

Bienvenue au CERN

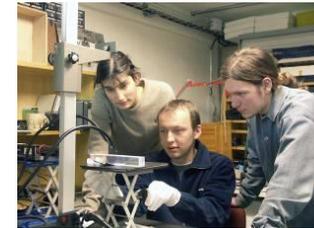
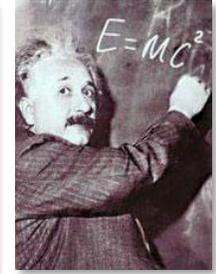
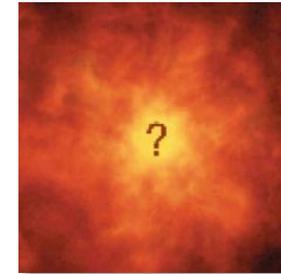
Philippe Lebrun

CERN & European Scientific Institute

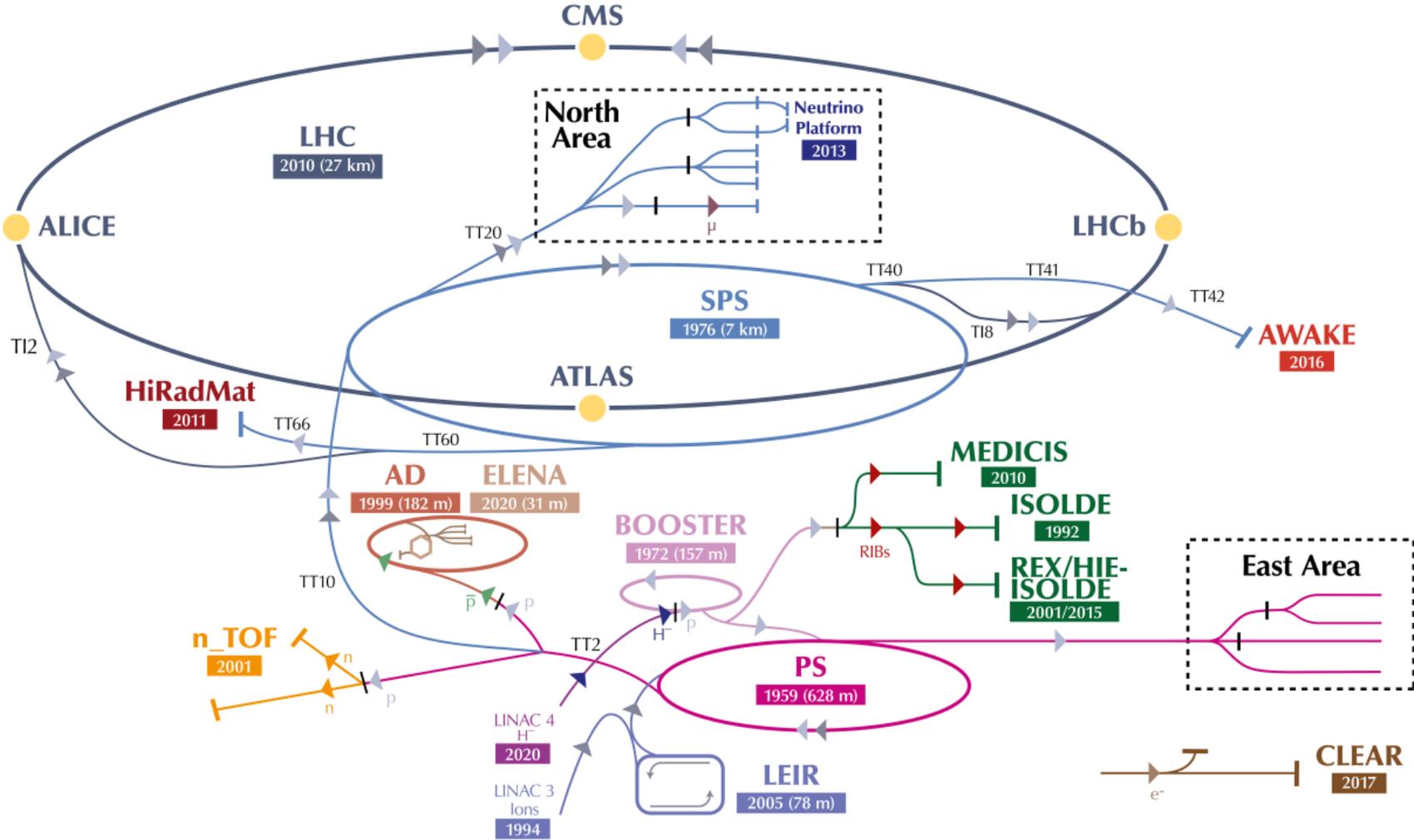
Visite de SFEN - RAL, mardi 11 mars 2025

- Une convention visionnaire, précise et néanmoins évolutive
 - « *L'Organisation assure la collaboration entre Etats européens pour les recherches nucléaires de caractère purement scientifique et fondamental, ainsi que pour d'autres recherches en rapport essentiel avec celles-ci. L'Organisation s'abstient de toute activité à fins militaires et les résultats de ses travaux expérimentaux et théoriques sont publiés ou de toute autre façon rendus généralement accessibles.* »
- Aujourd'hui 24 Etats Membres, 9 Etats Membres Associés dont 2 en phase préalable à l'adhésion, 6 Observateurs
- 2700 membres du personnel titulaires
- 13'000 utilisateurs scientifiques dans le monde
- Budget: 1230 MCHF

- Repousser les frontières des connaissances
- Développer de nouvelles technologies pour les accélérateurs, détecteurs et le traitement de l'information
- Former les scientifiques et les ingénieurs de demain
- Rassembler des personnes de différentes nations et cultures

