

Sélection des photons pour le processus $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$

C. BÂTY* M. LETHUILLER* J. TAO** S. GASCON* O. BONDU*

* : Institut de Physique Nucléaire de Lyon

** : IHEP (Pekin)

28 mai 2009

Journées Physique CMS France 2009 à Strasbourg (IPHC)

- 1 Choix du canal
- 2 Notre sélection et résultats
- 3 Conclusion

Plan de la présentation

- 1 Choix du canal
 - Canal de recherche
 - Études précédentes
- 2 Notre sélection et résultats
 - Coupures
 - Résultats obtenus
 - Échelle d'énergie : travaux préliminaires
- 3 Conclusion
 - Conclusion
 - Perspectives

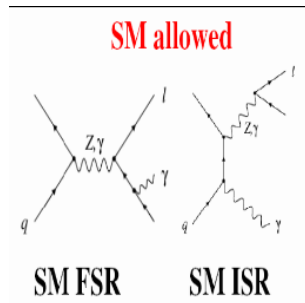
Présentation de l'étude

Vision d'ensemble

$Z \rightarrow \mu\mu + \gamma$, et son intérêt au LHC:

Les photons provenant des "*bremstrahlung internes*" permettent les mesures suivantes sur les (futures) données expérimentales :

- efficacité de sélection des photons
- échelle d'énergie des photons
- efficacité d'identification des photons
- corrections en énergies des photons
- E_t : 5 – 200 GeV, gamme d'énergie permettant la calibration en énergie de l'ECAL
 $\pi_0 < P_t < (\gamma \text{ provenant de la désintégration d'un boson de Higgs}).$



Présentation de l'étude : étapes précédentes I/II

CMSSW 1_3_1 : continuation des travaux de l'analyse note CMS-AN 2005/040

Results for Signal and Backgrounds

- Selection in CMS-AN 2005/040:
 - (1) >1 Global μ
 μ_1, μ_2 satisfy ALPGEN signal preselection cuts ($pt > 10$ GeV, $|\eta| < 3.0$, $m_{\mu_1, \mu_2} > 20$ GeV)
 - (2) >0 corrected γ
 γ_1 (highest-pt corrected photon) satisfies ALPGEN signal preselection cuts ($pt > 10$ GeV, $|\eta| < 3.0$, $dR(\gamma_1, \text{closest } \mu \text{ of } \mu_1, \mu_2) > 0.05$)
 - (4) Cut Drell-Yan: $40 < M(\mu\mu) < 80$
 - (5) Exploit $\gamma\mu$ correlation: $\Delta R(\gamma\mu) < 0.8 + ET(\gamma) > 15$ GeV
 - (6) Mass window 87.2-95.2 GeV for signal Bin definitions: 1: 15 GeV<pt g<30 GeV 2: 30 GeV<pt g<45 GeV 3: 45 GeV<pt g<60 GeV
 - (7) 70GeV< $m_{\mu\mu\gamma}$ <110 GeV, then divide number by 5. "Poor man's Poisson" Z mass window for background (in place of (6))

Summary	Z $\rightarrow \mu\mu\gamma$ Signal	Z + jets	γ + jets (*)	Bbar	ttbar
Nevents (/pb-1)	26.2	2750.3	1.706E08 (**)	7.8E06 (**)	561
After (1)	19.1	336.3	0.127 (**)	990.8 (**)	14.6
(2)	16.7	41.0	0.127 (**)	381.7 (**)	12.3
(4)	13.7	3.28	0.121 (**)	136.6 (**)	5.5
(5)	6.2	0.234	0.116 (**)	70.4 (**)	.82
(6)	4.0 + 0.6 + 0.03=4.63		---	---	
(7)	---	0.029	<0.03 (**)	8.74 + 3.02 + 0.24=12 (**)	0.08

(*) $\rightarrow$ Files in bins 30-50 and 80-120 could not be processed successfully

(**) $\rightarrow$ insufficient stats (<1 pb-1 eq. integrated lumi) could be as many as ~140 events/pb-1 from pthat bins <50 GeV for γ + jets)

