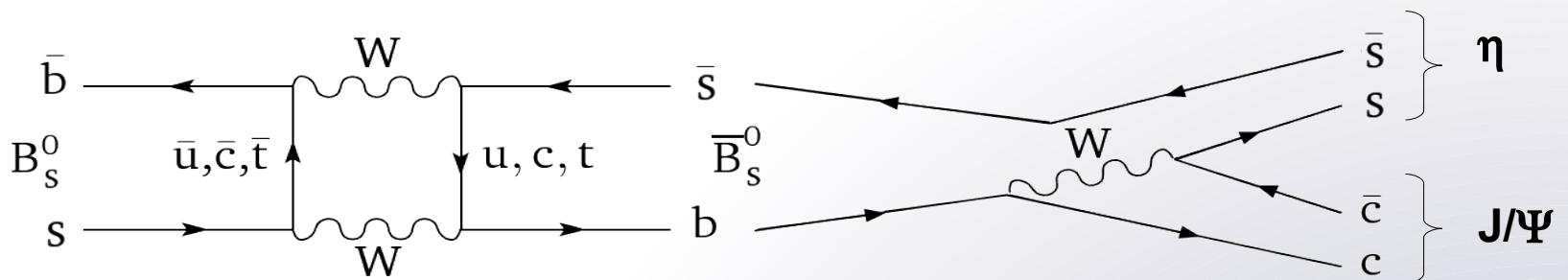
$$V_{us}V_{ub}^* + V_{cs}V_{cb}^* + V_{ts}V_{tb}^* = 0$$



$$\beta_s \equiv \arg \left[-\frac{V_{tb}V_{ts}^*}{V_{cb}V_{cs}^*} \right]$$

Mesure de β_s

- Oscillation des B_s^0 et désintégration en $J/\Psi \eta$**



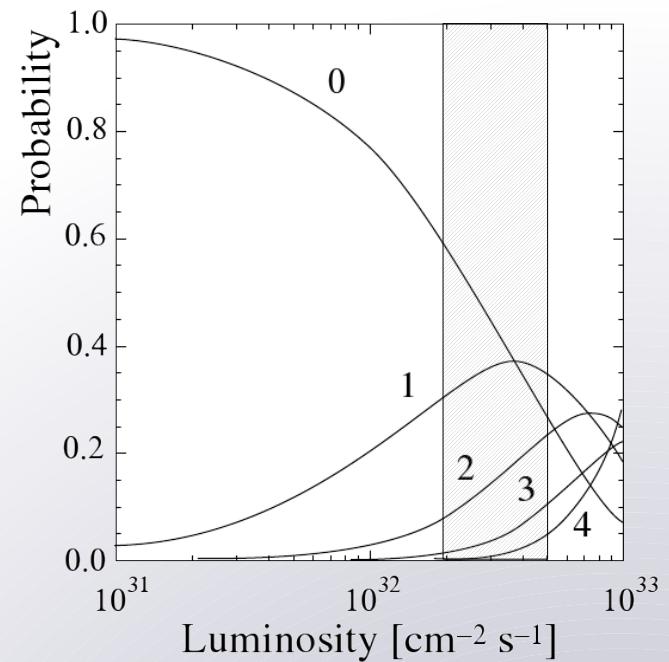
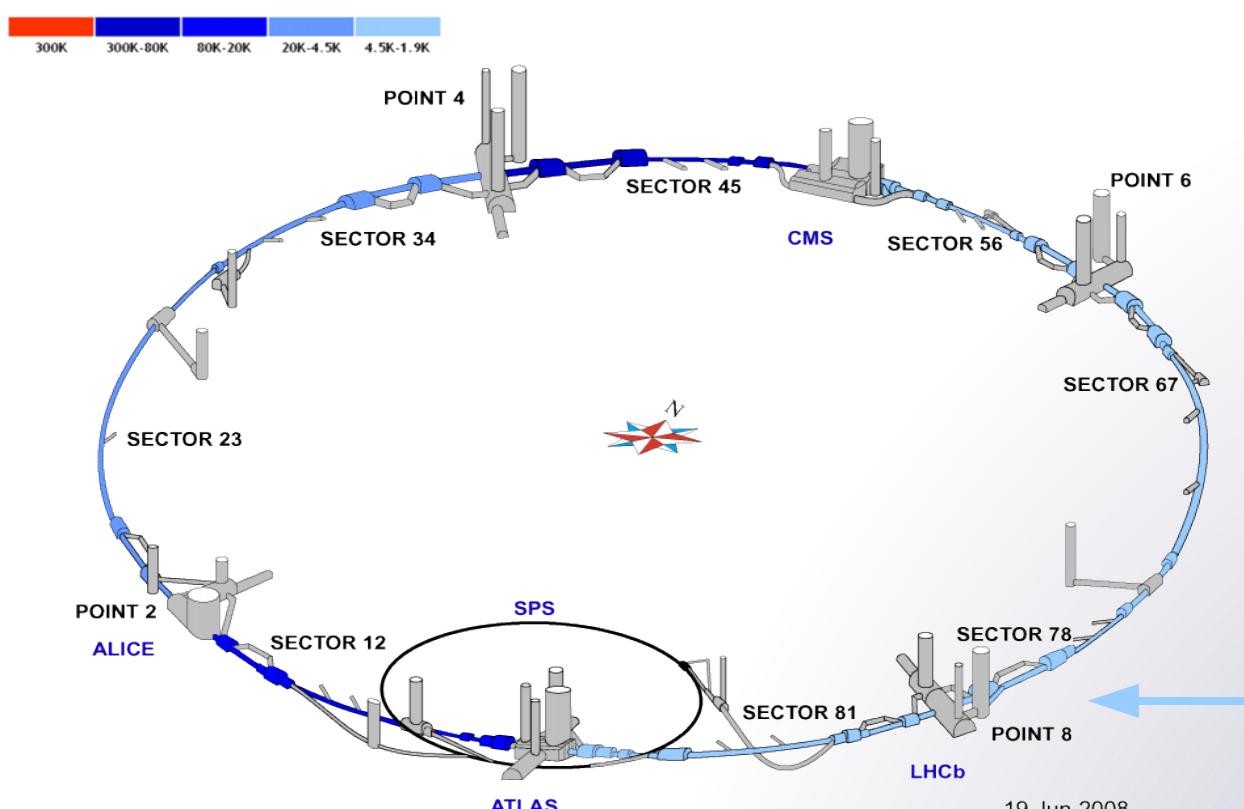
- On extrait β_s par la mesure de l'asymétrie :**

$$A_{fCP}(t) \equiv \frac{\Gamma[\bar{B}_s^0(t) \rightarrow f_{CP}] - \Gamma[B_s^0(t) \rightarrow f_{CP}]}{\Gamma[\bar{B}_s^0(t) \rightarrow f_{CP}] + \Gamma[B_s^0(t) \rightarrow f_{CP}]} = \frac{\sin(2\beta_s) \sin(\Delta m_s t)}{\cosh(\frac{\Delta \Gamma_s t}{2}) - \cos(2\beta_s) \sinh(\frac{\Delta \Gamma_s t}{2})}$$

• Δm_s : $17.77 \pm 0.1 \pm 0.07 \text{ ps}^{-1}$
 • $\Delta \Gamma_s$: $0.076 \pm 0.063 \pm 0.006 \text{ ps}^{-1}$
 (Résultats de CDF [1][2])

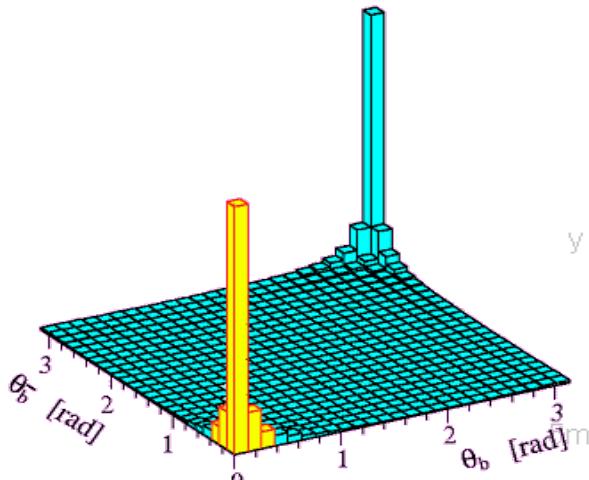
[1] : Phys. Rev. Lett. 97, 242003 (2006)
 [2] : Phys. Rev. Lett. 100, 121803 (2008)