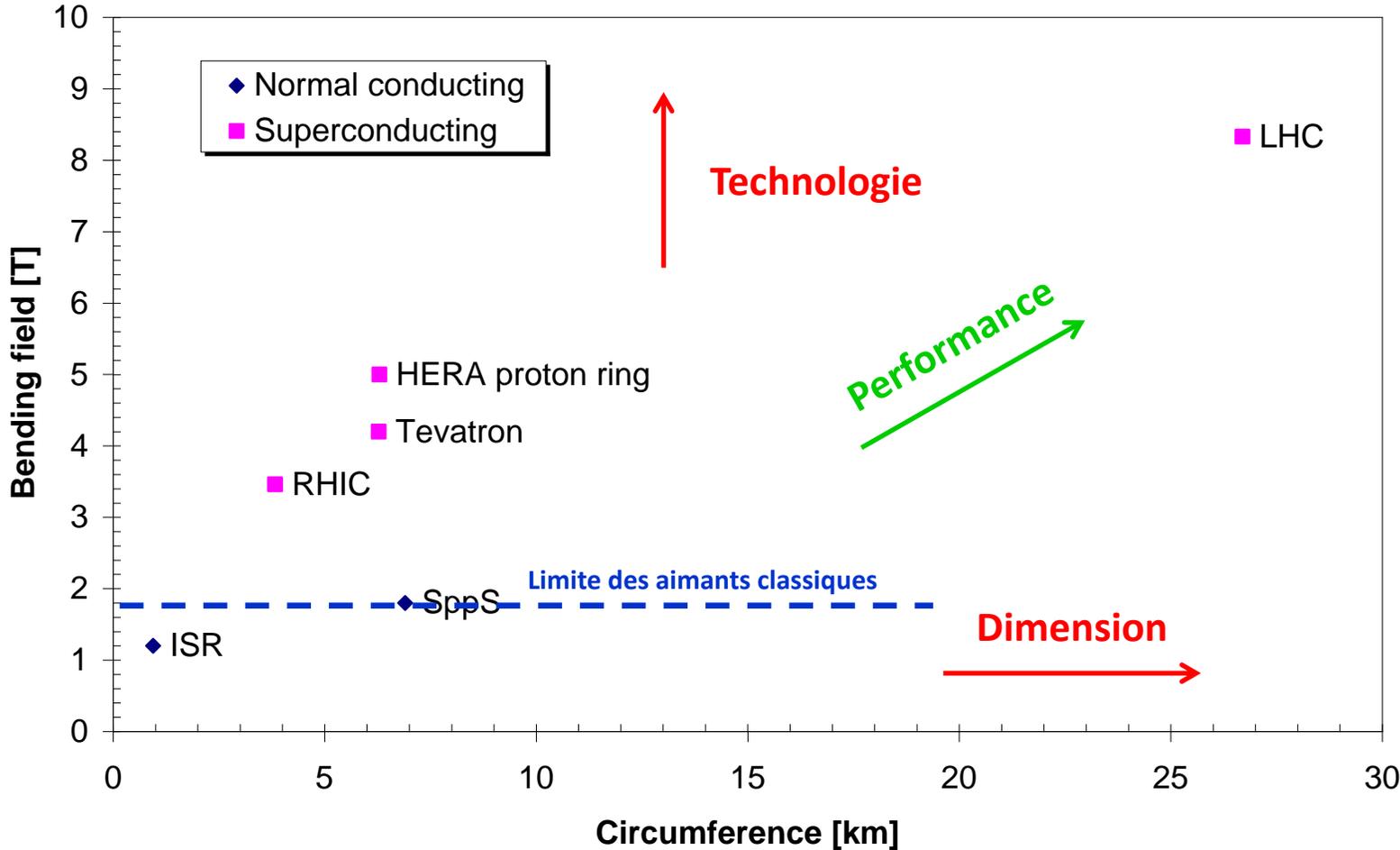


Le plus grand centre d'accélérateurs de particules au monde



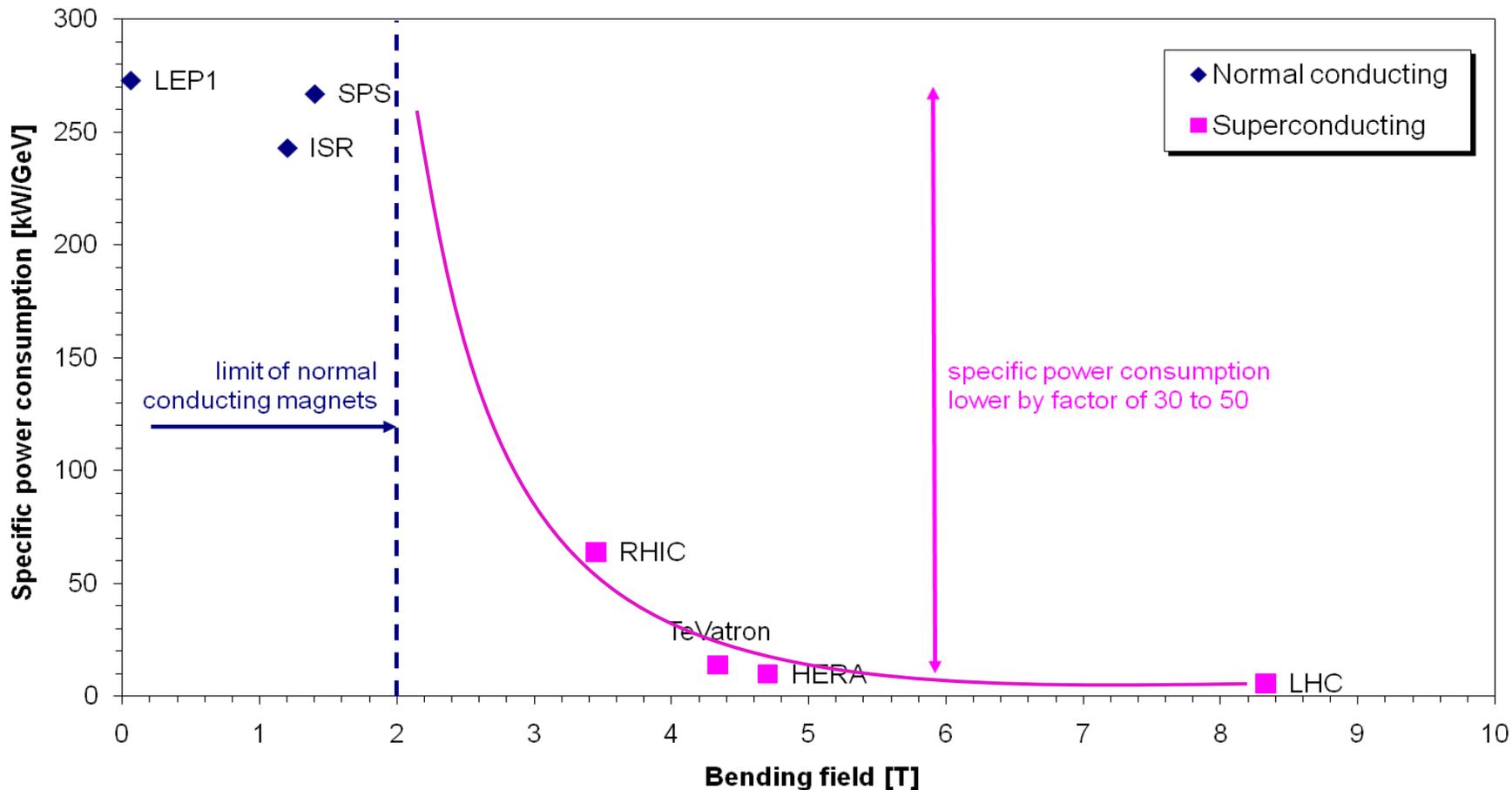
Circonférence et champ magnétique des collisionneurs circulaires

- Les progrès de la technologie aident à contenir l'augmentation des dimensions (et des coûts)



La supraconductivité permet de réduire la consommation d'énergie

- La supraconductivité, appliquée à grande échelle, est devenue une technologie clé des accélérateurs de haute énergie



Pourquoi accélère-t-on des particules au CERN?

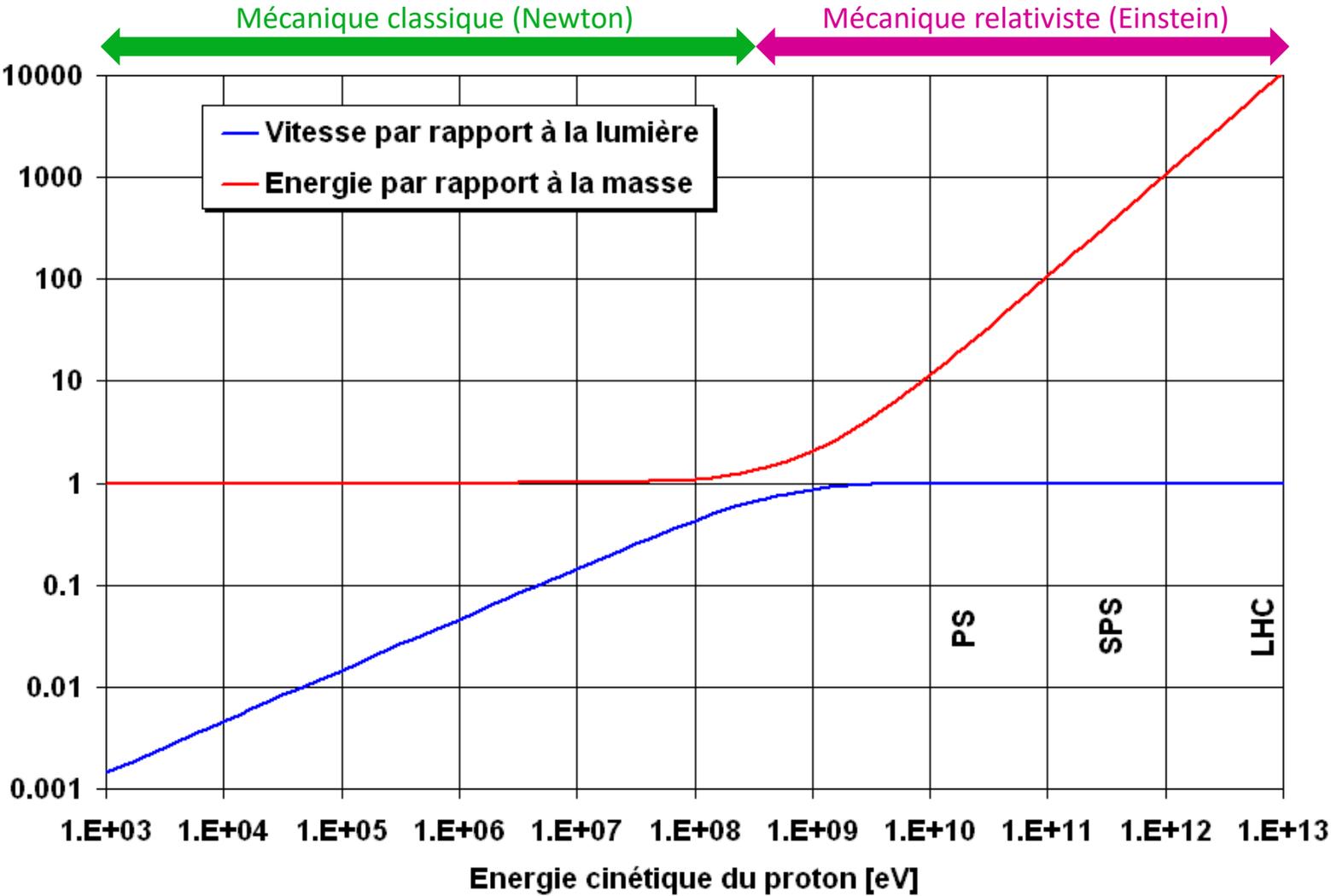
1. Pour (re)créer de nouvelles particules, plus massives

- Quand on accélère une particule
 - Elle ne va pas nécessairement beaucoup plus vite
 - Elle gagne en énergie, donc en masse

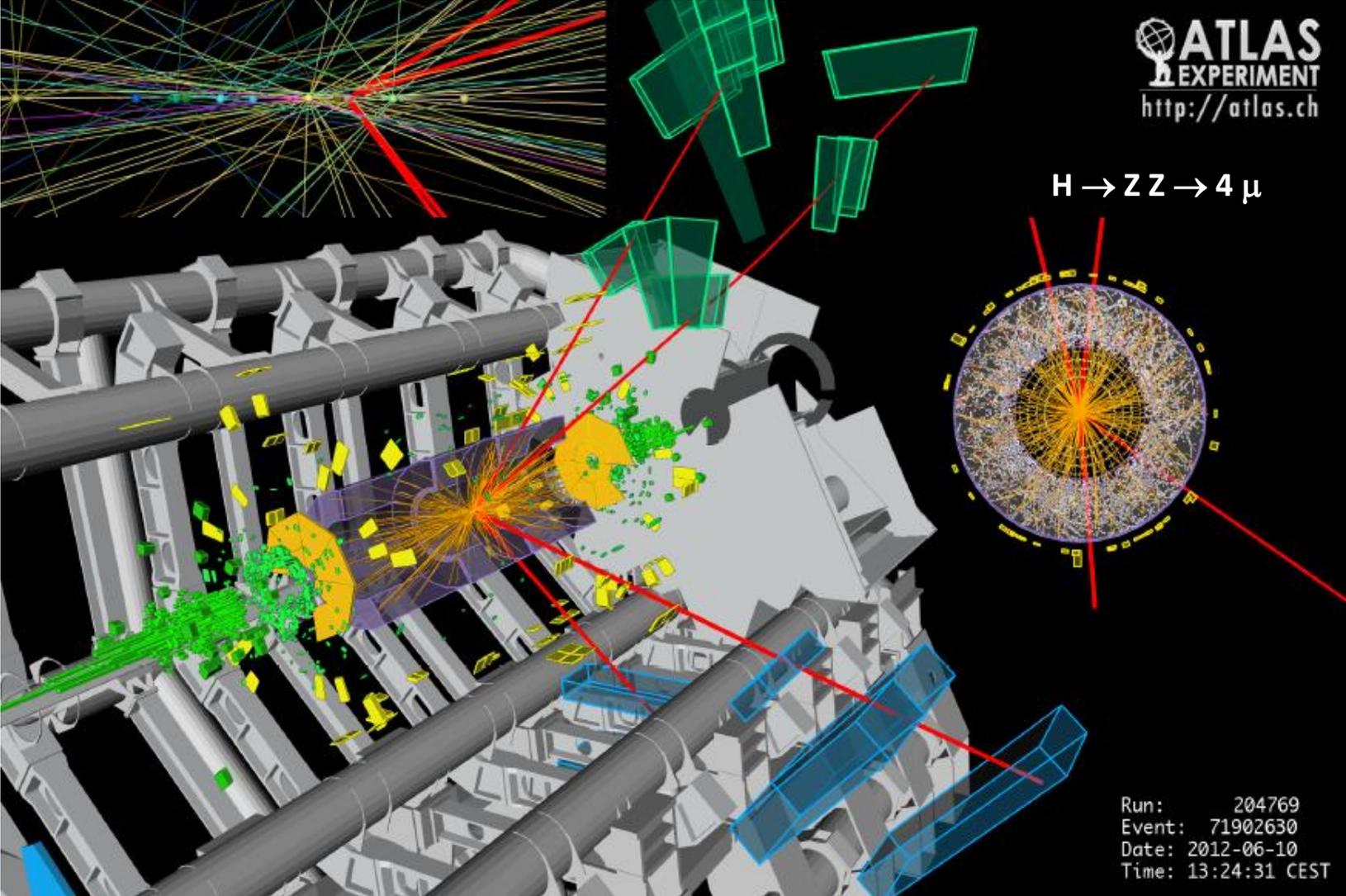


- En se désintégrant, elle peut donner naissance à de nouvelles particules de masse supérieure à la masse initiale au repos

Vitesse et masse-énergie d'un proton



Désintégration d'un boson de Higgs ($m_0=125$ GeV) produit par collision de protons ($m_0=0.94$ GeV) accélérés à 4 TeV au LHC



Pourquoi accélère-t-on des particules au CERN?

