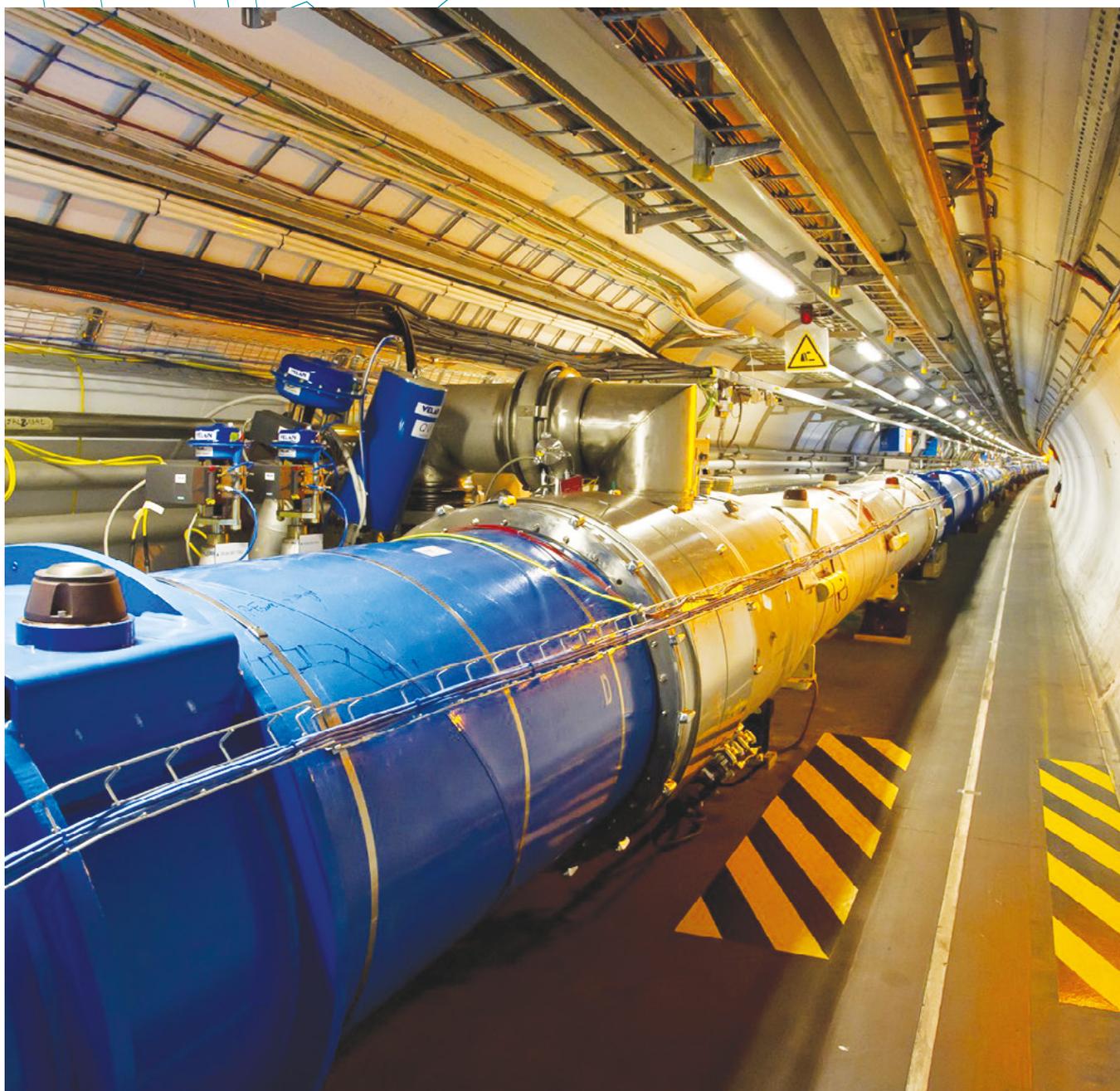


# LES MACHINES DES DÉCOUVERTES

*Le CERN exploite un complexe unique au monde, constitué de huit accélérateurs et d'un décélérateur. Les accélérateurs propulsent les particules à une vitesse proche de celle de la lumière avant de les faire entrer en collision ou de les projeter sur des cibles. Des détecteurs enregistrent ce qui se passe lors des collisions. Les données sont stockées et analysées à l'aide d'un réseau d'ordinateurs planétaire. Des centaines de physiciens, d'ingénieurs et de techniciens font fonctionner ces machines sophistiquées et assurent leur maintenance.*

*Le LHC a fonctionné avec une efficacité remarquable en 2016, délivrant beaucoup plus de collisions que prévu. (CERN-GE-1101021-08)*





Des opérateurs du LHC aux commandes de l'accélérateur en juillet 2016. (CERN-PHOTO-201607-171-3)

