



## Futures activités CMS et LHCb



1. Contexte labo
2. Faits marquants
3. Futur

NA38, NA50



(Frédéric, Olivier, Michel, Raphaël) PHENIX \*

(Frédéric) Investigation cibles fixes : CHIC , AFTER



CMS...

ERC (Raphael)

ANR (Matthew)

ANR (François) \*\*

ANR (François)

Théorie...

LHCb (Frédéric)...

\* PHENIX : fin d'activité en 2013, signature automatique de 57 articles sur 2013-18

\*\* Les ANR de François fournissent 1-2 ans de postdoc à CMS

- Le LLR est impliqué dans la physique des ions lourds auprès de CMS et LHCb



## CMS as a Detector for Heavy Ion Physics

### ■ Fine Grained High Resolution Calorimeter

- Hermetic coverage up to  $|\eta| < 5$
- ( $|\eta| < 7$  proposed using CASTOR)
- Zero Degree Calorimeter (proposed)

### ■ Tracking $\mu$ from $Z^0, J/\psi, \Upsilon$

- Wide rapidity range  $|\eta| < 2.4$
- $\sigma_m \sim 50$  MeV at  $\Upsilon$

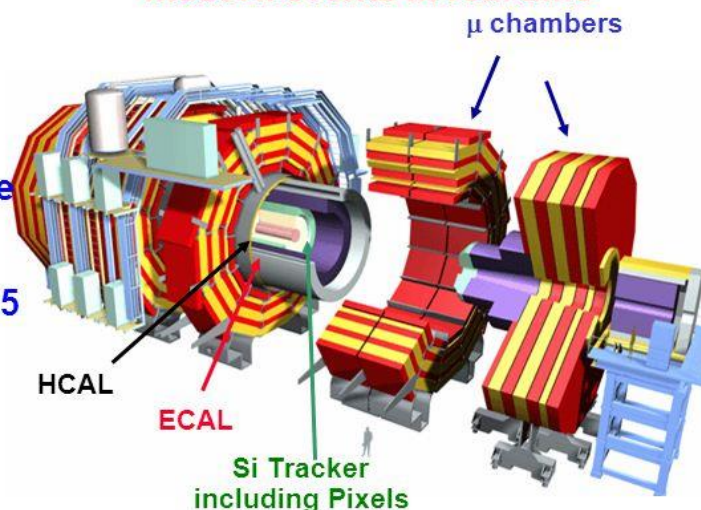
### ■ Silicon Tracker

- Good efficiency and low fake rate for  $p_T > 1$  GeV
- Excellent momentum resolution  $\Delta p/p \sim 1\%$  for  $p_T < 25$  GeV and higher

Fully functional at highest expected multiplicities  
Detailed studies at  $\sim 3000-5000$  and cross-checks at  $7000-8000$

### ■ DAQ and Trigger

- High rate capability for AA, pA, pp
- High Level Trigger capable of full reconstruction of most HI events in real time



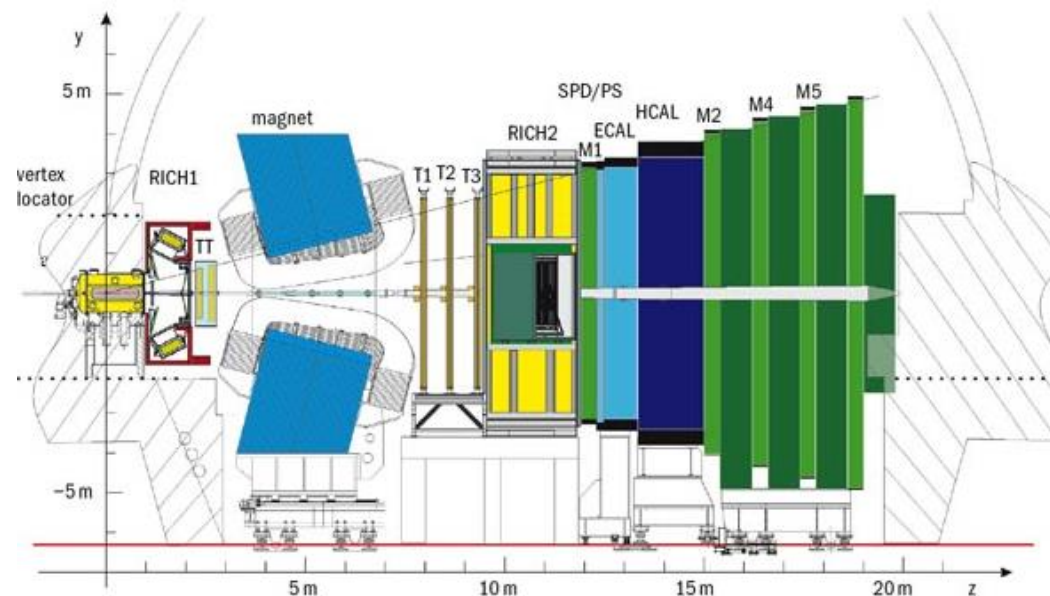
## LHCb: Single arm spectrometer,

the only LHC experiment fully instrumented in  $2 < \eta < 5$

*Designed for heavy flavor physics*

JINST 3 (2008) S08005  
IJMPA 30 (2015) 1530022

LHCb can operate **p-Pb** and **Pb-Pb** collisions



**Excellent vertex, IP and decay time resolution**

$$\sigma(\text{IP}) \approx 20 \mu\text{m}$$

**Very good momentum resolution**

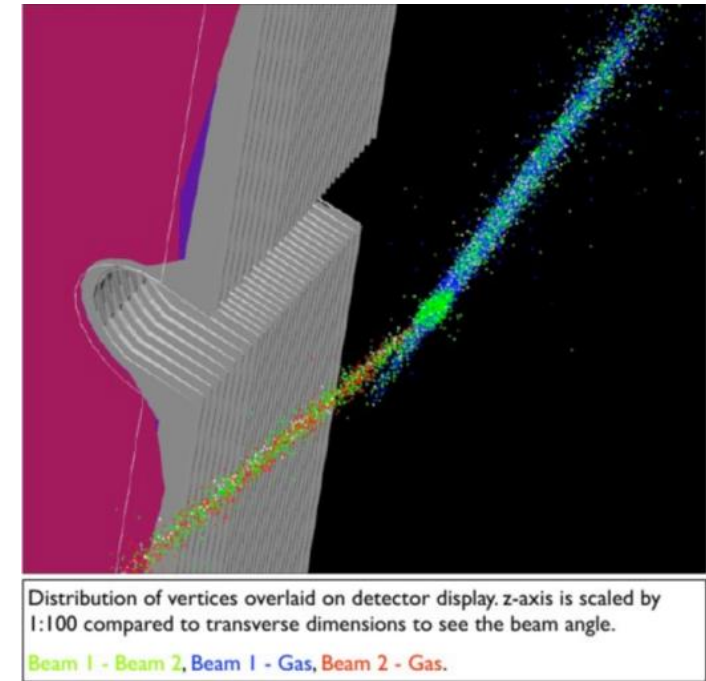
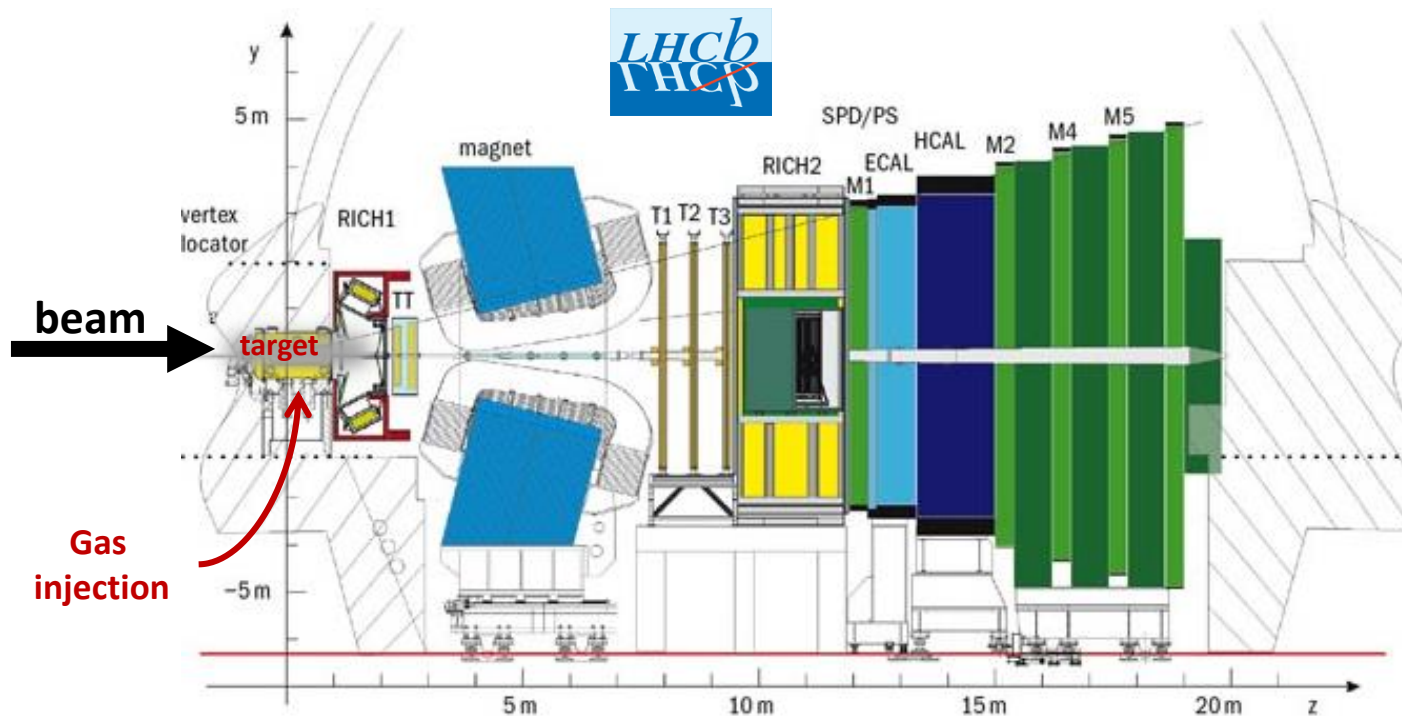
$$\delta p/p \approx 0.5-1\% \text{ for } 0 < p < 200 \text{ GeV}/c$$

