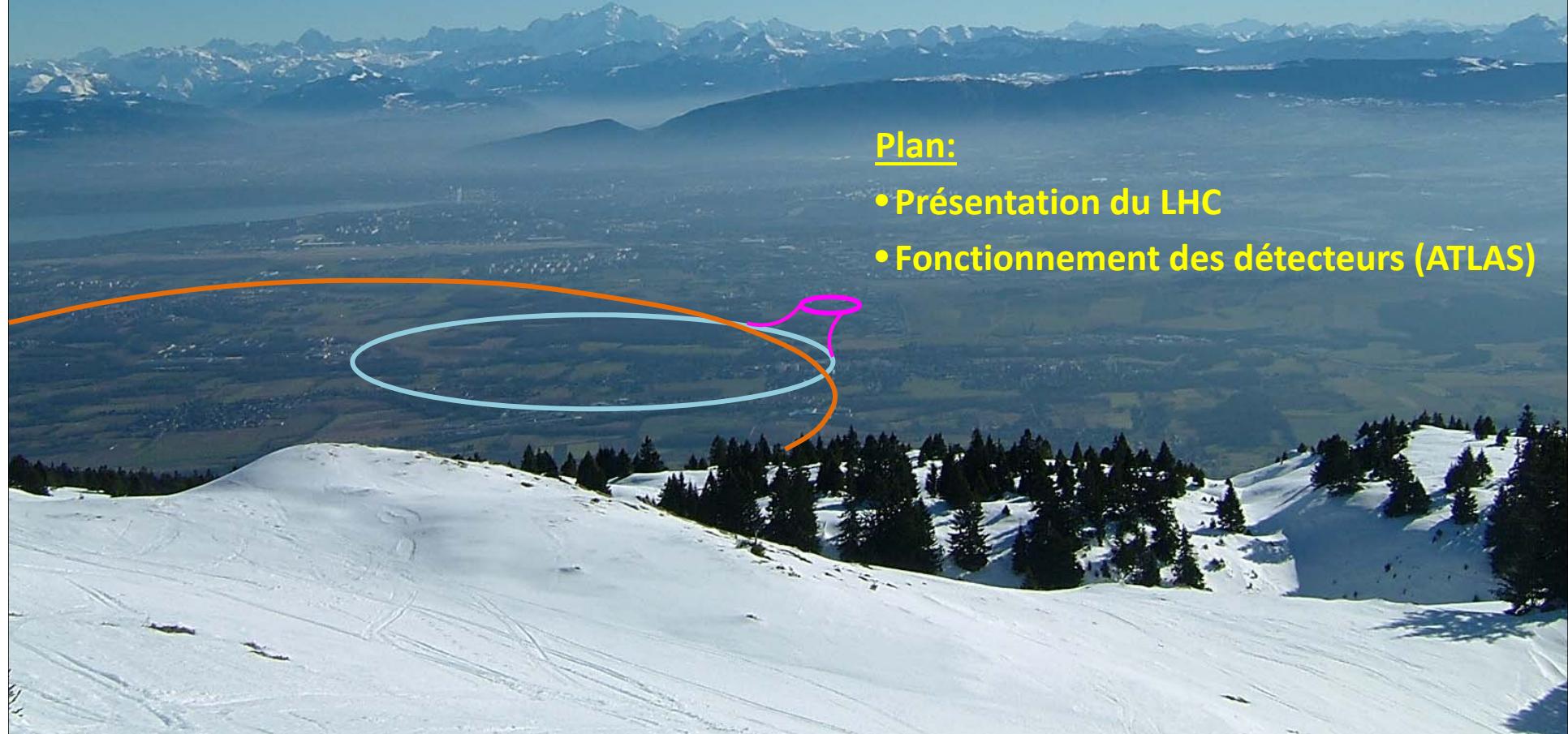


L'accélérateur LHC et ses détecteurs

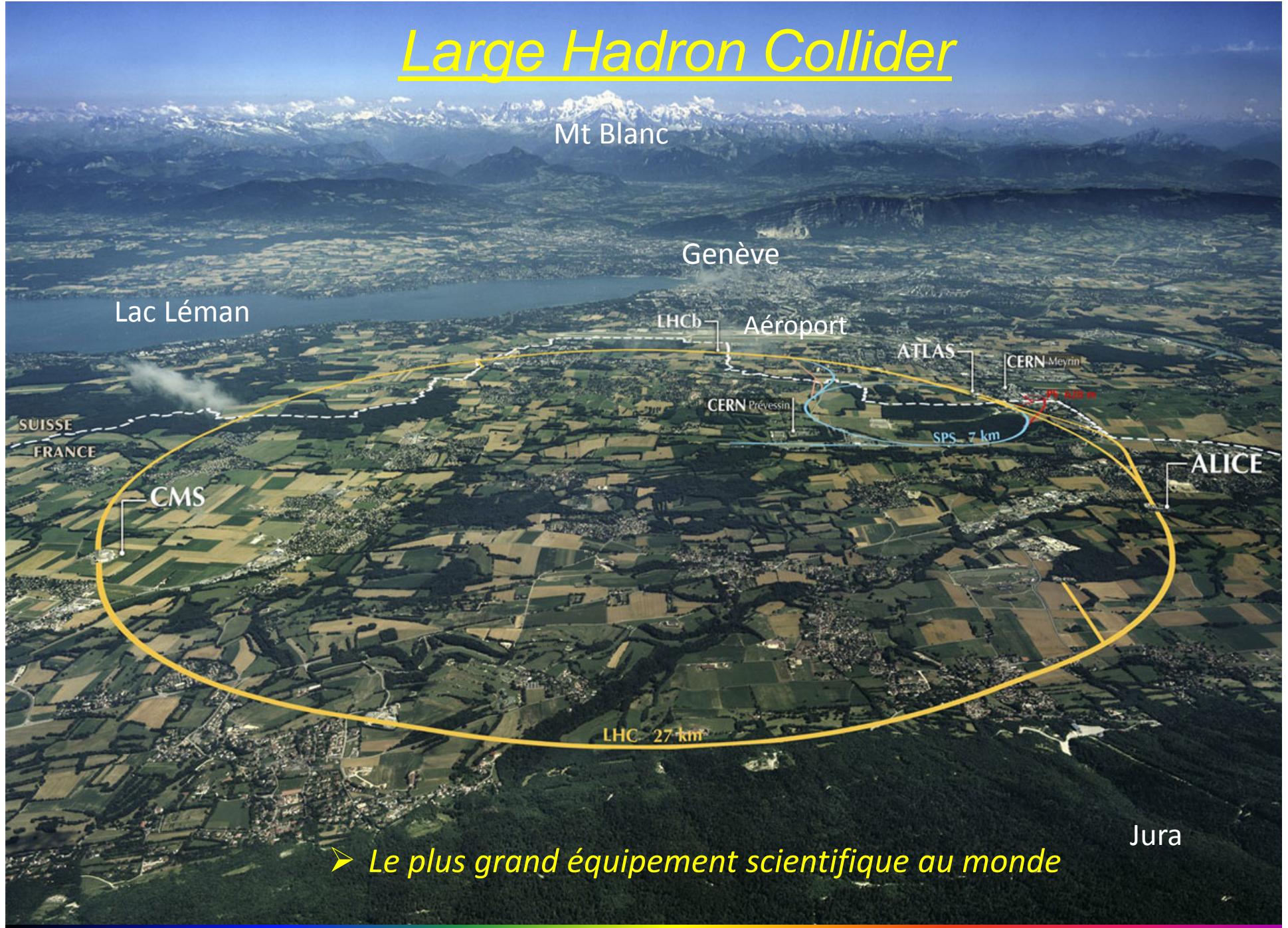
MURAZ Jean-François
MasterClasses 2014

Plan:

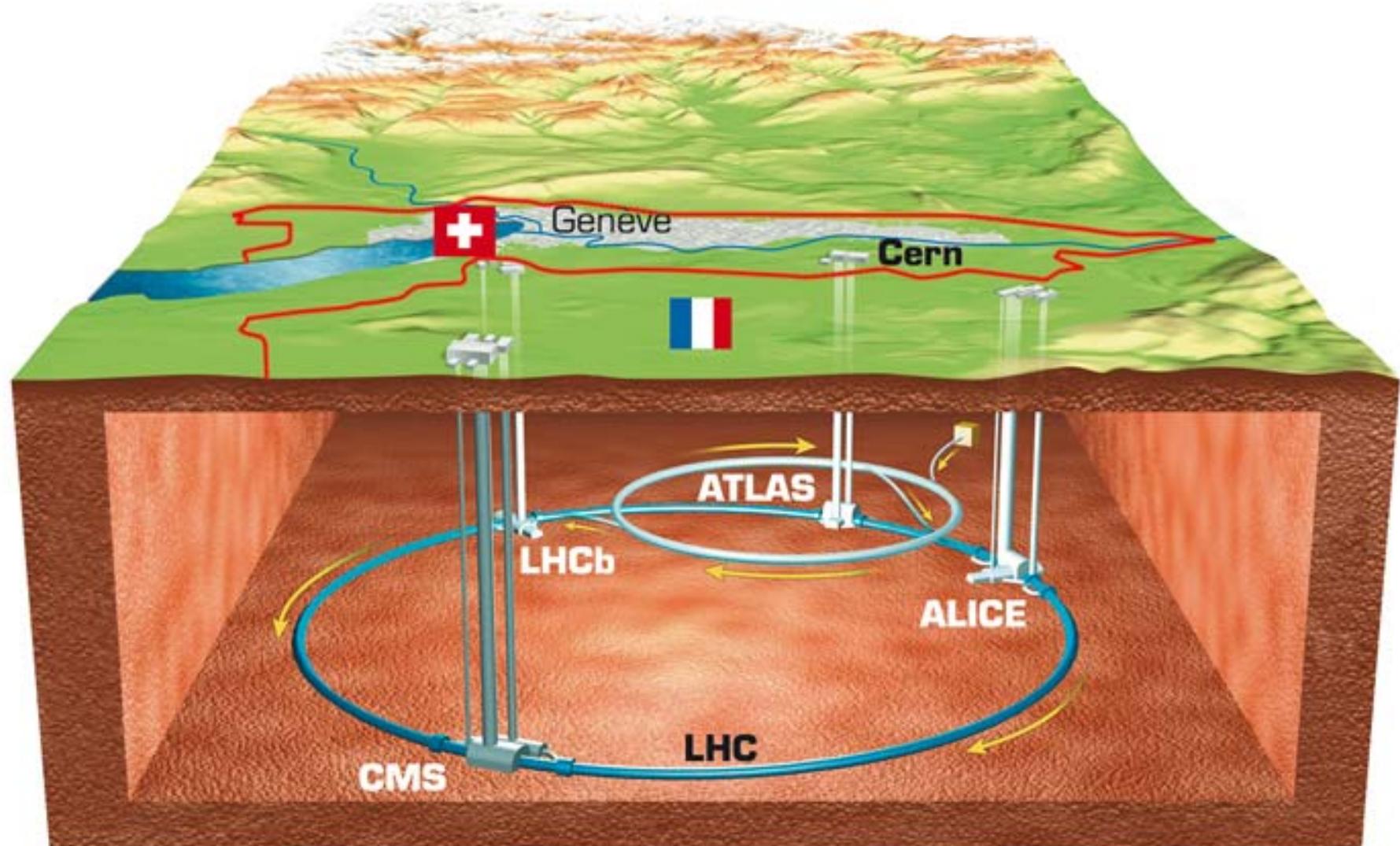
- Présentation du LHC
- Fonctionnement des détecteurs (ATLAS)



