



FUTURE
CIRCULAR
COLLIDER

LES DEFIS LIES À L'ALIGNMENT D'ACCELERATEURS

CHALLENGES RELATED TO THE ACCELERATOR ALIGNMENT

Posez vos
questions sur Slido

Ask your questions
on Slido

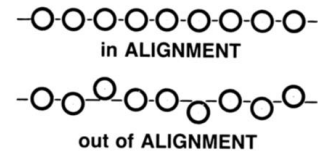


[www.sli.do](https://www.sli.do/#918332)
#918332

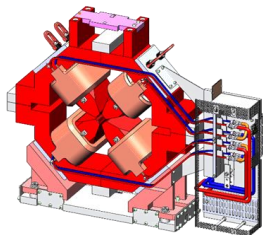


Qu'est-ce que l'alignement des accélérateurs?

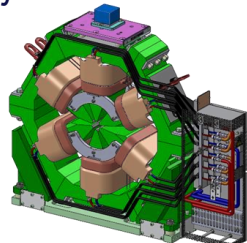
About accelerator alignment.



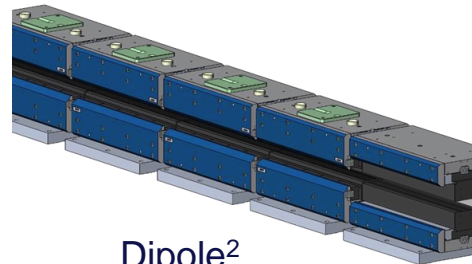
- Un arrangement dans lequel 2 ou plusieurs objets sont positionnés suivant une ligne droite
- *“An arrangement in which two or more things are positioned in a straight line”¹*
- Quelques exemples d'objets dans un accélérateur de particule (du LHC)
- *A few examples of objects of an accelerator (from the Large Hadron Collider)*



Quadrupole²



Sextupole²



Dipole²



Moniteur position faisceau
Beam Position Monitor

- Dans le cas d'un accélérateur “circulaire” (suite de sections droites et sections courbes), ce n'est pas forcément par rapport à une ligne droite, plutôt par rapport à une position théorique
- *In the case of a circular accelerator (with a succession of straight and curved sections), the alignment is not performed w.r.t. a straight line, rather w.r.t. to a smoothed line.*

¹ Oxford dictionary

² David Martin, Alignment of the ESRF Extremely Brilliant Source (EBS), International Workshop on Accelerator Alignment, Fermilab, USA, 2018



Pourquoi doit-on aligner les composants des accélérateurs?

Why aligning accelerator components?

- Dans un premier temps, il faudra pré-aligner les différents composants de l'accélérateur afin de faire passer un faisceau pilote; ainsi, les physiciens pourront utiliser différents outils pour affiner la trajectoire du faisceau.
- *First, we pre-align the different components of the accelerator to make a pilot beam pass through; this will allow the physicists to use their tools («beam-based alignment» and «beam-based feedback») to improve the beam trajectory.*
- La terre sur laquelle on construit les accélérateurs est en constant mouvement. Les accélérateurs doivent être conservés alignés suivant des tolérances données pour que le faisceau puisse circuler.
- *The Earth on which we build accelerators is in constant motion. Accelerators must be kept aligned within given tolerances to make the beam pass through.*
- Tolérance d'alignement: erreur de positionnement, qui si elle est dépassée, conduit à une machine qui ne peut pas être corrigée, avec une perte non acceptable de luminosité.
- *Alignment tolerances: “error of placement which, if exceeded, leads to a machine that is uncorrectable – with an unacceptable loss of luminosity¹”.*

¹ Robert Ruland.



