

**Zeitschrift:** Horizons : le magazine suisse de la recherche scientifique  
**Herausgeber:** Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique  
**Band:** 31 [i.e. 30] (2018)  
**Heft:** 119: La métamorphose de la Big science : comment les mégaprojets de recherche se sont ouverts à d'autres disciplines  
  
**Rubrik:** Point fort Big science : au-delà des limites

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 11.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



# Au-delà des limites

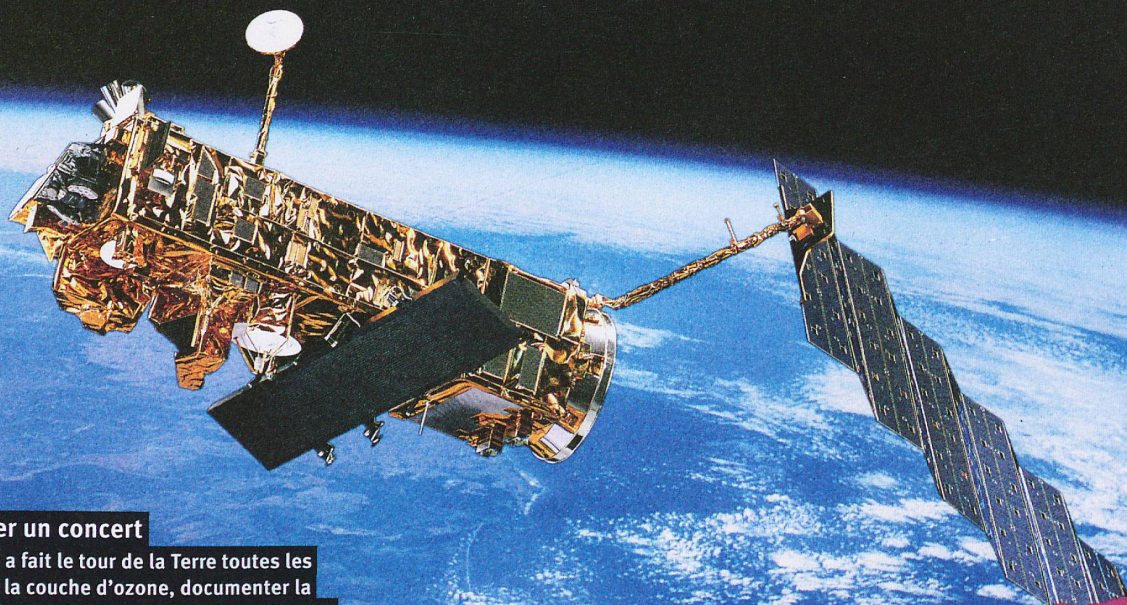
Sur Mars et dans l'espace, dans les déserts et sous les mers, en Antarctique et dans nos campagnes: les projets grandioses de la science font avancer l'humanité sur le chemin sans fin de la connaissance. Mais à quel prix?

Mars, 28 juin 2005

Le robot Opportunity immortalise ses traces laissées dans le sable de la planète rouge, à deux kilomètres de la Dune du Purgatoire où il resta enlisé pendant six semaines.

Photo: NASA/JPL-Caltech/Cornell University

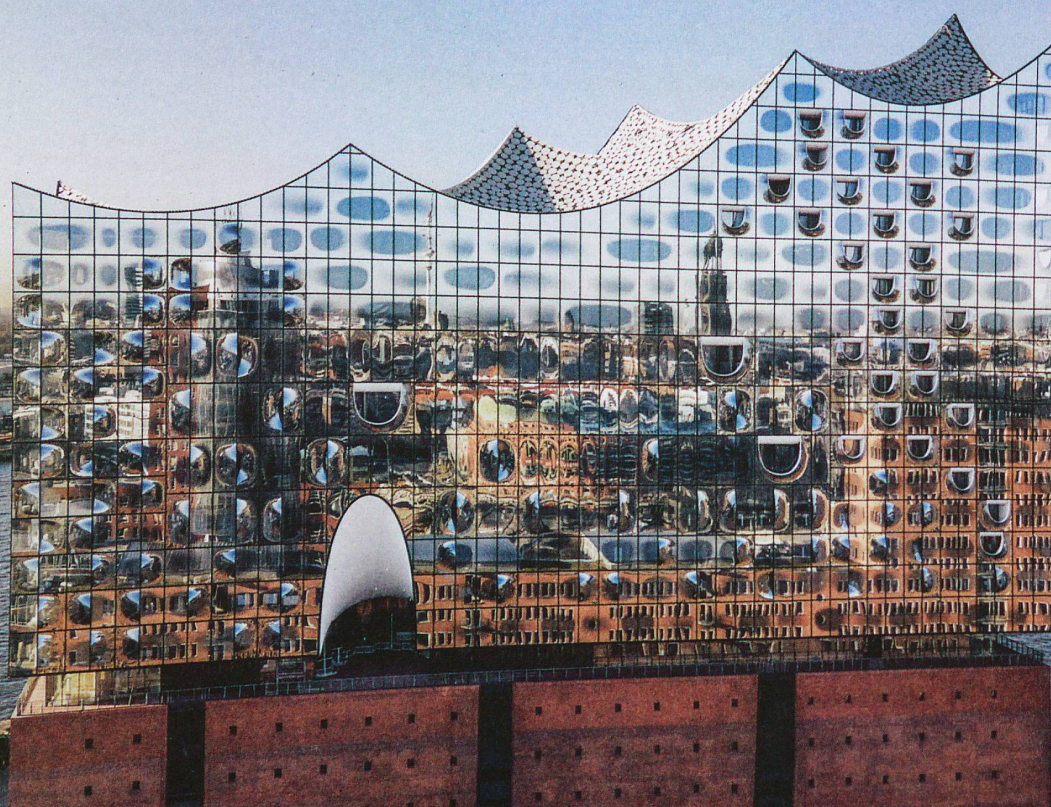




### Regarder la Terre, écouter un concert

Entre 2002 et 2012, Envisat a fait le tour de la Terre toutes les cent minutes pour analyser la couche d'ozone, documenter la fonte des pôles, quantifier les gaz à effet de serre, surveiller les catastrophes naturelles, cartographier les forêts. Bref: prendre soin de notre planète. Sa construction aura demandé une décennie – tout comme celle de la Philharmonie de l'Elbe à Hambourg.

