

CERN: le LHC et la participation suisse

1. Introduction

On peut dire du *Grand collisionneur de hadrons* (*Large Hadron Collider* LHC), avec ses quatre détecteurs ALICE, ATLAS, CMS et LHCb, que c'est le plus gros et le plus puissant microscope de tous les temps. Des particules chargées d'énergie de plusieurs téra-électrons-volts (TeV) entrent en collision et rendent ainsi possible la recherche en physique sur des distances infiniment petites, correspondant à environ un milliardième du diamètre d'un atome. Le chemin qui conduit, à travers les échelles d'énergie, de l'électron-volt au téra-électron-volt part de la chimie et de la physique de la matière condensée (domaine de l'électron-volt ou eV) pour passer par les réactions nucléaires (million d'électrons-volts ou MeV) et atteindre le domaine des particules élémentaires (milliard d'électrons-volts ou GeV) que les physiciens ont étudiées ces cinquante dernières années. Dans cette zone inconnue du téra-électrons-volts, les scientifiques espèrent pouvoir observer des phénomènes physiques totalement inédits. On y cherchera, par exemple, le boson de Higgs, une particule élémentaire qui donne à toutes les autres – pense-t-on – leur masse, et qu'il n'a pas été possible de détecter avec les instruments actuellement en service. On espère y trouver également des particules mystérieuses, constituants possibles de cette matière noire qui, bien qu'invisible, représente la plus grosse fraction de la matière que renferme l'Univers.

Ingénieurs et physiciens du monde entier ont planifié, développé et bâti le LHC durant ces quinze dernières années. Par un souci d'économie, le tunnel creusé au CERN pour son prédécesseur, le LEP (*Large Electron-Positron Collider*), a été réutilisé. Il s'agit d'un anneau de 8,6 km de diamètre et d'une circonférence de 27 km, enfoui à une profondeur de 50 à 175 mètres dans le sous-sol rocheux de la région comprise entre l'aéroport de Genève et la chaîne du Jura. Le LHC va entrer très prochainement en service et le but recherché – des collisions entre protons à une énergie de 14 TeV – devrait être atteint en 2009.

Pour détecter et caractériser les particules élémentaires nouvelles produites par ces collisions, les physiciens, regroupés en consortiums mondiaux nommés « collaborations », ont construit quatre grands détecteurs. Grâce à ces derniers, la physique des hautes énergies s'enrichira de connaissances nouvelles, et il sera possible de mieux comprendre de quoi est faite la matière et de mieux connaître l'origine des forces de l'Univers.

La Suisse a contribué de façon significative au développement de trois de ces détecteurs et elle continuera à jouer un rôle important dans leur entretien et leur exploitation au cours des dix prochaines années. L'analyse de l'énorme masse de données produites par les détecteurs afin d'en extraire des connaissances nouvelles lance un défi tout particulier aux universités suisses, aux écoles polytechniques fédérales et à l'Institut Paul Scherrer (PSI) qui sont bien préparées pour le relever.

Le texte qui suit donne un bref aperçu du LHC et de son fonctionnement (paragraphe 2-5) avant de se focaliser sur la participation suisse aux trois détecteurs – ou expériences – (paragraphe 6) et au CERN (paragraphe 7).

2. Le LHC

Les paramètres de base du LHC dépassent tout ce qui a été fait à ce jour en termes d'accélérateurs de particules. L'énergie des deux faisceaux de protons atteindra des valeurs encore jamais réalisées en laboratoire et les particules seront maintenues sur leur trajectoire circulaire à l'aide de plus de 9000 électroaimants, dont la plupart sont supraconducteurs. Ces derniers seront refroidis par de l'hélium liquide à une température de peu inférieure à 2° Kelvin (- 271,2°C) afin d'entrer en état de supraconductivité et de conduire l'électricité nécessaire à la formation des champs magnétiques sans résistance et, partant, sans perte d'énergie. Les deux faisceaux de protons circuleront sur les 27 km en sens contraires dans

deux tubes à vide séparés mais intégrés dans les mêmes aimants du LHC, à une vitesse égale à 99,9999991% de celle de la lumière. Chaque proton aura une énergie cinétique de 7 TeV, c'est-à-dire 7000 fois plus élevée que celle due à sa masse (et 7 fois plus grande que celle atteinte dans l'accélérateur le plus puissant en service aujourd'hui, le Tevatron du Fermilab aux USA). A pleine charge, l'énergie totale de chaque faisceau atteindra 362 mégajoules, ce qui correspond à peu près à l'énergie cinétique d'un train de marchandises lancé à grande vitesse.

Les faisceaux de protons seront fragmentés en 2808 paquets nommés « bunches », répartis régulièrement le long des 27 km du double tunnel. Chaque paquet aura la forme d'une épingle longue de quelques cm et contiendra environ 100 milliards de protons. A proximité des quatre détecteurs, le diamètre de ces paquets sera réduit à 16 microns, soit l'épaisseur d'un cheveu. Au centre des détecteurs, ces paquets comprimés se croiseront, ce qui produira chaque seconde plus de 600 millions de collisions impliquant les constituants des protons, les quarks et les gluons. Ce sont les débris de ces collisions qui feront l'objet d'une analyse détaillée.

Comme on pouvait s'y attendre, la réalisation d'un projet de cette dimension et de cette complexité, avec sa multitude d'instituts coopérant et de fournisseurs, s'est heurtée à de nombreuses difficultés techniques entraînant des délais. Dans l'ensemble, toutefois, les ingénieurs et les scientifiques sont très satisfaits. Le directeur du projet LHC, Lyn Evans, déclare: „*For a machine of this complexity, things are going remarkably smoothly.*“

3. Les détecteurs

Quatre détecteurs géants sont positionnés là où les collisions se produisent. Ils ont pour noms ATLAS, CMS, LHCb et ALICE, et le plus grand remplirait à moitié la cathédrale Notre-Dame de Paris, alors que le plus massif contient plus de fer que la Tour Eiffel. Le rôle de ces détecteurs est d'enregistrer et de mesurer les différentes particules élémentaires produites par les collisions de protons. Pour pouvoir suivre avec précision la trajectoire de ces particules, les éléments constitutifs des détecteurs doivent être assemblés avec une précision de 50 microns. Les données seront saisies à l'aide de 100 millions de canaux électroniques qui seraient en mesure de remplir 100'000 CD-ROM par seconde, ce qui donnerait en six mois une pile aussi haute que la distance Terre-Lune ! Il est donc impossible de stocker toutes les données et c'est pourquoi chaque détecteur est équipé de systèmes multiples de déclenchement nommés « triggers ». Ces systèmes sont comparables à un filtre anti-spam et ne laissent passer que quelques centaines d'événements intéressants par seconde, qui sont alors envoyés dans le système informatique central du CERN pour stockage et distribution au réseau mondial GRID pour analyse. A l'aide de logiciels spécialisés, les traces qu'ont laissées les particules en traversant le détecteur sont analysées et il est ainsi possible de déterminer leurs paramètres (masse, charge, trajectoires, etc.) ainsi que les caractéristiques de nouvelles particules élémentaires dont elles pourraient être issues.