Les étapes d'alignement

Steps of alignment

Installation & détermination d'un réseau géodésique de surface et souterrain

Installation & determination of a surface & underground geodetic network

Préparation des composants (fiducialisation)

Preparation of components (fiducialisation)

Alignement absolu des composants

Absolute alignment of components

Alignement relatif des composants (lissage)

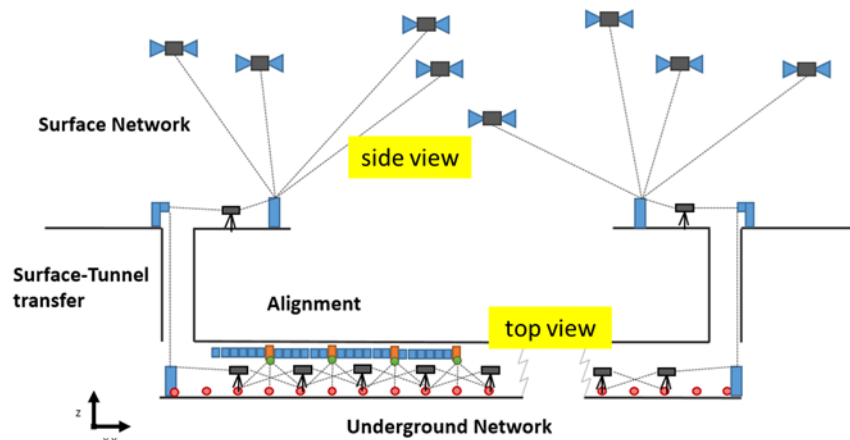
Relative alignment of components (smoothing)

Définition des tolérances d'alignement

Definition of alignment tolerances

Définition de la stratégie d'alignement

Definition of the alignment strategy



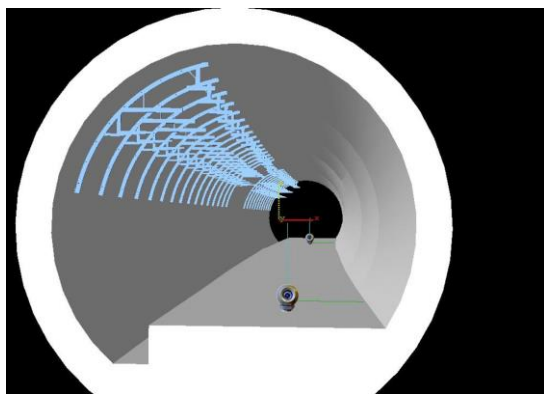
Maintenance de l'alignement des composants

