



La physique en Suisse – moteur de l'économie, source d'innovation, boussole citoyenne

L'impact de la physique sur la société et l'économie est prépondérant. Au cours des derniers siècles, la physique a façonné la façon dont nous comprenons le monde dans lequel nous vivons et a été à l'origine des plus grandes révolutions industrielles. Aujourd'hui, la physique, qui englobe un vaste éventail de sujets scientifiques, est omniprésente dans tous les secteurs industriels à vocation technique. La réussite de l'économie suisse est le fruit d'un soutien à long terme de physique dans l'enseignement et la recherche. Dans une société aussi fortement marquée par la science et la technologie, il est essentiel d'avoir des connaissances en physique. Pour ces raisons, la *Société suisse de physique* (SSP) a évalué l'influence de la physique sur l'économie suisse et sur la société dans son ensemble dans le magazine *SPS Focus* « Impact of Physics on Swiss Society »¹. Les principaux résultats et conclusions sont résumés ici.

Messages clés

1. Les industries basées sur la physique jouent un rôle important dans l'économie suisse, comparable à l'importance de secteurs tels que la production ou le commerce. Leur efficacité économique est supérieure à celle des secteurs de la production, du commerce et de la construction.
2. La collaboration entre la recherche fondamentale en physique et l'industrie est aussi précieuse que diverse: Du développement de produits issus de la recherche universitaire à la contribution des diplômés en physique dans les petites et moyennes entreprises.
3. Les instituts suisses de physique sont actifs dans tous les aspects de la recherche en physique tant fondamentale qu'appliquée. La recherche suisse est de haut niveau international dans un large éventail de domaines, de la physique de la matière condensée à la physique des particules, de l'astrophysique à la biophysique.
4. Pour relever les plus grands défis de notre époque, tels que les crises du climat et de l'approvisionnement énergétique, ainsi que les problèmes de santé, nous dépendons de plus en plus du développement de nouvelles technologies issues de la recherche en physique.
5. Une solide éducation de base en physique est essentielle au bon fonctionnement d'une démocratie, dans un monde qui s'appuie fortement sur les technologies modernes. Il est donc essentiel que la Suisse réussisse à maintenir l'intérêt de la population pour la physique tout au long de sa scolarité.

¹ Le SPS Focus No. 2 « Impact of Physics on Swiss Society » produit par la SSP est disponible sous www.sps.ch/artikel/sp-focus/sp-focus-2

Un moteur important pour l'industrie

Depuis le début de l'industrialisation au XIX^e siècle, les connaissances techniques sont issues de la recherche universitaire. Les résultats prometteurs étaient transmis aux universités techniques, où ils étaient développés davantage. Ensuite, l'industrie prenait le relais en développant les premiers prototypes d'application, qui ont finalement abouti à des produits prêts à être commercialisés.

Aujourd'hui, le transfert de connaissances universitaires constitue toujours l'épine dorsale des entreprises dérivées (spin-off) et des jeunes pousses (start-ups). Cependant, la complexité physique a augmenté de façon spectaculaire au cours des dernières décennies. Les puces informatiques ont des structures de la taille du nanomètre et les instruments de diagnostic modernes utilisent des lasers à impulsion ultra-courte de l'ordre de la femto- et de l'attoseconde pour comprendre la dynamique des réactions chimiques.

Il est évident que la physique joue un rôle important dans les technologies d'aujourd'hui et il est essentiel pour une économie moderne d'exploiter pleinement le potentiel de cette discipline. C'est pourquoi la Société suisse de physique (SPS) s'est donné pour mission d'analyser quantitativement l'influence de la physique sur l'économie suisse.

Actuellement, le chiffre d'affaires des Industries basées sur la physique (IBP) en Suisse est estimé à plus de 274 milliards de francs suisses et devrait continuer à croître. Les industries classées comme IBP sont fortement tributaires des technologies modernes développées par les physicien·ne·s. Ainsi, les onze catégories de IBP représentées dans la figure 1 couvrent un éventail relativement large allant de l'industrie pharmaceutique et des instruments médicaux à la fourniture d'électricité et à l'industrie manufacturière.