**Particle identification**

$$\varepsilon_{K \rightarrow K} \approx 95\% \text{ for } \varepsilon_{\pi \rightarrow K} \approx 5\% \text{ up to } 100 \text{ GeV}/c$$

$$\varepsilon_{\mu \rightarrow \mu} \approx 97\% \text{ for } \varepsilon_{\pi \rightarrow \mu} \approx 1-3\%$$

- LHCb also operates in **fixed-target mode**: unique at LHC
  - Injecting gas in the LHCb VERteX LOcator (VELO) tank, primarily done to perform luminosity measurement.
  - Can be used as an **internal gas target**
  - Allows measurement of  $p$ -gas and ion-gas interactions



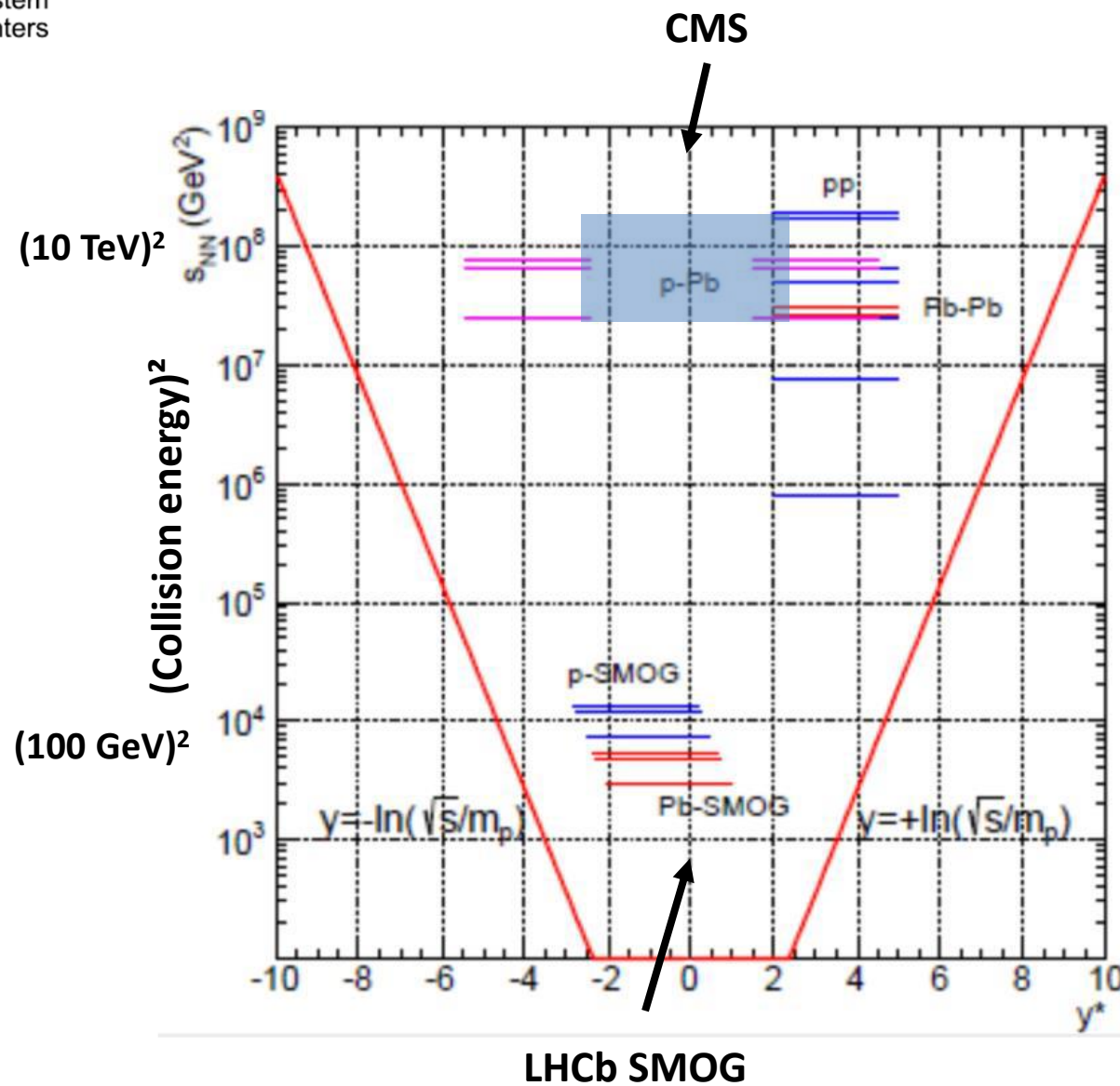
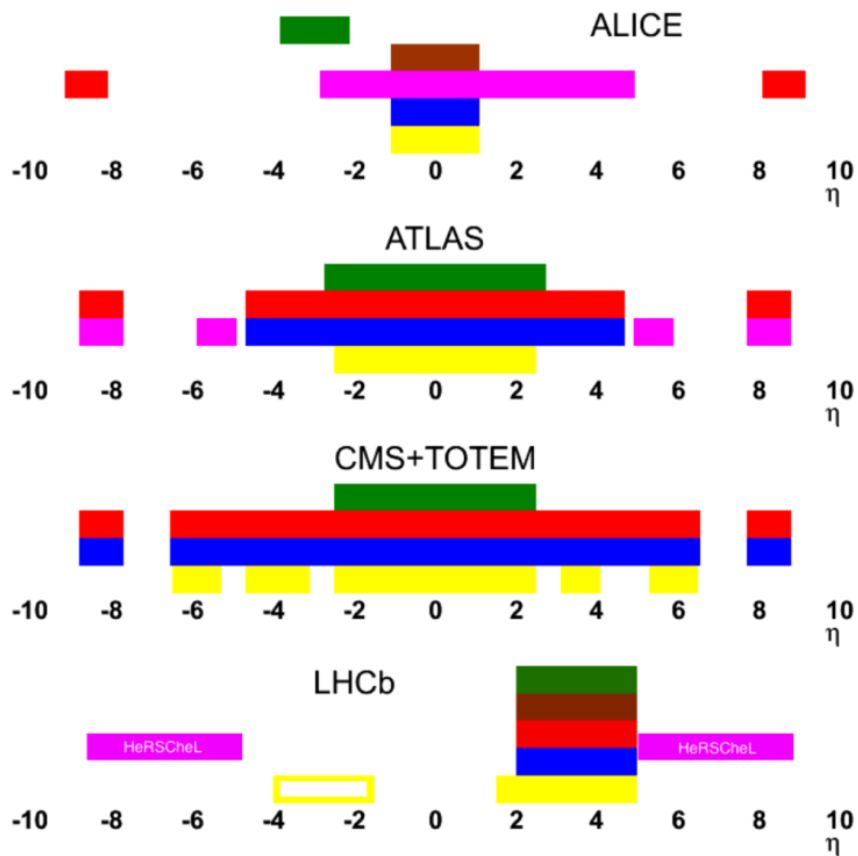
**Noble gas only :**  
(very low chemical reactivity)

He, Ne, Ar, Kr, Xe  
 $A = 4, 20, 40, 84, 131$

Gas pressure:  
 $10^{-7}$  to  $10^{-6}$  mbar

- Complémentarité CMS vs. LHCb

- hadron PID
- muon system
- lumi counters
- HCAL
- ECAL
- tracking



## 2 permanents :

- **Matthew Nguyen**, CRCN, HDR, 100% (jets)
- **Raphaël GdC**, DR2, HDR, 75% (quarkonia + electroweak)

## 1 postdoc :

- **Inna Kucher**, ANR, 100%, 2017-20 (jets)

## 2 doctorants :

- **Batoul Diab**, ANR, 100%, 2017-20 (jets)
- **Guillaume Falmagne**, 100%, 2018-21 (quarkonia)

## 1 permanent :

- **François Arleo**, CRCN, HDR, 100% (associé à CMS)

## 1 doctorant :

- **Charles Naïm**, P2IO/CEA, 50%, 2017-20

## 3 permanents :

- **Vladislav Balagura**, DR2, 100% (luminosité)
- **Frédéric Fleuret**, DR2, HDR, 100% (IL, charm@smog)
- **Émilie Maurice**, PAX, 100% (IL, charm@smog)

## 1 postdoc :

- **Benjamin Audurier**, IN2P3, 2019-2020, 100% (IL, LHCb upgrade)

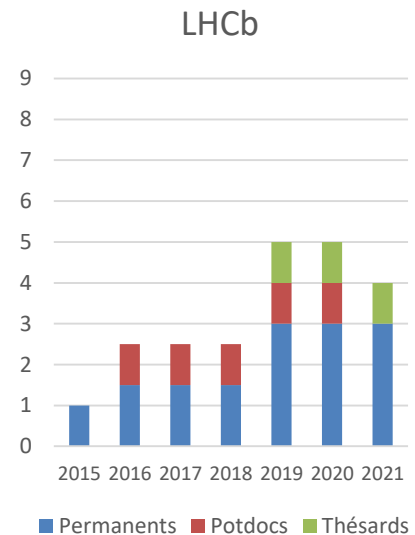
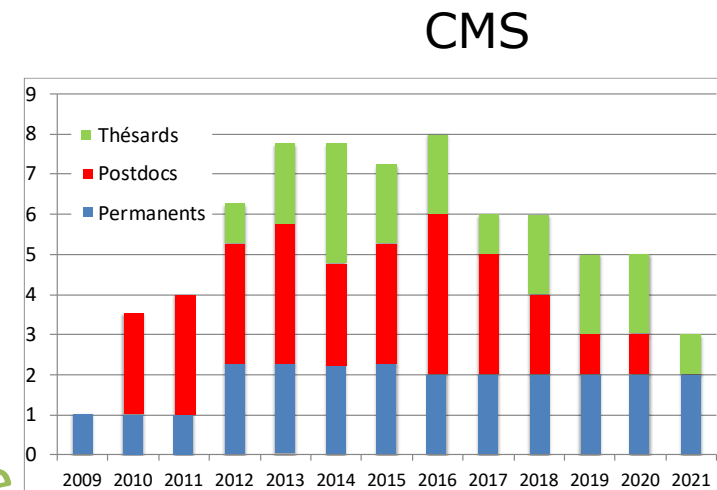
## 1 doctorant :

- **Felipe Garcia**, X/LLR, 100%, 2018-21 (IL, charm@smog)