La tâche qui attend les détecteurs et les systèmes de traitement des données est gigantesque. En pleine exploitation, le LHC donnera naissance à environ 20 collisions proton contre proton chaque fois que deux paquets de protons se croisent. Or, vingt-cinq nanosecondes plus tard se produiront déjà les prochaines collisions. Ceci signifie que les particules des premières n'auront pas encore quitté la périphérie du détecteur lorsque celles des prochaines se présenteront. Les détecteurs sont bâtis en couches concentriques, un peu comme un oignon. Chaque couche est destinée à détecter un type donné de particule ou à utiliser une méthode de mesure particulière.

Des communautés d'intérêt rassemblant des instituts universitaires et des laboratoires de recherche du monde entier ont construit les détecteurs. On les appelle les « *collaborations* » et elles ont pris en charge toutes les phases de développement, depuis la conception initiale jusqu'à la livraison d'éléments finis, construits en partie dans les ateliers des instituts concernés et en partie par des entreprises industrielles. Alors que les collaborations des deux gros détecteurs ATLAS et CMS regroupent environ 170 instituts, celles de LHCb et

ALICE en comptent une cinquantaine. Parmi ces instituts se trouvent des laboratoires suisses dont les importantes contributions sont décrites plus en détail au paragraphe 6.

4. Le traitement des données

Les données brutes filtrées arrivant des détecteurs sont d'abord transformées et concentrées de telle façon que les physiciens puissent les examiner. Ces transformations sont effectuées par plusieurs milliers d'ordinateurs au centre de calcul du CERN. On nomme ce premier niveau le « Tier-0 ». L'analyse proprement dite des données est assurée par la *Grille* (GRID), un réseau qui regroupe des dizaines de milliers de PC dans des instituts du monde entier (c'est le « Tier-2 »). Tous ces ordinateurs sont en liaison avec de grands centres de recherche sur trois continents par l'intermédiaire de trois douzaines de relais (« Tier-1 »), eux-mêmes reliés au CERN par des câbles optiques réservés à cet usage. Les données brutes sont archivées sur bandes magnétiques, aussi bien au CERN que dans les relais du « Tier-1 ». Aujourd'hui, cette façon de stocker les données est considérée comme la plus sûre et la plus avantageuse.

Les détecteurs ainsi que les systèmes d'enregistrement et de traitement des données ont pu faire l'objet d'essais préliminaires grâce aux particules élémentaires produites en permanence par les rayons cosmiques, qui laissent aussi des traces de leur passage dans les détecteurs.

5. Objectifs scientifiques du LHC

L'exploration du microcosme dans la zone d'énergie du TeV enrichira nos connaissances en physique des particules élémentaires mais il est certain qu'elle profitera également aux disciplines scientifiques collatérales. Les physiciens s'attendent à ce que l'on discerne clairement, dans de nouveau monde, ce qui relie entre elles les trois forces fondamentales de la nature – la force de gravitation, la force électrofaible et la force forte – de même que ce qui les distingue. On obtiendra ainsi des éléments de réponses à des questions fondamentales, notamment sur l'origine et la diversité des forces.

La quête de la particule de Higgs ne constitue qu'un premier pas. D'autres découvertes pourraient expliquer pourquoi la force de gravitation est tellement plus faible que les autres forces fondamentales de la nature, ou bien nous dire de quoi est faite cette matière noire invisible qui remplit l'Univers.

Aujourd'hui, les physiciens travaillent sur la base de ce que l'on appelle le modèle standard, développé dans les années 70 et 80 et que l'on a pu très largement vérifier expérimentalement. Cependant, la théorie derrière le modèle n'est pas complète et on a observé certains phénomènes importants sans pouvoir les expliquer. Un des principes de base du modèle standard est le fait que ses équations pour la matière et l'antimatière sont pratiquement symétriques, alors que l'Univers est fait presque uniquement de matière. D'où vient cette asymétrie ?

Un autre point peu clair est la question fondamentale de l'origine de la masse des particules élémentaires. Aucun autre sujet n'a autant occupé les physiciens des particules au cours des dernières décennies que la particule qui porte le nom du physicien théoricien Peter Higgs et qui est censée apporter la réponse. Si elle est devenue presque une icône, c'est parce que c'est la seule particule prédite par le modèle standard qui n'a pas encore été observée expérimentalement. La détecter est donc l'un des objectifs principaux du LHC.

6. L'apport de la Suisse aux détecteurs du LHC

Des chercheurs de quatre universités (Bâle, Berne, Genève et Zurich), des deux écoles polytechniques fédérales de Lausanne (EPFL) et de Zurich (ETHZ) et de l'Institut Paul Scherrer (PSI) participent à des « collaborations » et ont ainsi apporté leur contribution aux détecteurs du LHC. Plusieurs d'entre eux ont été actifs depuis le début, lorsque les travaux

préparatoires ont démarré il y a quinze ans environ. Cette participation représente un atout important de nos hautes écoles dans leur rôle de centres d'enseignement et de recherche. Grâce à elle, les étudiants qui y préparent leur doctorat ont la chance de collaborer à la construction et à l'exploitation d'un instrument unique de recherche, avant d'entrer comme cadres dans l'industrie, l'administration ou les universités.

