

Présentation des résultats de physique du groupe CMS de l'iP2i : Physique du Top

Stéphanie Beauceron
Maxime Gouzevitch

iP2i
LES 2 INFINIS
LYON



20

20

IP2I CMS groupe :
17 permanents

10 CNRS (1 émérite, 2 DR, 7 CR), 7 UCBL (4 PR, 3 MCF), 10 HDR

6 doctorants

2 post-doc

Plan

LHC et détecteur

Implication dans les objets reconstruits

Côté top :

Les analyses qui se terminent :

- Mesure du couplage top et Higgs
- Recherche de désintégration Higgs en top
- Section efficace γ +b-jet

Celles qui continuent :

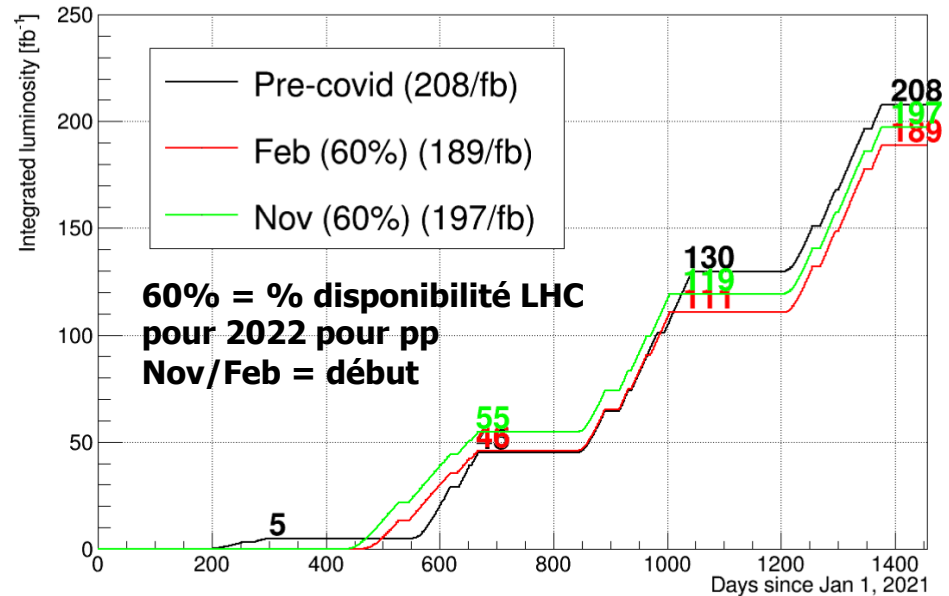
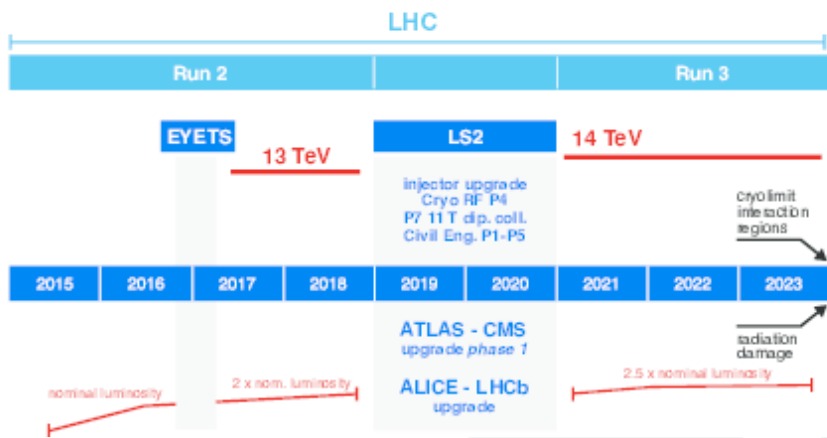
- Etude de précision sur le quark top
- Recherche de désintégration en top+H

Côté 'Higgs' :

- La section efficace de production du boson H
- Recherche de nouveaux bosons de Higgs en état final $\gamma\gamma$ et $\tau\tau$
- Propriétés du Higgs

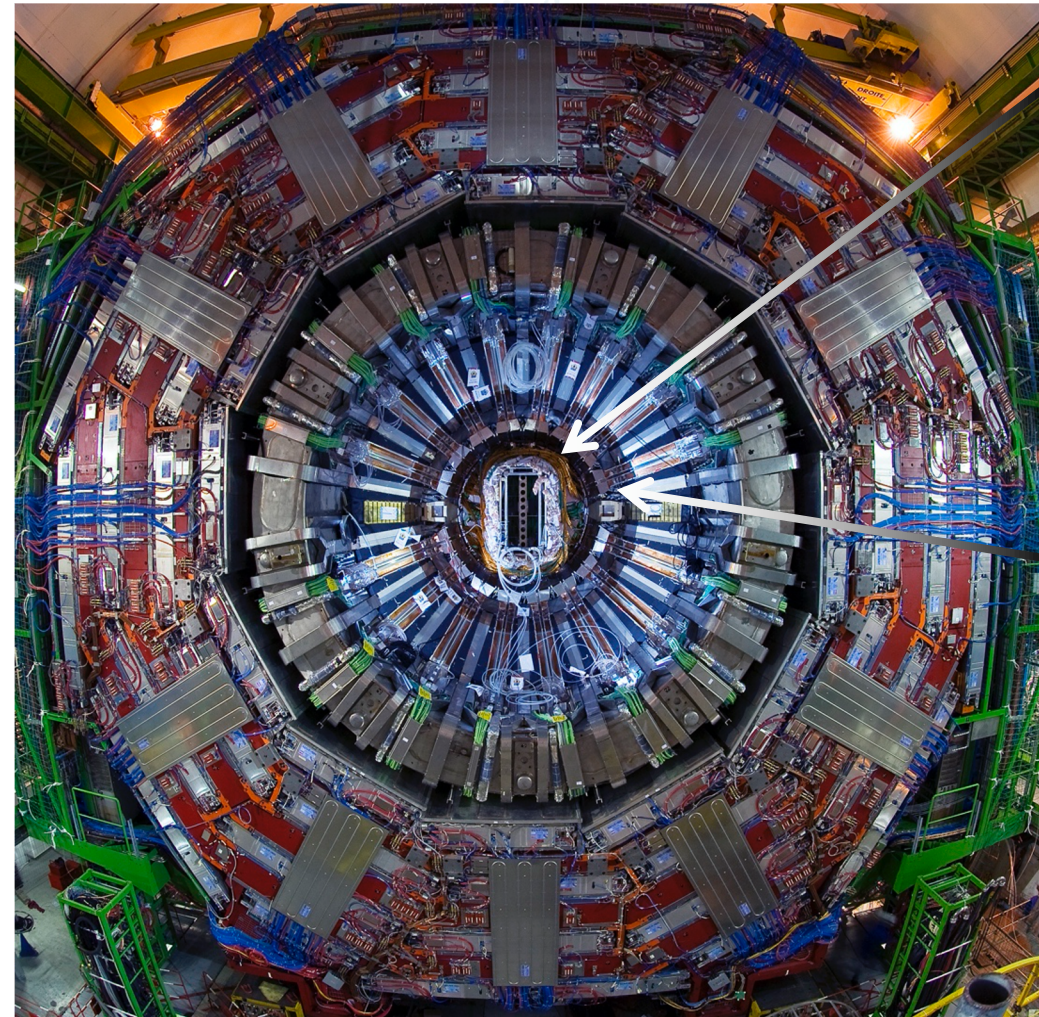
LHC Run2 et Run3

**Run2 : 2015-2018 → ~150 fb⁻¹,
 en 2017, changement du détecteur à pixel
 → amélioration des traces et de l'étiquetage des jets de quark b**