2. Pour sonder la matière à petite échelle

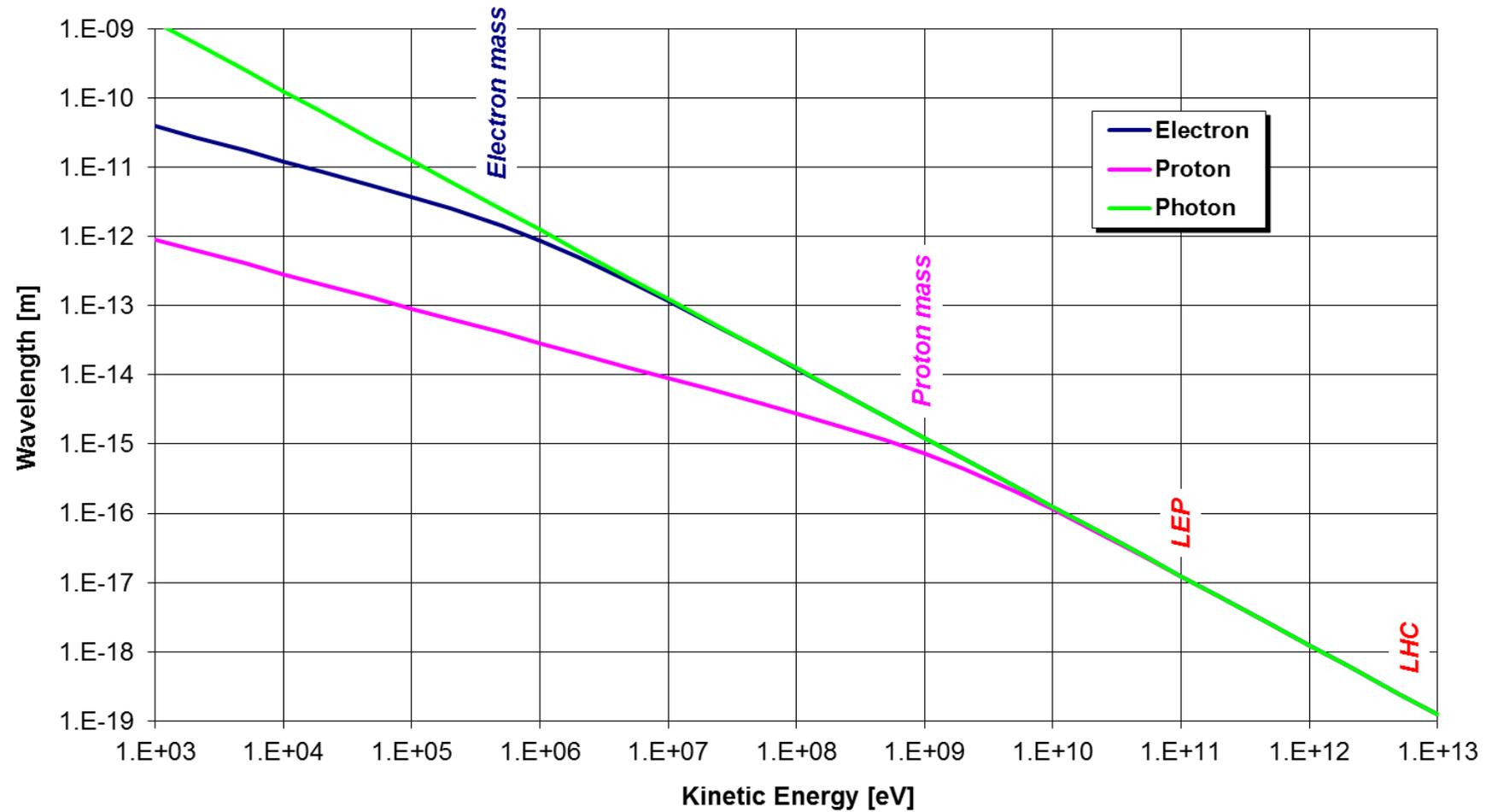
- Pour “voir” un objet, il faut l’éclairer avec une lumière de longueur d’onde λ inférieure à sa dimension caractéristique
- La mécanique quantique nous apprend qu’à chaque particule d’énergie E est associée une onde de longueur d’onde

$$\lambda \sim 1/E$$



Louis de Broglie

Objet	Dimension	Energie	Sonde
Bactérie	1 μm	$\sim \text{eV}$	Lumière visible
Atome	0,1 nm	$\sim 10 \text{ keV}$	Rayons X
Proton	1 fm	$\sim \text{GeV}$	Particules
Quark	0,001 fm	$\sim \text{TeV}$	Particules

De Broglie Wavelength of Particles

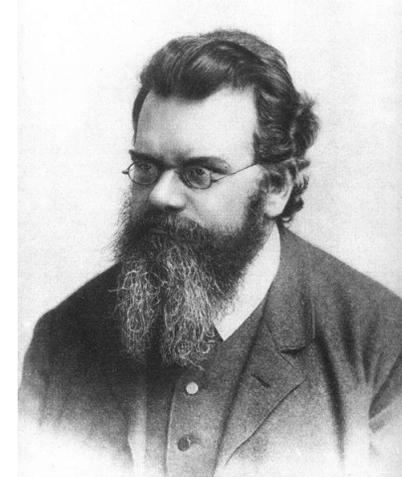
Pourquoi accélère-t-on des particules au CERN?

3. Pour (re)créer des conditions de très haute température

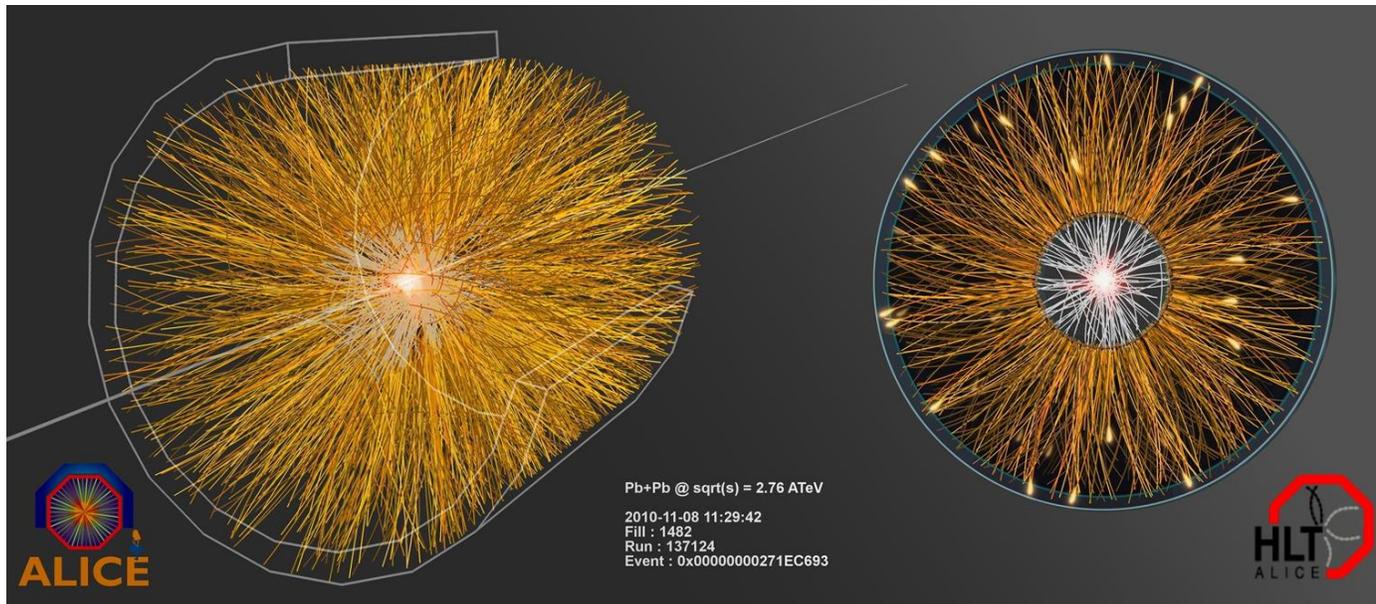
- La température d'un gaz est une mesure de l'énergie de ses molécules

$$E \sim k_B T$$

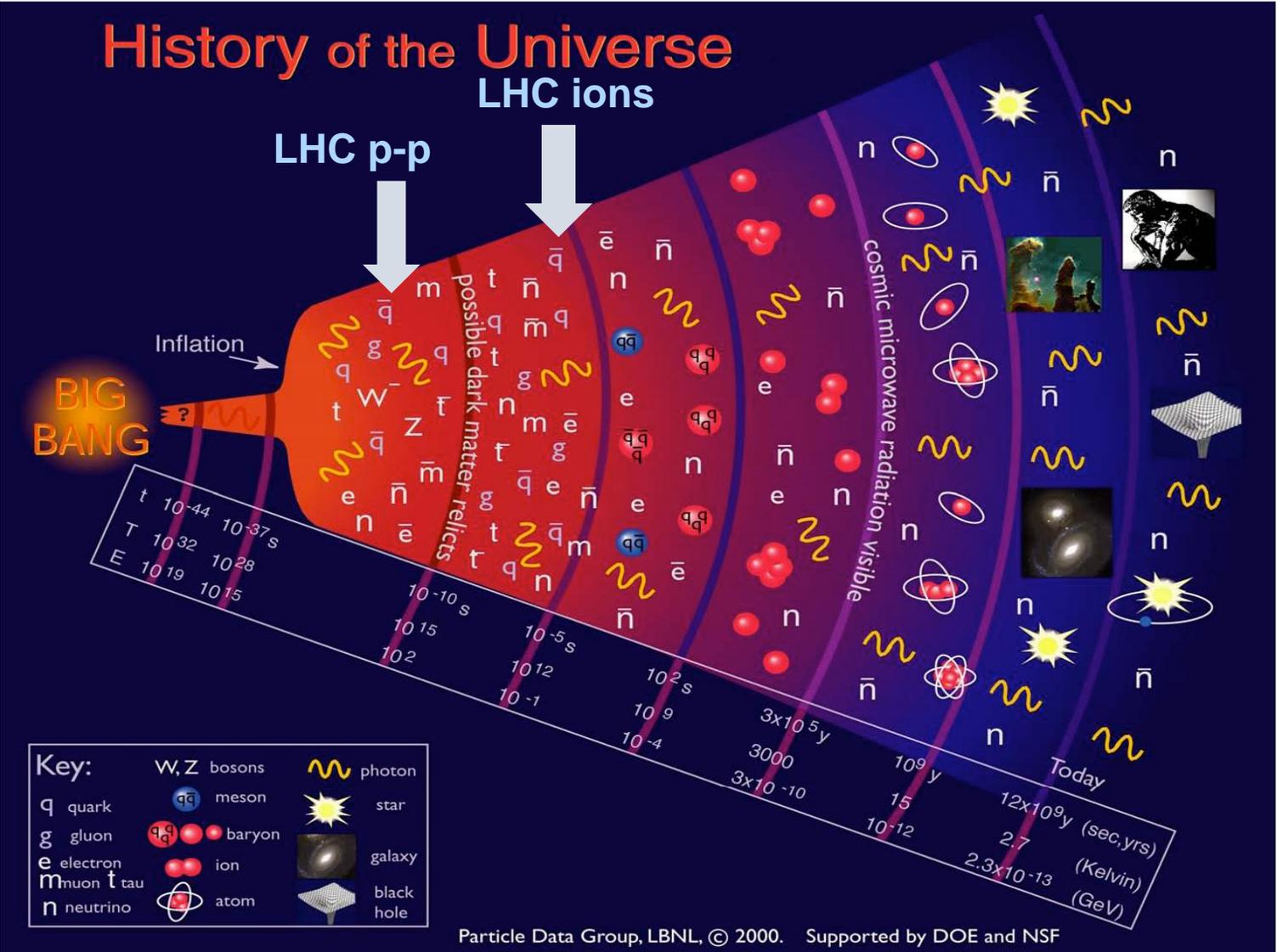
- Les collisions de particules à haute énergie recréent en laboratoire, à petite échelle, les conditions de haute température régnant dans l'univers primordial



