

CMS à l'IPHC : contexte et projet scientifique

Le groupe CMS de l'IPHC participe à l'expérience depuis l'origine. Nous avons acquis une expertise reconnue dans la construction et les opérations du trajectographe, dans l'identification des jets de quark beau et des leptons tau, dans les mesures de précision et les recherches (directes ou indirectes) de nouvelle physique impliquant le quark top, le boson de Higgs et des particules supersymétriques ou exotiques. Notre projet pour les prochaines années s'appuie sur nos travaux actuels afin de les poursuivre au prochain Run 3 du LHC (2022-2024) et de les étoffer au HL-LHC (à partir de 2027). Les activités instrumentales liées à la construction du prochain trajectographe montent en puissance et seront *de facto* au centre de nos activités pour les prochaines années. Il s'agira également d'exploiter aux mieux les belles opportunités scientifiques offertes par le HL-LHC.

1. Physique au LHC

Deux axes principaux se dégagent :

o Mesures Higgs-CP :

L'état de charge-parité (CP) du boson de Higgs fait l'objet d'une attention particulière de la communauté. La découverte d'un état non purement scalaire serait un signe tangible de nouvelle physique et aurait des implications cosmologiques en lien avec l'origine de l'asymétrie matière-antimatière de l'Univers. Les désintégrations des leptons tau, retenant les informations de spin, constituent un excellent canal fermionique pour rechercher une possible violation de CP. La collaboration CMS vient ainsi de présenter un premier résultat préliminaire à la conférence ICHEP. Cette analyse sera publiée à l'automne 2020 et inclura la méthode dite du vecteur polarimétrique développée à l'IPHC, pour laquelle une meilleure sensibilité est obtenue dans le canal a_1+a_1 . Nous mettons également à profit notre expertise pour mesurer la polarisation des leptons tau issus de la désintégration du boson Z, et donc pour déterminer l'angle de mélange électrofaible effectif au LHC.

Ref : [CMS PAS HIG-20-006](https://cds.cern.ch/record/2725571?ln=en) (<http://cds.cern.ch/record/2725571?ln=en>)

Ref : <http://arxiv.org/abs/arXiv:1805.10552>

o Recherche de particules exotiques à long temps de vie :

Depuis de nombreuses années, le groupe CMS de l'IPHC a mené des recherches de physique au-delà du modèle standard (BSM), portant en particulier sur le squark top dans le cadre de la supersymétrie, soit à travers une approche classique basée sur la présence d'impulsion transverse manquante dans le cas d'une production directe de paires de squarks top, ou par une approche plus inclusive de recherche d'événements à quark top unique (monotop) comme dans le cas de la production d'un squark top unique. A partir des mesures de précisions dans le secteur du quark top, des recherches de déviations par rapport aux prédictions du MS ont été effectuées. A présent, l'équipe CMS de l'IPHC travaille sur des recherches de particules à long temps de vie (LLP) pour étendre la couverture des recherches BSM, tout en profitant de la grande expertise du groupe sur le trajectographe et la trajectographie.

Ref : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6471/ab4574>

Analyse HSCP : (« Heavy Stable Charged Particles »)

Les squarks top à long temps de vie pourraient former des états liés, des R-hadrons, qui pourraient traverser entièrement l'ensemble du trajectographe, et même l'ensemble du détecteur si leur temps de vie est suffisamment long. La signature expérimentale serait donc une trace de grande impulsion transverse, caractérisée par un faible facteur relativiste β ($\sim 0.3-0.9$) induisant un important dépôt d'énergie dans le trajectographe et un temps de vol important dans les couches externes, principalement dans les chambres à muons.

Le groupe CMS de l'IPHC mène cette recherche sur l'ensemble des données du Run 2 et en vue du Run 3 durant lequel nous continuerons de bénéficier de la mesure complète de la charge du dépôt dans tout le trajectographe. Au HL-LHC, l'information liée au dépôt de charge sera modifiée avec le nouveau trajectographe et une analyse originale pourra être proposée.

Ref : CMS EXO-15-010 (<http://arxiv.org/abs/1609.08382>)

Analyse top déplacé :

Plusieurs recherches de particules à long temps de vie reposent sur la reconstruction des vertex déplacés et des traces associées (leptons ou jets déplacés). Le groupe CMS de l'IPHC est impliqué dans l'amélioration des performances de l'algorithme de reconstruction des traces. Actuellement nous adaptons et optimisons l'algorithme actuel pour des topologies de traces déplacées. Il est prévu, avec les données des Runs 2 et 3 et au HL-LHC, d'utiliser notre expérience dans la reconstruction des traces et la physique du quark top pour effectuer une recherche innovante : la production de paire de quarks top déplacés, provenant de la désintégration de nouvelles particules à long temps de vie. Ces analyses sont pertinentes dans le cas où la nouvelle physique se couple préférentiellement à la 3^{ème} génération de quarks, comme le suggère la place particulière du quark top, due à sa haute masse et son couplage fort au boson de Higgs, et les considérations de naturalité qui en découlent.