CMS  
~ 5

Théorie  
~ 1,5

LHCb  
~ 5 (~4 IL)



- **CMS**

- ECAL trigger manager (**Inna**, 2019+)
- Co-convener du PAG « ions lourds » (Matthew, 2014-15)
- Co-convener du PAG « ions lourds » (Raphaël, 2010-11)
- Convener du sous groupe « dilepton » (**Torsten**, **André**)
- Convener du sous groupe « High-pT » (**Yetkin**, **Inna** 2018-2019)
- Member of CMS executive board and LCG-France steering board (Matthew)
- Member of the career, international and heavy-ion publication committees (Raphaël)

- **LHCb**

- Co-convener du PPWG luminosity (**Émilie**, 2017-18)
- Co-convener du PPWG luminosity (Vladik, 2019-20)
- Co-convener du PAWG Ions and Fixed Target (Frédéric, 2018-19)
- Co-convener du PAWG Ions and Fixed Target (**Benjamin**, 2019-20)



## 2. Faits marquants



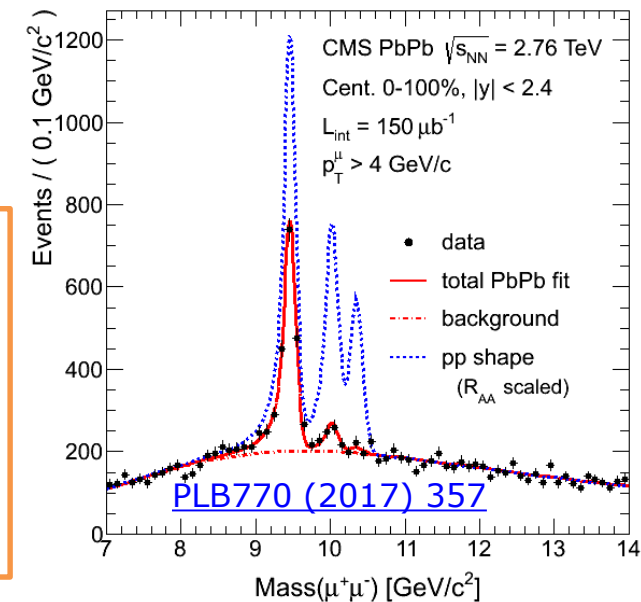
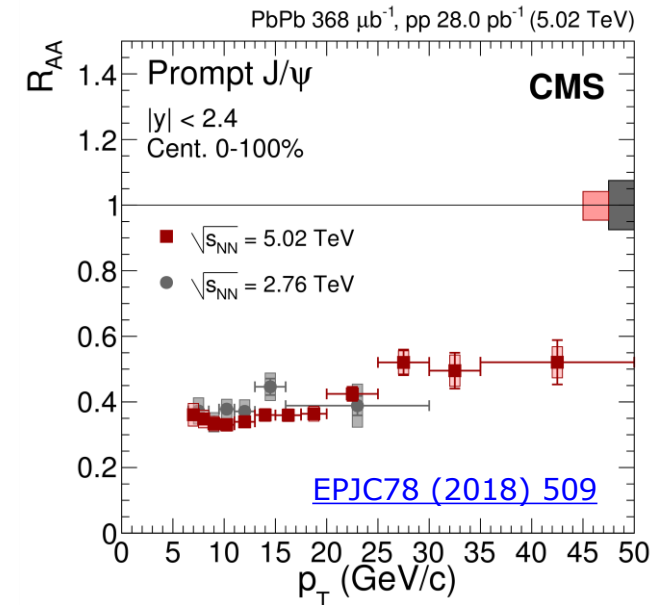
- CMS
- LHCb



Longue tradition du laboratoire :  
NAXX @ SPS, PHENIX @ RHIC

1.  $J/\psi$  et  $\psi'$  fortement supprimés ( $p_T > 3$  GeV)
2. Incluant les  $J/\psi$  déplacés  $\rightarrow$  première observation du quenching du b
3. (Première) observation des Upsilon

$Y(nS)$  pPb & pp in [JHEP04 \(2014\) 103](#), © Camelia  
 $Y(nS)$  legacy in [PLB770 \(2017\) 357](#), © Nicolas  $\rightarrow$  Thèse !  
 $\psi(2S)$  in [PRL113 \(2014\) 262301](#), © Torsten  
 $J/\psi$  legacy (incl.  $v_2$ ) in [EPJC77 \(2017\) 252](#), © Mihee  
 $\psi(2S)$ @5TeV in [PRL118 \(2017\) 162301](#), © Émilien  
 $J/\psi$ @5TeV in [EPJC78 \(2018\) 509](#), © Javier  $\rightarrow$  Thèse (André)

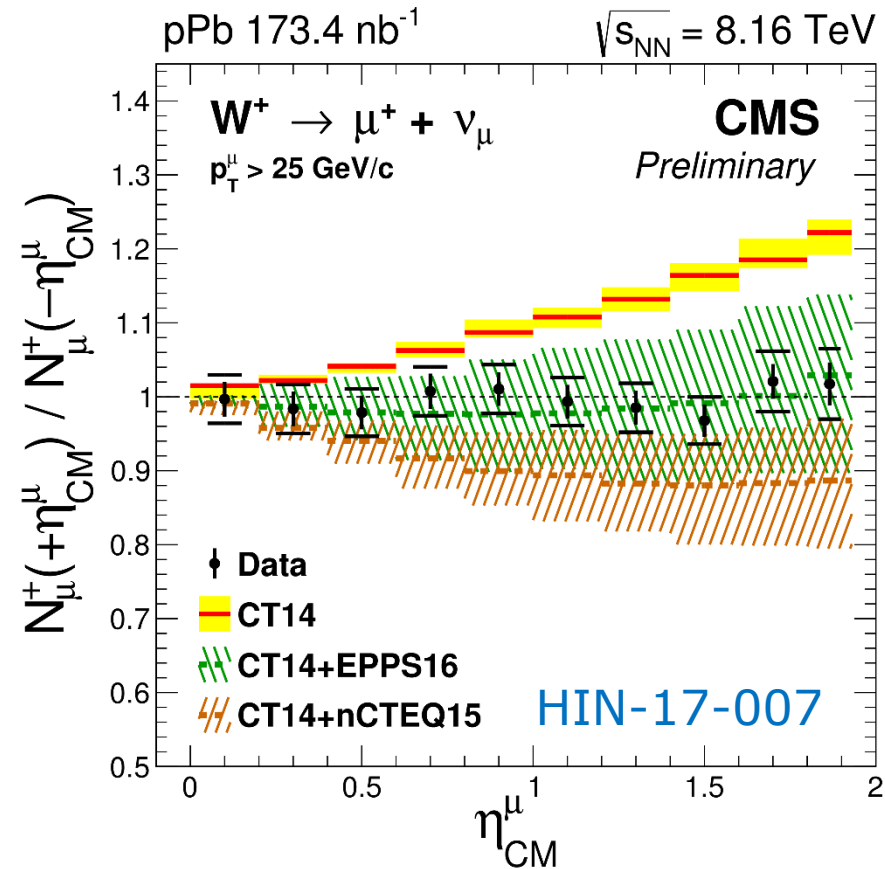


Leadership des analyses "dileptons"  
(muon, électron, neutrino)

4. (Première) observation des Z

5. (Première) observation des W

→ Maîtrise de l'état initial,  
contraintes sur les PDFs

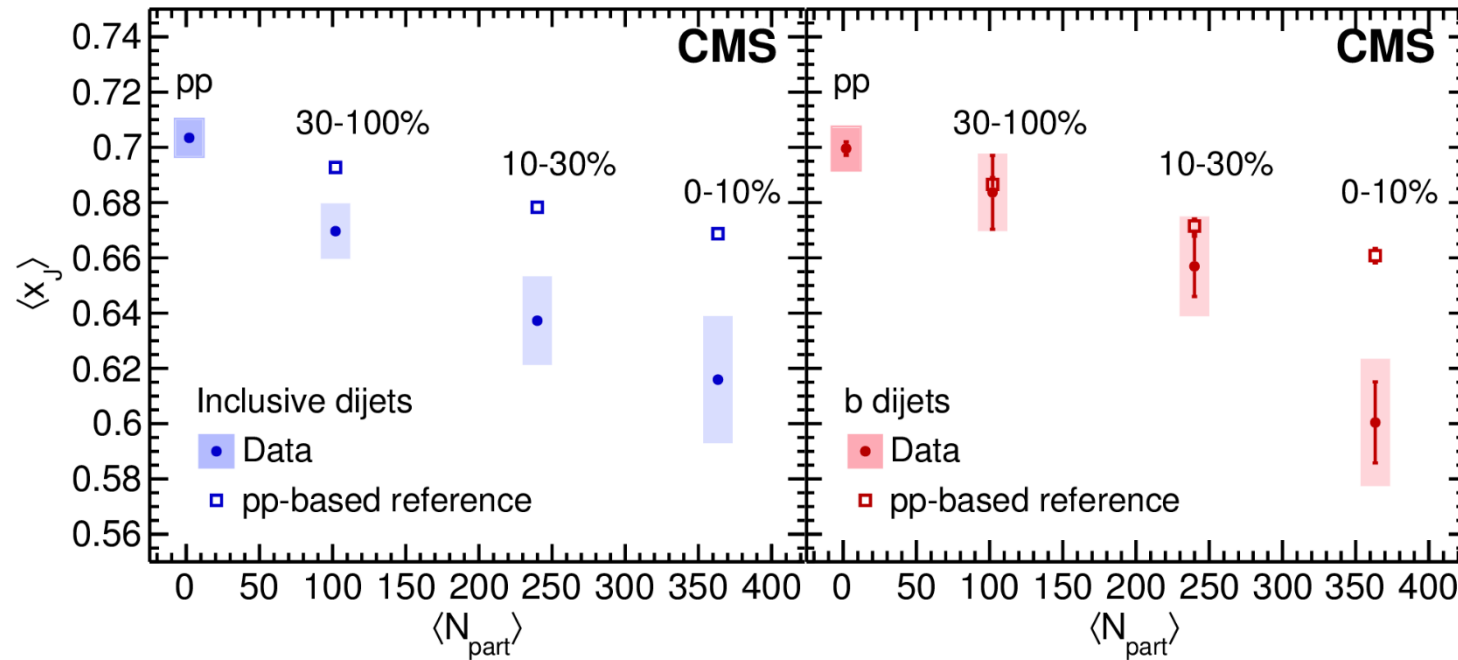


... [JHEP 03 \(2015\) 022](#), Z → muons+électrons, @ontact = Lamia  
[PLB 750 \(2015\) 565](#), @ontact = Alice → Thèse !  
[EPJC 76 \(2016\) 214](#), Arleo, Chapon, Paukkunen ← Phéno !  
[HIN-17-007](#), @ontact = André → Thèse !