Large Hadron Collider



Large Hadron Collider



Circonférence: 26.7 km

Profondeur : ~ 70-140 m

Diamètre du tunnel 3.8 m

Inclinaison du tunnel: ~ 1.4%

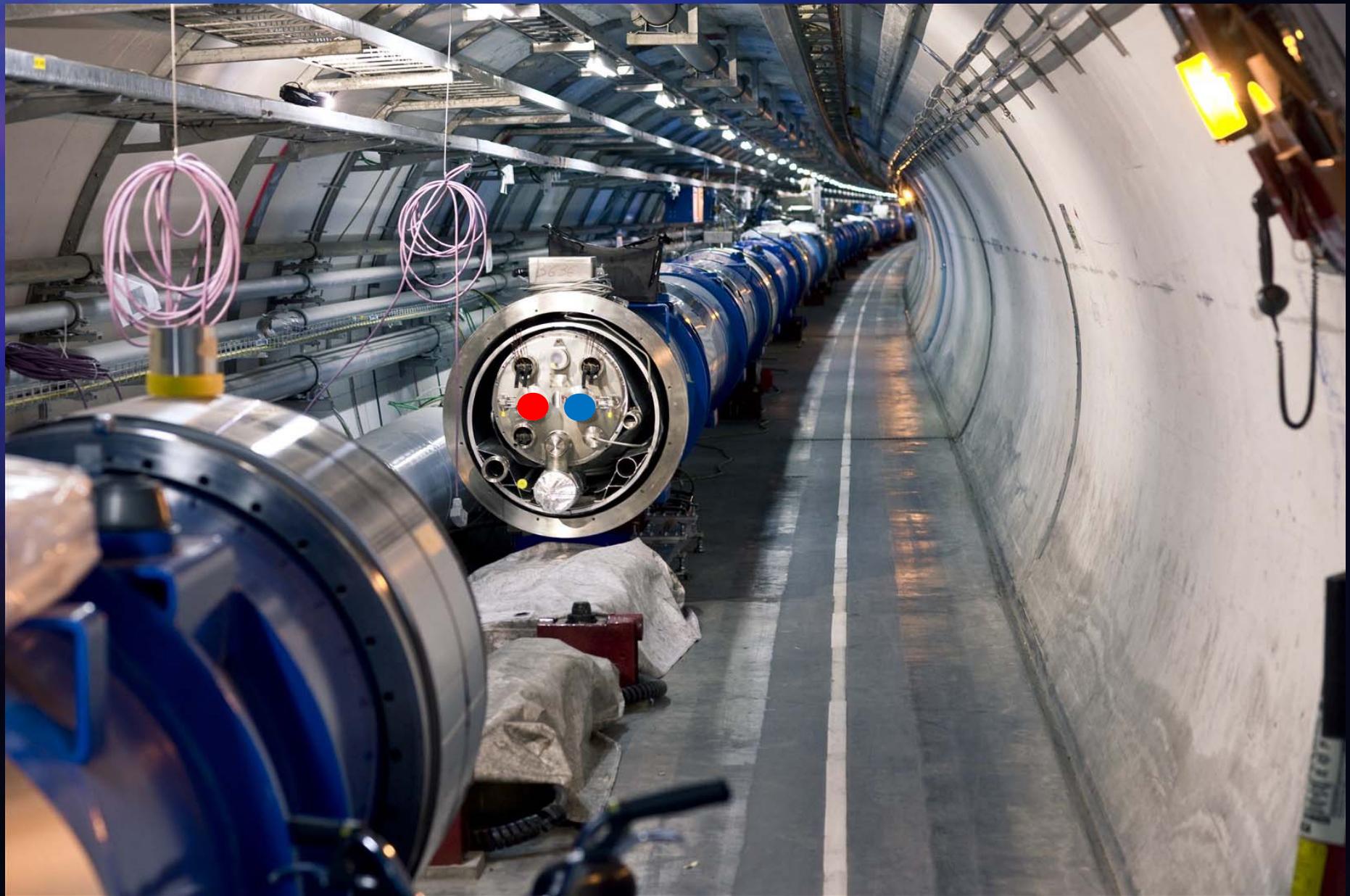
Large Hadron Collider

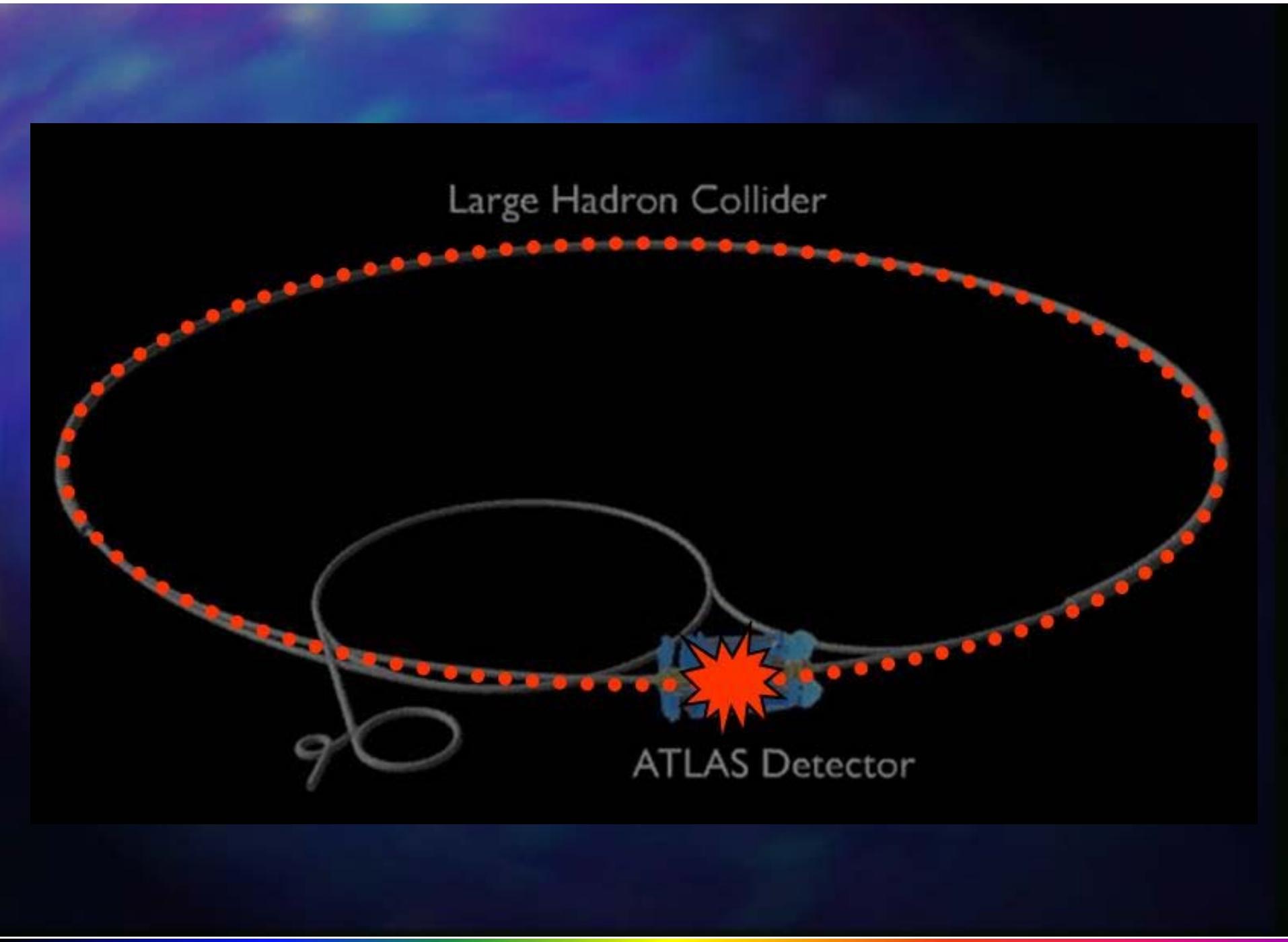


Vue du tunnel du LHC



Vue du tunnel du LHC



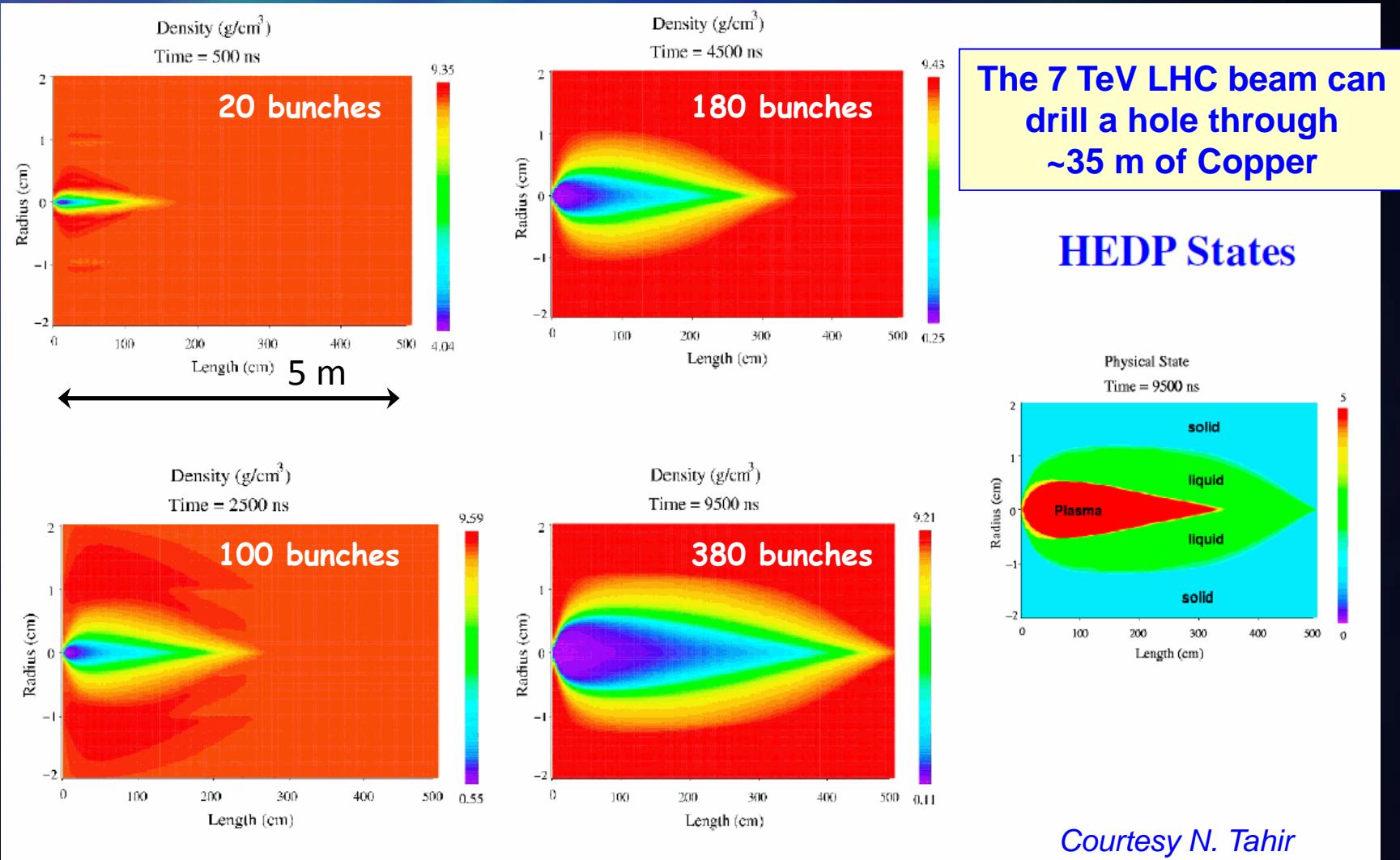


Le faisceau du LHC en quelques chiffres

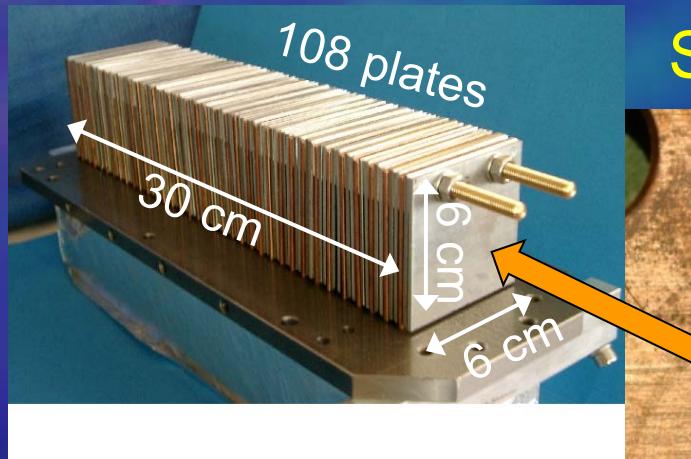
- Le faisceau est composé de 2 808 paquets de protons.
- Chaque paquet contient 100 milliards de protons.
- La vitesse de chaque paquet est de 99,9999991 % la vitesse de la lumière ($c = 300\ 000 \text{ km/s}$) soit seulement 2,7 m/s de moins
- A cette vitesse chaque paquet parcourt 11 245 fois les 27 km par seconde.
- L'espacement entre 2 paquets est de 25 ns (25 milliardième de seconde= 0,00000025 s) soit $\sim 8 \text{ m}$ à cette vitesse.
- L'énergie totale contenue dans le faisceau (ie: les 2 808 paquets de protons à 7 TeV) est de 362 MJ : ce qui équivaut à 90 kg de TNT

