Ecole Polytechnique
Promotion X2008
HENNEQUIN Thibaut

Rapport de stage de recherche
Efficacité du trigger double électron dans CMS
Non confidentiel

Option : Département Physique
Champ de l'option : Champs particule matière
Directeur de l'option : SPECKA Arnd
Directeur de stage : BAFFIONI Stéphanie
Nom et adresse de l'organisme :
Laboratoire Leprince-Ringuet
Ecole Polytechnique-CNRS/IN2P3
91128 Palaiseau, France

Le systême de déclenchement (ou trigger) est un des élements fondamental de détecteur du LHC tel CMS, dans la mesure où il permet de réduire de sélectionner parmis les collisions de faisseaux ayant lieu toutes les 25ns, uniquement les évenements succeptibles de disposer de donnée interessante, et ainsi de reduire le taux de donnée à un niveau pouvant être traité par les fermes informatiques de CMS. Le système de déclenchement doit donc ainsi supprimer la grande majorité des evenements, cepandant, compte tenu de la rareté des événements à étudier on doit aussi verifier l'éfficacité de ce système de déclenchement, c'est à dire verifier qu'il conserve le plus d'évenements jugés intéressant possible. Ce rapport présentera donc l'étude de l'éfficacité de l'un de ces systèmes de déclenchement, présent dans le canal de désintégration du boson de Higgs en deux bosons Z puis en 4 éléctrons. Cette étude sera axée autour du calcul de l'éfficacité pour les données 2011 de CMS, en cherchant à vérifier ainsi les études d'éfficacités précedentes, jusqu'a la effectuées uniquement auprès de simulation.

Table des matières

1 Description du LHC et de CMS. 5

1.1 LHC . . . 5

1.1.1 Introcution générale auLHC . . . 5

1.1.2 Le système de déclenchement au sein du LHC . . . 5

1.2 CMS . . . 6

1.2.1 Présentation générale : . . . 6

1.2.2 Convention concernant les coordonnées : . . . 6

1.2.3 Le trajectographe : . . . 7

1.2.4 Le calorimètre électromagnétique. . . . 7

1.2.5 Le calorimètre hadronique . . . 8

1.2.6 Le détecteur à muon . . . 8

1.3 Trigger . . . 9

1.3.1 Principe . . . 9

1.3.2 Déclenchement de premier niveau ou Level 1 trigger . . . 9

1.3.3 Déclenchement de haut niveau ou HLT . . . 10

1.3.4 Le trigger double électron : HLT_Ele17_CaloIdL_CaloIsoVL_Ele8_CaloIdL_CaloIsoVL

2 Etude de l'éfficacité du trigger double electron 12

2.1 Préliminaires . . . 12

2.1.1 But de l'analyse . . . 12

2.1.2 Prévisions des simulations . . . 12

2.1.3 Premieres approches et difficultés . . . 13

2.2 Etude des données "commissioning" . . . 14

2.3 Etudes des turn on . . . 16

2.3.1 Méthode tag and probe : . . . 16

2.3.2 Construction des courbes de turn-on . . . 18

2.4 Turn-on . . . 19

2.4.1 Et . . . 19

2.4.2 σ_{ihih} . . . 21

2.4.3 HCalIso /Et . . . 21

2.4.4 ECalIso /Et . . . 22

2.4.5 Bilan des turn-on . . . 22

2.5 Courbe de cumul d'efficacité . . . 23

2.5.1 Et . . . 24

2.5.2 σ_{ihih} . . . 25

2.5.3 HCalIso /Et . . . 26

2.5.4 ECalIso /Et 26
2.5.5 Conclusion 27
2.6 Analyses complémentaires. 28
2.6.1 Vérification de l'influence des coupures ayant servies à supprimer le bruit de fond 28
2.6.2 Comparaison entre énergie de l'électron reconstruit et de l'objet trigger 29
2.6.3 Dépendance de l'efficacité suivant η 30
2.6.4 Reconstruction de l'efficacité du trigger à partir de l'efficacité de chaque patte. 31
2.7 Conclusion de l'analyse de l'efficacité du trigger 31

3 Enseignements humains : 33

4 Annexes : 35
4.1 Turn-on de la patte à 17 GeV du trigger. 35
4.2 Turn on en se placant aux valeurs de coupure du trigger 36

1 Description du LHC et de CMS.

1.1 LHC

1.1.1 Introcution générale auLHC

Le LHC à été pensé et conçu afin d'observer des phénomènes physiques rares, et aujourd'hui encore il se montre prométeur pour apporter des réponses aux question fondamentales de la physique. Le LHC à choisi de privilégier une luminosité importante, en vue de l'observation de phénomènes rares, et d'autres part des collisions permettant l'observation d'une plage étendue d'énergie des processus fondamentaux. Et le choix s'est porté sur un colisionneur hadronique tout comme ce qui à été fait pour le Tévatron.
Grâce aux cavités accelératrices et au dipôle servant à canaliser le flux, on arrive à accelerer deux faisceaux de proton à 7 TeV avant de les faire se collisionner.
Le LHC est prèvu pour un focntionement en cycle long de deux ans entrecoupés de 6 mois d'arret ; et à l'heure actuelle le LHC a une luminosité de l'ordre de $1fb^{-1}$.

1.1.2 Le système de déclenchement au sein du LHC

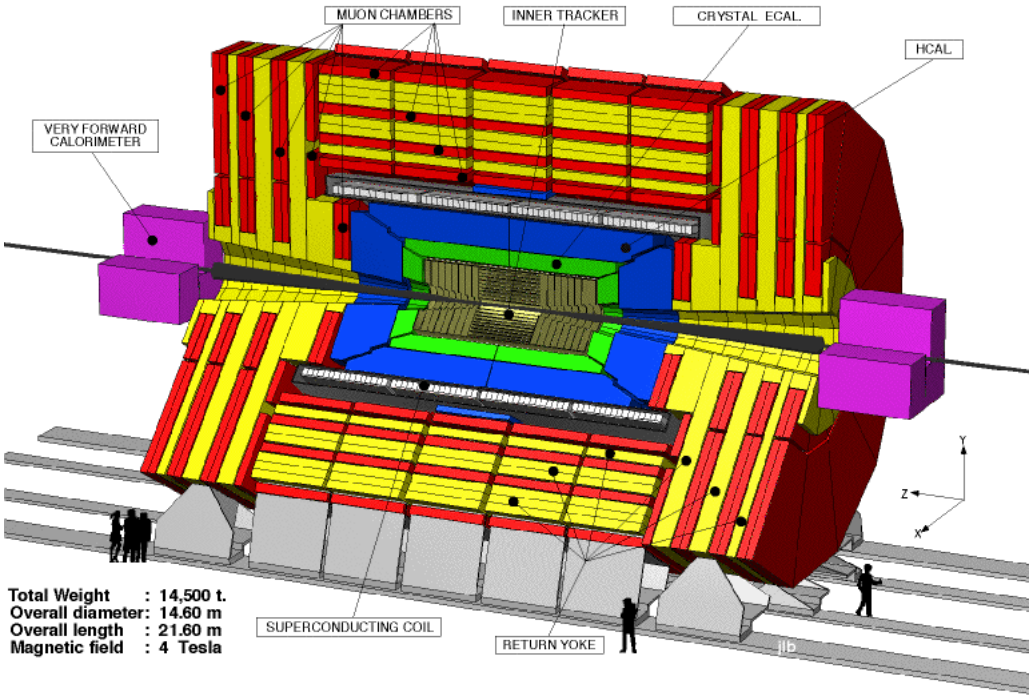
Le système de déclenchement (ou trigger), ne peuvent s'appuyer que sur des éléments stable, où à durée de vie assez importante afin de déclencher l'aquisition de l'évenement. il repose ainsi principalement sur les types de particules suivants : electrons, photon, muon, tau, où sur des jets de particules suffisament énergétique.
Dans le cas qui nous intéresse dans l'étude effectuée pendant le stage on s'interessera uniquement au éléctrons, provenant d'une désintagration du boson de higgs et deux Z ou un Z et un Z* ; chaqun de ces Z se desintégrant ensuite en deux leptons de charge opposée.

1.2 CMS

L'objet de cette partie est de présenter brièvement CMS afin de mieux comprendre les détecteurs sur lesquels s'appuie le système de déclenchement.

1.2.1 Présentation générale :

Vue en coupe du détecteur CMS :



Le détecteur CMS s'aricule autour d'un solénoïde supraconducteur, au sein duquelle on trouve, en partant de ce dernier et en se rapporchant du point de collision : le calorimètre hadronique, le calorimètre éléctromagnétique, et le trajectographe. Autour du solénoide se trouve le détecteur à muon.

1.2.2 Convention concernant les coordonnées :

L'origine des coordonnées est prise au point de colision.
L'axe x pointe vers le centre du LHC, l'axe à la verticale, vers le haut, l'axe z est donc le long du faisceau.
Les positions sont définie par une direction caractérisée par les angles ϑ et Φ.
Φ est defini dans le plan xy, à partir de l'axe x.
ϑ est defini à partir de l'axe z ; on appele la pseudo rapidité: η = - ln tan($\vartheta/2$). C'est la pseudorapidité qui sera utilisé dans la suite pour reperer les coordonnées.

1.2.3 Le trajectographe :

Le trajectographe de CMS est constitué de silicium ; avec, pour le tonneau (barrel), sur la partie interne, trois couches de pixel de grande granularité ; et sur la partie externe dix couches de pistes de silicium. Cela est complété avec, pour les bouchons (endcap), des disques de pixels et 12 disques de pistes. Le tout formant ainsi un ensemble de 66 millions de pixels et 9 millions de canaux de lecture pour les pistes de silicium qui permet d'atteindre une précision de mesure de l'impulsion transverse de 2%.

Compte tenu de l'importance du nombre de canaux de données de trajectographe, l'étude des informations qu'il fournit prends trop de temps pour pourvoir participer à systeme de déclenchement de haut niveau, et donc au trigger qui nous interesse.

1.2.4 Le calorimètre électromagnétique.

Le calorimètre électromagnétique de CMS utilise des cristaux afin de produire des gerbes électromagnétiques, et d'en mesurer l'énergie par l'intermédiaire de scintillations émises par ces cristaux. Les cristaux utilisés dans le calorimètre électromagnétique sont des cristaux de tungstate de plomb, s'accordant parfaitement avec les caractéristique temporelles de CMS car 80% de la lumière est émise par le scintillement en moins de 25ns, durée entre deux croisement de faisceaux.

La partie tonneau (barrel) correspond à la zone de pseudorapidité $|\eta| < 1.479$; et les bouchons (endcap) couvrent : $1.479 < |\eta| < 3$. Les bouchons disposent, de plus, de détecteurs de pied de gerbe sur la face avant des cristaux. Ces détecteurs de pied de gerbe sont constitué de 2 plans de micro-pistes de silicium ; avec une orientation perpendiculaire des pistes entre ces deux plans. Et, en amont de chaque plan est situé une couche de plomb servant à déclencher la gerbe électromagnétique. Ces détecteurs de pied de gerbe n'entrent pas en compte dans le processus de décision de déclenchement.

Le tonneaux est un cylindre de rayon interne 1.29m composé de 60000 cristaux de PbWO4. Ces cristaux sont regroupés en tours (carré de 5*5 cristaux dans le tonneau, d'une géométrie plsu compliqué dans le bouchon). Chaqu'une de ces tours produira à chaque faisseau, des primitives de déclenchement, comprendant le numero de croisement de faisceau ; l'énergie recueilli au sein de la tour, ansi qu'un valeur carracterisant l'étalement du dépot d'énergie dans les tours. Ce sont ces primitives de déclenchement qui serviront par la suite à determiner en partie le declenchement du trigger.