D'ORCA à CMSSW

Première étude en simulation complète considérant presque l'ensemble de bruits de fonds pertinents



Validation de la sélection de Yuri dans CMSSW

Dans cette analyse on observe :

- ▷ $b\bar{b}$ est le bruit de fond le plus dangereux pour notre étude
- ▷ les autres bruits de fonds sont négligeables.
- ▷ amélioration pensée par l'utilisation des variables d'isolation du μ_{FAR}

Cette analyse était calquée au plus prêt sur celle de Yuri (CMS-AN 2005/040) et est à la base de notre analyse actuelle.

Présentation de l'étude : étapes précédentes II/II

CMSSW 1_6_12 : sélection de Caltech (Jan Veverka)

Selection

- Goal: Select **FSR** events while suppressing backgrounds. **FSR** "certifies" photon identity.
- Preselection**
 - Require two global leptons with opposite charge and a supercluster.
 - $p_{\perp}(l) > 10 \text{ GeV}$ and $|\eta(l)| < 2.4$
 - $p_{\perp}(\gamma) > 10 \text{ GeV}$ and $|\eta(\gamma)| < 1.5$
 - $\min_{i,j} \Delta R(l_i, l_j) > 0.05$ (avoid biases on photon)
- Kinematical cuts.** Suppress mainly the **Z-related background**.
 - Leading Muon $p_{\perp} > 15 \text{ GeV}$
 - $\min_{i,j} \Delta R(l_i, l_j) < 0.9$
 - $45 \text{ GeV} < M(l, l_{\gamma}) < 85 \text{ GeV}$
- Jet veto.** Suppress mainly **ttbar**.
 - 2nd leading central ($|\eta| < 2.4$) jet $p_{\perp} < 15 \text{ GeV}$
 - l/γ candidate event multiplicity < 4 (EB), 3 (EE)
- Far lepton isolation.** Suppress mainly **b $\bar{b}$ bar** w/o biasing photon ID.
 - "Inspired" by Higgs photon ID cuts.
 - Use a solid $\Delta R < 0.3$ cone around the far lepton while excluding l/γ tracks/depositions.
 - Tracker.* (1) Number of tracks with $p_{\perp} > 1.5 \text{ GeV}$ be zero, (2) sum of track $p_{\perp} < 1 \text{ GeV}$
 - ECAL.* Sum of island basic cluster deposits $< 3 \text{ GeV}$
 - HCAL.* Let H = sum of rechits; $H/E < 0.3$ (EB), 0.35 (EE)

Signal

CUT	FSR	Pureté	Détail de la coupure
0	4097	0.45 %	Échantillon complet
1	1276	1.0 %	Préselection
2	873	2.9 %	3 coupures cinématiques
3	836	3.0 %	Jet veto
4	667	69 %	Isolation μ éloigné
5	667	72 %	Nb candidats $\mu\mu\gamma$
6	573	93 %	Masse invariante du $\mu\mu\gamma$

Bruits de fonds

CUT	Z	$t\bar{t}$	$b\bar{b}$
0	79370	84600	752080
1	7443	4100	109609
2	130	455	29007
3	119	157	26473
4	82	73	140
5	77	52	132
6	20	12	14

Remarque : l'échantillon $b\bar{b}$ à été crée à Caltech avec les caractéristiques suivantes :

$b\bar{b}$: 300k evts, $pT(\mu_1, \mu_2) > 8.13 \text{ GeV}$, $|\eta| < 2.5$,

$$\sigma_{b\bar{b}} = 7.52 \text{ nb}, L = 93 \text{ pb}^{-1}$$

Notre étude : ses objectifs

Différences avec l'étude de Jan VEVERKA

- Relache du seuil de l' $E t_\gamma$ (lui : 10 GeV, nous 12 GeV — coupures niveau générateur —),
- Imposition d'une coupure sur $p t_{\mu_{HIGH}}$.

Mais même but : mise en oeuvre de l'isolation du muon éloigné (far).