Aux premières loges pour la découverte du quenching des jets reconstruits

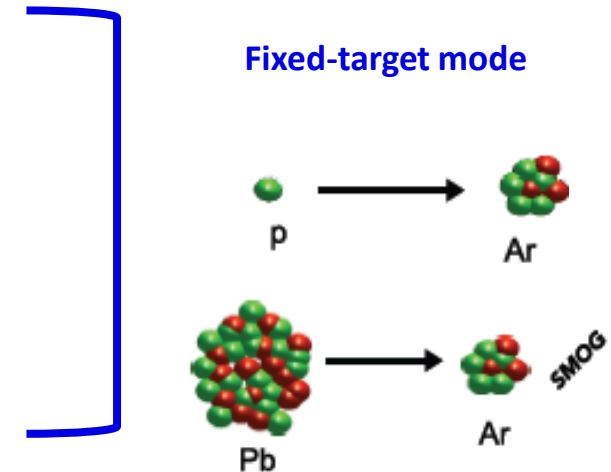
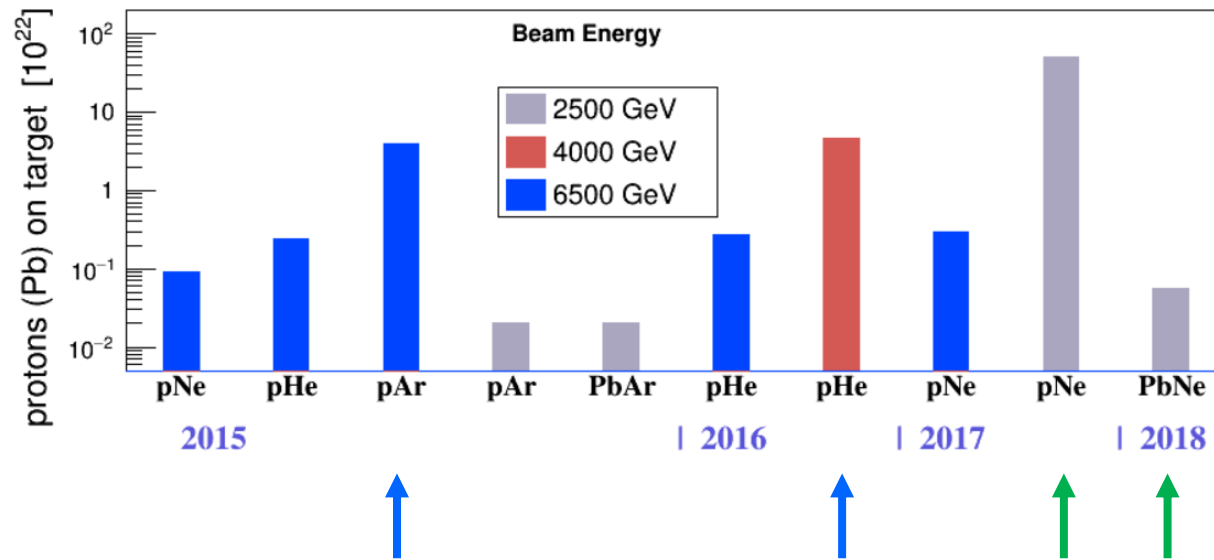
## 6. (Première) observation des jets issus de quark b (tagging)



[PRL 113 \(2014\) 132301](#), ©ontact = Matt  
[JHEP03 \(2018\) 181](#), ©ontact = Stas → Thèse  
[HIN-18-012](#), ©ontact = Batoul

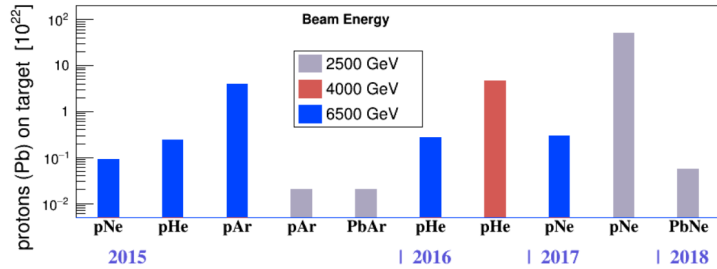


- **Objectif de physique : caractériser la transition de phase matière hadronique  $\leftrightarrow$  QGP**
  - **Observable principale:** production des  $J/\psi$ ,  $\psi(2S)$ ,  $\chi_c$  et  $D^0$
  - **Autres observables d'intérêt:**  $\Lambda_c$ , DY, dileptons thermiques,  $Y$ 's
- **Phase I (LHC run2) 2015 – 2018: démontrer la faisabilité du programme et démarrer le programme de physique**
- **Phase II (LHC run 3) 2021 – 2023: mise en œuvre du programme de physique**
- **Phase III (LHC run 4) 2027 – 2029: extensions possible du programme**



## 2. Faits marquants – LHCb

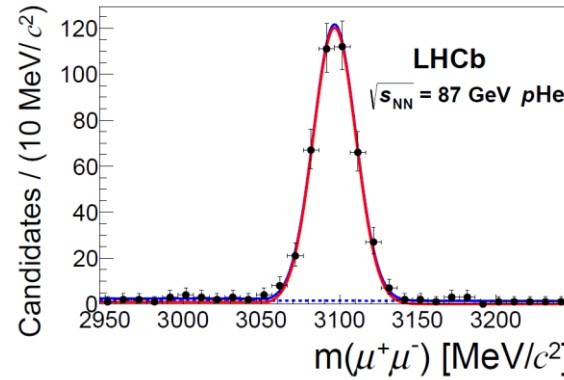
- $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$  and  $D^0 \rightarrow K^{\mp}\pi^{\pm}$  inclusive cross sections in  $pHe$  @86.6 GeV



pAr@110.4 GeV

pHe@86.6 GeV

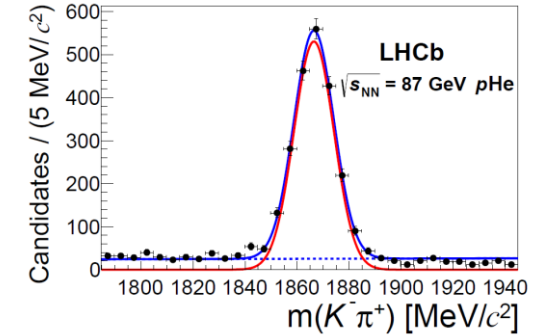
$$\sigma_{J/\psi} = 1225.6 \pm 62.0 \text{ (stat)} \pm 81.6 \text{ (syst) nb/nucleon}$$



Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 132002

$J/\psi$

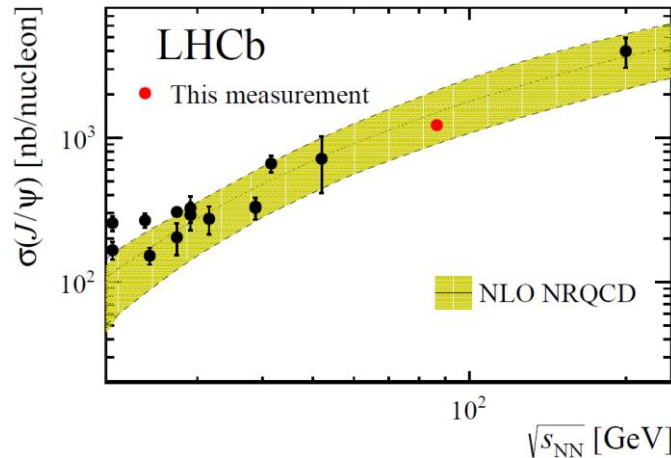
$D^0$



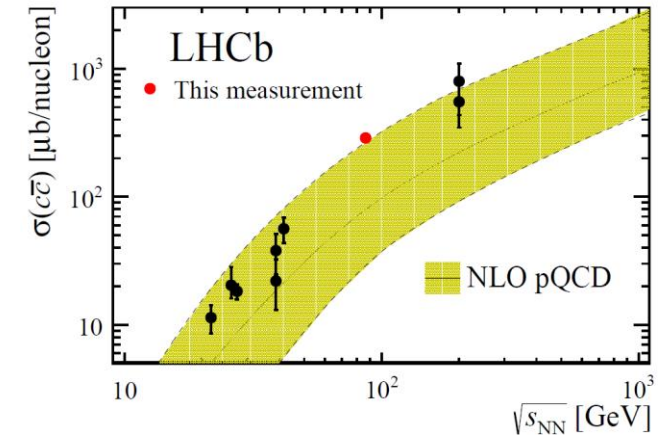
$$\sigma_{D^0} = 156.0 \pm 13.1 \text{ } \mu\text{b/nucleon}$$

with fraction ( $c \rightarrow D^0$ ) =  $0.542 \pm 0.024$

$$\sigma_{c\bar{c}} = 288 \pm 24.2 \text{ (stat)} \pm 6.9 \text{ (syst) } \mu\text{b/nucleon}$$