Beam impact in a target

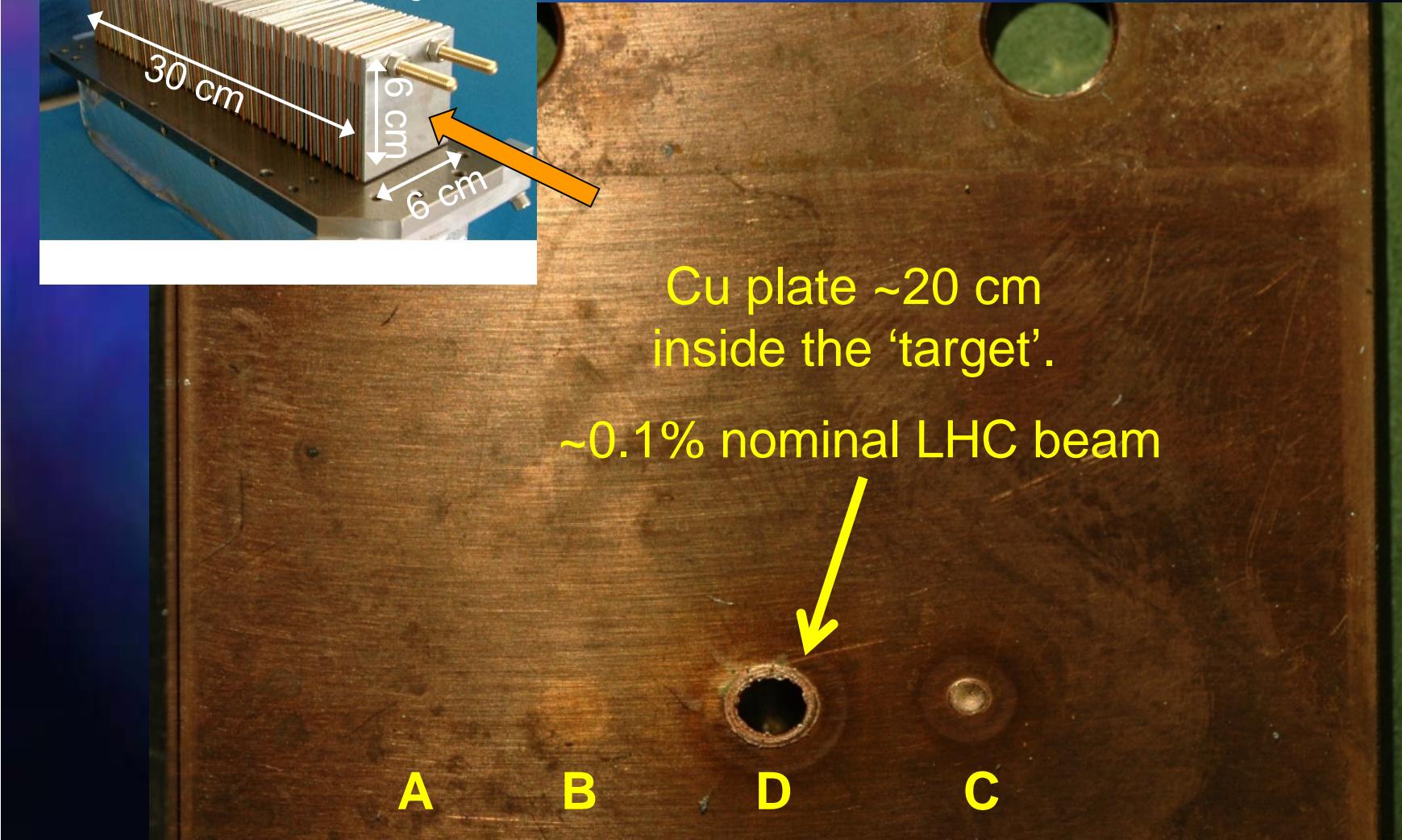
Simulation of a 7 TeV LHC beam impact into a 5 m long Copper target



From a real 450 GeV (0.45 TeV) beam...

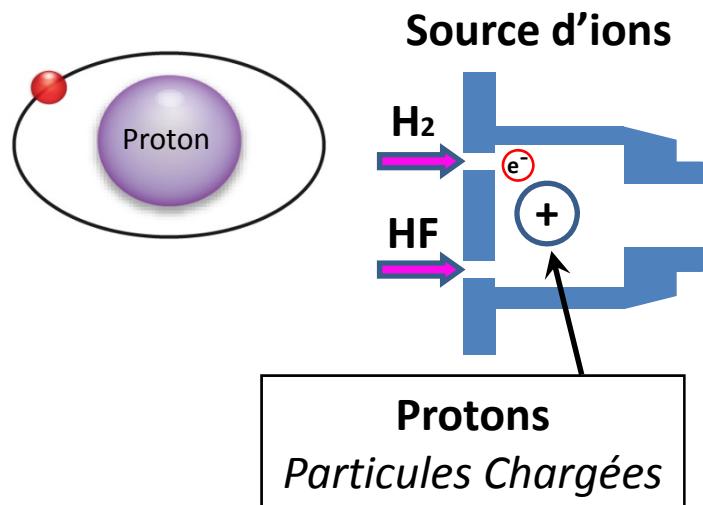


Shoot a 450 GeV beam into a target...