But de notre étude

- amélioration de la sélection pour l'isolation du μ_{FAR}
- intégrer en plus de l'analyse de Yuri les améliorations de Jan VEVERKA (coupure sur $p t$ d'un muon, relache du seuil en $p t$ des photons)

But : Augmenter le taux d'événement signal en maintenant un même rejet du bruits de fond, pour obtenir les résultats avec moins de luminosité intégrée.

Plan de la présentation

- 1 Choix du canal
 - Canal de recherche
 - Études précédentes
- 2 Notre sélection et résultats
 - Coupures
 - Résultats obtenus
 - Échelle d'énergie : travaux préliminaires
- 3 Conclusion
 - Conclusion
 - Perspectives

Description des coupures

CUT 1 : > 1 Muon, chaque μ as $pt > 10 \text{ GeV}$ & $|\eta| < 3.0$ & $m_{\mu_1\mu_2} > 20 \text{ GeV}$

CUT 2 : $> 0 \gamma$ corrigé et ce photon reconstruit satisfait les coupures de préselections suivantes : $(pt > 10 \text{ GeV}, |\eta| < 3.0, \Delta_R(\gamma_1, \text{closestmu of } \mu_1, \mu_2) > 0.05$

CUT 3 : $pt_{\gamma_1} > 1 \text{ GeV}$ (toujours le cas)

CUT 4 : $40 \text{ GeV} < m_{\mu_1\mu_2} < 80 \text{ GeV}$

CUT 5 : $\Delta_R(\mu_1, \mu_2 - \gamma_1) < 0.8, pt_{\gamma_1} > 12 \text{ GeV}$ (15)

CUT 6-7 :

6 SIGNAL $87.2 < m_{\mu\mu\gamma} < 95.2$

7 BRUITS DE FOND $70 < m_{\mu\mu\gamma} < 110, \frac{\#evts}{5}$

CUT 8 : $ISO_{emET} < 1$ pour le muon lointain dans un cone de $\Delta_R = 0.3$

CUT 9 : $PT_{\mu} > 30$ pour le muon le plus éloigné.

Les coupures (1) et (2) impose les préselections ALPGEN imposées au signal sur le signal et les bruits de fonds

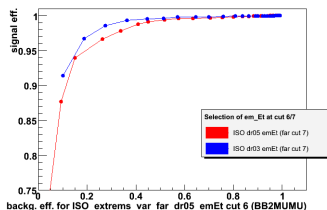
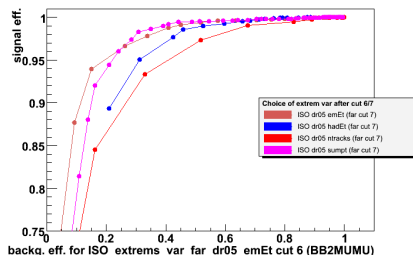
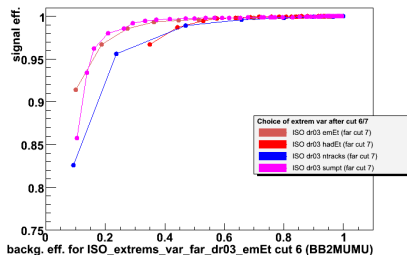
Les coupures (4) à (7) sont là pour lutter contre les autres bruits de fonds.

Autres coupures

- Pour les bruits de fonds autre que les Z + jets: **Isolation**
- ▷ Isolation des μ pour supprimer les $\gamma/jb\bar{b}$
- ▷ le γ proche du μ caractérise le signal, on cherche donc un autre muon isolé : μ_{FAR}
- ▷ Autres possibilités (activité des jets ?) ...

Sélection

Choix de la variable de sélection pour le **CUT 8**



Comparaison

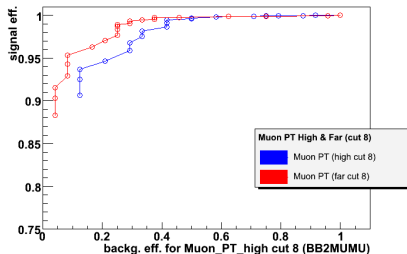
- 1 Des variables d'isolation
- 2 Des différentes valeur de Δ_R
- 3 finale pour emET $\Rightarrow emEt_{\Delta_R=0.3}$.