Ainsi que le résume le tableau 1, la Suisse participe à la construction et à l'exploitation de trois des quatre détecteurs du LHC¹. Cette participation comprend des apports conceptuels et techniques, des développements d'instrumentation et de logiciels dans les instituts concernés et des éléments construits par l'industrie. L'étroite coopération entre ces différents partenaires stimule un échange de connaissances créatif qui ne peut qu'avoir des retombées positives à long terme. En effet, c'est lorsque des domaines nouveaux de la technique et de l'ingénierie doivent être explorés (comme c'est le cas pour atteindre la précision et l'efficacité requise pour détecter les particules au LHC) que l'originalité et la créativité des chercheurs et des industriels sont stimulées; le savoir-faire ainsi développé peut ensuite servir à d'autres projets et au développement d'autres produits, et aboutir ainsi à des bénéfices économiques.

En plus de la participation suisse aux collaborations ATLAS, CMS et LHCb, il faut encore mentionner le rôle des chercheurs dans l'analyse, le traitement et l'évaluation des données. Lancée sous l'égide de l'Institut suisse pour la physique des particules (Swiss Institute for Particle Physics, CHIPP, www.chipp.ch), cette coopération entre plusieurs instituts est coordonnée par le Centre suisse de calcul scientifique (Centro Svizzero per il calcolo scientifico, CSCS) à Manno au Tessin, qui joue le rôle d'un « Tier-2 » pour le LHC.

Détecteur	Total des partenaires	Partenaires suisses	Contributions suisses
ATLAS	169	Universités de Berne et de Genève	Détecteurs à bandes de silicium; électronique de lecture des calorimètres; système de déclenchement de haut niveau; système d'acquisition et de formatage des données; bobines pour les aimants; fils supraconducteurs
CMS	183	Universités de Bâle et de Zurich, ETHZ, PSI	Détecteurs au silicium (à pixels et à bandes); cristaux, photodétecteurs et électronique de lecture pour le calorimètre électromagnétique; supraconducteur pour le solénoïde de 4 Tesla; procédure d'achat pour l'aimant
LHCb	51	EPFL, Université de Zurich	Détecteurs à bandes de silicium; électronique de lecture commune aux sous-détecteurs; ligne analogique pour le détecteur de vertex; système de déclenchement de haut niveau

Tableau 1: Les trois détecteurs du LHC et la participation suisse. Les contributions matérielles des groupes de recherche suisses sont indiquées dans la colonne de droite.

De plus, les physiciens suisses ont remplis des rôles clés dans la coordination des différents projets. Ils sont impliqués dans le management des collaborations à tous les niveaux d'organisation.

Au 1^{er} janvier 2006, le nombre de physiciens (en équivalent plein-temps) travaillant dans les collaborations pour les institutions suisses s'élevait à 21 pour ATLAS, 38 pour CMS et 25 pour LHCb. De plus, 7, 13 et 11 doctorants des institutions suisses étaient impliqués dans ATLAS, CMS et LHCb, respectivement. Au total, 70 travaux de master et 55 thèses de

¹ Aucun groupe suisse n'est impliqué dans l'expérience ALICE, consacrée à la physique des ions lourds.

doctorat ont été réalisées entre 1996 et 2008 dans le cadre du développement et de la construction des détecteurs du LHC. En plus, cinq thèses de doctorat ont été accomplies dans le domaine de la physique des accélérateurs.

Le montant total des investissements dans les détecteurs du LHC en provenance de sources suisses de financement s'élève à 130 MCHF pour la période de 1996 à 2008, ce qui correspond environ à 9% du coût total des trois détecteurs.

6.1 Contribution suisse à la construction d'ATLAS

L'expérience ATLAS a pour but d'identifier et de mesurer de façon optimale l'énergie et la direction des photons, des leptons chargés et d'autres particules neutres ou chargées avec une haute précision et dans un environnement à haute densité de particules. Il s'agit d'un détecteur à usage multiple, conçu pour observer le plus de signatures physiques possible.

La photo de la figure 1 montre le détecteur en phase de construction, dont la taille est impressionnante puisqu'il remplirait à moitié la cathédrale Notre-Dame à Paris (remarquer l'échelle des dimensions donnée par la taille de la personne visible sur la photo).

Le détecteur contient un trajectographe interne de 7 m de longueur, formé d'un ensemble de senseurs semi-conducteurs à pixels ou microbandes entouré d'un système de détecteurs à gaz (du type "straw tube") capable d'utiliser le rayonnement de transition. Les calorimètres électromagnétique et hadronique, de fine granularité, très hermétiques et résistants aux radiations, permettent d'excellentes mesures d'énergie jusqu'à 1 degré de la ligne des faisceaux. Les calorimètres sont entourés par un spectromètre à muons utilisant un grand système toroïdal d'haut champ magnétique, qui définit la taille globale de l'expérience.

Le système magnétique est basé sur un solénoïde mince entourant le trajectographe interne, et de grands toroïdes supraconducteurs constitués de huit bobinages indépendants placés à l'extérieur des calorimètres.