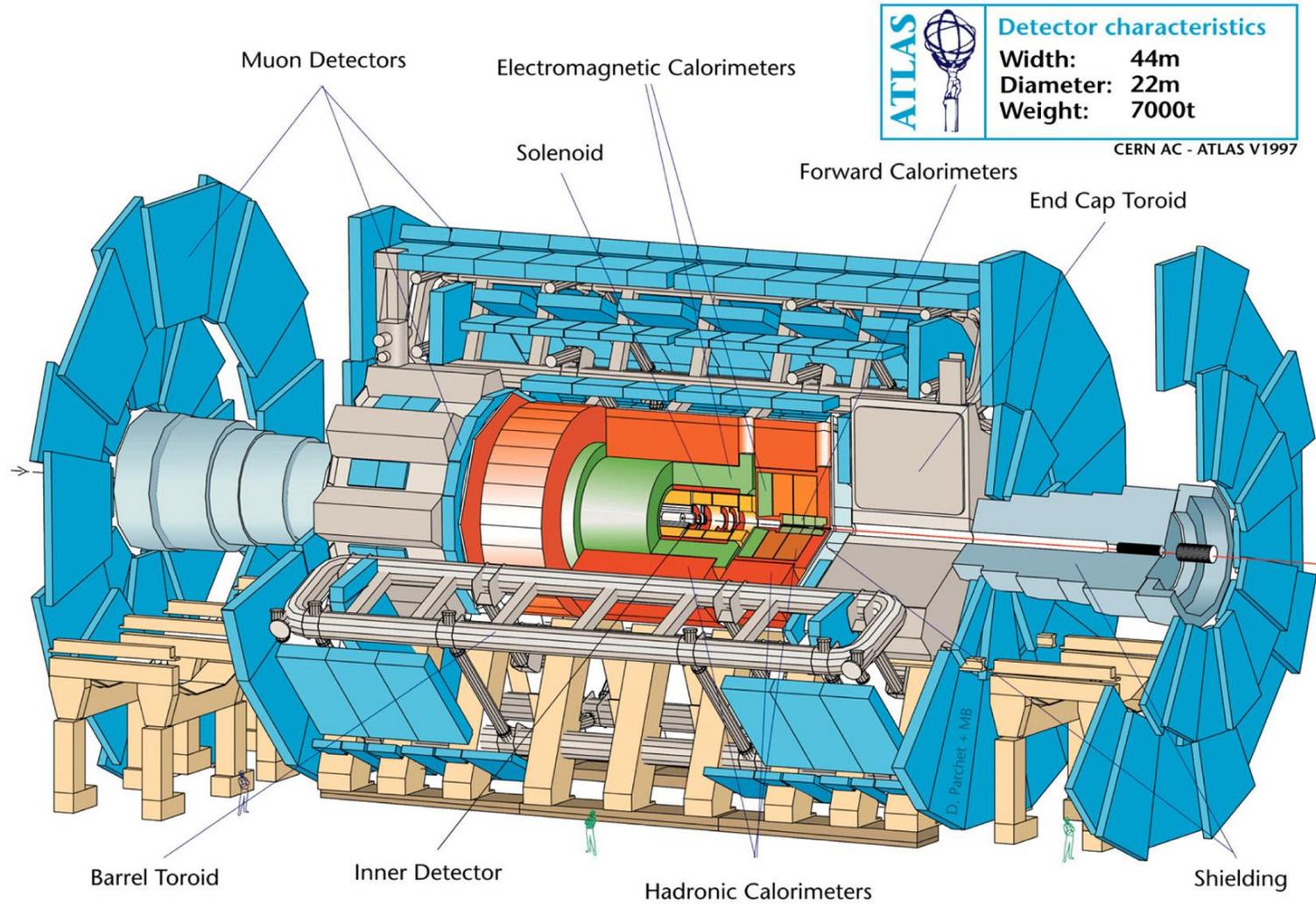
Ludwig Boltzmann

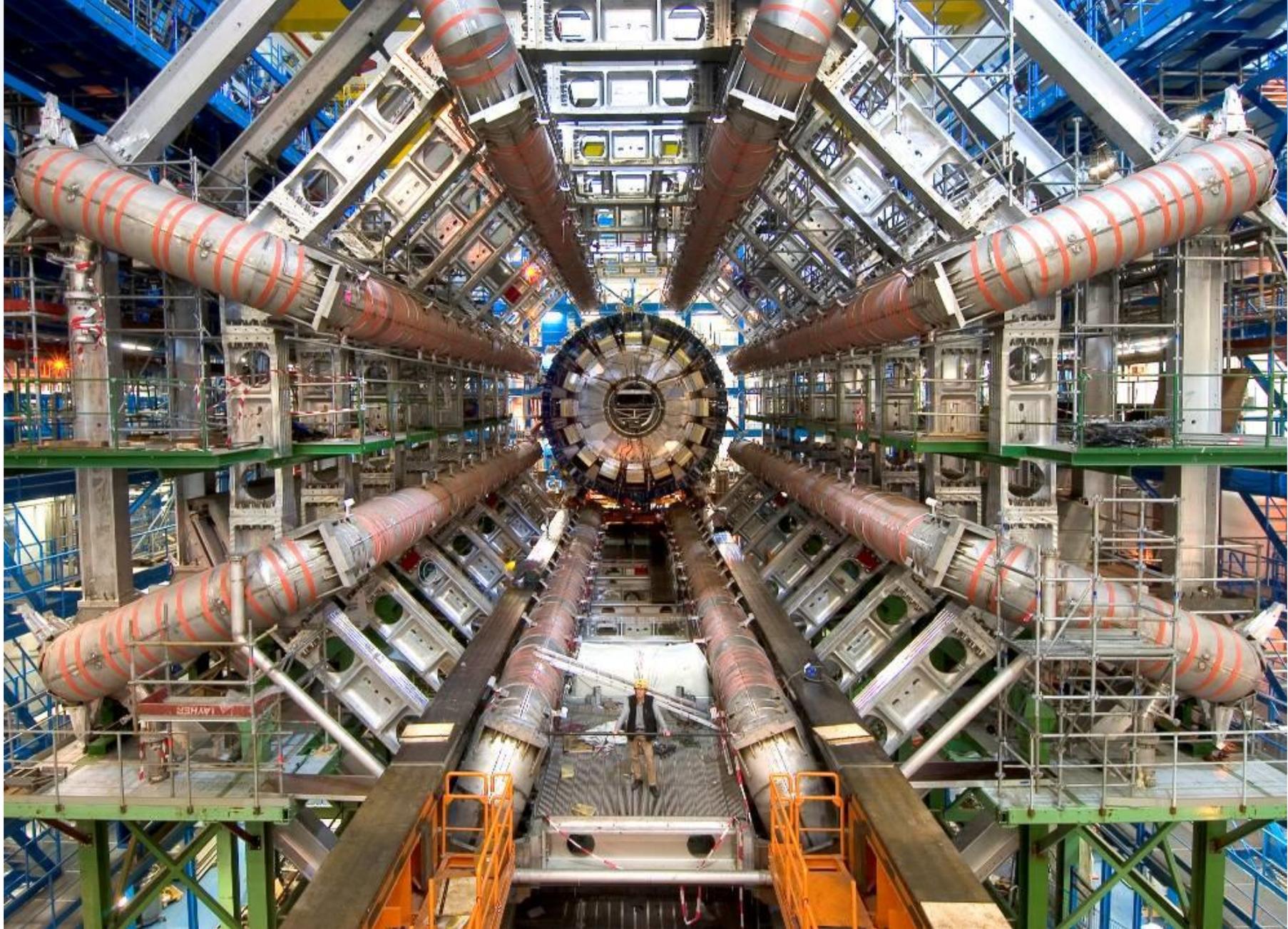


Collision de faisceaux d'atomes de Pb au LHC
($\sqrt{s} = 2.76$ TeV)
Expérience ALICE



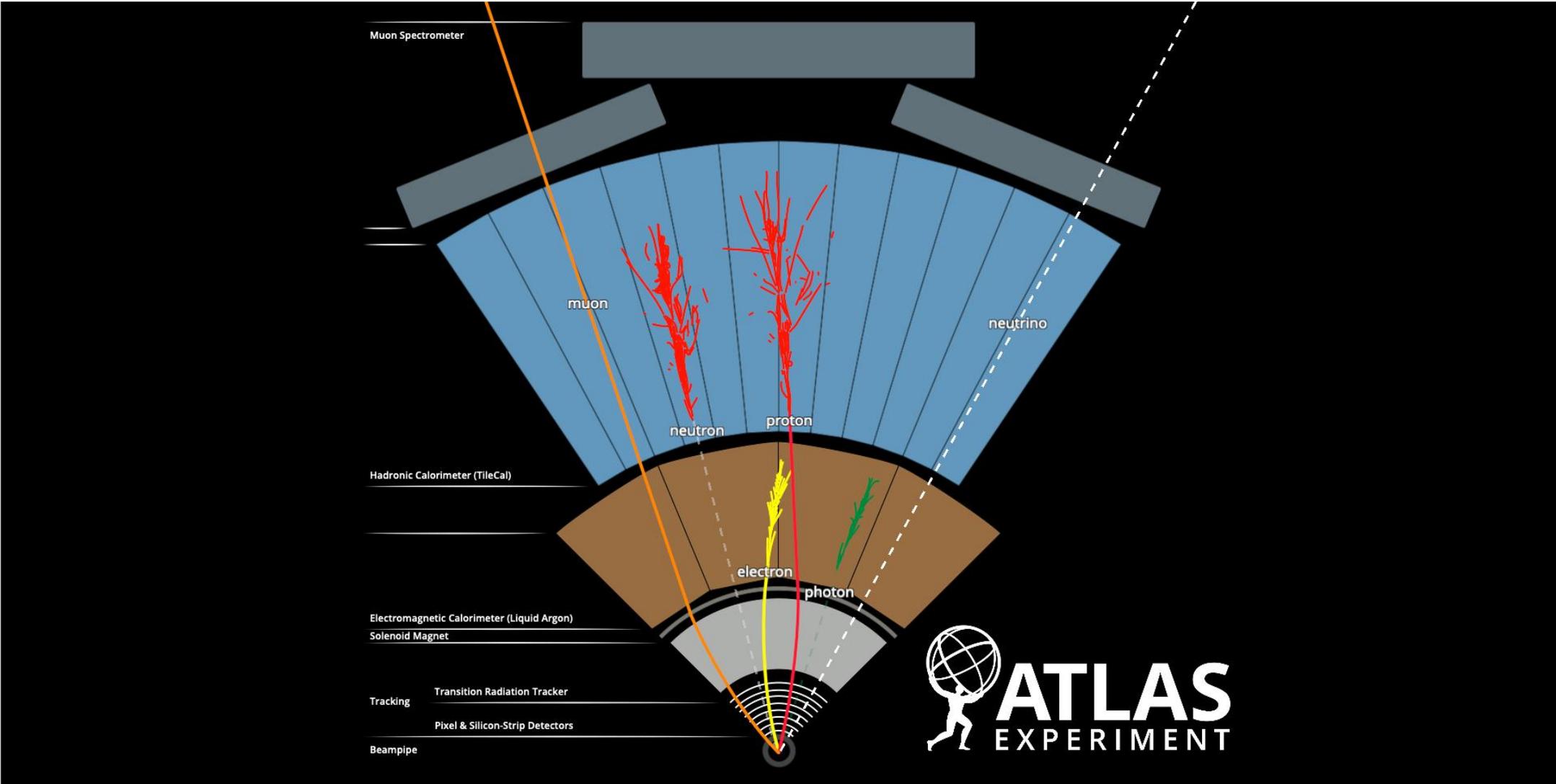
Un grand détecteur de particules: ATLAS





Fonctionnement schématique du détecteur ATLAS

Vue transversale





Implication forte dans le programme expérimental du LHC ATLAS, CMS, LHCb et ALICE

