



RIKEN, une agence nationale de recherche et de développement, est le principal institut national de recherche pluridisciplinaire du Japon.

La mission de RIKEN est de contribuer au développement durable et à la prospérité de l'humanité en créant de nouvelles connaissances.

Fondé en 1917, RIKEN s'est rapidement développé tant par son ampleur que par l'étendue de ses activités et regroupe aujourd'hui un réseau de centres et d'instituts de recherche de rang mondial répartis dans tout le Japon.

Contact : RIKEN SPring-8 Center

Adresse : 1-1-1 Kouto, Sayo-cho,
Sayo-gun, Hyogo 679-5148 JAPON
Tél. : +81-(0) 791-58-2800
<https://www.riken.jp/en/research/labs/rsc>

La perspective du projet Future Circular Collider (FCC) - du point de vue de l'innovation technologique

EN BREF.

La science et la technologie de l'accélérateur ont continuellement contribué à rendre la société humaine plus pratique et plus prospère grâce à l'innovation technologique. En mettant en lumière les innovations technologiques attendues dans le cadre du projet Future Circular Collider (FCC), nous prenons acte de la valeur du projet en tant que catalyseur d'innovation. Les innovations technologiques sont essentielles à la réussite du projet FCC, notamment en ce qui concerne les performances des technologies supraconductrices, y compris les supraconducteurs à haute température (HTS). Ces percées ont le potentiel d'ouvrir la voie à des « innovations vertes » inattendues. Cela est comparable à la manière dont les récents aimants HTS à hautes performances ont ouvert la voie aux réacteurs de fusion tokamak compacts, qui promettent, à terme, des technologies de production d'électricité verte n'émettant aucun dioxyde de carbone (CO₂).

En examinant l'histoire de la science et de la technologie des accélérateurs, on constate que plus les objectifs sont ambitieux et difficiles, plus les technologies innovantes sont susceptibles d'émerger et de les surmonter. Comme mentionné précédemment, le projet ambitieux FCC devrait non seulement stimuler les progrès prévisibles de la technologie supraconductrice, mais aussi développer de nouvelles technologies qui contribueront de manière significative à la construction d'une économie circulaire.

Cette traduction en français du cahier d'acteur rédigé initialement en anglais a pour but d'en permettre la lecture pour un public francophone. Elle pourrait cependant différer de la version originale en anglais à quelques égards. En cas de doute, la version anglaise fait foi.



Les expériences en physique des hautes énergies ont stimulé le développement de la science et des technologies des accélérateurs.

L'histoire des accélérateurs de particules a débuté dans les années 1930 avec l'invention de l'accélérateur de Cockcroft-Walton, qui utilisait un courant continu à haute tension. C'est à peu près à la même époque que le cyclotron a été inventé. Il utilisait des champs électriques à radiofréquence et un champ magnétique constant pour accélérer les particules de manière répétée le long d'une trajectoire en spirale. L'objectif était de réaliser des expériences de spallation nucléaire en utilisant des particules d'énergie encore plus élevée, ce qui, à l'époque, se faisait à l'aide de particules alpha provenant de noyaux radioactifs naturels.

Entre les années 1950 et 1970, des synchrotrons haute performance ont été développés, capables de surmonter les effets de la relativité restreinte pour accélérer les particules à des énergies plus élevées. Cette avancée a permis d'accélérer les protons et les électrons à des niveaux d'énergie élevés, conduisant à la découverte successive de nouvelles particules et posant les bases du « Modèle standard » décrivant les particules élémentaires et leurs interactions.

Depuis les années 1970, l'avènement des collisionneurs, capables d'atteindre des énergies de collision bien plus élevées que celles des expériences sur cible fixe, a ouvert de nouvelles frontières à la physique des hautes énergies.

La volonté de comprendre avec toujours plus de précision la nature de la matière qui compose notre monde a stimulé l'évolution continue des systèmes d'accélérateurs, conçus pour atteindre des énergies de collision toujours plus élevées dans les expériences.

Les nombreuses innovations technologiques issues de la curiosité intellectuelle de l'être humain.

Les quatre exemples suivants présentent des innovations qui pourraient émerger à mesure que la physique des hautes énergies surmonte divers défis et repousse les limites de la frontière énergétique. L'élément essentiel est qu'une forte aspiration au progrès technologique constitue le moteur de l'innovation.