La part des IBP dans la valeur ajoutée brute (VAB) de la Suisse était de 91,5 milliards de francs, soit 13 pour cent sur un total

de 701,6 milliards de francs pour l'année 2019. Le nombre d'emplois équivalents temps plein (ETP) était de 417 000, soit 9,8 pour cent sur un total de 4 237 000 (fig. 1 et 2).

Un indicateur intéressant est la VAB spécifique, définie comme le rapport de la VAB par ETP, qui est une mesure de l'efficacité économique. Ce rapport est de CHF 219 400 par ETP pour les IBP en 2019, ce qui dépasse, par exemple, la VAB spécifique dans la production ou le commerce. La VAB spécifique des IBP dépasse clairement la valeur moyenne pour la Suisse de CHF 165 600 par ETP. En conclusion, les IBP sont aussi importantes économiquement pour la Suisse que la production ou le commerce. Si l'on compare l'efficacité économique des IBP à celle des pays voisins directs que sont l'Allemagne, la France, l'Italie et l'Autriche, on constate que les IBP suisses occupent la première place.

En outre, en Suisse, la VAB spécifique aux IBP a augmenté de 6,3 pour cent de 2015 à 2019, ce qui est bien plus que l'augmentation moyenne de 2,3 pour cent parmi tous les secteurs d'activité économique au cours de la même période.

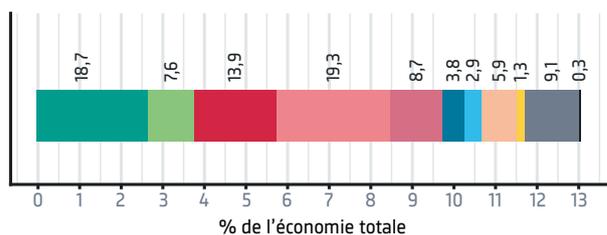
Les contributions des physicien·ne·s qui sont employés dans d'autres industries ne sont pas incluses dans ces mesures de la VAB et des ETP. L'impact économique supplémentaire qui en découle n'est pas pris en compte, en particulier les effets induits des dépenses des ménages privés associés à l'activité économique des IBP. L'impact global de la physique dans l'économie suisse dépasserait donc les impacts directs rapportés ici.

Le multiplicateur de la VAB associé à l'impact des IBP a été estimé entre 2,31 et 2,49,² ce qui signifie que pour chaque CHF 1.00 de production directe liée à la physique, un total de CHF 2.31 à 2.49 de production économique est réalisé (tab. 1).

² Adapté de: «The Importance of Physics to the Economies of Europe. A study by Cebr for the period 2011-2016», Centre for Economics and Business Research for the European Physical Society, 2018. https://www.eps.org/resource/resmgr/policy/eps_pp_physics_ecov5_full.pdf

Valeur ajoutée brute au coût des facteurs de production (VAB)

en milliards de CHF



- Industrie pharmaceutique
- Instruments médicaux
- Métrologie
- Service technique
- Télécommunication
- Electronique
- Eletrotechnique
- Machines
- Véhicules
- Distribution d'électricité
- Industrie manufacturière

Nombre d'employés en équivalent temps plein (ETP)

en milliers

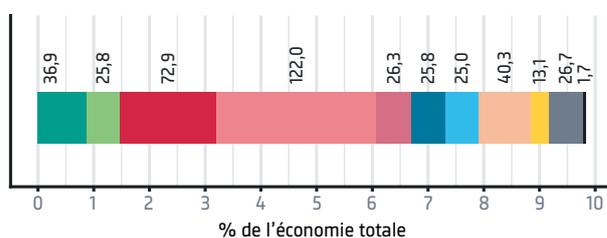
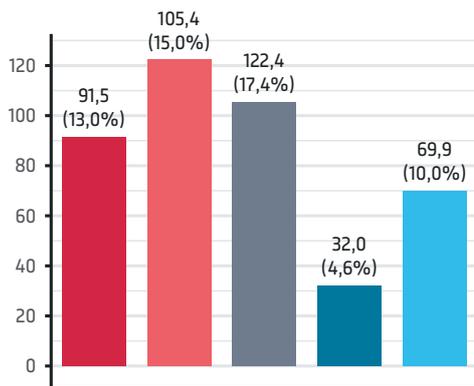


Figure 1: Valeur ajoutée brute (VAB) et emplois en équivalent temps plein (ETP) pour la Suisse en 2019 pour 11 secteurs industriels, qui constituent la catégorie des industries basées sur la physique (IBP).

