



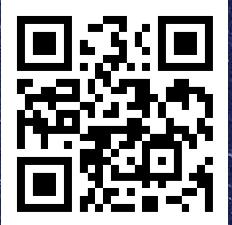
FUTURE  
CIRCULAR  
COLLIDER

# LES DEFIS LIES À L'ALIGNEMENT D'ACCELERATEURS

## CHALLENGES RELATED TO THE ACCELERATOR ALIGNMENT

Posez vos  
questions sur Slido

Ask your questions  
on Slido

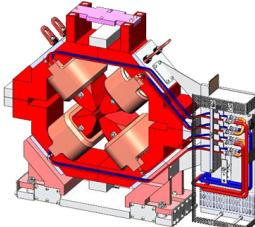


[www.sli.do](http://www.sli.do)  
#918332

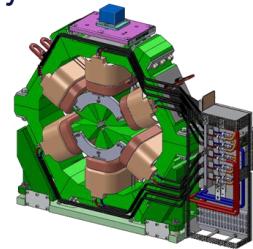


# Qu'est-ce que l'alignement des accélérateurs? *About accelerator alignment.*

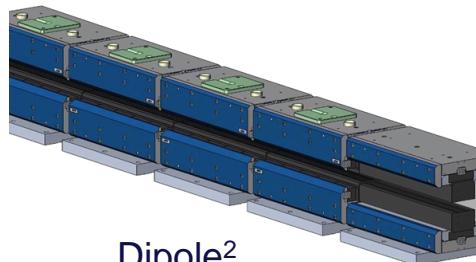
- Un arrangement dans lequel 2 ou plusieurs objets sont positionnés suivant une ligne droite
- “*An arrangement in which two or more things are positioned in a straight line*”<sup>1</sup>
- Quelques exemples d’objets dans un accélérateur de particule (du LHC)
- *A few examples of objects of an accelerator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



Quadrupole<sup>2</sup>



Sextupole<sup>2</sup>

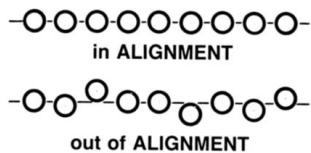


Dipole<sup>2</sup>



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.*





# 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 luminosity<sup>1</sup>”.*

<sup>1</sup> 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)*

Alignment absolu des composants

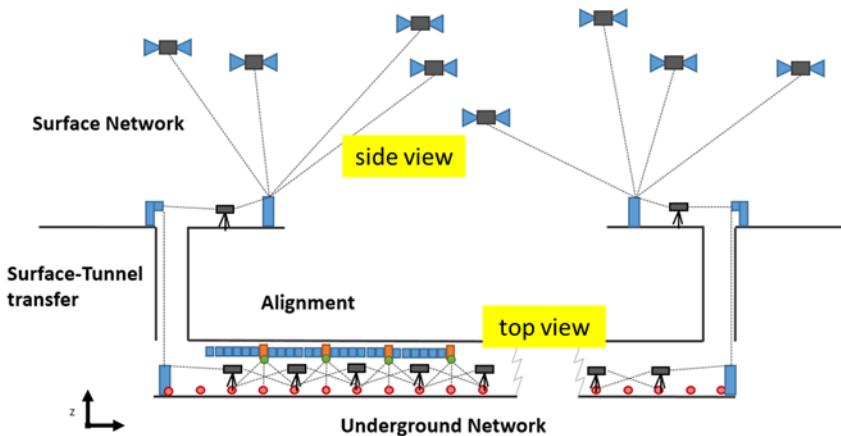
*Absolute alignment of components*

Alignment relatif des composants (lissage)

*Relative alignment of components (smoothing)*

Définition des tolérances d'alignement  
*Definition of alignment tolerances*

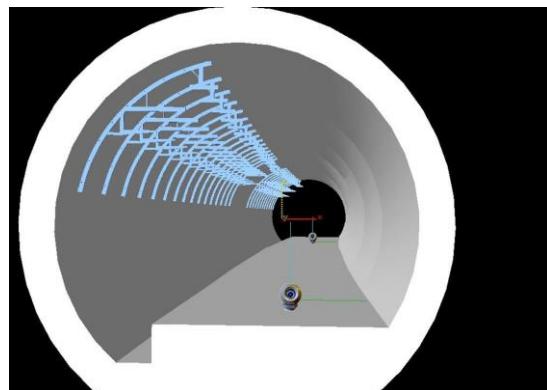
Définition de la stratégie d'alignement  
*Definition of the alignment strategy*



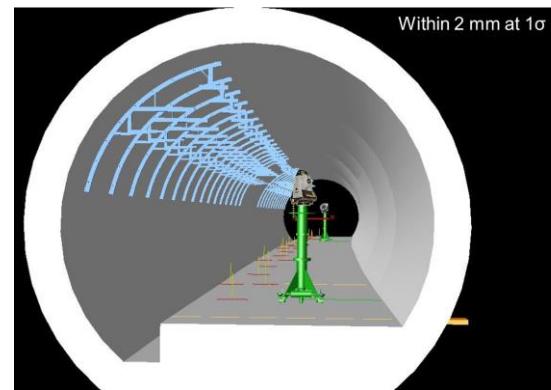
Maintenance de l'alignement des composants  
*Maintenance of the alignment of components*