**Run3 : 2022-2025 → ~190 fb⁻¹,
 énergie dans le centre de masse → but = 14 TeV**

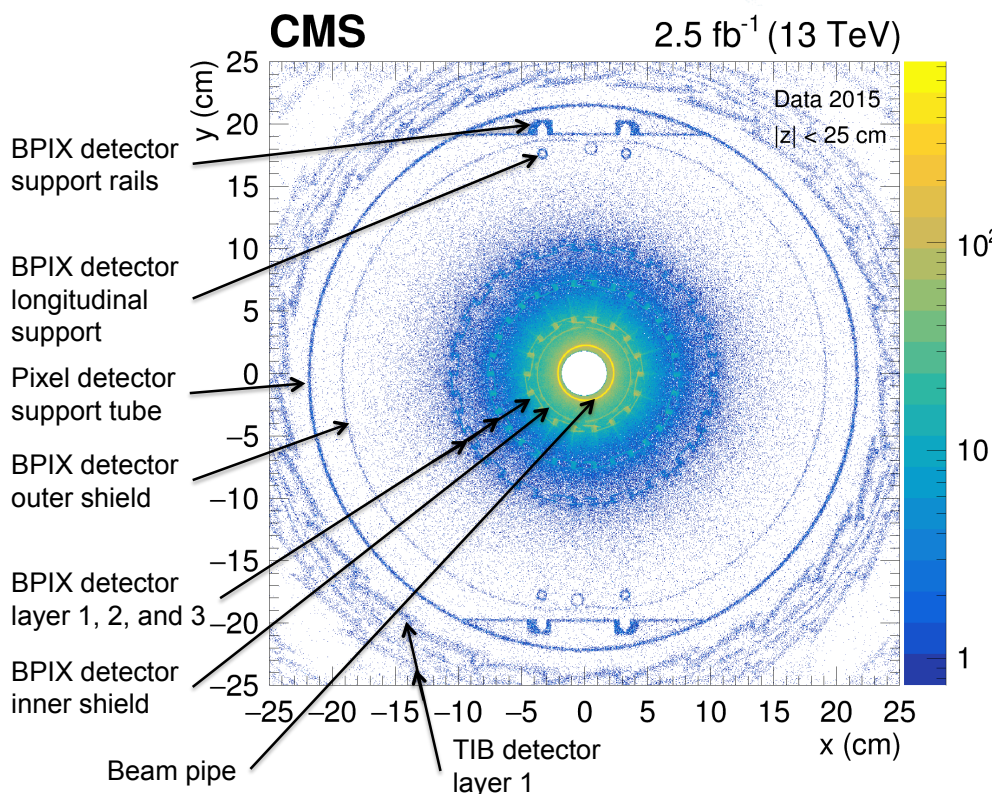
→ Prévisions de publications Run2+Run3



- **Trajectographe :**
Depuis le début et à l'avenir
Construction, amélioration
Coordinatrice du groupe 'Detector
Performance Group (DPG)
Tracker' [2017-2018]
(G. Boudoul)
- **Calorimètre
électromagnétique :**
Contribution historique,
Coordinateur Technique Run2 et
Run3 (émérite) + gestion
database (J.Fay, P. Depasse)

Coordinatrice adjointe de la prise de données + responsable des groupes détecteur DPG [2018-2020] puis coordinatrice de la prise de données pour le démarrage du Run3 (G. Boudoul)

Coordinateur des mises à niveaux/Upgrade de CMS pour HL-LHC [2012-2019] (D. Contardo)



Radiographie du trajectographe en utilisant les interactions nucléaires

- ➔ Validation de la quantité de matière de la simulation
- ➔ Mesure de position à $100\mu\text{m}$
- ➔ Compatible avec les mesures de référence

(M. Gouzevitch [2011-2018])

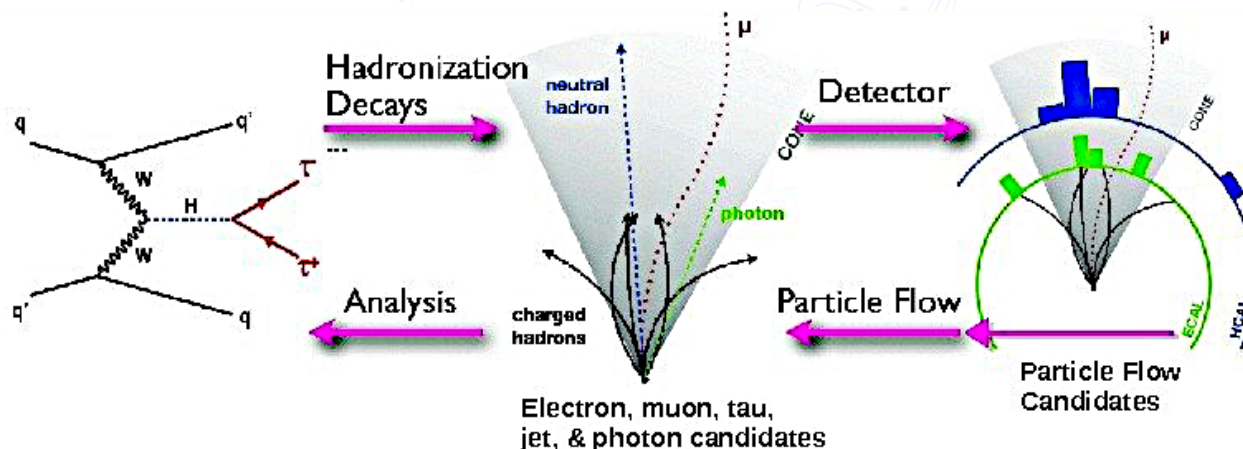
Analyse de physique → maîtrise du détecteur et objets reconstruits

→ **CMS utilise l'algorithme de flux des particules :**

Chaque dépôt d'énergie dans le détecteur = une particule

Chaque particule potentiellement regroupée (ie jets)

Publication: [Particle-flow reconstruction \(C. Bernet/M. Gouzevitch\)](#)



JINST 12 (2017) P10003

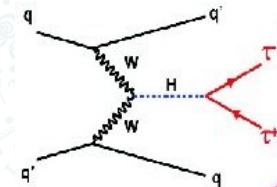
CMS PAS-LUM-18-002

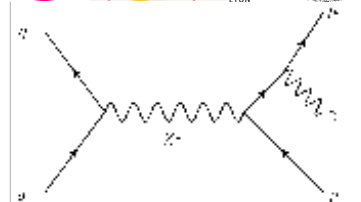
→ Etude des **mesures de luminosité** en 2018 (A. Carle, N. Chanon → [violation de Lorentz](#))

→ **Contribution au 'data quality monitoring'** sur les objets tau → **Important pour $H \rightarrow \tau\tau$** (E. Asilar, post-doc)

→ **Contribution aux logiciels de reconstruction** après mise à jour du détecteur (S. Jain, post-doc)

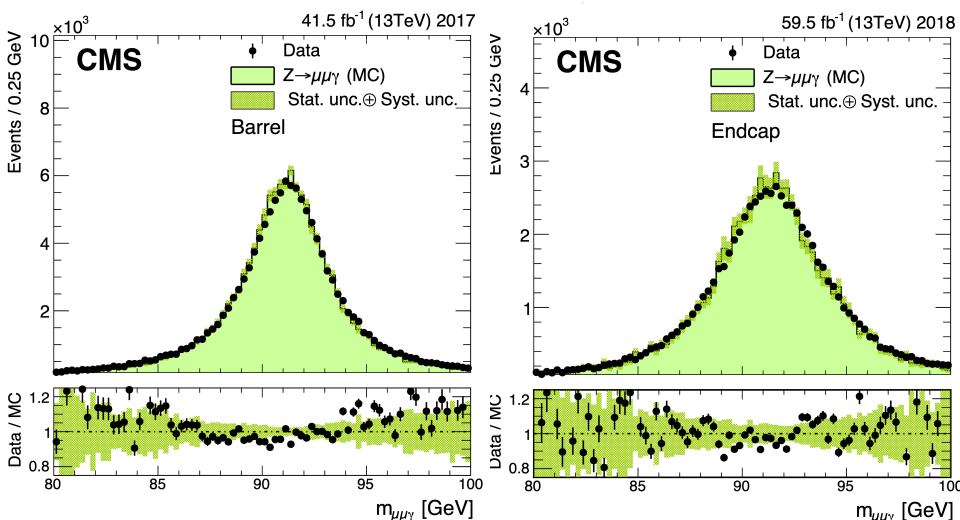
→ **Contribution à l'échelle en énergie des photons et jets**