Valeur ajoutée brute au coût des facteurs de production (VAB) en milliards de CHF



Equivalents temps plein (ETP) en milliers

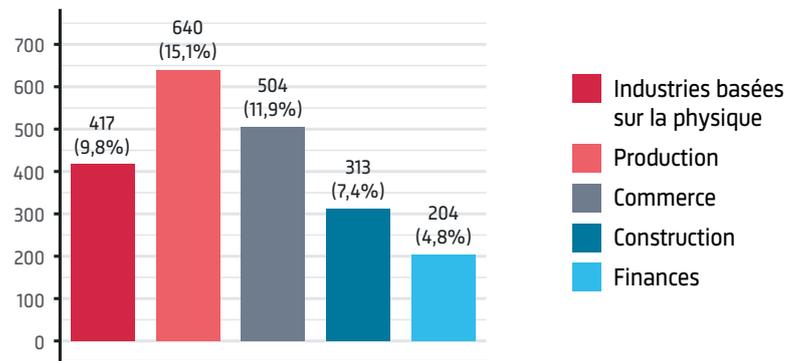


Figure 2: VAB en milliards de francs et nombre d'ETP en milliers pour les cinq catégories de la Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne (NACE) pour 2019.

Multiplicateur de VAB des industries basées sur la physique (= 2,31)

Impact direct CHF 1.00

Les dépenses dans le secteur basé sur la physique provoquent de l'offre de l'industrie de la physique. En fournissant ses services, celle-ci génère une valeur ajoutée supplémentaire. Supposons que les dépenses soient suffisantes pour générer 1.00 CHF de VAB. Ceci est l'impact direct sur la VAB de l'augmentation des dépenses dans l'industrie basée sur la physique.

Impact indirect CHF 0.65

Pour augmenter son offre, l'industrie basée sur la physique doit augmenter ses demandes à ses fournisseurs, qui augmentent leurs demandes à leurs fournisseurs et ainsi de suite tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Cela génère l'impact indirect, une augmentation de la VAB tout au long de la chaîne d'approvisionnement de 0.65 CHF pour chaque 1.00 CHF investit.

Impact induit CHF 0.66

Les impacts directs et indirects combinés ont un impact sur le revenu des ménages dans l'ensemble de l'économie, par le biais de l'augmentation de l'emploi, des bénéfices, etc. Une partie de ce revenu sera dépensée en biens et services finaux, produisant une réponse de l'offre par les producteurs de ces biens/services et d'autres impacts à travers leurs chaînes d'approvisionnement. Cela engendre un impact induit de 0.66 CHF pour chaque 1.00 CHF investit.

Du laboratoire au produit

Il est essentiel de faire le lien entre la recherche en physique et son exploitation réussie sur le marché. Ceci est vital pour l'économie suisse et il faudrait même accroître les efforts et les étendre à de nouveaux domaines, comme la technologie quantique, le traitement informatique de l'information et l'intelligence artificielle.

La collaboration entre la recherche fondamentale en physique et l'industrie se fait à plusieurs niveaux. Un transfert important a lieu lorsque les résultats des expériences de physique sont développés jusqu'à ce qu'un produit soit disponible sur le marché. Cela se réalise soit par l'intermédiaire de scientifiques qui fondent une jeune entreprise (start-up), soit par l'intermédiaire d'entreprises établies et avec l'aide de programmes spécialisés qui favorisent ce transfert de connaissances et de technologies, comme Innosuisse ou les programmes-cadres européens de recherche.

Le Niveau de maturité technologique (TRL, de l'anglais Technology Readiness Level), qui décrit les différents niveaux de maturité d'une technologie, est un schéma établi pour évaluer cette progression d'une expérience physique à un produit final. Pour le secteur de la physique et de la technologie en Suisse, la figure 3 décrit le lien entre les différentes parties prenantes de ce processus.