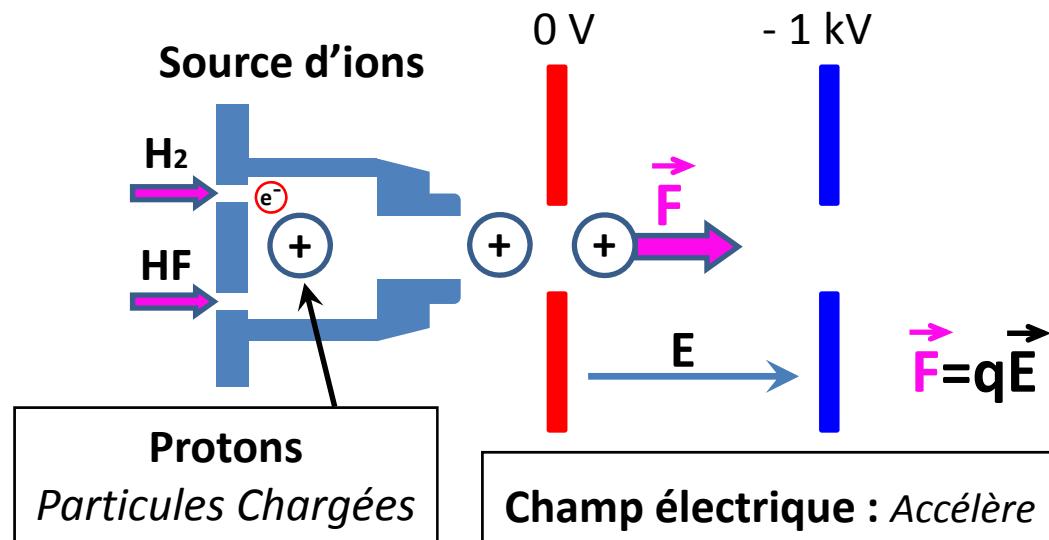


10

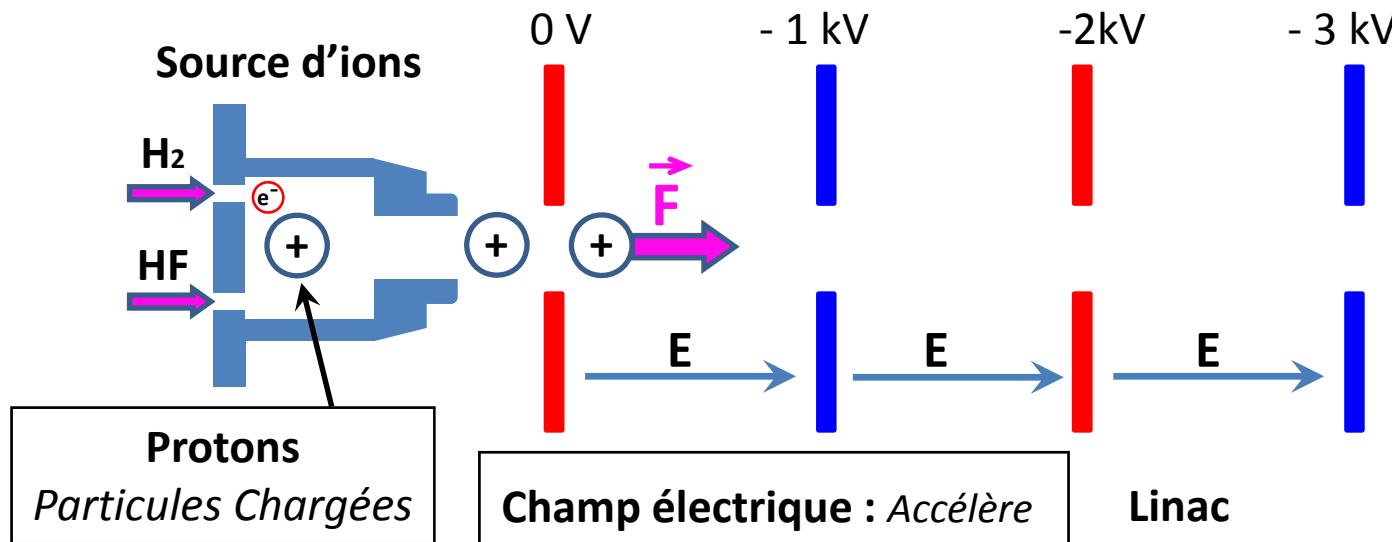
Accélérateur de particules LHC



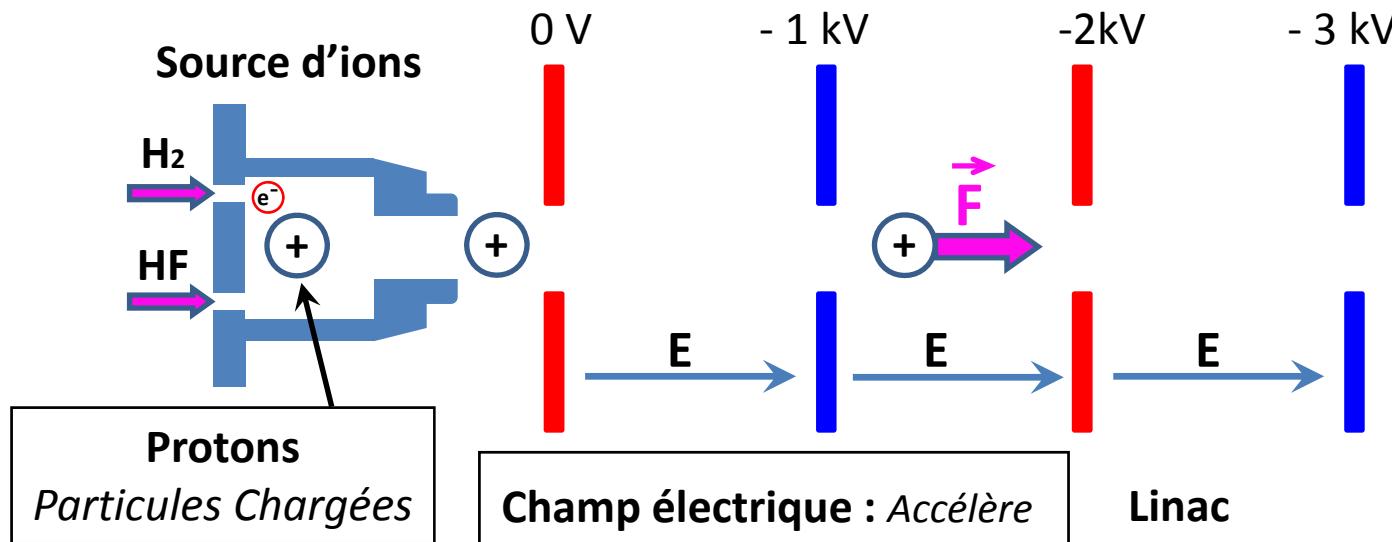
Accélérateur de particules LHC



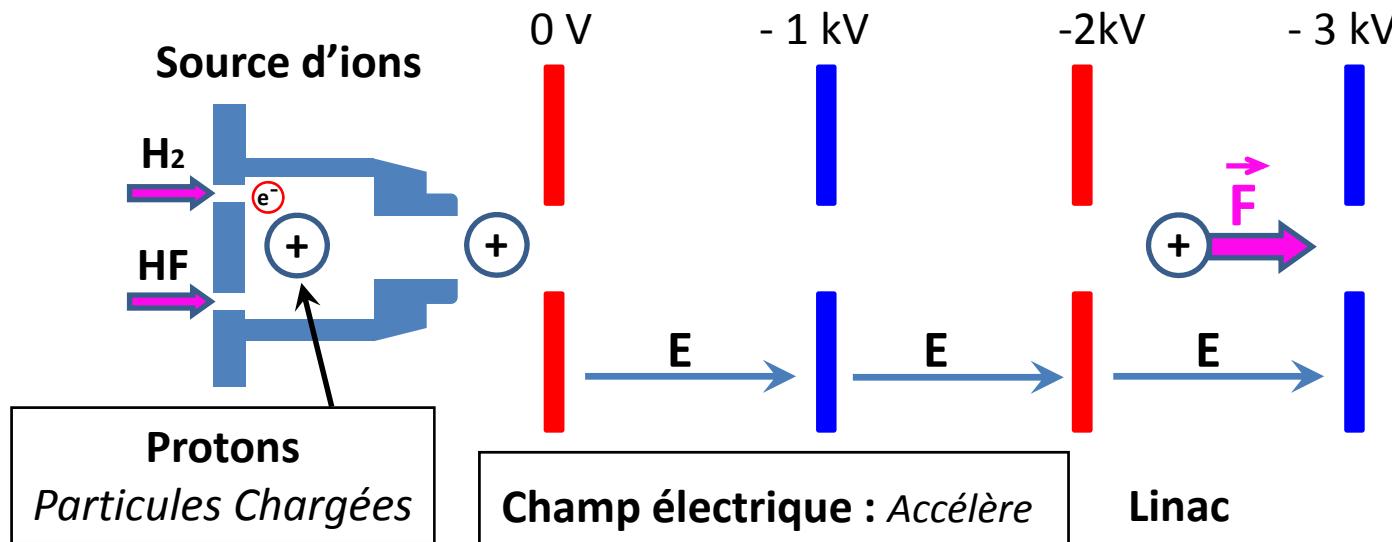
Accélérateur de particules LHC



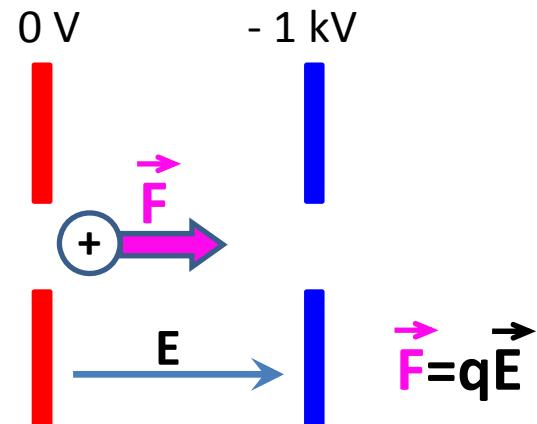
Accélérateur de particules LHC



Accélérateur de particules LHC

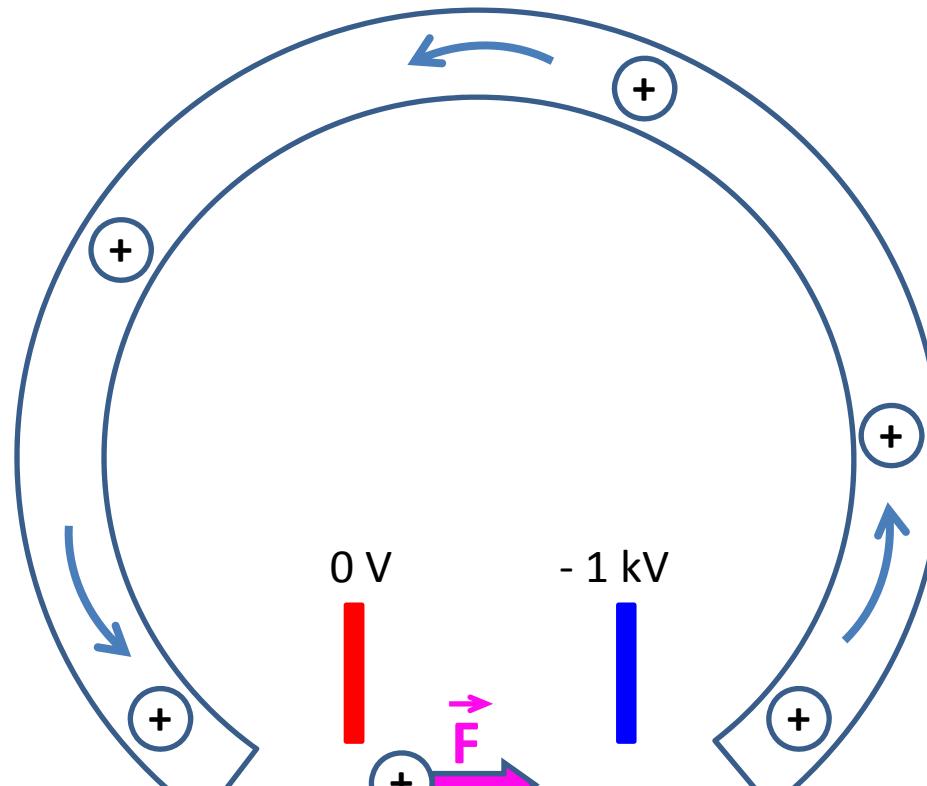


Accélérateur de particules LHC



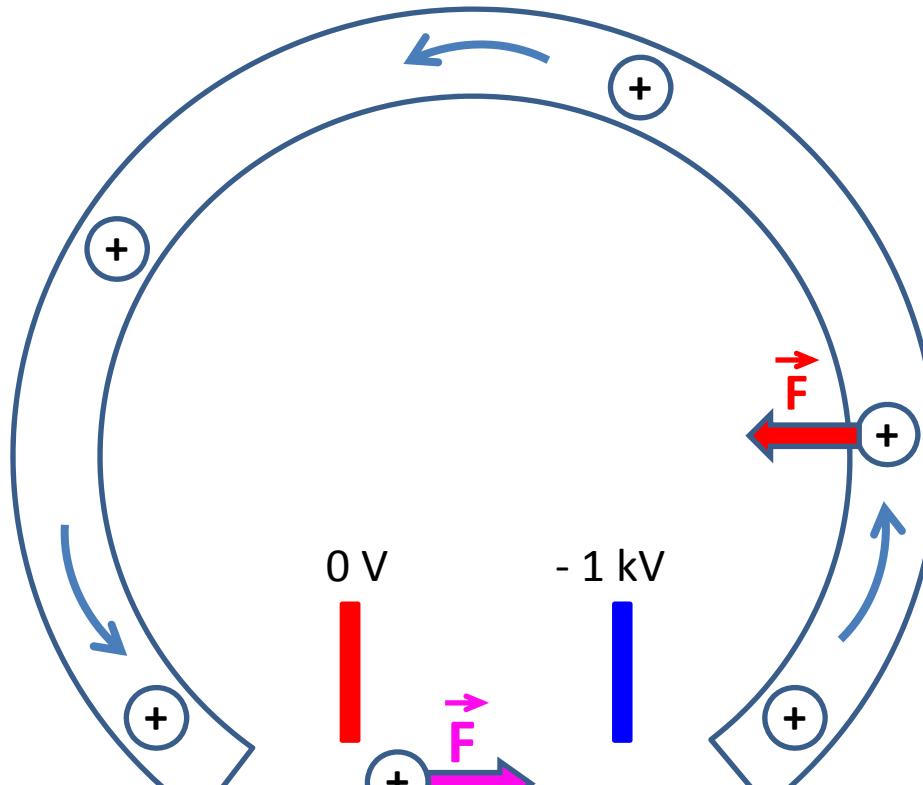
Champ électrique : Accélère

Accélérateur de particules LHC



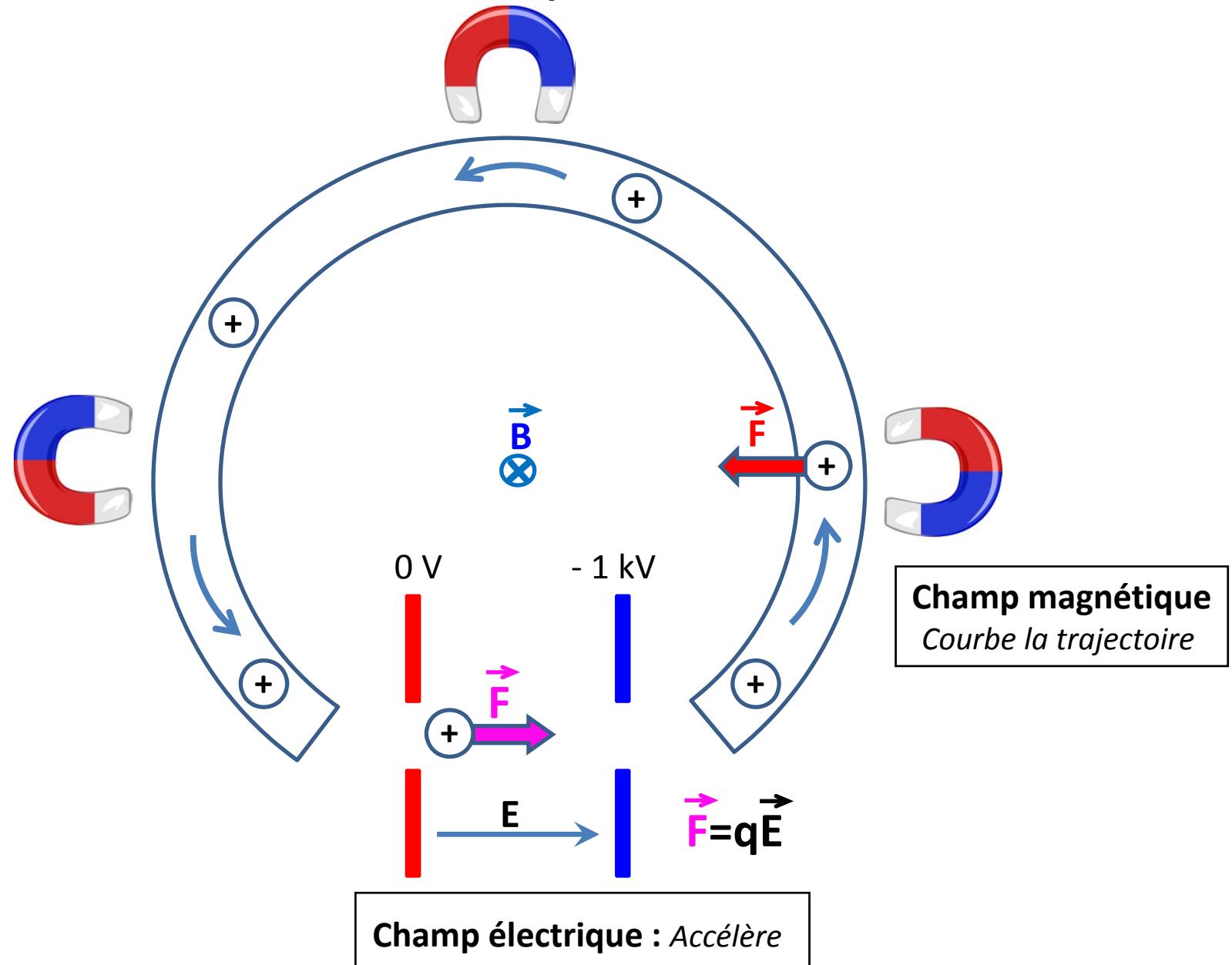