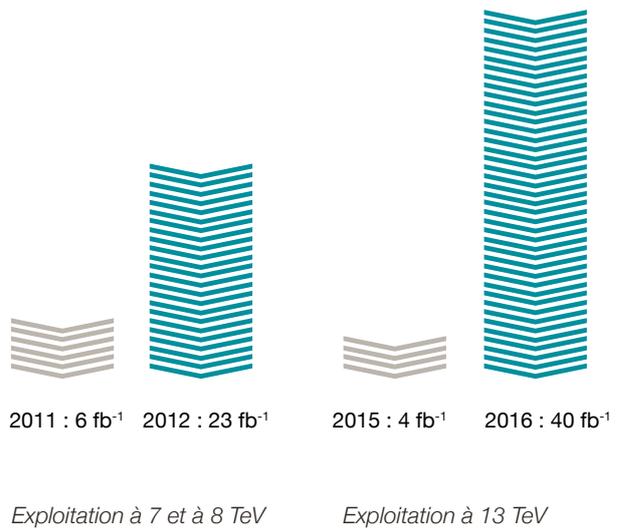
## LE GRAND COLLISIONNEUR DE HADRONS À PLEIN RÉGIME

Le Grand collisionneur de hadrons LHC a connu une année 2016 exceptionnelle. Pour sa deuxième année d'exploitation à l'énergie de collision de 13 téraélectronvolts (TeV), l'accélérateur a enregistré des performances qui ont dépassé les prévisions.

Pendant l'exploitation avec protons, entre avril et fin octobre, le LHC a produit plus de 6,5 millions de milliards de collisions, un nombre près de 60 % plus élevé que celui initialement prévu. En d'autres termes, il a délivré aux deux grandes expériences ATLAS et CMS une luminosité intégrée de presque 40 femtobarns inverses, contre 25 initialement prévus. La luminosité est un indicateur crucial pour un collisionneur ; il donne le nombre de collisions susceptibles de se produire en un temps donné et par unité de surface.

La disponibilité remarquable du LHC et de ses injecteurs est l'une des clés du succès. Pendant la période d'exploitation pour la physique, le LHC a fonctionné 75 % du temps (25 % du temps pour la mise en marche et la préparation des faisceaux, et 50 % du temps pour la production de collisions pour les expériences, contre 33 % en 2015). Cette performance est d'autant plus remarquable que le LHC est une machine très complexe, reposant sur le fonctionnement d'une chaîne de quatre accélérateurs et de milliers d'équipements.

Le démarrage de la machine a d'ailleurs été perturbé par plusieurs incidents. Fin avril, un incident sur un transformateur a stoppé l'alimentation électrique de l'accélérateur pendant une semaine. Puis, le système d'alimentation du Synchrotron à protons (PS), troisième maillon de la chaîne d'injecteurs, a connu une avarie.



Quantité de données délivrées par le LHC à chacune des expériences ATLAS et CMS au cours des périodes d'exploitation avec des protons. Cette quantité est exprimée par la luminosité intégrée, qui indique le nombre potentiel de collisions par unité de surface et sur une période donnée.

Une fuite de vide au niveau du système d'arrêt de faisceau du Supersynchrotron à protons (SPS), quatrième injecteur, a limité la quantité de particules injectées pendant toute l'exploitation. Le nombre de paquets de protons par faisceau n'a pu dépasser 2 220, contre 2 808 prévus. Enfin, une défaillance sur un aimant de déflexion rapide du LHC, qui injecte les paquets de particules dans la machine, a limité le nombre de particules dans chaque paquet.

Malgré ces embûches, la performance des équipements a été excellente. De nombreux ajustements ont été effectués sur tous les systèmes depuis deux ans, améliorant leur disponibilité. Le système de cryogénie, qui refroidit l'accélérateur à -271 °C, a par exemple atteint 98 % de disponibilité.

L'ajustement des paramètres d'exploitation du LHC et de ses injecteurs a également permis d'augmenter la luminosité. Le mode d'assemblage des paquets de particules dans les injecteurs a été amélioré (voir p. 22). L'angle de croisement des faisceaux au point de collision a été réduit. Ces deux variables ont permis d'atteindre 25 collisions en moyenne par croisement de paquet, contre 14 en 2015.

Grâce à ce pilotage optimisé, les équipes d'opérateurs ont célébré le 26 juin un nouveau record : le LHC a dépassé la luminosité instantanée nominale ( $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) définie par les concepteurs de l'accélérateur, 20 ans auparavant. Ce paramètre a ensuite été régulièrement dépassé tout au long de l'année, dans une proportion allant jusqu'à 40 %. Le LHC a ainsi fourni 153 jours de physique, dont plusieurs jours consacrés à l'exploitation avec des faisceaux desserrés pour les expériences à petits angles TOTEM et ATLAS/ALFA.

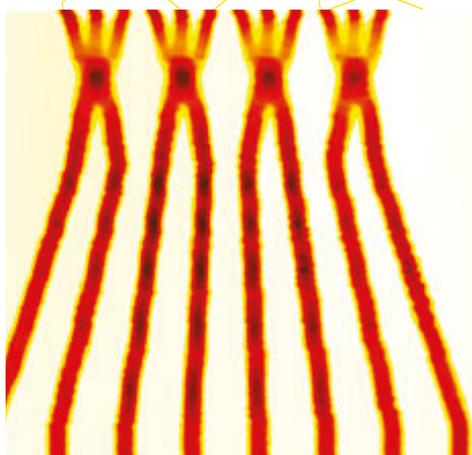


Le porte-parole de TOTEM devant l'un des détecteurs de l'expérience dans le tunnel du LHC. Le LHC a consacré une exploitation spéciale à TOTEM et ATLAS/ALFA, en desserrant au maximum les faisceaux. TOTEM a amélioré ses détecteurs en 2016. (CERN-PHOTO-201609-210-1)

Le 5 décembre, les dernières particules circulaient dans la machine, avant l'arrêt technique. Les premiers jours de l'arrêt ont été consacrés à l'entraînement des aimants de deux des huit secteurs pour atteindre une énergie de collision de 14 TeV. Les résultats permettront d'étudier la possibilité de relever l'énergie du LHC lors de la troisième période d'exploitation, à partir de 2021.