Outre le transfert direct de technologie, l'embauche de diplômés universitaires en physique est l'un des moyens les plus efficaces d'insuffler des connaissances de pointe dans une entreprise. Par conséquent, l'excellente formation universitaire en physique en Suisse est un atout important pour l'industrie, comme le prouve le fait que de plus en plus d'entreprises mondiales de haute technologie tentent d'embaucher ces talents en établissant des unités de R&D en Suisse.

Une autre forme de collaboration est l'utilisation d'installations de recherche par des entreprises industrielles. La recherche fondamentale en physique nécessite des méthodes expérimentales et des machines de plus en plus complexes, comme les grands accélérateurs du CERN et de l'Institut Paul Scherrer

Tableau 1: Composition du multiplicateur de la VAB.

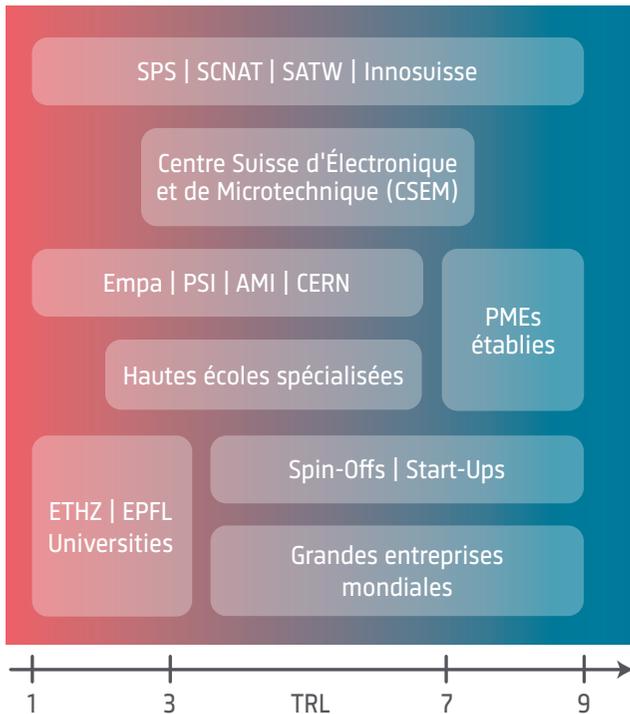


Figure 3 : Les acteurs concernés et leur Niveau de maturité technologique (TRL) dans le secteur de l'innovation en physique et technologie en Suisse. TRL = 1 : principes de base observés, TRL = 9 : système opérationnel.

(PSI). Ces installations peuvent souvent être utilisées avantageusement pour répondre à des demandes industrielles.

Le chemin qui mène de la recherche fondamentale en physique à un produit commercialisable peut être long et sinueux. Comme nous l'avons vu, l'impact de la physique sur l'industrie est varié, à la fois dans de nombreuses disciplines et en tant que catalyseur essentiel de nouveaux processus ou technologies.

La promotion de l'innovation à la pointe de la technologie nécessite des efforts constants de la part des universités, de l'industrie et de l'engagement d'organisations telles qu'Innosuisse, l'Académie suisse des sciences techniques (SATW), l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT) et la SSP pour construire et maintenir des ponts tout au long du cycle de vie des produits innovants.

Domaines technologiques pertinents pour la Suisse

La recherche fondamentale en physique en Suisse est principalement soutenue par le Fonds national suisse (FNS) et couvre les domaines suivants :

- **La physique de la matière condensée** pour le développement de nouveaux matériaux et instruments, tels que les semi- et supraconducteurs, ainsi que les nanotechnologies et la technologie quantique.
- **La science des neutrons** est utilisée pour l'imagerie neutronique, une méthode non destructive de divers échantillons *in-situ* et *in-operando*.