Champ électrique : Accélère

Accélérateur de particules LHC

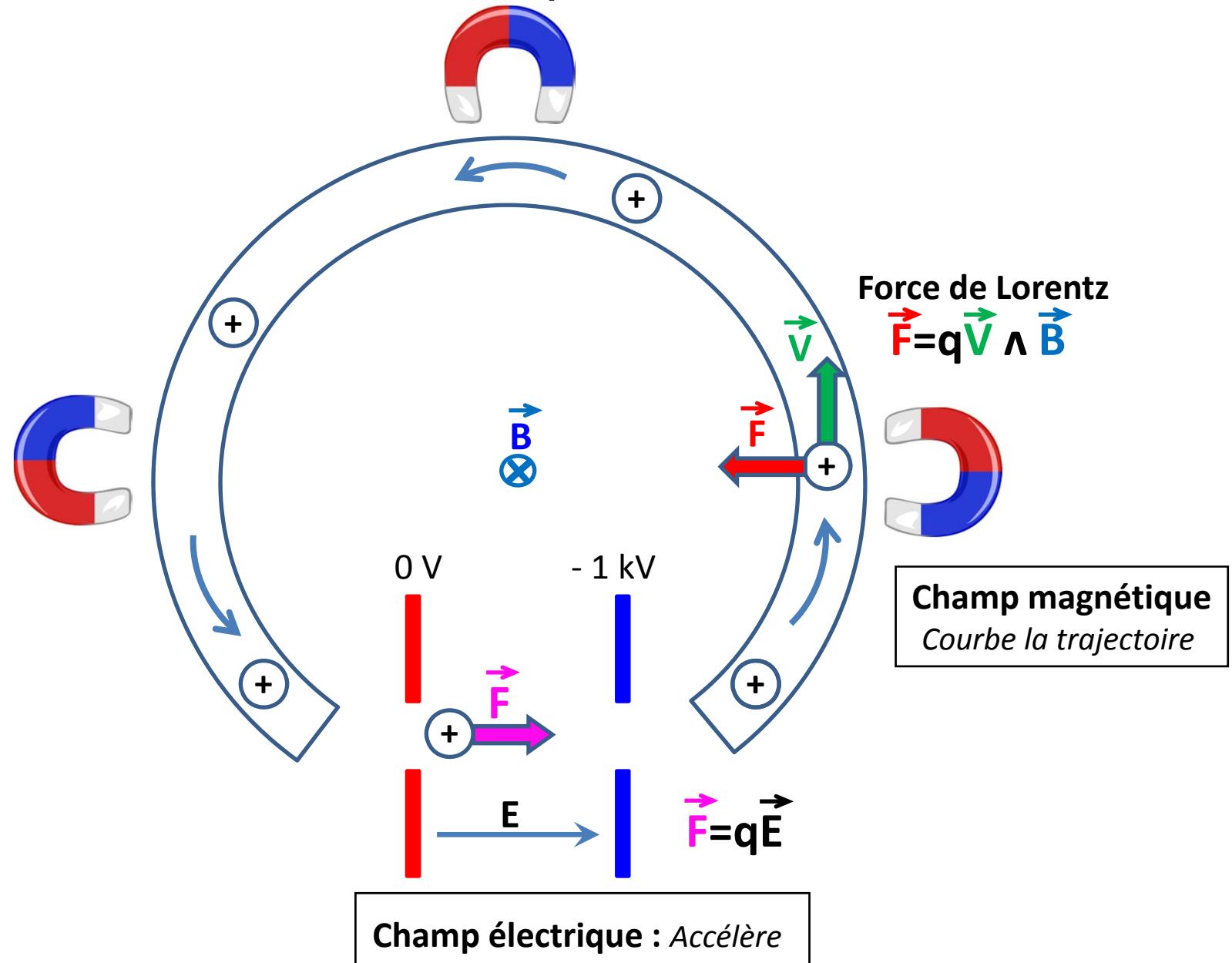


Champ électrique : Accélère

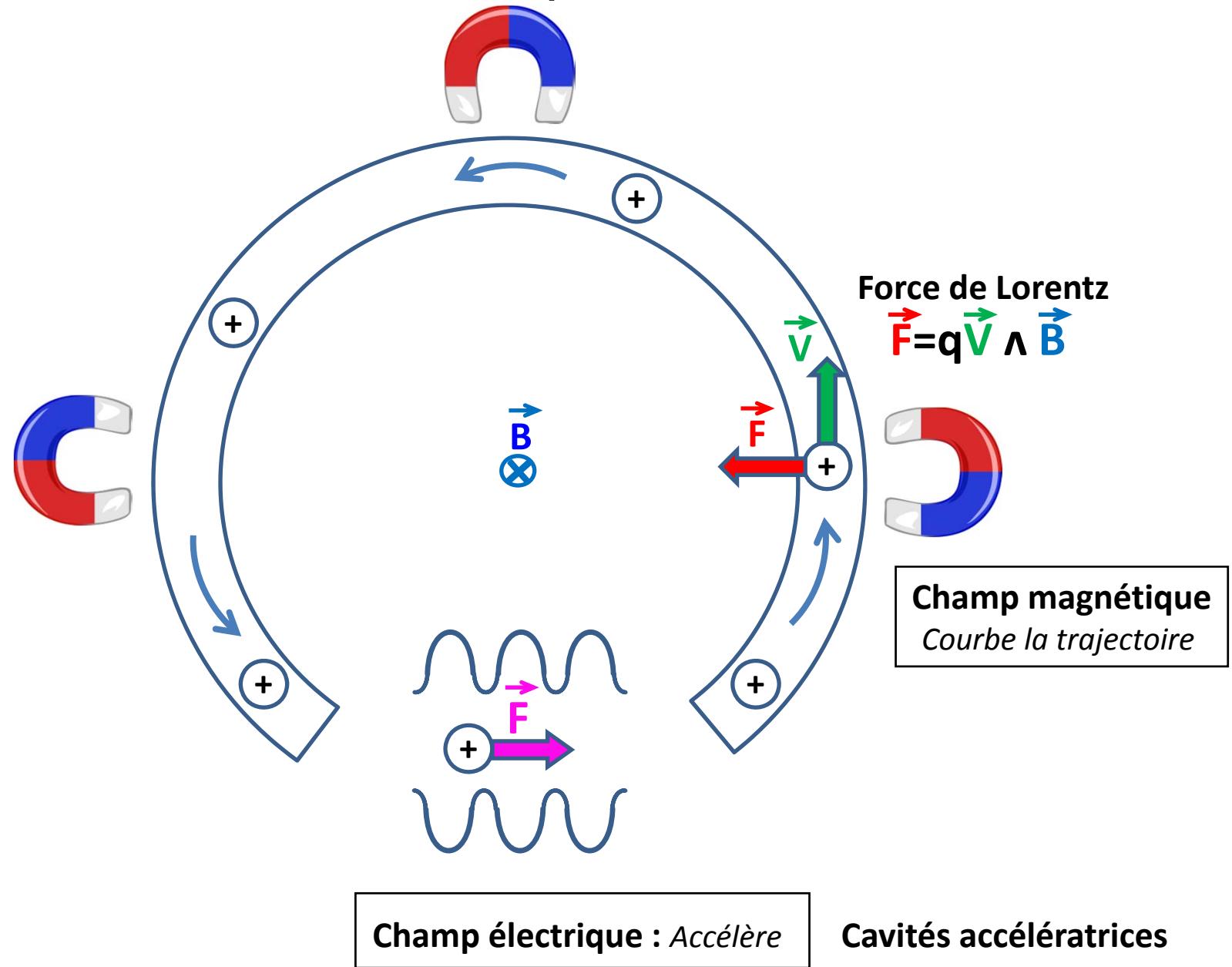
Accélérateur de particules LHC



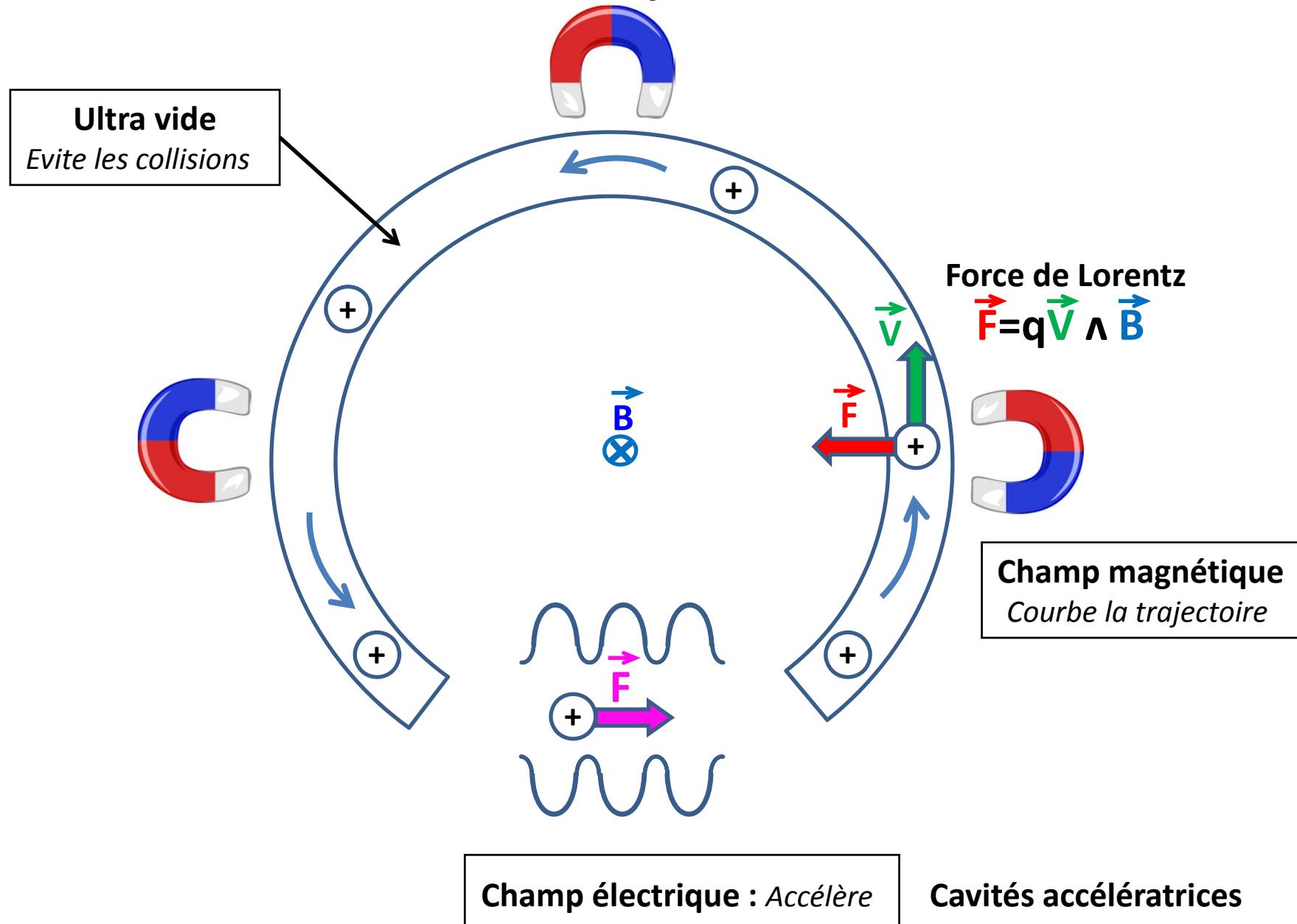
Accélérateur de particules LHC



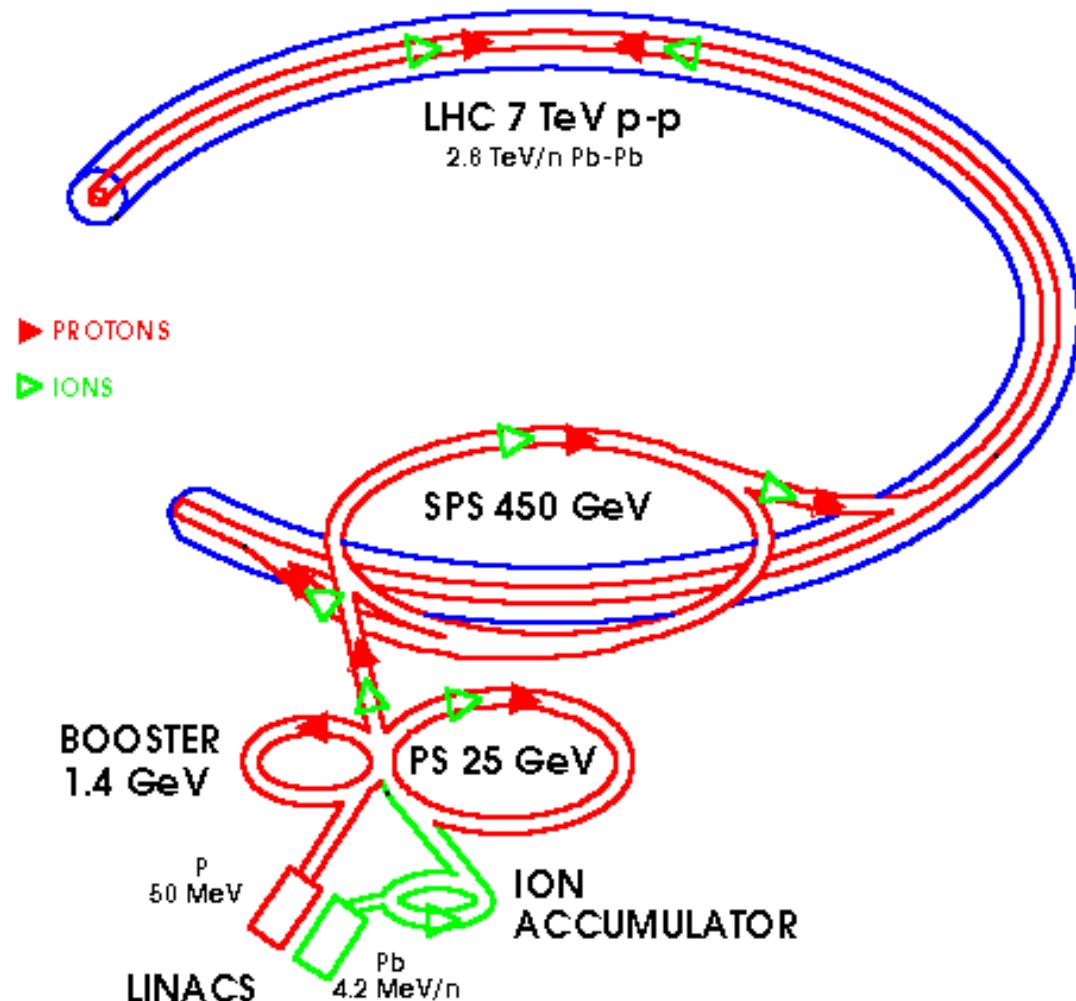
Accélérateur de particules LHC



Accélérateur de particules LHC



THE LHC HADRON INJECTOR COMPLEX



Eléments de base d'un accélérateur

➤ Sources d'ions



Produire les particules

➤ Accélérer les particules



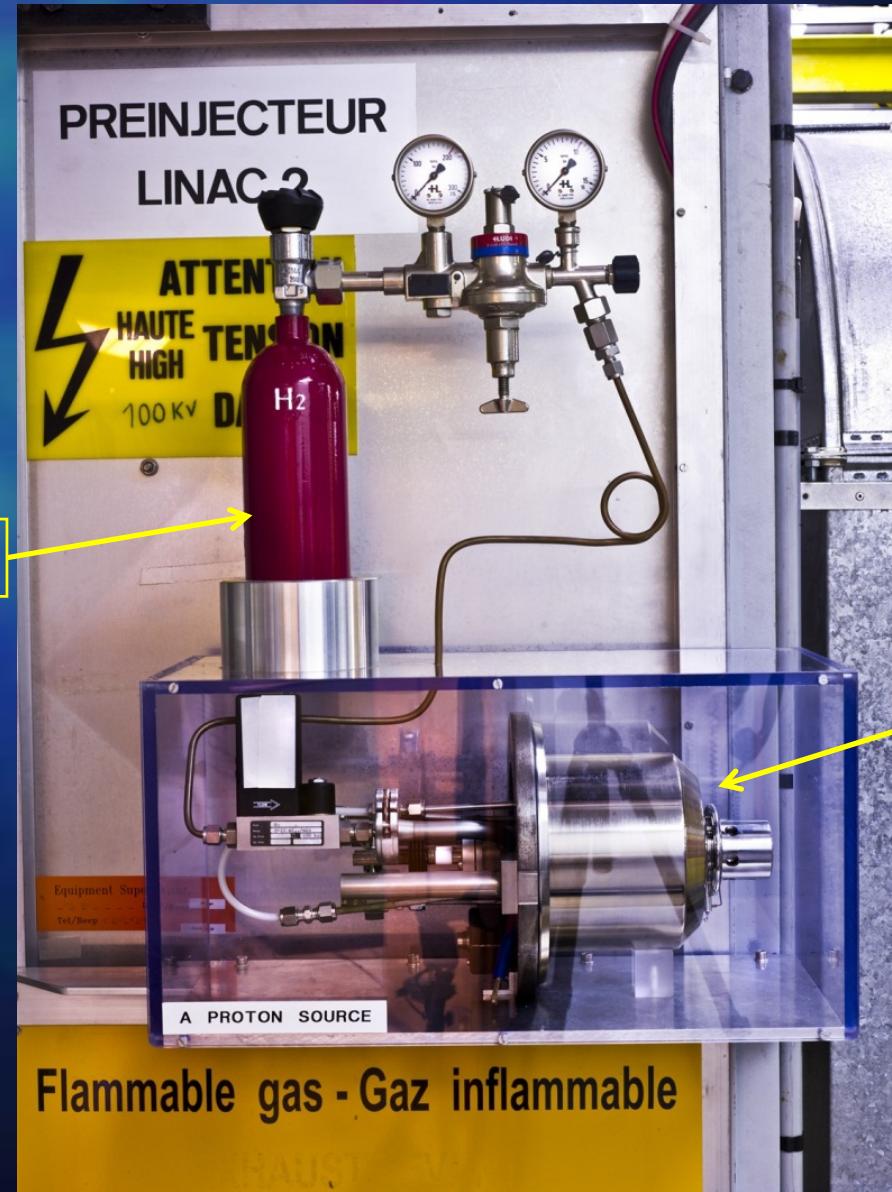
Accélérateur linéaire
Cavités accélératrices