CUT 8 : $emEt_{\Delta_R=0.3} > 1$

Sélection

Choix de la variable de sélection pour le **CUT 9**

III/III



Choix effectué

- variables pertinentes :
 - Pt_μ éloigné (far)
 - Pt_μ maximum (high)
 - comparaison des deux
- ⇒ Pt_μ éloigné (far).

Extrait du tableau de points étudiés (Pt_μ far)

Coupage en Pt	% BB2MUMU	% SIGNAL
28	8.33333	94.305
29	8.33333	92.8965
30	4.16667	91.5493
31	4.16667	90.3246

Résultats obtenus

I/II

Résultats pour le signal

CUT	Signal (efficacité absolue & relative)	Pureté
0	2615.3820 (N/A)	0 %
1	1964.5710 (75.116 & 75.116 %)	.007 %
2	1709.6730 (65.369 & 87.025 %)	.018 %
3	1709.6730 (65.369 & 100.000 %)	.018 %
4	1416.7545 (54.170 & 82.866 %)	.054 %
5	849.8385 (32.493 & 59.984 %)	.095 %
6	637.9590 (24.392 & 75.068 %)	.708 %
7	— (N/A %)	—
8	582.9810 (22.290 & 91.382 %)	5.810 %
9	526.5750 (20.133 & 90.324 %)	59.564 %

Observations

- 1 Passage d'une pureté de $\sim 1\%$ à 60%
- 2 Suppression de tous les bruits de fonds étudiés (à part bb2mumu)
- 3 Efficacité $\sim 20\%$

Résultats pour les bruits de fonds

CUT	BB2MUMU (abs & rel)	BBNJETS (abs & rel)	PHNJETS-ALL (abs & rel)
0	3227299937.6 (N/A)	37798866.6 (N/A)	13680611.29 (N/A)
1	26452208.8 (.819 & .819 %)	22228.3 (.058 & .058 %)	49.33 (.278 & 0 %)
2	9177844.1 (.284 & 34.695 %)	9807.1 (.025 & 44.119 %)	47.65 (.263 & 96.592 %)
3	9177844.1 (.284 & 100.000 %)	9807.1 (.025 & 100.000 %)	47.65 (.263 & 100.000 %)
4	2534407.6 (.078 & 27.614 %)	3260.9 (.008 & 33.249 %)	14.11 (.093 & 29.619 %)
5	865058.8 (.026 & 34.132 %)	1663.8 (.004 & 51.021 %)	5.77 (.010 & 40.901 %)
6	—	—	—
7	85791.9 (.002 & 9.917 %)	117.9 (0 & 7.088 %)	.036 (0 & .618 %)
8	8579.2 (0 & 10.000 %)	7.41 (0 & 6.276 %)	< 0.036 (0 & — %)
9	357.5 (0 & 4.166 %)	< 7.41 (0 & — %)	< 0.036 (0 & — %)

Résultats obtenus

II/II

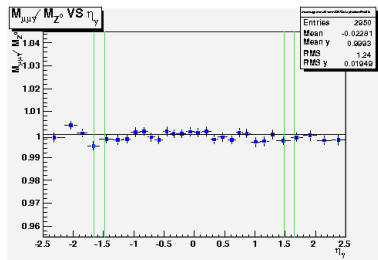
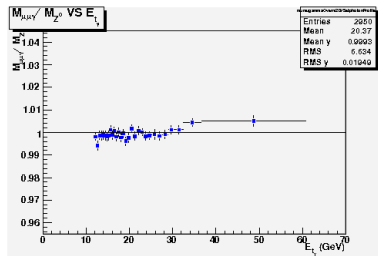
Détails sur les signaux et bruits de fonds