Maintenance of the alignment of components

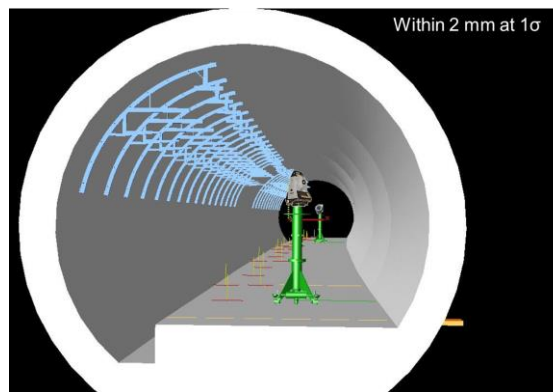


L'alignement du LHC en 2 transparents

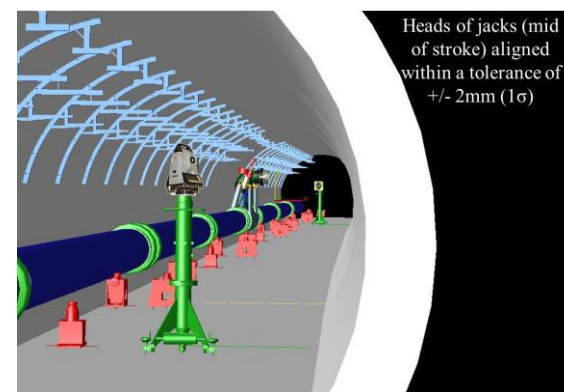
The LHC alignment in 2 slides



Réseau géodésique souterrain
Underground geodetic network



Tracés sur le sol tunnel
Marking on the tunnel floor

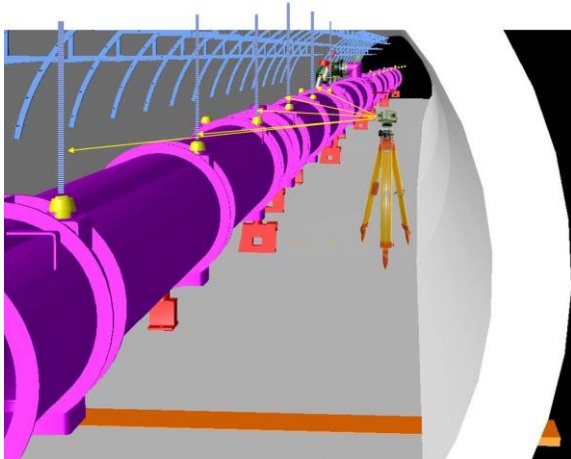


Vérins pour l'ajustement des composants
Jacks for the components' adjustment

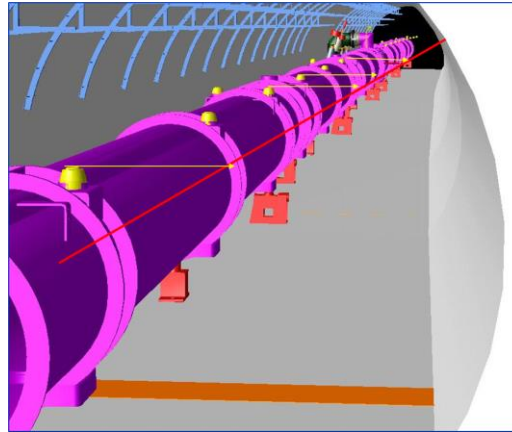


L'alignement du LHC en 2 transparents

The LHC alignment in 2 slides



Lissage vertical par nivellement
Vertical smoothing performed by levelling



Lissage radial par écartométrie
Radial smoothing performed by wire offset measurements



Nivellement / *Levelling*



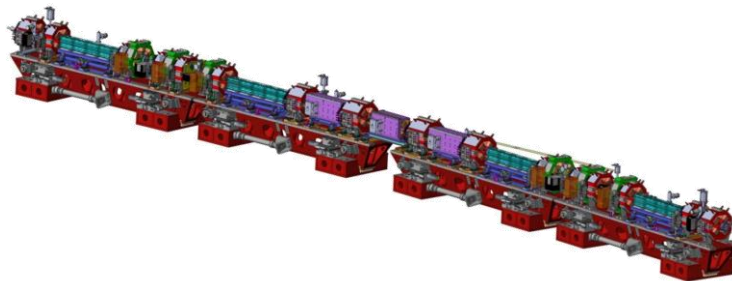
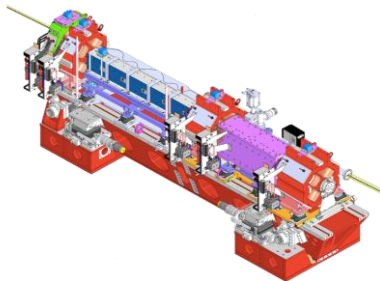
Ecartométrie / *Wire offset measurements*



Demandes d'alignement pour le FCC-ee

Alignment requirements for the FCC-ee

- Alignement absolu des composants dans le tunnel: quelques millimètres
- *Absolute accuracy: value of several millimeters*
- Alignement relatif (illustré par des vues de composants de l'EBS à l'ESRF):
- *Relative alignment (illustrated by views of components from EBS at ESRF²*



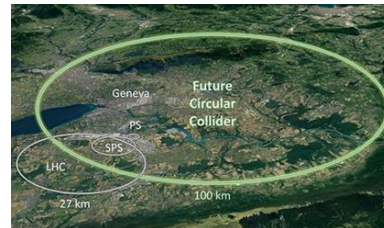
- Erreur d'alignement de chaque composant sur la poutre: $< 50 \mu\text{m}$ (1σ)
- *Alignment of each component on the girder*
- Erreur d'alignement de chaque poutre sur une fenêtre glissante d'environ 100 m: $< 150 \mu\text{m}$ (1σ)
- *Alignment of each girder along a 100m sliding window*

² David Martin, Alignment of the ESRF Extremely Brilliant Source (EBS), International Workshop on Accelerator Alignment, Fermilab, USA, 2018