1.2.5 Le calorimètre hadronique

Le calorimètre hadronique est constitué de scientillateur plastique et de couches de laiton : 14s couches de laiton forment l'absorbeur, et 17 plaques de scintillateur forment le matériau actif, dont le signal est lu par des photodiodes. Les scientillateur sont divisés en 16 secteurs suivant η dans le tonneau, 13 dans le bouchon (il y à une supperposition et deux secteurs sont dans le tonneau et dans le bouchon à la fois). On à ainsi une division en tours de taille $\Delta\Phi$ * $\Delta\eta$ = 0.087*0.087 qui couvre tout la plage $|\eta| < 3$.

Ces tours, comme pour le calorimètre éléctronique produiront les primitie de déclenchement pour le trigger.

1.2.6 Le détecteur à muon

Le détecteur à muon n'entrant pas dans en compte de le trigger à étudier, il ne sera donc pas réelement détaillé ici.
Il comporte 3 types de détecteurs différents ; des tubes à dérives dans le tonneau, des chambre à piste cathodique dans le bouchon, et , en parraléle, des chambres à plaques parraléles résistives.

1.3 Trigger

1.3.1 Principe

Une fois le LHC à la luminosité prévu, une dizaine de collisions de protons aura lieux chaque 25 ns. Le flux de donnée à traiter ou à stocker est trop important, et doit être réduis de 7 ordres de grandeurs pour atteindre un taux de 100 à 150 hertz ; qui peut être stocké par une des fermes d'ordinateur de CMS. Cette diminution du taux se fait en deux étapes : la première étape, appelée Level 1 trigger, permet de réduire le taux à environ 100kHz en se basant juste sur des informations parcellaires du détecteur. La seconde, le déclenchement de haut niveau (ou HLT pour high level trigger) à accès à la totalité des données de l'évènement et emploi des algorithmes proches de ceux de l'analyse.

1.3.2 Déclenchement de premier niveau ou Level 1 trigger

Le déclenchement de premier niveau emploi donc des informations fragmentaires pour prendre ses décisions ; la totalité des informations de l'évènement devant être stocké pendant ce temps. Ce stockage ne peut durer, compte tenu de la taille des donné a stocker, que 3.2 µs.

Le déclenchement premier niveau est organisé en pipeline ; et il ne peut donc, par construction par avoir de temps mort entre deux processus de décision. Les décisions doivent donc avoir lieu toutes les 25ns. Cela implique de plus que tous les algorithmes employés doivent prendre le même temps, ce qui exclu donc tout algorithme itératifs (recherche de trace par exemple). Le trajectographe, et le détecteur de pied de gerbe sont donc de fait écartés des processus de décisions de premier niveau.
Dans notre cas seuls les calorimètre interviennent donc dans le déclenchement de haut niveau.
L'algorithme de déclenchement du niveau L1 se base ainsi sur des fenêtres glissantes de 3*3 tours sur les calorimètres éléctromagnétique et hadroniques, et l'énergie du candidat L1 est considéré comme la somme des énergie de la tour centrale et de la tour adjacente ayant la plus grande énergie. On aura notre candidat L1 si cette énergie est suffisante, et que la tour centrale comporte un dépot suffisament compte (se verifie via la primitive de déclenchement de cette tour, et via le rapport entre l'energie dans le calorimètre hadronique par l'energie dans le calorimètre éléctromagnétique qui doit rester faible).
Le candidat L1 ainsi pourra de plsu avoir à verifier des critères d'isolation, 5 tours contigues (hors la tour centrale) doivent ainsi ne pas avoir reçu de dépot d'énergie supérieur à 1.5 GeV.

On dispose ainsi des candidats L1, les quatres ayant la plus haute énérgie seront transmis au trigger de haut niveau.

1.3.3 Déclenchement de haut niveau ou HLT

Le déclenchement de haut niveau a pour but de réduire le taux de déclenchement à environ 100-150 Hertz. Afin de minimiser l'appel des données sur les évènements, pour gagner en temps de calcul, le fonctionnement du déclenchement de haut niveau repose sur un principe de filtre successif utilisant de plus en plus de données. Les premiers filtres n'emploient ainsi pas encore l'information du trajectographe, mais seulement des informations plus fines issues des calorimètres. Et les filtres suivant ne sont étudiés qu'en cas de validation de cette première étape (appelée niveau 2). Le niveau suivant 2.5, fait de plus appel au trajectographe, et le niveau 3 à l'ensemble des données de l'évènement.

De plus, toujours dans un soucis de gain de temps, la reconstructions des objets effectué par HLT se base sur les objets L1 précédemment identifiés.

Cas du déclenchement de haut niveau pour les électrons.
L'étude effectué par la suite porte sur du HLT concernant les électrons, il sera détaillé plus précisément ici. HLT est ici divisé en 3 niveaux : 2, 2.5, 3.

Le niveau 2 commence par identifier des super-cluster en fonction des informations des cristaux du calorimètre. Ces super cluster sont des groupements de cristaux, permettant de collecter des dépôts d'énergie dont l'allure est significative d'électrons ou de photon (qui on le même niveau 2 pour HLT). Les dépôts d'énergie ainsi recherché sont ceux correspondant aux radiation de Bremsstrahlung des électrons, ou à la conversion des photons. Le niveau 2 du HLT défini ainsi une simple coupure sur l'énergie transverse de ce super-cluster ; qui doit dépasser un certain seuil.

Le niveau 2.5, spécifique aux électrons, utilise quand à lui l'information du trajectographe,afin d'estimer l'impulsion transverse pour ensuite extrapoler la trajectoire de l'électron (en fonction du champ magnétique). Il vérifie ainsi présence de certains hits proche de la trajectoire attendue, permettant ainsi de confirmer le présence d'un électron.

Le niveau 3 reconstruit quand à lui entièrement la trace de l'électron, et on peut appliquer de plus plusieurs coupures supplémentaires sur l'isolation ou l'identification de l'électron :

Les critères d'isolations courant sont une isolation hadronique H/E (rapport entre les dépôts d'énergie des calorimètres hadroniques et électroniques), des isolations sur les calorimètres (minimisant l'énergie dans un cône autour du super cluster considéré), ou sur le trajectographe (utilisant la somme des impulsions transverse autour d'un électron

$\sum pt$, en excluant le pt de cet électron. On applique ensuite une borde supérieur à $\sum pt$ / pt.

Pour les critères d'identification utilisés : une des principales variables d'identifications repose sur l'extrapolation de la trace de l'électron a partir d'un point le plus interne possible jusqu'au point le plus proche du super-cluster ; on calcul ensuite les écarts angulaires $\Delta\Phi$, $\Delta\eta$ entre ce point et le super-cluster ; ces écarts angulaires devant rester petits. Il existe de plus un critère sur la forme du super-cluster appelé$\sigma_{i\eta i\eta}$dont la valeur augmente avec l'étalement d'énérgie dans le super-cluster

1.3.4 Le trigger double électron : HLT_Ele17_CaloIdL_CaloIsoVL_Ele8_CaloIdL_CaloIsoVL

Le trigger à étudier, donc le nom prècis est

HLT_Ele17_CaloIdL_CaloIsoVL_Ele8_CaloIdL_CaloIsoVL, est, comme sont nom l'indique, un trigger de haut niveau (HLT), demandant deux éléctrons, le premier avec une energie d'au moins 17 GeV (Ele17), ainsi que des criteres d'identifications calorimétrique leger (CaloIdL) et d'isolation calorimétrique très leger (CaloIsoVL). Le second éléctron doit avoir une énergie de 8GeV et les mêmes critère que le premier concernant les calorimètres.

On va ici cherche à expliquer plus précisement le sens des coupures éffectuées :

-$\sigma_{i\eta i\eta}$:comme vu précedement, ceci correspond à la forme et à l'étallement du dépot d'énergie dans le super-cluster, pour les éléctrons bien identifié ce dépot doit rester limité en étallement,afin de s'assurer que l'énérgie de notre super cluster proviens bien d'un unique électron, et non du recouvrement de plusieurs phénoménes ; on pose donc une borne supérieur à $\sigma_{i\eta i\eta}$

- H/E : Ceci est le rapport entre l'énergie dans les calorimètres hadronique et electronique, dans la mesure ou le gros de la gerbe éléctromagnétique d'un éléctron est reste dans la calorimétre éléctronique, on impose une borne supérieur au rapport précedent

- ECalIso / Et et HCalIso / Et ; respectivement l'isolation dans les calorimètre éléctronique et hadronique. Cela correspond à la fraction d'énergie dans un cône situé autour du super-cluster consideré. Cette valeur étant aussi majoré, afin de s'assurer que l'énérgie de notre super cluster proviens bien d'un unique électron, et non du recouvrement de plusieurs phénoménes.

Coupures effectuées sur les électrons :

	Et (1er électron)	Et (2eme électron)	ECalIso / Et	HCalIso / Et	$\sigma_{i\eta i\eta}$	H/E
Barrel	> 17 GeV	> 8 GeV	< 0.2	< 0.2	< 0.014	< 0.15
Endcap	> 17 GeV	> 8 GeV	< 0.2	< 0.2	< 0.035	< 0.1

2 Etude de l'éfficacité du trigger double electron

2.1 Préliminaires

2.1.1 But de l'analyse

On à précédemment vu l'importance du système de déclenchement pour limiter le d'avoir un taux de données un conserver trop important ; il est cependant aussi important de vérifier que cela ne nous fait pas perdre une quantité importante d'évènement susceptible d'être intéressant au cours de l'analyse. Le stage à donc eu pour objet l'étude de l'efficacité du trigger HLT double électron précédemment évoqué ; l'efficacité du trigger étant définie par la fraction d'évènement que le trigger à décidé de garder parmi ceux qu'il aurait du garder (dans la mesure où l'on s'intéresse au canal de désintégration du Higgs en deux bosons Z puis en 4 électrons, on considère que les évènements intéressant sont ceux on l'on trouve deux électrons provenant d'un Z, les critères précis seront détaillés plus loin). L'étude effectuée pendant le stage entre dans l'étude de la chaine de désintégration du boson de Higgs en deux bosons Z puis en quatre électrons sur les données 2011 de CMS, et à pour but de calculer sur ces données l'efficacité du trigger HLT_Ele17_CaloIdL_CaloIsoVL_Ele8_CaloIdL_CaloIsoVL. Ces calculs d'efficacité ayant auparavant été effectués seulement via l'intermédiaire de simulation et non directement sur les données issues de CMS.

2.1.2 Prévisions des simulations

Les simulations faites à l'aide de programmes Monte Carlo (ces simulations seront d'ailleurs par la suite parfois appelées Monte Carlo ou MC, en particulier dans les légendes des graphiques), nous donnent déjà une idée précise de la forme de résultat que l'on attend.

Si on trace, grâce à ces simulations, la fraction d'électron déclenchant le trigger en fonction de leur énergie, on s'attends ainsi à avoir une courbes à l'allure suivante : pour les valeurs d'énergie suffisament inférieure aux seuils de coupure du trigger (Et $<<$ 8GeV ou Et $<<$ 17GeV : on à deux seuils, on cherchera donc à faire une courbe pour chaque), on s'attends à avoir une fraction d'éléctrons qui déclenchent le trigger proche de 0%, pour les valeurs suffisament supérieure au seuils, on à au contraire une éfficacité attendue très grande, de l'ordre de 99% pour le trigger HLT que l'on étudie. Entre les deux, on doit avoir un seuil très marqué, très pentu ; ces courbes, ressemblant à un lissage de fonction de Heaviside, sont appelé turn-on.

