

# Histoire française des accélérateurs de particules

An aerial photograph of a particle accelerator facility, likely CERN, showing a complex network of circular and linear paths overlaid on a landscape of fields and buildings. The paths are drawn in white and represent the trajectories of particles. The background shows a mix of green and brown fields, some industrial structures, and a large body of water in the distance.

**Louis Rinolfi**

avec la collaboration de:

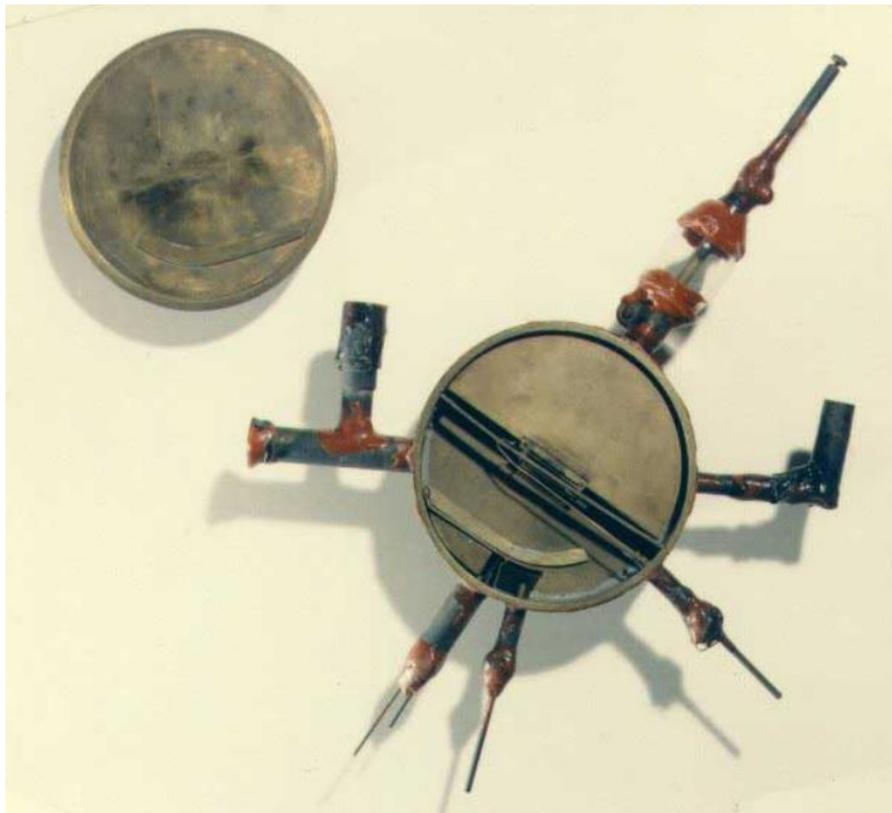
**S. Joly, M. Labat, V. Le Flanchec, J.M. Ortega, Y. Sacquin**