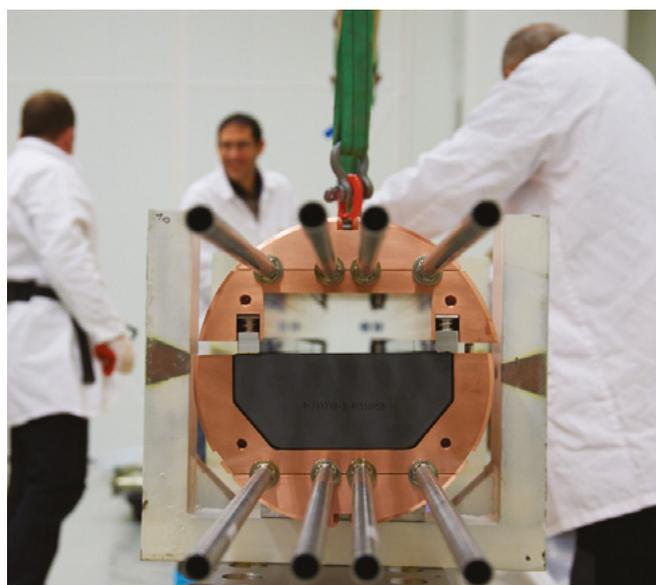
## RENCONTRE DU TROISIÈME TYPE

Le 10 novembre, le LHC démarrait les collisions entre des protons et des noyaux d'atomes de plomb, deuxième exploitation de ce type depuis 2013. Cette fois, les collisions ont atteint l'énergie inédite de 8,16 TeV. Les expériences ont récolté plus de 380 milliards de collisions à cette énergie, ce qui a dépassé de loin les prévisions.



## De brillants paquets

Cette image montre comment les paquets de particules sont regroupés et découpés dans le Synchrotron à protons (PS) avec la méthode dite de compression, regroupement et division des lots (BCMS - *Batch Compression Merging and Splitting*). Adopté en 2016, le procédé utilise les cavités radiofréquence pour former des paquets de particules plus denses. La probabilité de collisions dans le LHC est alors plus élevée. Ces paquets plus « brillants », selon le vocabulaire des accélérateurs, ont permis d'augmenter de 20 % la luminosité en 2016. (OPEN-PHO-ACCEL-2017-008-1)



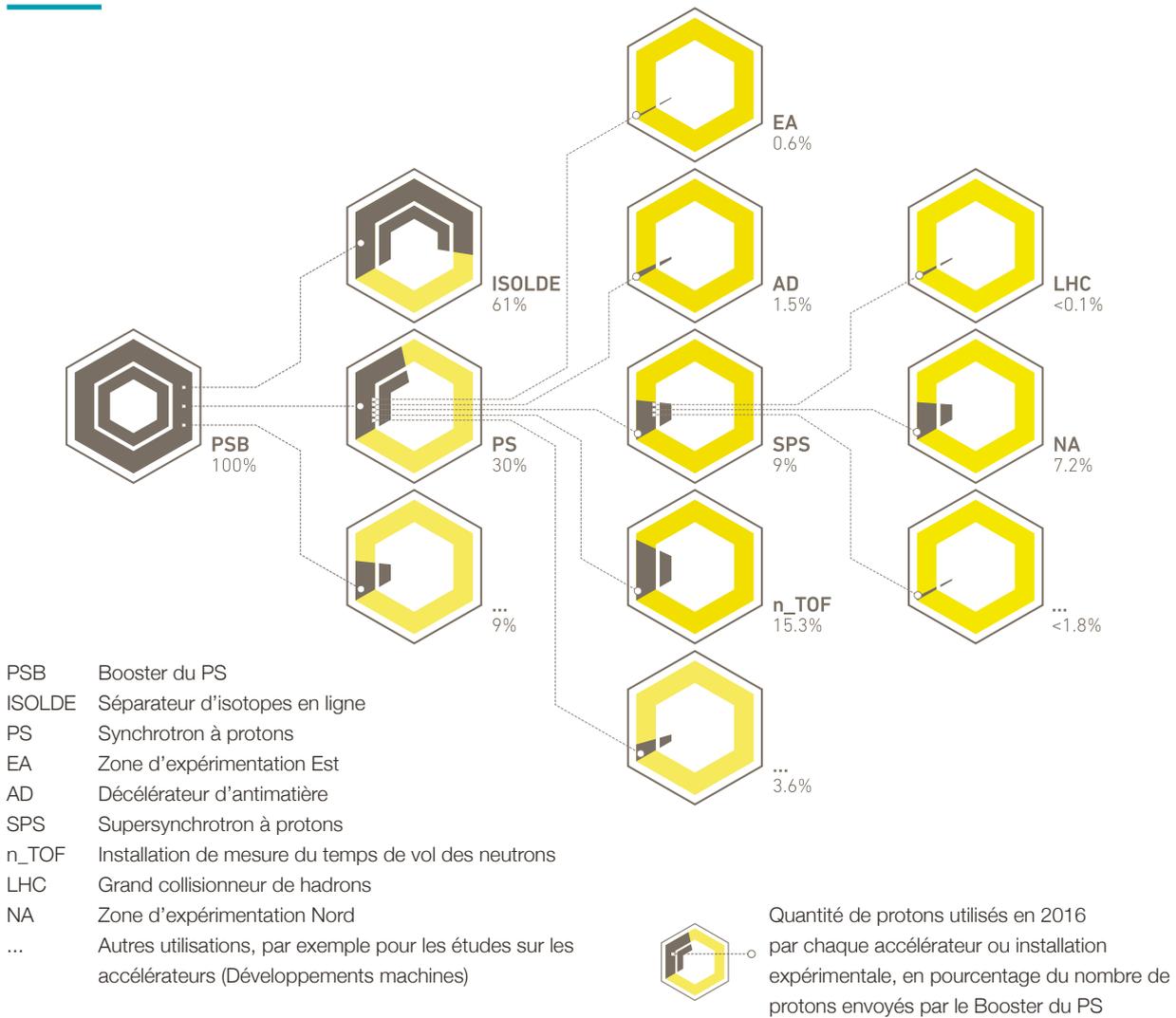
Un nouveau système d'arrêt de faisceau pour le SPS a été conçu et fabriqué en quelques mois seulement pour être installé dans l'accélérateur durant l'arrêt technique hivernal. (CERN-PHO-201704-084-15)