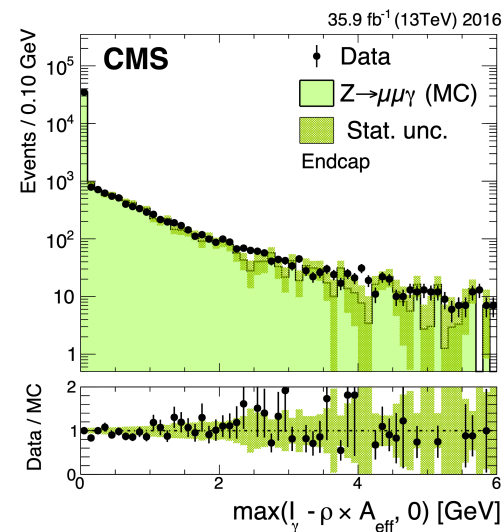
S. Gason-Shotkin, M. Lethuillier
Thèse : C. Camen, A. Lesauvage,
S. Zhang
Collaboration: IHEP-Beijing

Leader historique :
Utilisation des désintégrations radiative du $Z \rightarrow \mu\mu$
pour déterminer/valider l'énergie du photon



Echelle en énergie déterminée
sur $Z \rightarrow ee$ est valable pour **les**
photons au niveau de 0.1%

CERN-EP-2020-219
arXiv: 2012.06888
Soumis à JINST

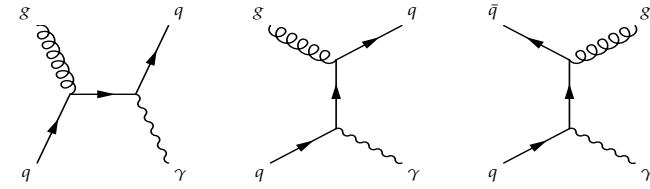
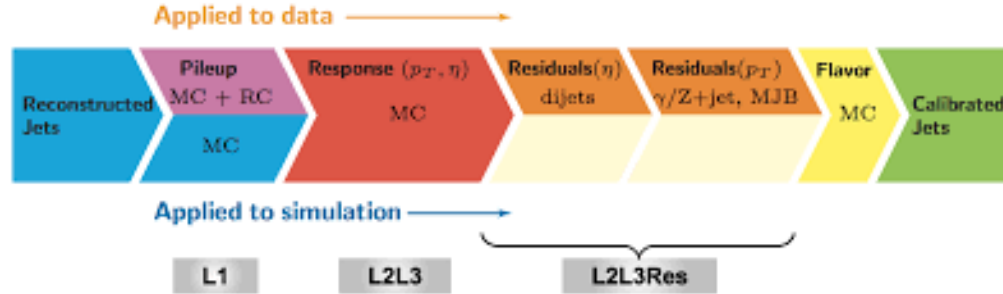


→ **Validation des variables d'identification**
des photons dans la simulation

→ **Cruciale pour les techniques multivariées**
(utilisée par exemple dans $H \rightarrow \gamma\gamma$)

→ **Run3 : accumulation de la statistique pour vérifier l'échelle en**
énergie avec plus de précision

Calibration Jets



S. Beauceron, V. Sordini
Thèses : H. Lattaud, L. Torterotot

Canal γ +jets : échelle en énergie des jets + résolution des jets

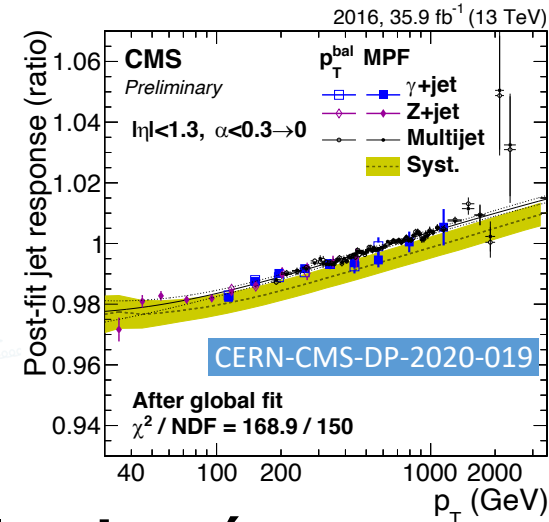
Principe : événements avec γ et 1 jet dos-à-dos

→ Energie du photon connue avec grande précision

→ $P_{jet_T} \sim P_{\gamma_T}$ dans les données

Problématique : gestion de l'empilement, photon à grande impulsion (trigger limitation)

→ 2 méthodes en place + combinaison avec Z+jets/Multijet



Comparaison avec le MC → mesure la **résolution dans les données**

→ **Utilisation** : toutes les analyses de CMS contenant des jets

→ **Run3** : extension γ +b-jets → échelle en énergie des b-jets (les études débutent, besoin de statistique)

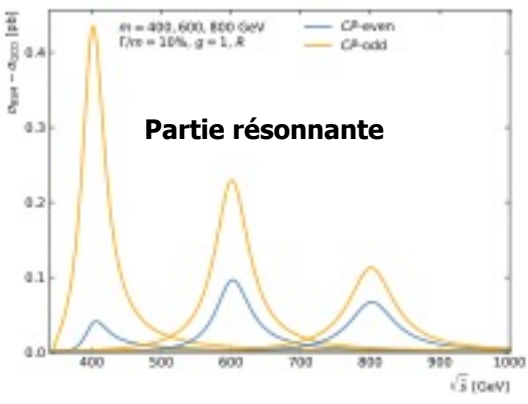
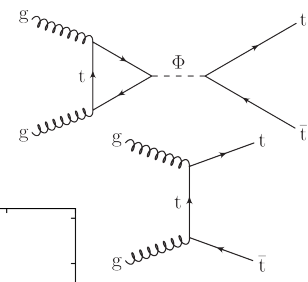
→ **Important** pour les recherches en résonance bb /contrainte m_{top}

Recherche d'une résonance dans le spectre $t\bar{t}$ en $l+jets$, **leader historique**

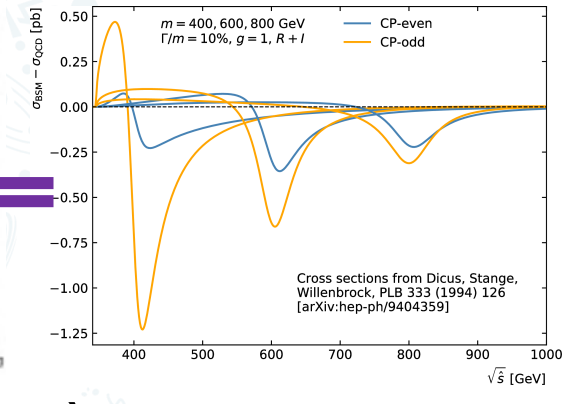
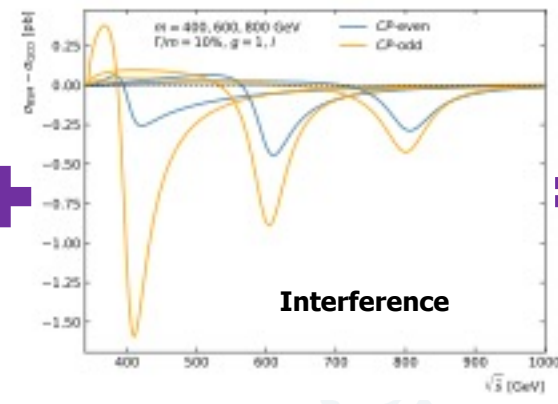
→ Extension du MS : boson de spin 0 (2HDMs, MSSM)

