

LES MACHINES DES DÉCOUVERTES

Pour étudier l'infiniment petit, le CERN et les collaborations pour les expériences exploitent un complexe d'accélérateurs et de détecteurs unique au monde. Les accélérateurs propulsent d'infimes particules subatomiques à des vitesses faramineuses afin de les faire entrer en collision entre elles ou contre des cibles. Des détecteurs enregistrent ce qui se passe lors des collisions. Les énormes volumes de données enregistrées sont stockés et analysés à l'aide d'un réseau d'ordinateurs planétaire. Des centaines de scientifiques assurent l'exploitation et la maintenance de ces installations sophistiquées.

Le Grand collisionneur de hadrons a terminé sa deuxième période d'exploitation sur un record de collisions. (CERN-PHOTO-201802-030-4)

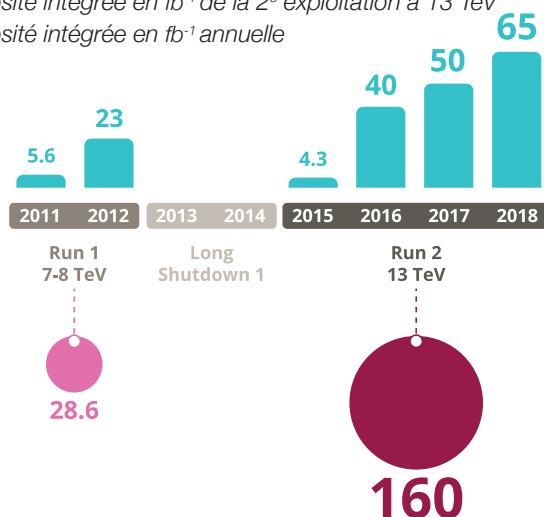




L'équipe des opérateurs et des membres de la Direction du CERN applaudissent le retour des faisceaux dans le LHC, le 29 mars 2018.

(OPEN-PHO-ACCEL-2018-012-01)

- Luminosité intégrée en fb^{-1} de la 1^{ère} exploitation à 7 et 8 TeV
- Luminosité intégrée en fb^{-1} de la 2^e exploitation à 13 TeV
- Luminosité intégrée en fb^{-1} annuelle



Évolution de la luminosité du LHC

Quantité de collisions proton-proton délivrées par le LHC depuis le début de son exploitation à chacune des expériences ATLAS et CMS. Cette quantité est exprimée par la luminosité intégrée (en femtobarns inverses, fb^{-1}) qui représente le nombre potentiel de collisions par unité de surface et sur une période donnée. Cette luminosité intégrée est indiquée pour les deux périodes d'exploitation : le LHC a atteint $28,6 fb^{-1}$ durant la première exploitation (Run 1) et $160 fb^{-1}$ durant la deuxième (Run 2).

LUMINOSITÉ AU SOMMET POUR LE LHC

Le 3 décembre au petit matin, les opérateurs stoppaient les faisceaux de particules du Grand collisionneur de hadrons (LHC), mettant ainsi fin, au terme d'une année fructueuse, à la deuxième période d'exploitation de l'accélérateur. En 2018, le plus puissant collisionneur du monde a produit plus de 13 millions de milliards de collisions de protons. Une luminosité intégrée de 66 femtobarns inverses (fb^{-1}) a été fournie à chacune des deux expériences polyvalentes ATLAS et CMS, soit 10 % de plus que l'objectif fixé. Paramètre important d'un collisionneur, la luminosité indique le nombre de collisions pouvant se produire par unité de surface et de temps.

Grâce à des améliorations permanentes, les performances du LHC ont augmenté d'année en année pour culminer en 2018. Au total, les quatre années de la deuxième période d'exploitation à une énergie de 13 TeV ont permis aux

expériences ATLAS et CMS de collecter chacune $160 fb^{-1}$ de données avec des protons, au-delà des 150 prévus.