# L'alignement du LHC en 2 transparents

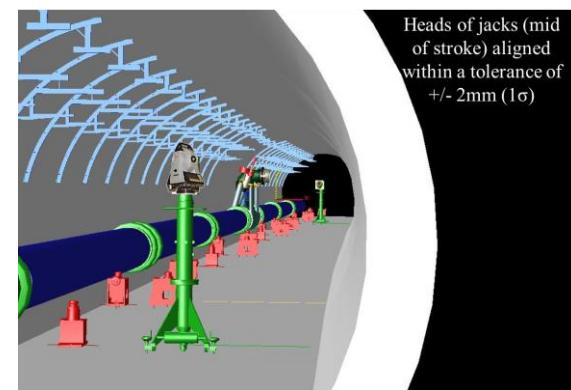
## *The LHC alignment in 2 slides*



Réseau géodésique souterrain  
*Underground geodetic network*



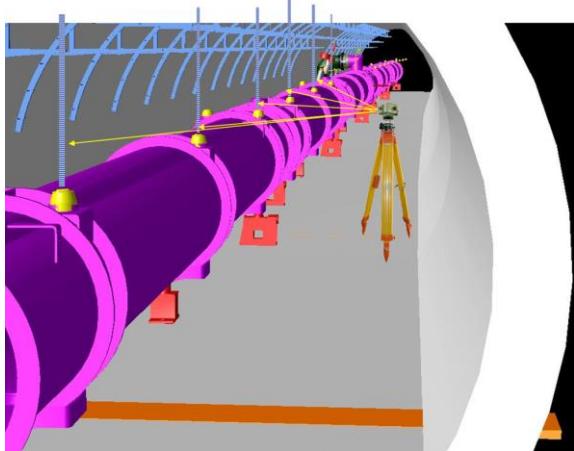
Tracés sur le sol tunnel  
*Marking on the tunnel floor*



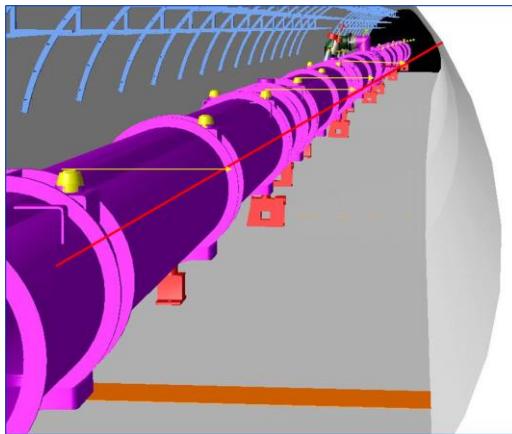
Vérins pour l'ajustement des composants  
*Jacks for the components' adjustment*

# L'alignement du LHC en 2 transparents

## *The LHC alignment in 2 slides*



Lissage vertical par nivellation  
Vertical smoothing performed by levelling



Lissage radial par écartométrie  
Radial smoothing performed by wire offset measurements



Nivellement / Levelling

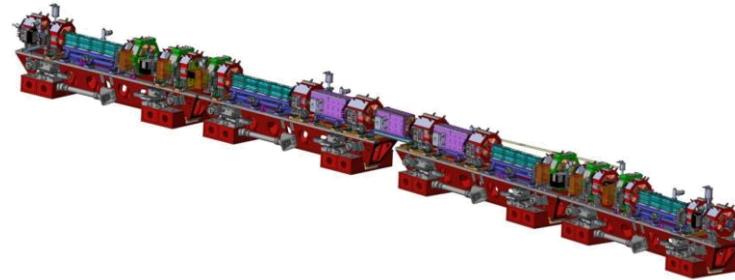
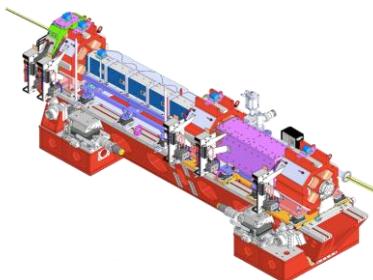


Ecartométrie / Wire offset measurements

# Demandes d'alignement pour le FCC-ee

## *Alignment requirements for the FCC-ee*

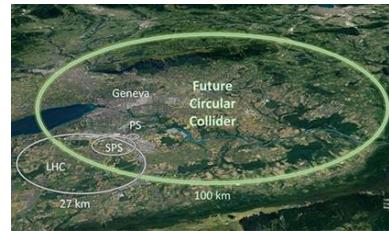
- Alignement absolu des composants dans le tunnel: quelques millimètres
- *Absolute accuracy: value of several millimeters*
  
- Alignement relatif (illustré par des vues de composants de l'EBS à l'ESRF):
- *Relative alignment (illustrated by views of components from EBS at ESRF)*<sup>2</sup>



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

# Challenges pour le FCC-ee – géodésie

## *Challenges for the FCC-ee – geodetic aspects*

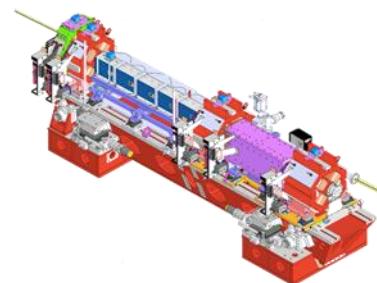


- Le FCC sera 10 fois plus étendu que le LHC
- Les systèmes de références et leur infrastructure datent du LEP (années 80)
- L'installation des composants en souterrain débutera sans doute avant la détermination globale du réseau géodésique souterrain
- La nouvelle machine FCC devra être reliée aux machines 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  
#918332](https://www.sli.do/#918332)