- Les sources de rayonnement synchrotron (SR) exploitent une nouvelle frontière de la science et stimulent l'innovation industrielle :

Le rayonnement synchrotron (RS) est une lumière, comme les rayons X, générée quand la trajectoire des particules chargées accélérées est déviée par un champ magnétique. Le rayonnement synchrotron a été découvert pour la première fois dans un accélérateur circulaire. Les sources de rayonnement synchrotron sont largement utilisées dans les sciences des matériaux, médicales et biologiques, ainsi que dans les applications industrielles, attirant l'attention en tant que moyen d'innovation verte pour atteindre les objectifs de développement durable.

Pour prendre un exemple facile à comprendre, il suffit de voir comment le rayonnement synchrotron a contribué aux recherches du professeur Kitagawa.

Susumu Kitagawa, ainsi que Richard Robson et Omar M. Yaghi, ont reçu le prix Nobel de chimie 2025 pour la découverte et l'application des réseaux métallo-organiques (MOF). Les MOF sont des structures métallo-organiques tridimensionnelles poreuses aux fonctions personnalisables. Ces composés fonctionnels sont capables de stocker des liquides et des gaz sous forme de molécules invitées. À l'avenir, ils devraient être utilisés comme systèmes de stockage à haute densité, notamment pour le dioxyde de carbone (CO₂) et l'hydrogène. Pour y parvenir, le professeur Kitagawa a conçu le concept de « cristaux poreux mous » qui peuvent passer de l'adsorption à la désorption sous l'effet de stimuli externes.

Grâce à SPring-8, une source de rayonnement synchrotron de troisième génération située au Japon, il a visualisé la manière dont les molécules de gaz sont adsorbées au sein des MOF et en a quantifié les propriétés. Au début, personne ne savait comment les molécules de gaz étaient disposées dans les MOF. L'analyse des données de diffraction des rayons X sur poudre obtenues grâce aux rayons X de haute brillance de SPring-8 a permis d'apporter la réponse.

- La technologie des aimants supraconducteurs répond à un large éventail de besoins sociaux :

La supraconductivité est une innovation technologique essentielle qui est née de la recherche visant à augmenter l'énergie des faisceaux de particules en collision. La technologie pratique des aimants supraconducteurs, qui utilise de l'hélium liquide pour générer des champs magnétiques ultra-forts, est utilisée dans de nombreux aspects de notre vie quotidienne. Un exemple notable est le domaine médical, où les aimants supraconducteurs sont un élément essentiel des scanners d'imagerie par résonance magnétique (IRM), qui sont aujourd'hui indispensables pour la santé publique. En outre, cette technologie est essentielle pour les installations de traitement par faisceau de particules, qui sont cruciales pour le traitement du cancer, et pour la production d'isotopes médicaux, car elle permet à ces installations de maintenir une empreinte compacte.

L'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN) prévoit de mettre en œuvre, dans le cadre du projet High-Luminosity Large Hadron Collider (HL-LHC), des connexions électriques avancées à fort courant et sans pertes utilisant le MgB₂, qui fonctionne à la température de l'hydrogène liquide (environ 20 K). L'utilisation de supraconducteurs à haute température (HTS) pour la fabrication d'électro-aimants dans le projet du Future Circular Collider (FCC) est également envisagée. Les champs magnétiques élevés rendus possibles par la technologie des supraconducteurs à haute température critique (HTS) permettent de réduire la taille et le coût des équipements, et les améliorations de performances attendues devraient contribuer à améliorer encore la qualité de vie à l'avenir.

- Le World Wide Web (WWW), qui a contribué à la diffusion d'Internet dans la société :

Le World Wide Web (WWW), un logiciel qui permet aux utilisateurs de partager des informations sur des serveurs locaux via Internet, a été inventé en 1989 par le Dr. Timothy John Berners-Lee alors qu'il travaillait au CERN. Dès la fin de l'année 1990, lui et ses collègues avaient développé les outils nécessaires et publié le premier site web au monde depuis le CERN. En avril 1993, les technologies liées au Web ont été rendues publiques sous forme de logiciels gratuits. Cette invention a contribué à la propagation rapide d'Internet et a posé les bases de la société actuelle basée sur Internet.