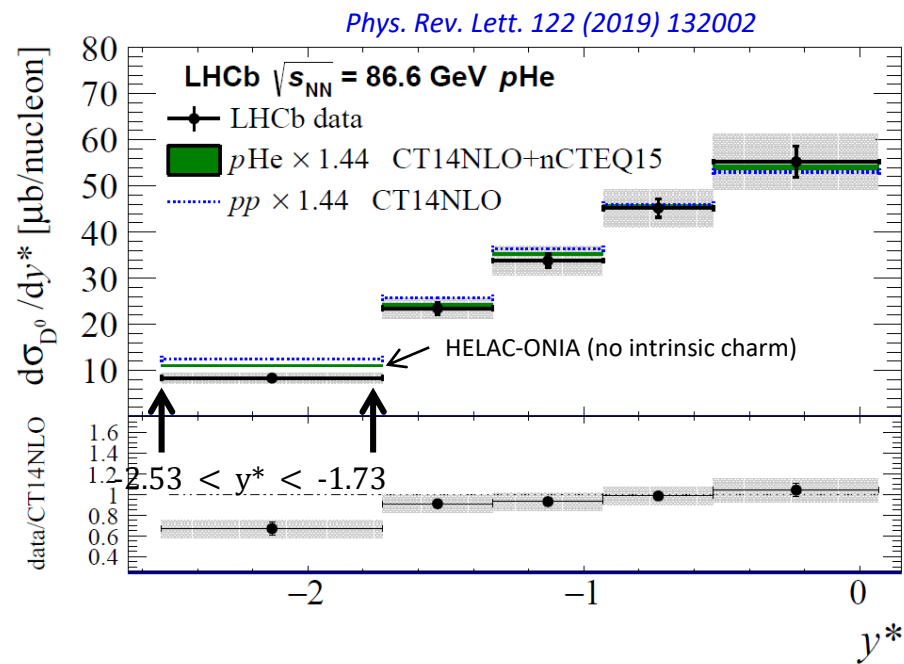
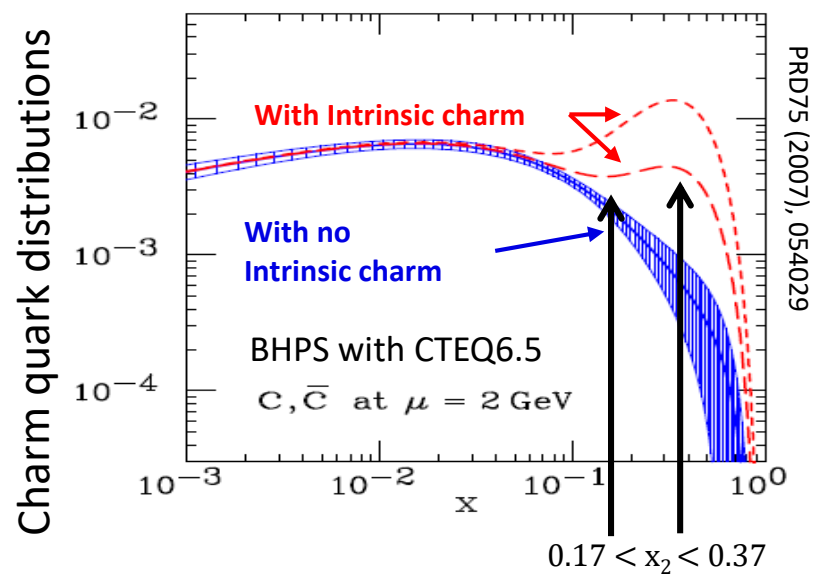
LHCb result in good agreement with other measurements



LHCb result in reasonable agreement with NLO pQCD (MNR) predictions and other measurements

PRL 122 (2019) 132002, Contact = Emilie

- $D^0$  cross sections (pHe@86.6 GeV) .vs. Intrinsic charm
  - HELAC-ONIA predictions for pp (blue lines) and pA (yellow boxes): EPJC(2017) 77:1
  - With  $x_2 \simeq \frac{2 \times m_c}{\sqrt{s_{NN}}} \exp(-y^*)$   $y^* \in [-1.73, -2.53] \Leftrightarrow x_2 \in [0.17, 0.37]$



- HELAC-ONIA does not contain intrinsic charm contribution
- **No evidence of strong intrinsic charm contribution**

PRL 122 (2019) 132002, @ontact = Emilie



## 3. Futur



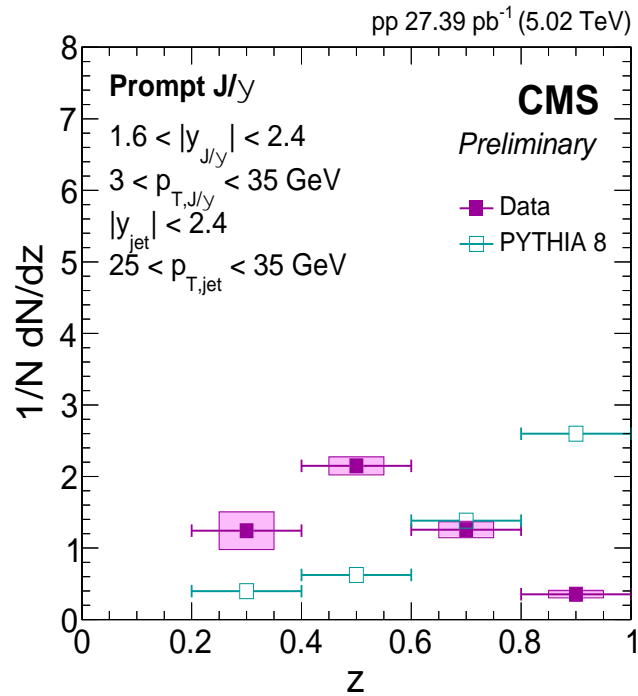
court terme: 2019 – 2021

moyen terme: 2021 – 2029

# 3. Futur court terme – CMS (2019 – 2021)

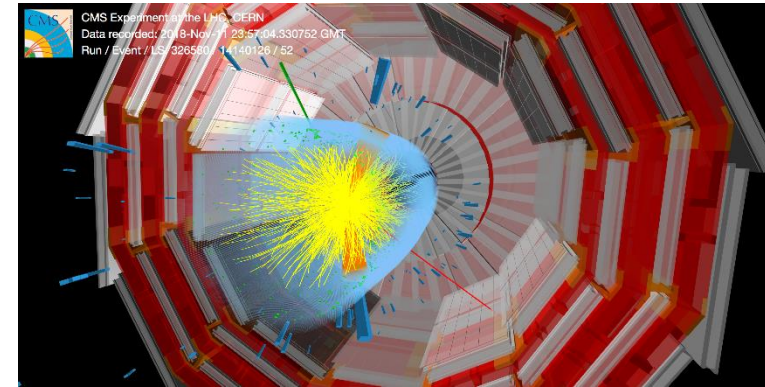
- Ongoing analysis of 2018 PbPb data (1.85 nb<sup>-1</sup>, 3x previous PbPb data)
  - 1) Observation of top quark (Inna)
  - 2) J/ψ-jet fragmentation (Batoul)
  - 3) Observation of B<sub>c</sub> meson (Guillaume)

All “firsts” for PbPb

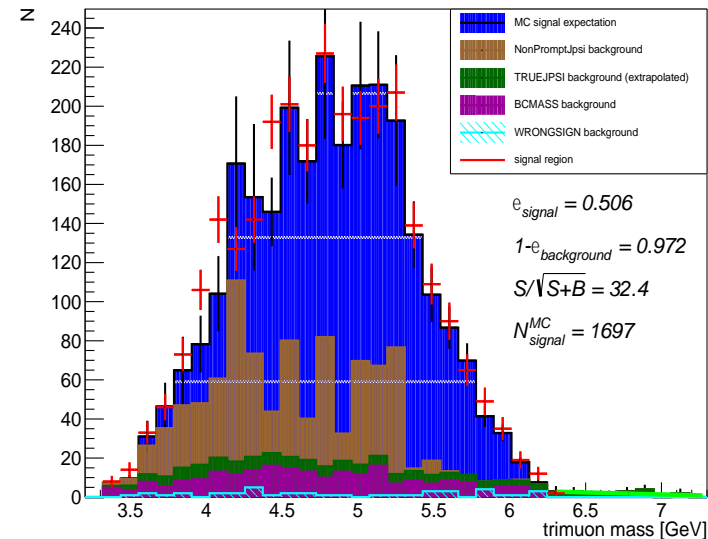


J/ψ jet fragmentation function in pp

A ttbar candidate in 2018 PbPb data  
 2 b-jets + electron + muon



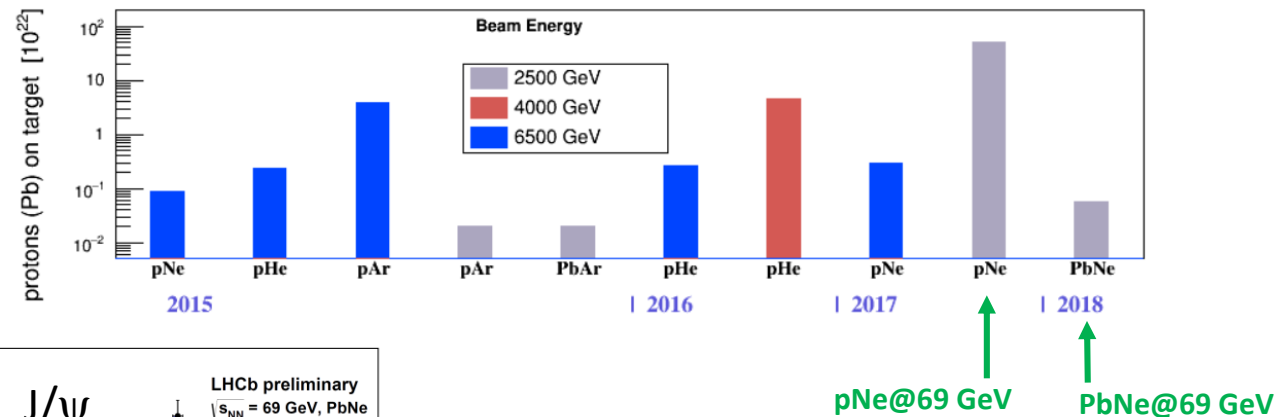
B<sub>c</sub> candidates mass with valBDT>0.15



Trimuon mass distribution for B<sub>c</sub> → 3 μ + ν

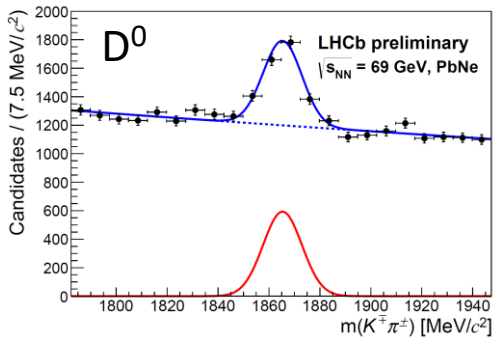
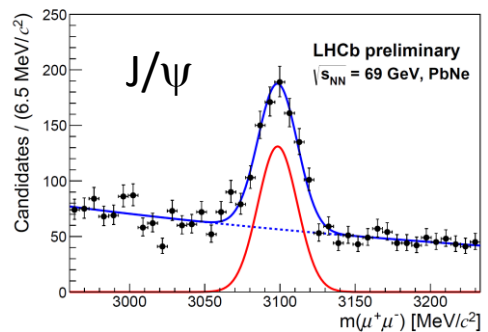