Le LHC

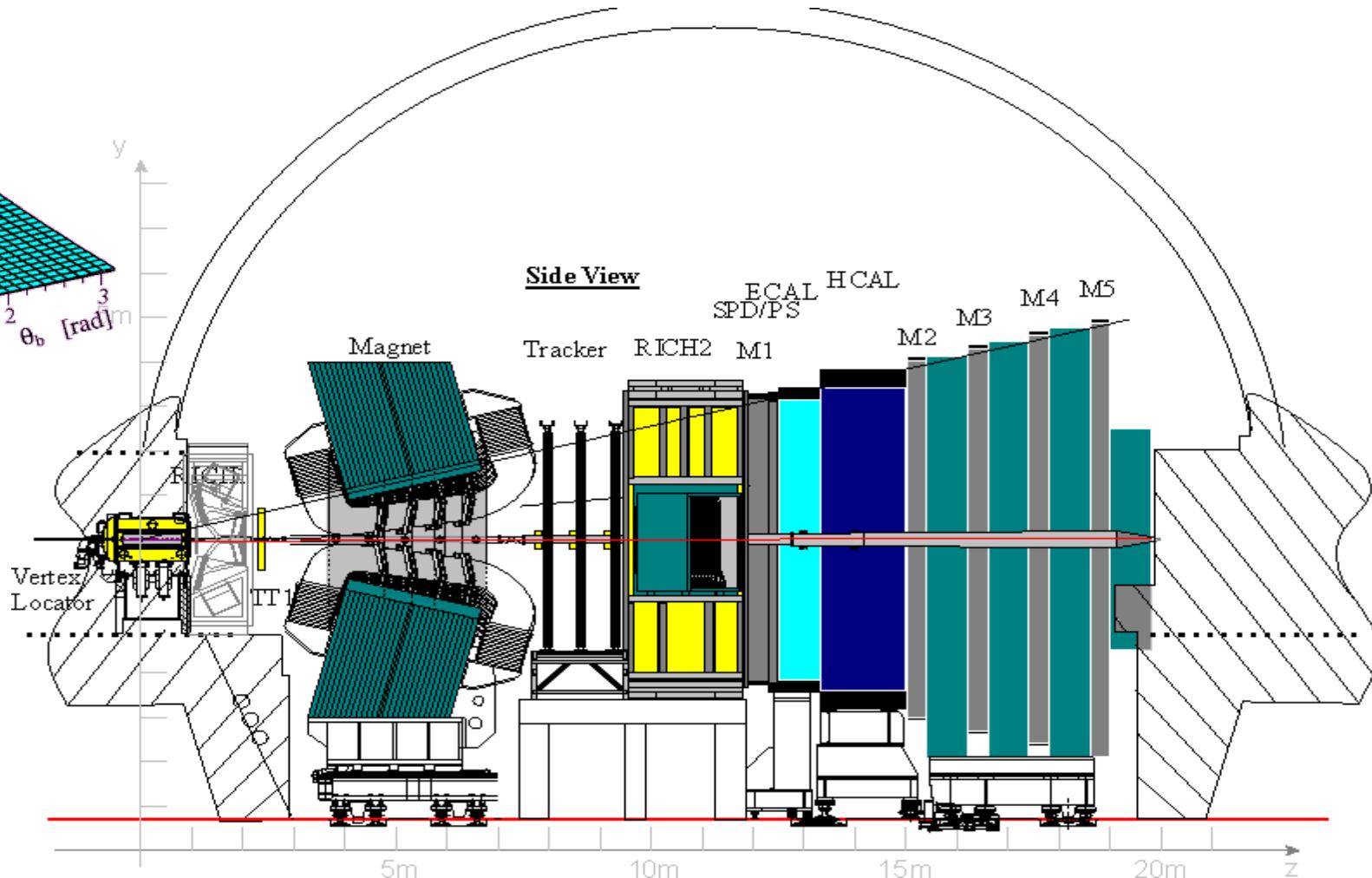


- Collisions à **14 TeV**
- Au niveau de LHCb : $L_{\text{LHCb}} \sim 2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
- Environ **0.5** collisions pp par croisement

Le détecteur LHCb



Production des paires $b\bar{b}$ vers l'avant



Acceptance :

- Pseudo rapidité : $1.9 < \eta < 4.9$
- Angulaire : $10 < \theta < 300$ mrad

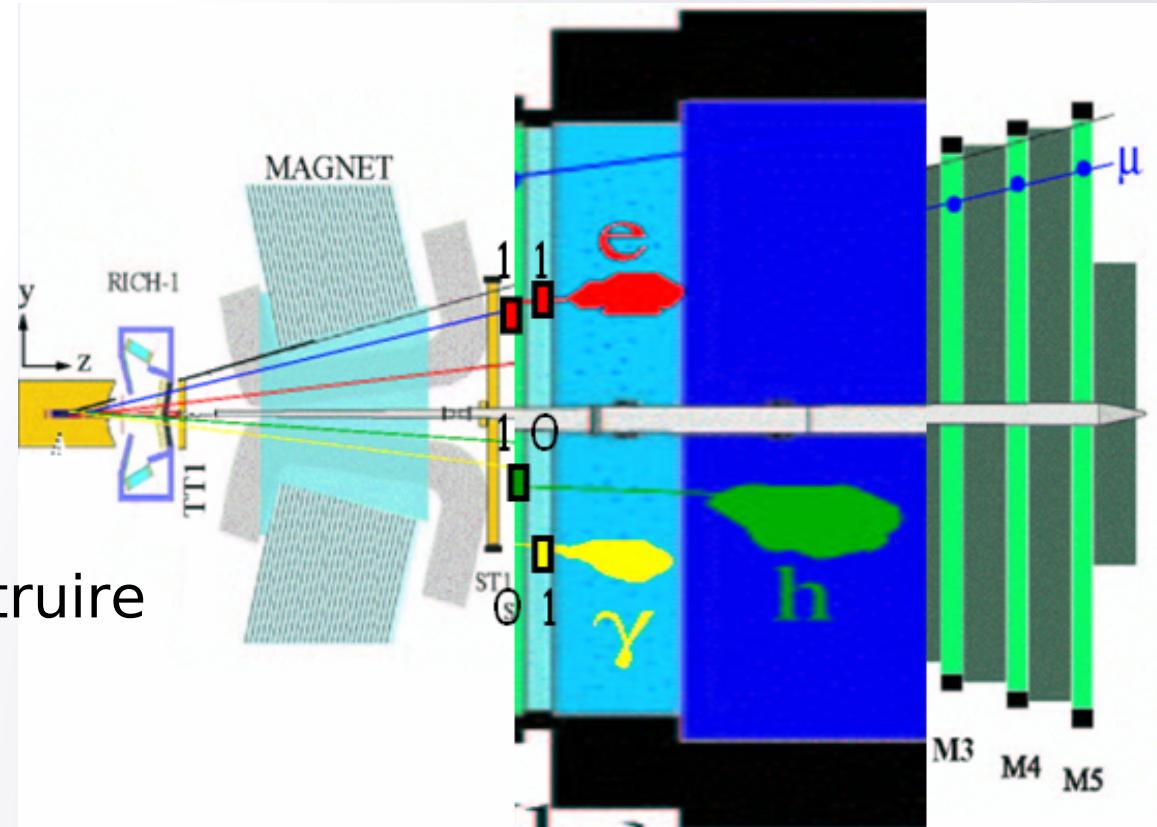
Identification des muons et des photons

Muons

- Trace associée à des hits dans les chambres à muons
- Minimum requis : $M2+M3$ ($P > 3\text{GeV}/c$)

Photons

- Pas de trace à proximité du hit
- Pas de dépôt dans SPD si non convertis
- Dépôt dans PS
- On considère qu'ils viennent du vertex primaire pour reconstruire l'impulsion



Les événements attendus

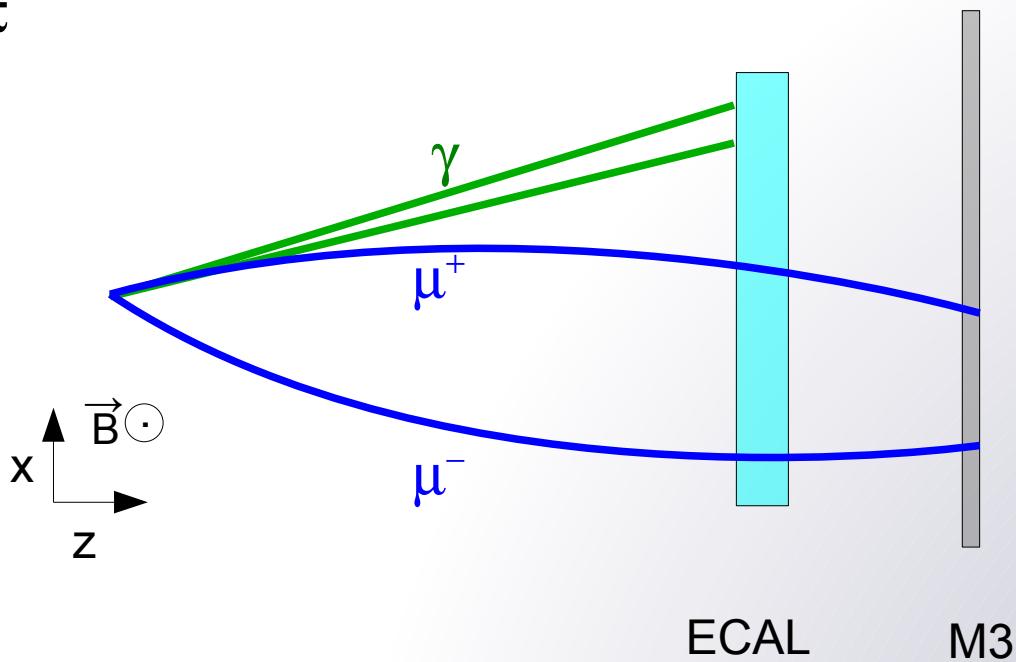
- $\sigma_{bb} = 500 \mu b$ et $L = 2 \text{ fb}^{-1}$ on attend pour une année :
 - 10^{12} paires $b\bar{b}$,