La remise en marche avec faisceau du complexe d'accélérateurs a débuté le 2 mars, et celle du LHC le 29 mars. Un mois plus tard, la collecte des données du LHC était lancée avec la mise en circulation de deux faisceaux de 1 200 paquets de protons. Le nombre maximal de paquets, à savoir 2 556, était atteint début mai, deux semaines avant la date prévue. Comme en 2017, le LHC a affiché une disponibilité (temps de fonctionnement) de 75 %, faisant circuler des faisceaux et produisant des collisions pendant 49 % du temps. Afin d'augmenter la luminosité, tout en évitant un empiement de données trop important, plusieurs techniques testées au cours de l'exploitation précédente ont été mises en œuvre. La nouvelle configuration de l'optique dite « compression télescopique achromatique », développée pour le LHC à haute luminosité et qui permet de comprimer davantage le faisceau au point de collision, a été systématiquement utilisée.

Le LHC teste la haute luminosité

Des composants développés pour le LHC à haute luminosité ont déjà été mis en place dans le LHC pour être testés en conditions réelles, c'est-à-dire en présence de faisceaux. Deux nouveaux collimateurs à fil ont été installés pendant l'arrêt hivernal : leur conducteur intégré génère un champ magnétique pour compenser certaines perturbations de faisceaux. Un nouveau collimateur à cristal a été installé : les cristaux courbes dont il est doté, testés depuis plusieurs années dans le SPS et lors de périodes d'essais dans le LHC, dévient les particules qui s'éloignent de la trajectoire vers des absorbeurs. Pour la première fois, ce type de collimateur a été utilisé pendant une exploitation avec des faisceaux. Enfin, deux autres composants prototypes ont été installés : un collimateur avec des mâchoires en graphite-molybdène et un aimant à déflexion plus rapide doté d'un revêtement spécial pour limiter les échauffements. Cet aimant permettra de remplir de manière optimale le LHC.



*De nouveaux collimateurs développés pour le LHC à haute luminosité ont été installés dans le LHC, dont deux exemplaires près de l'expérience ATLAS.
(CERN-PHOTO-201801-011-1)*

Le paramètre β^* , en centimètres, mesure le taux de compression des faisceaux. Plus il est petit, plus le faisceau est comprimé et plus le nombre de collisions est important. En 2018, le LHC a fonctionné avec un β^* de 30 cm pour ATLAS et CMS, comparé aux 80 cm définis au moment de la conception du LHC. Pour optimiser la luminosité au cours des cycles, les opérateurs ont encore réduit le paramètre β^* à la fin des cycles, le ramenant à 27 puis 25 cm. Ils ont également fait varier l'angle de croisement des faisceaux. Ces opérations avaient aussi pour objectif de tester les méthodes d'exploitation pour le LHC à haute luminosité.

Les détecteurs du LHC ont fait face à ces quantités faramineuses de données. Le LHC a généré en moyenne près de 40 collisions simultanées à chaque croisement de faisceau (environ 30 millions de fois par seconde) au cœur d'ATLAS et de CMS, avec des pics à 60 collisions par croisement. Cette luminosité instantanée a contraint les systèmes de déclenchement et d'acquisition à fonctionner à pleine capacité. ATLAS et CMS sont parvenus à collecter plus de 94 % des données.

Les expériences LHCb et ALICE n'ont pas été conçues pour absorber un tel flux de données. Par conséquent, la luminosité instantanée est délibérément abaissée en jouant sur le recouvrement des faisceaux lorsqu'ils se croisent. En 2018, les deux expériences ont obtenu une luminosité intégrée plus élevée que prévu : $2,46 \text{ fb}^{-1}$ pour LHCb et $27,3 \text{ pb}^{-1}$ pour ALICE. Deux exploitations spéciales se sont déroulées avec des faisceaux décompressés, les protons se croisant à très faible angle pour que les expériences, notamment TOTEM et ATLAS/ALFA, réalisent des analyses spécifiques.

Quatre périodes de développement machine ont permis de tester des modes de fonctionnement et des équipements pour préparer les futures exploitations. Une vingtaine de tests ont été menés lors de chaque période, portant notamment sur les instabilités des faisceaux, la charge thermique transférée au système cryogénique, les réglages de l'optique ou encore des essais de nouveaux équipements comme les collimateurs.