- **Finalizing phase I: Run 2 data analysis**
  - People: Benjamin, Emilie, Felipe, Frédéric
  - pNe @ 69 GeV: > x10 stat. increase compared to pHe/pAr  
→ give access to  $\psi(2S)$  and  $\chi_c$
  - PbNe @ 69 GeV: ~1k J/ $\psi$



J/ $\psi$                        $D^0$

$\Psi(2S)$



PbNe @ 69 GeV

**Stratégie Phase I** -> 2020's (LHC run 2: 2015 – 2018):

- **Emilie Maurice:**
  - Analyse des données pNe@69 GeV
    - J/ $\psi$ ,  $\psi(2S)$ ,  $D^0$
  - Commencer la caractérisation des CNM (phéno)
- **Frédéric Fleuret :**
  - Analyse des données pNe@69 GeV
    - $\chi_c$
  - Commencer la caractérisation des CNM (phéno)
- **Felipe Garcia:**
  - Analyse des données PbNe@69 GeV
  - Comparaison PbNe .vs. pNe (CNM)

pNe @ 69 GeV

- Programme LHC runs 3/4

	Year	Systems, $\sqrt{s_{NN}}$	Time	$L_{int}$
LHC Run 3	2021	Pb–Pb 5.5 TeV	3 weeks	2.3 nb <sup>-1</sup>
		pp 5.5 TeV	1 week	3 pb <sup>-1</sup> (ALICE), 300 pb <sup>-1</sup> (ATLAS, CMS), 25 pb <sup>-1</sup> (LHCb)
	2022	Pb–Pb 5.5 TeV	5 weeks	3.9 nb <sup>-1</sup>
		O–O, p–O	1 week	500 μb <sup>-1</sup> and 200 μb <sup>-1</sup>
	2023	p–Pb 8.8 TeV	3 weeks	0.6 pb <sup>-1</sup> (ATLAS, CMS), 0.3 pb <sup>-1</sup> (ALICE, LHCb)
		pp 8.8 TeV	few days	1.5 pb <sup>-1</sup> (ALICE), 100 pb <sup>-1</sup> (ATLAS, CMS, LHCb)
LHC Run 4	2027	Pb–Pb 5.5 TeV	5 weeks	3.8 nb <sup>-1</sup>
		pp 5.5 TeV	1 week	3 pb <sup>-1</sup> (ALICE), 300 pb <sup>-1</sup> (ATLAS, CMS), 25 pb <sup>-1</sup> (LHCb)
	2028	p–Pb 8.8 TeV	3 weeks	0.6 pb <sup>-1</sup> (ATLAS, CMS), 0.3 pb <sup>-1</sup> (ALICE, LHCb)
		pp 8.8 TeV	few days	1.5 pb <sup>-1</sup> (ALICE), 100 pb <sup>-1</sup> (ATLAS, CMS, LHCb)
	2029	Pb–Pb 5.5 TeV	4 weeks	3 nb <sup>-1</sup>
	Run-5	Intermediate AA	11 weeks	e.g. Ar–Ar 3–9 pb <sup>-1</sup> (optimal species to be defined)
pp reference		1 week		

### 3. Futur – moyen terme CMS (2021 – 2029)

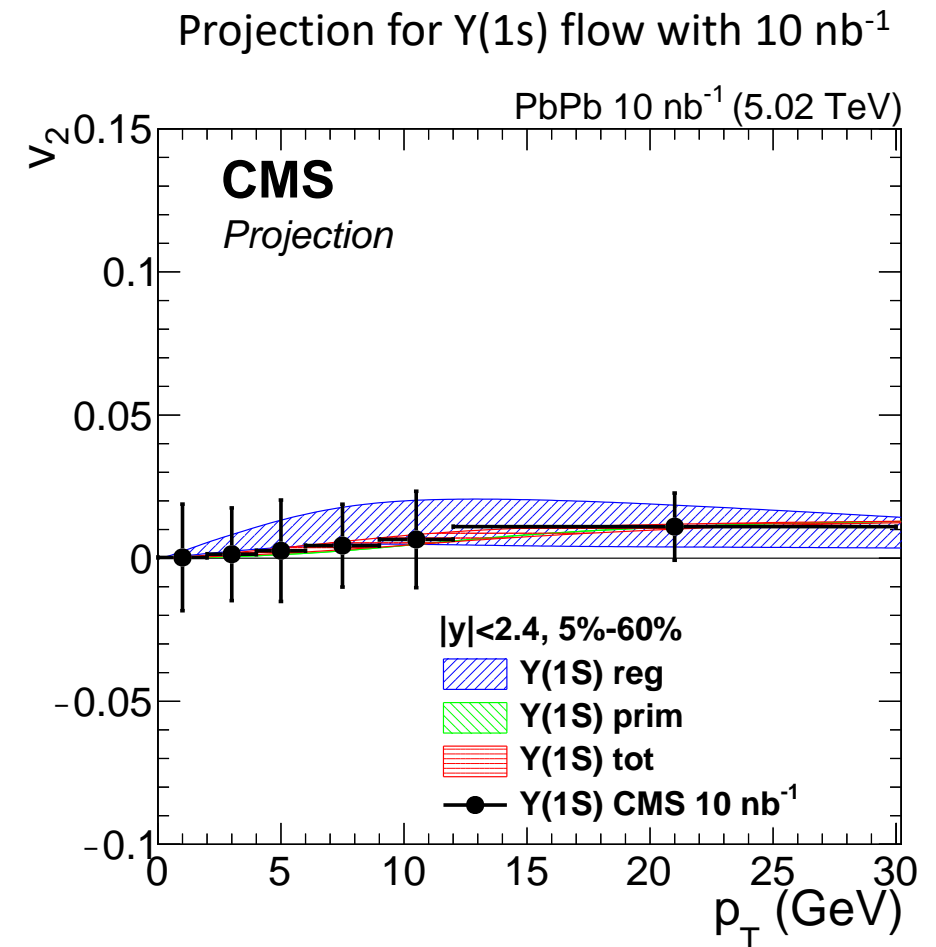
Request of 10 nb<sup>-1</sup> of PbPb and 2 pb<sup>-1</sup> of pPb, increase of 5x and 10x current data

#### Upgraded detector for HL-LHC era

- MIP timing detector will identify  $\pi/K/p$
- Extended forward coverage (from  $|\eta| < 2.5$ ), with reduced material budget
  - Charged hadrons to  $|\eta| < 4$
  - Muons to  $|\eta| < 3$
- High granularity forward calorimeter

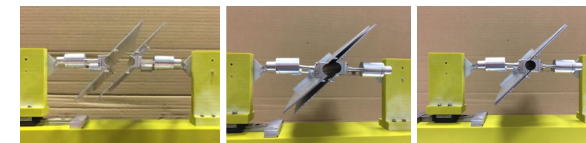
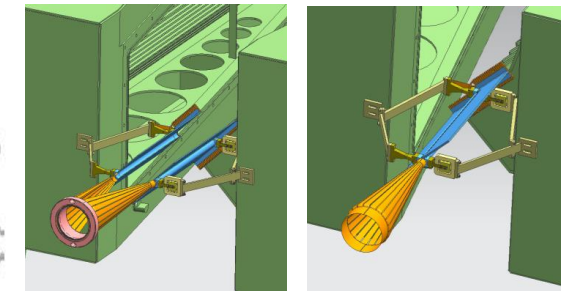
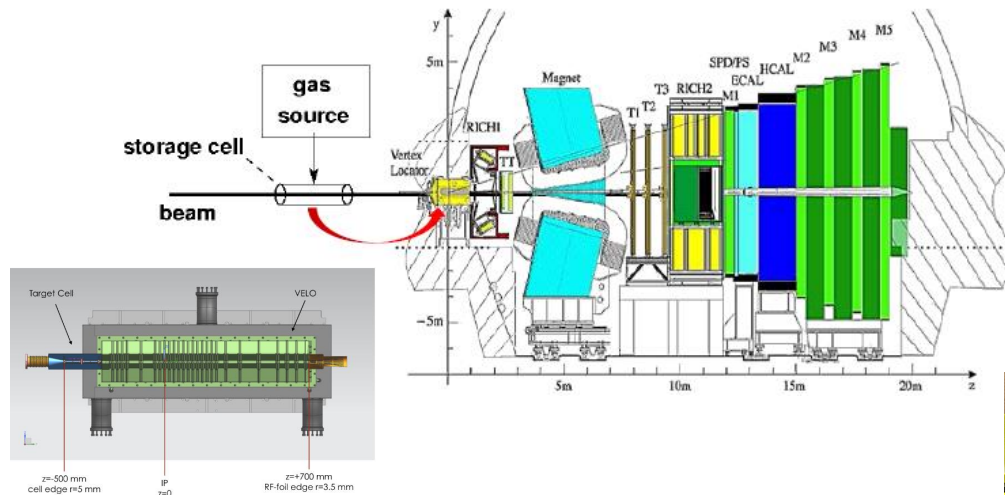
#### Potential physics targets include

- Ultimate precision EW probes for nPDFs
- Flow of epsilon states
- Isolated photon tagged heavy quark jets



## • L'upgrade SMOG2

- NIKHEF, INFN-Ferrara, INFN-Frascati
- Installation d'une **storage cell**
  - Diamètre = 1cm, longueur = 20 cm
  - Placée en amont du VELO (-50 à -30 cm par rapport à IP)
  - Augmentation de la **densité** locale de gaz jusqu'à un **facteur 100**
  - Augmentation de la **luminosité** jusqu'à un **facteur 100** par rapport à SMOG
- Fonctionnement à partir de 2021
  - Candidat privilégié pour les run 3 *LHCb early measurements*



### Stratégie Phase II -> 2025's (LHC run 3: 2021 – 2023):

- **Emilie Maurice :**
  - contact person for  $\psi(2S)/\psi$  early measurements
  - Propose une **thèse** (sep. 2020 -> sep. 2023)
  - Projet **ERC** -> Observing Phase Transition In Matter (OPTIM)
  - Contribution à l'analyse des données
- **Benjamin Audurier:** (postdoc déc. 2019 ->)
  - **Convener** IFT jan.19 – jan.21
  - Optimisation et mise en œuvre des simulations pour le run 3
  - Contribution à l'analyse des données
- **Frédéric Fleuret :**
  - Contribution à l'analyse des données

### Stratégie phase III (2027 – 2029)

- Dépendante des 1<sup>er</sup> résultats de la phase II

	Current SMOG result pHe@86 GeV	SMOG largest sample pNe@68 GeV	SMOG2 example pAr@115 GeV
Int. Lumi.	7.6/nb	~ 100/nb	~ 10/pb
syst. error on $J/\psi$ x-sec.	7%	6 - 7%	3 - 4 %
$J/\psi$ yield	400	15k	3.5M
$D^0$ yield	2000	100k	35M
$\Lambda_c$ yield	20	1k	350k
$\psi'$ yield	negl.	150	35k
$\Upsilon(1S)$ yield	negl.	10	3k
DY $\mu^+\mu^-$ yield ( $5 < M < 9$ GeV)	negl.	10	3k

- **Contexte labo**
  - Le LLR est impliqué dans la physique des ions lourds auprès de CMS et LHCb
  - Très forte visibilité des deux équipes au sein de leur collaboration (cf. responsabilités)
- **Activités**
  - Essentiellement analyse
  - Saveurs lourdes, W/Z, jets
- **Futur court terme**
  - CMS : top quark, J/ $\psi$ -jet fragmentation,  $B_c$
  - LHCb : charme pNe@69 GeV et PbNe@69 GeV
- **Futur moyen terme**
  - CMS : high-precision EW probes for nPDF, flow of Y, isolated photon tagged heavy quark jet
  - LHCb : SMOG2, charme pA et PbA, haute stat.