Si on trace les mêmes fonctions pour les coupures autres que l'énergie, on aura les même allures de courbes, mais avec le palier haut avant le seuil et le palier bas au delà du seuils (car la condition de coupure du trigger est Et > 8 ou Et >17 alors qu'on fixe des bornes supérieures pour les autres coupures).

Le but va donc être de verifier la cohérence des données expérimentales avec ces prévisions issus de simulations.

2.1.3 Premieres approches et difficultés

Une des premières et principale difficultés de l'étude de l'efficacité d'un trigger est la difficulté à obtenir des données n'étant pas biaisées pour cette étude. En effet toutes les données sont disponible car elles ont passés un certains nombre de trigger, pouvant être lié au trigger que l'on cherche à étudier, faussant ainsi les calculs d'efficacité de ce dernier. On doit donc chercher des évènements pouvant être assez proche de ce que notre trigger doit être capable de repérer, sans pour autant s'appuyer sur des systèmes de déclenchement trop proche de celui à étudier, où alors en trouvant un moyen de lever ce biais.
Une des premières approches effectuées pour cette analyse a consisté à s'appuyer sur des évènements ayant passés des trigueurs à muon, et à chercher dans ces cas la les évènements à partir desquels on était capable de reconstruire deux électrons issus d'un Z. Cette analyse comportant beaucoup trop peu de données exploitable (de l'ordre de la dizaine d'évènement amenant à la reconstruction d'un Z alors que l'on disposait de plusieurs tera de données), d'autres données ont du être choisies.

2.2 Etude des données “commissioning”

Afin d’avoir une mesure très peu biaisée de efficacité du trigger , on a donc par la suite choisi de s’appuyer sur des données issus du “commissioning datasample”. Les évènement contenus dans cette série de donnée ont été sélectionnes par un petit nombre de trigger, et comme certain de ces triggers sont des triggers à électrons on pourrais s’attendre à a l’apparition d’un biais . Cependant, il à été vérifié que cela ne biaisait pas nos résultat : en effet 99,4 % des évènements qui nous sont utiles dans l’analyse (comportant un Z), proviennent de trigger liés a des jets. Et seulement 0,4 % de nos évènements proviennent d’un trigger pouvant biaiser notre résultat (c’est à dire d’un trigger à éléctron). Ces données sont donc, comme voulu, très peu biaisées, et on peut donc parfaitement mesurer l’efficacité du trigger.

Il reste ensuite à voir précisément ce que l’on considère comme évènement intéressant pour l’analyse : en effet pour déterminer la présence d’un boson Z au sein de l’évènement, on doit trouver des électrons pouvant en être issus, et on doit donc être capable de différentier un réel électron d’un faux. On utilise pour cela les données issues de la reconstruction offline de l’électron, et on y applique certaines coupures, sensées nous garantir l’absence de faux. Bien entendu la valeur exacte de ces coupures reste arbitraire, l’efficacité a donc été mesurée dans 3 cas, pour des coupures plus ou moins forte sur les électrons.

Dans ces trois cas, on cherche donc deux éléctrons pouvant provenir d’un Z :il faut qu’ils soient de charges opposées, et aient des masses correspondant correctement avec la masse d’un Z (la somme des masses comprise en 60 et 120 GeV).

Coupure supplémentaire sur les éléctrons :

-deux électrons”WP80” : ceci corresponds à la coupure la plus forte étudiée ici : elle doit nous donner la valeur de efficacité sur le plateau :

Et on obtient une efficacité de 99.3% $\pm$ 0.2%

-deux électrons dont les valeurs reconstruites offline passent les coupures appliquées online au trigger : ceci corresponds à la coupure la plus faible étudiée ici : elle doit nous donner la valeur de l'efficacité minimale sur la plage qui nous intéresse normalement :

Coupures effectuées sur les électrons :

	Et (1er électron)	Et (2eme électron)	ECalIso / Et	HCalIso / Et	$\sigma_{i\eta i\eta}$	H/E
Barrel	> 17 GeV	> 8 GeV	< 0.2	< 0.2	< 0.014	< 0.15
Endcap	> 17 GeV	> 8 GeV	< 0.2	< 0.2	< 0.035	< 0.1

Et on obtient une efficacité de 96.6% ± 0.2%

-deux électrons dont les valeurs reconstruites offline passent les coupures appliquées online au trigger, avec des seuils resserrés de 20 % : ceci doit aussi nous donner une efficacité proche du plateau (tout de même inférieur à celle avec deux électrons WP80). La principale utilité de mesurer l'efficacité en ce point est de voir si le plateau est effectivement atteint rapidement, ou si il reste un augmentation progressive de l'efficacité sur ce plateau.

Coupures effectuées sur les électrons :

	Et (1er électron)	Et (2eme électron)	ECalIso / Et	HCalIso / Et	$\sigma_{i\eta i\eta}$	H/E
Barrel	> 20 GeV	> 10 GeV	< 0.16	< 0.16	< 0.011	< 0.12
Endcap	> 20 GeV	> 10 GeV	< 0.16	< 0.16	< 0.028	< 0.08

Et on obtient une efficacité de 96.6% ± 0.2%

L'efficacité est donc, conformément aux prédictions faites par les simulations, de l'ordre de 99% sur le plateau ; et s'approche déjà beaucoup de cette valeur lorsqu'on se place au niveau du seuil. Cependant on peut aussi observer que le plateau semble un peu moins plat que ce qui été attendu. Pour étudier ceci, on va devoir chercher à tracer les turn-on correspondant au trigger, et pour cela considerer d'autres données, celles issues du commissioning n'étant pas assez nombreuses pour esperer tracer ces courbes correctement.

2.3 Etudes des turn on

Maintenant que l'on à vérifié que les coupures du trigger lui permettent bien d'être proche du plateau avec une efficacité suffisamment importante, on va chercher à affiner les résultats. En effet le but est non seulement de s'assurer de ne perdre aucun élément intéressant, mais aussi d'appliquer les coupures les plus légère possible permettant d'assurer cette efficacité suffisante.
Afin de réellement continuer cette étude du trigger ; il nous faut donc être capable de tracer entièrement les turn-on correspondant, cela ne pouvant se faire avec les données précédentes compte tenu de leur trop faible nombre. D'autres données ont donc du être utilisées : celles issues d'un trigger Tag and Probe

2.3.1 Méthode tag and probe :

Le trigger Tag and Probe est lui aussi un trigger double électron, avec une sélection est des coupures très fortes sur un des électrons, qui sera appelé le Tag, et des coupures au contraire très légère pour le second électrons : le probe, qui correspond simplement à une énergie de 8 GeV dans un super-cluster.

Bien entendu, une étude portant directement sur les données issues du trigger tag and probe serait biaisée, le tag étant déjà supposé passer des coupures plus importantes que les coupures appliquées par le trigger HLT à étudier. Pour s'affranchir de ce biais on utilise la méthode suivante :

On cherche, au sein de chaque évènement déclenchant le trigger tag and probe, quels sont les électrons ayant déclenchés la branche Tag du trigger. On dispose pour cela des informations sur les objets ayant déclenchés le tag and probe, et sur nos objet électrons qui ont été reconstruit offline. Et on cherche à faire correspondre les informations spatiales sur ces deux objets : concrètement on impose $\Delta R = (\Delta\Phi^{2} + \Delta\eta^{2})^{1/2} < 0.15$, une condition sur les différence d'angles entre le super-cluster ayant déclenché le trigger, et l'angle donné par la reconstruction de électrons. Cette correspondance spatiale donne de bon résultat, avec un pourcentage de correspondance incorrecte inférieur à 0.1% (cas ou un objet trigger correspond à 0 électron ou 2 électrons ou plus). Tous les électrons pour laquelle cette correspondance sera possible seront dorénavant appelés Tag.
On fait une correspondance similaire pour le probe, puis pour chacune des deux pattes du trigger HLT.

Le but est ensuite de voir, parmi nos électrons estimés comme non biaisé (je reviendrais plus loin sur quels électrons on considére précisément) lesquelles déclenchent une patte du trigger HLT, en fonction de leurs caractéristiques. Et cela permettra ainsi d'obtenir une efficacité en fonction des caractéristiques de l'électron, c'est à dire les turn-on recherché.

Il reste cependant encore deux difficultés à lever dans ce cas là : tout d'abord cette étude donnera la probabilitéqu'un électron déclenche une patte d'HLT, et non qu' un évènement déclenche le trigger. Dans le cas de deux électrons, il sera supposé qu'un simple produit des efficacités de chaque branche donnera l'efficacité du trigger (le trigger fonctionnant comme un ET logique à ce niveau, l'hypothèse semble raisonnable), dans le cas où plus de deux électrons sont présent, le calcul se complique mais reste néanmoins faisable ; ceci sera détaillé dans la partie 2.6 plus précisément (où l'on verra aussi les limites de cette approche).

La seconde difficulté est le choix des électrons considérés comme non biaisés. Un électrons par mesure est considéré comme biaisé, car responsable du déclenchement de la branche tag du tag and probe (on considère le biais induis par la coupure faites sur le probe comme négligeable). On s'intéresse toujours à des électrons pouvant provenir d'un Z, on considèrera donc pour l'étude les électrons qui :
-Peuvent être issus d'un même Z qu'un électron correspondant à un tag choisi arbitrairement au sein de l'évènement (il peut y avoir plusieurs électrons déclenchant la branche tag, dans ce cas un d'eux sera arbitrairement choisi comme l'électron biaisant l'évènement). Concrètement cela à impose que les deux électrons provenant du Z soient de charges opposées, et aient des masses correspondant correctement avec la masse d'un Z (on considère ici que la somme des masses des deux électrons doit être comprise entre 60 et 120 GeV).
-On ne considère de plus que les électrons Tags ou Probes.

Cela nous permet donc d'avoir pour chaque évènement déclenchant le tag and probe, un électron dont on connait les caractéristiques reconstruite offline, et on sait si il correspond à un objet ayant déclenché une branche de notre HLT. Il ne restera ensuite qu'a itérer ceci sur les différents évènements en sélectionnant correctement les électrons à considérer pour obtenir les turn-on désirés.

2.3.2 Construction des courbes de turn-on

Maintenant que le principe de la sélection à été vu, il nous faut encore voir comment construire les turn-on.
Ce qui nous intéresse c'est de voir, pour chaque grandeur physique sur laquelle une coupure est effectuée, l'évolution de l'efficacité en fonction de cette grandeur. On doit de plus imposer à nos électrons des conditions supplémentaires, liées au coupures sur les autres grandeurs ; en effet on si on veux réellement voir l'effet d'une coupure, il est important d'imposer au xélectrons de passer les autres coupures que le trigger applique afin de ne pas voiler nos résultats par l'inefficacité sur les autres coupures.
Si on veux voir ceci avec une explication plsu précise et mathématiques : l'évolution de l'efficacité du trigger est une surface à n dimension, où n est le nombre de coupure, et le but est de ramener ceci sur une courbe unidimensionnel. L'idée est de faire quelques chose s'approchant d'une projection suivant la variable qui nous intéresse (une projection correspondrait à fixer exactement les autres grandeurs sur lesquelles il y a des coupures, on donnera ici juste un seuil bien choisi pour pouvoir disposer de suffisamment de donnée, tout en éliminant inefficacité du aux autres variables).

En bref, il sera choisi par la suite de fixer les coupures suivantes sur les variables offline de l'électron (à chaque fois qu'on étudie une de ces 5 variables, on fixe les 4 autres coupures, et on ignore la coupure sur la variable à étudier).