ALICE:

7 instituts, >100 membres

CEA Saclay

LPC Université de Clermont Ferrand - CNRS/IN2P3

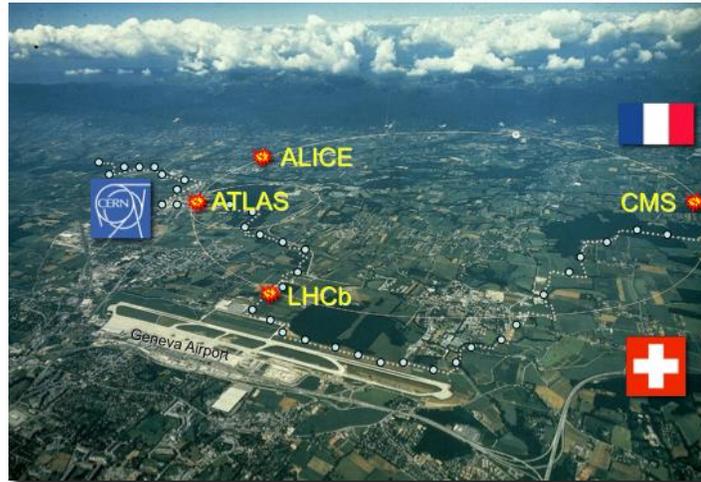
LPSC Université de Grenoble - CNRS/IN2P3

SUBATECH Université de Nantes - CNRS/IN2P3

IPN Orsay Université de Paris Sud - CNRS/IN2P3

IPHC Université de Strasbourg - CNRS/IN2P3

INPL Université de Lyon - CNRS/IN2P3



CMS:

4 instituts, >150 membres

CEA Saclay

LLR Ecole Polytechnique - CNRS/IN2P3

IPHC Université de Strasbourg - CNRS/
IN2P3

INPL Université de Lyon - CNRS/IN2P3

ATLAS:

7 instituts, >300 membres

CEA Saclay

LAPP Anney Université de Savoie - CNRS/IN2P3

LPC Université de Clermont Ferrand - CNRS/IN2P3

LPSC Université de Grenoble - CNRS/IN2P3

CPPM Marseille Université de la Méditerranée - CNRS/IN2P3

LAL Orsay Université de Paris Sud - CNRS/IN2P3

LPNHE Université de Paris VI et VII - CNRS/IN2P3



LHCb:

5 instituts, >100 membres

LAPP Anney Université de Savoie - CNRS/IN2P3

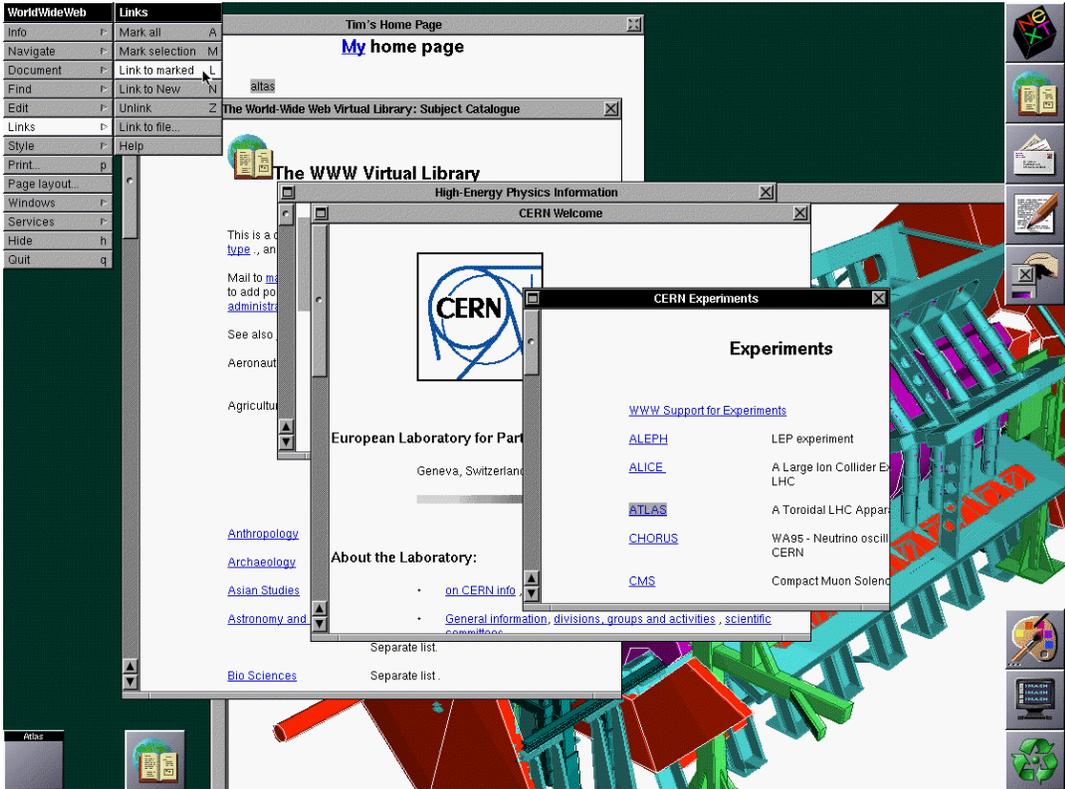
LPC Université de Clermont Ferrand - CNRS/IN2P3

CPPM Marseille Université de la Méditerranée - CNRS/IN2P3

LAL Orsay Université de Paris Sud - CNRS/IN2P3

LPNHE Université de Paris VI et VII - CNRS/IN2P3

Les physiciens français en première ligne dans l'analyse des données



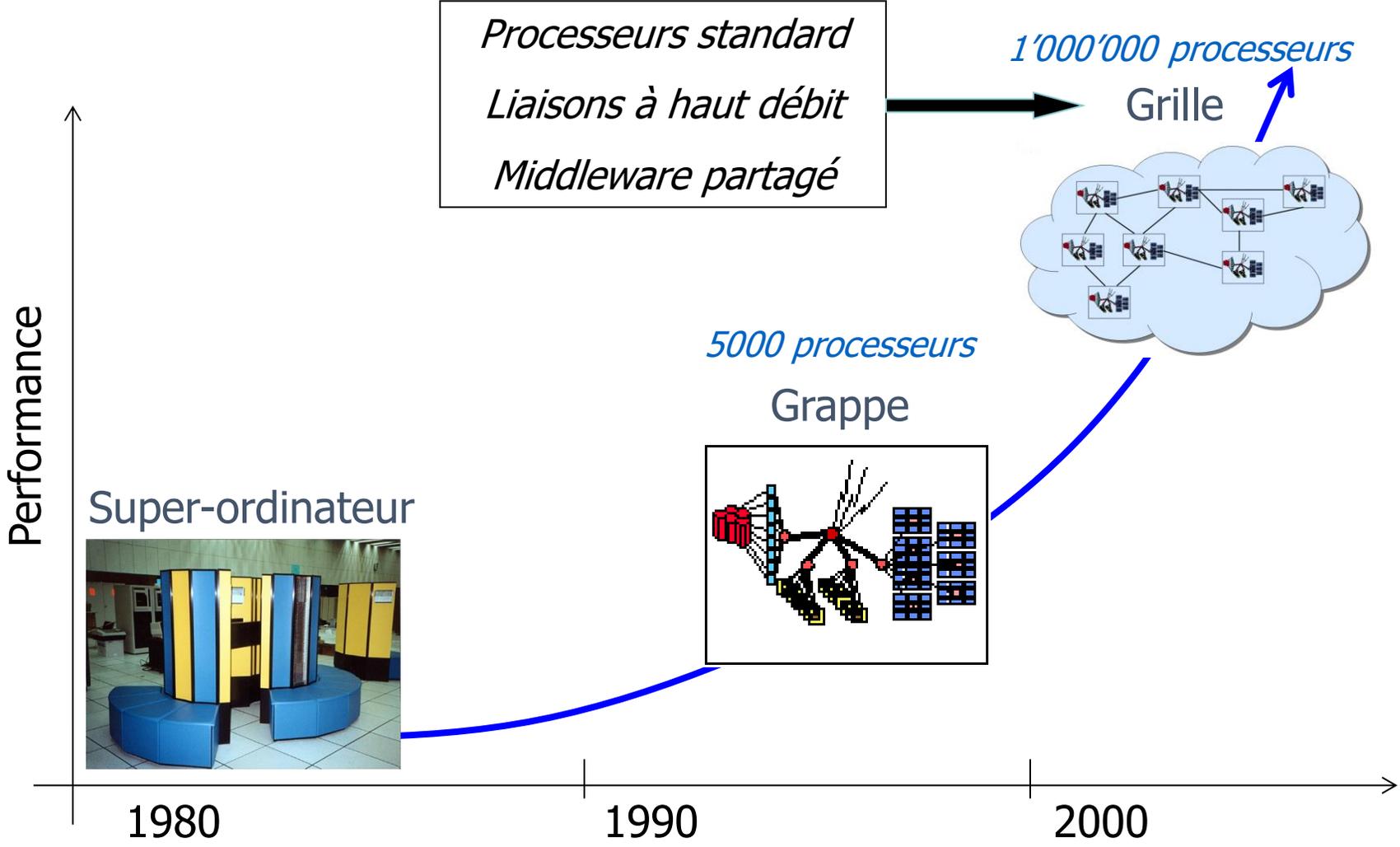
Le premier navigateur Web (1990)