**Conférence: 150 ans SFP**

6 juillet 2023

Cité des sciences et de l'industrie - Paris

# 90 ans d'évolution

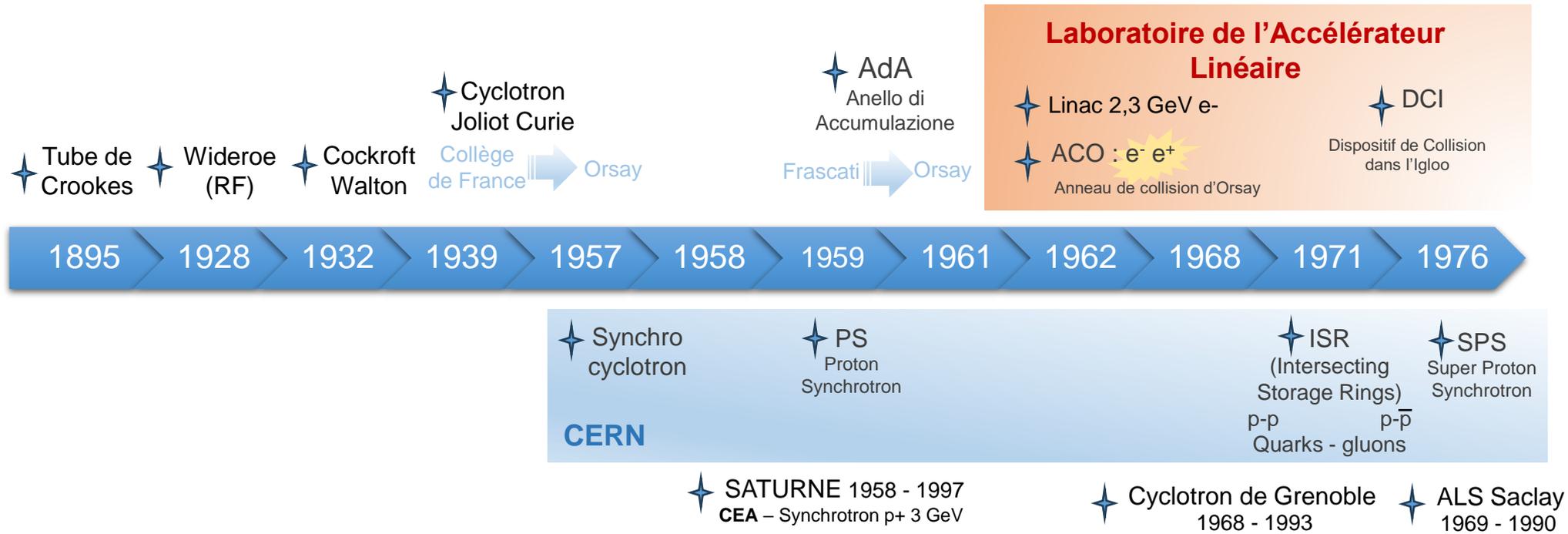


1931:  
Cyclotron Lawrence  
Circonférence = 0,34 m  
Particules = protons  
Energy = 80 keV  
Lieu = Etats Unis

2021:  
Synchrotron LHC  
Circonférence = 26 700 m  
Particules = protons  
Energy = 7 TeV  
Lieu = France - Suisse