Désintégration	Rapport de branchement	source
$\bar{b} \rightarrow B_s^0$	$(10.3 \pm 1.4)\%$	PDG
$B_s \rightarrow J/\Psi \eta$	0.032%	DC06 ¹
$\eta \rightarrow \gamma\gamma$	$(39.38 \pm 0.26)\%$	PDG
$J/\Psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$	$(5.93 \pm 0.06)\%$	PDG

- $\sim 700 \text{ 000}$ événements $B_s \rightarrow J/\Psi(\mu^+\mu^-)\eta(\gamma\gamma)$ dans 4π

Efficacité d'acceptance

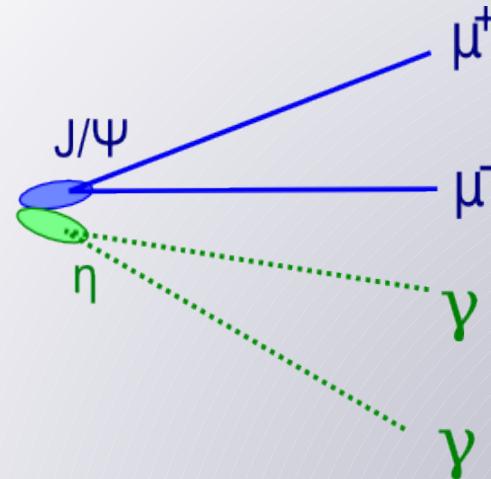
- Simulation : **97437** événements $B_s \rightarrow J/\Psi(\mu^+\mu^-)\eta(\gamma\gamma)$ générés dans 2π



- Les deux muons générés doivent atteindre M3
- Les deux photons générés doivent atteindre ECAL
- Événements dans l'acceptance : **15351 (15%)**

Reconstruction des J/ Ψ et η

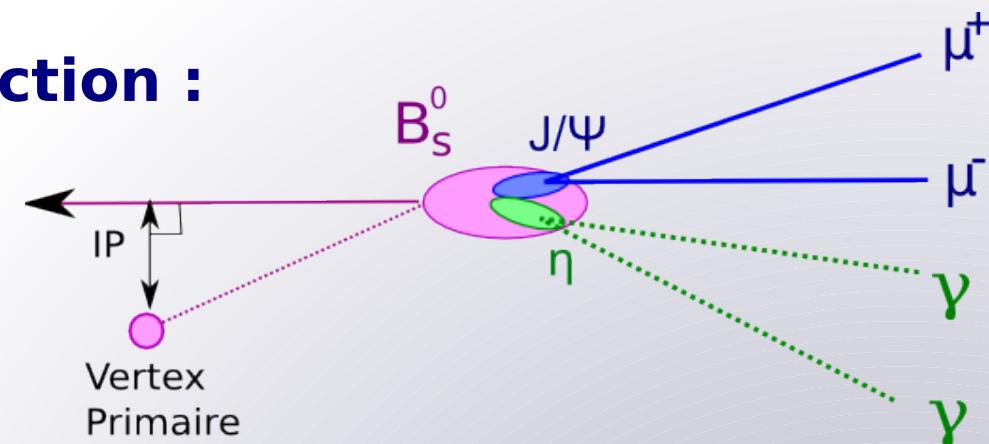
- **Reconstruction des J/ Ψ par combinatoire des μ^+ et μ^- vérifiant :**
 - $p_T > 300 \text{ MeV/c}$
- **Reconstruction des η par combinatoire de deux photons vérifiant :**
 - Non convertis
 - $p_T > 200 \text{ MeV/c}$



- Pour les η le vertex est considéré à la même position que le J/Ψ

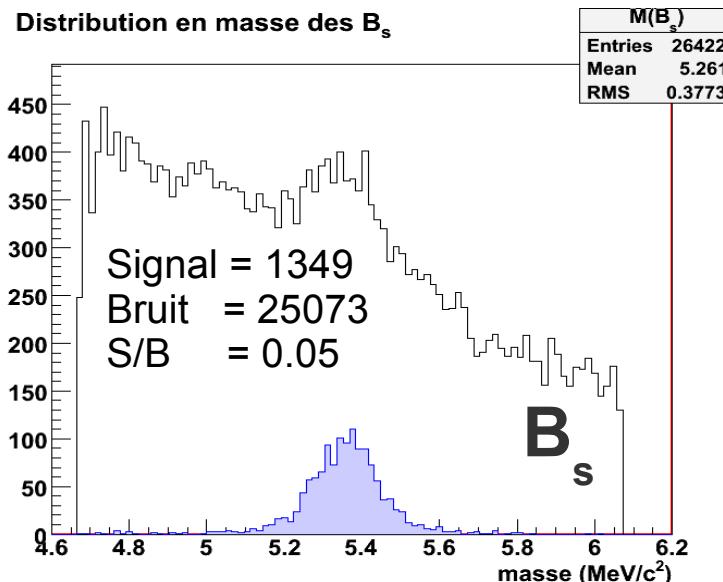
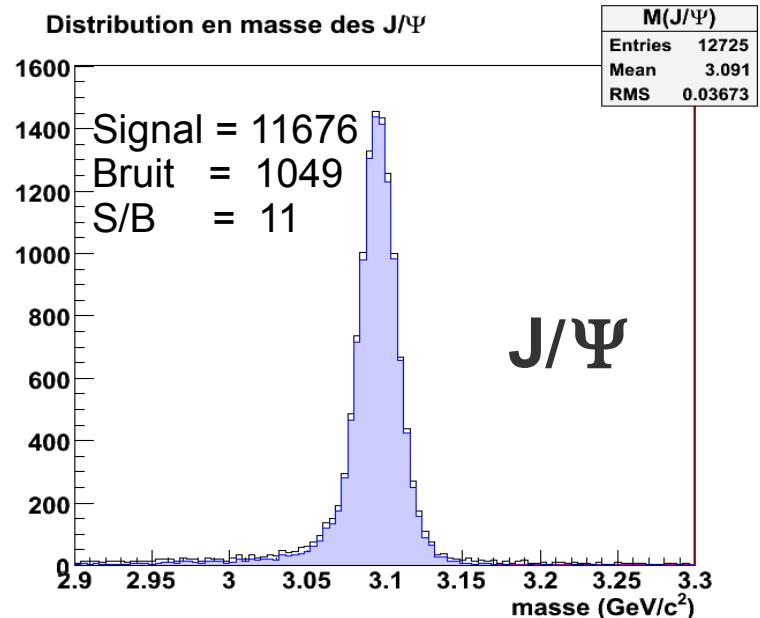
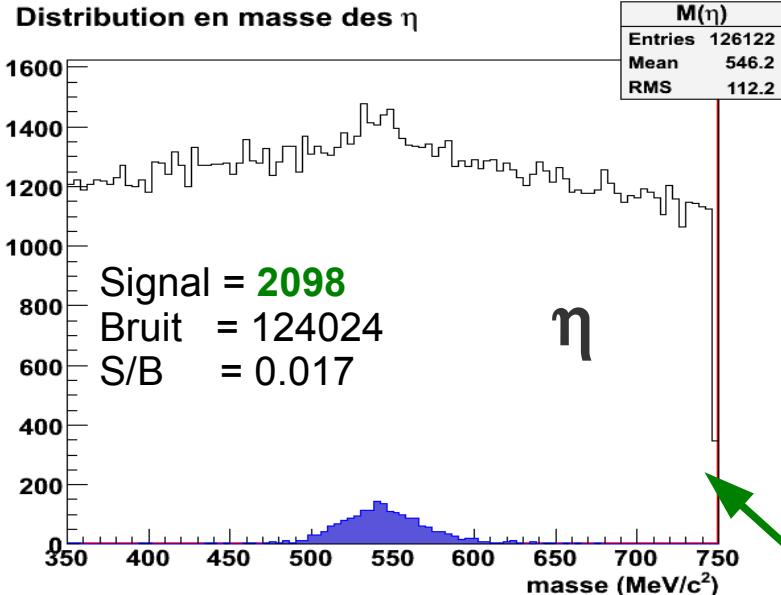
Reconstruction des B_s