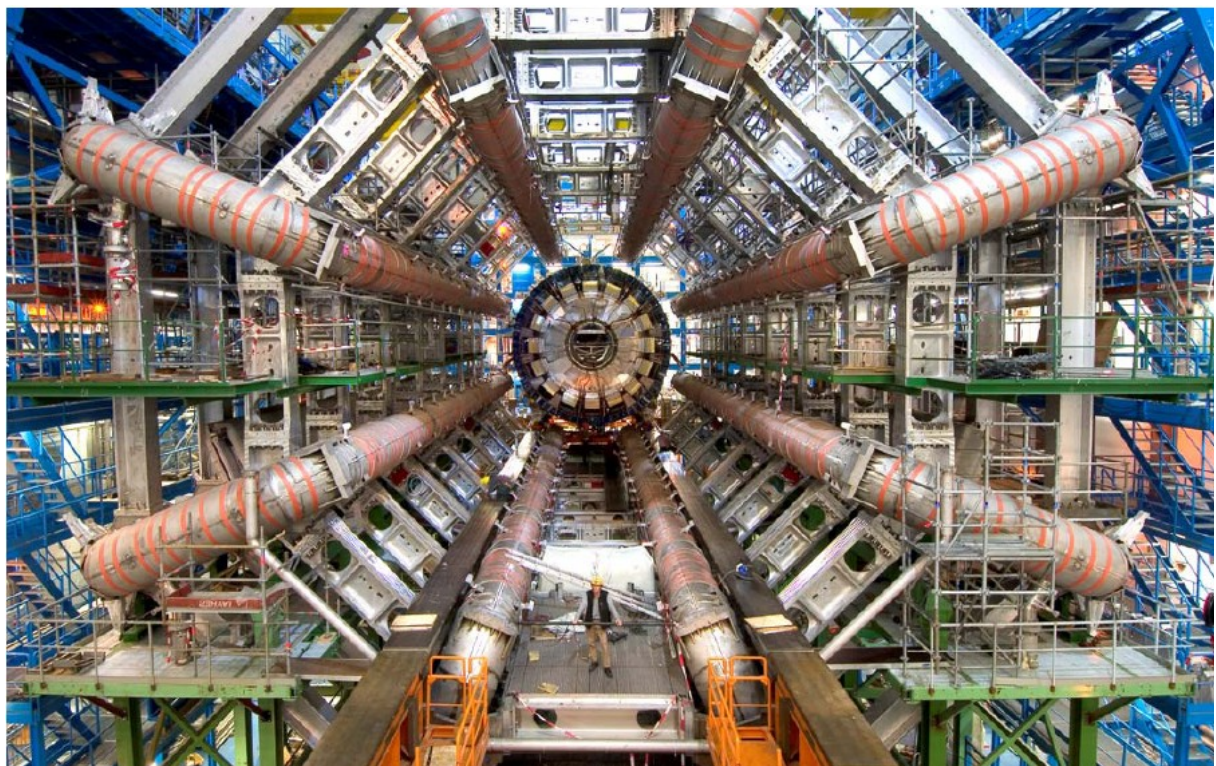


Figure 1: Photo du détecteur ATLAS du LHC avant l'installation des éléments de détection active. Les huit tubes arrangés symétriquement contiennent les bobines supraconductrices qui génèrent un intense champ magnétique toroïdal.

Les instituts et industries suisses suivants contribuent à ATLAS:

Université de Berne: Prof. A. Ereditato, Prof. K. Pretzl (jusqu'en 2006)

Université de Genève: Prof. A. Blondel, Prof. A. Clark, Prof. M. Pohl

Des contrats industriels et de service importants (> 0.2 MCHF) d'une valeur totale de 13.7 MCHF ont été conclus avec les compagnies suisses suivantes: Alcatel Cables Suisse, Asea Brown Boveri Switzerland, Cicorel SA, Dell Switzerland, EBV Elektronik, Hamamatsu Photonics, SUN Microsystems (ordre alphabétique).

Leurs contributions sont les suivantes (voir figure 2):

- Systèmes d'aimants
U.BE + U.GE: responsabilité de l'acquisition de câble supraconducteur et des boîtes d'encaissement des bobines toroïdales;
- Trajectographe au silicium:
U.GE: structure de support: conception, construction de prototypes, acquisition et tests de quatre supports centraux haute précision en fibre de carbone, ainsi que leur livraison pour l'assemblage des modules; coordination de ingénierie de la partie centrale du détecteur;
U.GE: responsabilité de la partie mécanique pour le trajectographe interne;
U.GE: électronique de lecture: conception, construction de prototypes, acquisition et tests des senseurs au silicium;
U.GE: participation à la conception, à la construction de prototypes, à l'acquisition et aux tests du chip de lecture "front-end";
U.GE: modules: conception et construction de prototypes des modules; assemblage et tests de 657 modules de détecteurs au silicium (en collaboration avec Cracovie, Prague et CERN, où des tests de composants et des études de mise-en-service ont été effectués);
- Calorimètre à argon liquide:
U.GE: conception, construction, tests et intégration de 245 "drivers" pour les cartes de lecture du calorimètre à argon liquide;
- Systèmes de déclenchement de haut niveau et d'acquisition des données:
U.BE: conception, implémentation, intégration et mise en service des logiciels d'assemblage des événements, de transferts et de formatage des données;
U.GE: algorithmes de déclenchement et de calibration pour le calorimètre, monitoring, intégration, mise en service à l'aide de rayons cosmiques;
U.BE + U.GE: conception et implémentation du logiciel de contrôle du système de déclenchement de haut niveau, chronométrage des algorithmes, préparation des données.

Sur la période 1996 à 2008, la Suisse aura dépensé 13.6 MCHF² pour ATLAS (R&D et construction), dont 77% proviennent du Fonds national et 23% des fonds propres aux universités cantonales (GE et BE). Dans le même temps, 9 travaux de master et 17 thèses de doctorat impliqués dans le développement d'ATLAS ont été présentés. Grâce aux développements de pointe réalisés, quatre compagnies « spin off » ont été créées par des personnes ayant travaillé sur ATLAS dans les deux universités partenaires.

² A cela s'ajoute une contribution de 8.8 MCHF résultant d'un don du Canton de Genève au CERN