# 10 ans





# Le nouveau visage de la Big science

Les mégaprojets de recherche devaient auparavant gagner des guerres et questionner l'univers. Ils s'ouvrent désormais à des acteurs bien plus variés, augmentant autant leur impact que leur attrait.

Par Nic Ulmi

«Big Science, hallelujah!» En 1982, la chanteuse Laurie Anderson lance l'expression dans la culture pop américaine. «Hallelujah!» en effet: cette manière de faire de la recherche en équipe autour d'infrastructures titanesques jouit d'une aura qui s'apparente au sacré. Née durant la Seconde Guerre mondiale avec le développement du radar et de la bombe atomique, la «mégascience» a évolué depuis lors: elle s'incarne en accélérateurs de particules sous nos pieds, réseaux de télescopes dans le désert et autres observatoires en orbite au-dessus de nos têtes. Avec leurs instruments colossaux, ces laboratoires géants se trouvant sous la tutelle de groupes d'Etats interrogent les origines de l'univers - et stimulent ainsi la recherche fondamentale, notamment en physique et en astronomie.

«La recherche biomédicale est aujourd'hui le domaine qui attire le plus de monde vers ces infrastructures.»

Catherine Westfall

Incontestablement, l'effort a porté. C'est notamment au CERN et au Fermilab américain que l'on doit le développement du Modèle standard, cette «théorie du presque tout» qui décrit la matière et les forces de l'univers à l'aide de douzaines de particules élémentaires. Et c'est le télescope spatial Hubble qui nous a offert des images renversantes de l'expansion du cosmos, des effets gravitationnels des trous noirs et des pouponnières où se forment les étoiles. La puissance militaire s'est ainsi prolongée en

prestige culturel, traduisant un élan vers le grandiose. En 1961, le physicien Alvin Weinberg voit ces infrastructures comme l'équivalent contemporain des cathédrales.

Mais vers le tournant du millénaire, cette approche a commencé à se diversifier. Le cercle des parties prenantes s'est fortement ouvert à d'autres disciplines ainsi qu'à l'industrie, et la gouvernance de la mégascience s'est démocratisée. Les attentes et les promesses rattachées aux grands projets sont devenues plus concrètes: on parle désormais de retour sur investissement, de développement économique régional, de solutions apportées à des problèmes de société dans le domaine de l'énergie, de l'alimentation ou de la santé. Enfin, les notions de taille se sont brouillées: on fait aujourd'hui de la mégascience avec de modestes moyens, et de la petite science avec des synchrotrons géants.

## Place aux archéologues et agronomes

«Ce qui frappe aujourd'hui en observant un centre tel que le Laboratoire national d'Argonne en Illinois, où se trouve l'un des trois plus grands synchrotrons au monde, c'est la diversité de ses utilisateurs», note Catherine Westfall, historienne des sciences à la Michigan State University et auteure de plusieurs études sur le devenir de la mégascience. Autrefois au service exclusif de la physique des particules, les grands accélérateurs ont en effet considérablement élargi leur palette. «J'y ai rencontré des agronomes qui développaient des semences, des archéologues en quête de nouvelles techniques pour leurs fouilles, quelqu'un qui voulait construire un turboréacteur d'avion moins sensible aux collisions avec les oiseaux...» Les faisceaux de particules

servent de plus en plus à explorer les applications pratiques de la matière, qu'il s'agisse de métaux ou de protéines. «La recherche biomédicale est aujourd'hui le domaine qui attire le plus de monde vers ces infrastructures, celui qui est mis en avant et dans lequel il est le plus facile de lever des fonds.»

Dans ce processus, le lien entre les mégainfrastructures et les projets de recherche se brouille. Olof Hallonsten, sociologue et historien des sciences à l'université suédoise de Lund, auteur d'une somme savante sur les métamorphoses de la Big Science, compare deux moments pour évoquer ce virage. «En 1984, Carlo Rubbia et Simon van der Meer reçoivent le prix Nobel de physique pour la découverte des bosons W et Z. Le Nobel est toujours attribué à des personnes, mais à travers elles, il récompense le centre de recherche où la découverte a eu lieu: le CERN, dont Rubbia est alors le directeur.» La situation est différente vingt-cinq ans plus tard: «En 2009, la biologiste moléculaire Ada Yonath et ses confrères reçoivent le prix Nobel de chimie pour leur travail sur le ribosome des cellules. Une demi-douzaine de centres de recherche à travers le monde s'empressent de diffuser des communiqués de presse pour expliquer que ce sont leurs grands appareils qui ont permis ces travaux.»

De plus en plus souvent, on fait «de la petite science avec de gros outils», résume Olof Hallonsten. Les centres de recherche créés autrefois autour d'un mégaprojet font place à des plateformes de grande taille mais sans but précis, orientées vers les besoins des utilisateurs. «La plupart des scientifiques qui utilisent ces centres possèdent un emploi et une source



de financement ailleurs. Ils travaillent habituellement sur des équipements de petite taille, mais ont besoin ponctuellement d'une très grosse machine. Ils font une demande, il y a une certaine compétition et si tout va bien, ils obtiennent un accès. Ils mènent leur expérience et repartent avec les résultats. Dans ce modèle, les grands accélérateurs ou réacteurs ne sont plus l'apanage d'équipes qui ont pour mission de gagner une guerre ou d'enquêter sur l'origine de l'univers. Ils deviennent une ressource tendanciellement ouverte à tout le monde. C'est donc un modèle plus démocratique, moins surdéterminé par des décisions politiques ou militaires.»