➤ Courber la trajectoire des particules



Electroaimants

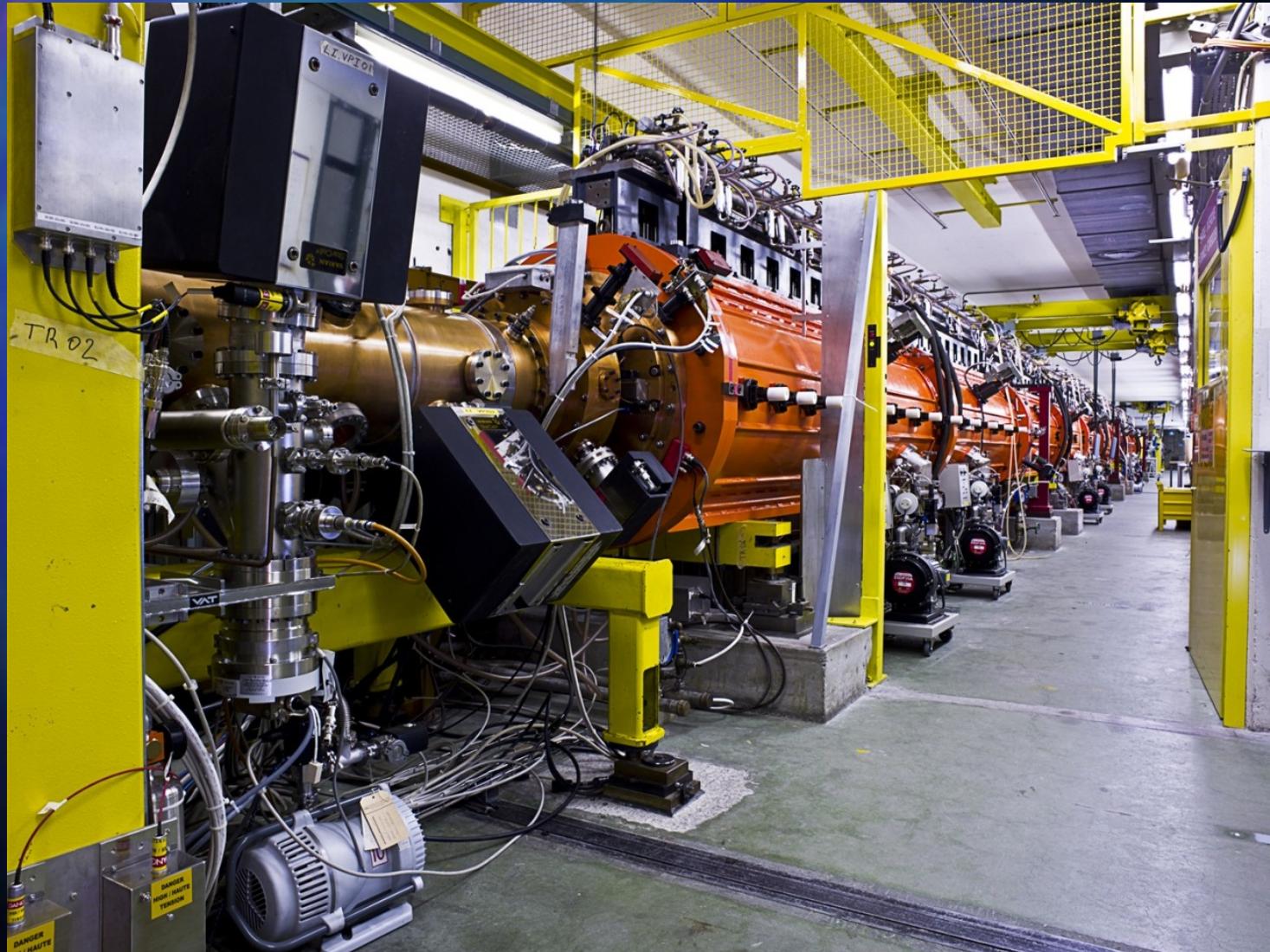
Produire les particules : Sources d'ions



Produire les particules : Sources d'ions



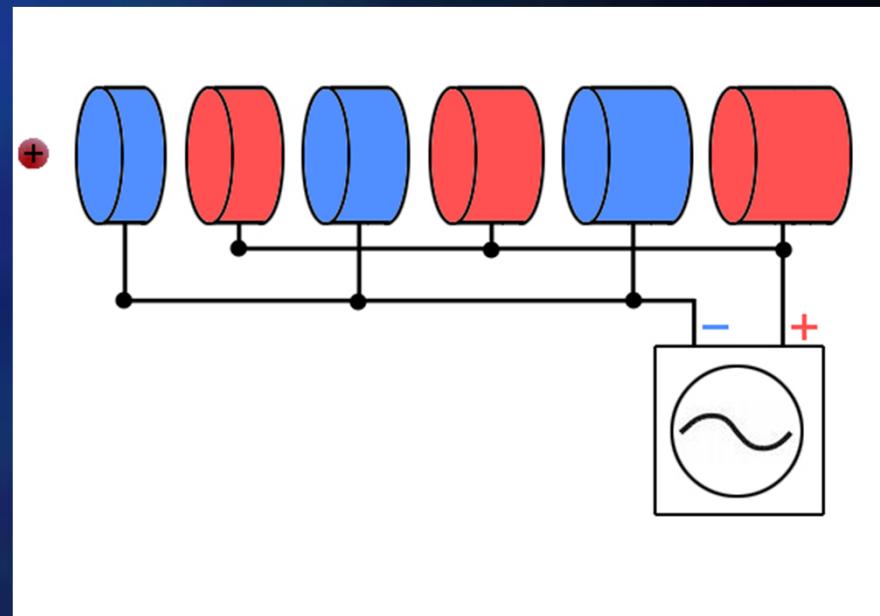
Accélérer les particules : Linac



Accélérer les particules : Linac

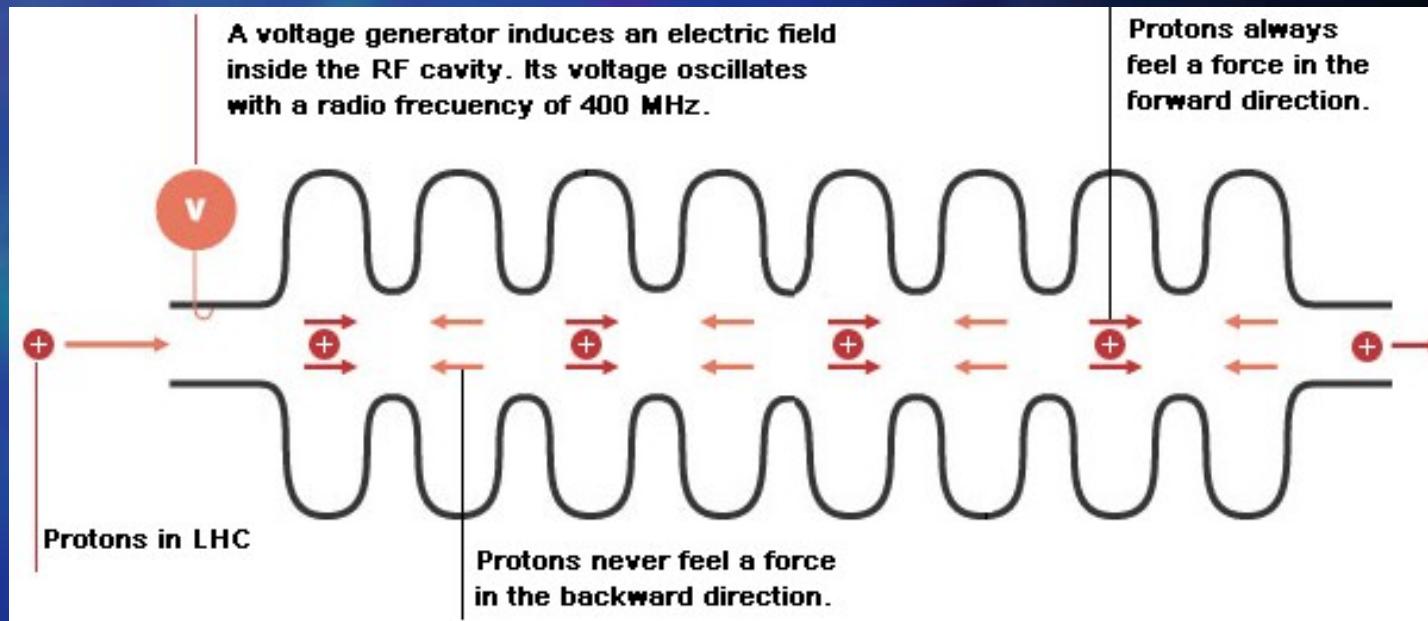


- 30 mètres de longueur
- Accélération : 50 MeV



- $7 \text{ TeV} = 7 \cdot 10^6 \text{ MeV}$
- Linac = 4 200 km de longueur!!
- Il en faudrait 2 pour faire un collisionneur LHC!!

Accélérer les particules : Cavités accélératrices

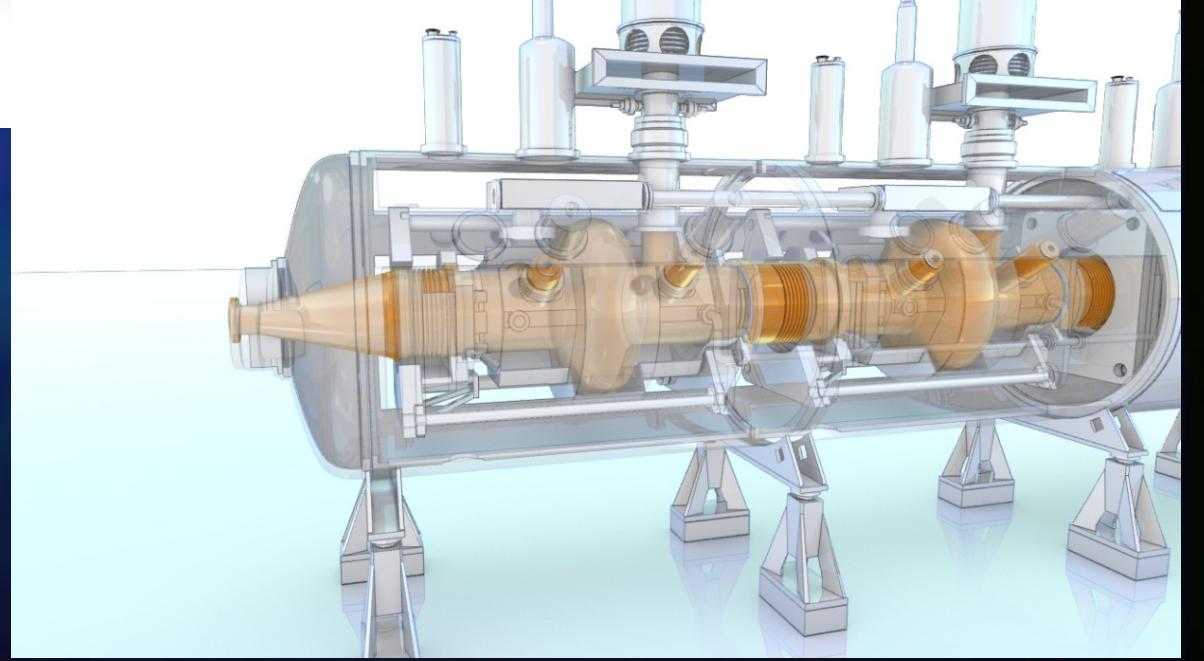
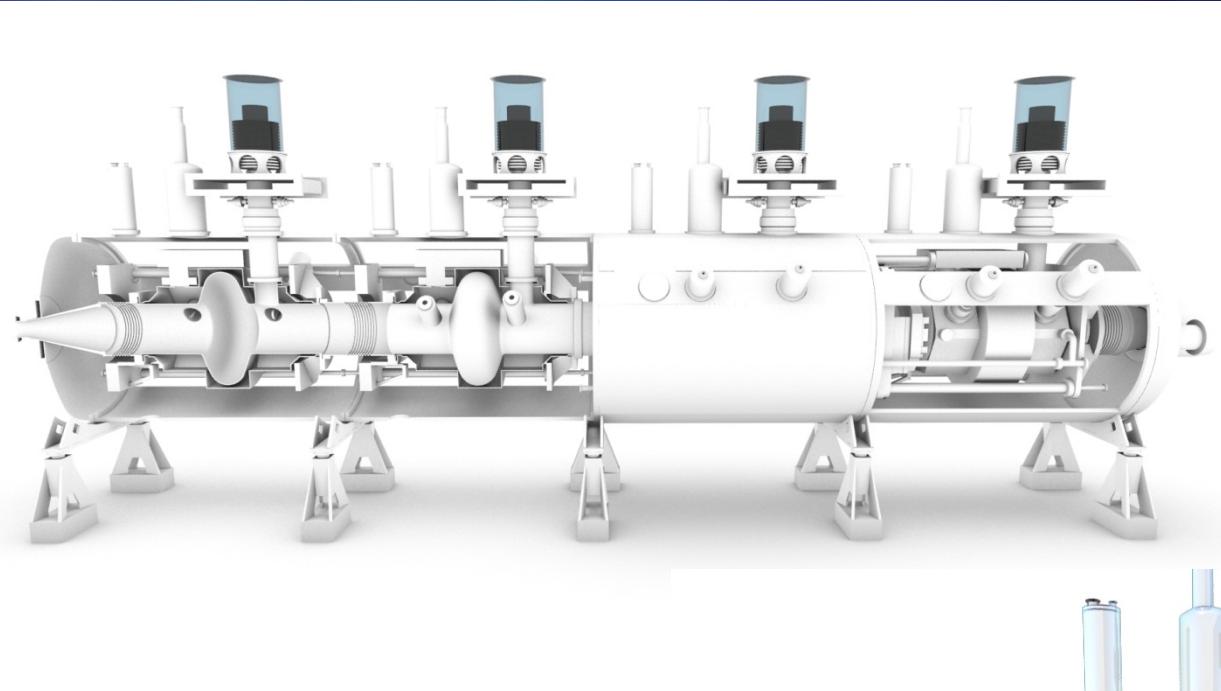


Il y a 8 cavités accélératrices par faisceaux sur les 27 Km

L'accélération moyenne est de 0,5 MeV par tour.