# Chronologie des accélérateurs de particule

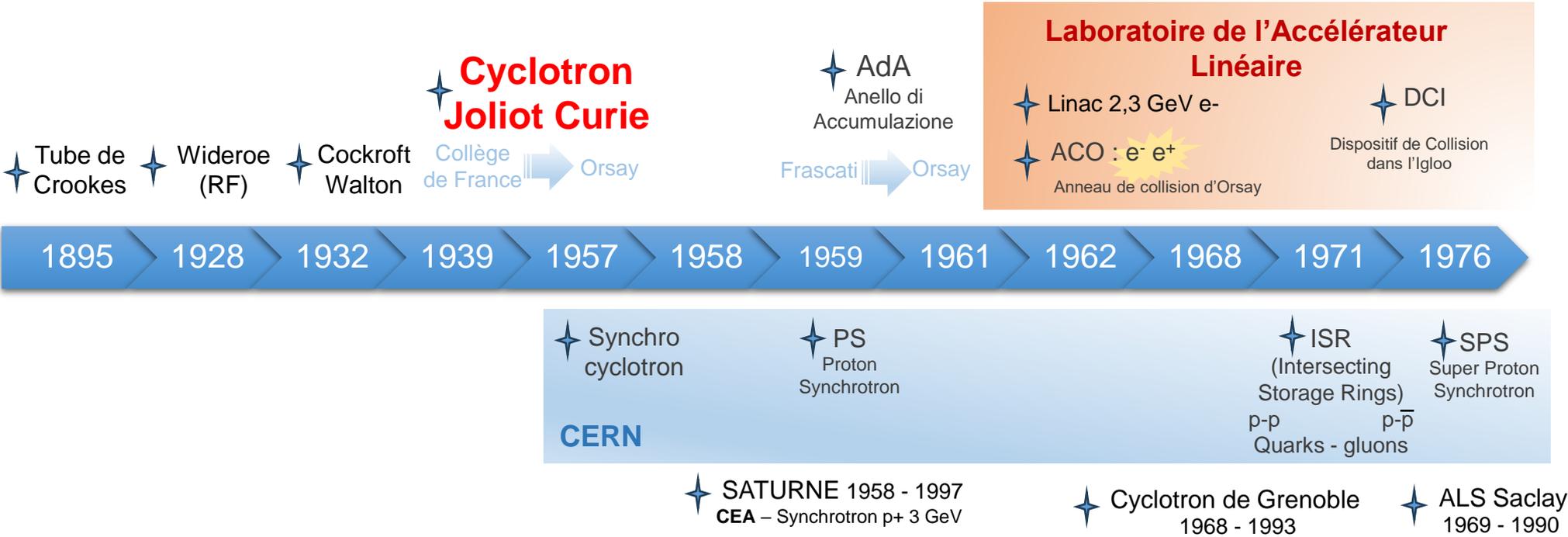
## *Quelques jalons entre 1895 et 1976*



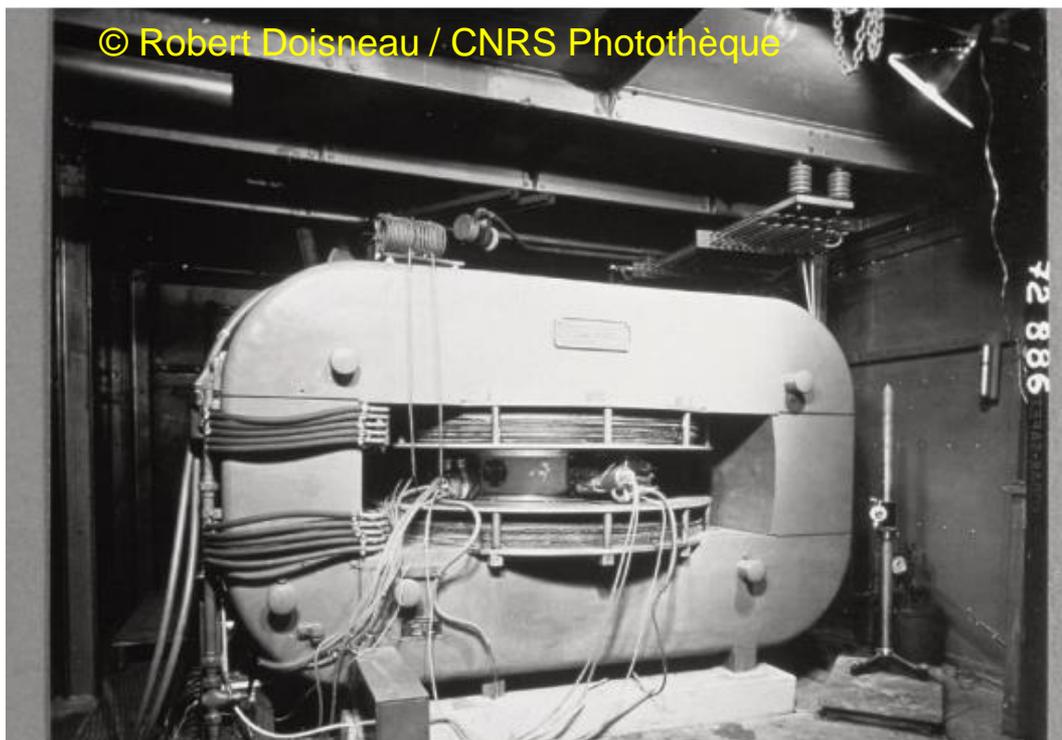
*Seuls quelques jalons seront illustrés au cours de cet exposé....*