#### Le temps des consortiums

La déconnexion entre la taille des projets et celle des infrastructures s'observe également en sens inverse: on peut faire de la mégascience, mobilisant des méga-budgets et poursuivant des méga-objectifs, sans passer par des outils géants. C'est le cas du Human Genome Project, et plus généralement de la biologie. Pendant un temps, celle-ci a pourtant tenté d'imiter la physique dans sa course au gigantisme, analyse Bruno Strasser, professeur d'histoire des sciences à l'Université de Genève et auteur de plusieurs études sur l'histoire des sciences biomédicales, du Big Data et de la recherche participative. «Lorsque le Laboratoire européen de biologie moléculaire (EMBL) a été créé à Heidelberg en 1974, on espérait y faire un travail analogue à celui des physiciens au CERN, autour d'une question centrale et grâce à un

instrument scientifique trop onéreux pour un laboratoire universitaire. En réalité, ce centralisme n'était pas nécessaire, car cette discipline n'utilisait pas de grands instruments. En biologie, la bonne science est de la petite science, selon la formule du biochimiste américain Bruce Albert. Les chercheurs de l'EMBL ont donc passé leur temps à essayer de justifier le bien-fondé de l'infrastructure.» Lorsque le séquençage de l'ADN se répand, dans la deuxième moitié des années 1970, «l'EMBL saute sur l'occasion, qui lui apparaît enfin comme un moyen de se légitimer: c'est ainsi qu'il établit en 1982 la première banque de données publique de séquences génomiques, la Nucleotide Sequence Database». Si le séquençage ne nécessite pas de gros outils, il produit du Big Data qui, lui, nécessite une infrastructure de taille.

«Quand on reçoit de l'argent de la même source, on a tendance à se parler davantage.»

Bruno Strasser

En 1990, le Human Genome Project (HGP) entreprend le séquençage complet de l'ADN humain. L'importance de l'objectif et de son potentiel médical est mise en avant dans des proclamations publiques. En 2000, le président américain Bill Clinton déclare qu'il est «tout à fait possible que, pour les enfants de nos enfants, le cancer ne soit

plus qu'une constellation du zodiaque». Le projet, présenté comme relevant de la Big Science, prend en réalité une forme adaptée à l'échelle modeste des laboratoires de biologie. «Il s'écarte du modèle CERN, qui concentre les ressources en un lieu unique, fermé comme un microcosme et aussi peuplé qu'une petite ville, note Bruno Strasser. Le HGP, au contraire, fonctionne de manière éclatée dans l'espace, avec des recherches menées dans un grand nombre d'institutions qui se rassemblent pour l'occasion en un consortium international.»

Cette logique est poussée aujourd'hui encore plus loin. C'est le cas, selon l'historien, avec SystemsX, une initiative helvétique en biologie des systèmes menée par un consortium de recherche sur plusieurs sites et représentant le plus vaste projet scientifique à ce jour dans le pays. Lancée en 2008 et clôturée en 2018, elle ne s'appuie pas sur une infrastructure géante et ne tend pas vers un grand but unique. Il s'agit plutôt d'un faisceau de projets qui partagent une devancure commune, comme le montre la thèse soutenue à l'ETH en 2017 par Alban Frei. «Mais la coordination de SystemsX et sa manière de se présenter empruntent à la mégascience, poursuit Bruno Strasser. L'initiative dispose de chargés de communication à plein temps qui s'occupent de son image. Elle permet aux chercheurs de donner à voir leurs travaux sous une lumière nouvelle, en mesure de toucher le public et les politiques. C'est très habile du point de vue du dialogue avec le reste de la société et des levées de fonds.»

Se rassembler pour atteindre une masse critique et doper la visibilité: s'agit-il là d'une pure affaire d'image? «D'un côté, on pourrait dire que l'opération SystemsX ne répond pas à une nécessité scientifique, répond le chercheur genevois. Après tout, personne ne sait vraiment ce qu'est la biologie des systèmes... Mais l'initiative stimule des recherches intéressantes. Elle encourage les échanges car, quand on reçoit de l'argent de la même source, on a tendance à se parler davantage. On s'attend à une fertilisation entre les différents projets, qui profitent d'un cadre commun dans lequel les différentes pièces peuvent se mettre ensemble en faisant apparaître un motif.»

#### Le retour des amateurs

En passant d'un fonctionnement centraliste à un modèle en réseau, la science des grands projets renoue avec une situation plus ancienne, observe Bruno Strasser: «Au XIXe siècle, la mégascience était celle des biologistes. Ses centres de recherche étaient les jardins botaniques et les musées d'histoire naturelle de Berlin ou de Londres. Ses grands projets passaient par l'exploration du monde. Il s'agissait alors de coordonner des centaines de personnes partant aux quatre coins de la planète sur des bateaux et de faire travailler ensemble des gens de nationalités et cultures diverses, parmi lesquels on trouvait un grand nombre d'amateurs.»

Il est frappant de remarquer que les non-spécialistes réapparaissent aujourd'hui à travers la science citoyenne. «Selon nos estimations, il y aurait quelque 10 millions

de personnes dans le monde qui s'activent dans ce cadre, poursuit le chercheur genevois. Les domaines où la participation du public croît vite et se déploie largement sont les mêmes qui ont vu historiquement une implication importante d'amateurs, à savoir les sciences naturalistes et l'astronomie.» On contribue au classement de millions de galaxies dans le cadre de Galaxy Zoo, on contribue à suivre l'évolution de la biodiversité en postant des photos en ligne, on prend part à l'étude du changement climatique en relevant le moment où les feuilles commencent à tomber... Ce mouvement représente une autre manière de faire de la recherche à très large échelle, réalisant un mégaprojet à partir d'une myriade de menues contributions individuelles. «Finalement, la participation publique à la recherche, qui était la norme aux XVIIIe et XIXe siècles, n'aura peut-être vécu qu'une éclipse au siècle dernier, au cours de laquelle le public aura été un pur consommateur d'informations scientifiques et du spectacle de la science, avant de retrouver un rôle plus actif.»

«Les bâtiments circulaires sont grandioses et majestueux. Un décor idéal pour que des politiciens serrent des mains sous l'œil des caméras.»