	Barrel	Endcap
Et	> 10 GeV	> 10 GeV
H/E	< 0.12	< 0.08
$\sigma_{i\eta i\eta}$	< 0.011	< 0.028
ECalIso / Et	< 0.16	< 0.16
HCalIso / Et	< 0.16	< 0.16

Concrètement cela correspond aux coupures faites par le trigger, en ressérant les seuils de 20%. On cherche ainsi à être sur les plateaux pour ces différentes variables (ce qui doit se confirmer ou s'infirmer par l'obtention des turn-on). L'étude à aussi été faite en imposant aux variable reconstruite offline exactement les même coupures que celle que le trigger effectue online, les résultats sont similaires (malgré une efficacité moindre, bien évidemment ; les turn-on correspondant seront disponible en annexe pour information).
La coupure effectuée ici sur Et montre que l'on s'intéresse aux électrons déclenchant n'importe quelle branche de HLT (8 GeV ou 17 GeV) ; seront pour l'instant présenté seulement des résultats sur de tels électrons (sauf pour l'étude sur Et, bien entendu, ou la distinction est nécessaire), l'étude sur la branche 17 GeV donne des résultats similaires (presentés en annexe).

En plus de ces coupures sur l'électron considéré, et des coupures évoqué précédemment sur la fenêtre de masse du Z (60-120 GeV), on impose des coupures afin de limiter les bruits de fond et nous empêchant de considérer de faux électrons :

-Le Tag doit passer les coupure “WP60” et avoir un moment transverse supérieur à 20 GeV
-Le probe doit avoir un moment transverse supérieur à 5 Gev, une isolation relative de trajectoire < 0.5.
-Et on impose à l'évènement d'avoir une énergie transverse manquante < 25 GeV (cette énergie manquante provient d'une éventuelle émission de neutrino, non détectes par CMS).

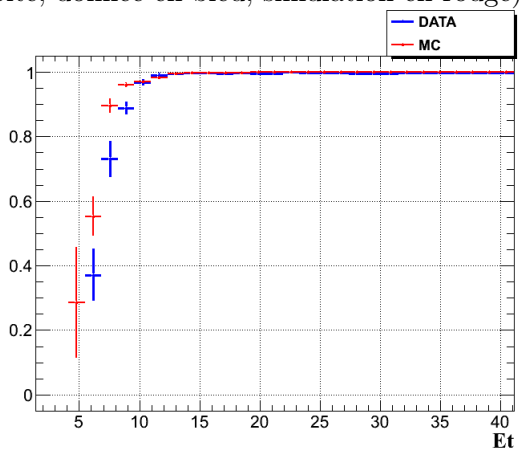
On cherchera à voir dans la partie 2.6 en quelle mesure ces coupures supplémentaires faussent les résultats, on se contentera pour l'instant de les appliquer comme une nécessité pour éliminer tout bruit de fond.

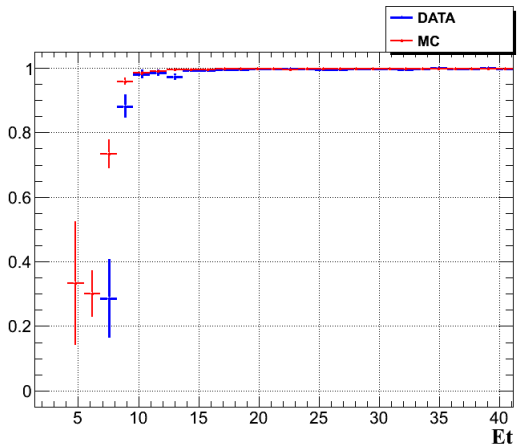
2.4 Turn-on

2.4.1 Et

Ceci correspond aux turn-on les plus souvent étudié ; on distingue ici clairement deux cas, suivant les la patte du trigger étudié (la principale différence entre ces deux branches proviens du fait que leurs coupures sur l'énergie transverse soient différentes.

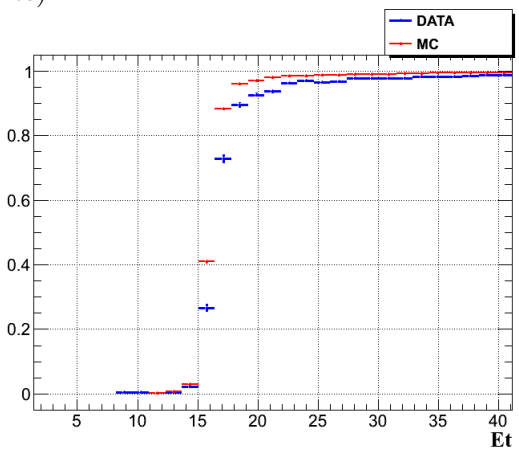
Pour la patte avec la coupure à 8 GeV (courbes pour le barrel à gauche et pour l'endcap à droite, donnée en bleu, simulation en rouge)

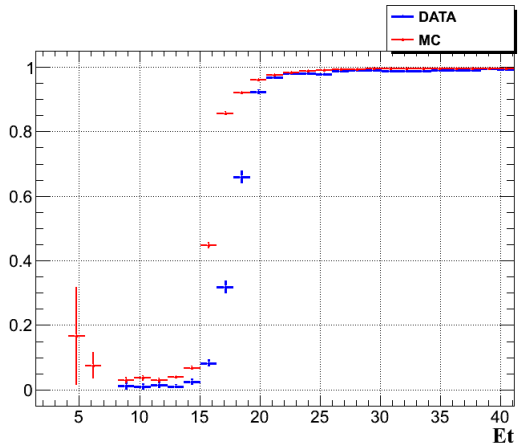




	Barrel	Endcap
Et = 8 GeV	$\varepsilon = 62$ %	$\varepsilon = 72$ %
Et = 10 GeV	$\varepsilon = 96$ %	$\varepsilon = 96$ %
Et = 40 GeV	$\varepsilon = 99$ %	$\varepsilon = 99$ %

Pour la patte avec la coupure à 17 GeV (courbes pour le barrel à gauche et pour l'endcap à droite)



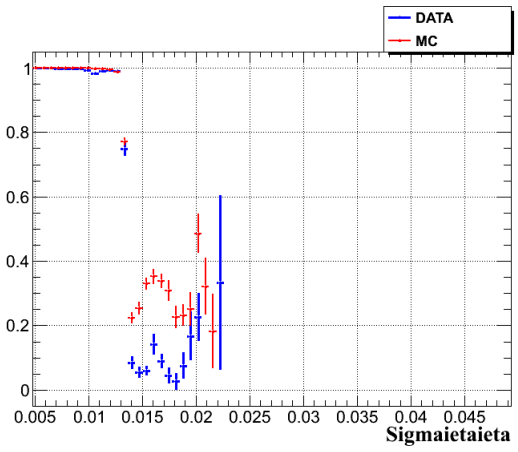


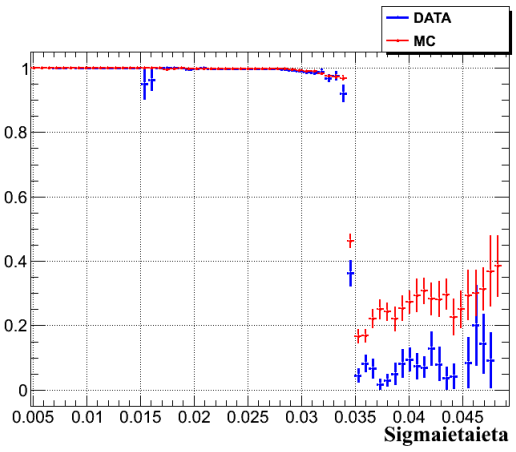
	Barrel	Endcap
Et = 17 GeV	ε = 62 %	ε = 72 %
Et = 20 GeV	ε = 95 %	ε = 95 %
Et = 40 GeV	ε = 99 %	ε = 99 %

On constate ici que l'allure est bien globalement celle prévue par les simulations Monte-Carlo, cependant quelques différences sont notables : il y a un léger"retard" à l'apparition du seuil (qui semble être présent un ou deux GeV plus haut que ce que les simulations prévoient ; et surtout même si on finit bien par attendre le plateau attendu avec pour de 99% d'efficacité ; ce plateau arrive beaucoup plus tard que prévu, après une stabilisation autour d'une efficacité de 95% dans un premier temps, et pour une plage d'énergie relativement importante.
Le retard à l'apparition du seuil sera étudié plus précisément plus loin (partie 2.6).

Concernant le fait que l'efficacité soit plus faible que prévu au delà du seuil, et prenne un certain temps avant d'atteindre le seuil, ceci est le premier résultat réellement notable et différent des attentes, on observe bien une perte d'efficacité non négligeable sur une plage d'énergie relativement éloigné du seuil.

2.4.2 $\sigma_{i\eta i\eta}$

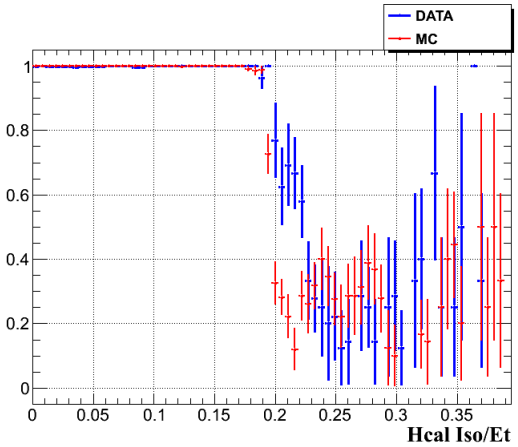


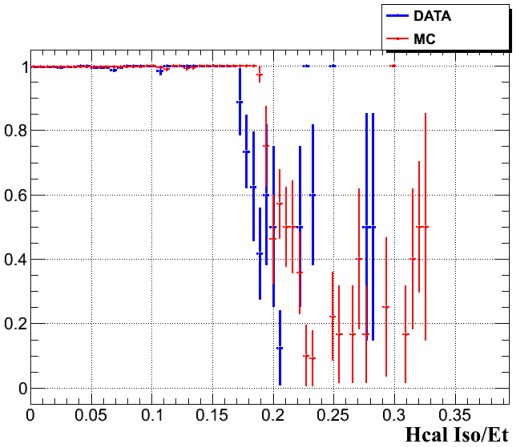


Les résultats ici sont donc très proche de ce que l'on attendais, avec un seuil bien marqué sur les valeurs des coupures, et une efficacité très importante avant de dépasser le seuil (~99%).

La seule différence vraiment notable concerne l'important nombre important d'éléments dans les simulation (et moins dans les données) déclenchant le trigger alors qu'ils sont au delà du seuil.

2.4.3 HCalIso /Et



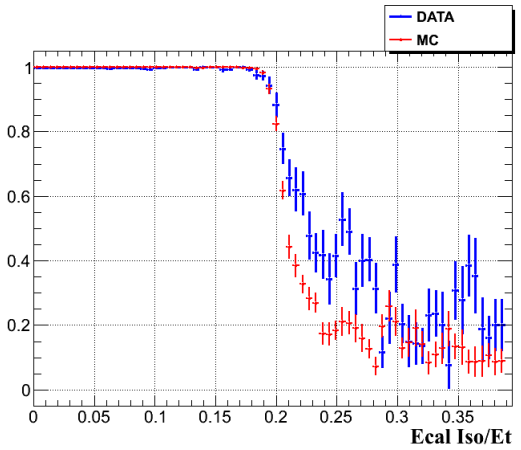


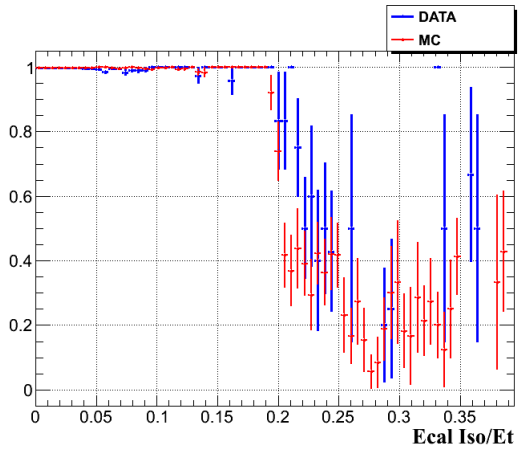
Les résultats bien en deçà ou au delà du seuil sont conforme aux attentes et tout à fait satisfaisant, avec deux paliers important en bien marqués, et une efficacité tout a fait correcte en deçà du seuil (~99%)

Cependant, si on regarde proche du seuil, des différence notable et plus inquiétante apparaissent, en particulier dans l'endcap.