# Chronologie des accélérateurs de particule

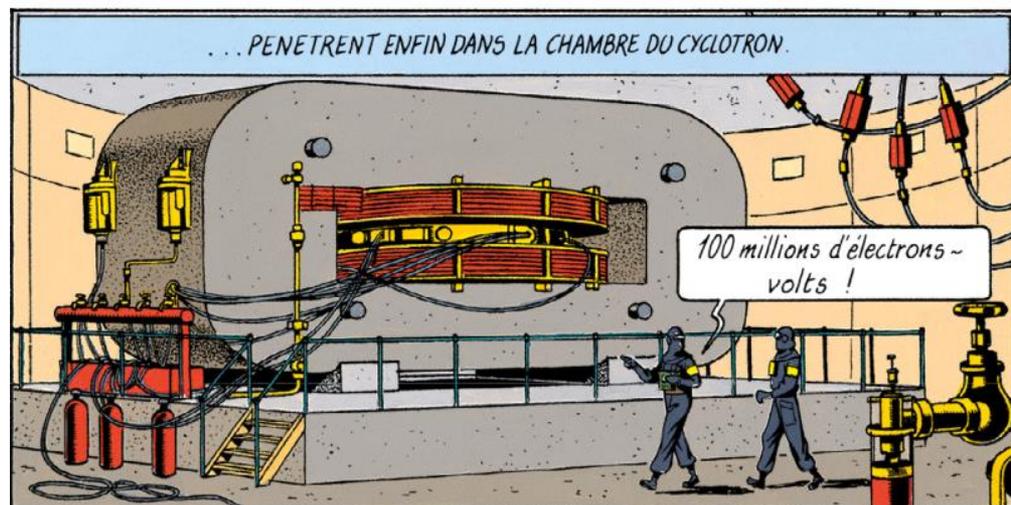
## Quelques jalons entre 1895 et 1975



# 1939: Premier cyclotron français



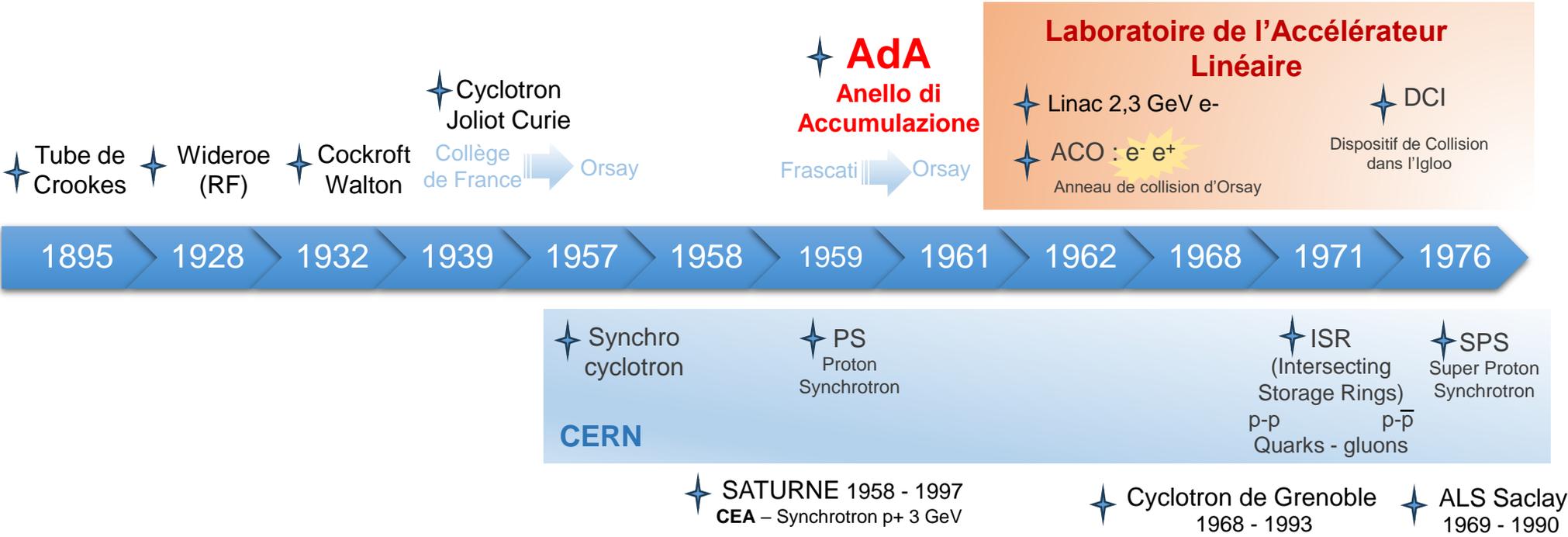
Premier cyclotron construit en 1939 par Joliot Curie. Installé au Laboratoire de Chimie Nucléaire du Collège de France, puis déménagé à Orsay en 1957.



Dessin de E.P. Jacobs  
Ed. Blake & Mortimer

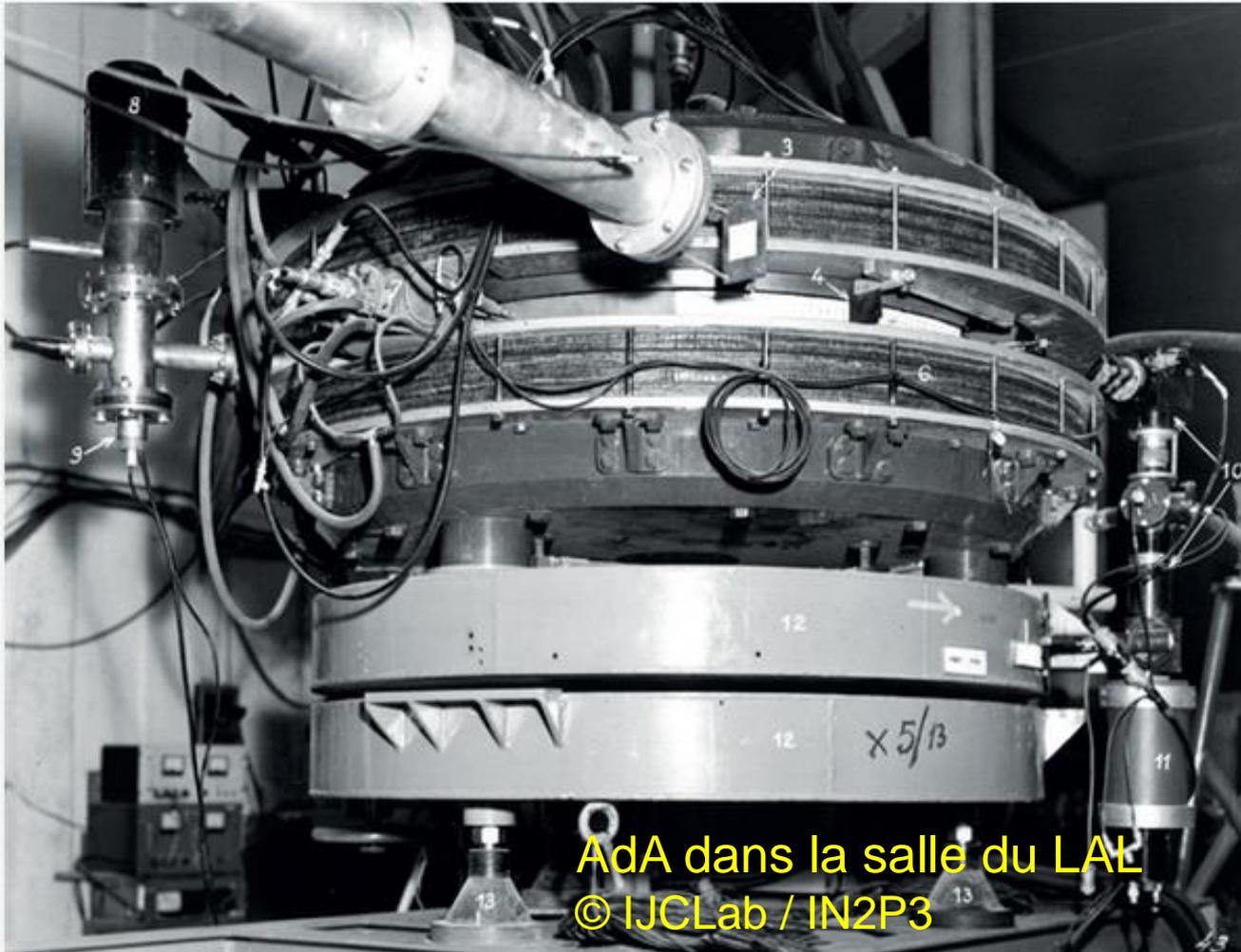
# Chronologie des accélérateurs de particule