- **Points forts:**
  - Expertises internationalement reconnues (quarkonia, jets...);
  - Attractivité envers étudiants et postdocs (Marie Curie...);
  - Interface avec la théorie, présence d'un théoricien associé;
  
- **Points faibles:**
  - Rapport permanents / non-permanents;
  - Manque d'implication dans les upgrades;
  
- **Opportunités:**
  - Haute luminosité du run 3, et au-delà;
  - Excellentes performances des détecteurs CMS & LHCb;
  - Dynamisme d'une petite communauté (responsabilités...);
  
- **Risques:**
  - Tariesement des sources de financement;
  - Rapport de forces entre expériences.



# 1. Contexte labo



- Évolution historique
- Expériences
- Composition des équipes et responsabilités

# Auto analyse du groupe

---

- **Points forts:**
  - Expertises internationalement reconnues (quarkonia, jets...);
  - Attractivité envers étudiants et postdocs (Marie Curie...);
  - Interface avec la théorie, présence d'un théoricien associé;
- **Points faibles:**
  - Rapport permanents / non-permanents;
  - Manque d'implication dans les upgrades;
- **Opportunités:**
  - Haute luminosité du run 3, et au-delà;
  - Excellentes performances des détecteurs CMS & LHCb;
  - Dynamisme d'une petite communauté (responsabilités...);
- **Risques:**
  - Tarissement des sources de financement;
  - Rapport de forces entre expériences.

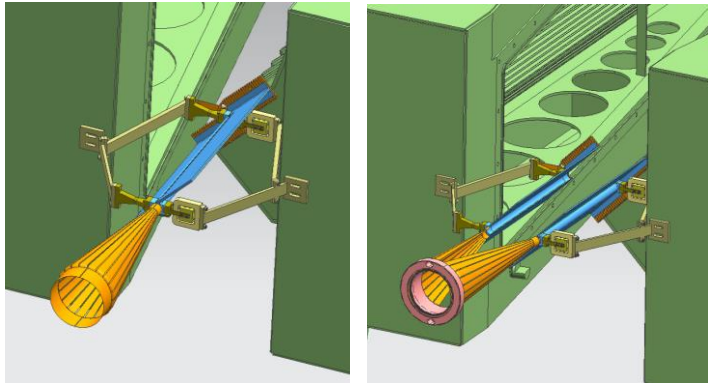
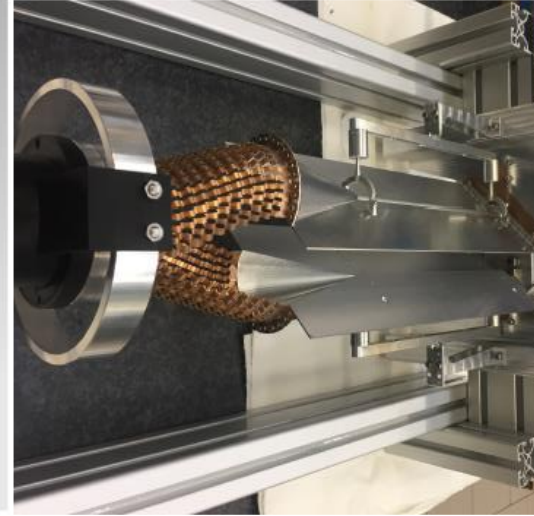
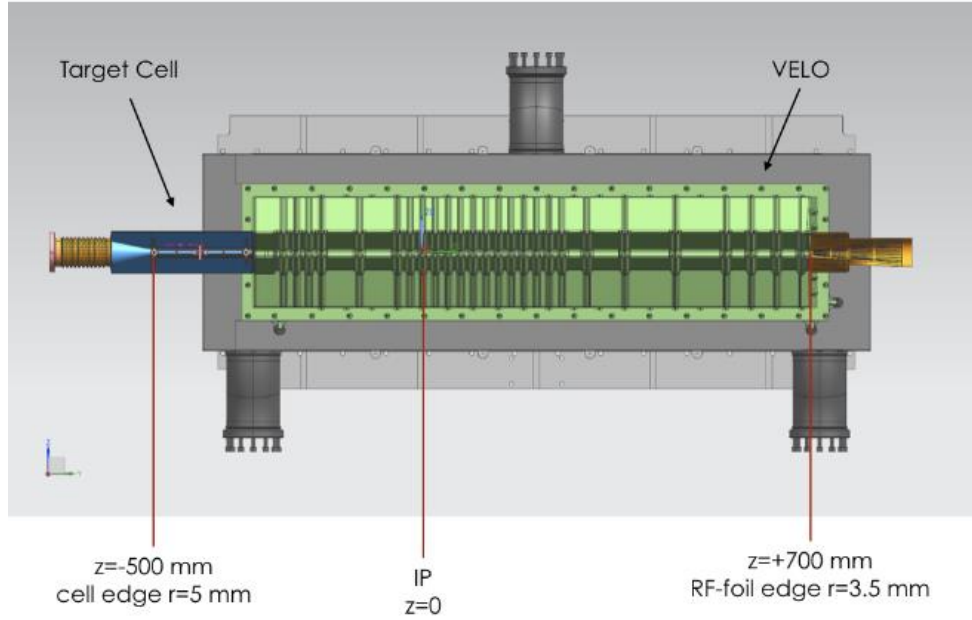


**backup**

**backup**

### 3. Futur moyen terme (2021 – 2025)

- L'upgrade SMOG2



## 2. Faits marquants – CMS

- Ce qu'on a appris

- 1)  $\Upsilon$  states acting as a “thermometer” of QGP
- 2)  $W$  constraining nuclear parton distributions
- 3) Energy loss looking increasingly important for the description of  $J/\psi$  suppression
- 4) Energy loss of b-quarks in the QGP
  - a) Nonprompt: indication of flavor hierarchy
  - b) b-jets: no sign of quark/gluon difference yet

### 3. Futur moyen terme (2021 – 2025)

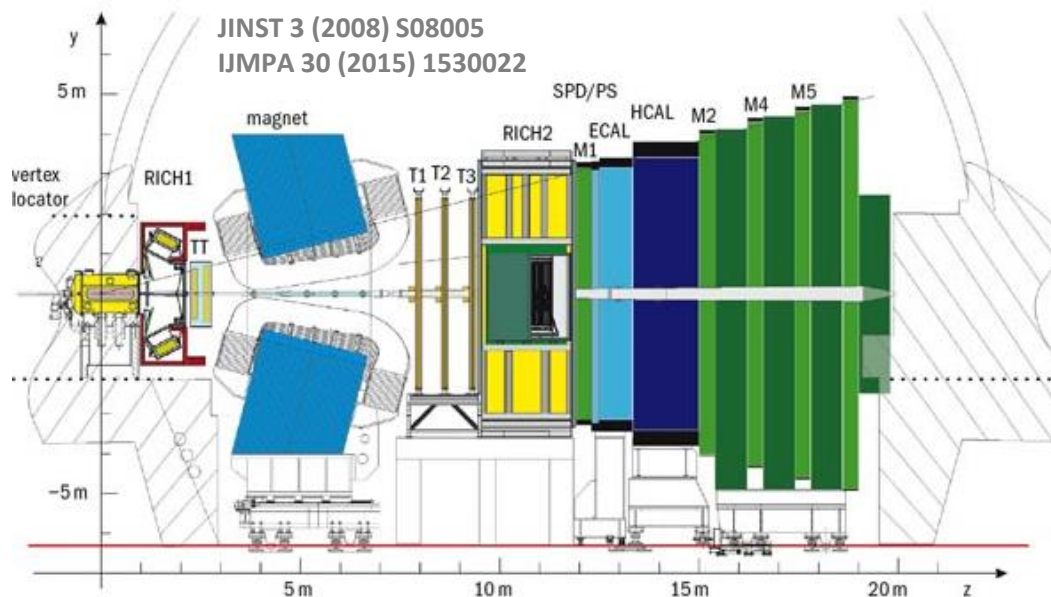
- L'upgrade SMOG2
  - Statistiques attendues

	Current SMOG result pHe@86 GeV	SMOG largest sample pNe@68 GeV	SMOG2 example pAr@115 GeV
Int. Lumi.	7.6/nb	~ 100/nb	~ 10/pb
syst. error on $J/\psi$ x-sec.	7%	6 - 7%	3 - 4 %
$J/\psi$ yield	400	15k	3.5M
$D^0$ yield	2000	100k	35M
$\Lambda_c$ yield	20	1k	350k
$\psi'$ yield	negl.	150	35k
$\Upsilon(1S)$ yield	negl.	10	3k
DY $\mu^+\mu^-$ yield ( $5 < M < 9$ GeV)	negl.	10	3k