→ **Interférence avec MS $t\bar{t}$ production**

→ **structure du signal en « excès + déficit »**



+

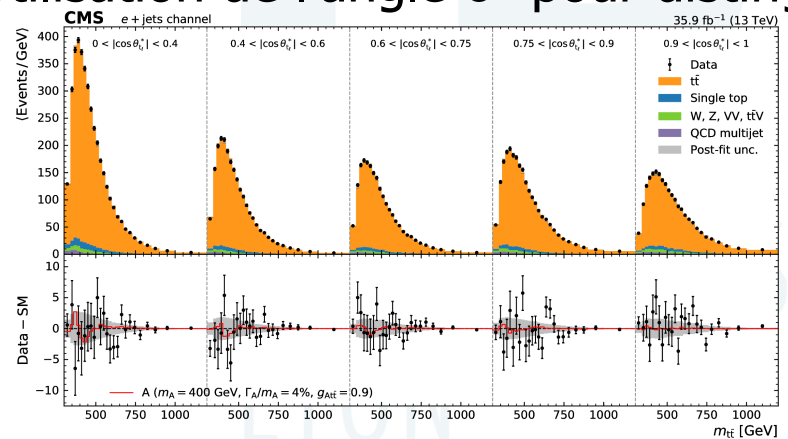


**S. Perries,
A. Popov
(Post-doc),
V. Sordini**

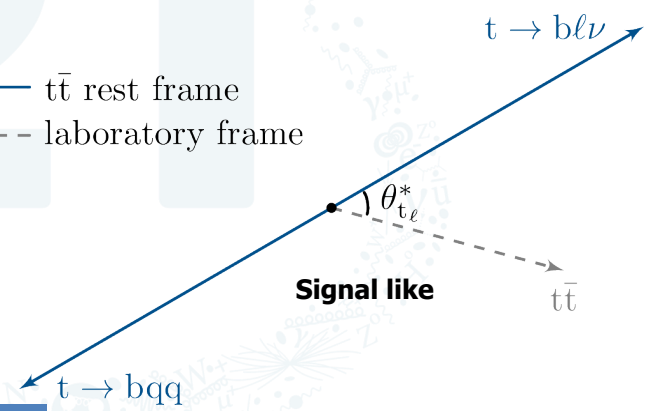
4-vecteur du neutrino provenant de la contrainte à la masse du W

et du quark top → résolution de $m_{t\bar{t}} \sim 17-21\%$

Utilisation de l'angle θ^* pour distinguer le signal



— $t\bar{t}$ rest frame
- - - laboratory frame



S. Perries,
A. Popov (Post-doc),
V. Sordini

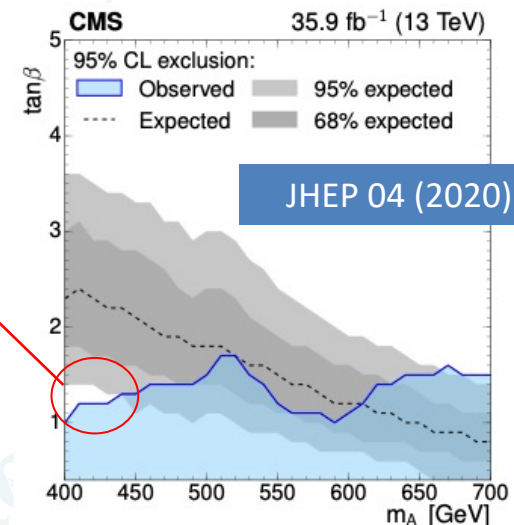
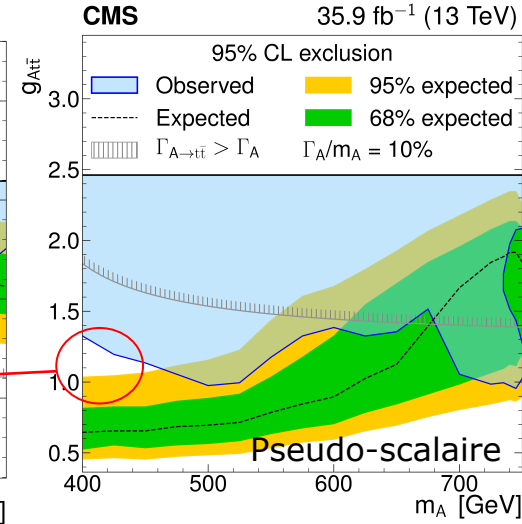
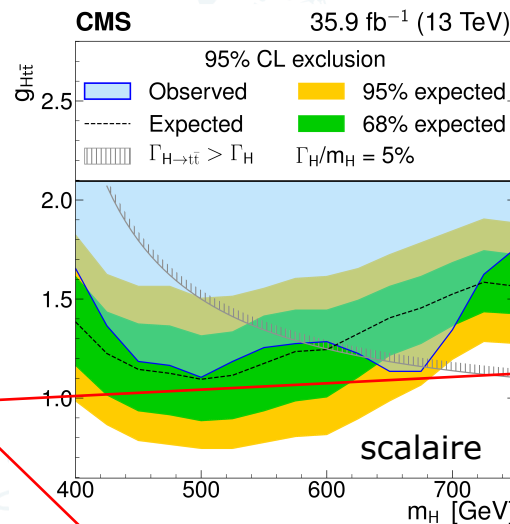
Combinaison avec le canal di-leptonique

Analyse statistique en distribution 2D d'intervalles : $m_{t\bar{t}}, |\cos \theta^*|$

2 interprétations :

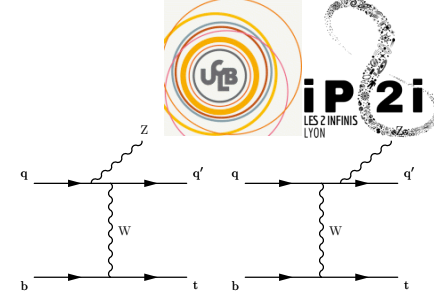
- Contrainte sur la valeur du couplage (indépendance du modèle)
- Interprétation dans le hMSSM

Excès de $\sim 3\sigma$ local (1.9 global) pour $m_H=400$ GeV et largeur de 4% (canal dileptonique), proche du seuil de production $t\bar{t}b\bar{a}r$ → amélioration de la description théorique pour en dire plus



- 1ère analyse avec les interférences
- Recherche avec une modélisation de signal en excès + déficit

Section efficace de production top+Z



N. Chanon
 Collaboration Strasbourg
 Thèse: N. Tonon (IPHC)

Mesure de la section efficace top+Z en multileptons

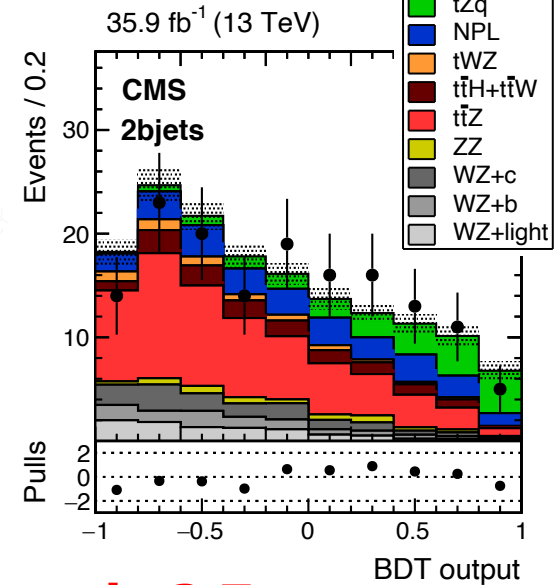
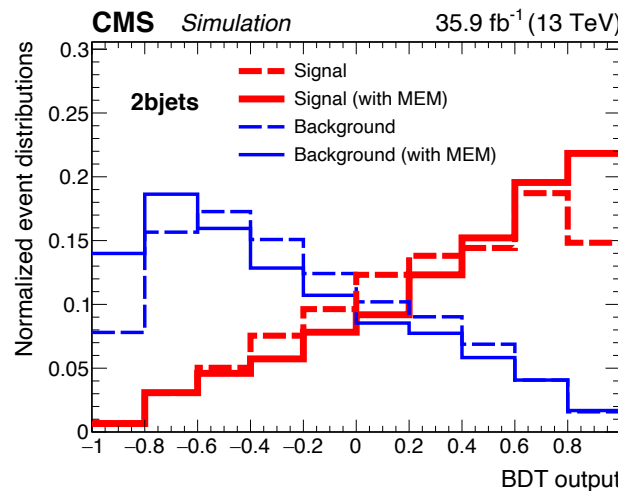
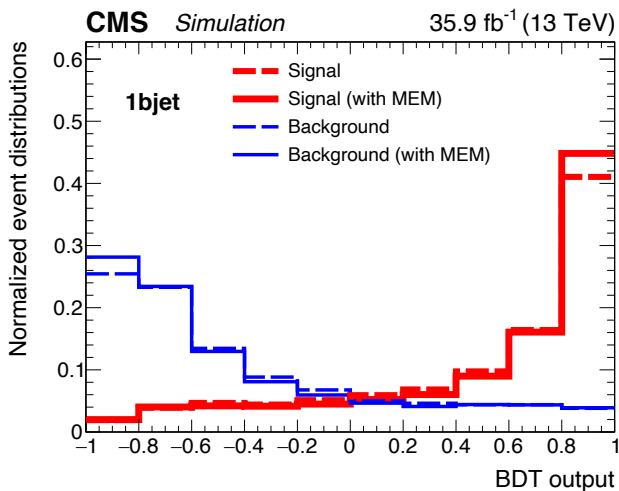
→ sensibilité aux phénomènes BSM

→ Contrainte vertex Ztc (FCNC = Flavor Changing Neutral Current)

Bruits de fond principaux : WZ, ttZ..