Pour répondre aux demandes des expériences, le LHC et ses injecteurs ont effectué une gymnastique compliquée. Deux niveaux d'énergie et trois configurations de la machine ont ainsi été proposés en quatre semaines d'exploitation. Une exploitation spéciale a été menée pour l'expérience LHCf.

La luminosité instantanée a dépassé sept fois la valeur nominale établie quelques années plus tôt pour ce type d'exploitation. Les périodes de collisions ont été exceptionnellement longues.

La performance est notable : pour que se percutent des protons et des ions plomb, environ 206 fois plus massifs et avec une charge 82 fois supérieure, de nombreux réglages minutieux de la machine sont effectués. Le LHC a pu compter sur des injecteurs très performants.

## DISTRIBUTION DES PROTONS PAR LE COMPLEXE D'ACCÉLÉRATEURS AUX DIFFÉRENTES INSTALLATIONS



**1,34 x 10<sup>20</sup> protons** ont été accélérés en 2016 dans le complexe d'accélérateurs. Ce nombre paraît énorme, mais il correspond en réalité à une toute petite quantité de matière, équivalant à peu près au nombre de protons dans un grain de sable. Les protons sont tellement minuscules que cette quantité suffit pour alimenter toutes les expériences. Le LHC n'utilise qu'une infime partie de ces protons, moins de 0,1%, comme le montre le schéma.

## ACCÉLÉRATION EN CHAÎNE

Le CERN exploite un complexe comprenant huit accélérateurs et un décélérateur, lesquels alimentent des dizaines d'expériences (voir p. 13). Ces accélérateurs servent aussi à propulser les particules pour le LHC. Les protons pour le LHC sont mis en paquets et accélérés par quatre accélérateurs successifs : le Linac 2, l'injecteur du PS (Booster du PS), le Synchrotron à protons (PS) et enfin le Supersynchrotron à protons (SPS). Les ions lourds sont préparés dans le Linac 3 et l'Anneau d'ions de basse énergie (LEIR) avant d'être envoyés vers le PS et le SPS.

La chaîne d'injecteurs a enregistré de belles performances, avec une disponibilité supérieure à 90 % pour tous les accélérateurs. Le Booster du PS, qui groupe les particules en paquets, a par exemple affiché une disponibilité de

96 %, alimentant le PS et l'installation de physique nucléaire ISOLDE. Un maillon plus loin, le PS redistribue les paquets de particules et les accélère avant de les envoyer vers diverses installations. La moitié des protons issus du PS sont destinés à l'installation de physique nucléaire n\_TOF. Une cavité de réserve a été mise en service dans le PS afin d'améliorer la transmission des particules vers le SPS.

Le SPS a alimenté le LHC et fourni 80 % des protons requis par la zone d'expérimentation Nord. La performance est notable car une fuite de vide détectée au niveau de l'arrêt de faisceau limitait le nombre de particules dans l'accélérateur. Un programme d'urgence a été lancé pour fabriquer en quelques mois un nouveau système d'arrêt de faisceau. En fin d'année, l'accélérateur a prouvé sa flexibilité, fournissant des noyaux de plomb de trois énergies différentes à neuf expériences de la zone d'expérimentation Nord, tout en alimentant le LHC avec des protons et des noyaux de



## L'espion en mission dans le tunnel

TIM, le train monorail d'inspection, est un mini-véhicule autonome utilisé pour l'inspection et la surveillance en temps réel des 27 km de tunnel du LHC. Il en contrôle la structure, le taux d'oxygène, la température et la bande passante. Suspendu au plafond, il peut se déplacer jusqu'à 6 km/h. En 2016, plusieurs missions ont été confiées à TIM, qui a notamment mesuré le niveau de rayonnement. Le robot a déjà séduit le monde de l'industrie, en particulier pour le contrôle autonome d'infrastructures telles que des canalisations souterraines. (OPEN-PHO-TECH-2017-004-1)



*Le Supersynchrotron à protons (SPS), deuxième plus grand accélérateur du CERN, a fêté ses 40 ans en 2016.*

*Maillon essentiel du complexe d'accélérateurs du CERN, le SPS fournit différents types de particules à une myriade d'expériences.*

*Il accélère des protons et des ions plomb pour le LHC, tout en alimentant les expériences de la zone d'expérimentation Nord. (CERN-GE-1311288-04)*

plomb. Le Linac 3 et le LEIR, les deux accélérateurs qui préparent les ions lourds en amont, ont affiché d'excellentes performances, prouvant la réussite du programme d'amélioration mené depuis 2015. Ils ont délivré des paquets d'intensités supérieures aux caractéristiques requises dans le cadre du programme d'amélioration des injecteurs pour le LHC à haute luminosité. Le Décélérateur d'antimatière AD, qui envoie des antiprotons à cinq expériences, a fourni 5 400 heures de physique en 2016, un nouveau record.