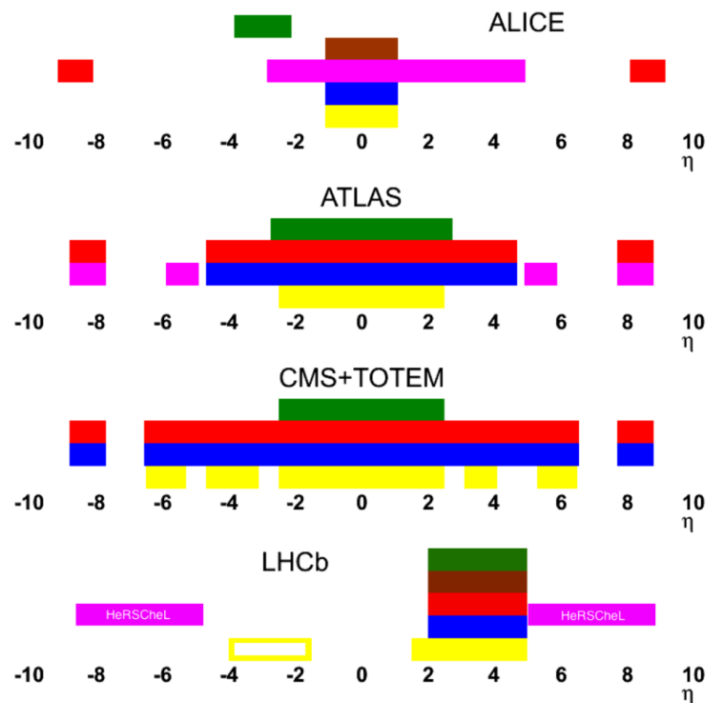
- **La composante CMS est passée de 10 (au max) à 5 ☹**
- **4 thèses soutenues :**
  - **André Ståhl**, (Raph), PHENIX, 2018, (**ewk+qq**) → postdoc Rice, CMS, HIN
  - **Stanislav Lisniak**, (Matt), Idex, 100%, 2016 (**jets**) → privé
  - **Alice Florent**, (Raph) ERC, 100%, 2014 (**ewk**) → postdoc UCLA, CMS, exotica
  - **Nicolas Filipovic**, (Raph) ERC, 100%, 2015 (**qq**) → postdoc CMS → privé
- **9 postdocs :**
  - **Javier Martin Blanco**, IN2P3, 100%, 2015-18 (**qq**) → privé
  - **Mihee Jo**, FKPP+Marie Curie, 100%, 2015-17 (**qq**) → privé (Samsung)
  - **Abdulla Abdulsalam**, X, 100%, 2016-17 (**qq**) → Prof en Arabie Saoudite
  - **Yetkin Yilmaz**, ANR+Marie Curie, 100%, 2013-16 (**jets**) → Postdoc LAL (machine learning)
  - **Émilien Chapon**, ERC+LLR, 100%, 2013-16 (**qq** + **ewk**) → CERN fellow
  - **Lamia Benhabib**, IN2P3+ERC, 100%, 3,5 ans (**ewk**) → Privé
  - **Camelia Mironov**, Marie Curie+ERC, 100%, 4 ans (**qq** + **ewk**) → senior postdoc MIT, HDR
  - **Torsten Dahms**, ERC, 100%, 3 ans (**qq** + **ewk**) → Postdoc d'excellence, Munich, Alice
  - **Sarah Porteboeuf**, Europe, 100%, un an (**qq**) → MdC Clermont Ferrand, Alice
- **3 HDR sur la période → Tous habilités !**
  - **François Arleo (12/02/18) – Perte d'énergie dans la matière froide**
  - **Matthew Nguyen (26/01/18) – Perte d'énergie dans la matière chaude**
  - **Raphaël GdC (12/03/14) – Le plasma dans PHENIX et CMS**

**Single arm spectrometer**, the only LHC experiment fully instrumented in  $2 < \eta < 5$

*Designed for heavy flavor physics*



- hadron PID
- muon system
- lumi counters
- HCAL
- ECAL
- tracking



**Excellent vertex, IP and decay time resolution**

$$\sigma(IP) \approx 20 \mu\text{m}$$

**Very good momentum resolution**

$$\delta p/p \approx 0.5\text{--}1\% \text{ for } 0 < p < 200 \text{ GeV}/c$$

**Particle identification**

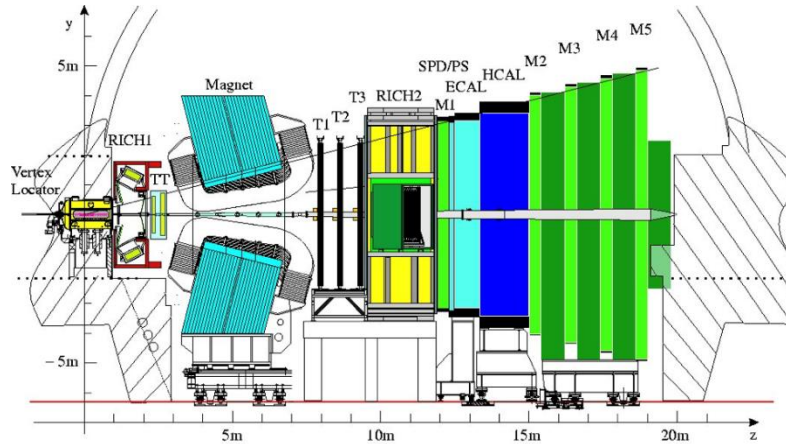
$$\epsilon_{K \rightarrow K} \approx 95\% \text{ for } \epsilon_{\pi \rightarrow K} \approx 5\% \text{ up to } 100 \text{ GeV}/c$$

$$\epsilon_{\mu \rightarrow \mu} \approx 97\% \text{ for } \epsilon_{\pi \rightarrow \mu} \approx 1\text{--}3\%$$

**LHCb can operate  $p$ -Pb and Pb-Pb collisions**

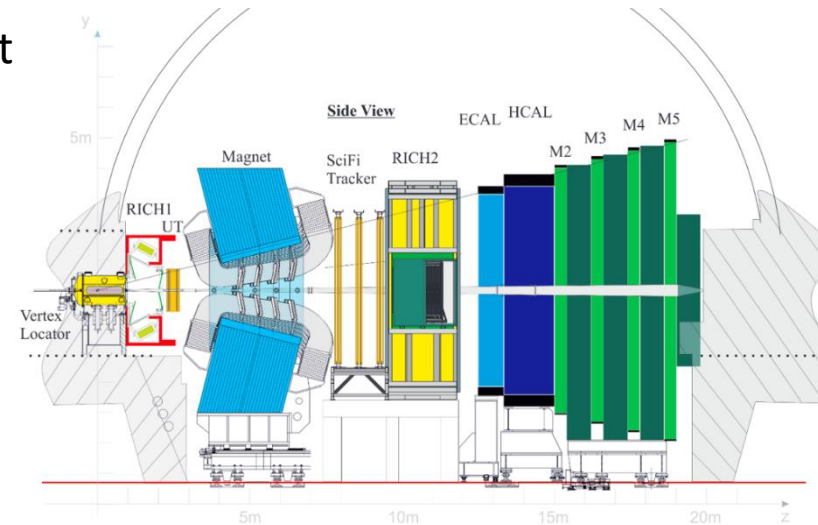
- LHCb upgrade I

Before 2021



Upgrade tracking, trigger, read-out for 5x larger pp pile-up

starting 2021



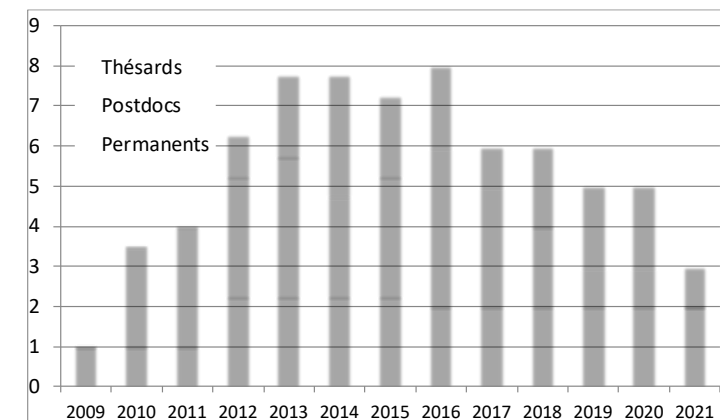




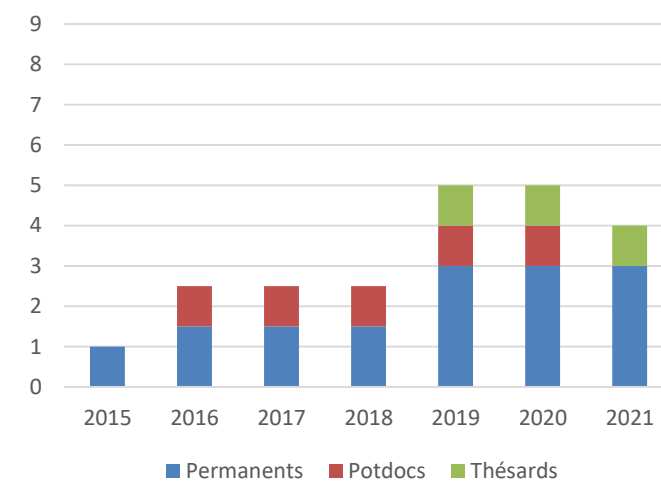
### 3. Futur – LLR

**CMS** = peu d'espoir de revenir à l'âge d'or (qqs mois à 10 personnes...)  
→ Il faudrait recruter un permanent force de proposition (ERC...)

CMS



LHCb









- **2014**

- Janvier : lors d'un workshop aux Houches, est présenté le système SMOG de LHCb qui permet d'injecter un gaz noble dans l'enceinte du détecteur de vertex. **Frédéric Fleuret** a alors eu l'idée d'exploiter cette potentialité pour réaliser le programme de physique de CHIC (études très précises des quarkonia et saveurs lourdes aux énergies intermédiaires)
- Mars à novembre : preuve de faisabilité avec Patrick Robbe (LHCb @ LAL)

- **2015**

- Janvier : Frédéric présente le projet au groupe LHCb du LAL : excellent accueil
- Février : Frédéric rejoint la collaboration LHCb (associé au groupe LHCb du LAL)
- Octobre : premières prises de données pAr@110 GeV

- **2016**

- Septembre : **Émilie Maurice** (postdoc P2IO) et **Vladislav Balagura** rejoignent le programme au LLR (asso. LAL)

- **2018**

- Première publication de LHCb sur cible fixe
- Début de la thèse de **Felipe Garcia**