VALSE D'IONS DANS LA GRANDE MACHINE

L'exploitation 2018 du LHC s'est achevée avec une quatrième campagne de collisions d'ions plomb. Pendant trois semaines et demie, le collisionneur a fait se percuter des noyaux d'atomes formés de 208 protons et neutrons, à une énergie de 5,02 téraélectronvolts (TeV) par paire de nucléons. Malgré une mise en service complexe, avec une réparation de la source d'ions, la collecte de données pour la physique a dépassé les prévisions. Un travail important a été réalisé sur les injecteurs pour augmenter le nombre d'ions dans chaque paquet et de paquets dans chaque faisceau. L'espace entre les paquets a été réduit de 100 à 75 nanosecondes. Combiné à une nouvelle configuration de l'optique, ce mode d'exploitation a permis d'augmenter la luminosité : ATLAS et CMS ont enregistré un record de luminosité instantanée atteignant six fois la valeur nominale. Au final, ATLAS et CMS ont collecté $1,8 \text{ nb}^{-1}$ de données, $0,9 \text{ nb}^{-1}$ pour ALICE et $0,24 \text{ nb}^{-1}$ pour LHCb.

Les ions plomb sont d'habitude entièrement « épluchés » de tous leurs électrons avant d'être accélérés. Mais le LHC

a réalisé une exploitation inédite avec des ions conservant encore un électron. Dans le cadre de l'étude « Physique au-delà des collisionneurs » (voir p. 48), une collaboration étudie en effet la possibilité d'accélérer des atomes partiellement ionisés. Grâce aux excellentes conditions de vide dans le LHC, la durée de vie du faisceau d'ions partiellement ionisé a atteint 40 heures.

LE PLUS GRAND RÉSEAU D'ACCÉLÉRATEURS

Les performances du LHC reposent également sur celles du complexe d'accélérateurs qui produit et accélère les faisceaux avant leur injection dans l'anneau de 27 km. Le CERN exploite une chaîne de huit accélérateurs et un décélérateur alimentant le LHC et des dizaines d'expériences (voir p. 14). Les protons pour le LHC sont préparés par une série de quatre accélérateurs : le Linac 2, le Booster du PS, le Synchrotron à protons (PS), et 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 disponibilité de la plupart des accélérateurs a dépassé 90 %. Ce score a même atteint 95 % pour le Booster du PS et 99 % pour le Linac 2. La prestation du Linac 2 a été d'autant plus remarquable que ce dernier propulsait ses derniers faisceaux. Après avoir préparé 30 000 milliards de milliards de protons durant ses quarante années de service, le premier maillon de la chaîne d'accélérateurs était définitivement arrêté le 12 novembre. Il laissera place au Linac 4, plus puissant (voir p. 44).

Le Booster du PS alimente le PS et l'installation de physique nucléaire ISOLDE. Il a fourni 10^{20} protons à ISOLDE, soit plus de 50 % de tous les protons envoyés dans le complexe d'accélérateurs. À l'orée de sa troisième année de fonctionnement, le nouvel accélérateur supraconducteur

HIE-ISOLDE a été doté d'un quatrième cryomodule d'accélération. L'accélérateur a fourni des noyaux d'atomes à 14 expériences à des énergies allant jusqu'à 9,5 MeV par nucléon, légèrement en-deçà des prévisions à cause d'une panne d'une cavité.

Un maillon plus loin, le PS regroupe les paquets de particules et les accélère avant de les transmettre à différentes zones d'expérimentation. La plupart des protons préparés par le PS ont été envoyés vers l'installation de physique nucléaire n_TOF, qui a reçu $2,31 \times 10^{19}$ protons, soit 6,5 % de mieux qu'escompté. Pour sa deuxième année de service, l'installation d'essai CLEAR a fonctionné durant 36 semaines, réalisant des tests pour des équipements du CERN, mais aussi pour des composants électroniques destinés à des applications médicales ou aérospatiales externes.