Dans l'endcap, on voit ainsi une importante perte d'efficacité dès HCalIso/Et > 0.17 ; alors qu'il n'est attendu qu'a partir de 0.2. Cette observation à conduit au changement des coupures offline appliqués pour l'analyse.

2.4.4 ECalIso /Et





Résultat globalement semblable à ceux obtenus pour l'isolation dans le calorimètre hadronique : on à donc bien deux paliers, bien marqué, avec une efficacité sur le plateau de l'ordre de 99 %.

2.4.5 Bilan des turn-on

Les courbes obtenues ici sont donc majoritairement conformes aux attentes, aux exceptions près de :
-une efficacité plus basse qu'initialement prévu pour la branche à 17 GeV ; ceci s'expliquant par l'influence du trigger de niveau 1.
-une perte d'efficacité sur les électrons avec une isolation relative dans le calorimètre hadronique proche de la coupure.

A part ceci les résultats confirment, jusqu'à présent, la valeur des seuils observés, le fait qu'ils ne soient pas trop étendus, et surtout l'efficacité importante sur le palier. Part ces observations on confirme aussi l'approche initiale de qui était de dire qu'en prenant des coupures 20 % plus dur sur les grandeurs que l'on n'étudie pas, on serait bien sur les plateaux d'efficacité de ces grandeurs.

2.5 Courbe de cumul d'efficacité

Les turn-on précédent nous montrent la fraction d'électrons déclenchant une patte de HLT en fonction de leurs caractéristique, cela dis on ne voit par directement ici l'efficacité de chaque branche qui est l'intégrale des courbes précédentes (en pondérant le poids de chaque point par le nombre d'électrons auquel il correspond, et en sommant sur l'ensemble limité par notre coupure).

Les courbes suivantes nous montrent l'efficacité d'une patte du trigger sur l'ensemble des électrons, en fonction du seuil de coupures que l'on choisi. Ces courbes montrent donc l'efficacité de la patte du trigger que l'on étudie, au point de travail appliqué pour l'instant, mais permet aussi de voir en quelle mesure en déplacement des coupures nous fait gagner ou perdre de l'efficacité ; les turn-on précédent nous permettait de voir la fraction d'électrons déclenchant une patte de HLT en ces points la, mais ne permettait pas de rendre compte de leur importance dans la perte d'efficacité totale (on ne pouvait estimer la pondération du au nombre d'électron).

Ces courbes sont tracés dans les conditions similaires que pour les turn-on précédent à la seule exception que pour les coupures correspondant aux coupures online du trigger on prendra dorénavant les valeurs suivante

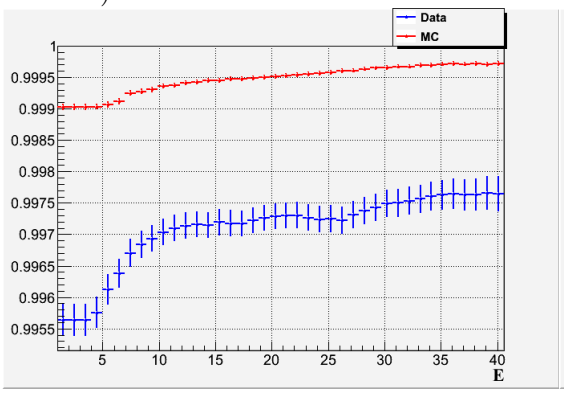
	Barrel	Endcap
Et	> 10 GeV	> 10 GeV
H/E	< 0.15	< 0.10
$\sigma_{i\eta i\eta}$	< 0.014	< 0.035
ECalIso / Et	< 0.2	< 0.2
HCalIso / Et	< 0.2	< 0.2

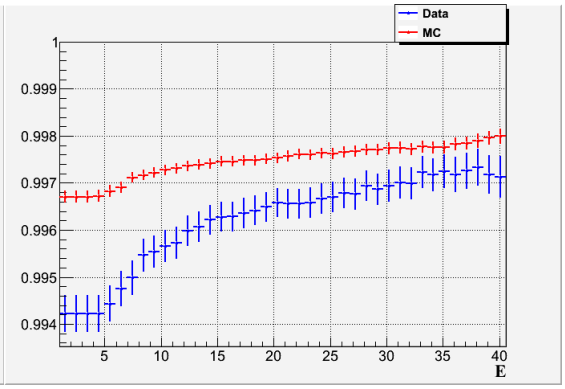
On avait auparavant choisi,pour les turn-on, des valeurs de seuils plus petite, afin d'être sur d'être sur le plateau, cela se justifiait car on voulait être sur de ne pas ajouter de l'inefficacité cachant réellement l'information du turn-on sur la variable qu'on étudie. Dorénavant, on s'intéresse à l'efficacité totale de la patte du trigger, on doit donc se placer réellement à la limite des données, on choisi donc les coupures offlines qui seront ensuite appliquées pour l'analyse H->ZZ->4e ; ces coupures sont celle écrites au dessus, et sont les même que les coupures appliquées online par le trigger.

Tout le reste concernant la sélection des électrons (tag and probe, reconstruction du Z, coupures pour limiter le bruit de fond) reste identique à ce qui à été fait pour obtenir les turn-on.

2.5.1 Et

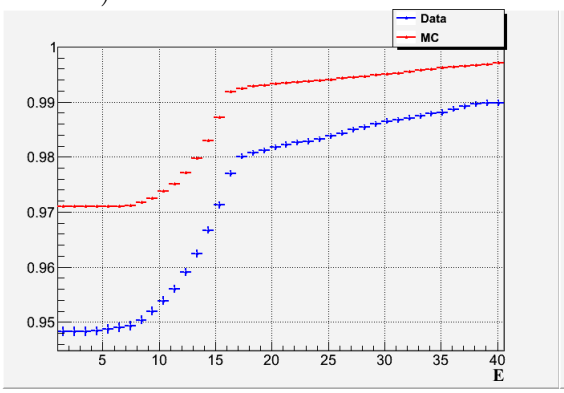
Pour la patte avec la coupure à 8 GeV (courbes pour le barrel à gauche et pour l'endcap à droite)

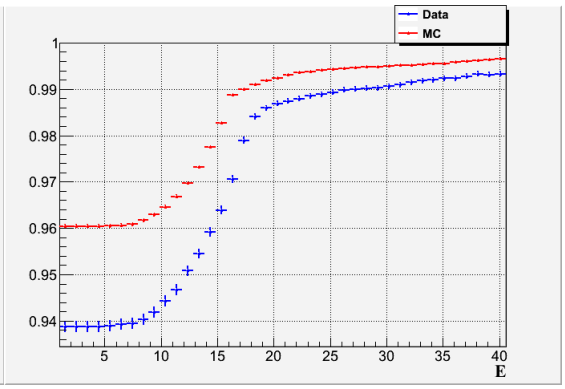




	Barrel	Endcap
Et > 8 GeV	$\varepsilon = 99.68 \pm 0.02\%$	$\varepsilon = 99.57 \pm 0.03\%$
Et > 10 GeV	$\varepsilon = 99.70 \pm 0.02\%$	$\varepsilon = 99.58 \pm 0.03\%$

Pour la patte avec la coupure à 17 GeV (courbes pour le barrel à gauche et pour l'endcap à droite)





	Barrel	Endcap
Et > 17 GeV	$\varepsilon = 98.0 \pm 0.1\%$	$\varepsilon = 97.9 \pm 0.1\%$
Et > 20 GeV	$\varepsilon = 98.2 \pm 0.1\%$	$\varepsilon = 98.8 \pm 0.1\%$

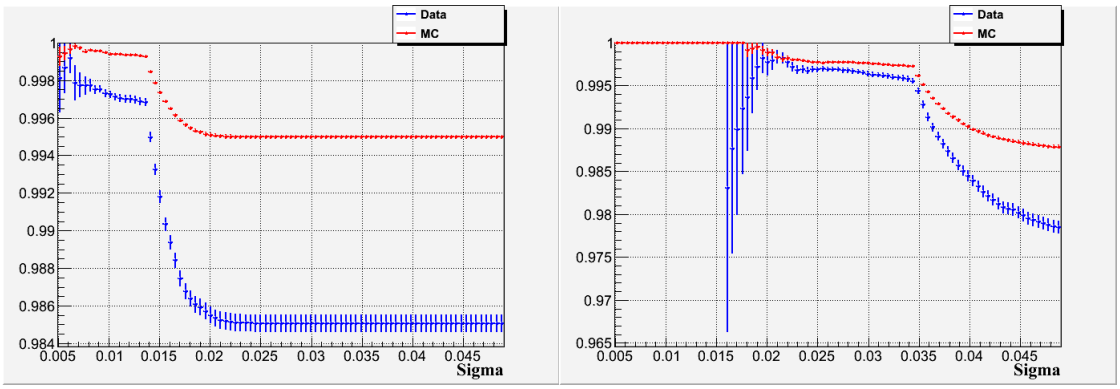
On constate qu'on gagne généralement assez peu à rendre les coupures un peu plus hautes, cela étant causé par le fait que le nombre d'électrons avec des valeurs d'énergie basse est en faite très faible, et ne joue donc que peu dans l'efficacité.

Cependant, dans le l'endcap, pour la branche à 17 GeV du trigger, on à beaucoup à

gagner à modifier légèrement les coupures effectués (ce qui est déjà fait en pratique, les coupures employé sur l'énergie pour l'analyse sont légèrement plus importante que celles appliqués sur le trigger : 10 GeV / 20 GeV contre 8 Gev / 17 GeV).

L'autre aspect notable proviens du fait que la branche à 17 GeV à une perte d'efficacité plus importante que celle à 10 GeV. Pour explique cela on doit revenir sur le fonctionnement d'un trigger de haut niveau : comme vu lors de la description des triggers, les triggers de haut niveau sont déclenché par des trigger de niveau 1, et c'est de la que proviens inefficacité. En effet, trigger de niveau 1 entrant en compte au sein de la branche à 17 GeV et non de la branche à 8 GeV, toute la perte d'efficacité du trigger du niveau 1 se transmet sur l'efficacité de la patte à 17 GeV du trigger de haut niveau.