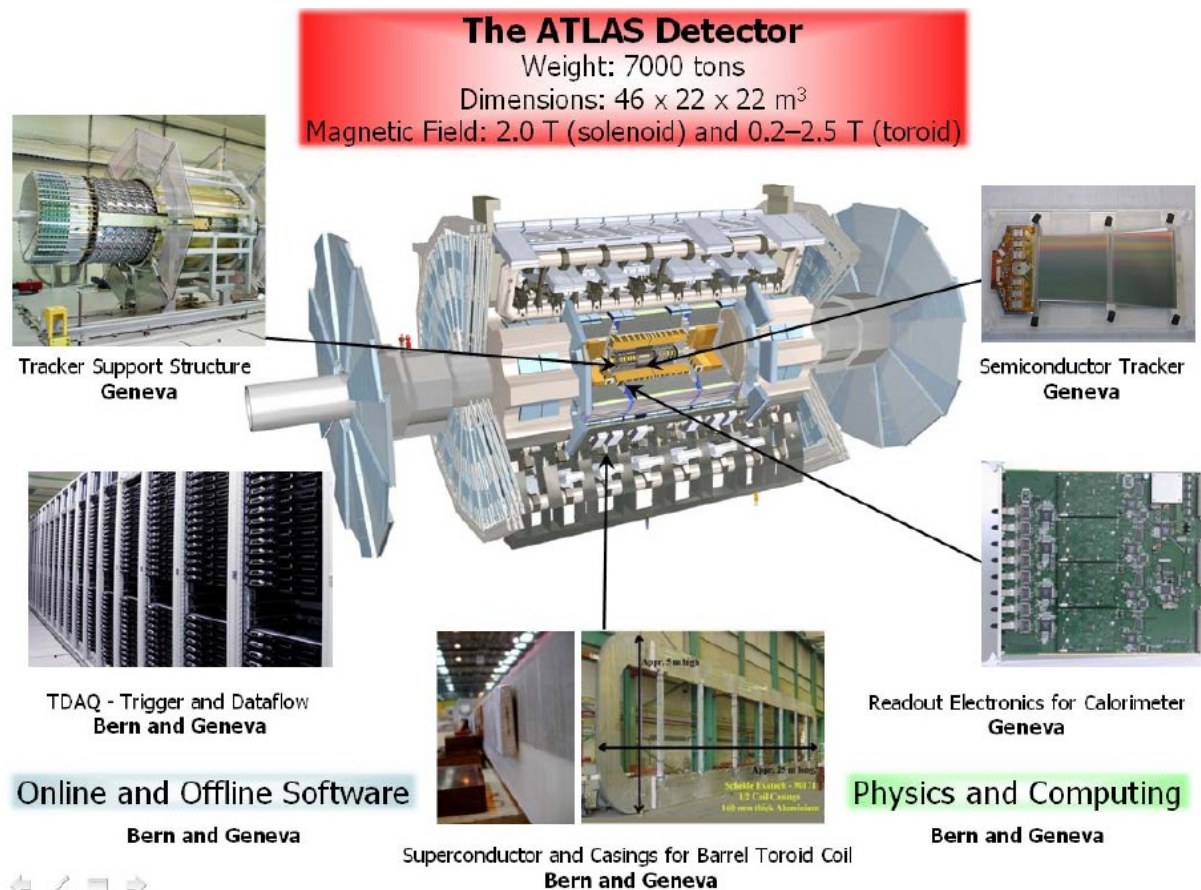


Figure 2: Vue schématique du détecteur ATLAS et les différentes contributions suisses.

6.2 Contribution suisse à la construction de CMS

Les buts poursuivis par l'expérience CMS est de mesurer l'énergie et la quantité de mouvement des photons, des électrons, des muons et d'autres particules chargées avec une grande précision, de façon à obtenir une excellente détermination de la masse des particules dont la désintégration débouche sur ces états finals. Le détecteur CMS consiste en un puissant trajectographe interne basé uniquement sur des senseurs au silicium (microbandes et pixels), un calorimètre électromagnétique de très haute précision (en cristaux de tungstate de plomb), un calorimètre hadronique formé de tuiles de plastique scintillant insérées entre des plaques absorbantes de laiton, et un solénoïde supraconducteur produisant un intense champ magnétique (4 Tesla) et incorporé à un système multicouches pour la détection des muons.

CMS contient plus d'acier que la Tour Eiffel et la mise en place de ses composants dans le hall souterrain à l'aide d'une grue a exigé des manœuvres d'une complexité sans précédent dans le domaine de la physique des particules. Ces opérations se déroulèrent cependant sans incident notable, même pour l'élément le plus lourd, la « roue centrale » de 2000 tonnes.

La partie la plus interne du trajectographe de l'expérience CMS, le détecteur à pixels, est composée de 1440 modules arrangés en trois couches concentriques. Le calorimètre électromagnétique de haute précision contient environ 76'000 cristaux de tungstate de plomb, d'un poids total approximatif de 80 tonnes, produits en Russie (72'000 cristaux) et en Chine (4'000 cristaux).

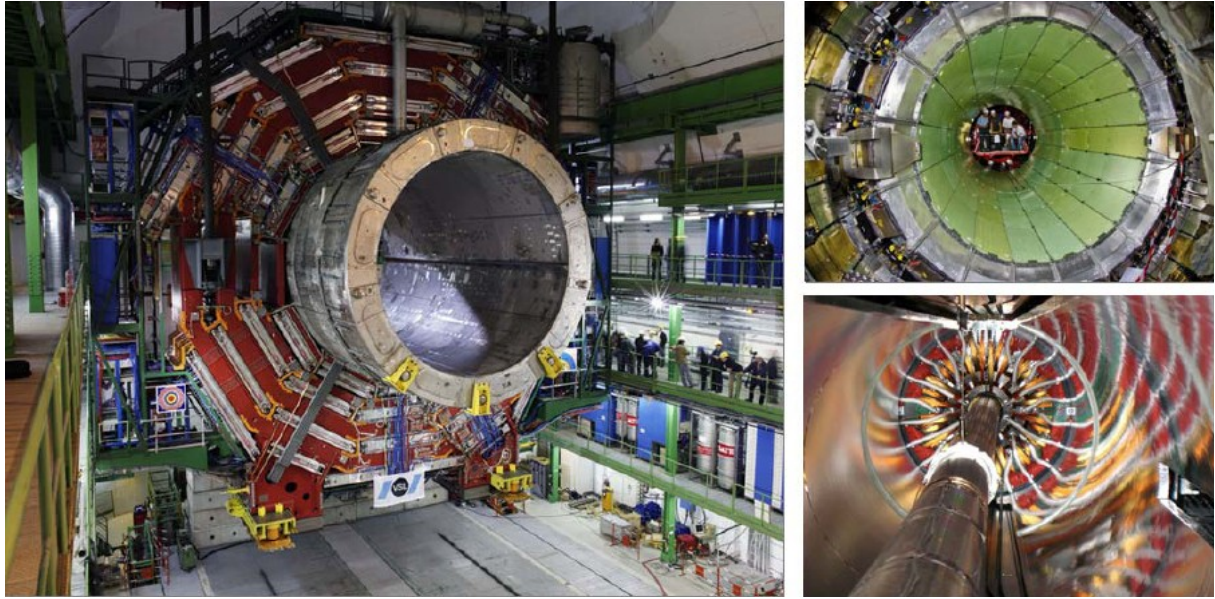


Figure 3: Le détecteur CMS au LHC:

A gauche: descente de la partie centrale (la plus lourde) du détecteur CMS, à 100 m sous le niveau du sol.

En haut à droite: partie centrale du calorimètre à cristaux, dont l'installation a été terminée en juillet 2007.