## *Quelques jalons entre 1895 et 1976*



# 1963:Premier collisionneur du monde à Orsay

## AdA: **A**nello **d**i **A**ccumulazione



Construit en 1961 par une collaboration franco-italienne, à Frascati, puis transporté à Orsay, en 1962

Anneau de 1,60 m de diamètre

Aimant de 8,5 tonnes

Vide de  $\sim 10^{-7}$  Torr

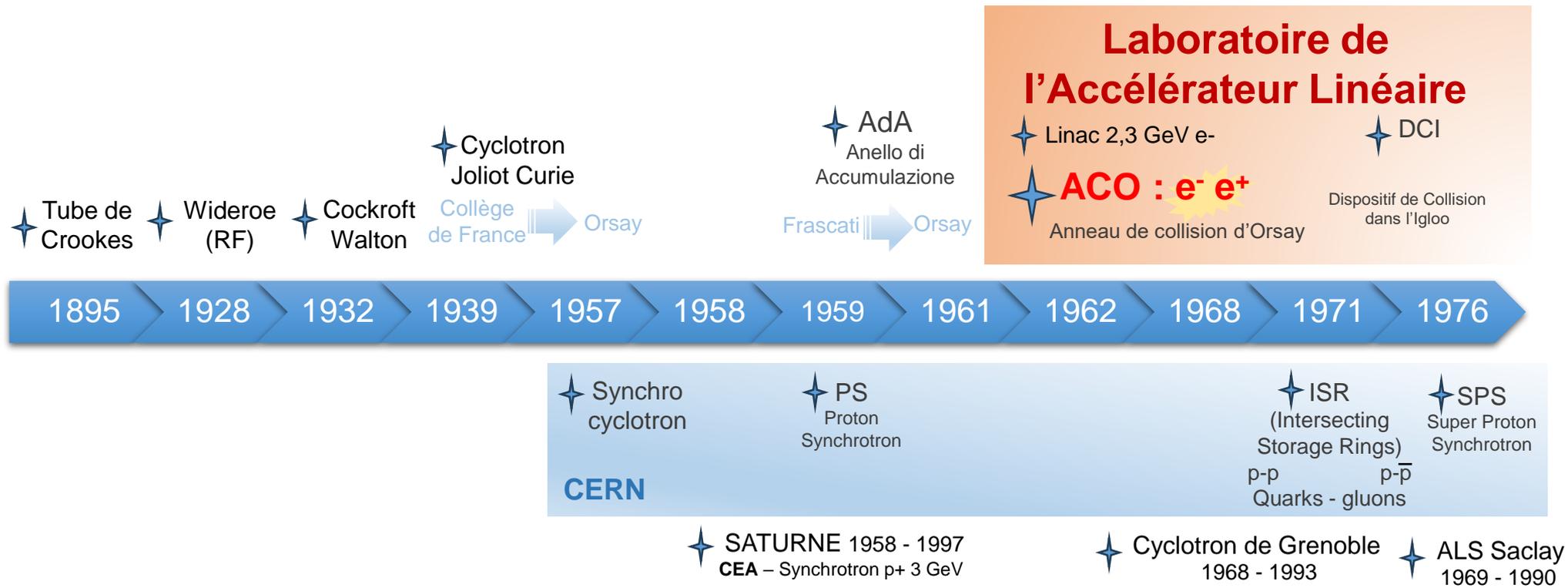
AdA dans la salle du LAL  
© IJCLab / IN2P3