Le PS a par ailleurs envoyé des particules aux quatre lignes de faisceau de la zone Est, qui ont alimenté 27 expériences ainsi que les installations de test IRRAD (81 expériences) et CHARM (61 expériences). Également ravitaillé par le PS, le Décélérateur d'antiprotons (AD) a fourni des faisceaux à cinq expériences sur l'antimatière au cours de 4 700 heures de fonctionnement, ainsi qu'au nouveau décélérateur ELENA (voir p. 46). L'AD a cependant affiché une disponibilité réduite (64 %) en raison de plusieurs difficultés, principalement avec le système de refroidissement par électrons.

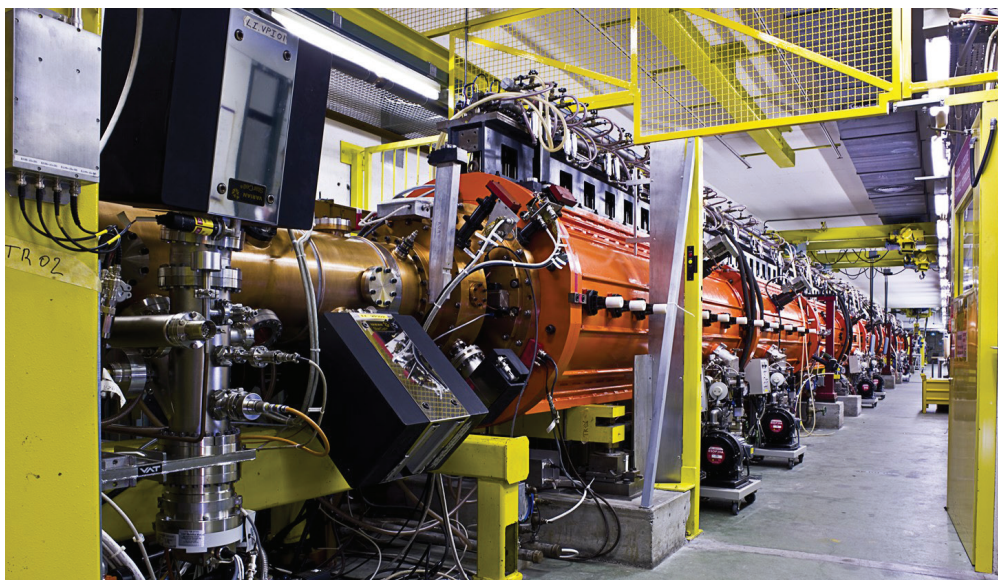
L'EXPLOITATION AVEC DES IONS

A PERMIS D'ATTEINDRE UNE

LUMINOSITÉ INSTANTANÉE

SIX FOIS SUPÉRIEURE À LA

VALEUR NOMINALE.



Après avoir préparé 30 000 milliards de milliards de protons en 40 ans de service, l'accélérateur linéaire Linac 2 a été mis à l'arrêt. Il sera remplacé après le long arrêt technique par le Linac 4. (CERN-EX-0804060-05)



Un nouveau transformateur de puissance de 400 kV, le plus grand du CERN, a été livré pour renforcer l'infrastructure électrique du Laboratoire.

(CERN-PHOTO-201810-254-31)

Le dernier injecteur de la chaîne, le SPS, propulse des protons vers le LHC, ainsi que vers les six lignes de faisceaux de la zone Nord, l'installation de test HiRadMat et l'expérience AWAKE (voir p. 49). Le SPS a livré des faisceaux d'excellente qualité au LHC. Il a également alimenté, avec une disponibilité de 80 %, la zone Nord, qui abrite 60 expériences. Parmi celles-ci, le détecteur prototype ProtoDUNE, sur la plateforme neutrino, a enregistré ses premières traces de particules (voir p. 19). HiRadMat a connu une année faste, avec un nombre record d'expériences (dix), dont certaines menées dans le cadre de l'accès transnational du projet européen ARIES.