Ref : CMS EXO-18-007 (<http://arxiv.org/abs/1811.07991>)

2. Jouvence du trajectographe pour le HL-LHC

Le prochain trajectographe est constitué de l'Inner Tracker (IT), partie interne constituée de détecteurs à pixels, et de l'Outer Tracker (OT) à double couche de micropistes (2S) et macro-pixels (PS). Ces capteurs permettent une évaluation en ligne de l'impulsion des traces offrant de nouvelles opportunités pour le système de déclenchement. Ils se répartissent dans le tonneau en sous-détecteurs TB2S et TBPS. Les contributions de l'IPHC à la construction du nouveau trajectographe de CMS se concentrent sur le TB2S dont l'un de nos membres est en charge de la coordination. Il s'agit du tonneau externe contenant des sous-structures mécaniques en forme d'échelles sur lesquelles sont assemblés et connectés 12 modules de type 2S. Les activités concernées sont :

Intégration des échelles

Après réception et tests des différents éléments constituant les échelles (incluant un mesurage fin), les modules 2S seront positionnés et fixés sur les échelles avant d'être câblés (alimentation et fibres optiques). Des tests approfondis seront effectués dans un environnement froid avec un refroidissement au CO₂ afin de certifier le fonctionnement des échelles dans des conditions proches du détecteur final. Une fois certifiées, les échelles équipées seront expédiées au CERN.

Mécanique TB2S

Participation à la conception de la structure mécanique du TB2S (roue), en particulier des pieds de soutien, aux simulations et aux tests de déformation. Suivi de la production par l'industrie des différents éléments constituant la roue. L'IPHC est responsable de l'assemblage final de la roue et de l'outillage correspondant (marbre d'assemblage, grands outils de manipulation). Une fois la roue assemblée, un mesurage et des tests de charges seront effectués.

Intégration de la roue au CERN

Il s'agit de la réception de la roue du TB2S au CERN ainsi que de la réception et des tests des échelles équipées. Il faudra insérer les échelles dans la roue, câbler et effectuer les raccordements au circuit de refroidissement, puis tester le bon fonctionnement des échelles et lire plusieurs échelles simultanément.

Contribution au système d'acquisition

Nos participations aux développements de la DAQ du trajectographe portent en particulier sur la production du firmware de l'électronique dorsale de l'IT. Des études de la faisabilité de l'utilisation de SoC (*system on chip*) dans le système d'acquisition sont également en cours. En parallèle, des contributions aux développements du software (IT et OT) seront faites. Finalement, nous participons aux tests des éléments du système de DAQ à l'aide de faisceaux de particules, notamment auprès du Cyclotron CYRCé de l'IPHC.

Test en faisceau et irradiation

Grâce au soutien de l'IN2P3, l'IPHC a pu se doter d'une ligne de faisceau auprès du cyclotron CYRCé. Cette ligne de faisceau permet tout d'abord de tester les modules de CMS Phase 2 pour de forts taux de particules. La plage d'intensité accessible à CYRCé est en effet adaptée à ce genre d'étude et grâce à la structure en train du faisceau et sa fréquence (42,5 MHz), il est possible de se rapprocher des conditions du LHC. Outre les tests à haut flux de particules sur des modules de l'IT et de l'OT, il est prévu d'effectuer des études de vieillissement de capteurs au silicium au moyen d'une irradiation lente, et ainsi de mesurer in situ l'évolution de l'échantillon au fur et à mesure de l'irradiation.

Ref : Tracker TDR [CERN-LHCC-2017-009](https://cds.cern.ch/record/2272264) (<https://cds.cern.ch/record/2272264>)

Ref : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/15/03/P03014>

3. Développement des algorithmes d'identification en vue du HL-LHC

Le futur détecteur CMS sera innovant à bien des égards : trajectographe intervenant dès le niveau 1 du système de déclenchement, avec un budget de matière réduit et une acceptance étendue (jusqu'à des pseudo-rapidités $|\eta| < 4$ au lieu de 2.5 actuellement) ; calorimètre à très haute granularité (HGAL) vers l'avant ($1.5 < |\eta| < 3$) ; couverture pour les muons également étendue jusqu'à $|\eta| < 3$; détecteur en temps (MTD) permettant une résolution ~ 40 ps sur les traces.

Ces caractéristiques doivent permettre de conserver, voire de surpasser, les performances actuelles de reconstruction des événements, malgré le fort taux d'empilement attendu au HL-LHC. Des études conséquentes sont menées à l'IPHC pour atteindre cet objectif, notamment pour les identifications des leptons tau et des jets de quark b. Ces études vont se poursuivre dans les prochaines années pour bénéficier au mieux des améliorations du futur détecteur.

Ref : MTD TDR [CERN-LHCC-2019-003](https://cds.cern.ch/record/2667167) (<https://cds.cern.ch/record/2667167>)

Ref : [CMS-NOTE-2018-006](http://cds.cern.ch/record/2650976) (<http://cds.cern.ch/record/2650976>)