Analyse en utilisant des arbres de décision boostés

Amélioration de l'analyse via les MEM (Matrix Element Method : probabilité = signal ou bruit de fond, règles exactes de QFT [Quantum Field Theory])



Phys.Lett. B779 (2018) 358-384

Evidence du processus top+Z avec une significativité de 3.7σ

Section efficace compatible avec MS (94.2 ± 3.1 fb) :

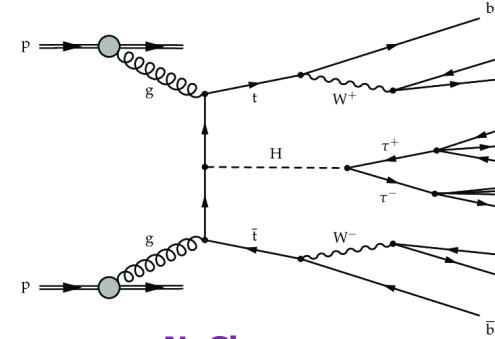
$$\sigma(tl^+l^-q) = 123_{-31}^{+33} (\text{stat})_{-23}^{+29} (\text{syst}) \text{ fb}$$

Contribution aux analyses top+H/Z via MEM
dans les analyses multileptons:

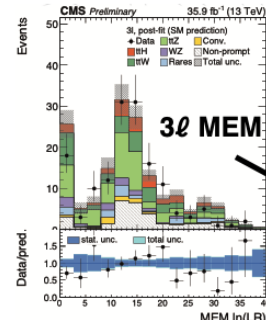
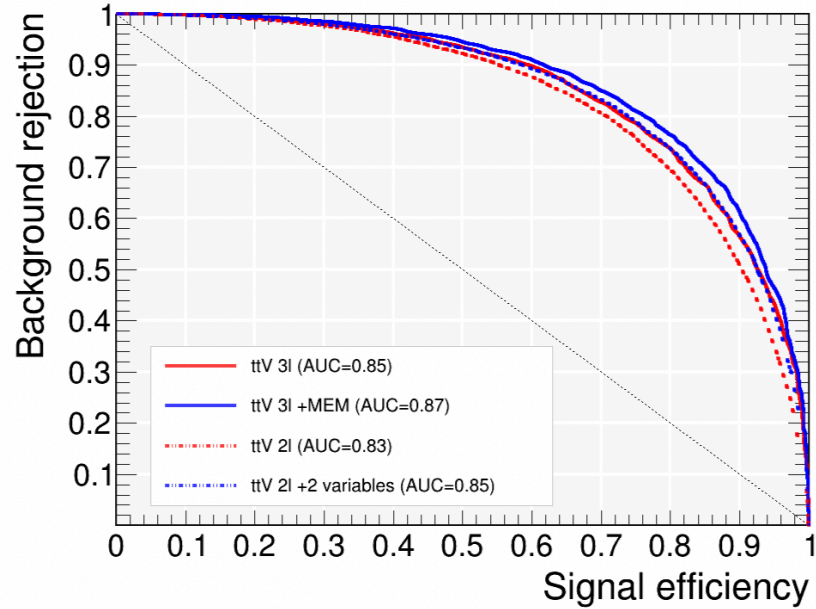
Mise en place du calcul des MEM ttH

→ évidence à 4σ en multileptons

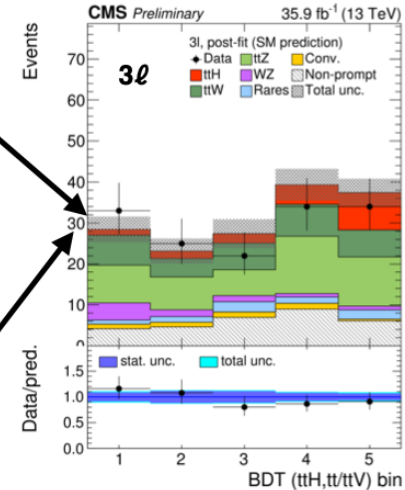
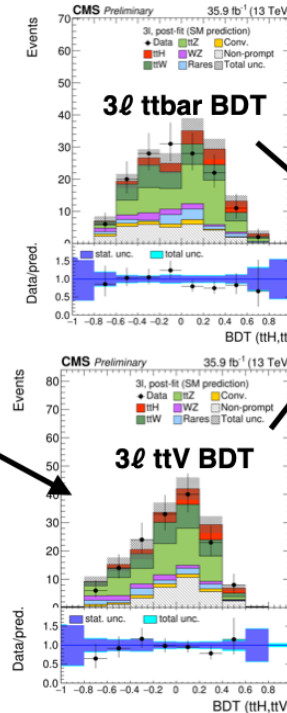
→ Amélioration de la séparation entre ttH et ttW/Z