Début décembre, le LHC consacrait une semaine de tests à l'entraînement de ses aimants supraconducteurs pour atteindre une énergie de 7 TeV par faisceau, au lieu de 6,5 TeV jusqu'à présent. L'objectif était d'évaluer le nombre de transitions résistives nécessaires pour préparer les aimants à une telle énergie.

Le deuxième long arrêt technique, de deux ans, a démarré le 10 décembre. Les préparatifs en cours depuis deux ans se sont intensifiés en 2018 (voir p. 44). De nombreuses interventions avaient déjà eu lieu sur les machines durant le dernier arrêt technique hivernal, dans le cadre notamment du projet d'amélioration des injecteurs du LHC. La campagne de décâblage, menée depuis plusieurs années, a continué avec le démantèlement de 240 kilomètres de câbles dans le PS. Une quinzaine d'aimants ont été remplacés sur la ligne de transfert entre le PS et le SPS. Une nouvelle instrumentation de faisceau a été installée sur la ligne de transfert entre le PS et le LEIR, tandis que celle du Linac 3 a été améliorée.

Dans le LHC, outre l'installation d'équipements pour la haute luminosité, les systèmes de contrôle du faisceau ont été mis à niveau et des travaux de consolidation de l'instrumentation ont été réalisés au point 4. L'infrastructure est également en pleine rénovation. L'un des faits marquants de l'année est la spectaculaire livraison d'un transformateur de puissance de 400 kilovolts, qui apporte une redondance pour l'alimentation électrique du Laboratoire.



De nouvelles infrastructures au service des accélérateurs

Un nouveau laboratoire de mesures magnétiques a ouvert ses portes sur le site de Meyrin en avril (photo). Doté de 17 bancs de test servant à réaliser l'ensemble des mesures et étalonnages sur les aimants résistifs, il a déjà testé une centaine d'aimants et de bobines. Sur le site de Prévessin, un laboratoire polymères de 400 m² avec des équipements de pointe (fours spéciaux, imprimantes 3D, etc.) est entré en service en fin d'année. Il remplace plusieurs ateliers qui n'étaient plus adaptés aux besoins du CERN. Des composants nécessitant des conceptions singulières y sont fabriqués pour les détecteurs et les accélérateurs. Ce laboratoire contribue également à l'imprégnation des bobines d'aimants supraconducteurs, notamment celles pour le LHC à haute luminosité. Enfin, les améliorations se sont poursuivies dans le hall de test des aimants supraconducteurs, infrastructure cruciale pour les futurs accélérateurs et à la pointe de ces technologies. Des bancs de test ont été modifiés pour répondre aux exigences des nouveaux aimants niobium-étain du LHC à haute luminosité et une station de test a été créée pour les lignes électriques supraconductrices. (CERN-PHOTO-201903-076-1)



Le Centre de calcul du CERN héberge non seulement les serveurs, systèmes de stockage de données et équipements réseau de la Grille de calcul mondiale pour le LHC, mais aussi les systèmes essentiels au fonctionnement quotidien du Laboratoire. (IT-PHO-CCC-2018-001-13)

REPOUSSER LES FRONTIÈRES DE L'INFORMATIQUE

Fin 2018, le LHC est arrivé au terme de sa deuxième exploitation, qui a vu la machine produire des collisions proton-proton à 13 TeV – le plus haut niveau d'énergie jamais atteint dans un accélérateur de particules. Pendant cette campagne, de 2015 à 2018, les performances de la machine ont dépassé toutes les attentes, et les expériences LHC ont donc produit des volumes de données sans précédent.

Cela a entraîné une utilisation exceptionnelle des ressources informatiques. De nombreux records ont été battus en termes d'acquisition, de débits et de volumes de données. Le système CASTOR (*CERN Advanced STORage system*), utilisant les bandes magnétiques pour l'archivage permanent des données, a atteint un volume de 330 pétaoctets (Po) de données enregistrées sur bande (330 millions de gigaoctets), l'équivalent de 2 000 ans d'enregistrement vidéo en HD. Pour le seul mois de novembre, un volume record de 15,8 Po a été enregistré sur bandes, résultat remarquable sachant que ce volume est supérieur à celui enregistré pendant la première année de la première exploitation du LHC. Le système de stockage distribué utilisé pour les expériences LHC a dépassé 200 Po de stockage brut, avec environ 600 millions de fichiers. Ce système *open source*, dénommé EOS, utilise des disques durs et a été développé au CERN pour les besoins en informatique hors du commun du LHC.