Olof Hallonsten

La pratique participative se greffe parfois sur des données générées massivement par la science professionnelle. C'est le cas de l'Annotathon, projet en ligne dont les participants sont invités à annoter les séquences d'ADN issues du projet Global Ocean Sampling de Craig Venter. «Il faut relever que la production de données ouvertes constitue l'un des effets secondaires de la mégascience, note Bruno Strasser. Ce principe d'ouverture est d'autant plus solide qu'il ne résulte pas d'une forme d'idéalisme, mais d'une nécessité, notamment dans le cadre des consortiums. Impossible de se coordonner s'il existe la possibilité que chaque participant retire ses données.» Adoptés dans le cadre du Human Genome Project, les Principes des Bermudes (1996) et les accords de Fort Lauderdale (2003) instaurent en effet la pratique du libre accès et de la diffusion instantanée des données dans le domaine du génome.

#### Un faisceau de possibilités

La Big Science paraît aujourd'hui s'engager simultanément dans de multiples directions. L'exemple du Global Ocean Sampling reflète le brouillage de frontières en cours dans ce domaine. Cette entreprise consistant à circumnaviguer le globe pour relever la diversité génétique de la population microbienne marine se déploie en réalité à partir de l'infrastructure relativement modeste d'un yacht privé. Son promoteur, Craig Venter, est à la fois un scientifique et un homme d'affaires. Le pool de financement regroupe des fondations privées, la chaîne de télé Discovery Channel pour

## LA MÉGASCIENCE EN SIX PROJETS

### 1 ÉNERGIE ALLUMER UN SOLEIL SANS SE BRÛLER

International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) 2006–2025, Cadarache (F)

**OBJECTIF:** vérifier la faisabilité scientifique et technique de la fusion nucléaire comme nouvelle source d'énergie. **SUPERLATIFS:** l'effort scientifique le plus complexe de tous les temps; un projet qui

revient à «allumer un soleil sur terre».

**APPLICATIONS:** une énergie censément propre et illimitée. **COÛT ESTIMÉ:** EUR 20 milliards. **ACTEURS:** CN, EU, IN, JP, KR, RU, USA. **PÉRIPÉTIES:** des problèmes de gouvernance, de conception et de budget débouchent sur un changement de management en 2015. **LIMITES:** des critiques à large spectre évoquent les verrous technologiques comme la mise au point d'un matériau suffisamment résistant, les doutes sur l'innocuité effective de la technique, le risque de délaisser d'autres axes de recherche en matière d'énergies renouvelables ou encore de se faire prendre court par des initiatives privées telles les start-up Commonwealth Fusion Systems, General Fusion of British Columbia ou encore Tri Alpha Energy.

### 2 NEUROSCIENCES LE CERVEAU SIMULÉ

Human Brain Project (HBP) 2013–2023, EPFL (CH)

**OBJECTIF:** reproduire le fonctionnement d'un cerveau humain sur super-ordinateur. **APPLICATIONS:** médecine, technologies de l'information. **COÛT ESTIMÉ:** EUR 1 milliard. **ACTEURS:** l'UE, l'EPFL et une centaine d'instituts de recherche dans une vingtaine de pays. **PÉRIPÉTIES:** en 2014, 750 scientifiques signent une lettre ouverte à la Commission européenne critiquant la gestion centraliste du projet et la marginalisation des neurosciences cognitives, ce qui conduit à une réorientation du projet, une modification de sa gouvernance et une redéfinition des objectifs – développer des

outils au service des neurosciences et de l'informatique. Une nouvelle crise a lieu en août 2018 avec la démission du directeur exécutif, Chris Ebell. **LIMITES:** «On a basculé dans une logique de projet industriel, écrit Yves Frégnac, l'ancien coordinateur du projet pour le CNRS. La Commission européenne (...) exige désormais ces plates-formes (...) dérivent des 'produits'. Mais je ne suis pas sûr que cette approche dominée par la technologie soit de nature à nous permettre de répondre aux grandes questions scientifiques que nous pose le cerveau humain.»

### 3 GÉNÉTIQUE PARTAGER LE GÉNOME

Human Genome Project 1990–2003, USA et GB.

**RÉSULTAT:** détermination des séquences d'ADN de l'espèce humaine. **SUPERLATIF:** le plus gros projet collaboratif de tous les temps en biologie. **APPLICATIONS:** médecine, sciences forensiques, séquençage rapide de l'ADN. **COÛT:** USD 2,7 milliards (en dessous du budget annoncé de 3 milliards). **ACTEURS:** les National Institutes of Health américains, la fondation britannique Wellcome Trust, une vingtaine de centres de recherche (CN, DE, FR, JP, UK, USA). **PÉRIPÉTIES:** une compétition acharnée a lieu avec la compagnie Celera Genomics de Craig Venter qui projette de monétiser l'accès aux

résultats; le débat qui s'ensuit aboutit à imposer l'idée du libre accès aux données génomiques. **LIMITES:** les applications médicales attendues tardent à venir; et dix-sept ans après la publication initiale du génome humain, nous n'avons toujours pas trouvé tous nos gènes. La réponse s'avère plus complexe qu'on ne l'avait imaginé, écrit le bioinformaticien Steven L. Salzberg.

### 4 PHYSIQUE LA DÉMESURE DE L'INFINIMENT PETIT

CERN 1954–, Genève (CH)

**OBJECTIF:** comprendre de quoi est faite la matière, d'où elle vient, et quelles forces fondamentales régissent l'univers. **SUPERLATIFS:** le Large Hadron Collider fait 26,6 km de circonférence pour le LHC, accélère des protons à 99,9999991% de la vitesse de la lumière, et génère 6 GB de données brutes par seconde... **APPLICATIONS:** en premier lieu, la connaissance. On doit au CERN néanmoins nombre d'innovations en médecine (imagerie), environnement (senseurs) et bien entendu en informatique (gestion du Big Data et invention du World Wide Web en 1989).

**COÛT:** budget annuel CHF 1,2 milliard. **ACTEURS:** 22 Etats européens, ainsi qu'Israël. **PÉRIPÉTIES:** le CERN excite les fantasmes de fin du monde, entre trous noirs à même d'engloutir notre planète et autres bombes à antimatière. **LIMITES:** la confirmation de l'existence du boson de Higgs en 2012 fut certes un triomphe, mais ne put vraiment débloquent l'impasse dans laquelle se trouve la physique des particules contemporaine dans son chemin vers une grande théorie universelle.



mettre l'expédition en spectacle et le Département de l'énergie américain, qui espère trouver dans les microbes des solutions innovantes aux besoins énergétiques nationaux. Et l'Annotathon relie le projet à une dimension participative.