2.5.2 $\sigma_{i\eta i\eta}$

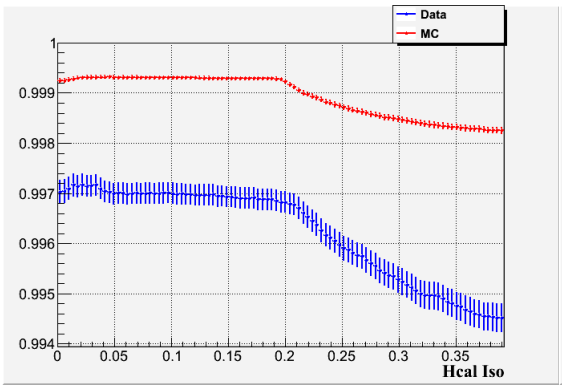


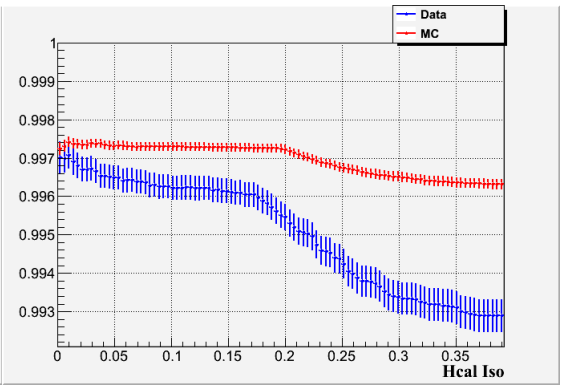
On avait déjà une donne correspondance pour cette variable auparavant, on observe tout de même qu'on à une petite perte d'efficacité dans le barrel.
Le plus important à voir est la brusque perte d'efficacité dès qu'on dépasse le seuil, indiquant ainsi la justesse des coupures.

On obtient ainsi pour l' efficacité de la patte 8 GeV :
Dans le barrel, pour $\sigma_{i\eta i\eta} < 0.014$ (valeur de la coupures appliqué online), une efficacité de 99.68% $\pm$ 0.02%
Dans l'endcap, pour $\sigma_{i\eta i\eta} < 0.035$ (valeur de la coupures appliqué online), une efficacité de 99.57% $\pm$ 0.02%

Ces valeurs sont très satisfaisante, tout autant que les autres résultats obtenues pour $\sigma_{i\eta i\eta}$.

2.5.3 HCalIso /Et



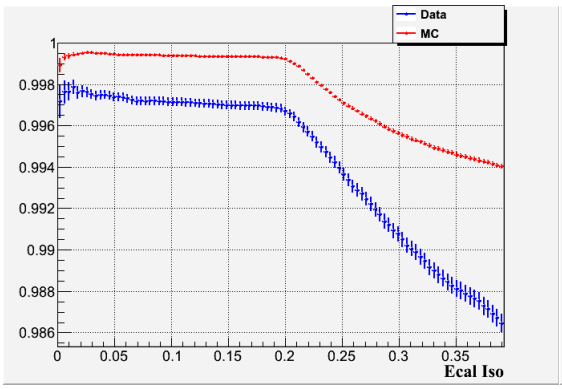


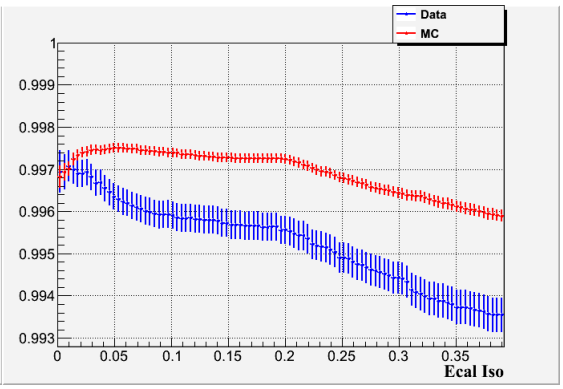
Ici encore, bien que ça soit moins marqué que pour $\sigma_{i\eta i\eta}$, on observe une chute d'efficacité à partir de HCalIso /Et = 0.2 dans le barrel et de 0.17 dans l'endcap. La première valeurs correspond à la coupures effectuée online par le trigger, la seconde correspond à une coupure plus forte, celle qu'on avait déjà vu comme importante lors de l'étude des turn-on.

Dans le barrel, pour HCalIso /Et $<$ 0.2 (valeur de la coupures appliqué online), une efficacité de 99.68% $\pm$ 0.02%
Dans l'endcap, pour HCalIso /Et $<$ 0.2 (valeur de la coupures appliqué online), une efficacité de 99.57% $\pm$ 0.03%
Dans l'endcap, pour HCalIso /Et $<$ 0.17 (valeur à partir de laquelle on observe le décrochage), une efficacité de 99.60% $\pm$ 0.03%

On voit ainsi, que mal grès le fait qu'on perde une partie non négligeable des électrons ayant 0.17 $<$ HCalIso /Et $<$ 0.2 ; cela ne joue que très peu au sein de l'efficacité du trigger ; tout simplement car la grande majorité des électrons ont une valeur de HCalIso /Et bien inférieure à 0.2 (plus de la moitié des électrons ont 0 pour valeur de HCalIso).

2.5.4 ECalIso /Et





Encore une fois, les résultats sont plutôt conforme aux attentes.
Dans le barrel, pour ECalIso /Et < 0.2 (valeur de la coupures appliqué online), une efficacité de 99.68% $\pm$ 0.02%
Dans l'endcap, pour ECalIso /Et < 0.2 (valeur de la coupures appliqué online), une efficacité de 99.58% $\pm$ 0.03%

2.5.5 Conclusion

On a donc, pour la branche 8 GeV du trigger, auprès des électrons dont les caractéristiques offlines passeraient les coupures online du trigger, une efficacité de 99.68% $\pm$ 0.02% dans le barrel et 99.58% $\pm$ 0.03% dans l'endcap.
Pour la branche à 17 GeV, ces efficacités deviennent respectivement 98.0% $\pm$ 0.1% et 97.9% $\pm$ 0.1%.

Cela nous donc qu'on obtient une excellente efficacité de la branche à 8GeV, l'efficacité de la branche 17 GeV, bien qu'un peu plus basse reste tout de même très importante

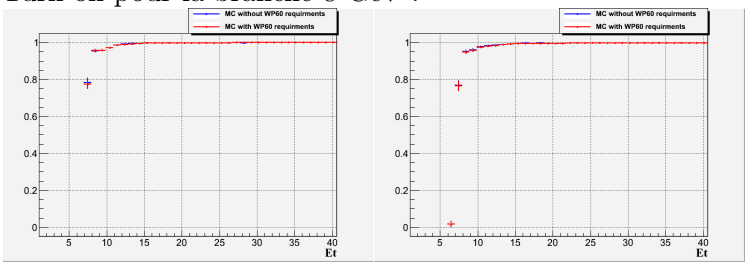
2.6 Analyses complémentaires.

2.6.1 Vérification de l'influence des coupures ayant servies à supprimer le bruit de fond

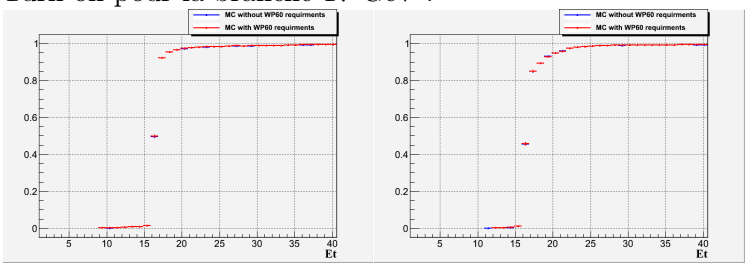
Pour pouvoir tracer les turn-on, certaines coupures avaient du être effectuées afin de limiter le bruit de fond :
-Le Tag doit passer les coupure "WP60" et avoir un moment transverse supérieur à 20 GeV
-Le probe doit avoir un moment transverse supérieur à 5 Gev, une isolation relative de trajectoire < 0.5.
-Et on impose à l'évènement d'avoir une énergie transverse manquante < 25 GeV (cette énergie manquante provient d'une éventuelle émission de neutrino, non détectes par CMS).

Ces coupures pourraient en principe biaiser l'analyse, il est donc important de vérifier leurs effets.
Les turn-on et courbes d'efficacités précédentes ont donc été retracées, en imposant ou non les coupures précédentes, pour les simulation Monte Carlo (cela n'a pas de sens de le faire pour les données, on y verrais juste l'influence du bruit de fond :

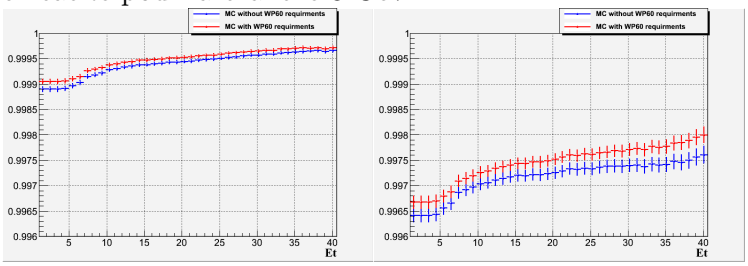
Turn on pour la branche 8 GeV :



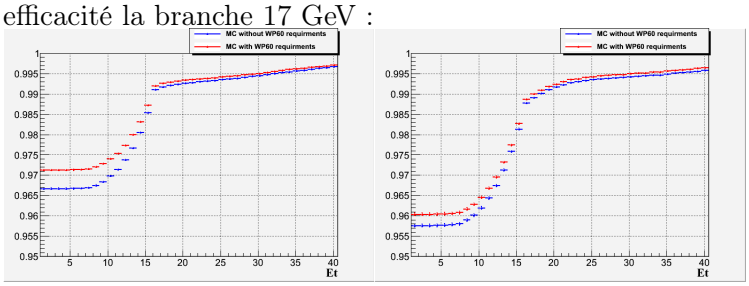
Turn on pour la branche 17 GeV :



efficacité pour la branche 8 GeV :



efficacité la branche 17 GeV :

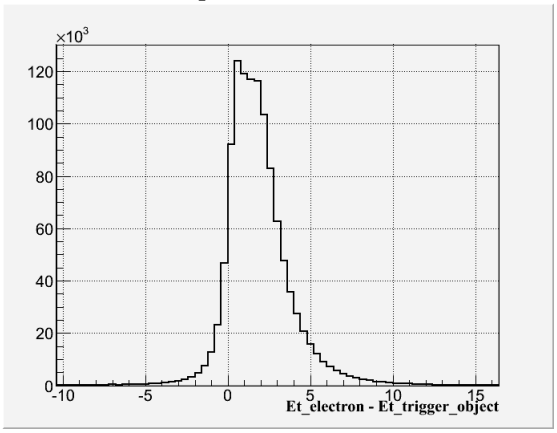


Les courbes avec ou sans les coupures précédente sont suffisamment similaire et proche pour constater que ces coupures ne faussent pas l'analyse précédente.

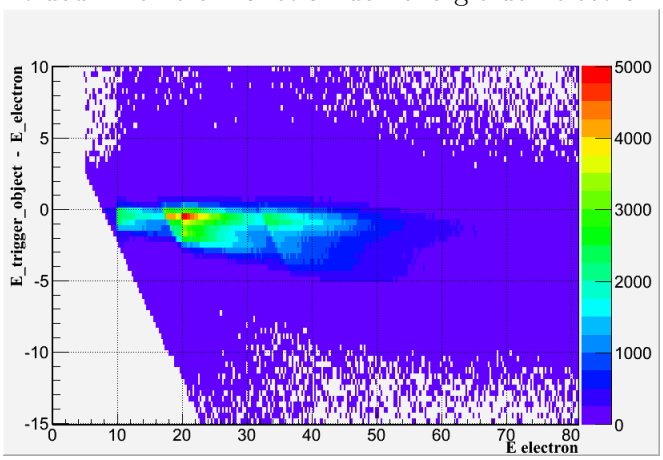
2.6.2 Comparaison entre énergie de l'électron reconstruit et de l'objet trigger

On Avait vu précédemment un léger retard sur l'apparition du seuil pour les turn on en énergie. Afin d'essayer de mieux comprendre ce phénomène, on à cherché à étudier plus précisément la différence entre les énergies mesuré par le trigger (dont on dispose grâce à la correspondance enter un trigger objet et un électron), et l'énergie reconstruite offline par l'électron.