Le CERN a développé le Web car un système était nécessaire pour permettre aux chercheurs du monde entier de partager et d'accéder facilement à des données expérimentales et à des documents de recherche vastes et complexes, quel que soit le type ou l'emplacement de l'ordinateur, afin qu'ils puissent collaborer et faire avancer le projet scientifique avec efficacité. Cela a permis d'identifier collectivement les documents et informations associés via des hyperliens et de partager des informations situées sur des serveurs dans le monde entier via Internet. Cette technologie a contribué à l'utilisation généralisée d'Internet dans la vie quotidienne des gens, améliorant considérablement le confort.

- La technologie d'accélération des particules contribue aux applications industrielles :

La technologie d'accélération de particules à haut rendement est largement utilisée dans la société. Elle est utilisée dans le domaine médical pour les traitements contre le cancer, ainsi que pour la production d'isotopes radioactifs. Elle est également utilisée pour les essais non destructifs des infrastructures, la modification des matériaux et leur évaluation. De nouvelles sources lumineuses fondées sur des accélérateurs de particules sont en cours de développement pour la fabrication des semi-conducteurs de nouvelle génération. Le développement d'accélérateurs compacts pouvant servir de sources de rayons X ou de neutrons progresse rapidement. Cette évolution est motivée par la nécessité cruciale de faire face au vieillissement des infrastructures de transport public, telles que les ponts et les routes. Ces accélérateurs sont utilisés pour évaluer la détérioration interne du béton et l'intégrité structurelle des infrastructures à grande échelle, ce qui permet de formuler des mesures d'atténuation appropriées.

Ce que nous attendons du projet FCC

Notre première attente concerne sa dimension scientifique, dans laquelle des chercheurs du monde entier collaborent pour faire progresser la quête de connaissances universelles. Nous espérons que le projet produira les résultats escomptés en matière de physique. Ce succès s'appuiera sur le savoir-faire, la technologie et l'expérience accumulés au CERN.

La deuxième attente concerne le rôle que joue la collaboration internationale dans la promotion de la compréhension mutuelle entre les chercheurs dans le cadre de discussions.

Cela constitue un moyen de dissuasion contre les conflits inutiles. Dans le monde actuel, marqué par des conflits incessants, le principe du CERN, « La science au service de la paix » (Science for Peace), est précisément ce dont nous avons besoin. Nous espérons que le projet FCC servira de pont pour la paix, en rapprochant les nations grâce à la quête de la connaissance.

La troisième attente concerne les innovations technologiques qui émergeront au cours du processus visant à atteindre cet objectif ambitieux. Nous attendons également avec intérêt que la construction du FCC accélère le développement de technologies concrètes permettant de réduire l'empreinte carbone. Par exemple, la commercialisation de matériaux de construction à faible empreinte carbone, tels que le « béton vert », pourrait offrir des avantages significatifs pour la société. De même, le projet FCC implique des tunnels souterrains à grande échelle, de sorte que l'élimination des terres excavées risque de devenir un problème environnemental. Nous espérons également que le projet prendra en considération, de manière proactive, des approches respectueuses de l'environnement pour la transformation et le recyclage des matériaux excavés.

Conclusion

Le point le plus important à souligner est que les objectifs du projet FCC s'inscrivent dans une quête intellectuelle commune à toute l'humanité : comprendre la nature fondamentale de la matière et, par extension, de l'univers lui-même, y compris la matière noire. Ces objectifs transcendent les frontières nationales, attirant des chercheurs du monde entier et favorisant une collaboration internationale à grande échelle. Approfondir la compréhension mutuelle grâce à ce type de coopération est une étape essentielle vers la paix. De plus, l'histoire a montré que lorsque le talent et la passion s'unissent pour poursuivre des objectifs intellectuels ambitieux, de nombreux obstacles sont surmontés et des innovations technologiques révolutionnaires sont réalisées. Étant donné que le projet FCC s'inscrit dans le prolongement de ce niveau élevé d'activité intellectuelle, nous pouvons nous attendre à d'autres innovations révolutionnaires.

Le projet FCC devrait consommer à peu près la même quantité d'électricité que le Grand collisionneur de hadrons (LHC) actuel, soit entre 1,1 et 1,8 térawattheures (TWh) par an.

Le réseau électrique français, qui est déjà décarboné à 98 %, fournira cette énergie. Par conséquent, la poursuite du projet FCC n'entraînera pas d'augmentation significative des émissions de gaz à effet de serre.

Le réseau électrique français, qui est déjà décarboné à 98 %, fournira cette énergie. Par conséquent, la poursuite du projet FCC n'entraînera pas d'augmentation significative des émissions de gaz à effet de serre.