- Les B_s sont reconstruits par combinatoire des J/Ψ et des η .
- On applique une présélection :
 - $p_T(\eta) > 600 \text{ MeV/c}$
 - $M(\eta) = 547 \pm 200 \text{ MeV/c}^2$
 - $M(J/\Psi) = 3096 \pm 200 \text{ MeV/c}^2$
 - $M(B_s) = 5367 \pm 700 \text{ MeV/c}^2$



	B_s^0 signal	efficacité
Acceptance géométrique du détecteur	15351	15.7%
Reconstruction	1874	12.2%
Présélection	1349	72%

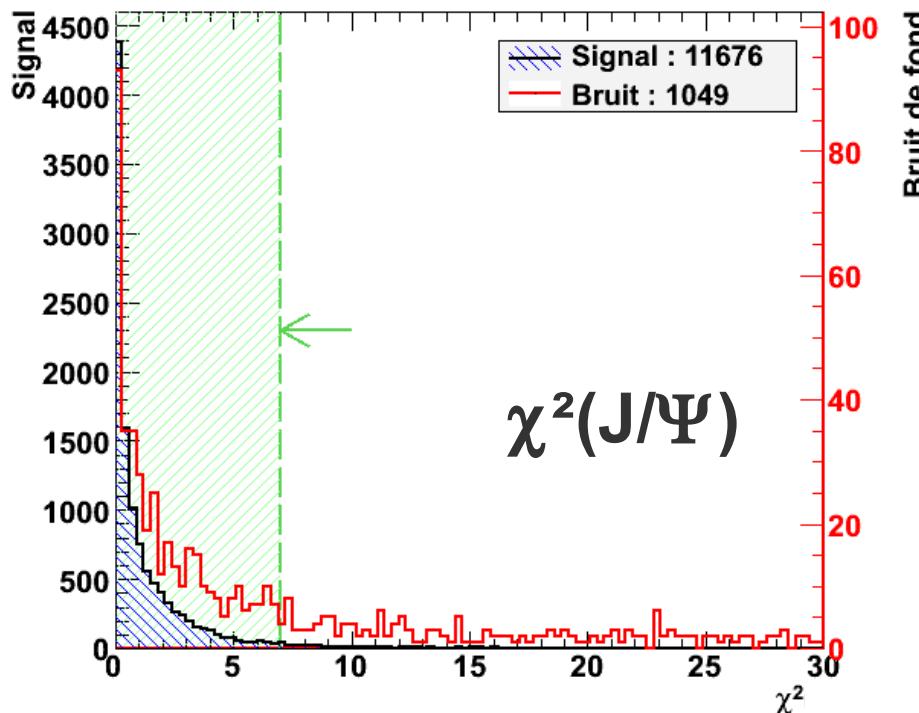
Distribution des masses après la présélection



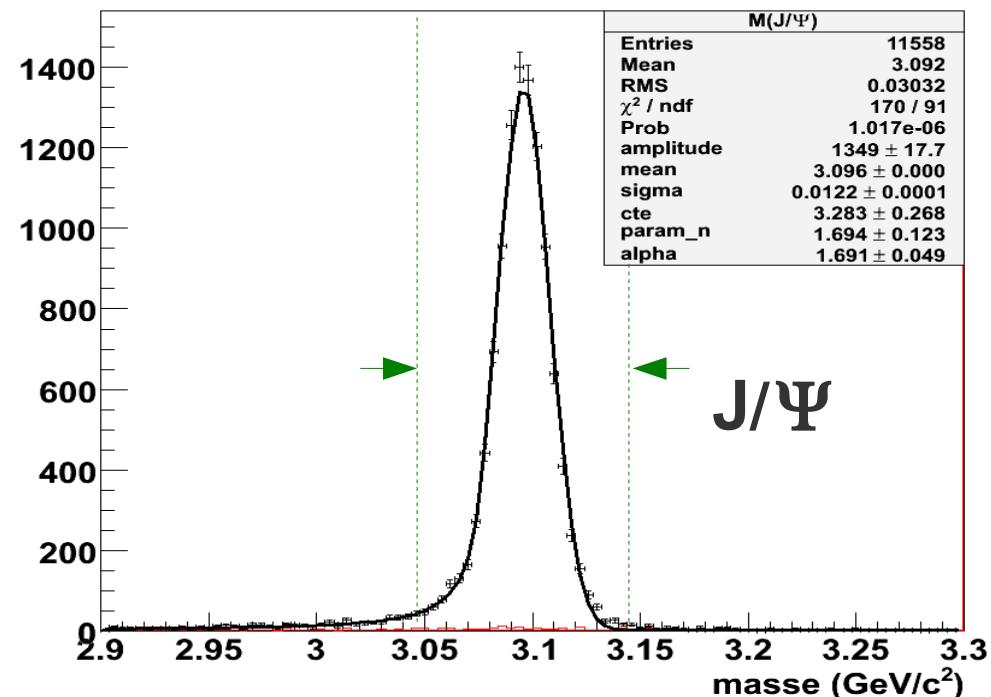
Les η sont la source principale du bruit de combinatoire et de perte de signal.

Sélection des J/ Ψ

Distribution χ^2 de l'ajustement du vertex



Distribution en masse des J/ Ψ

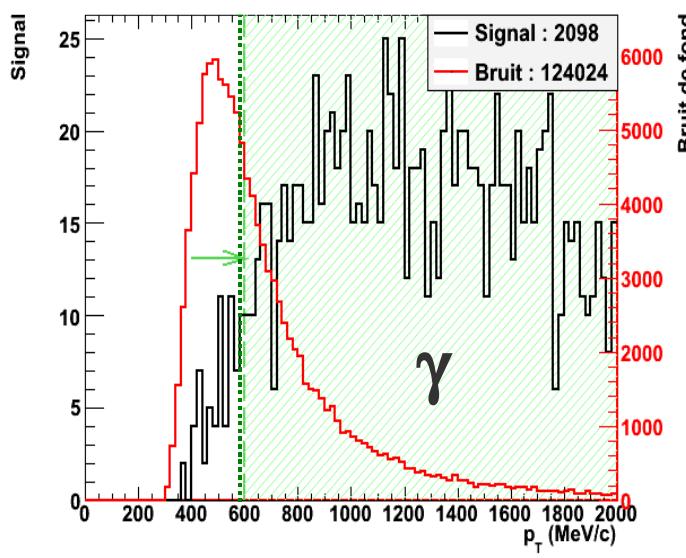


Coupure	J/ Ψ signal	J/ Ψ bruit de fond	Efficacité	Réjection	signal/bruit
aucune	11676	1049			11
$\chi^2(J/\psi) < 7$	11152	406	95%	61%	27
$\Delta m(\eta) < 50 MeV/c$	10519	129	94%	68%	81
Total	10519	129	90%	88%	81

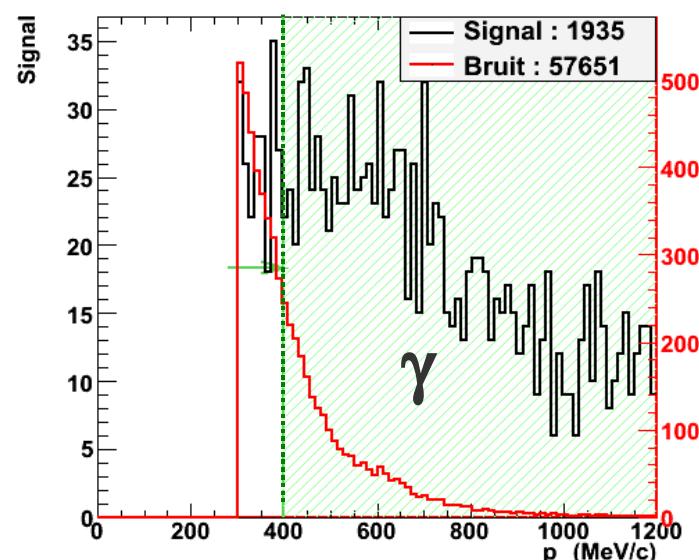
Masse : $3095.88 \pm 0.14 \text{ MeV}/c^2$
 Largeur : $12.20 \pm 0.13 \text{ MeV}/c^2$