- 1 seul les bruits de fonds contenant des b (BB2MUMU, BBNJETS) et des photons (PHNJETS-*) ont été étudiés, les autres étant maîtrisés par les coupures précédentes (cf étude effectuée en CMSSW 1_3_1)
- 2 l'échantillon appelé BB2MUMU n'est pas de type $bb \rightarrow \mu, \mu$ mais est en réalité de type QCD exigeant **1 seul quark b** , et ayant un état final comportant deux muons. Cela explique l'énorme section efficace : $32\mu b$ (à comparer aux $7.5nb$ de l'échantillon de Jan)

	Efficacité bruit de fond	Efficacité signal
Selection CalTech	$1.8E^{-5}$	14 %
Selection IPNL	$1.1E^{-7}$	20 %

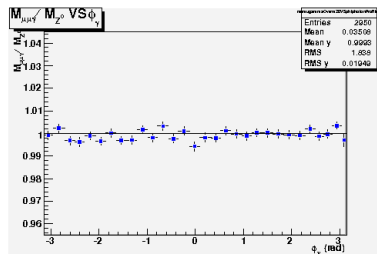
La statistique de l'échantillon (2.7 M événements) ne permet pas d'améliorer plus les résultats.

Vers l'utilisation des photons certifiés sélectionnés



Photons certifiés

- On part du principe que les événements sortant de notre analyse sont des événements de signal.
- On essaie d'observer les résultats selon les variables : E_{γ} , η , et ϕ



Plan de la présentation

- 1 Choix du canal
 - Canal de recherche
 - Études précédentes
- 2 Notre sélection et résultats
 - Coupures
 - Résultats obtenus
 - Échelle d'énergie : travaux préliminaires
- 3 Conclusion
 - Conclusion
 - Perspectives

Conclusion & Perspectives

Conclusion

- Réutilisation et amélioration des analyses précédentes effectuées
- Découverte et maîtrise d'un bruit de fond particulièrement dangereux (BB2MUMU)
- Implémentation de deux nouvelles coupures :
 - 8 une coupure d'isolation : $emET > 1$
 - 9 une coupe cinétique : $PT_{\mu_H IGH} > 30$
- ① Amélioration de l'efficacité des coupures : $\sim 20\%$, en augmentant la pureté (par rapport à avant).
- ② Suppression des bruits de fonds dans la limite imposée par la statistique (insuffisante)

Conclusion & Perspectives

Perspectives

- Passer en version 2_2_9 pour analyser des échantillons ayant une statistique plus importante
 - Améliorer la sélection et vérifier l'absence d'autres bruits de fonds "dangereux" pour notre signal
-
- Implémenter la sélection dans le framework CMSSW
 - Contribuer à la calibration du calorimètre électromagnétique par le canal $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$

Fin de l'exposé

Merci de votre attention

Introduction I

0 : 14652 events

1 : 1805673 events

2 : 330821 events

3 : 210343 events

BB1JETS : 319263 events

BB2JETS : 215707 events

BB4JETS : 109146 events

BB5JETS : 46169 events

PH1-20 : 93947 events

PH1-60 : 86036 events

PH1-120 : 87518 events

PH1-180 : 5000 events

Introduction II

PH1-240 : 0 events

PH1-300 : 93922 events

PH2-20 : 128544 events

PH2-60 : 71715 events

PH2-120 : 151379 events

PH2-180 : 84041 events

PH2-240 : 96453 events

PH2-300 : 67178 events

PH3-20 : 91806 events

PH3-60 : 0 events

PH3-120 : 55683 events

PH3-180 : 80000 events

PH3-240 : 79216 events

Introduction III

PH3-300 : 61592 events

PH4-20 : 30938 events

PH4-60 : 28226 events

PH4-120 : 70000 events

PH4-180 : 54782 events

PH4-240 : 45031 events

PH4-300 : 46458 events

Reminder

- * Sample 0 = SIGNAL Morgan
- * Sample 1 = BACKGROUND BB2MuMu
- * Sample 2 = BACKGROUND BB3JETS
- * Sample 3 = BACKGROUND STEW
- * Sample BBNJETS = BACKGROUND BBNJETS
- * Sample PHNJETS = BACKGROUND PHNJETS (PHN-20, PHN-60, PHN-120, PHN-180, PHN-240, PHN-300)