Challenges pour le FCC-ee – géodésie

Challenges for the FCC-ee – geodetic aspects

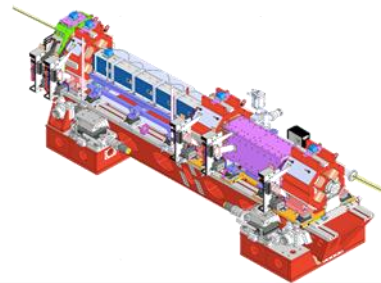


- Le FCC sera 10 fois plus étendu que le LHC
 - Les systèmes de références et leur infrastructure datent du LEP (années 80)
 - L'installation des composants en souterrain débutera sans doute avant la détermination globale du réseau géodésique souterrain
 - La nouvelle machine FCC devra être reliée aux machines existantes pour l'injection du faisceau
 - Elle sera située dans un plan incliné, 400m environ sous la surface
 - Les tolérances d'alignement des composants en souterrain ne sont pas standards
 - La majeure partie de l'instrumentation Survey et des capteurs d'alignement mesurent par rapport à la gravité
- *FCC 10 times larger than LHC*
 - *Reference frames and infrastructure go back to LEP (80s)*
 - *The installation of components might start before the final completion of the whole tunnel ring, without a complete underground geodetic network*
 - *We will need to link the new FCC machine w.r.t the existing ones used for the injection of beam.*
 - *The FCC machine will be located in an inclined plane, roughly 400 m below the surface.*
 - *The alignment tolerances of the components underground are very tight*
 - *The major part of Survey instrumentation and alignment sensors refer w.r.t. gravity*



Challenges pour le FCC-ee - assemblage

Challenges for the FCC-ee - assembly



- Les tolérances d'alignement demandées pour le FCC-ee ressemblent à celles des Synchrotrons, mais le nombre de composants n'est pas du tout le même, comme les conditions de transport et les conditions de température et pression du tunnel.
- Il faudra faire des compromis entre la rigidité de la poutre, les systèmes d'ajustements des composants, le coût et le temps nécessaire à l'assemblage et aux mesures correspondantes
- Il sera nécessaire de développer des méthodes permettant d'automatiser ce processus d'assemblage et de fiducialisation.
- *Quite standard tolerances for Synchrotron's components, but the number of components is not the same, as the transport conditions and the stability of the environment*
- *Trade-off to make between the rigidity of the girder, the adjustment systems, the cost, the time needed for the assembly and measurements*
- *Dedicated method to be developed for the FCC-ee components: high-accuracy automatized process*



Challenges pour le FCC-ee: alignement relatif

Challenges for the FCC-ee: relative alignment

- Les tolérances d'alignement demandées pour le FCC-ee sont équivalentes à celles du LHC par exemple, mais il y aura un bien plus grand nombre de composants à aligner, dans un tunnel sans doute bien moins stable; de plus, il s'agit de composants «chauds»: la stabilité de la température dans le tunnel aura un grand impact sur l'alignement.
- Les méthodes standards ne pourront pas être utilisées: 2 autres solutions doivent être étudiées pour déterminer de façon automatisée la position des composants:
 - L'utilisation de trains de mesures
 - Le développement et l'implémentation de capteurs d'alignement bas coût
- *The alignment tolerances requested for the FCC-ee are quite similar than those of the LHC, but there will be a far higher number of components to align, in a brand-new tunnel that might not be stable; the temperature variations (as this will be a warm machine) might have a great impact on the alignment.*
- *Standard methods of alignment will not be used: 2 other solutions must be studied to determine in an automatized way the position of the components:*
 - *The use of measurements trains*
 - *The development and implementation of low-cost alignment sensors*



Message final

Take-home message

- L'accélérateur FCC-ee représente un défi pour ce qui concerne la géodésie, mais aussi l'alignement dans le tunnel de ses composants.
- *There are challenges for the geodesy but also for the alignment of the future FCC-ee collider.*
- Une collaboration a été mise en place avec Swisstopo, ETH Zürich, HEIG-Vd et le CERN pour résoudre les défis les plus urgents liés à la géodésie.
- *To solve the most urgent challenges on geodesy, a collaboration has been put in place with Swisstopo, ETH Zürich, HEIG-Vd and CERN.*
- Il s'agit maintenant de commencer à résoudre les défis concernant l'alignement des composants dans le tunnel FCC-ee en développant de nouvelles méthodes et nouvelles technologies à moindre coût et durables.
- *We have now to start looking at the challenges dealing with the alignment of the components in the tunnel by developing affordable and sustainable new methods and technologies.*

Merci beaucoup pour votre attention
Thank you for your attention.

Posez vos
questions sur Slido
Ask your questions
on Slido



[www.sli.do](https://www.sli.do/#918332)
#918332