- **La science des photons** pour le développement de technologie laser et des sources de rayons X pour l'imagerie à réponse rapide, en particulier pour des applications médicales.
- **La spectroscopie aux muons** pour des études fondamentales en physique des particules et l'analyse d'échantillons très sensibles, tels que des trouvailles archéologiques.
- **La physique des particules** pour comprendre les constituants de la matière et leurs interactions au niveau le plus fondamental.
- **L'astronomie et l'astrophysique** pour comprendre l'univers, les galaxies, les étoiles et les planètes, ainsi que des objets extrêmes comme les trous noirs et les étoiles à neutrons.
- **La géophysique** (physique de la Terre, de l'atmosphère et de l'environnement) pour la surveillance et la simulation du changement climatique, de la pollution, des risques sismiques et des ressources naturelles.
- **La science de l'énergie** pour l'exploration de nouvelles sources d'énergie, et les innovations dans les réseaux de distribution et le stockage de l'énergie.
- **Les matières molles, la biophysique et la physique médicale** pour la compréhension des processus biologiques, le développement de nouveaux matériaux organiques, les méthodes de diagnostic et de traitement en médecine.
- **La physique des plasmas** pour la production d'énergie de fusion et la microélectronique.

Contre la pénurie de personnel qualifié et les inégalités de genre

La pénurie de travailleurs hautement qualifiés dans les domaines des sciences fondamentales, techniques et de l'ingénierie préoccupe la Suisse depuis de nombreuses années. Il a été mis en évidence que le phénomène comporte également une importante disparité de genre, qui s'est avérée particulièrement prononcée en Suisse. Depuis le début des années 1990, les chiffres se sont améliorés, mais les progrès sont trop lents. Cela se manifeste par le nombre encore extrêmement faible d'adolescentes qui, lorsqu'elles entrent à l'école secondaire à l'âge de 14 ou 15 ans, optent pour un programme d'études axé sur la physique et les mathématiques appliquées.

Essayer d'accroître l'attrait de ces disciplines, et donc le nombre, de femmes en formation est important, mais pas suffisant pour résoudre le problème du déséquilibre entre les sexes en physique dans les domaines techniques et de l'ingénierie. Il faut aussi aborder le problème par l'autre extrémité, en améliorant les conditions de carrière des femmes et en augmentant leur nombre à des postes de direction afin d'éviter le phénomène du « tuyau percé », c'est-à-dire la disparition progressive des femmes à différents stades de leur carrière dans les disciplines MINT (mathématiques, informatique, sciences naturelles et techniques).

Plusieurs initiatives sont actuellement menées par la SCNAT, le FNS, les universités et d'autres institutions afin de fournir des encouragements et des modèles par des femmes ayant réussi leur carrière scientifique. Beaucoup de ces actions promeuvent les matières MINT en général, mais cela ne suffit pas pour lutter efficacement contre les stéréotypes persistants concernant, en particulier, les sciences dites « dures » et techniques. Les actions doivent se concentrer spécifiquement sur les disciplines : physique, technologie et ingénierie.

Le potentiel de la physique pour les industries en Suisse

La physique et ses technologies dérivées jouent un rôle central dans de nombreux secteurs industriels et pour le développement de l'économie en produisant des biens, des services et en créant de nombreux emplois hautement qualifiés.



Photonique

Les marchés en développement rapide exigent des systèmes et des composants nettement plus rapides, plus puissants, miniaturisés et économes en énergie, qui ne peuvent être réalisés à l'aide des technologies électroniques habituellement utilisées aujourd'hui. Avec la photonique, des technologies entièrement nouvelles deviennent disponibles, avec de nombreuses applications, telles que de nouvelles méthodes de traitement de l'image et des techniques de mesure, des instruments médicaux, des composants optiques, des techniques de communication (avec des taux de transfert de données de l'ordre du téraoctet par seconde), des sources de rayons X puissantes, la photovoltaïque, les techniques de production, les technologies de l'information, les techniques de sécurité et de défense. Le taux de croissance annuel de la photonique est de 6 à 8 pour cent.



Détection, imagerie, mesure et instrumentation

La Suisse est réputée depuis longtemps pour ses montres et autres instruments de mesure du temps. Leurs versions « high-tech » sont les horloges atomiques, qui sont essentielles pour les satellites et la calibration. En outre, le référencement par satellite est devenu essentiel pour une localisation précise dans des applications allant de l'agriculture à la logistique. Au cours des dernières décennies, la tradition et les excellentes compétences suisses en matière de mesures et d'instruments de précision et de haute qualité se sont étendues à de nombreux autres domaines modernes de la physique, comme la spectrométrie par résonance magnétique nucléaire, la cryomicroscopie électronique, la microscopie à force atomique et les technologies à micro-ondes, à ondes millimétriques et à térahertz, qui ont un impact sur la recherche biologique, pharmaceutique et environnementale et sur les applications de produits connexes.