Récapitulatif des coupures effectuees

Liste des cuts

CUT 1 : > 1 Muon, each mu have $pt > 10 \text{ GeV}$ && $|\eta| < 3.0$
and $m_{\mu_1\mu_2} > 20 \text{ GeV}$

CUT 2 : > 0 corrected γ and this highest-pt reco photon
satisfies following cuts ($pt > 10 \text{ GeV}$, $|\eta| < 3.0$, $\Delta_R(\gamma_1,$
closestmu of $\mu_1, \mu_2) > 0.05$

CUT 3 : $pt_{\gamma_1} > 1 \text{ GeV}$ (always the case)

CUT 4 : $40 \text{ GeV} < m_{\mu_1\mu_2} < 80 \text{ GeV}$

CUT 5 : $\Delta_R(\mu_1, \mu_2 - \gamma_1) < 0.8$, $pt_{\gamma_1} > 15 \text{ GeV}$

CUT 6-7 :

6 SIGNAL $87.2 < m_{\mu\mu\gamma} < 95.2$

7 BACKGROUND $70 < m_{\mu\mu\gamma} < 110, \frac{\#evts}{5}$

CUT 8 : $ISO_{emET} < 1$ for muon far in a $\Delta_R = 0.3$ radius

CUT 9 : $\mu_{hadT} > 30$ for muon far

CUT	Signal	BB2MUMU	BB3JETS	STEW
0	14652	1805673	330821	210343
1	11006	14800	264	68
2	9578	5135	145	26
3	9578	5135	145	26
4	7937	1418	40	12
5	4761	484	18	6
6	3574	484	18	6
7	3574	48.0	1.8	.8
8	3266	4.8	0	.2
9	2950	.2	0	0

CUT	BB1JETS	BB2JETS	BB4JETS	BB5JETS	BBNJETS
0	319263	215707	109146	46169	1021106
1	172	147	144	71	798
2	68	76	101	55	445
3	68	76	101	55	445
4	23	25	36	26	150
5	12	13	13	11	67
6	12	13	13	11	67
7	.6	1.4	1.2	1.8	6.8
8	0	.2	0	.2	.4
9	0	0	0	0	0

CUT	PH1J-20	PH1J-60	PH1J-120	PH1J-180	PH1J-240	PH1J-300
0	93947	86036	87518	5000	0	93947
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0

CUT	PH2J-20	PH2J-60	PH2J-120	PH2J-180	PH2J-240	PH2J-300
0	128544	71715	151379	84041	96453	67111
1	0	2	4	2	6	5
2	0	2	3	2	5	5
3	0	2	3	2	5	5
4	0	1	1	2	1	2
5	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0

CUT	PH3J-20	PH3J-60	PH3J-120	PH3J-180	PH3J-240	PH3J-300
0	91806	0	55683	80000	79216	61500
1	0	0	4	12	5	1
2	0	0	4	11	4	1
3	0	0	4	11	4	1
4	0	0	1	2	1	6
5	0	0	0	1	0	0
6	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	.2	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0

CUT	PH4J-20	PH4J-60	PH4J-120	PH4J-180	PH4J-240	PH4J-300
0	30938	28226	70000	54782	45031	46400
1	5	5	17	14	29	30
2	5	4	17	13	27	30
3	5	4	17	13	27	30
4	1	2	7	3	5	10
5	1	0	1	0	0	2
6	1	0	1	0	0	2
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0

CUT	PH1J-all	PH2J-all	PH3J-all	PH4J-all	PHNJ-all
0	366423	599310	368297	275435	1609465
1	0	19	33	101	153
2	0	17	31	97	145
3	0	17	31	97	145
4	0	7	10	36	53
5	0	1	1	4	6
6	0	1	1	4	6
7	0	0	.2	.2	.4
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0