Il faut 20 minutes pour accélérer les protons de 450 GeV à 7 TeV

Accélérer les particules : Cavités accélératrices

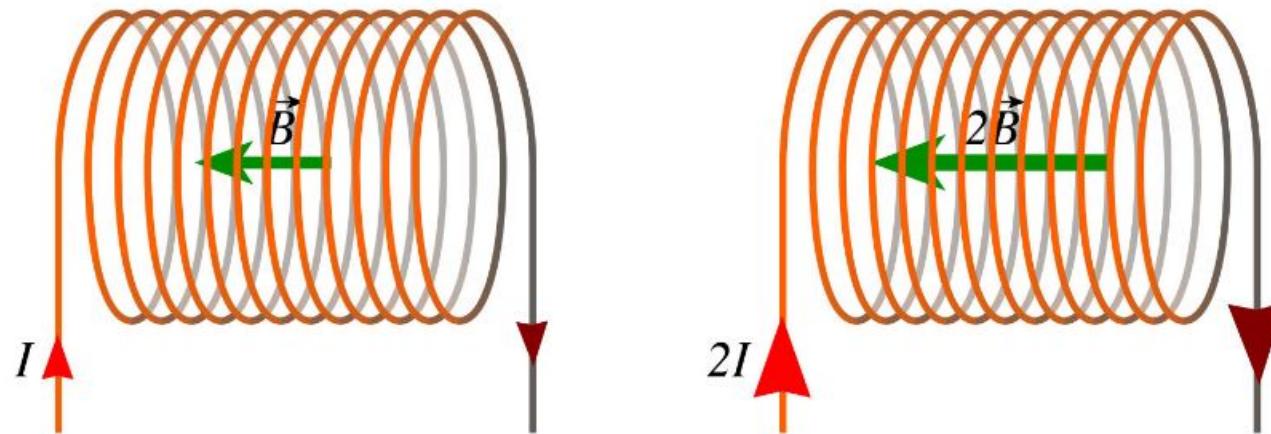


Accélérer les particules : Cavités accélératrices



Courber la trajectoire des particules : Electroaimants

L'intensité du champ magnétique est proportionnelle au courant qui le crée : $B = k \times I$



Pour courber des protons de 7 TeV selon le rayon de courbure du tunnel du LHC ($R=2,8$ km) il faut produire un champ magnétique de 8.33 Teslas (*200 000 fois le champ magnétique terrestre*)

Pour produire ce champ magnétique de 8.33 Teslas, il faut faire circuler un courant de 12 500 Ampères !!!

Si le conducteur était en cuivre, il devrait avoir un diamètre de 9 cm de diamètre car les pertes par effet joule sont considérables ($P = R i^2$)

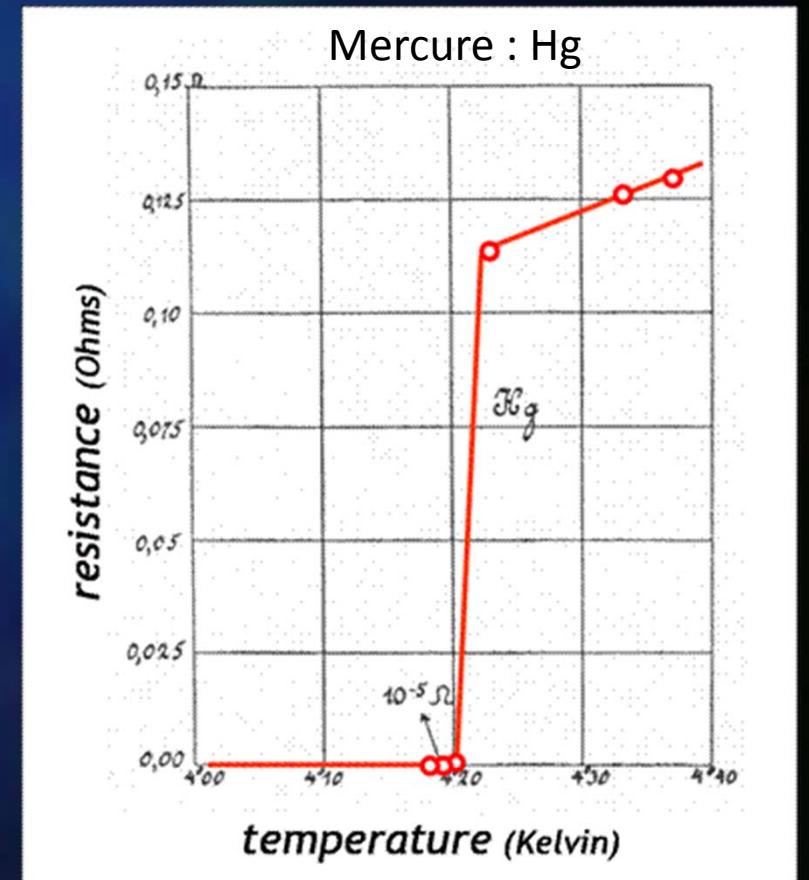
Courber la trajectoire des particules : Electroaimants

La solution : La Supraconductivité

(Découverte il y a 100 ans)

A très basse température, (proche de zéro absolu) certains matériaux ne sont plus résistifs et conduisent l'électricité sans perte d'énergie.

... mais il faut les refroidir à 1.9 K
(- 271.2 °C)



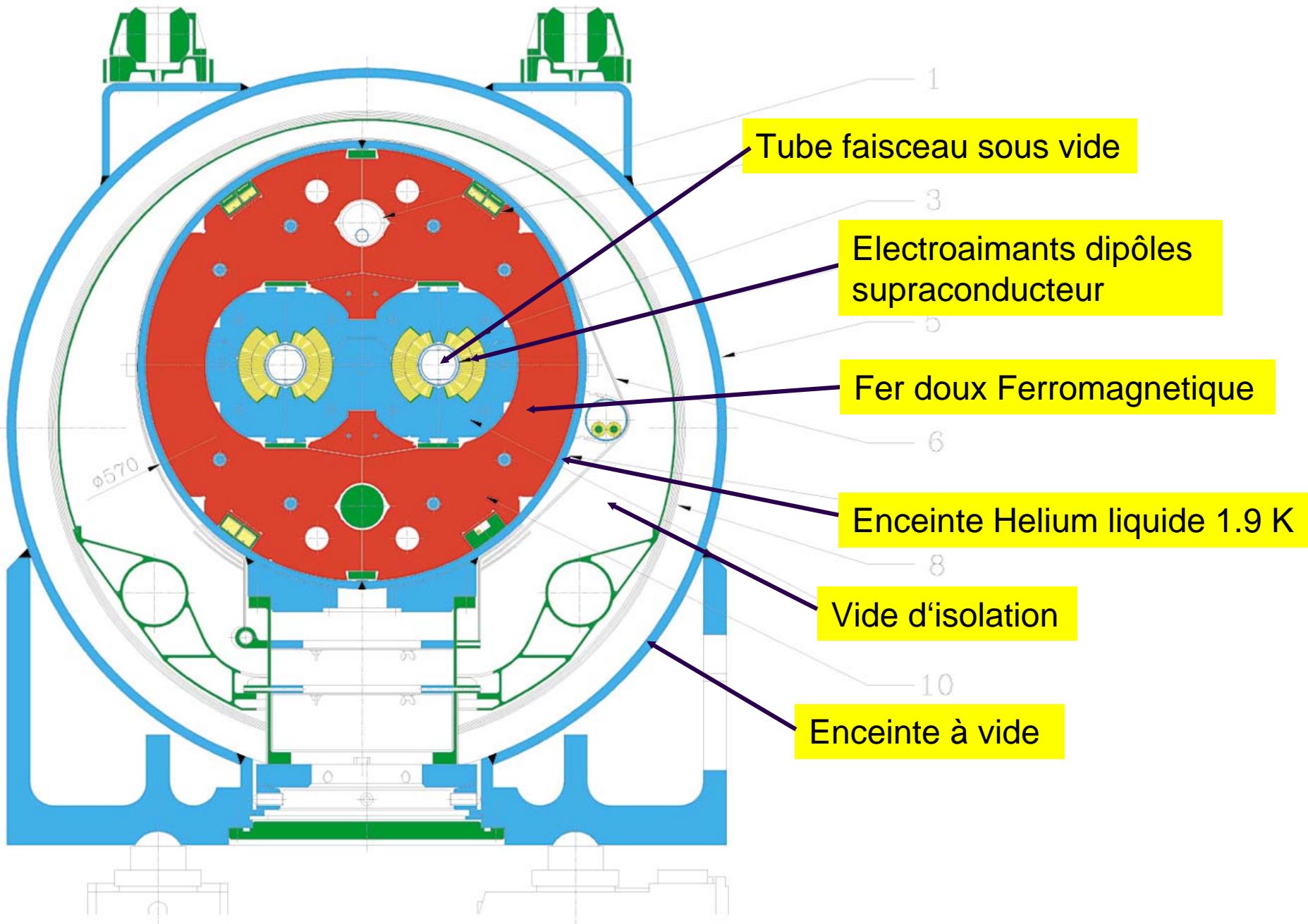
Courber la trajectoire des particules : Electroaimants



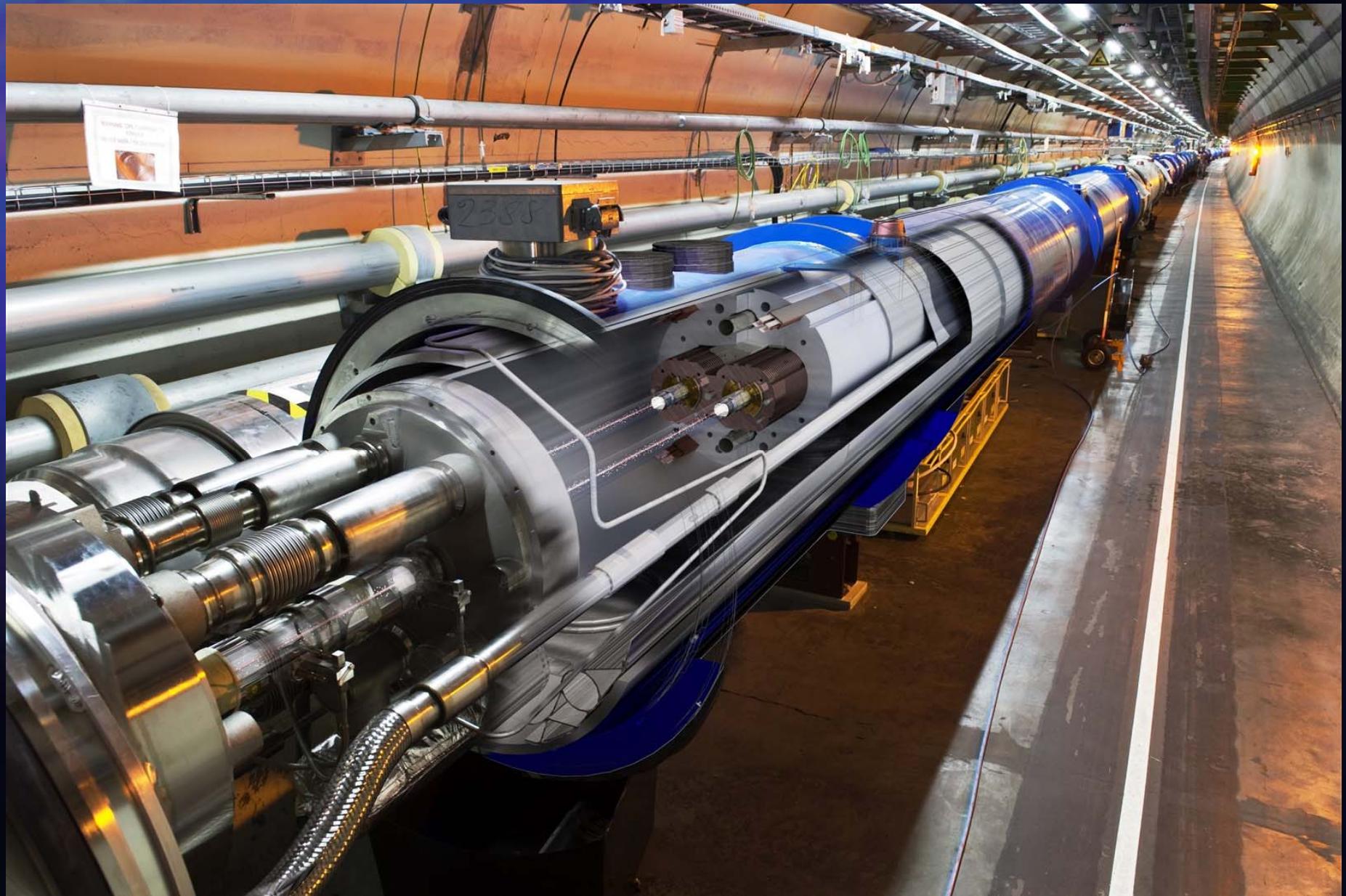
Fils supraconducteurs du LHC
Alliage Nb Ti : Niobium Titane