A côté de cela, d'autres projets prolongent des trajectoires plus classiques de course à la grandeur (voir «La mégascience en six projets», p. 14). Mais d'une manière ou d'une autre, la plupart d'entre eux sont confrontés à des exigences d'ouverture et de diversification. Le Human Brain Project a mis en sourdine ses vertigineuses proclamations initiales – reproduire le fonctionnement du cerveau humain, voire la conscience, sur un superordinateur – pour se recentrer davantage sur le développement d'une plateforme technologique dans le domaine de la neuro-informatique.

L'Extreme Light Infrastructure européenne a mis en chantier la construction des lasers les plus puissants du monde sans définir des objectifs de recherche précis, laissés de fait à ses futurs utilisateurs. Il en va de même pour la European Spallation Source (ESS), qui se bâtit actuellement en Suède autour d'une source de neutrons pulsés annoncée comme trente fois plus puissante que ses homologues actuels. L'ESS s'inscrit dans le nouveau paradigme de la «petite science avec de gros outils», au service d'une quête ouverte d'applications pratiques. Mais si le frisson de la grandeur n'est pas provoqué par un objectif de recherche herculéen, il est déclenché ici par l'aspect physique des lieux, observe Olof Hallonsten: «Je vois le chantier depuis la

fenêtre de mon bureau à l'Université de Lund. Les bâtiments circulaires sont grandioses et majestueux. C'est un décor idéal pour que des politiciens serrent des mains sous l'œil des caméras.»

Ce gigantisme pourrait déployer quelques effets pervers, selon le chercheur suédois: «L'un des risques, c'est que les investissements dans ces infrastructures imposantes se fassent au détriment des budgets qui financent le travail des chercheurs. En Suède, on a entendu des politiciens s'adresser à la communauté scientifique en disant: nous avons mis tous ces fonds dans l'ESS; vous l'avez donc eu, votre argent! A l'opposé, le gouvernement danois – qui a également beaucoup investi dans le projet – a annoncé que pour chaque euro alloué à l'ESS, un autre euro financera les scientifiques afin qu'il puissent utiliser l'infrastructure.» Loin des projets placés sur une trajectoire unique, la mégascience contemporaine trace aujourd'hui ses voies au pluriel, en un faisceau de possibilités.

Nic Ulmi est journaliste libre à Genève.

### Les nouveaux projets à 1 milliard d'euros

Avec son programme FET Flagships (initiatives phare des technologies futures et émergentes), la Commission européenne soutient une mégascience développée «bottom-up»: ce sont les scientifiques eux-mêmes qui proposent des projets d'un budget d'environ un milliard d'euros. Un nouvel appel d'offre est en cours dans les domaines de la société connectée, de la santé et de l'environnement. Parmi les 33 propositions retenues se trouvent deux initiatives impliquant fortement l'EPFL: Time Machine, qui ambitionne de convertir les archives historiques en simulations du passé, et HealthEU, qui compte développer des avatars numériques sur lesquels tester des soins médicaux personnalisés. A la suite de la sélection effectuée par des responsables scientifiques, politiques et industriels, un ou deux projets seront lancés en 2020. L'EPFL coordonne déjà le Human Brain Project, démarré en 2013 en même temps que le second flagship Graphene. Le programme Quantum, dédié aux technologies quantiques, débute en 2019.

## 5 SPATIAL LES LOURDEURS DE L'APESANTEUR

**Station spatiale internationale (ISS) 1993–2028, en orbite**

**OBJECTIFS ET RÉSULTATS:** étudier l'adaptation humaine à l'environnement spatial en vue de missions lunaires et martiennes; coopération internationale; présence humaine en orbite continue pendant dix-huit ans. **SUPERLATIFS:** l'objet le plus coûteux jamais construit. **APPLICATIONS:** science des matériaux, énergie, météorologie, médecine, tourisme spatial. **Coût estimé:** USD 150 milliards. **ACTEURS:** la NASA avec les agences spatiales russe, européenne, japonaise et canadienne. **PÉRIPÉTIES:** l'accident de la navette spatiale

Columbia en 2003 et des problèmes budgétaires retardent les travaux; en février 2018, l'administration Trump annonce qu'elle entend privatiser l'ISS. **LIMITES:** le débat sur la contribution effective de l'ISS à la recherche scientifique ressurgit périodiquement. Le nombre d'études menées à bord a finalement augmenté au cours des années 2010 et suivantes, mais ne suffit pas à développer «un argumentaire convaincant en faveur de la recherche scientifique à bord de l'ISS», écrit le politologue William Bianco en 2017.

## 6 INTERDISCIPLINAIRE LE LASER POUR TOUS

**Extreme Light Infrastructure (ELI) 2013–2018, Hongrie, Tchéquie et Roumanie**

**OBJECTIFS:** quatre plate-formes technologiques interdisciplinaire basées sur des lasers; cohésion européenne. **SUPERLATIFS:** les lasers les plus puissants au monde. **APPLICATIONS:** matériaux, médecine (hadronthérapie), destruction de déchets radioactifs, etc. **BUDGET:** EUR 850 millions. **ACTEURS:** l'Union européenne; la Hongrie, la République tchèque et la Roumanie.





### Observer les étoiles, profiter du Soleil

En 2019 devrait débuter la construction du Square Kilometre Array: 200 radiotélescopes sur un terrain de 15 km<sup>2</sup> en Afrique du Sud, complétés par des centaines de milliers d'antennes en Australie. Sa puissance correspondra à celle d'un télescope dont la parabole aurait une surface de 1 km<sup>2</sup>, et il produira dix fois plus de trafic de données qu'Internet. La ferme solaire Desert Sunlight, qui occupe un terrain de 15 km<sup>2</sup> en Californie, a une capacité électrique de 550 MW, soit une fois et demie celle de la centrale nucléaire de Mühleberg (BE).