En bas à droite: détecteur à pixels, dont l'installation a été terminée en juillet 2008.

Les instituts et industries suisses suivants contribuent à CMS:

ETHZ: Prof. G. Dissertori, Prof. R. Eichler (jusqu'en 2007), Prof. Ch. Grab, Prof. H. Hofer (jusqu'en 2001), Prof. U. Langenegger, Prof. F. Pauss

PSI: Prof. R. Horisberger, Dr. Q. Ingram, Dr. D. Renker

Université de Zurich: Prof. C. AMSler

Université de Bâle: Prof. L. Tauscher (jusqu'en 2004)

Des contrats industriels et de service importants (> 0.2 MCHF) d'une valeur totale de 11 MCHF ont été conclus avec les compagnies suisses suivantes: Alcatel Cables Suisses SA, Ascom Schweiz AG, Brugg Kabel AG, GS Präzisions AG, Hamamatsu Photonics, Hightec Lenzburg, Marti Supratec AG, VSL Schweiz AG (ordre alphabétique).

Les groupes suisses ont été associés à CMS dès le début des travaux de conception et d'évaluation physique; ils ont contribué comme suit (voir aussi la figure 3):

- CMS engineering and intégration centre EIC (centre d'ingénierie et d'intégration de CMS) au CERN:
ETHZ: responsable de l'EIC où la production des divers composants du détecteur dans différents pays est coordonnée et contrôlée.
- Calorimètre à cristaux:
ETHZ: acquisition et évaluation des performances (y compris tests d'irradiation) de 76'000 cristaux.
ETHZ et PSI: conception, acquisition, tests de composants et intégration de l'électronique de lecture, y compris responsabilité des logiciels associés.
PSI: production, livraison et contrôle de 140'000 photodiodes à avalanche pour la lecture des cristaux; une fiabilité de 99.9% est prévue sur 10 ans d'exploitation du LHC.
- Détecteur central à pixel:
PSI et ETHZ: conception, construction et mise en service, y compris conception et développement du senseur à pixels, des modules de détection et du chip de

lecture.

U.ZH: construction du support, de sa structure de refroidissement et du tube d'approvisionnement contenant les fibres optiques pour le contrôle et la lecture; développement de parties cruciales du logiciel de reconstruction des trajectoires des particules.

- Bobine supraconductrice pour l'aimant
ETHZ: responsabilité principale dans le processus de fabrication du câble supraconducteur et, pour un large part, dans la conception et l'acquisition de l'aimant.

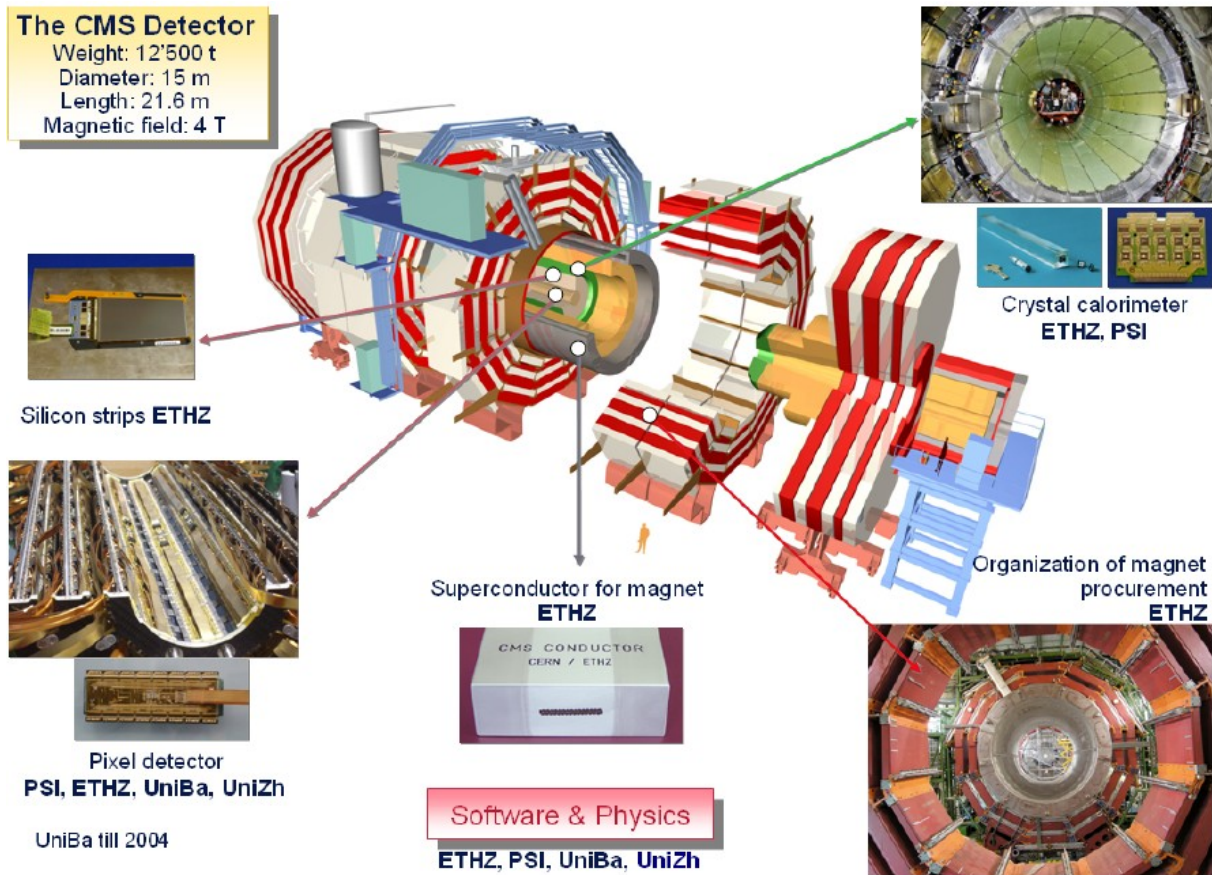


Fig.3: Vue schématique du détecteur CMS et les différentes contributions suisses.