Sélection des η

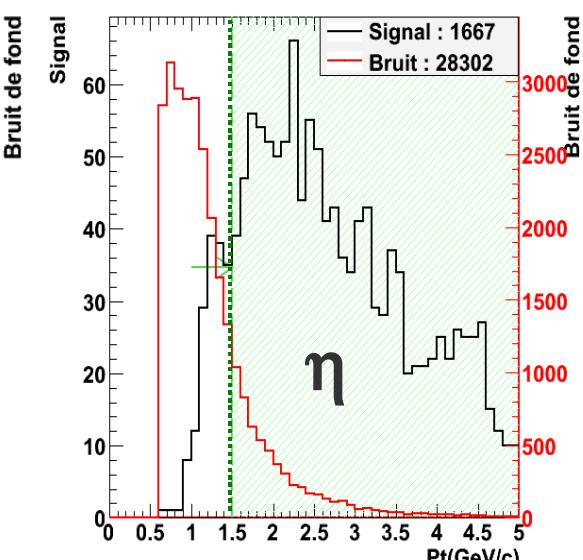
γ de grand p_T



γ de petit p_T

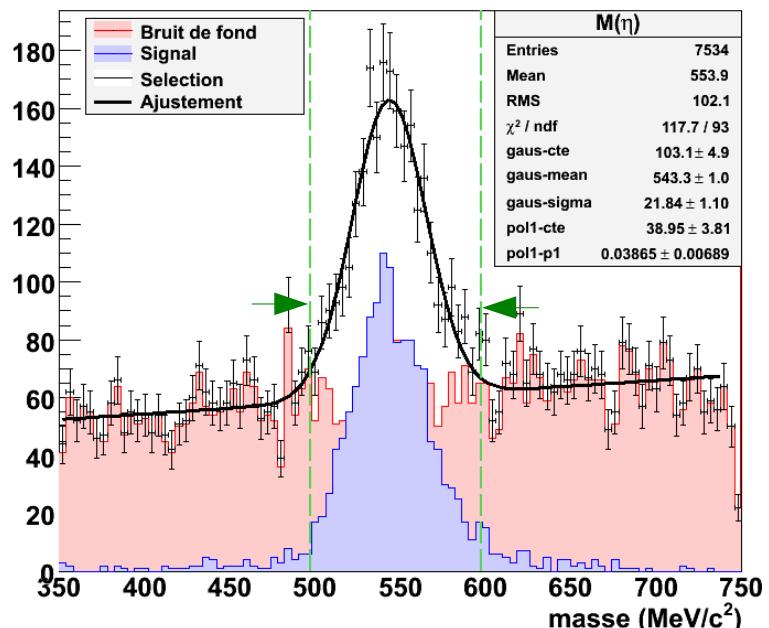


p_T du η



Coupure	Efficacité	Réjection	S/B
$p_{Tmax}(\gamma) > 600 MeV/c$	92%	53%	0.034
$p_{Tmin}(\gamma) > 400 MeV/c$	86%	50%	0.059
$p_T(\eta) > 1500 MeV/c$	90%	79%	0.25
$\Delta m(\eta) < 50 MeV/c$	89%	74%	0.85
Total	64%	99%	0.85

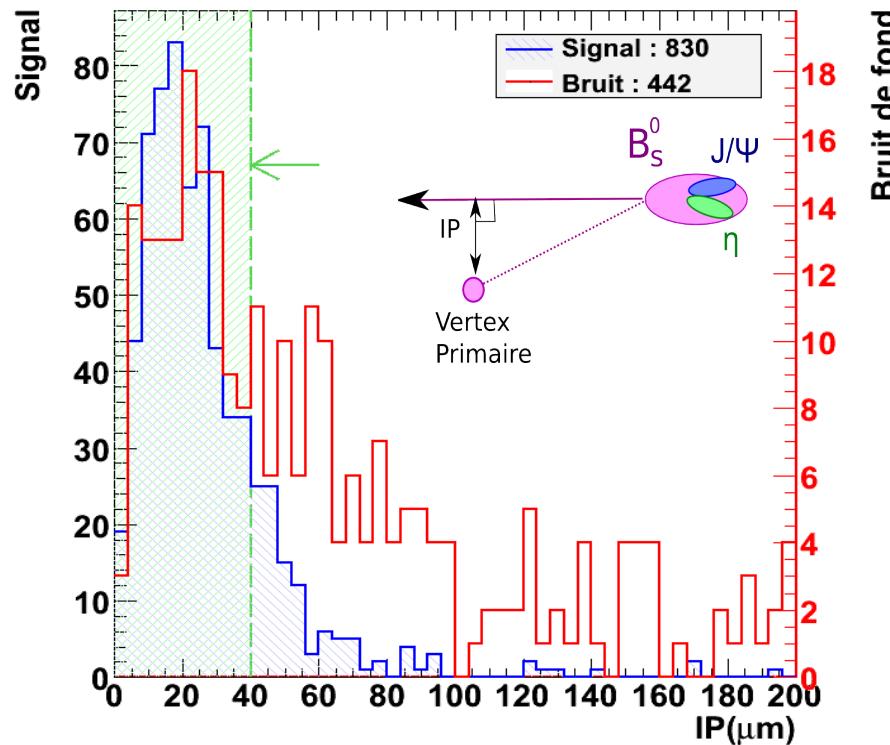
Distribution en masse des η



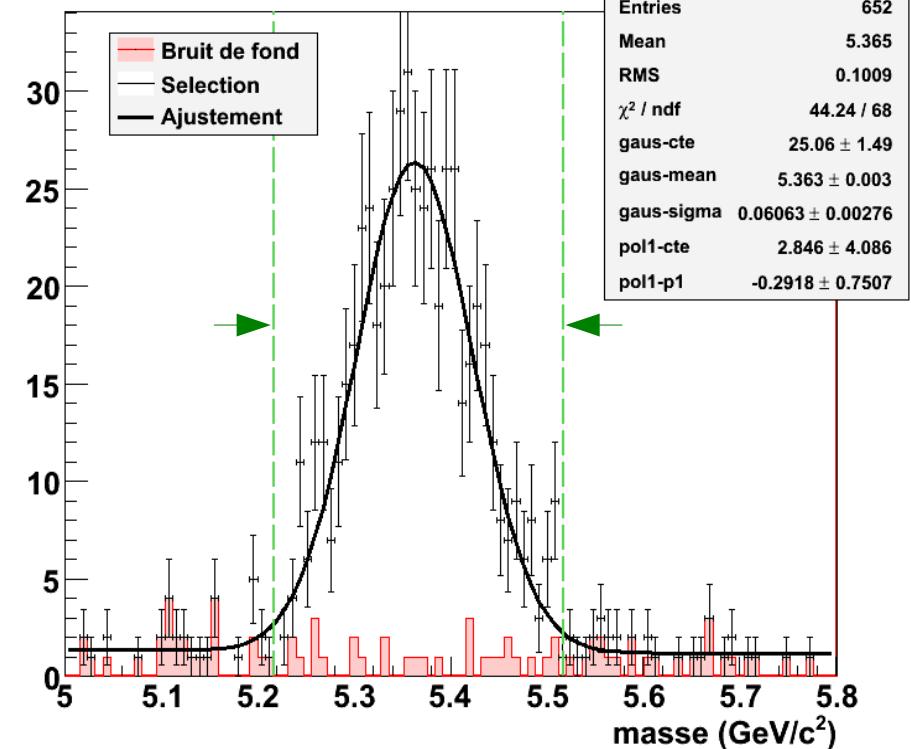
masse : 543.3 ± 1.0 MeV/c 2
 Largeur : 21.8 ± 1.1 MeV/c 2

Sélections des B_s^0

Distribution IP des B_s^0 avec le vertex primaire



Distribution en masse des B_s^0



Coupure	B_s^0 signal	B_s^0 bruit de fond	efficacité	réjection	S/B
présélection	1349	25073			0.05
sélection $J/\psi, \eta$	830	442	61%	98%	1.9
$IP(B_s^0) < 0.04 \text{ mm}$	541	121	65%	73%	4.4
$ \Delta m(B_s^0) < 150 \text{ MeV}/c^2$	528	30	98%	75%	18
Total	528	30	39%	$\sim 100\%$	18

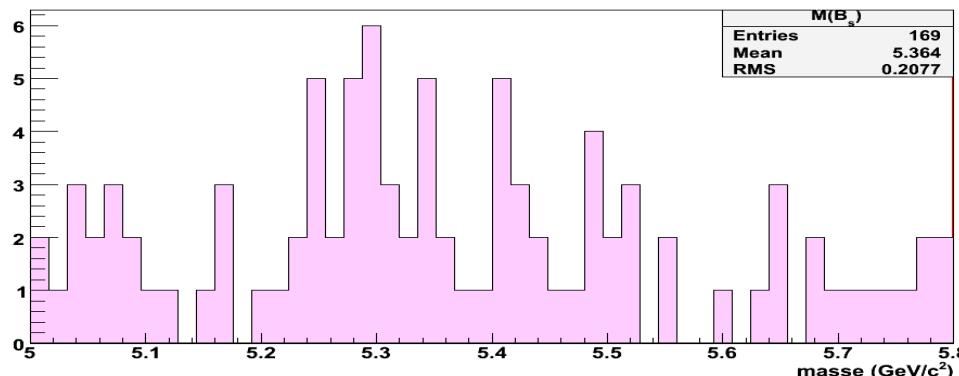
Masse : $5362.8 \pm 3.2 \text{ MeV}/c^2$
 Largeur : $60.8 \pm 2.7 \text{ MeV}/c^2$

Bruit de fond J/ Ψ X

- On utilise **122780** événements $B_s \rightarrow J/\Psi(\mu^+\mu^-)X$
(les deux muons étant dans une acceptance de 400 mrad)
- Avec les deux muons dans M3 il reste : **75019** événements
- Rapport de branchement :
$$\frac{\text{Br}(B_s \rightarrow J/\psi(\mu\mu)\eta(\gamma\gamma))}{\text{Br}(B_s \rightarrow J/\psi(\mu\mu)X)} \simeq 5\%$$
- On applique les mêmes coupures :