# 15 km<sup>2</sup>





# Du temps et de l'argent

Journaliste: Lionel Pousaz

Infographie: CANA atelier graphique

Découvrir les composantes ultimes de la matière, observer la lumière primordiale du cosmos, percer le mystère de la conscience: la mégascience s'attaque aux questions les plus fondamentales et y met les moyens. Depuis cinq décennies, une quarantaine de projets dépassent les 100 millions de dollars. Le visage de la Big Science a changé ces dernières décennies: elle s'ouvre à la biologie et à l'environnement ainsi qu'à de nouveaux pays tels que la Chine et l'Inde.

## Physique

L'ère de la Big Science est née avec le projet Manhattan visant à développer la bombe atomique (coûts: 20 milliards de dollars ajustés 2017). Depuis, les projets géants vont de la connaissance fondamentale (CERN) à l'énergie (ITER) et s'ouvrent désormais à d'autres disciplines (ESS, XFEL).

## Astronomie

Les outils d'observation du cosmos sont à la mesure de sa taille, avec des coûts souvent faramineux. Successeur de Hubble, le James Webb Space Telescope sera placé quatre fois plus loin de la Terre que la Lune. Aucune réparation ne sera possible pour ce bijou de 10 milliards de dollars.

## Spatial

Les grands projets spatiaux servent avant tout aux luttes entre sphères d'influence ainsi qu'au développement commercial et industriel. La science en fait partie, et pas seulement en astronomie. L'ISS constitue la construction la plus onéreuse de l'histoire, mais son rendement scientifique reste controversé.

## Génétique

Voilà trente ans, le Human Genome Project ouvrait la mégascience à la biologie et posait les bases du concept de médecine personnalisée. De nombreux pays poursuivent leurs propres efforts, notamment les Etats-Unis avec le projet All of Us, qui prévoit de séquencer l'ADN d'un million d'individus.

## Environnement

D'ambitieux programmes d'observation de l'environnement scrutent la Terre, les océans et l'atmosphère. Avec le réseau Copernicus de satellites sentinelles, l'Union européenne est la plus active dans ce domaine. Mais est-ce suffisant au vu de l'urgence et de l'étendue des problèmes environnementaux actuels?

## Neurosciences

Pour étudier le cerveau – objet probablement le plus complexe de l'univers – le Human Brain Project (UE) et le Brain Initiative (USA) veulent fédérer la recherche mondiale. Leurs approches sont diamétralement opposées: simulation informatique pour l'un, technologies expérimentales d'observation pour l'autre.

### Projets

#### All of US

Alpha Magnetic Spectrometer

#### Brain Initiative

Deep Underground Neutrino Experiment

Giant Magellan Telescope

Hubble Space Telescope

Human Genome Project

Human Microbiome Project

James Webb Space Telescope

LIGO

Mars Science Laboratory

National Ignition Facility

New Horizons Pluto Mission

Tevatron

Thirty Meter Telescope

Very Large Array

#### Copernicus Program

Envisat

European Extremely Large Telescope

European XFEL

Extreme Light Infrastructure

Human Brain Project

Alma Telescope

International Space Station

ITER

Large Hadron Collider (Cern)