Sur la période 1996 à 2008, la Suisse aura dépensé 107 MCHF pour CMS (R&D et construction), dont 18% proviennent du Fonds national, moins de 1% des fonds propres aux universités cantonales (ZH et BS), 65% de l'ETHZ et 16% de la Confédération.³ Dans le même temps, 34 travaux de master et 19 thèses de doctorat impliqués dans le développement de CMS ont été présentés. Grâce aux développements de pointe réalisés, deux compagnies « spin off » ont été créées par des personnes ayant travaillé sur CMS dans les quatre instituts partenaires.

³ Pas d'informations détaillées de Bâle

6.3 Contribution suisse à la construction de LHCb

LHCb est une expérience de seconde génération en physique du quark b. Avec une précision sans précédent, et dans plusieurs canaux de désintégration de mésons contenant le quark b, on y effectuera des mesures systématiques des phénomènes de violation de la symétrie entre matière et antimatière et des désintégrations rares dans le système des mésons B.

Le détecteur LHCb couvre la région angulaire proche du faisceau et est conçu comme un spectromètre à bras unique, utilisant un grand aimant dipolaire (voir photo et vue latérale [figures 5 et 6]).

Les instituts et industries suisses suivants contribuent à LHCb:

EPFL (dès 2003, précédemment Université de Lausanne): Prof. A. Bay, Prof. T. Nakada (porte-parole jusqu'en 2008, puis coordinateur de la physique), Prof. O. Schneider (coordinateur de la physique jusqu'en 2008)

Université de Zurich: Prof. U. Straumann

Des contrats industriels et de service important (> 0.2 MCHF) d'une valeur totale de 2.7 MCHF ont été placés avec les compagnies suisses suivantes: EBV Elektronik, Hamamatsu Photonics, Mahr AG Schweiz (ordre alphabétique).

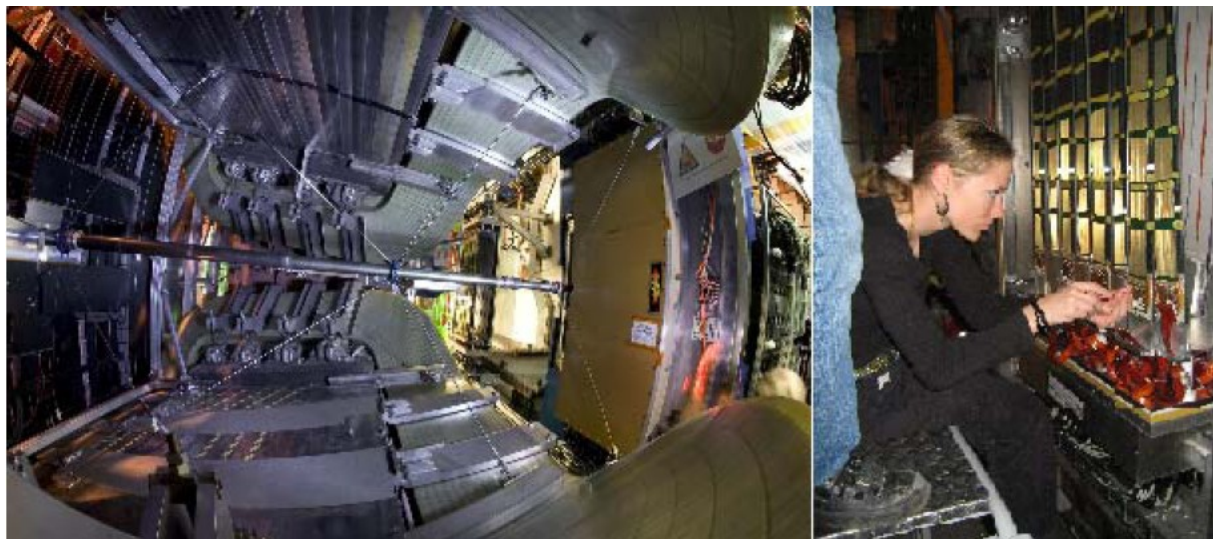


Fig. 5: Photo of the LHCb detector at the LHC.

A gauche: aimant dipolaire du spectromètre LHCb.

A droite: installation d'un détecteur à microbandes de silicium fabriqué à Zurich.

Leurs contributions sont les suivantes (voir figure 6):

- Conception, développement, construction et mise en service du trajectographe au silicium de LHCb
EPFL: trajectographe interne (partie interne des stations T1, T2 et T3),
U.ZH: station TT du trajectographe.
- Electronique de lecture commune pour le trajectographe au silicium et le détecteur de vertex (VELO):
U.ZH: développement, construction et mise en service de l'électronique de lecture embarquée sur le trajectographe au silicium. Le système de transmission optique des données est également utilisé par presque tous les sous-détecteurs de LHCb.

EPFL: conception, développement, construction et mise en service de l'électronique de lecture (carte TELL1) pour le trajectographe au silicium et le

détecteur de vertex VELO. Ce système a été adopté par presque tous les sous-détecteurs de LHCb.