Physique médicale et biologique

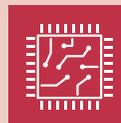
La physique des particules est l'un des principaux moteurs des nouvelles techniques de diagnostic et d'imagerie. Certaines de ces innovations sont devenues des applications courantes ; comme dans de nombreux instituts médicaux réputés, les faisceaux de protons de l'Institut Paul Scherrer (PSI) traitent les patients atteints de cancer. Les protons peuvent déposer des quantités contrôlées d'énergie limitées à des régions précises des tissus, avec une résolution beaucoup plus élevée que la radiothérapie courante, et contribuer

ainsi à combattre les tumeurs. À l'opposé de ces installations à grande échelle, la physique sert également dans le secteur de la med-tech et de la biotech grâce aux progrès de la micro- et nanotechnologie.



Communication

Les technologies de communication modernes combinent souvent des composants électriques à haute fréquence avec des composants optiques intégrés et miniaturisés. Toutes deux reposent sur les progrès des matériaux et des méthodes de micro- et nano-fabrication, où la physique joue un rôle clé. Une nouvelle dimension est ouverte par la communication quantique, où les propriétés quantiques garantissent des communications totalement sécurisées.



Traitement des données volumineuses et ordinateurs quantiques

Les collisionneurs de physique des particules et les grandes infrastructures astrophysiques nécessitent de grands centres de traitement des données. De nouvelles méthodes, telles que l'apprentissage profond, sont explorées en tant qu'outils pour le traitement de grandes quantités de données (téra- et pétaoctets). En plus des ordinateurs courants, l'avènement des ordinateurs quantiques utilisant les principes de superposition et d'intrication quantique permet de résoudre des problèmes très complexes. La Suisse est très bien positionnée dans la recherche quantique.



Simulation et modélisation

Grâce aux progrès des capacités informatiques, la simulation et la modélisation constituent le troisième pilier de la science après la recherche expérimentale et théorique. Les modèles du système terrestre utilisés pour les prévisions météorologiques quotidiennes et les projections du climat futur de la Terre en sont un exemple frappant. La base de ces modèles complexes repose sur la dynamique des fluides, la thermodynamique, le rayonnement électromagnétique et la physico-chimie.



Systèmes cyber-physiques

La simulation et la modélisation de systèmes physiques ont un impact croissant sur des sujets industriels : la numérisation complète des systèmes de production est considérée dans le monde entier comme la quatrième étape majeure de la révolution industrielle et a été baptisée « Industrie 4.0 ». Elle connecte les sous-systèmes entre eux, mais aussi avec des sources externes telles que l'Internet des objets (IoT) pour un échange d'informations optimal. Pour appliquer correctement les modules virtuels, une compréhension profonde de la physique, notamment au niveau de l'incertitude du système, est indispensable. Ainsi, le monde réel et le monde virtuel peuvent être fusionnés par de puissants algorithmes d'estimation pour minimiser les erreurs aléatoires, ce qui conduit à des systèmes de production plus précis et plus robustes.

Les initiatives de dialogue scientifique avec le grand public peuvent contribuer à stimuler la curiosité et l'intérêt de la population pour les disciplines MINT en général, et la physique en particulier, avec des objectifs importants à long terme: premièrement, motiver davantage d'étudiants, et surtout d'étudiantes, à choisir des filières scolaires et des études dans ce domaine. Deuxièmement, en fournissant au grand public des informations de première main sur la recherche, contrastant avec des sources souvent douteuses trouvées sur l'internet, où la facilité d'accès remplace trop souvent la qualité et le débat scientifique.

Les musées ou centres scientifiques jouent également un rôle majeur pour la vulgarisation scientifique et l'éducation. En Suisse, la principale institution de ce type est le Technorama à Winterthur. Les expositions publiques du CERN, près de Genève, et le centre d'accueil « psi forum » du PSI, à Villigen, sont reconnus et gérés par de grandes institutions scientifiques. En outre, il existe de nombreuses autres offres intéressantes et plus ciblées faisant référence à la physique.