$10^7$  particules accumulées par faisceau

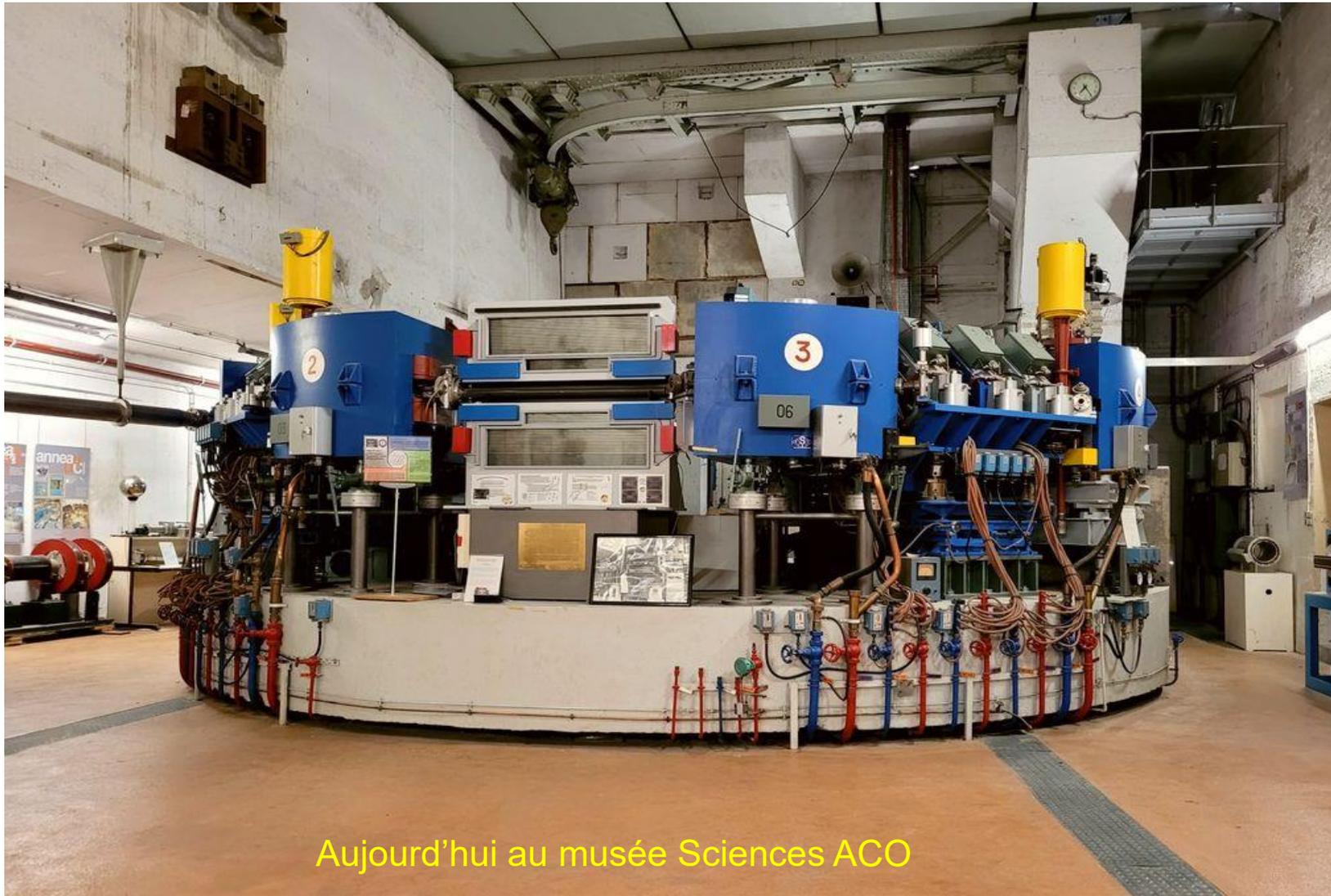
Collisions  $e^-e^+$  à 500 MeV, au centre de masse => **découverte effet Touschek**