Tandis que les machines tournaient, les équipes s'activaient en coulisses pour préparer les maintenances et les améliorations. Plusieurs sous-stations électriques, notamment celles du SPS, sont par exemple progressivement rénovées. Des études ont été lancées pour moderniser la zone d'expérimentation Est durant le deuxième long arrêt technique. Une fois les machines arrêtées, début décembre, les travaux de maintenance et d'amélioration ont débuté. La pause hivernale 2016-2017 a été prolongée de sept semaines, afin de réaliser des travaux plus importants.

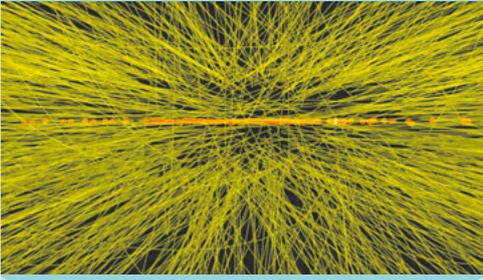
## LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE À PLUS HAUTE ÉNERGIE

L'installation de physique nucléaire ISOLDE fait le plein d'énergie. Depuis septembre 2016, le nouvel accélérateur supraconducteur HIE-ISOLDE (ISOLDE à haute intensité et haute énergie) dope l'énergie des faisceaux d'ions radioactifs.

Dotée de deux cryomodules comprenant chacun cinq cavités supraconductrices, la nouvelle machine a accéléré six espèces d'ions radioactifs à des énergies allant de 4,3 à 6,8 MeV par nucléon (contre 3 MeV par nucléon au maximum auparavant). HIE-ISOLDE a fourni 837 heures de temps de faisceau, alimentant deux zones d'expérimentation.

Cette amélioration fait d'ISOLDE la seule installation au monde à pouvoir étudier des noyaux moyens à lourds dans cette gamme d'énergies. La seconde phase du projet prévoit l'installation de deux cryomodules et une troisième zone d'expérimentation pour atteindre en 2018 jusqu'à 10 MeV par nucléon pour les noyaux moyens et lourds.

## Les expériences face à l'avalanche de données



*Un empilement de plusieurs dizaines d'interactions enregistrées simultanément lors d'un seul croisement de faisceau par l'expérience CMS en 2016. Chaque collision est représentée par un point orange. (CMS-PHO-EVENTS-2016-008-5)*

Les grands détecteurs du LHC sont des machines très complexes, formées chacune de millions de composants qui doivent fonctionner de concert pour identifier les particules créées lors des collisions au LHC. En fonctionnant avec une luminosité inédite, le LHC a mis à rude épreuve les systèmes de déclenchement qui sélectionnent les collisions. Ces systèmes « décident » de conserver les données d'une collision en fonction d'informations transmises par des sous-systèmes spécifiques.

En 2016, le LHC a généré en moyenne 25 collisions simultanées, à une fréquence de 25 millions de fois par seconde, soit près de deux fois plus qu'en 2015. Les expériences ont adapté leur système de déclenchement à cet empilement d'interactions. ATLAS a optimisé les algorithmes de son système de déclenchement et adapté le traitement par la grille de calcul. CMS a enregistré les données avec un système de déclenchement entièrement amélioré. ATLAS et CMS ont ainsi utilisé plus de 90 % des données délivrées pour leurs analyses.

L'expérience LHCb a également fonctionné avec un système de déclenchement amélioré, ainsi qu'avec un système de reconstruction des événements en temps réel. L'expérience a enregistré 1,7 femtobarn inverse de données avec les collisions proton-proton, cinq fois plus qu'en 2015, et pris pour la première fois des données avec des ions lourds.

ALICE, spécialisé dans la physique des ions lourds, a enregistré près de dix fois plus d'événements proton-plomb à l'énergie de 5,02 TeV que lors de la précédente campagne en 2013. ALICE a utilisé deux modes de sélection : un déclenchement dit de « biais minimum » pour enregistrer indistinctement tous les types de collisions et un déclenchement permettant de sélectionner des événements rares pour des études spécifiques. ALICE a également accumulé des données avec des protons selon les objectifs fixés.

La machine pourra alors accélérer des noyaux moyens et lourds jusqu'à 10 MeV par nucléon, dépassant cette énergie pour les noyaux plus légers. Le troisième cryomodule a été assemblé en 2016 et sera installé en 2017.

ISOLDE offre à ses utilisateurs un large éventail de faisceaux. L'installation peut produire jusqu'à 1 000 isotopes différents de 75 éléments chimiques. En 2016, ISOLDE a alimenté 46 expériences allant de l'étude des propriétés des noyaux atomiques aux recherches biomédicales, en passant par l'astrophysique (voir p. 18).