T. Berners-Lee

Le premier serveur Web, l'ordinateur NeXT de T. Berners-Lee

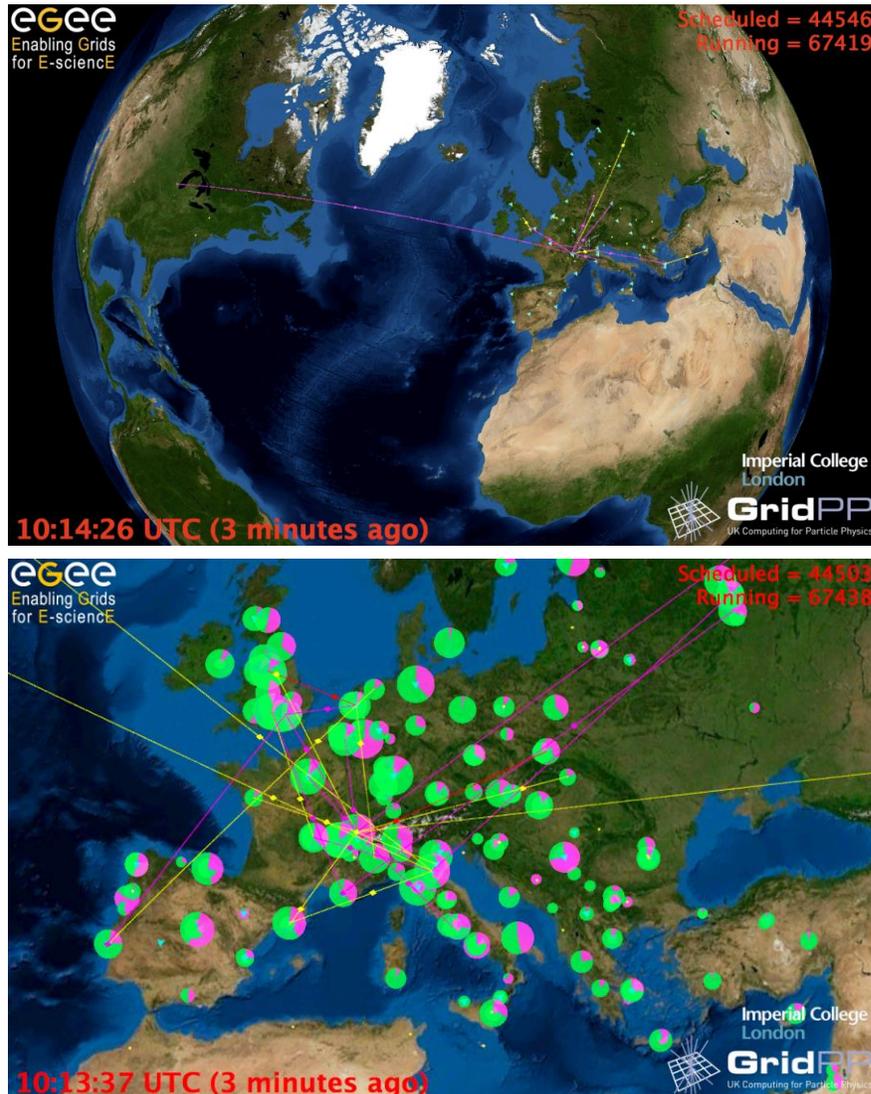




Le nœud central de la Grille de calcul du LHC (>50'000 PC dans la « ferme » du CERN)



Les Grilles de calcul au-delà de la physique des particules



- Astrophysique
- Physique des plasmas
- Sismologie
- Géosciences
- Climatologie
- Météorologie
- Analyse de la pollution
- Bioinformatique
- Pharmacologie *in silico*
- Epidémiologie
- Finance
- ...

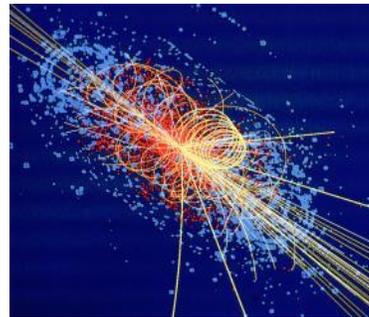


Il n'y pas d'un côté la recherche fondamentale et de l'autre la recherche appliquée. Il y a la recherche et les applications de celle-ci, unies l'une à l'autre comme le fruit de l'arbre est uni à la branche qui l'a porté

Louis Pasteur



Accélérateurs de
particules



Détecteurs de
particules



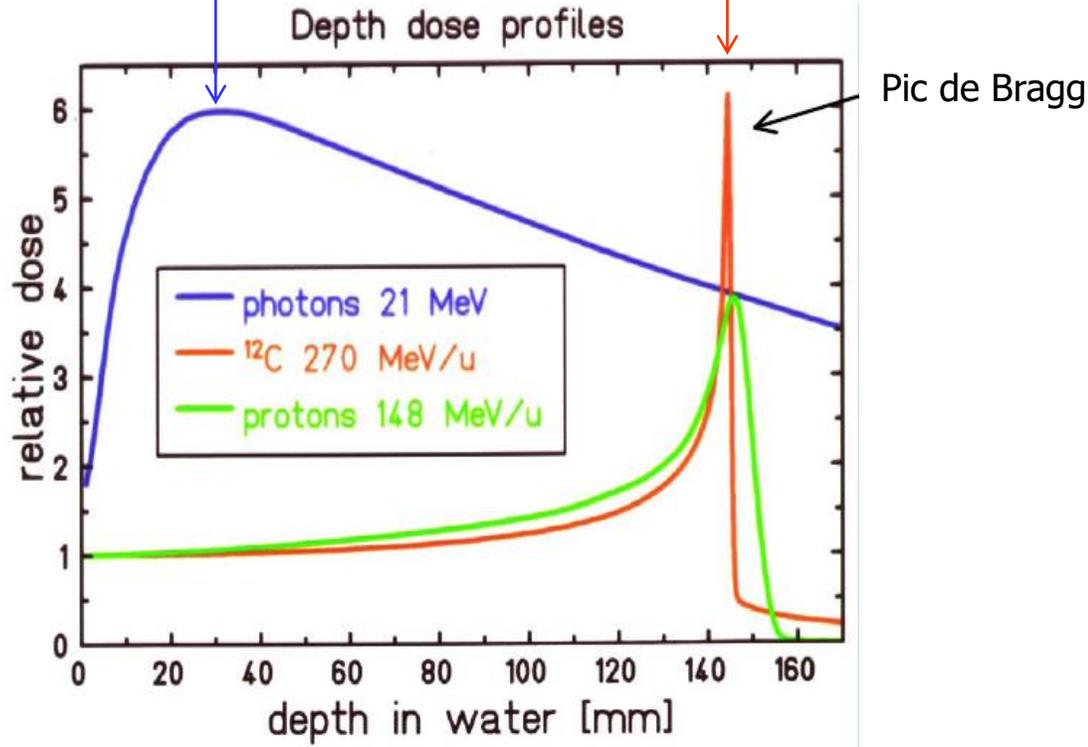
Calculs en réseau –
Grille de calcul

Hadronthérapie

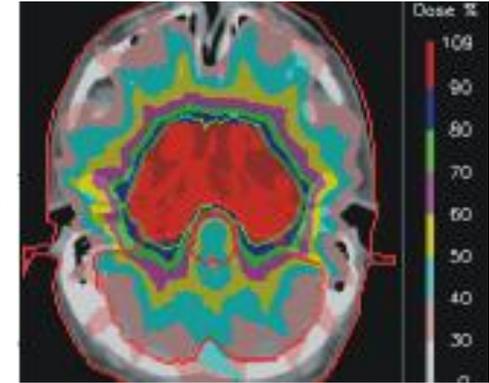
Traitement des tumeurs par faisceaux de hadrons

Les X déposent la plupart de leur énergie dans les tissus superficiels

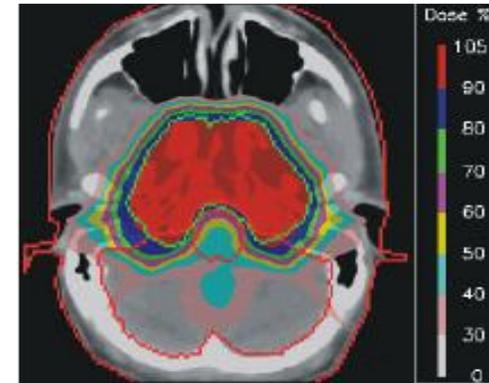
Les protons et les ions déposent leur énergie en profondeur



9 faisceaux de rayons X

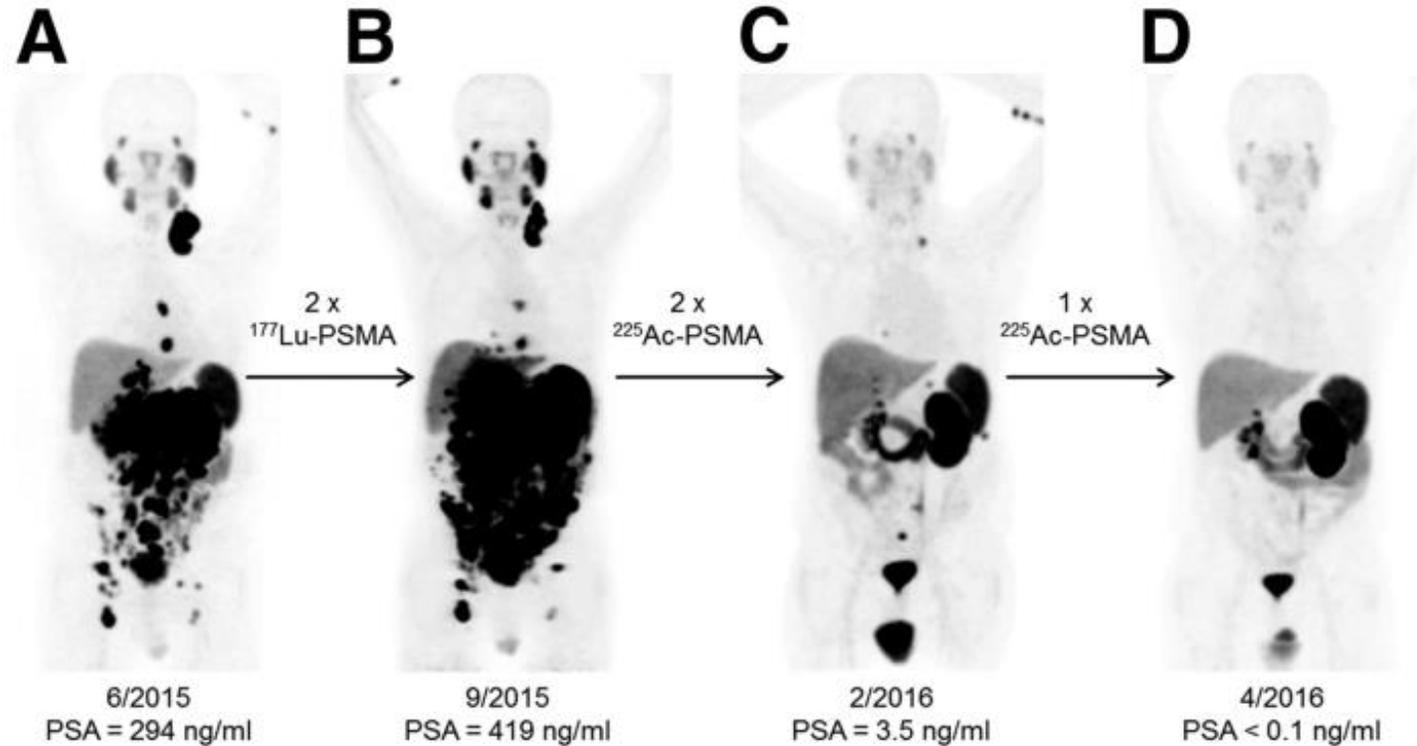
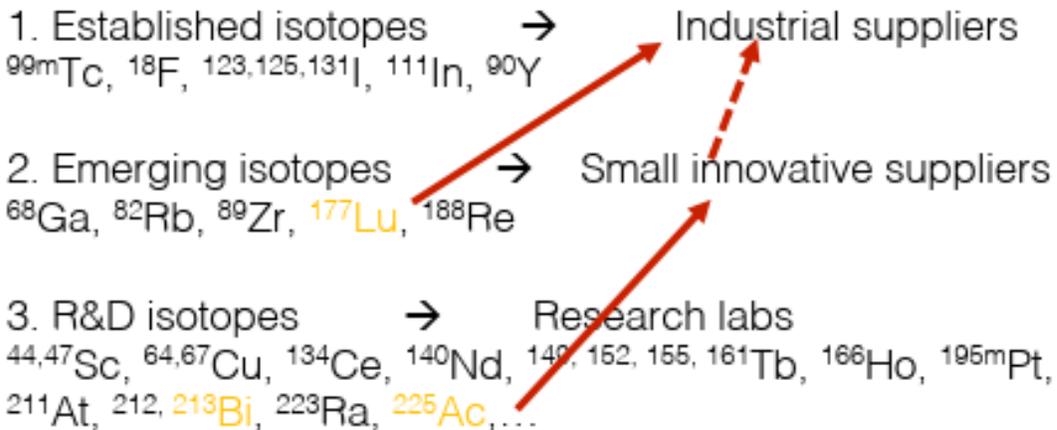