# Chronologie des accélérateurs de particule

## *Quelques jalons entre 1895 et 1976*



# 1965: ACO: Anneau de Collisions d'Orsay



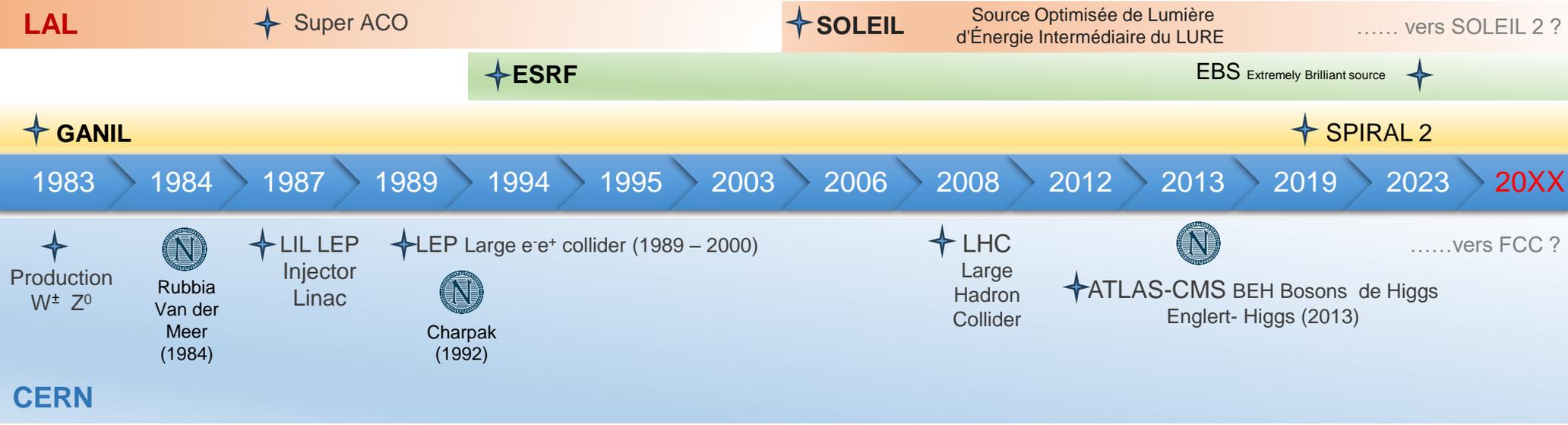
Aujourd'hui au musée Sciences ACO

1965 – 1975: Collisionneur électrons-positons  
Premières collisions  $e^-e^+$  en 1967: 550 MeV / faisceau

1975 – 1988: Source de lumière synchrotronique

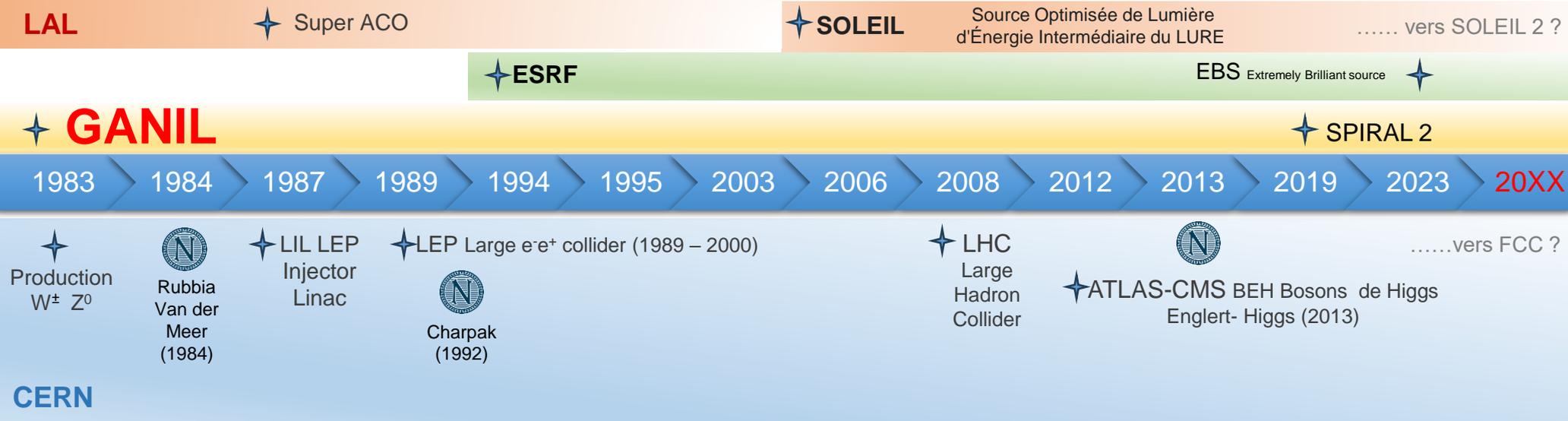
# Chronologie des accélérateurs de particule