Coupure	B_s^0 signal	B_s^0 bruit de fond $J/\psi X$	réjection	S/B
présélection	121	94232		0013
sélection J/ψ	111	72219	23%	0.0015
sélection η	69	1154	98%	0.060
$IP(B_s^0) < 0.04$ mm	43	169	86%	0.25
$ \Delta m(B_s^0) < 150$ MeV/c ²	21	54	68%	0.4

Distribution en masse des B_s bruit de fond

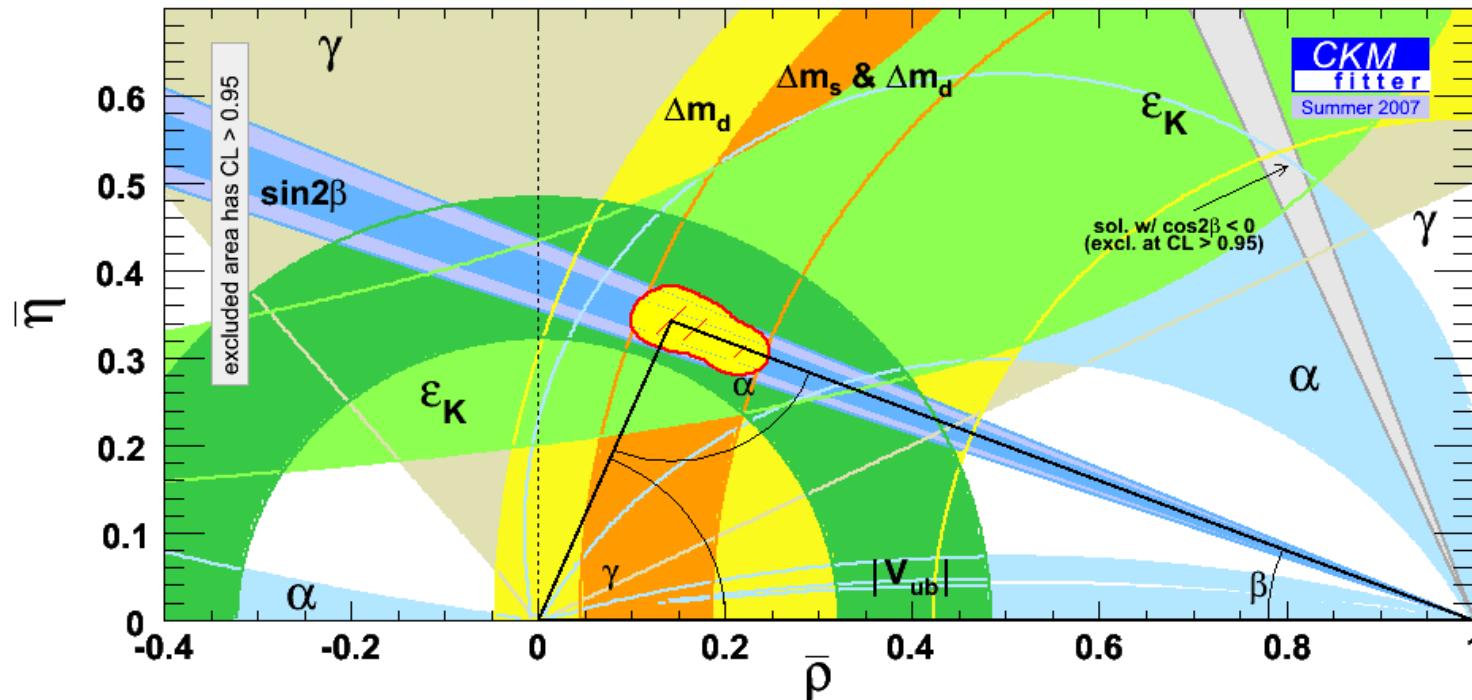


Conclusion

- Le canal est reconstruit avec une efficacité totale de 0.5%
 - En tenant compte du bruit de fond $J/\Psi X$ on obtient un rapport signal sur bruit de ~ 0.4
 - Les associations Monte-Carlo des photons doivent être utilisées avec prudences
-
- Prochaines étapes :
 - étude du bruit de fond restant en $J/\Psi X$
 - Ajout du bruit de fond $b\bar{b}$
 - Étude de l'acceptance des triggers
 - reconstruction du temps vie du B_s
 - Efficacité d'étiquetage
 - reconstruction de l'asymétrie

Backup

Connaissances actuelles



Observable	Central	$\pm CL \equiv 1\sigma$	$\pm CL \equiv 2\sigma$
A		$0.807^{+0.018}_{-0.018}$	$0.807^{+0.036}_{-0.036}$
λ		$0.2265^{+0.0008}_{-0.0008}$	$0.2265^{+0.0015}_{-0.0015}$
$\bar{\rho}$		$0.141^{+0.029}_{-0.017}$	$0.141^{+0.097}_{-0.034}$
$\bar{\eta}$		$0.343^{+0.016}_{-0.016}$	$0.343^{+0.032}_{-0.056}$
α (deg)		$90.7^{+4.5}_{-2.9}$	$90.7^{+16.8}_{-5.4}$
β (deg)		$21.7^{+1.0}_{-0.9}$	$21.7^{+2.0}_{-1.8}$
γ (deg)		$67.6^{+2.8}_{-4.5}$	$67.6^{+5.3}_{-15.9}$

J. Charles et al. [CKMfitter group]

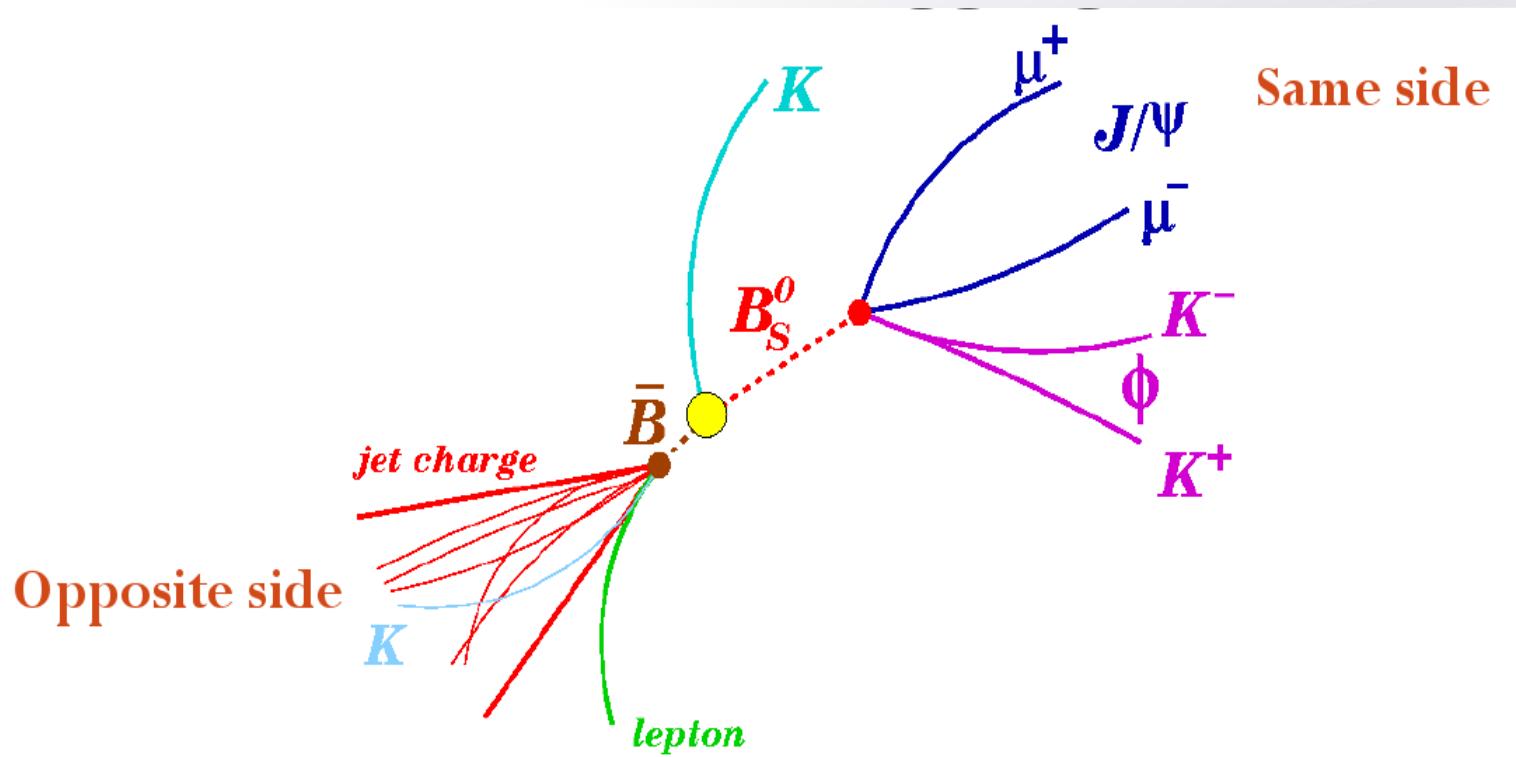
Identification des muons

- Bonne hypothèse d'identification : $DLL_{\mu\pi} > -15$
- Chambres à muons demandés en fonction de P :