4 faisceaux de protons

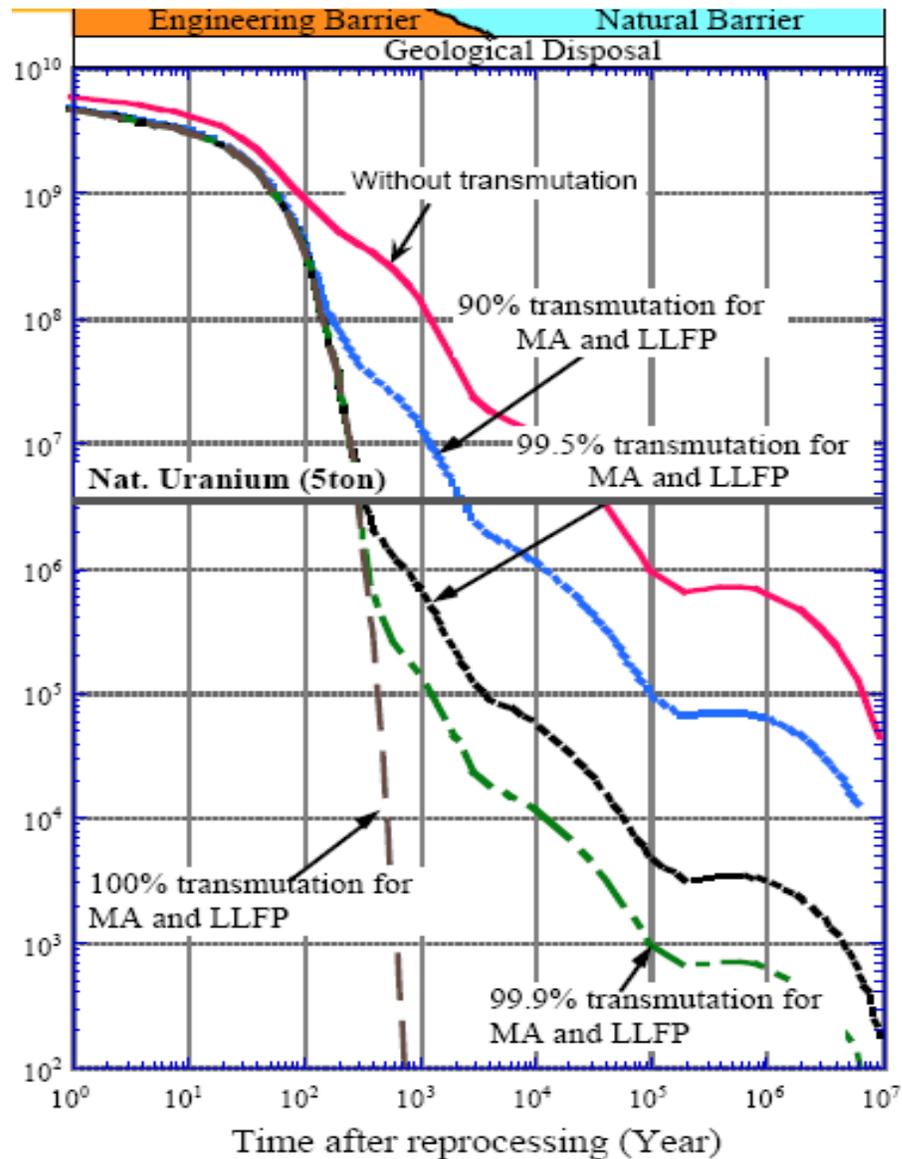


Les faisceaux de hadrons permettent un meilleur ciblage de la tumeur

- Avec l'arrêt des réacteurs nucléaires, les radio-isotopes à courte période utilisés en médecine nucléaire doivent être produits avec des accélérateurs de particules
- Au CERN, l'installation MEDICIS produit depuis 2010 des radio-isotopes pour usage médical à partir de faisceaux de protons

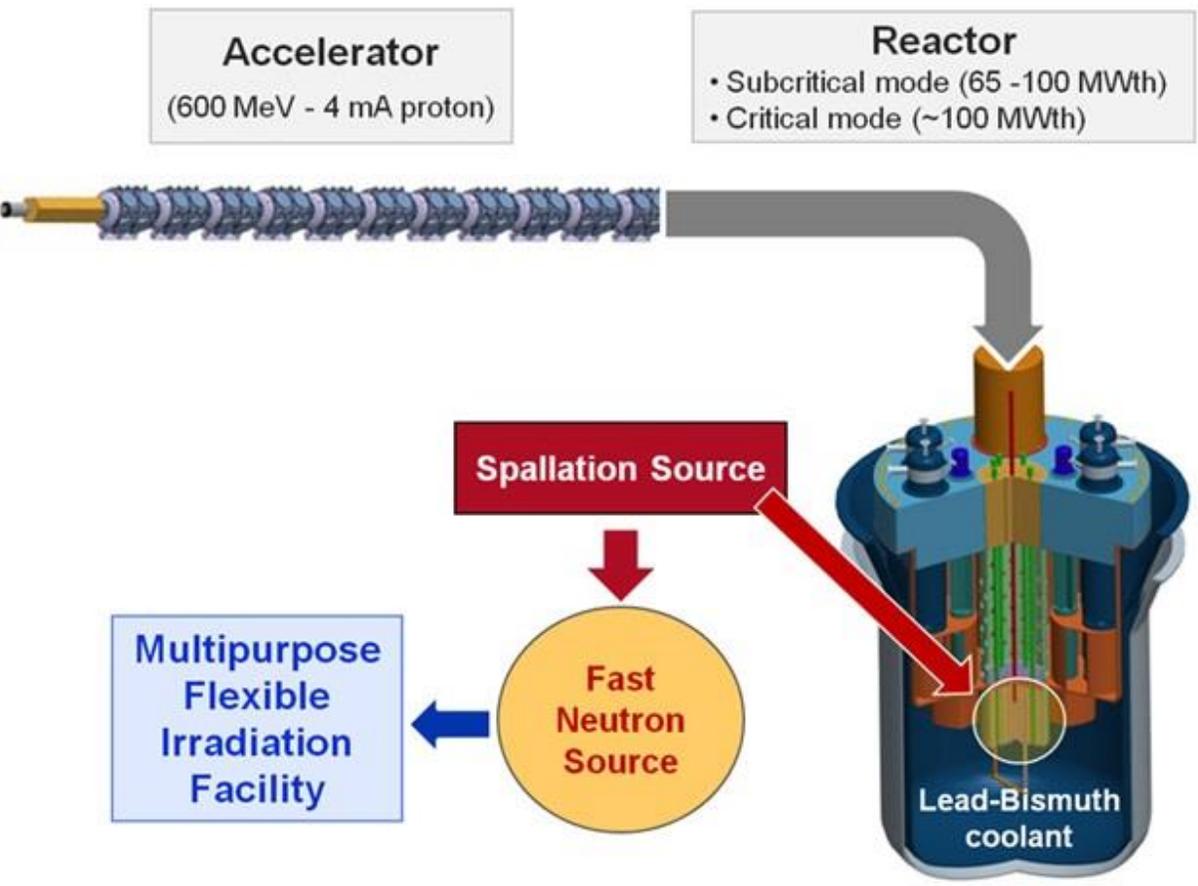
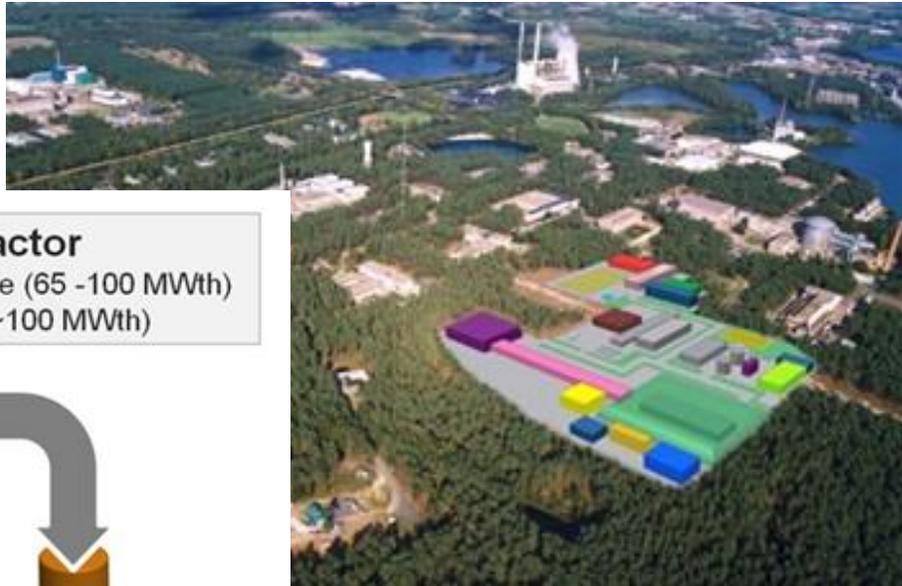


68Ga-PSMA-11 PET/CT scans of patient B. In comparison to initial tumor spread (A), restaging after 2 cycles of β -emitting ^{177}Lu -PSMA-617 presented progression (B).
 Clemens Kratochwil et al. J Nucl Med 2016;57:1941-1944



- Réduction de l'activité des actinides mineurs et des produits de fission à longue durée de vie
- Une solution au problème de stockage des déchets à long terme

Projet de réacteur piloté par accélérateur (ADS) pour études de transmutation de déchets nucléaires MYRRHA à CEN Mol (Belgique)