L'érudition scientifique comme boussole citoyenne

Les raisons d'un enseignement approfondi de la physique ne se limitent pas à la création d'employé-e-s motivés et innovants pour l'industrie. Il est encore plus important que, les concepts et les lois de la physique fournissent aux élèves

les bases d'une culture scientifique. Que vous utilisiez votre smartphone, que vous deviez vous soumettre à une imagerie par résonance magnétique à des fins médicales ou que vous vous émerveilliez de la découverte de planètes extrasolaires, tout cela se fonde sur la physique. Elle est, en effet, la base de la compréhension de ce que vous faites, de ce qui se passe et de la façon dont le monde dans lequel vous vivez est constitué.

Une démocratie, par définition, prend des décisions par des moyens démocratiques, ce qui n'est possible que si le public comprend bien les problématiques sur lesquelles il doit se prononcer. La physique, en tant que science fondamentale, joue un rôle particulier à cet égard. Il ne s'agit pas de comprendre en détail la physique quantique et la théorie de la relativité, mais d'avoir une compréhension de base des concepts et relations essentiels, ainsi que de la démarche scientifique concernant l'acquisition et la validation des connaissances. Surtout lorsque des questions liées à l'énergie, au climat ou à la santé doivent être décidées dans les urnes.

C'est la seule façon de donner aux citoyen-ne-s les moyens de reconnaître la désinformation (les « fake news ») dans les médias, de se forger une opinion fondée et de participer à la discussion sur des questions d'importance sociale (comme le système d'approvisionnement en énergie), et finalement aux élections et aux votes concernant ces thématiques.

ODD: les objectifs de durabilité internationaux de l'ONU

Avec cette publication, l'Académie suisse des sciences naturelles contribue aux objectifs de développement durable ODD 4, 5 et 9:

« Assurer l'accès de tous à une éducation de qualité, sur un pied d'égalité, et promouvoir les possibilités d'apprentissage tout au long de la vie », « Parvenir à l'égalité des sexes et autonomiser toutes les femmes et les filles », « Bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation »

> sustainabledevelopment.un.org

> eda.admin.ch/agenda2030/fr/home/agenda-2030/die-17-ziele-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung.html



Une version pdf de ce factsheet est disponible sous scnat.ch/fr/id/8Vqd7

Le SPS Focus No. 2 « Impact of Physics on Swiss Society » produit par la SSP est disponible sous www.sps.ch/artikel/sps-focus/sps-focus-2

MENTIONS LÉGALES

ÉDITRICE ET CONTACT

Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT)
Plateforme Mathématiques, Astronomie et Physique (MAP)
Maison des Académies • Laupenstrasse 7 • Case postale • 3001 Berne • Suisse
+41 31 306 93 65 • map@scnat.ch • map.scnat.ch • [@scnatCH](https://twitter.com/scnatCH)

PROPOSITION DE CITATION

Kohli A (2022) La physique en Suisse – moteur de l'économie, source d'innovation, boussole citoyenne. Swiss Academies Factsheets 17 (5)

AUTRICE

Alice Kohli (Société suisse de physique)

ÉDITRICE ET ÉDITEURS

Andres Jordi (SCNAT) • Anina Steinlin (SCNAT) • Marc Türlér (SCNAT)

COORDINATION

Johan Chang (Président de la SSP) • Hans Peter Beck (SSP) • Bernhard Braunecker (SSP) • Marc Türlér (SCNAT)

MISE EN PAGE

Monique Borer



PHOTO DE COUVERTURE

Données de microscopie à force atomique de ce qui est probablement la plus petite carte topographique de la Suisse jamais créée. Avec ses dimensions de 30 × 20 micromètres, elle tiendrait facilement sur un cheveu, et le Cervin mesure moins de 400 atomes de hauteur (échelle verticale exagérée dans l'image). La carte illustre l'évolution et la connexion de physique primée par un Nobel et réalisée en Suisse avec le domaine en plein essor des nanotechnologies.

Source: Armin Knoll (IBM Research Europe – Zurich), visualisation Thilo Stöferle (IBM Research Europe – Zurich)

ISSN (print): 2297-1602 • ISSN (online): 2297-1610

DOI: 10.5281/zenodo.7261142