Voici ainsi la répartition de la différence entre ces deux énergies :



Et deux même en fonction de l'énergie de l'électron

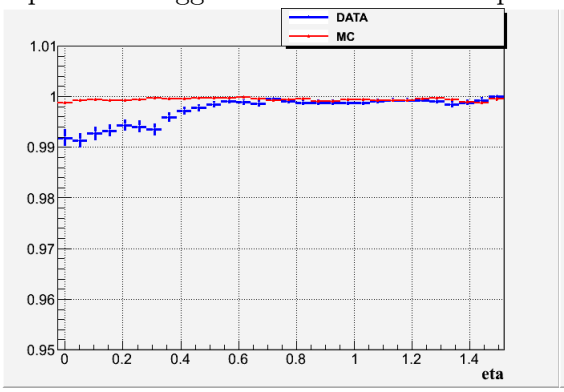


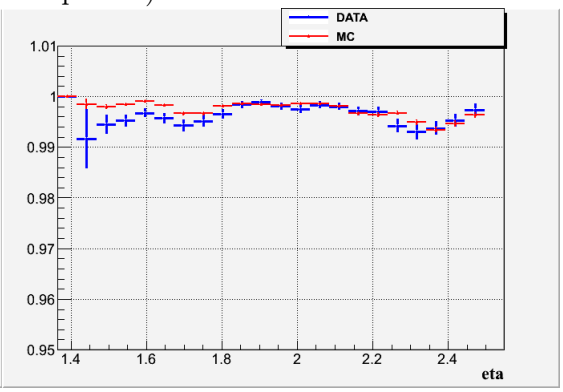
On voit donc qu'on à un décalage d'un ou deux GeV entre ces énergie, du au diverses corrections que l'on peut apporter offline pour le calcul de l'énergie ; cela explique donc le décalage du seuil observé lors de l'étude des turn-on.

2.6.3 Dépendance de l'efficacité suivant η

Cette étude à été faite afin de voir une éventuelle dépendance de l'efficacité en fonction de l'endroit où l'électron est détecté par le calorimètre. En effet, l'énergie enregistrée par les super-clusters et transmise au trigger peut varier en fonction de la position du point d'impact de l'électron dans la calorimètre, on s'attend ainsi à une perte d'efficacité du trigger si l'électron entre dans la calorimètre près de la frontière entre deux super-clusters (l'énergie l'électron pourra ainsi se diviser entre les deux super-cluster, qui renverront chacun des valeurs possiblement trop faible d'énergie). Il deviens donc intéressant de voir si on observe une évolution de l'efficacité suivant un paramétré de position de l'électron : sa pseudo-rapidité η.

Courbes obtenues pour la valeur absolu de la pseudo-rapidité êta (c'est courbe ont été faites exactement comme les turn-on et représente donc la fraction d'électrons déclenchant une patte du trigger en fonction de leurs pseudo-rapidités).





Compte tenu de la résolution angulaire dont on dispose, on ne peut pas réellement observer ce qu'on cherchait à voir précédemment, cependant, un autre élément attire

notre attention : on à une perte d'efficacité autour de la position $\eta = 0$ ($\eta = 0$ correspond au plan orthogonal à l'axe du faisceau).

Ceci n'ayant été observé qu'a la fin du stage, aucune explication n'as eu le temps d'être cherché ; mais c'est ici un phénomène imprévu et plutôt inquiétant.

2.6.4 Reconstruction de l'efficacité du trigger à partir de l'efficacité de chaque patte.

Toute l'étude faites autour du tag and probe nous donne donc des efficacités des branches du trigger, mais par directement l'efficacité du trigger ; on va donc voir rapidement ici une méthode pour obtenir l'efficacité du trigger.

On sais donc déterminer, pour chaque électrons la probabilité qu'il à de déclencher telle ou telle patte trigger, et donc on veut donc élargir cela à un n-uplet d'électrons.

Chaque électrons à trois états possible de déclenchement du trigger : soit il ne déclenche rien, soit il déclenche la branche 8 seulement, soit il déclenche les deux branches (un déclenchement de la branche avec la sélection la plus forte sans la branche avec la sélection la plus faible est impossible).

On est capable de déterminé aisément, par simple multiplication des sur chaque électrons, la probabilité de chaque évènement aléatoire du type : le première électrons déclenche les deux branches, le second électron déclenche.....le dernier électrons ne déclenche rien (par exemple). De tels évènements aléatoire forment une partition de l'ensemble des possibilité (tous les évènement sont disjoint, et leur somme couvre tout les cas possible) ; et on sait de plus si un tel évènement déclencherais le trigger (le trigger est déclenché si et seulement si un électron déclenche la patte à 17 GeV, et qu'un autres électrons déclenche au moins la patte à 8 GeV).

Par une simple sommation des probabilités de chaque évènement aléatoire, en sommant seulement sur les évènement conduisant à un déclenchement du trigger, on obtient ainsi la probabilité de déclenchement du trigger pour noter n-uplet d'électron.
Et c'est à ce stade la ou cela complique notre étude d'efficacité, en effet pour pouvoir conclure sur l'efficacité il nous faut désormais un spectre de répartition de l'énergie de plusieurs électrons, pouvant dépendre de l'analyse que l'on fait ; l'intrication entre les énergies des électrons de chaque évènement nous empêche de calculer directement l'efficacité en fonction de la répartition d'énergie d'un unique électron (il nous faut bien directement la répartition d'énergie du n-uplet pour pouvoir calculer notre efficacité.

Compte tenu de cette limitation, l'efficacité du trigger n'a pas été calculée de maniére précise, et l'analyse restera donc à une étude branche par branche du trigger, ou à la première approximation consistant à prendre l'efficacité du trigger comme le produit de l'efficacité de ses branches.

2.7 Conclusion de l'analyse de l'efficacité du trigger

Cette analyse sur les données 2011 confirme en grande partie les attentes que l'on avait suite aux simulations, en montrant, pour presque toute les grandeurs étudiés, des turn-on bien marqués, avec des efficacités au plateau très importante. L'élément à retenir

de l'analyse et donc principalement des résultats satisfaisant, confirmant les études et la manière dont on considérais que le trigger fonctionnait grâce aux simulations.

Ce étude de l'efficacité du trigger à aussi permis de faire apparaitre certains problème insoupçonné du trigger, ainsi que certaines corrections à apporter lors de l'analyse des données issues de ce trigger (le seuil de coupure offline de l'isolation dans le calorimètre hadronique à par exemple été revu à la baisse suite aux turn-on produits ici).

3 Enseignements humains :

Ce stage, en temps que premier contact avec la recherche et premier contact avec la physique expérimentale à forcement impliqué d'important enseignements humains ; et ces enseignements sont d'autant plus important que toute la formation dispensé jusqu'à present, à l'école polytechnique comme pour les classes préparatoires était des cours très académique, sans rapprochement directe avec la recherche, et très aussi très théorique, ne nous laissant de fait pas entrevoir ce que pouvait réélement être la physique plus expérimentale.

Il était donc interessant de voir à quoi ressemblait donc prècisement la physique expérimentale : voir à quoi consistait précisement le travail du chercheur, voir comment s'organise le travail et les échange au sein d'une équipe ou entre les équipes....Etre immergé ainsi au sein de l'équipe CMS du LLR à donc été l'occasion de voir les divers apsects du travail de chercheur en physique expérimentale, de la conception du code adapté à l'analyse à effectué, aux discussions ou réunions au sein ou entre équipe afin de partager les résultats, et d'en discuter afin de les améliorer et de les assimiler au mieux. Cela à donc été une occasion de voir la richesse des échanges au sein du groupe, et un réel travail d'équipe

De plus, le fait d'être rattaché a une experience aussi importante que CMS (en nombre de personnel travaillant sur l'expérience), permet de voir de manière interessante comment peuvent se diviser et se regrouper le traitement des expériences, cela à été d'autant plus vrai que la période du stage était une période où des résultats de CMS devaient être amené à sortir, j'ai ainsi eu l'occasion de voir en action la chaine de fonctionnement de vérification et de clarification des données nécessaire afin de pouvoir au final publier les données les plus surs et juste possible. J'ai ainsi pu voir au niveau des discussions au sein des différentes équipes, des réunions du groupes CMS, et jusqu'à "l'approval" par CMS des données de H->ZZ (validation finale par CMS des résultats en vu d'une publication), le processus necessaire pour atteindre cette publication et comment une expérience de cette importance arrive à faire fonctionner de concert differents laboratorie a travers le monde, sur des sujets divers.

J'ai aussi pu voir les limites et problème que pouvait amener une si grosse structure, un des exemple le plus flagrant de ces problème, et selon moi, le nombre important de réunion. Entre les réunions de groupes, d'équipe, et les meeting sur les sujets divers, il est facile d'arriver à une réunion par jour, souvent plus et de se trouver ainsi le plus

clair de son temps en meeting, qui sont certes important pour pouvoir rediscuter, critiquer et améliorer les résultats et ce qui en découle ; mais ces meetings prennent aussi sur le temps nécessaire à l'obtention de ses résultats, l'équilibre étant de ce fait dur à trouver.

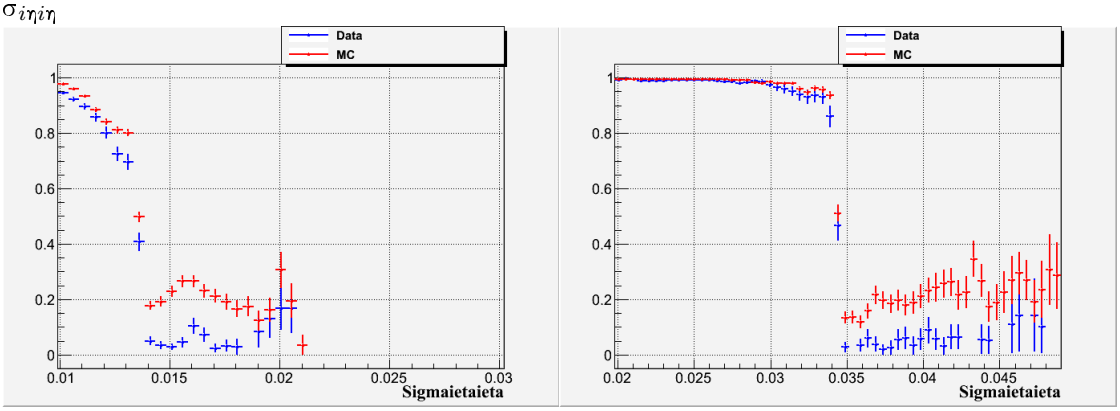
De plus la période du stage à été aussi particuliérement propice pour voir à quel point le travail de chercheur est aussi prenant, autant en terme d'interet, qu'en terme dee temps de travail. En effet l'importance des résultats à sortir à cette période (entre les divers talks, mais surtout "l'approval" de l'analyse auprès de CMS, et une note sur l'analyse H->ZZ) à été l'occasion de voir l'équipe à un des moments me plus prennant, et de voir ainsi les horaires s'allonger en ces périodes où le travail a fournir est important. J'ai ainsi eu l'occasion de voir que les membres de CMS (comme surement beaucoup de chercheur) ont rapidement un travail qui peut empieter sur leurs soirées, voir sur leurs week-end (un exemple marquant, bien qu'exceptionnel de certains ayant eu trois réunions un même dimanche).