De nouvelles activités de recherche et développement en informatique ont déjà commencé en prévision de la troisième exploitation. CTA (*CERN Tape Archive*), un logiciel en cours de développement, remplacera à terme CASTOR. L'objectif

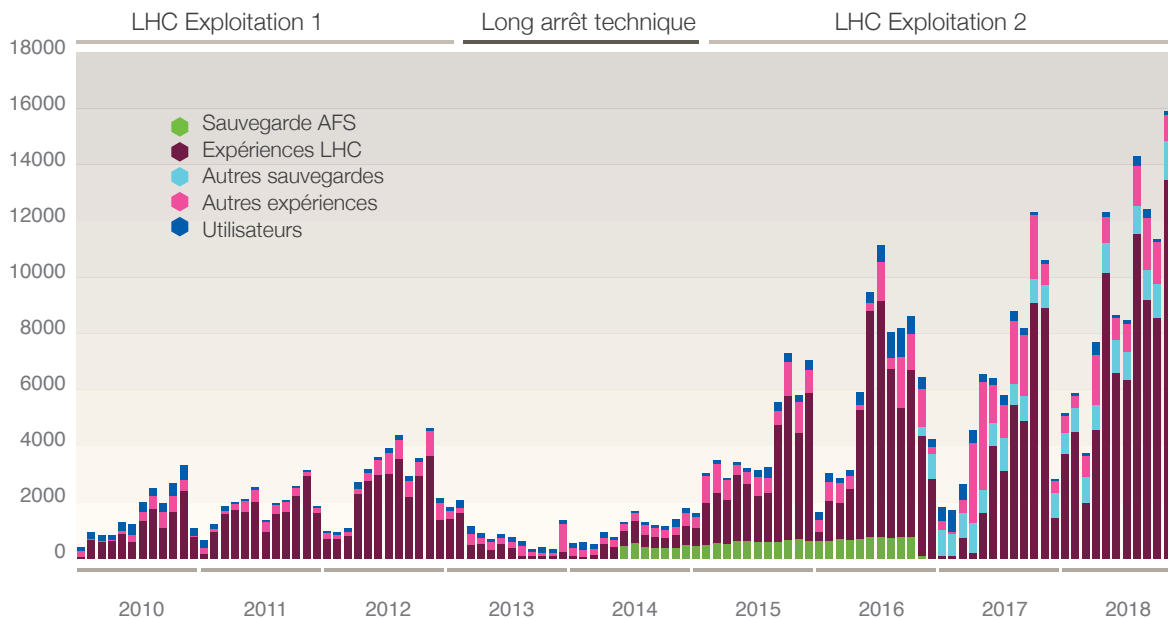
principal de CTA est d'utiliser plus efficacement les lecteurs de bandes, afin de faire face à la croissance exponentielle des débits de données attendue pendant les troisième et quatrième exploitations du LHC. Les volumes de données à archiver devraient être deux fois plus importants durant la troisième exploitation que pendant la deuxième, et à minima cinq fois plus importants durant la quatrième exploitation.

MONTÉE EN PUISSANCE DE LA GRILLE

En 2018, l'infrastructure globale de la Grille de calcul mondiale pour le LHC (WLCG) a bien fonctionné et s'est adaptée à la demande de performance toujours plus poussée des expériences, permettant la diffusion rapide de résultats de physique de haute qualité.