*Un troisième cryomodule a été assemblé en 2016 pour préparer la deuxième phase du projet HIE-ISOLDE, l'accélérateur linéaire supraconducteur qui augmente l'énergie des ions radioactifs destinés à ISOLDE. (CERN-PHOTO-201603-057-20)*





Le centre de calcul du CERN abrite les serveurs et les systèmes de stockage de données de la Grille de calcul mondiale pour le LHC (WLCG), mais aussi ceux dédiés aux systèmes critiques du Laboratoire, essentiels à son fonctionnement quotidien. (OPEN-PHO-CCC-2017-001-1)

## INFORMATIQUE : REPOUSSER LES LIMITES

Une quantité de données sans précédent a été produite cette année grâce à la disponibilité et aux performances exceptionnelles du Grand collisionneur de hadrons (LHC). Le LHC a produit des faisceaux stables pendant 7,5 millions de secondes, soit une augmentation significative de 50 % par rapport aux prévisions. À plus haute énergie, les collisions sont plus complexes et, avec une plus haute intensité, un grand nombre de collisions se produisent simultanément. Cela accroît grandement la complexité de la reconstruction et de l'analyse, et impacte fortement les besoins en capacité de calcul. L'année 2016 a ainsi été riche en records tant pour l'acquisition des données, leur flux et volume, que pour l'utilisation des ressources informatiques et de stockage, qui s'est avérée exceptionnelle.

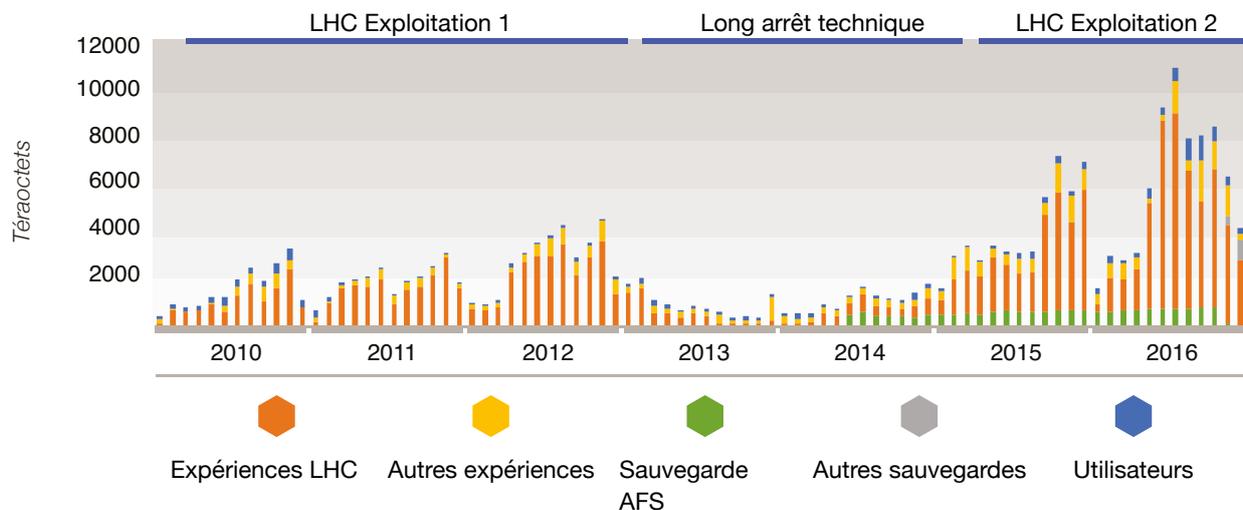
## UNE PLUIE DE RECORDS

La Grille de calcul mondiale pour le LHC (WLCG) est une collaboration globale de plus de 170 centres de calcul basés dans 42 pays. Elle a pour but de fournir les ressources nécessaires au stockage, à la distribution et à l'analyse des données générées par le LHC. La performance de l'infrastructure de la Grille a permis de faire face aux besoins

et niveaux d'utilisation accrus, et, comme les années passées, d'obtenir des résultats de physique de qualité en un temps record. À titre d'exemple, les résultats sur lesquels se sont appuyées les analyses présentées à la conférence ICHEP début août incluaient des données produites deux semaines seulement auparavant. En 2016, le centre de calcul du CERN a enregistré plus de 49 pétaoctets (Po) de données du LHC, avec, pour le seul mois de juillet, un chiffre impressionnant de 11 Po : deux records pour le moins exceptionnels. Les expériences ont utilisé de manière optimale l'importante capacité informatique des 170 sites de la Grille WLCG. Elles ont également su opportunément tirer parti de ressources informatiques additionnelles, tant sous la forme de cycles additionnels fournis par des centres équipés de supercalculateurs, que grâce à la contribution des volontaires de LHC@home ayant prêté du temps machine de leur ordinateur.

## LES DÉFIS DES RÉSEAUX

L'une des composantes les plus impressionnantes de la Grille WLCG est peut-être la connectivité et tout ce qui a trait aux réseaux. Grâce à eux, tant au CERN que plus largement au niveau mondial, la Grille est à même de lancer la distribution des données ensuite partagées avec des centaines d'instituts collaborant internationalement.