Resultats des coupures (pour 100 pb^{-1})

Signal avec efficacite relative :

CUT	Signal (abs & rel)	Pureté
0	2615.3820 (N/A)	0 %
1	1964.5710 (75.116 & 75.116 %)	.007 %
2	1709.6730 (65.369 & 87.025 %)	.018 %
3	1709.6730 (65.369 & 100.000 %)	.018 %
4	1416.7545 (54.170 & 82.866 %)	.054 %
5	849.8385 (32.493 & 59.984 %)	.095 %
6	637.9590 (24.392 & 75.068 %)	.708 %
7	— (N/A %)	—
8	582.9810 (22.290 & 91.382 %)	5.810 %
9	526.5750 (20.133 & 90.324 %)	59.564 %

Bruits de fonds avec efficacite absolue & relative :

CUT	BB2MUMU (rel)	BB3JETS (rel)	STEW (rel)
0	3227299937.5722 (N/A)	1699989.8727 (N/A)	497038806.1935 (N/A)
1	26452208.7200 (.819 & .819 %)	1356.6168 (.079 & .079 %)	293862.8772 (.059 & .059 %)
2	9177844.0390 (.284 & 34.695 %)	745.1115 (.043 & 54.924 %)	112359.3354 (.022 & 38.235 %)
3	9177844.0390 (.284 & 100.000 %)	745.1115 (.043 & 100.000 %)	112359.3354 (.022 & 100.000 %)
4	2534407.5652 (.078 & 27.614 %)	205.5480 (.012 & 27.586 %)	51858.1548 (.010 & 46.153 %)
5	865058.7176 (.026 & 34.132 %)	92.4966 (.005 & 45.000 %)	25929.0774 (.005 & 50.000 %)
6	—	—	—
7	85790.94720 (.002 & 9.917 %)	9.24966 (0 & 10.000 %)	3457.21032 (0 & 13.333 %)
8	8579.09472 (0 & 10.000 %)	0 (0 & 0 %)	864.30258 (0 & 25.000 %)
9	357.46228 (0 & 4.166 %)	0 (0 & NaN %)	0 (0 & 0 %)

Resultats des coupures (pour 100 pb^{-1})

II

Bruits de fonds avec efficacite absolue & relative :

CUT	BB1JETS (abs & rel)	BB2JETS (abs & rel)	BB3JETS (abs & rel)
0	27999971.6997 (N/A)	7699984.9255 (N/A)	1699989.8727 (N/A)
1	15084.7268 (.053 & .053 %)	5247.3855 (.068 & .068 %)	1356.6168 (.079 & .079 %)
2	5963.7292 (.021 & 39.534 %)	2712.9340 (.035 & 51.700 %)	745.1115 (.043 & 54.924 %)
3	5963.7292 (.021 & 100.000 %)	2712.9340 (.035 & 100.000 %)	745.1115 (.043 & 100.000 %)
4	2017.1437 (.007 & 33.823 %)	892.4125 (.011 & 32.894 %)	205.5480 (.012 & 27.586 %)
5	1052.4228 (.003 & 52.173 %)	464.0545 (.006 & 52.000 %)	92.4966 (.005 & 45.000 %)
6	—	—	—
7	52.62114 (0 & 5.000 %)	49.97510 (0 & 10.769 %)	46.2483 (0 & 10.000 %)
8	0 (0 & 0 %)	7.13930 (0 & 14.285 %)	0 (0 & 0 %)
9	0 (0 & NaN %)	0 (0 & 0 %)	0 (0 & NaN %)