Le Centre de calcul du CERN a continué de réaliser les tâches essentielles que sont le traitement des données et la vérification de leur qualité. Le temps de calcul distribué dans le monde entier via la collaboration WLCG a continué de croître, avec environ 800 000 cœurs de processeurs disponibles en 2018. La distribution de données est un aspect clé du service WLCG, et les taux de transfert ont atteint de nouveaux niveaux records d'environ 60 gigaoctets par seconde en continu. Les données ont ainsi été transmises efficacement aux 170 centres de calcul qui composent la Grille WLCG.

Le projet FTS (*File Transfer Service*), qui assure la distribution de la majeure partie des données dans la Grille WLCG, a transféré plus d'un milliard de fichiers pour un total de 830 Po de données. FTS est maintenant utilisé par plus de 20 expériences au CERN et dans d'autres disciplines scientifiques faisant un usage intensif de données. Sous



Volumes mensuels de données (en téraoctets) enregistrées sur bandes au CERN.

Ce graphique montre le volume de données enregistrées sur bandes générées par les expériences LHC, d'autres expériences, diverses sauvegardes et les utilisateurs. En 2018, un total de plus de 115 pétaoctets de données (dont 88 pétaoctets provenant du LHC) ont été enregistrées sur bandes, avec un record de 15,8 pétaoctets en novembre.

l'égide du projet LHC@home, toutes les activités basées sur du temps de processeur mis à disposition par des volontaires pour le CERN ont de nouveau fourni des ressources significatives en 2018, atteignant des pics de 400 000 tâches exécutées simultanément.

particules ou dans d'autres disciplines scientifiques. Elle se compose de trois écoles distinctes, dont chacune a sa spécialité.

ÉDUCATION ET PARTAGE

En 2018, la principale École d'informatique du CERN (CSC) s'est déroulée du 1^{er} au 14 octobre à Tel Aviv, en Israël. Elle a rassemblé 71 étudiants de 25 nationalités. Depuis le début des années 1970, elle offre un enseignement de haut niveau et promeut l'échange de connaissances dans le domaine de l'informatique scientifique auprès de jeunes chercheurs et ingénieurs travaillant dans le domaine de la physique des

En octobre, la cinquième École CERN-UNESCO sur les bibliothèques numériques a rassemblé environ 35 documentalistes et responsables de systèmes de gestion de bibliothèque. Venant du Cameroun, du Kenya, de Somalie, de Tanzanie, d'Ouganda, de Zambie et du Zimbabwe, ils se sont réunis pour acquérir de nouvelles compétences dans le domaine des systèmes de bibliothèque numérique. Les participants ont découvert des méthodes de gestion utilisant la plateforme de dépôt numérique *open source* Invenio, de Zenodo, ainsi que la plateforme Open Access Africa. Ensemble, les centres de calcul de Meyrin et de Wigner comptabilisent environ 15 000 serveurs, qui sont remplacés tous les quatre ou cinq ans lorsqu'ils ne répondent plus aux



CERN OPENLAB : RELEVÉ LES DÉFIS INFORMATIQUES DU FUTUR

En 2018, CERN openlab a entamé sa sixième phase triennale (2018-2020). À travers ce partenariat public-privé unique, le CERN collabore avec des entreprises informatiques et des instituts de recherche de premier plan afin d'accélérer le développement de technologies de pointe pour la communauté scientifique. Dans cette nouvelle phase, pas moins de 20 projets de recherche et développement sont menés dans des domaines tels que l'apprentissage automatique, l'analyse de données, l'informatique en nuage et l'acquisition de données. Du 5 au 6 novembre, CERN openlab a organisé le premier atelier au CERN portant sur l'informatique quantique pour la physique des hautes énergies. Plus de 400 personnes ont participé à cet atelier, qui a donné le coup d'envoi de discussions visant à déterminer quelles activités dans le domaine de la physique des hautes énergies sont susceptibles de bénéficier des technologies de l'informatique quantique.

(CERN-HOMEWEB-PHO-2019-044-1)

besoins poussés du Laboratoire, mais restent cependant tout à fait adaptés à des environnements moins exigeants. En 2018, 200 serveurs et 12 commutateurs réseau ont été donnés à l'Université de Katmandou, au Népal, pour soutenir la recherche fondamentale et favoriser le développement des sciences et technologies.