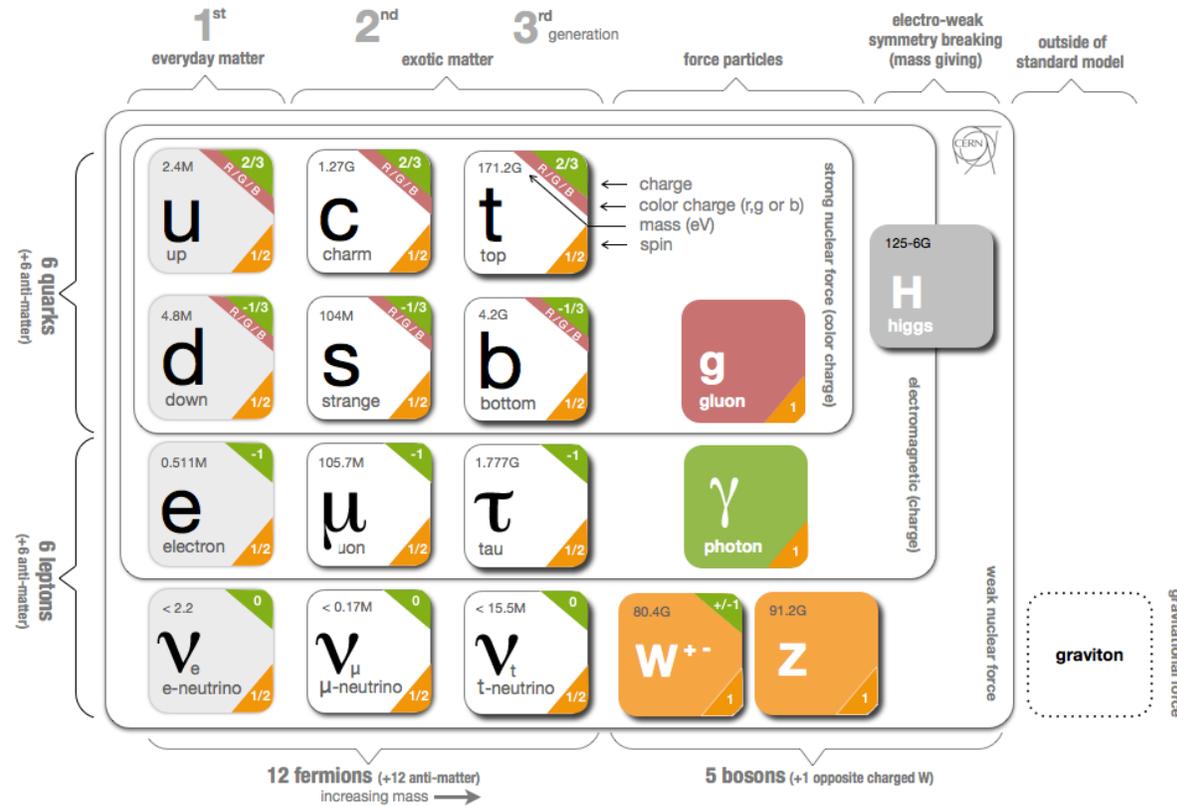


- **Personnel scientifique et technique**
 - Formation technique
 - Academic Training Program
- **Jeunes chercheurs**
 - CERN School of High-Energy Physics
 - CERN Accelerator School
 - CERN School of Computing
- **Etudiants**
 - Etudiants d'été
 - Encadrement de thèses de master et de doctorat
- **Enseignants du secondaire**
 - CERN Teachers Schools
- **Public**
 - 150'000 visiteurs par an, >500'000 avec le nouveau Portail de la Science

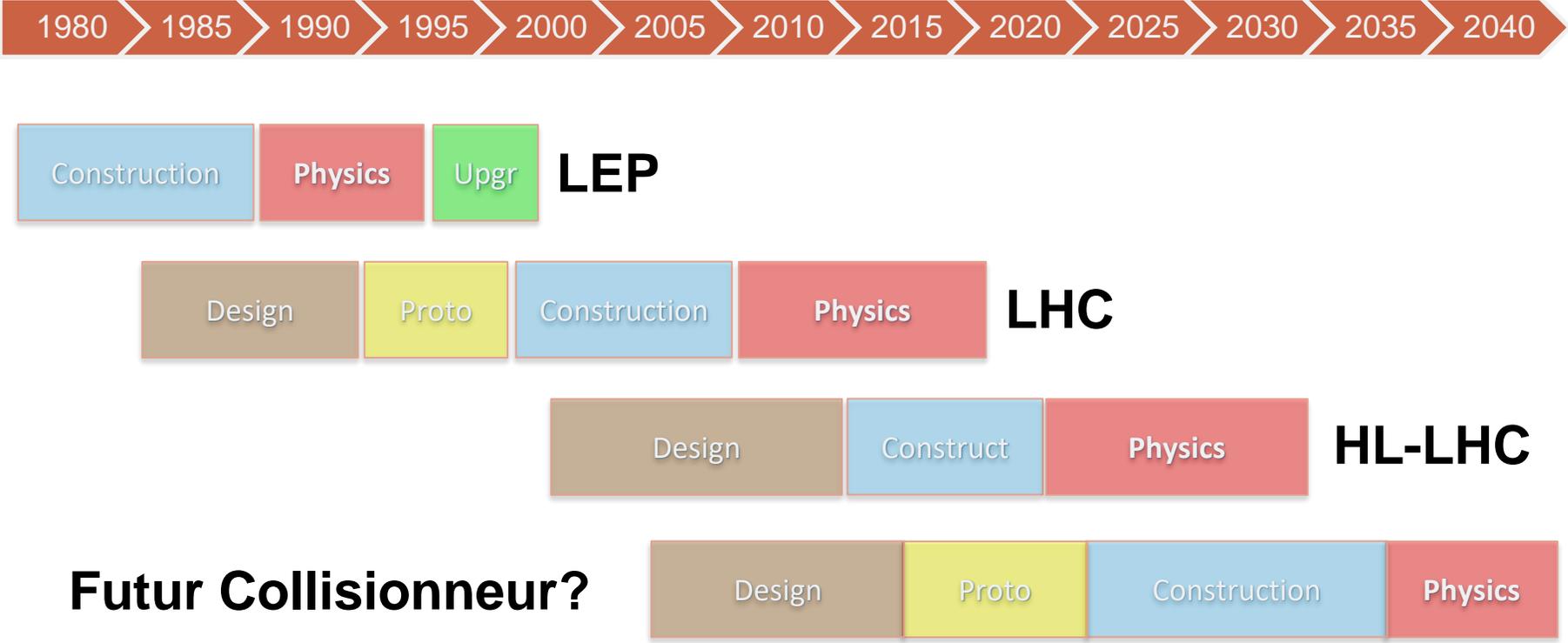




Le boson de Higgs complète le Modèle Standard... mais ne répond pas à toutes les questions!



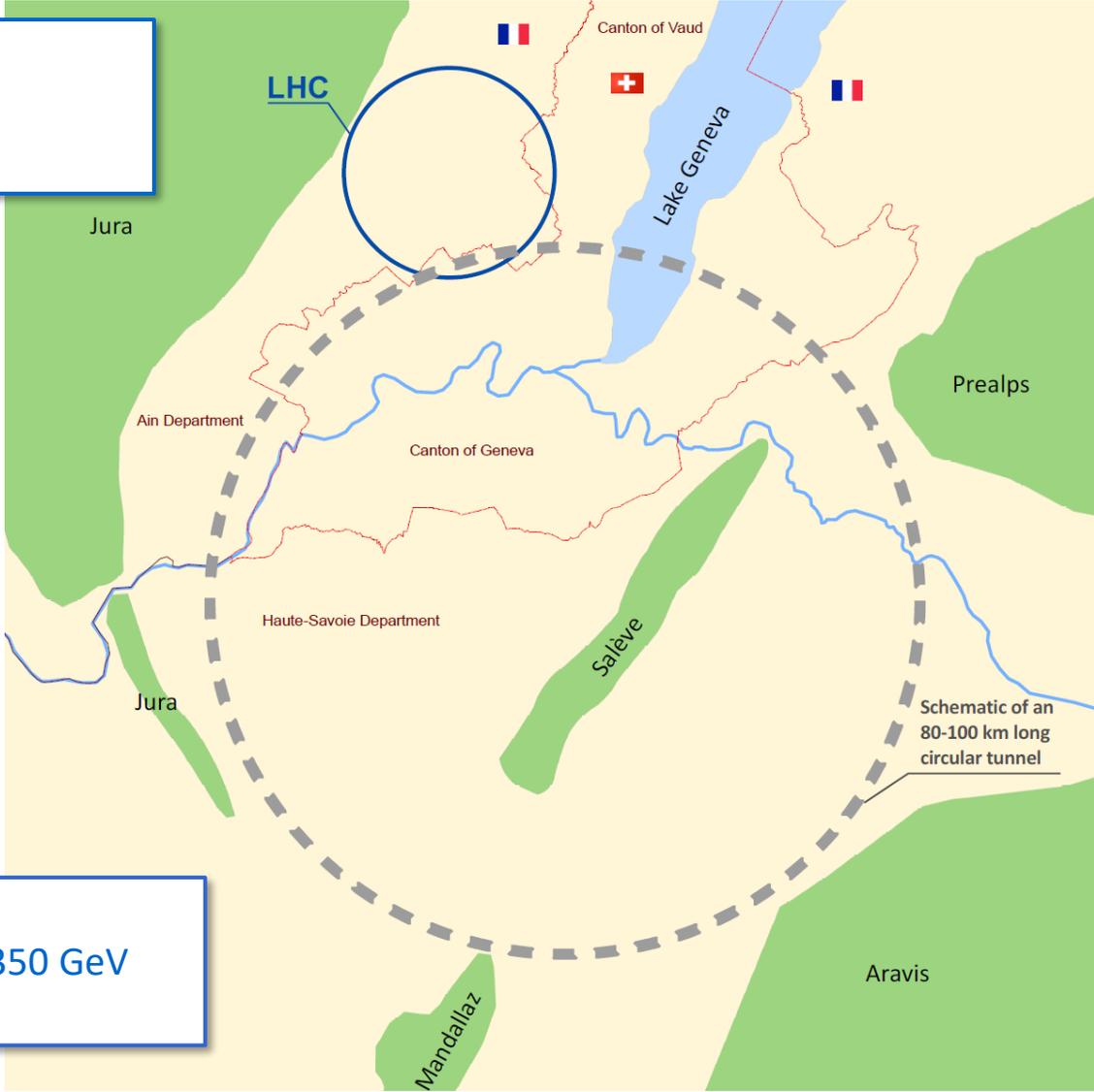
- Cette description de la nature reste-t-elle valable à plus haute énergie (c'est à dire à plus petite échelle)?
- Comment faut-il la modifier pour rendre compte de phénomènes inexpliqués (asymétrie matière-antimatière, matière «sombre» dans l'univers, inflation cosmologique, gravité quantique,...)?



Après le LHC...

Etude FCC: tunnel quasi-circulaire de périmètre 92 km

Hadrons
14 T (Nb3Sn) \Rightarrow 84 TeV
20 T (HTS) \Rightarrow 120 TeV



e+ e-
Energie de collision 90 à 350 GeV
Très haute luminosité