Impulsion de la trace (GeV/c)	Stations requises
$3 < p < 6$	M2+M3
$6 < p < 10$	M2+M3+(M4 ou M5)
$p > 10$	M2+M3+M4+M5

étiquetage

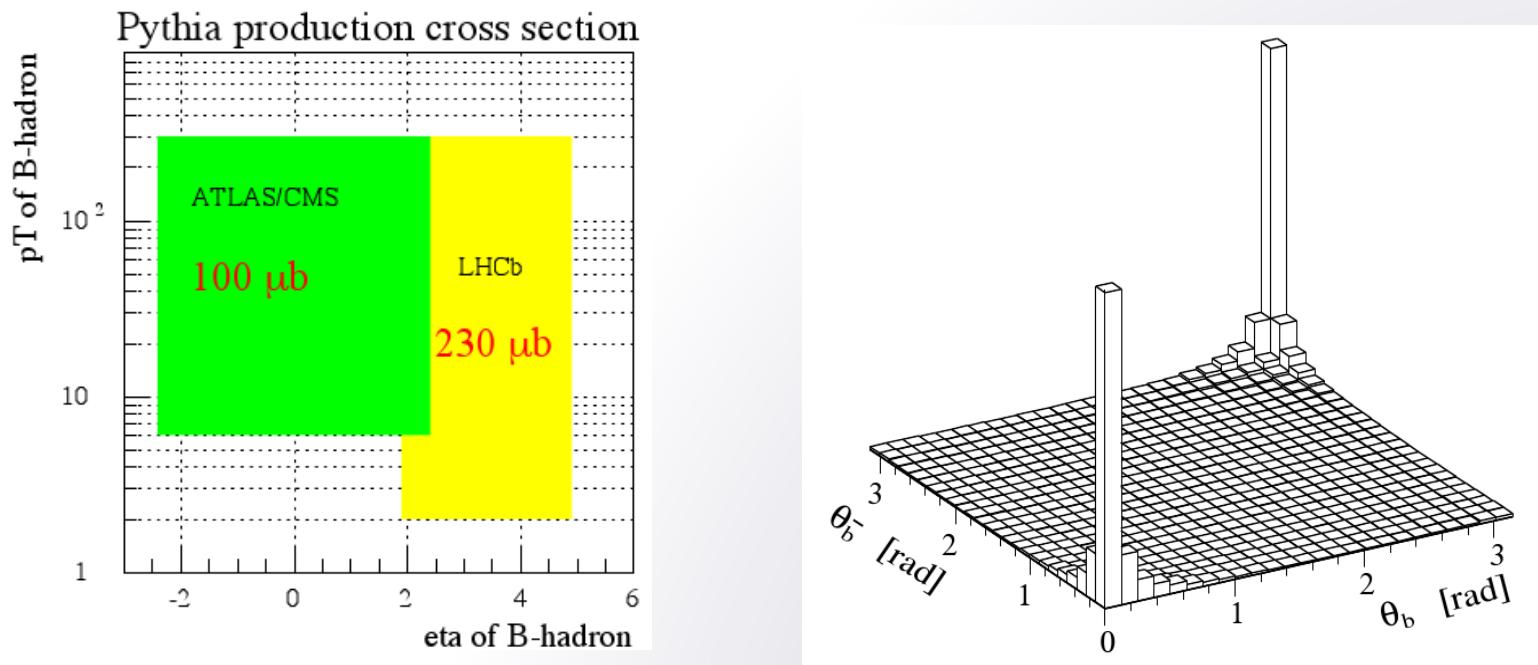
- On doit identifier la saveur du B source de la désintégration pour savoir à quelle amplitude il contribue :



Avantages et inconvénients de la physique du B à LHC

	$e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$ PEPII, KEKB	$p\bar{p} \rightarrow b\bar{b}X$ ($\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$, $\Delta t_{\text{bunch}} = 25 \text{ ns}$) LHC (LHCb–ATLAS/CMS)	
Production σ_{bb}	1 nb	$\sim 500 \mu\text{b}$	
Typical $b\bar{b}$ rate	10 Hz	100–1000 kHz	
$b\bar{b}$ purity	$\sim 1/4$	$\sigma_{bb}/\sigma_{\text{inel}} = 0.6\%$ Trigger is a major issue !	
Pileup	0	0.5–5	
b-hadron types	B^+B^- (50%) $B^0\bar{B}^0$ (50%)	B^+ (40%), B^0 (40%), B_s (10%) B_c (< 0.1%), b-baryons (10%)	
b-hadron boost	Small	Large (decay vertexes well separated)	
Production vertex	Not reconstructed	Reconstructed (many tracks)	
Neutral B mixing	Coherent $B^0\bar{B}^0$ pair mixing	Incoherent B^0 and B_s mixing (extra flavour-tagging dilution)	
Event structure	$B\bar{B}$ pair alone	Many particles not associated with the two b hadrons	

Backup

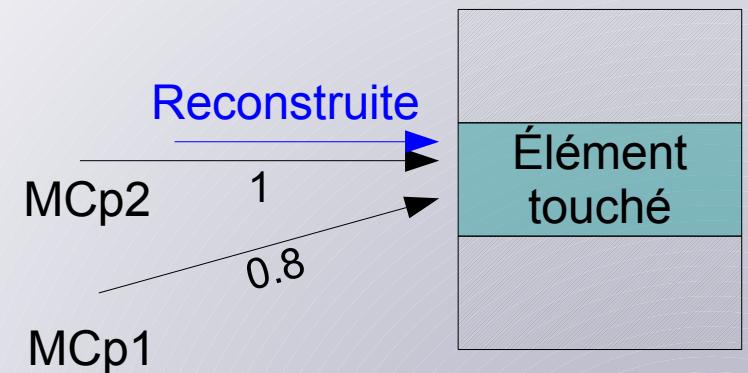


Simulation

- GAUSS
 - Génération des collisions pp à 14 TeV avec PYTHIA
 - Désintégration des B par EVTGEN
 - Simulation du détecteur via GEANT4
- BOOLE : simule la réponse électronique du détecteur
- BRUNEL : Reconstruction des événements réels ou simulés
- DaVinci : Logiciel d'analyse physique

Identification du signal

- Pour pouvoir évaluer l'efficacité des coupures il faut pouvoir identifier les particules du signal
- Signal = « la particule est associée à une particule MC du canal recherché »
- Au niveau de DaVinci cette fonctionnalité est implémentée par la classe *Particle2MCLinker* qui utilise les liens laissés entre les hits du détecteur et les particules MC sources de ces hits
- Un élément du détecteur peut-être touché par plusieurs particules, pour les séparer un poids est fourni avec chaque association



- On pourrait demander l'association de poids le plus élevé lorsque l'on cherche l'association

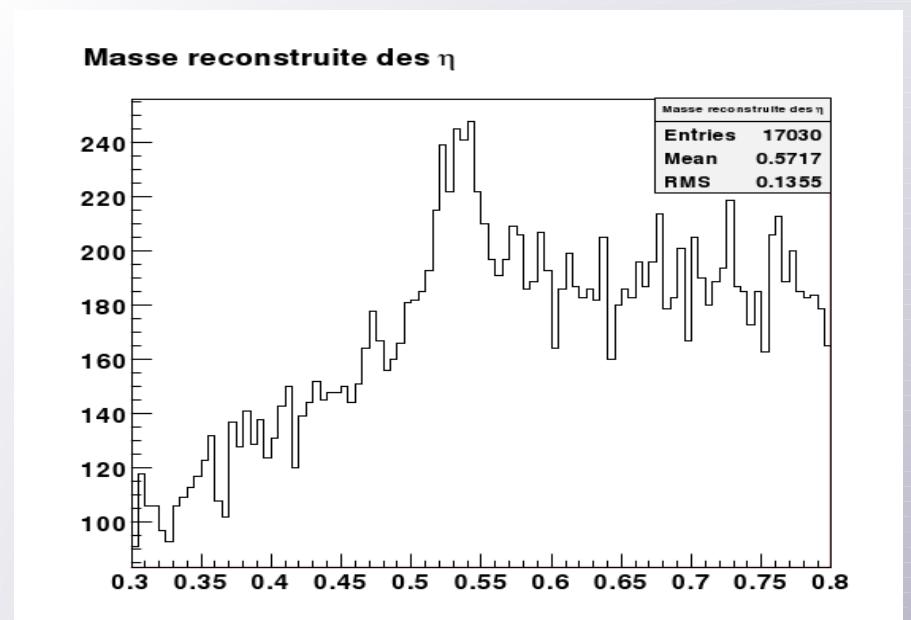
Le résultat sur les photons

- On a clairement un problème d'association avec le 1er programme
- Les photons sont sujets à de nombreuses associations multiples (6 par photons en moyenne)
- Pour les photons la liste des association contient aussi les parent MC des particules, toute la filiation ayant le même poids

Exemple de liste d'association d'un photon :

IDMC	PID	Poids
associated to MC part 3449	22	(0.992803)
associated to MC part 3448	221	(0.992803)
associated to MC part 3447	-531	(0.992803)
associated to MC part 3456	-11	(0.621292)
associated to MC part 3450	11	(0.371512)

.....