CUT	BB4JETS (abs & rel)	BB5JETS (abs & rel)	BBNJETS (abs & rel)
0	338221.6248 (N/A)	60698.3843	37798866.5070
1	446.2272 (.131 & .131 %)	93.3437 (.153 & .153 %)	22228.3000 (.058 & .058 %)
2	312.9788 (.092 & 70.138 %)	72.3085 (.119 & 77.464 %)	9807.0620 (.025 & 44.119 %)
3	312.9788 (.092 & 100.000 %)	72.3085 (.119 & 100.000 %)	9807.0620 (.025 & 100.000 %)
4	111.5568 (.032 & 35.643 %)	34.1822 (.056 & 47.272 %)	3260.8432 (.008 & 33.249 %)
5	40.2844 (.011 & 36.111 %)	14.4617 (.023 & 42.307 %)	1663.7200 (.004 & 51.021 %)
6	—	—	—
7	3.71856 (.001 & 9.230 %)	2.36646 (.003 & 16.363 %)	117.93092 (0 & 7.088 %)
8	0 (0 & 0 %)	.26294 (0 & 11.111 %)	7.40224 (0 & 6.276 %)
9	0 (0 & NaN %)	0 (0 & NaN %)	0 (0 & 0 %)

Bruits de fonds avec efficacite absolue & relative :

CUT	PH1JETS-ALL (abs & rel)	PH2JETS-ALL (abs & rel)	PH3JETS-ALL (abs & rel)
0	9717375.7889 (N/A)	2706396.3373 (N/A)	1044061.0325 (N/A)
1	0 (0 & 0 %)	8.8308 (.019 & 0 %)	4.4280 (.047 & 0 %)
2	0 (0 & NaN %)	8.6082 (.017 & 97.479 %)	4.2300 (.044 & 95.528 %)
3	0 (0 & NaN %)	8.6082 (.017 & 100.000 %)	4.2300 (.044 & 100.000 %)
4	0 (0 & NaN %)	4.2503 (.006 & 49.375 %)	1.0209 (.013 & 24.134 %)
5	0 (0 & NaN %)	.0022 (.001 & .051 %)	.1688 (.001 & 16.534 %)
6	—	—	—
7	0 (0 & NaN %)	0 (0 & NaN %)	.03376 (0 & NaN %)
8	0 (0 & NaN %)	0 (0 & NaN %)	0 (0 & NaN %)
9	0 (0 & NaN %)	0 (0 & NaN %)	0 (0 & NaN %)

CUT	PH4JETS-ALL (abs & rel)	PHNJETS-ALL (abs & rel)
0	212778.1245 (N/A)	13680611.2832 (N/A)
1	36.0690 (.212 & .016 %)	49.3278 (.278 & 0 %)
2	34.8088 (.202 & 96.506 %)	47.6470 (.263 & 96.592 %)
3	34.8088 (.202 & 100.000 %)	47.6470 (.263 & 100.000 %)
4	8.8414 (.074 & 25.399 %)	14.1126 (.093 & 29.619 %)
5	5.6012 (.008 & 63.351 %)	5.7722 (.010 & 40.901 %)
6	—	—
7	.00192 (0 & .034 %)	.03568 (0 & .618 %)
8	0 (0 & NaN %)	0 (0 & NaN %)
9	0 (0 & NaN %)	0 (0 & NaN %)

Study's description

Signal and backgrounds

Samples

▷ **Signal** : $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$ with $M_{\mu\mu} < M_Z$, small Δ_R (FSR)

▷ **Backgrounds** :

Considered for PTDR I (CMS-AN 2005/040)

Z + jets $\mu\mu$ + fake γ from jets, mostly real Z; no $\mu\mu$ correlation

Z (+ jets) $\mu\mu$ + fake γ from μ passage through ECAL, mostly real Z; μ extrapolation to ECAL will coincide with photon position

Not considered for PTDR I (CMS-AN 2005/040) assumed to be eliminate by asking > 1 isolated μ .

γ + n jets few muons and non-Z but enormous cross-sections $\approx 1 \text{ e8 evts@0} - 15 \text{ GeV}$

$b\bar{b}$

$\gamma b\bar{b}$ $\gamma\&\mu\mu$ from b , non-isolated muons, $\mu\gamma$ anti-correlate (g-splitting)

$j b\bar{b}$ fake γ + $\mu\mu$ from b , non-isolated muons, no $\mu\gamma$ correlation

W + jets

$t\bar{t}$