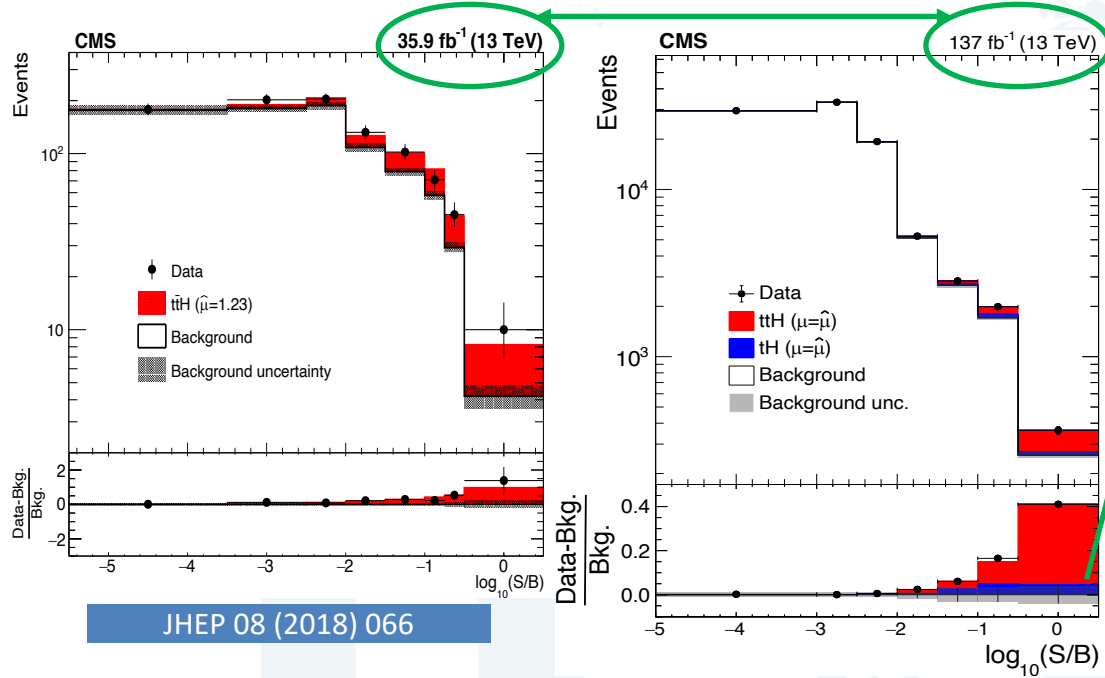
N. Chanon
Collaboration Strasbourg



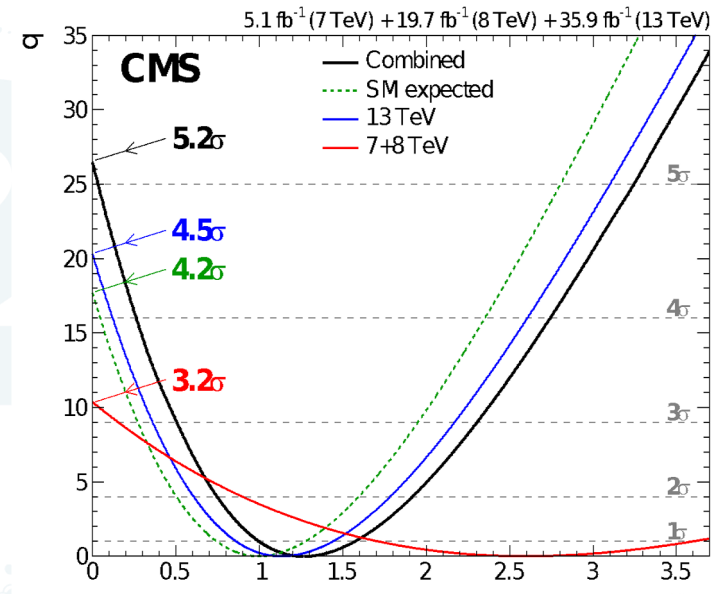
3l vs ttW/Z: Includes
Matrix Element Method
likelihood ratio of ttH vs
ttW+ttZ



Evolution des analyses :
Réseau de neurones, arbres de décision boostés (=apprentissage automatisé)



Luminosité de 2016 → Run2
Ajout top+H



JHEP 08 (2018) 066

arXiv:2011.03652 soumis a EPJC 2020

PhysRevLett.120.231801

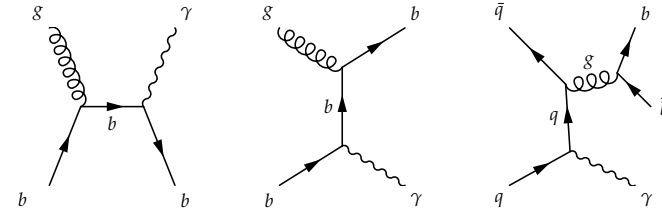
→ Contribution à l'observation à 5σ (tous canaux)

Section efficace de production $\gamma + (1 \text{ ou } 2) b/c\text{-jets}$

Valider des générateurs MC, tester différent jeux de 'Partons Density Function'

Première mesure LHC a 13TeV de la section efficace de production $\gamma + 1b\text{-jet}$ dans les données 2016 $\sim 36 \text{ fb}^{-1}$

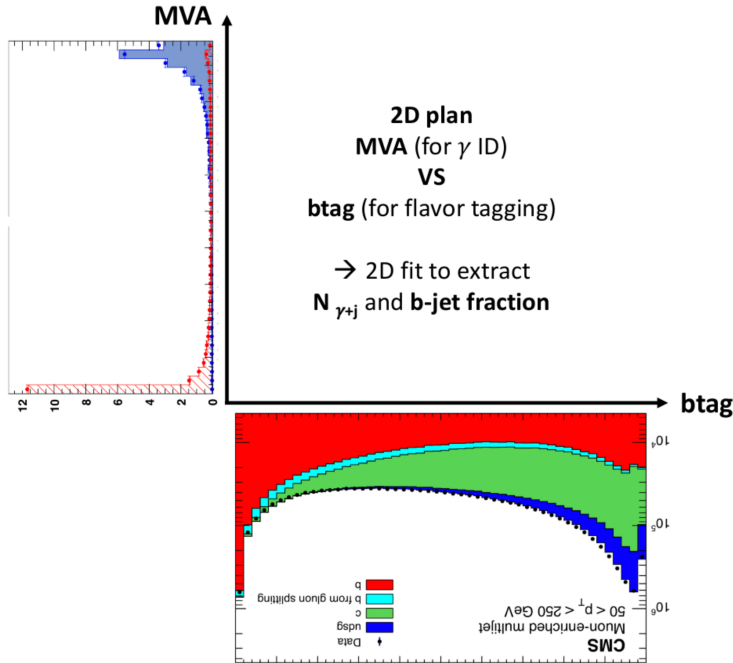
Bruit de fond principal : $\gamma + \text{light jets}$ et processus multijets



Contenu en b/c des protons bas p_T^γ

Désintégration du gluons grand p_T^γ

V. Sordini,
Thèse H. Lattaud
en soutenance
2019



Extraction de saveur en 2D :
qualité du photon vs probabilité d'étiquetage des jets de quarks b

Section efficace de production $\gamma + (1 \text{ ou } 2) b/c\text{-jets}$

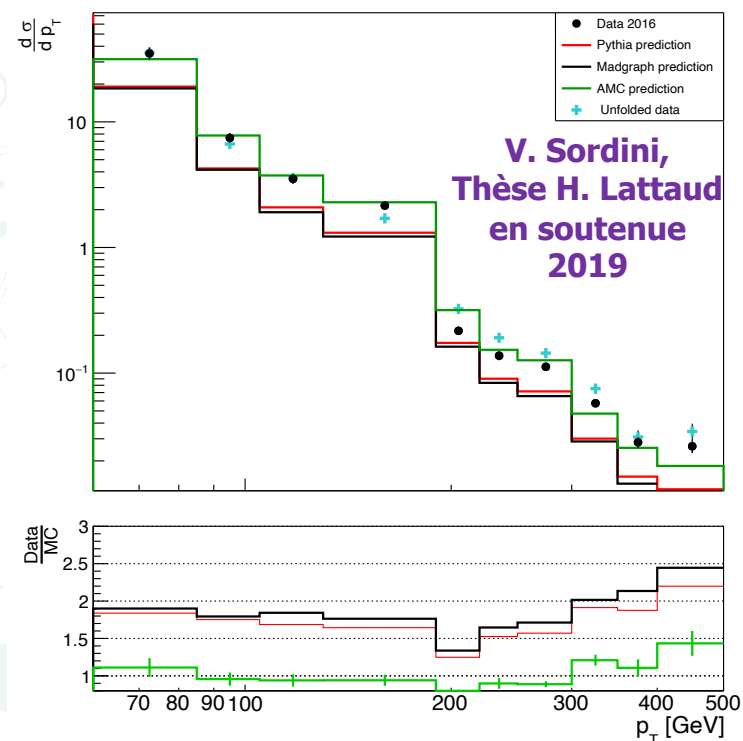
- **Déconvolution ('unfolding')** des données en fonction du p_T photon, comparaison avec LO, NLO générateurs
- **Meilleur accord obtenu avec le générateur NLO**

Perspective :

Doctorant externe + post-doc IP2I en cours sur données Run2 ($\sim 140\text{fb}^{-1}$) :

- rajout du canal $\gamma + 2b\text{-jets}$
- rapport des 2 sections efficaces ($\gamma + 2b\text{-jets} / \gamma + 1b\text{-jet}$)
- même chose avec les quarks c (nouveau discriminant dédié aux quarks c)