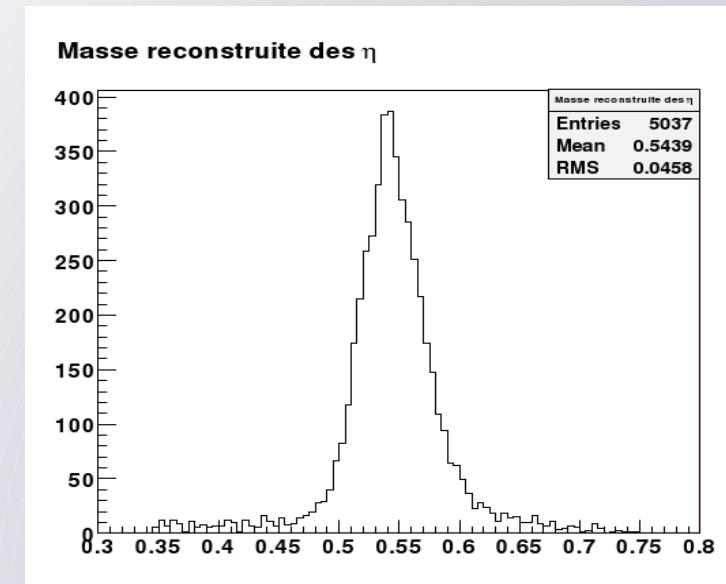
Distribution en masse des η identifiés comme signal

Correction de l'identification du signal

- On ne teste que les associations de poids forts
- Un photon est identifié comme signal si la liste contient un B_s MC donnant la désintégration recherchée
- Pour les muons on demande que la particule associée soit un muon MC appartenant à la désintégration recherchée

Exemple de liste d'association d'un photon :

IDMC	PID	Poids
associated to MC part 3449	22	(0.992803)
associated to MC part 3448	221	(0.992803)
associated to MC part 3447	-531	(0.992803)
associated to MC part 3456	-11	(0.621292)
associated to MC part 3450	11	(0.071512)
.....		

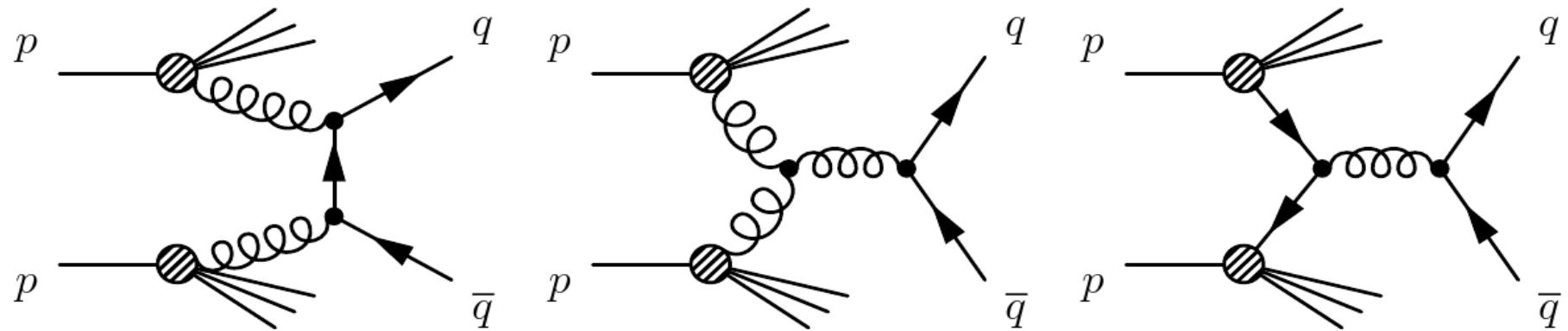
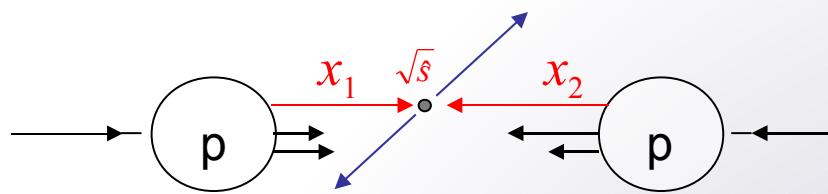


Efficacité de sélection

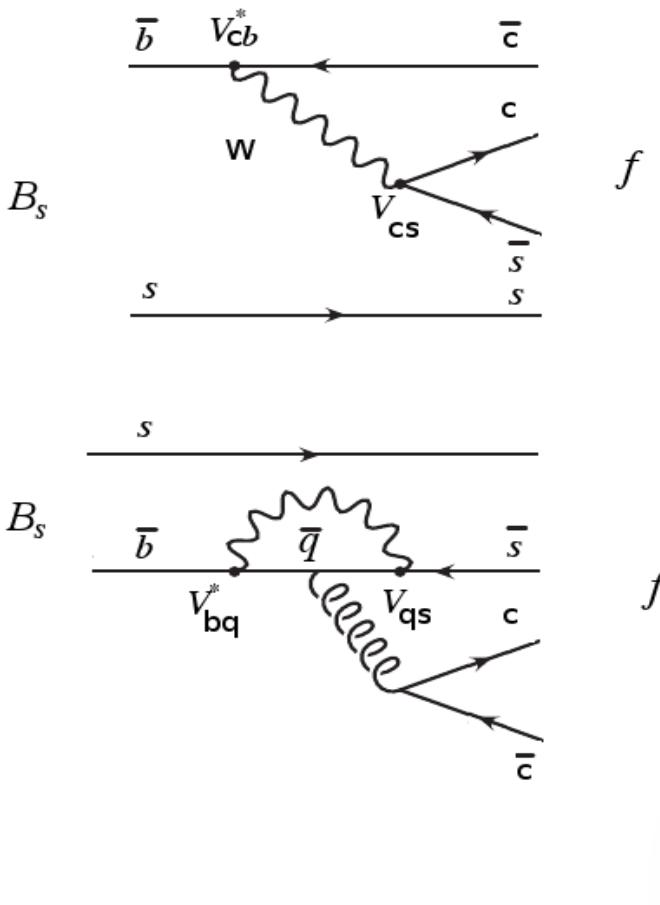
Coupure	B_s^0 signal	B_s^0 bruit de fond	efficacité	réjection
présélection	1349	25073		
$\chi^2 < 7$	1284	22173	0.952	0.116
$ \Delta m(J/\Psi) < 40 \text{ MeV}/c^2$	1216	20087	0.947	0.094
$p_{Tmax}(\gamma) > 600 \text{ MeV}/c$	1179	10798	0.970	0.462
$p_{Tmin}(\gamma) > 400 \text{ MeV}/c$	1048	5349	0.889	0.505
$p_T(\eta) > 1500 \text{ MeV}/c$	934	1779	0.891	0.667
$ \Delta m(\eta) < 50 \text{ MeV}/c^2$	830	442	0.889	0.752
$IP(B_s^0) < 0.04 \text{ mm}$	541	121	0.652	0.726
$ \Delta m(B_s^0) < 150 \text{ MeV}/c^2$	528	30	0.976	0.752

Formation des paires

Boost important car gluon ou quark dur contre gluon ou quark mou



Le cas $B_0 \rightarrow J/\Psi \eta$



$$A = V_{tb} V_{ts}^* P^t + V_{cb} V_{cs}^* (T + P^c) + V_{ub} V_{us}^* P^u \\ = V_{cb} V_{cs}^* (T + P^c - P^t) + V_{ub} V_{us}^* (P^u - P^t)$$

On définit :

$$r_{PT} \equiv \frac{(P^t - P^{light})}{T} \propto O(0.03)$$

On a :

$$V_{us} \sim \lambda \quad ; \quad V_{ub} \sim A \lambda^3 (\rho - i \eta)$$

$$V_{cb} \sim A \lambda^2 \quad ; \quad V_{cs} \sim 1 - \lambda^2 / 2$$

$$A = V_{cb} V_{cs}^* T \left(1 + \frac{P^c - P^t}{T} \right) + V_{ub} V_{us}^* T \frac{P^u - P^t}{T}$$

O(λ^2)	O(0.03)	O(λ^4)	O(0.03)
------------------	---------	------------------	---------