LOGICIELS LIBRES POUR UNE SCIENCE OUVERTE

Depuis la sortie du logiciel du World Wide 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 SCOAP³ – Groupement pour la libre diffusion des résultats de physique des particules), et les données ouvertes (avec le portail de données ouvertes du CERN). Plusieurs technologies du CERN sont développées dans cette logique d'accès ouvert. Le logiciel de gestion de conférences et d'événements Indico, utilisé par plus de 200 sites dans le monde, a bénéficié de deux mises à jour importantes en 2018 et a permis de fournir leur badge à des milliers de visiteurs du CERN.

Zenodo, le système d'archivage de données ouvertes gratuit co-développé par le CERN et accessible à toutes les sciences, a vu son nombre de visiteurs multiplié par 2,5 par rapport à 2017. Zenodo a bénéficié d'une bourse du Fonds Arcadia, qui visait à améliorer des archives relatives à la biodiversité. Le CERN a également signé un mémorandum d'accord avec le réseau d'Amérique latine LA Referencia afin de faciliter l'usage de Zenodo dans cette partie du monde. Invenio est un logiciel *open source* de gestion de bibliothèque numérique bénéficiant de contributions internationales de nombreux instituts, et dont une mise à jour a été publiée en juin. Le CERN et l'Institut national d'informatique (NII) du Japon ont également signé un mémorandum d'accord pour

collaborer à une nouvelle plateforme basée sur Invenio, qui sera déployée dans plus de 500 universités japonaises.

LA SCIENCE DANS LES NUAGES

En 2018, le projet CernVM a célébré son dixième anniversaire. C'est maintenant un moyen extensible, portable et simple de configurer des environnements utilisateur permettant de développer et d'exécuter les logiciels de physique du LHC localement, sur des grilles et sur des nuages, quels que soient le système d'exploitation et le matériel.

Plus de 90 % des ressources informatiques du Centre de calcul du CERN sont déployées via un nuage privé basé sur OpenStack, un projet *open source* établissant un environnement en nuage extrêmement modulable. Du fait de l'augmentation des besoins informatiques des services du CERN et des expériences, le nuage privé du CERN comptabilise plus de 320 000 cœurs de processeurs dans son Centre de calcul.

Ces dernières années, le CERN a contribué activement aux communautés OpenStack et CentOS, et de nouvelles collaborations ont débuté en 2018 avec la fondation Cloud Native Computing et Tungsten Fabric. Le CERN est également devenu membre de la fondation Linux et est un membre fondateur de la fondation Ceph.

Le CERN participe à la mise en place du nuage européen pour la science ouverte (*European Science Cloud - EOSC*) via plusieurs projets Horizon 2020. L'EOSC vise à offrir à 1,7 million de chercheurs européens et à 70 millions de professionnels un environnement virtuel avec des services intégrés pour le stockage, la gestion, l'analyse et la réutilisation des données de la recherche, en fédérant les infrastructures de données scientifiques existantes actuellement dispersées entre les disciplines et les pays.



LA SÉCURITÉ INFORMATIQUE AU CERN

L'équipe de sécurité informatique protège les activités du CERN et sa réputation contre les cybermenaces. Elle mène des enquêtes de sécurité informatique, et met à profit son expertise pour comprendre les cas d'intrusion informatique au CERN ou au sein de la communauté.

Pour prévenir les incidents, l'équipe a établi un vaste réseau au sein de la communauté et avec l'industrie et les

pouvoirs publics. En 2018, des sessions de formation et de sensibilisation à la sécurité informatique ont été organisées dans tout le CERN, y compris une campagne de « clics » à grande échelle destinée à sensibiliser aux risques qu'il y a à cliquer sur des liens sans réfléchir. En outre, des membres de la communauté du CERN ont été sensibilisés et formés dans le cadre du « *WhiteHat Challenge* », et ont ainsi pu tester la résistance aux intrusions de leurs propres logiciels et les « pirater », pour mieux les sécuriser.