Vue du tunnel du LHC





Vue du tunnel du LHC



Courber la trajectoire des particules : Electroaimants

- Il y a 1 234 aimants refroidis à 1.9 K (- 271,2 °C) sur les 27 km du LHC
- Avril 2007 : Mise en place du dernier aimant



*Poids : 30 tonnes
Longueur: 15 m*

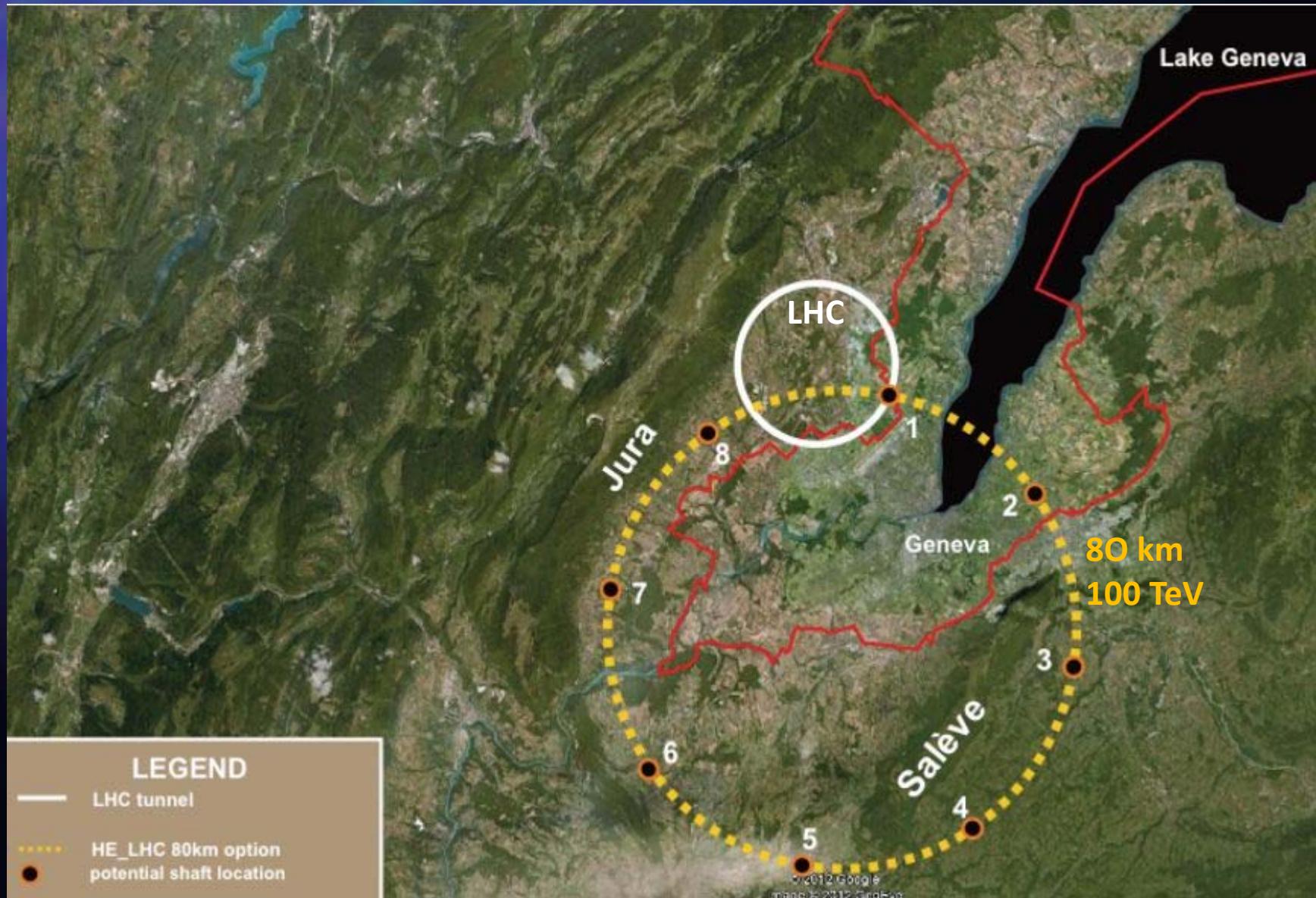


L'accélérateur de tous les superlatifs

- Le plus grand équipement scientifique jamais réalisé au monde
- La plus grande concentration de chercheurs au monde:
- Le LHC est plus froid 1.9 K (271,2°C) que l'Univers : vide intersidéral = 3 K
-> 40 000 tonnes de matériaux refroidis à 1,9 K grâce à 700 m³ d'hélium liquide
- Le vide à l'intérieur du tube faisceau est 10 fois meilleur que la pression régnant à la surface de la lune.
- Le champ magnétique à l'intérieur des aimants supraconducteurs (8,3 Teslas) équivaut à 200 000 fois le champ magnétique terrestre
- L'énergie stockée dans les 1 234 aimants (10,4 GJ) correspond à l'énergie d'un A380 lancé à 700 km/h ou encore l'énergie nécessaire pour faire fondre 15 tonnes de cuivre

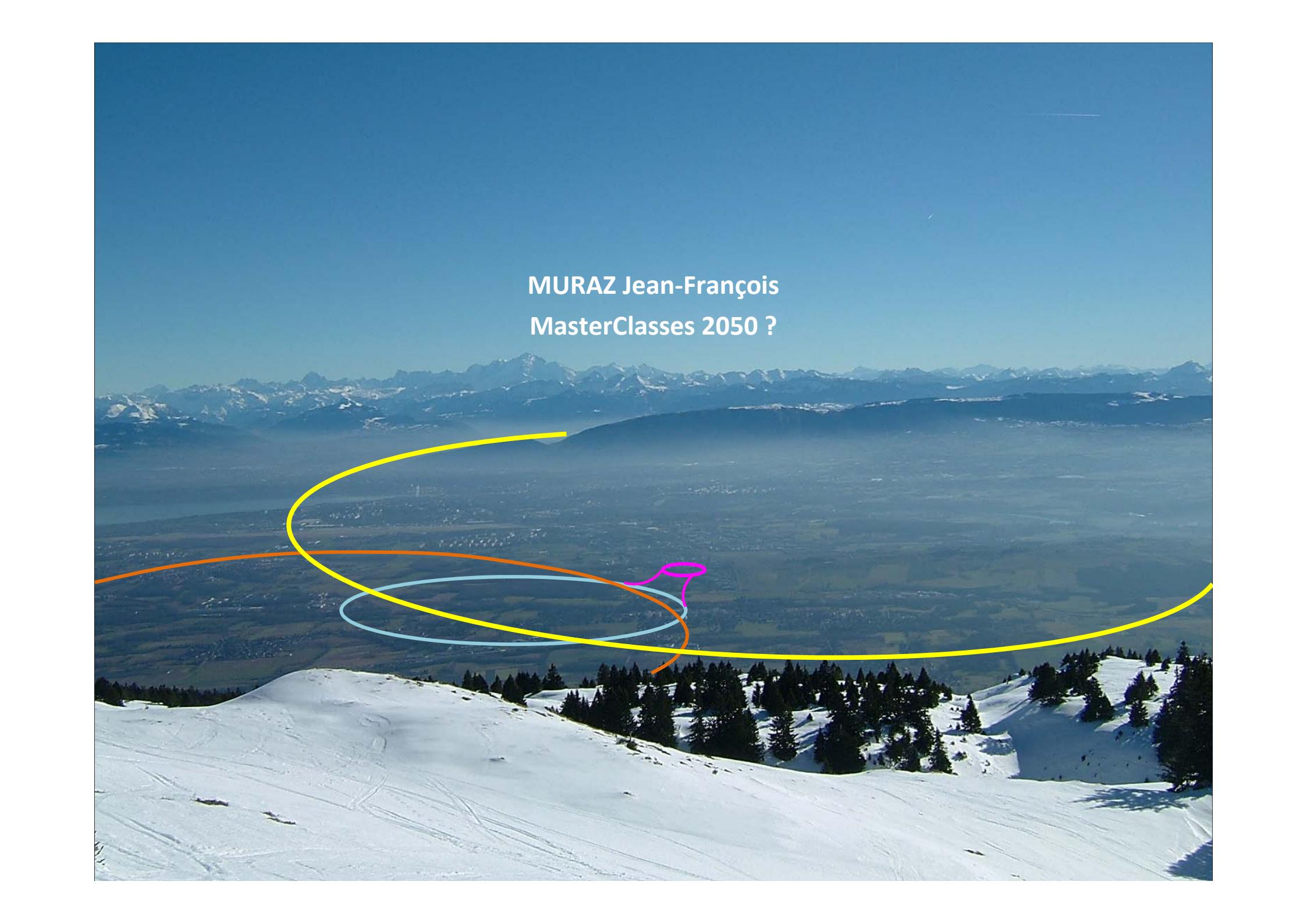
Et après ? Que faudrait-il faire pour aller plus haut en énergie ?

Et après ? Que faudrait-il faire pour aller plus haut en énergie ?

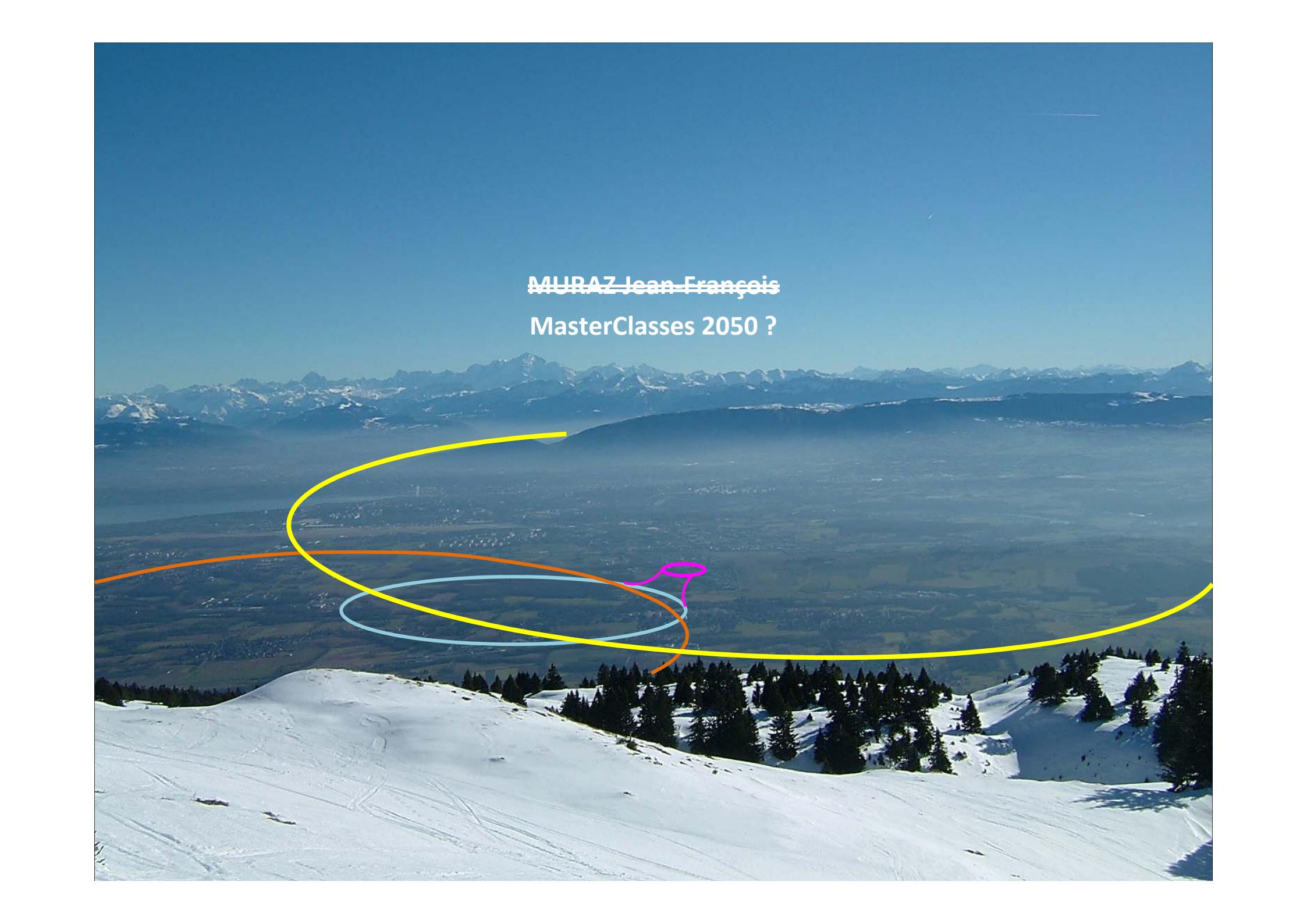




MURAZ Jean-François
MasterClasses 2014



MURAZ Jean-François
MasterClasses 2050 ?



MURAZ Jean-François

MasterClasses 2050 ?