Square Kilometre Array

Circular Electron Positron Collider

Five Hundred Meter Aperture Spherical Telescope

Facility for Antiproton and Ion Research

Wendelstein 7-X

MYRRHA

Ocean Networks Canada

India-based Neutrino Observatory

European Spallation Source

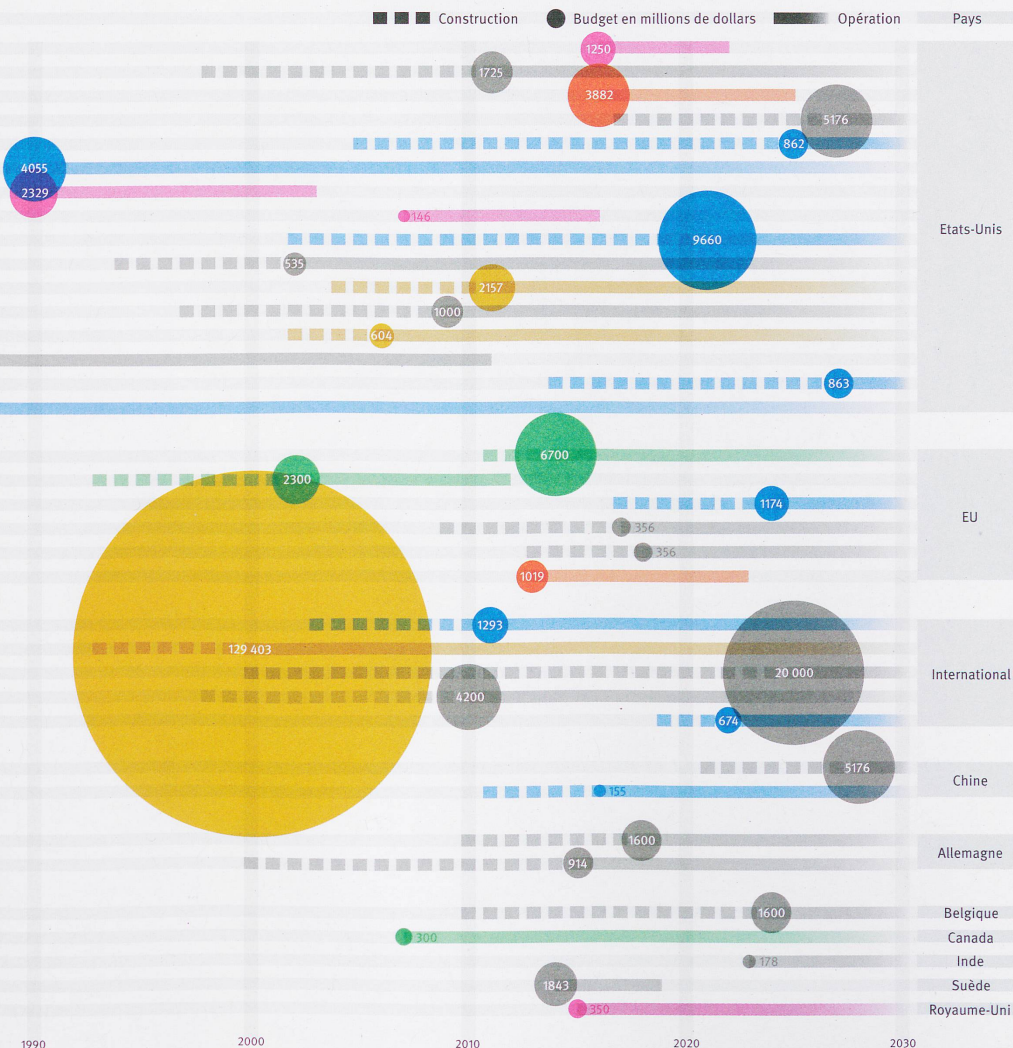
100 000 Genomes Project

1970

1980

### DONNÉES

Liste des projets scientifiques dont le coût ou le budget dépasse les 100 millions de dollars. Les montants ne sont pas directement comparables: certains incluent l'exploitation des infrastructures, d'autres louent l'utilisation à des tiers. Les budgets des projets non achevés sont incertains. Les budgets de recherche nationaux (2015) incluent la recherche industrielle. Sources: recherches menées par Horizons (octobre 2018).



### Investissements nationaux pour la recherche (mio USD)

L'argent dépensé en Suisse en un an pour la recherche publique et privée permettrait de financer la construction de trois accélérateurs de particules géants. Quelque 800 millions y sont consacrés à des infrastructures de recherche nationales et internationales. Mais en fin de compte, 95% des dépenses vont à la «Small Science».

Suisse  
15 217

EU  
346 960

Etats-Unis  
456 903



### Découvrir le Higgs, allumer la lumière

Le CERN et son Grand collisionneur de hadrons (LHC) consomme autant d'électricité que toute la ville de Lausanne. Alors que population et entreprises sont constamment appelées à faire des économies d'énergie, la question se pose: jusqu'où pousser la quête de nouvelles particules? Le physicien James Beacham, lui, propose très sérieusement de construire un accélérateur sur la Lune.

# 1300 000 MWh



# Qui paiera le CERN de demain?

Coûteuses et complexes, les grandes infrastructures de recherche sont difficiles à financer et à coordonner. Depuis une dizaine d'années, des feuilles de route veulent faciliter leur planification. Mais une vision à long terme manque souvent pour assurer leur pérennité. *Par Geneviève Ruiz*

**Q**uatre milliards d'euros pour le Hadron Collider au CERN, deux pour la European Spallation Source en Suède. Mais aussi 275 millions de francs pour le SwissFEL en Argovie, sans oublier les bio-banques et les bases de données numériques. Les infrastructures nécessaires pour mener de nombreuses recherches de pointe coûtent beaucoup d'argent et bloquent ces sommes durant les décennies qu'exige leur mise en place. D'où une question simple: qui décide finalement de financer - ou non - ces mégaprojets? La réponse, elle, est plus compliquée.

La politique accorde une attention croissante à ces infrastructures de recherche, notamment les Etats et l'Union européenne, mais également l'OCDE et le G7. L'UE les considère désormais comme un «moteur» pour l'économie. Avec sa European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI), elle s'est efforcée de mettre en place des procédures de priorisation stratégique. Lancées dès 2006, les «feuilles de route» sont élaborées conjointement par des scientifiques et des représentants de la Commission européenne, des Etats membres ainsi que des pays associés au programme-cadre de recherche et d'innovation, dont la Suisse. Ces documents doivent établir un état des lieux des infrastructures existantes, identifier les besoins et définir les priorités pour l'avenir.

## Compétition mondiale

«Cette volonté européenne d'une plus grande coordination a émergé dans un contexte de croissance des coûts et du nombre de projets, accompagnée par une baisse générale des budgets étatiques, explique Nicolas Rüffin, spécialiste de la diplomatie scientifique au Centre de recherche en sciences sociales de Berlin

(WZB). Mais elle peut résulter aussi d'une compétition accrue perçue au niveau global: l'argument avancé est que si les pays européens ne mettent pas leurs ressources en commun, ils ne pourront pas faire le poids avec les Etats-Unis ou l'Asie.»

La plupart des pays européens ont décidé de se calquer sur le modèle de l'ESFRI, note Isabel Bolliger de l'Institut de hautes études en administration publiques à Lausanne (IDHEAP), qui étudie les infrastructures de recherche: «Chaque Etat a intégré la méthodologie européenne à sa façon, selon la structure de ses institutions, sa politique de soutien à la science ou encore sa culture politique. Résultat: il existe une grande diversité de modèles, qui vont de la simple identification d'infrastructures manquantes à des recommandations détaillées en vue de décisions budgétaires.»

«L'argument: si les pays européens ne mettent pas leurs ressources en commun, ils ne pourront pas faire le poids avec les Etats-Unis ou l'Asie.»

Nicolas Rüffin

Elaborée en 2011, la première feuille de route helvétique «sert d'abord d'instrument de planification à la Confédération et aux hautes écoles», précise Nicole Schaad, cheffe de l'unité Recherche nationale au Secrétariat d'Etat à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI). Une présélection des projets nationaux est effectuée par le Conseil des EPF et Swissuniversities, l'association des hautes écoles de notre pays. Ils sont ensuite évalués par le FNS sur la base de leur qualité scientifique.

«Le modèle suisse possède une certaine complexité due au rôle important joué par le Conseil des EPF, lié à la Confédération, et par Swissuniversities, qui représente des institutions cantonales, observe Isabel Bolliger. Mais l'inclusion de ces acteurs permet de s'assurer de l'engagement des institutions.»

Point important souvent mal compris des scientifiques: la feuille de route suisse ne constitue pas un instrument de financement. «Il faut noter que la Confédération ne joue qu'un rôle secondaire dans les infrastructures nationales, car elle ne dispose pas de budget spécifique», poursuit Nicole Schaad. Le Parlement vote un montant global pour les hautes écoles qui inclut la formation et la recherche. Celles-là décident ensuite de la répartition des montants. Ce n'est que pour les infrastructures à vocation intergouvernementale que la Confédération participe à l'évaluation de la nécessité de participer à tel ou tel projet. La sélection de ce type de projets est par ailleurs réalisée directement par le SEFRI, sur la base des propositions des communautés scientifiques concernées et d'une prise de position du FNS.