→ **Collaboration en place, exclusivité IP2I**



E. Asilar (Post-Doc), S. Beauceron
Thèse : M. Yalvac

Mesure de symétries globales dans le secteur du top

N. Chanon,
S. Jain (Post-doc),
S. Perries
Thèse : A. Carle

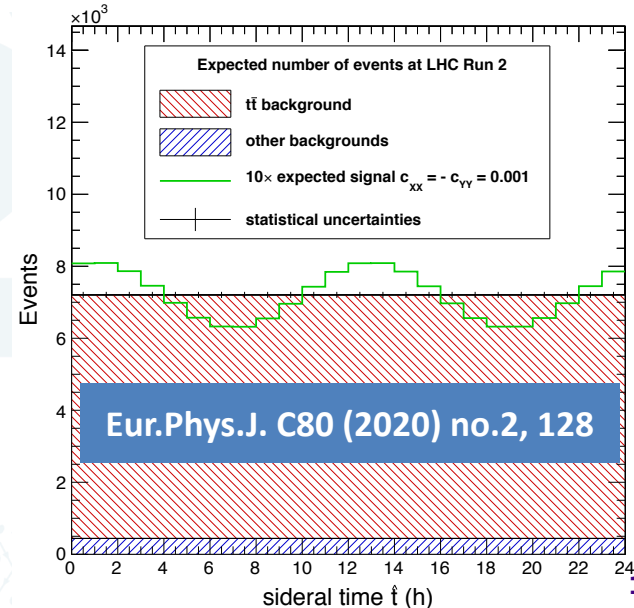
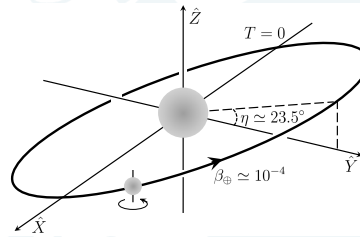
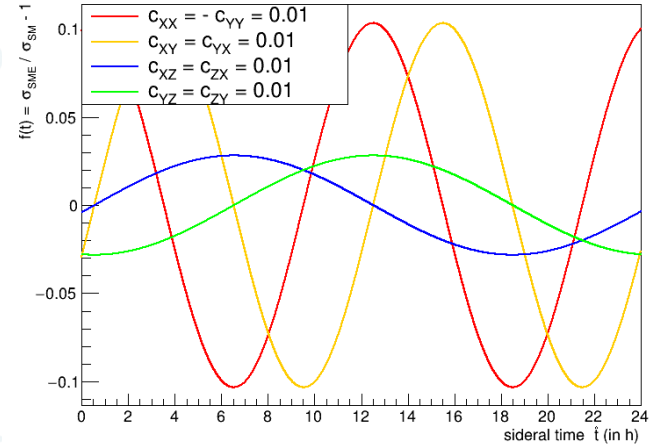
Violation de Lorentz dans le secteur du top

1ère étude au LHC avec le top (LHCb → le secteur du b)

Modèle → Violation différente possible pour chaque quark

LHC = usine à top

- Etude de faisabilité phénoménologique
- Section efficace de production dépendante du temps sidéral (référentiel centré sur le soleil)

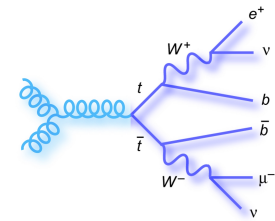


Analyse, exclusivité IP2I :

Utilisation de $t\bar{t}$ en dilepton

- Maîtrise des bruits de fond
- Problématique principale : mesures dépendantes du temps

Mesure de symétries globales dans le secteur du top

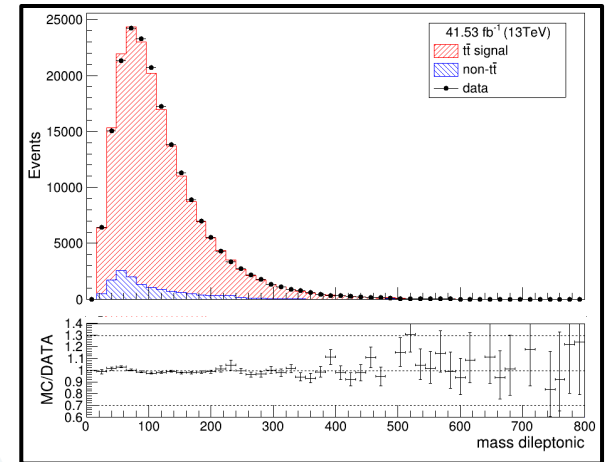


Recherche d'une modulation de $\sigma(tt)$ sur 24h

Canal : $e\mu bb$, bruit de fond principal : single top, W+jets

Problématique :

- paramétrer en temps sidéral
- évaluer les systématiques dépendantes du temps :
- Luminosité (travail objet), empilement (LHC)
- Faible : Echelle en énergie des jets (liée à l'empilement)



N. Chanon, S. Jain (Post-Doc), S. Perries
Thèse : A. Carle

Analyse Run2 en cours de finalisation (thèse A. Carle, soutenance 2021)

Résultats attendus : Amélioration de 1 à 3 ordres de grandeur des résultats obtenus au Tevatron
Test de la violation de Lorentz sous le %

	DØ	LHC (Run 2)
$\Delta c_{LXX}, \Delta c_{LXY}$	1×10^{-1}	7×10^{-4}
$\Delta c_{LXZ}, \Delta c_{LYZ}$	8×10^{-2}	3×10^{-3}
$\Delta c_{RXX}, \Delta c_{RXY}$	9×10^{-2}	3×10^{-3}
$\Delta c_{RXZ}, \Delta c_{RYZ}$	7×10^{-2}	1×10^{-2}
$\Delta c_{XX}, \Delta c_{XY}$	7×10^{-1}	1×10^{-3}
$\Delta c_{XZ}, \Delta c_{YZ}$	6×10^{-1}	4×10^{-3}
$\Delta d_{XX}, \Delta d_{XY}$	1×10^{-1}	6×10^{-4}
$\Delta d_{XZ}, \Delta d_{YZ}$	7×10^{-2}	2×10^{-3}

Mesure de symétries globales dans le secteur du top

Perspective sur les tests de Lorentz :

Rajout Run3 \rightarrow \sim doublement de la luminosité

Rajout de canaux \rightarrow \sim augmentation de la statistique

\rightarrow Pas d'amélioration suffisante sur la précision des mesures

\rightarrow Nécessite HL-LHC (cf Présentation Suzanne)

Etude de la violation de CP dans le secteur du top pour le Run2 et Run3 :

Tension dans secteur $b \rightarrow s \rightarrow$ via un quark top

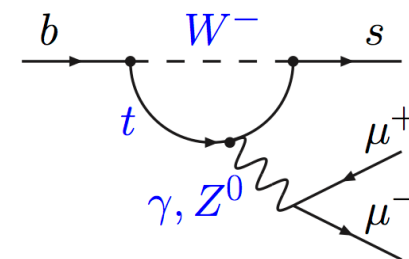
\rightarrow Etude du couplage Wtb

\rightarrow Interprétation commune des contraintes top et $b \rightarrow s$ (collaboration théoriciens IP2I)

\rightarrow Utilisation de techniques avancées (MEM, Deep Neural Network...)

\rightarrow Gain attendu sur la précision d'un facteur >3

\rightarrow Nouvelle méthodologie, raffinement sur les techniques (Demande ANR : N. Chanon avec S. Beauceron, C. Bernet et N. Mahmoudi)

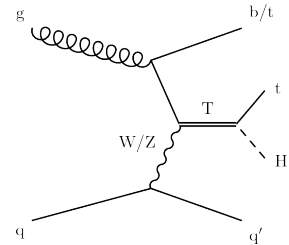


N. Chanon

Thèse : Oct. 21

Labex LIO 50%An+50%Upd

Recherche d'une résonance top+H/Z



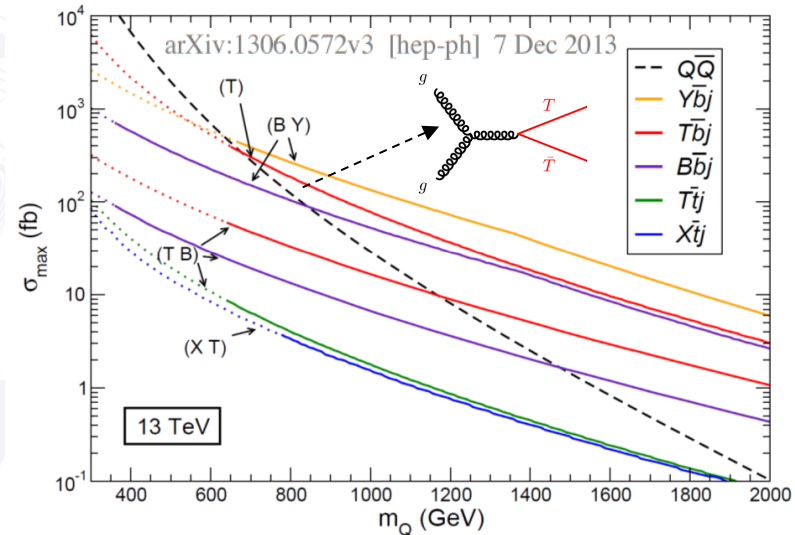
Recherche d'un 'vector-like quark' [VLQ] en production célibataire $T \rightarrow \text{top} + \text{H}/\text{Z} (\rightarrow \text{bb})$ (basse masse $< \sim 1.2 \text{ TeV}$)