Bref ceci à donc été l'occasion d'enfin voir réelement ce qu'est la recherche, avec ses bons et ses mauvais côtès : un travail difficile et exigeant, mais surtout un travail intéressant et pationnant.

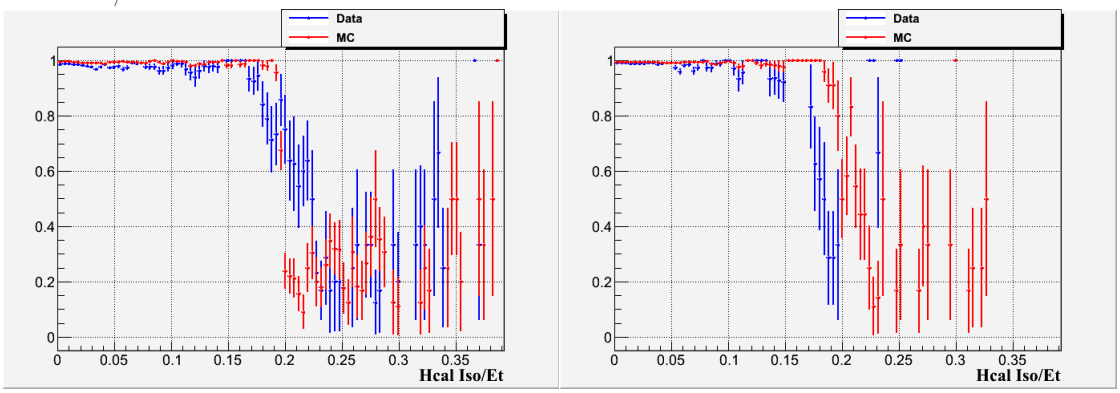
4 Annexes :

4.1 Turn-on de la patte à 17 GeV du trigger.

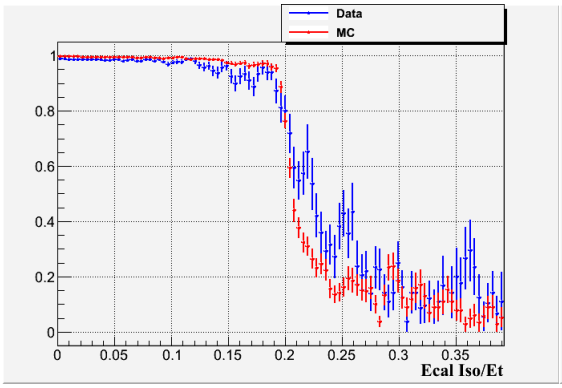
$\sigma_{i\eta i\eta}$

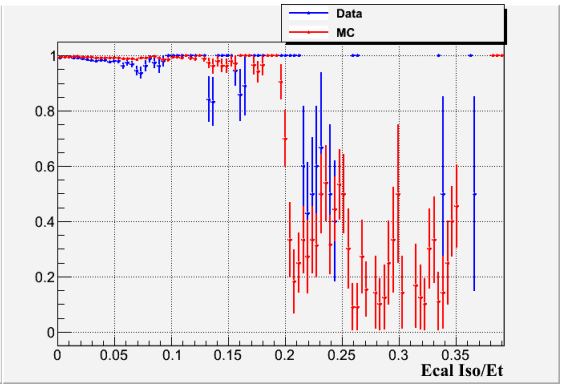


HCalIso /Et



ECalIso /Et



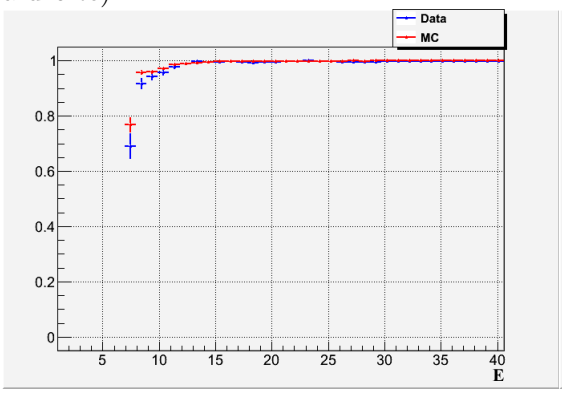


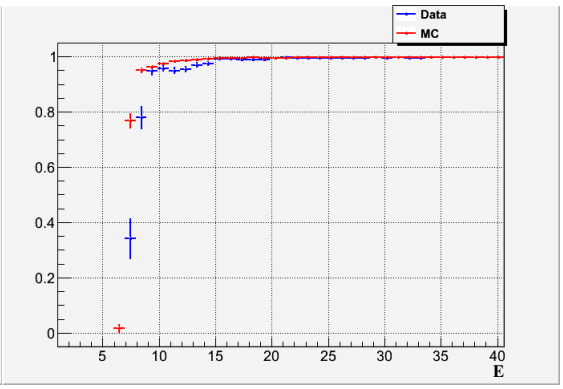
4.2 Turn on en se placant aux valeurs de coupure du trigger

Ont déja été presenté aupravant les turns on pour la branche 8 GeV en damandant au diverses variable des coupures offline plus stricte que les coupures éfféctué online. Ici sont présenté les même courbes mais avec les coupures suivantes :

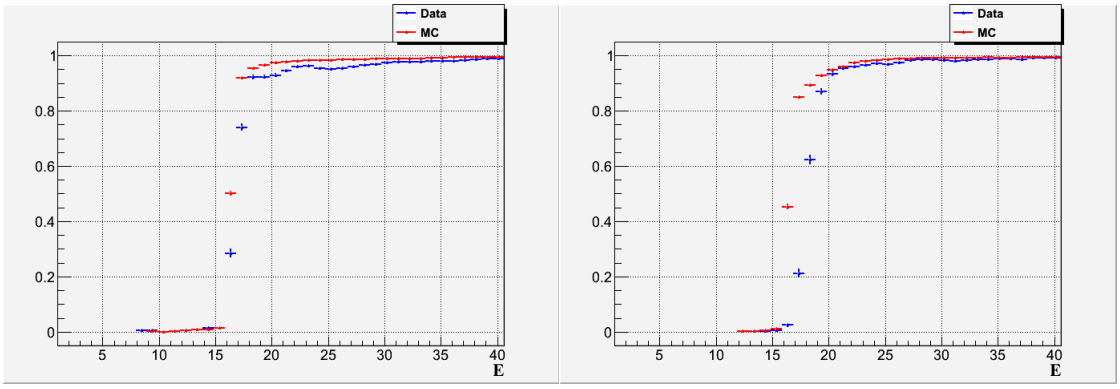
	Et (1er électron)	Et (2eme électron)	ECalIso / Et	HCalIso / Et	$\sigma_{i\eta i\eta}$	H/E
Barrel	> 17 GeV	> 8 GeV	< 0.2	< 0.2	< 0.014	< 0.15
Endcap	> 17 GeV	> 8 GeV	< 0.2	< 0.2	< 0.035	< 0.1

Pour la patte avec la coupure à 8 GeV (courbes pour le barrel à gauche et pour l'endcap à droite)

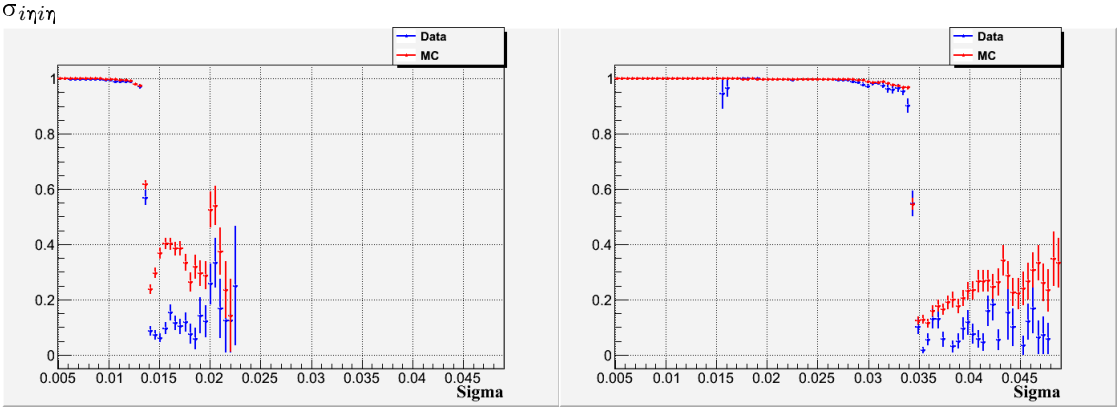




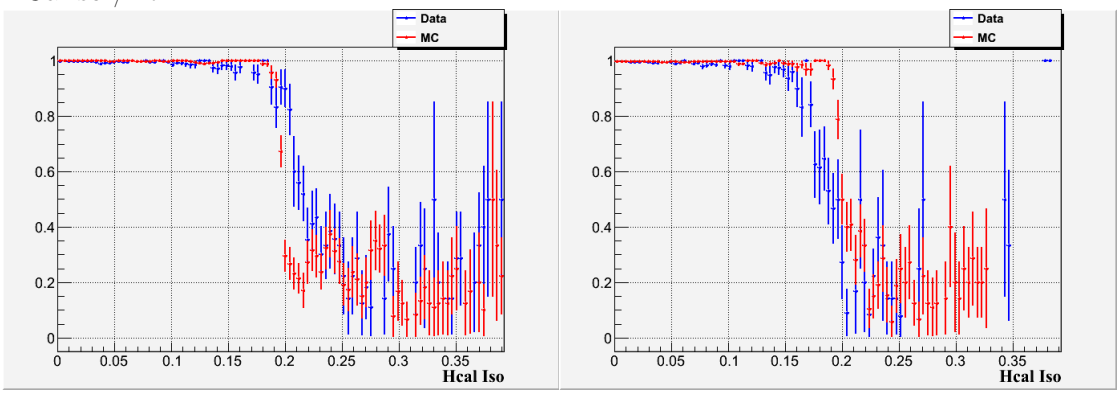
Pour la patte avec la coupure à 17 GeV (courbes pour le barrel à gauche et pour l'endcap à droite)



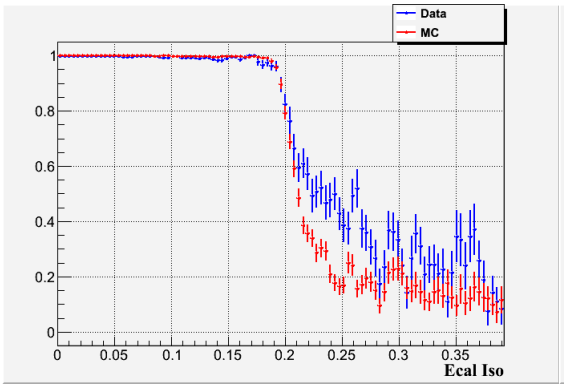
$\sigma_{i\eta i\eta}$

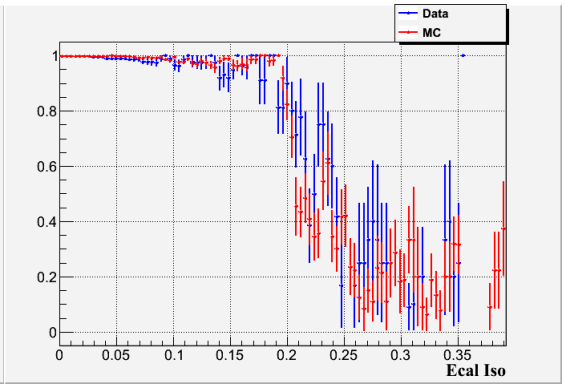


HCalIso /Et



ECalIso /Et


Data
MC
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
Ecal Iso


Data
MC
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
0.05
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
Ecal Iso