### Données enregistrées sur bandes au CERN de façon mensuelle

Ce graphique représente la quantité de données enregistrées mensuellement sur bandes magnétiques selon leur origine : expériences LHC, autres expériences, sauvegardes diverses, et utilisateurs. L'année 2016 est celle de tous les records, avec 49 pétaoctets (49 467 téraoctets exactement) de données du LHC enregistrées et, pour le seul mois de juillet, un pic à 11 pétaoctets.

En 2016, les taux de transfert de données globaux ont eux aussi atteint des sommets. Des taux deux fois plus élevés que durant la première période d'exploitation du LHC ont été enregistrés, allant de 30 à 40 gigaoctets par seconde en continu. Si, dans la majorité des cas, la Grille a su gérer sans anicroche cette augmentation, quelques aménagements ont parfois été requis ; certains sites ont notamment dû accroître la bande passante les reliant au CERN. La bande passante transatlantique plus élevée qui avait été mise en place en vue de cette deuxième période d'exploitation du LHC s'est par ailleurs avérée essentielle.

## LA SCIENCE DANS LES NUAGES

Plus de 90 % des ressources informatiques du centre de calcul du CERN sont aujourd'hui déployées via un nuage privé basé sur OpenStack, un projet *open source* permettant d'établir un environnement en nuage extrêmement modulable. En 2016, en collaboration avec Rackspace et le projet Indigo DataCloud, le CERN a de nouveau largement contribué au développement d'OpenStack en participant à une quarantaine d'améliorations ou corrections de bugs. La communauté OpenStack a par ailleurs salué la qualité de ces contributions en conférant le statut de relecteur principal à l'un des membres de l'équipe. Du fait de l'augmentation des besoins informatiques des différents services du CERN et de ses expériences, le nuage privé du CERN compte maintenant plus de 190 000 cœurs de processeurs répartis dans ses centres de calcul de Meyrin et Budapest. Cette année, du fait d'une campagne de remplacement de serveurs, ce ne sont pas moins de 5 000 machines virtuelles qui ont été migrées sur de nouveaux hôtes physiques.

Au cours de ces trois dernières années, des études ont été conduites afin de déterminer si des applications de physique peuvent fonctionner grâce à des ressources nuagiques publiques. Avec le développement de l'informatique en nuage, cette approche pourrait en effet s'avérer intéressante pour pallier des augmentations de besoins ponctuelles ou pour fournir de la puissance de calcul à un coût attractif. Par ailleurs, d'importants tests ont été menés à grande échelle pour évaluer l'utilisation de ressources nuagiques commerciales en complément des ressources de la Grille. Ces ressources ont été mises à disposition soit dans le cadre de projets de recherche effectués en collaboration avec certains des grands acteurs commerciaux de l'informatique en nuage, ou, dans une moindre mesure, via des appels d'offres.

Depuis le début de l'année 2016, le CERN coordonne avec succès deux projets. Le premier, PICSE, vise à constituer un réseau de passation de marchés mutualisant les organisations de recherche publiques utilisant des services en nuage commerciaux. Le second est le projet d'achat pré-commercialisation HNSciCloud. Pas moins de 10 instituts de recherche de premier plan sont également parties prenantes de ce projet européen qui s'appuie sur les développements techniques, les réglementations et les pratiques d'achats en Europe afin de lutter contre la fragmentation et d'améliorer l'exploitation des ressources en nuage. Dans ce cadre, quatre consortiums totalisant 16 sociétés et organisations ont reçu un contrat le 2 novembre à Lyon, à l'occasion d'une cérémonie organisée par le CNRS. L'architecture en nuage hybride d'Helix Nebula et son modèle de passation de marchés représentent des avancées significatives en faveur de la viabilité des « e-infrastructures » européennes et de l'établissement d'un « Nuage européen pour la science ouverte ».



Les bandes magnétiques, gérées par des bras robotisés, sont utilisées pour le stockage à long terme. (CERN-GE-0809016-01)

## Préserver les données pour les générations futures

Au fil de ses plus de 60 ans d'histoire, le CERN a produit de grands volumes de données de tous types : des données scientifiques – plus de 185 Po à ce jour provenant d'expériences de physique des hautes énergies – mais également des photographies, des vidéos, des comptes rendus, des notes, des pages web, etc. Le CERN doit donc faire face au défi de préserver sa mémoire numérique. Les formats des données et les outils pour y accéder étant en perpétuelle évolution, un effort soutenu est nécessaire pour répondre à ce problème. Cependant, il est intéressant de noter que de nombreux outils utiles à la préservation des données du LHC et d'autres expériences sont également adaptés à des données d'autre nature. Le CERN est à l'avant-garde dans ce domaine et participe en tant que membre fondateur à la collaboration DPHEP (*Data Preservation and Long-Term Analysis in High-Energy Physics*), qui œuvre pour la préservation des données en physique des hautes énergies.

La publication d'un rapport d'avancement sur les progrès réalisés durant la période 2013-2015 a été publiée en février 2016 et est accessible à tous.