	$T \quad B$	$\begin{pmatrix} X \\ T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T \\ B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B \\ Y \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} X \\ T \\ B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T \\ B \\ Y \end{pmatrix}$
$\text{SU}(2)_L$ multiplet	1	2	3
Charge	$2/3 \quad -1/3$	$\begin{pmatrix} 5/3 \\ 2/3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2/3 \\ -1/3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1/3 \\ -4/3 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 5/3 \\ 2/3 \\ -1/3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2/3 \\ -1/3 \\ -4/3 \end{pmatrix}$

2 modes de production des VLQ :

Paire : force forte, σ dépend uniquement de la masse VLQ

Célibataire : mécanisme électrofaible, σ dépend de la masse VLQ + couplage aux particules MS \rightarrow Etude en terme de largeur



S. Beauceron

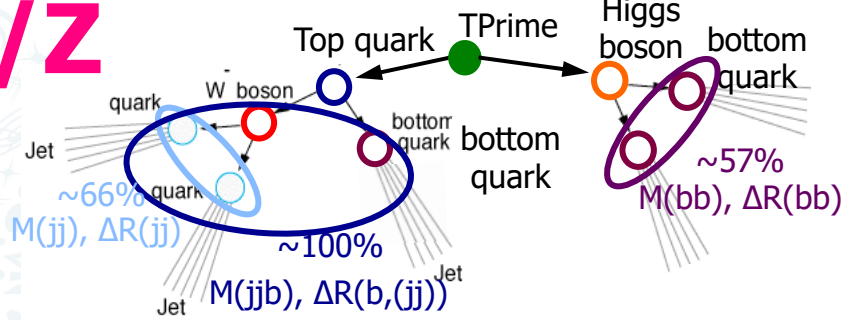
La production célibataire dominante mais bruit de fond plus important

\rightarrow Première étude de largeur dans l'analyse tout hadronique célibataire, étude depuis 2012

Recherche d'une résonance top+H/Z

Bruit de fond principal :
multijet, ttbar

- Rejection du bruit de fond via 3 b-jets
- χ^2 pour associer les jets : Higgs/Z, W et top
- Importance de la résolution en masse invariante 2, 3 et 5-jets



Gestion du bruit de fond :

- 1) Différentes régions basées sur la qualité des b-jets
- 2) Résultats/interprétation = signal + bruit de fond

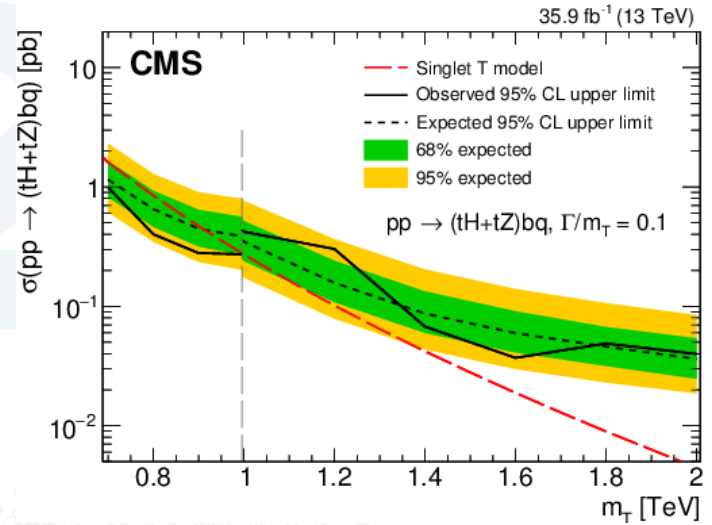
→ **Nouvelle méthodologie dans CMS**

Résultats en fonction de la largeur du VLQ

→ **$M(T) < 1 \text{ TeV}$ → 1ère exclusion avec des études de largeur**

S. Beauceron

JHEP01(2020)036

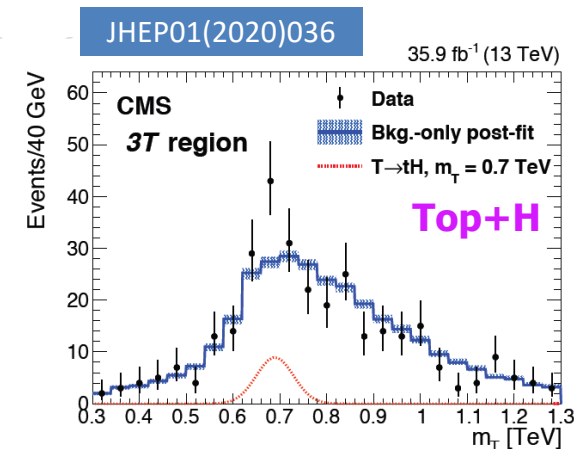
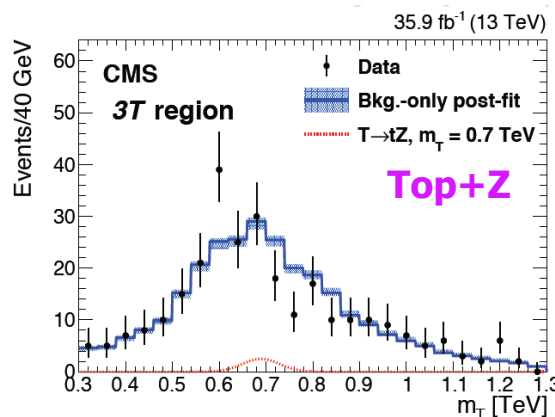


Recherche d'une résonance top+H/Z

Excès 3σ locaux en top+H pour $m_{\text{Gen}} \sim 680\text{GeV}$, rien en top+Z

(résonance étroite ($\sim 6\%$))

→ Excès sensible à la masse du top et du Higgs



Discussion avec des théoriciens (dont IP2I)

→ étude d'un nouveau modèle

Analyse des données 2017+2018 en cours, publication Run2 à suivre

Perspective :

- Continue canal hadronique (+haute masse), exclusivement IP2I
- top+H \rightarrow WW* via dilepton de même signe (exclusivité possible)
- Etude nouveau modèle théorique
- Faisabilité sur le Run2 (proposition thèse)

Back Up

iP2i

LES 2 INFINIS
LYON

Nouvelles approches dans les mesures de précision

EFT=Effective Field Theory :

Changement de la vision de l'interprétation d'un processus

→ Etude de l'apparition de nouvelle physique à une valeur Λ loin de l'échelle électrofaible

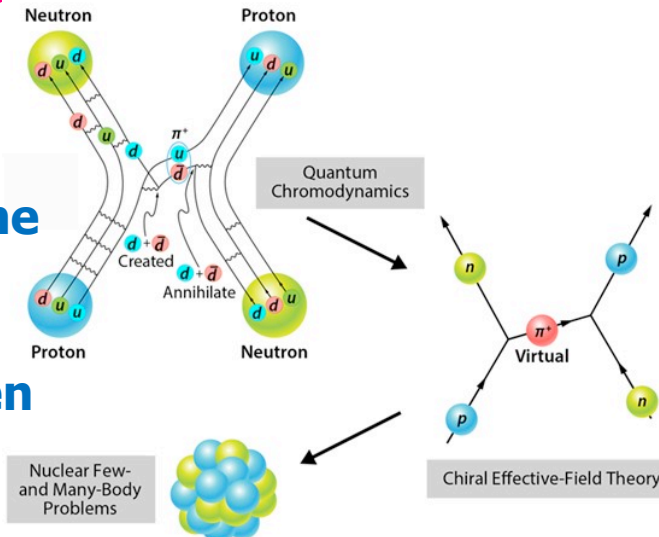
→ Travail avec des opérateurs mathématiques impliquant le MS et les nouvelles interactions en respectant l'invariant de jauge

→ Petit effet par rapport au MS

→ Application à plusieurs processus, combinaison plus facile

→ Contrainte plus forte de l'opérateur

→ Nouvelle approche en développement avec les théoriciens



MEM = Matrix Element Method

→ Probabilité qu'un événement = signal ou bruit de fond

→ Basé sur les règles exactes de la QFT (Quantum Field Theory) pour un certain espace de phase en prenant en compte les effets de reconstruction (ie interactions détecteur)