Certaines feuilles de route nationales incluent la question du financement, comme en Suède ou en République tchèque, note Isabel Bolliger: «Cela permet de mieux prioriser l'allocation des ressources au niveau national. Mais le modèle suisse s'insère dans un système fédéral, c'est pourquoi il n'y a pas de ligne budgétaire nationale spécifique pour les infrastructures de recherche. En même temps, la grande autonomie des universités représente un atout important.»

Les feuilles de route ont rendu les procédures plus cohérentes. «Auparavant, lorsqu'une communauté de scientifiques avait une idée, elle allait en parler directement au SEFRI et aux politiciens, raconte Hans



Rudolf Ott, professeur de physique à l'ETH Zurich impliqué dans la planification de plusieurs grandes infrastructures de recherche. Maintenant, les dossiers doivent être préparés solidement, les objectifs et les étapes de réalisation clairement définis, et les besoins financiers évalués. Cela demande beaucoup de travail, mais c'est à la fin plus efficace.» Pour lui, ces procédures permettent d'instaurer un dialogue constructif entre les scientifiques et les institutions. «Nous avons des espaces pour exprimer nos opinions et celles-ci sont entendues par les institutions. Et elles nous rendent attentifs à certains aspects politiques et financiers qui risqueraient de compromettre la faisabilité du projet.»

Les différentes communautés scientifiques n'étaient auparavant pas toujours motivées à consacrer le temps nécessaire à de tels processus, poursuit le chercheur. «Mais elles en ont vite constaté les avantages, car les feuilles de route leur permettent d'effectuer un travail en amont et de définir ainsi leurs priorités. Cela implique certes de renoncer à certains projets, mais le pire serait de se montrer incohérent face aux décideurs politiques, ce qui signifierait probablement ne rien obtenir du tout.»

### Des nouvelles entités légales

Un problème non résolu est celui de la durabilité des infrastructures de recherche. Leur conception, construction et utilisation s'étend sur des décennies, et il faut prévoir à l'avance des fonds pour leur mise à jour, leur fonctionnement et éventuellement leur fermeture. «Trouver des ressources financières adéquates représente un challenge pour de nombreuses infrastructures et une véritable menace envers leur capacité à planifier à moyen et à long terme», selon un rapport de l'OCDE de 2017 sur la question et co-rédigé par Hans Rudolf Ott.

«A l'heure actuelle, obtenir des garanties de financement à si long terme reste très difficile, note Isabel Bolliger. Les cycles politiques opèrent sur une année, au mieux quatre ans. Il est plus gratifiant

d'implémenter de nouvelles installations que de prévoir un budget pour leur fonctionnement et leur mise à jour. Mais cela est indispensable si l'on veut garantir l'objectif premier de ces infrastructures, à savoir l'excellence scientifique.»

«Il est plus gratifiant en politique d'implémenter de nouvelles installations que de prévoir un budget pour leur mise à jour.»

Isabel Bolliger

Cette situation résulte notamment des arrangements institutionnels des projets et de leurs multiples sources de financement. «De nouvelles formes juridiques destinées à leur gestion ont émergé telles que le European Research Infrastructure Consortium (ERIC), note Nicolas Rüffin. Ces entités sont plus flexibles et moins lourdes que les grosses organisations comme le CERN. Mais elles engendrent aussi une instabilité et une complexité croissante.»

Les ERICs ont été lancés en 2008 par l'Union européenne afin de permettre la création rapide d'infrastructures de recherche. Ils proposent un cadre légal au sein duquel des Etats peuvent s'associer, également avec des organisations intergouvernementales déjà existantes - au lieu de devoir en créer une nouvelle, ce qui nécessiterait de longues négociations. Dans le cadre des ERICs, un Etat a la possibilité de déléguer sa représentation à une entité privée ou publique, comme une organisation de recherche. Mais il demeure responsable en dernière ligne. «Les 19 ERICs existant actuellement diffèrent beaucoup entre eux, note Maria Moskovko de l'Université de Lund en Suède, qui étudie leur fonctionnement. Certains sont de grandes installations concentrées en un lieu alors que d'autres sont organisés en réseau. Comme il s'agit d'une forme juridique

inérite, ces consortiums sont confrontés à des problèmes avec les administrations et les banques, qui ne comprennent pas ce qu'ils sont vraiment.»

Les nouvelles formes juridiques mises en place cette dernière décennie restent mal connues, tout comme les constellations d'acteurs impliqués et les dynamiques de prises de décision. Une chose est devenue claire: il faut mener une réflexion globale pour déterminer les méthodologies et les modèles communs qui fonctionnent le mieux.

Geneviève Ruiz est journaliste libre à Nyon et rédactrice en chef du magazine *Hémisphères*.

### Comprendre les grandes infrastructures

Coordonné par le Fonds national suisse, le projet européen InRoad veut identifier les bonnes pratiques en termes de planification d'infrastructures de recherche, harmoniser les procédures et encourager la durabilité des installations. Il a notamment mené une large collecte d'informations auprès des Etats membres de l'UE ainsi que des pays associés à Horizons 2020. Les résultats d'InRoad seront publiés fin 2018. Isabel Bolliger de l'IDHEAP à Lausanne a cofondé avec d'autres jeunes scientifiques européens le réseau BSRI qui rassemble actuellement des contributions pour un livre.



An abstract artwork featuring a dense cluster of thin, colorful lines (red, orange, yellow, blue, green) radiating from a central point, with numerous small, colorful spheres (red, orange, yellow, blue, green) scattered throughout the lines, resembling a complex network or a stylized brain structure.

### Conscience humaine, conscience écologique

A mi-chemin, le Human Brain Project a déjà dû faire face à de sérieuses crises et son objectif premier – simuler un cerveau humain – reste très lointain. Un pari risqué à 1 milliard d'euros. Soit la somme qui doit être investie dans les travaux prioritaires de la 3e correction du Rhône entamés en 2009, ici, près de Viège (VS). Leur but: protéger la région des crues et rendre les rives plus proches de leur état naturel.

# 1 milliard EUR