Le défi principal de la préservation à long terme des données via des bibliothèques de bandes magnétiques tient à leur vulnérabilité à la contamination par les particules de poussière contenues dans l'air, ou toute autre particule, susceptibles d'interférer avec le processus de lecture et d'écriture. Le CERN a conçu et construit des capteurs environnementaux spécialement adaptés au centre de calcul, basés sur une carte Raspberry Pi et un processeur Arduino. Leur précision et leur rapidité sont comparables à celles des systèmes vendus sur le marché, toutefois, ces capteurs sont 50 fois moins chers et ne nécessitent aucune maintenance. Depuis 2016, ils sont dotés de nouvelles fonctionnalités leur permettant de faire la distinction entre petites et grosses particules, ainsi que de détecter des émissions très courtes dans de forts flux d'air. Cette nouvelle génération de capteurs a permis d'éviter un incident majeur dans le centre de calcul du CERN en 2016. D'autres possibilités d'utilisation sont actuellement à l'étude. Les données concernant ces capteurs sont disponibles gratuitement via la licence *Open Hardware* du CERN.



### Évolution du volume de données stockées sur bandes

Comme le montre ce graphique, les données enregistrées sur bandes au CERN ont crû de manière régulière au fil des années, avec une accélération visible en 2016 (+ 40 % de données stockées en 2016 par rapport au total de données cumulées jusqu'à fin 2015).



La journée portes ouvertes de CERN openlab en juin a marqué le 15<sup>e</sup> anniversaire de la collaboration avec l'industrie au service de la communauté de recherche du LHC.  
(OPEN-PHO-TECH-2016-002-4)

## CERN openlab célèbre 15 ans de collaboration

En 2016, CERN openlab a fêté 15 ans de partenariats public-privé, au travers desquels le Laboratoire collabore avec des entreprises et des instituts de recherche de premier plan dans le domaine des technologies de l'information et de la communication. Tout au long de l'année, des activités ont été menées pour relever des défis dans des domaines tels que l'acquisition de données, les plates-formes de calcul, l'architecture de stockage de données, la mise en service et la gestion d'ordinateurs, les réseaux et la communication, et l'analyse de données. CERN openlab a d'ores et déjà commencé à identifier de nouveaux défis à relever pendant sa sixième phase, qui se déroulera de 2018 à 2020.

## LOGICIELS LIBRES POUR UNE SCIENCE OUVERTE

La pierre angulaire de la philosophie *open source* est de permettre aux utilisateurs l'accès à tout ce qui constitue une technologie donnée (comme le code source par exemple ou les schémas techniques en électronique ou en mécanique) afin de pouvoir l'étudier, la modifier et ensuite partager ce qui a été développé. Depuis la sortie du logiciel du Web sous licence libre en 1994, le CERN n'a eu de cesse d'innover dans ce domaine, soutenant le matériel libre (avec la licence *CERN Open Hardware*), l'accès ouvert (avec SCOAP 3 – Groupement pour la libre diffusion des résultats de physique des particules, voir p. 35), et les données ouvertes (avec le portail de données ouvertes pour les expériences du LHC).

Plusieurs technologies du CERN sont développées dans cette logique d'accès ouvert. Invenio est par exemple un

logiciel *open source* de gestion de bibliothèque numérique bénéficiant des contributions internationales de nombreux instituts. Invenio 3, lancé en 2016, s'appuie sur un tout nouveau concept et a bénéficié d'une réécriture complète de son code source.

Le CERN investit également depuis longtemps, avec le cofinancement de la Commission européenne, dans un système d'archivage de données ouvertes au service de la communauté scientifique au sens large : Zenodo. Ce service s'inscrit dans une tradition établie de longue date au CERN, qui consiste à partager et préserver le savoir scientifique pour le bien commun et s'appuie sur les technologies développées dans ce but. Zenodo donne à la communauté scientifique la possibilité de choisir de stocker ses données dans un environnement non commercial et de les rendre ainsi librement et gratuitement accessibles à la société.

En septembre 2016, Zenodo a bénéficié d'améliorations basées sur Invenio 3 : les recherches sont depuis dix fois plus rapides, les enregistrements de fichiers jusqu'à 100 Go améliorés, et deux fois plus de visiteurs pour trois fois plus d'enregistrements ont été comptabilisés. Le portail de données ouvertes qui donne accès à tous aux données des expériences est également basé sur la technologie d'Invenio. En collaboration avec le Service d'information scientifique, 300 To de données de CMS produites en 2011 ont pu être mises à disposition grâce au portail en 2016, donnant lieu à une forte couverture médiatique et 210 000 visites uniques du site.

## TECHNOLOGIES DE PLATE-FORME POUR UNE COLLABORATION OUVERTE

Le système de stockage du CERN EOS a été conçu pour répondre aux besoins informatiques très poussés du LHC. Il comptabilisait près d'un milliard de fichiers en 2016, un chiffre à la mesure des performances exceptionnelles du LHC et de ses expériences. EOS (via le projet CERNBox) est pleinement compatible avec les opérations hors ligne et permet un accès aux fichiers et leur partage à partir d'un simple navigateur web. De ce fait, son adoption au CERN pour de nouvelles applications est en expansion, avec déjà près de 7 000 utilisateurs individuels. L'intérêt qui lui est porté dépasse également les frontières de la physique des hautes énergies : AARNET (*Australian Academic and Research Network*) et le *Joint Research Centre for Digital Earth and Reference Data* l'ont tous deux adopté pour l'intégrer à leurs systèmes traitant de grands volumes de données.

Enfin, Indico, un logiciel de gestion de conférences et d'événements, est également un exemple d'outil *open source* développé par le CERN. Il est utilisé par plus de 200 sites dans le monde entier, y compris l'ONU. En 2016, trois mises à jour ont été publiées, améliorant la gestion des horaires et des catégories, ainsi que le processus de révision des résumés.