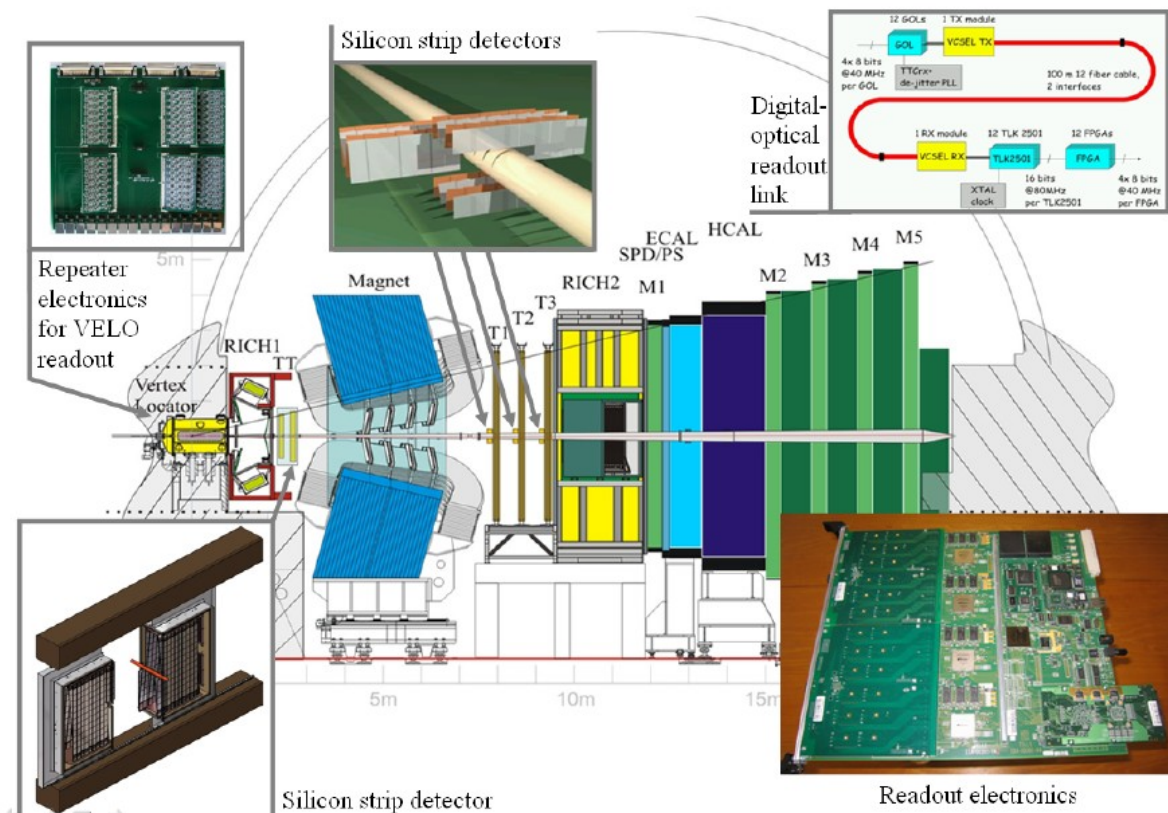


Figure 6: Vue schématique latérale du détecteur LHCb et les différentes contributions suisses.

Sur la période 1996 à 2008, la Suisse aura dépensé 11 MCHF pour le LHCb (R&D et construction), dont 56% proviennent du Fonds national, 30% des fonds propres aux universités cantonales (ZH et VD) et 14% de l'EPFL. Dans le même temps, 27 travaux de master et 19 thèses de doctorat impliqués dans le développement de LHCb ont été présentés.

7. Contributions de la Suisse comme état hôte du CERN et retour industriel

En plus de sa contribution ordinaire de quelques 30 MCHF par année (soit environ 3% du budget du CERN), la Suisse verse depuis plusieurs années des contributions extraordinaires dont le total dépasse aujourd'hui les 125 MCHF. Ces dernières sont l'expression d'une volonté politique de tout mettre en œuvre pour que le CERN, laboratoire mondial pour la physique des particules, reste en Suisse et pour que son rayonnement serve aussi à l'encouragement de la relève scientifique et technique dans notre pays.

Ces contributions extraordinaires comprennent, par exemple, des avances sur les contributions des autres pays membres afin de débloquent des impasses de cash flow, le financement d'infrastructures telles que des stations de pompage, des compensations additionnelles de l'inflation, un soutien financier direct à certaines expériences scientifiques ou encore des contributions spéciales pour permettre la mise en œuvre de la stratégie européenne en matière de physique des particules. En outre, il y a encore certains projets

d'infrastructure auxquels la Confédération et le Canton de Genève ont directement participé, comme par exemple le percement d'un tunnel reliant le LHC au pré-accélérateur.

D'autres gestes de la Suisse envers le CERN ne sont pas comptabilisés comme contributions extraordinaires. Ce sont des prêts sans intérêt pour financer des projets de constructions immobilières (46 MCHF) et le cadeau de la Suisse à l'occasion du 50^{ème} anniversaire du CERN: le Palais de l'équilibre de l'expo-02, qui fut transporté et reconstruit au CERN par l'Armée suisse. La liste suivante donne un aperçu des contributions extraordinaires suisses au cours des 20 dernières années.

Contribution extraordinaire au LEP	8.1	MCHF
Station de pompage du Vengeron	4.0	MCHF
Intérêts sur paiements avancés de contributions (1990-1992; 2007-2009)	27.0	MCHF
Compensations additionnelles de l'inflation	11.2	MCHF
Expérience CNGS de détection des neutrinos	1.5	MCHF
Ligne de faisceau au PSI en vue de tests pour le LHC	13.2	MCHF
Stratégie européenne pour la physique des particules: contribution spéciale	27.6	MCHF
Contribution extraordinaire au LHC (tunnel et ATLAS) <i>part du Canton de Genève: 16.3 MCHF</i>	33.8	MCHF
Total	126.4	MCHF

En tant qu'état hôte, la Suisse tire de nombreux profits de la présence du CERN. Le pourcentage d'employés suisses au CERN (7,4%) est très nettement supérieur à la fraction du budget de l'organisation que notre pays finance. A côté des scientifiques qui utilisent le CERN comme employés ou comme chercheurs hôtes, on trouve de nombreux Suisses et Suissesses à des postes administratifs ou techniques exigeants. Finalement, le CERN offre plus de vingt places d'apprentissage du plus haut intérêt, qui sont occupées aux trois quarts par des jeunes suisses.

Les 2500 membres du personnel du CERN représentent aussi une force économique pour la région où ils vivent, où ils font leurs achats et où ils ont établi leurs demeures. Ainsi, une grosse part des salaires revient en Suisse. Enfin, les quelques 8000 chercheurs que le CERN reçoit chaque année pour des séjours d'une durée variable apportent beaucoup à l'industrie touristique de la région.

Le retour industriel est cependant encore plus grand, les entreprises suisses décrochant un nombre disproportionné de contrats – souvent simplement parce qu'elles sont dans le même pays. La liste ci-dessous démontre qu'au cours de ces cinq dernières années, un retour net dépassant les 200 MCHF a pu être atteint.

	2003	2004	2005	2006	2007	Total
Retour sur des fournitures industrielles	35.4	54.1	55.3	49.3	33.5	227.6
Retour sur des contrats de service	28.9	32.2	26.9	29.1	28.7	145.8
Total	64.3	86.3	82.2	78.4	62.2	373.4
Contribution suisse	35.5	29.5	31.7	32.2	31.5	160.4
Différence (retour net)	28.8	56.8	50.5	46.2	30.7	213.0