## *Quelques jalons entre 1976 et 2023*

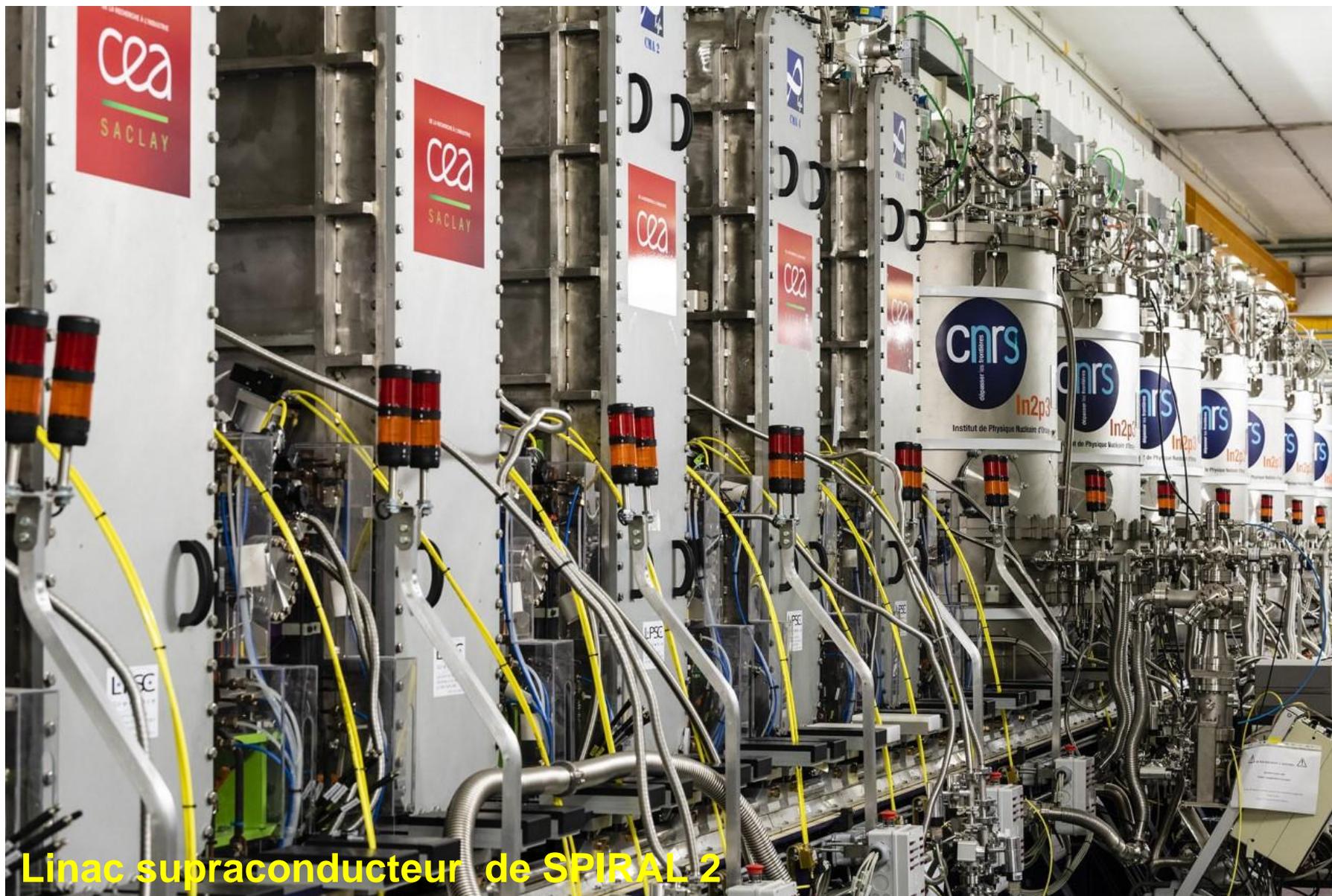


# Chronologie des accélérateurs de particule

## *Quelques jalons entre 1976 et 2023*



# 1983: GANIL: Grand Accélérateur National d'Ions Lourds

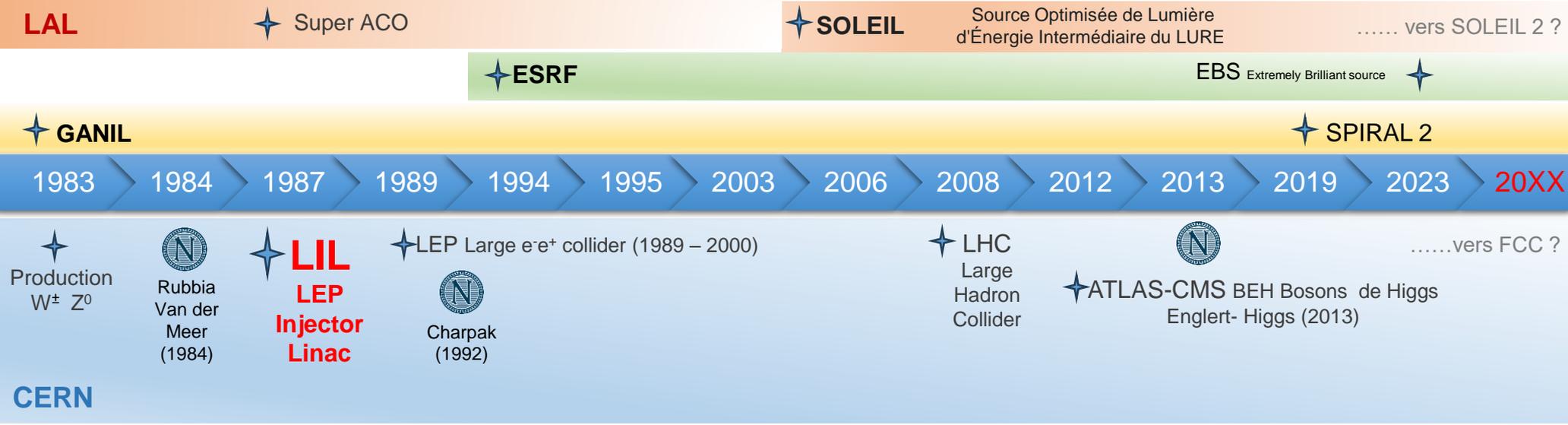


Linac supraconducteur de SPIRAL 2

Très grand laboratoire international pour la recherche avec des faisceaux d'ions  
=> Sources d'ions, cyclotrons, SPIRAL 2

# Chronologie des accélérateurs de particule

## *Quelques jalons entre 1976 et 2023*



# 1987: LIL : LEP Injector Linac



Accélérateur linéaire LIL installé au CERN

Réalisé par le LAL / Orsay

Ce linac produisait et accélérail  
des électrons et des positons à  
500 MeV

100 m long

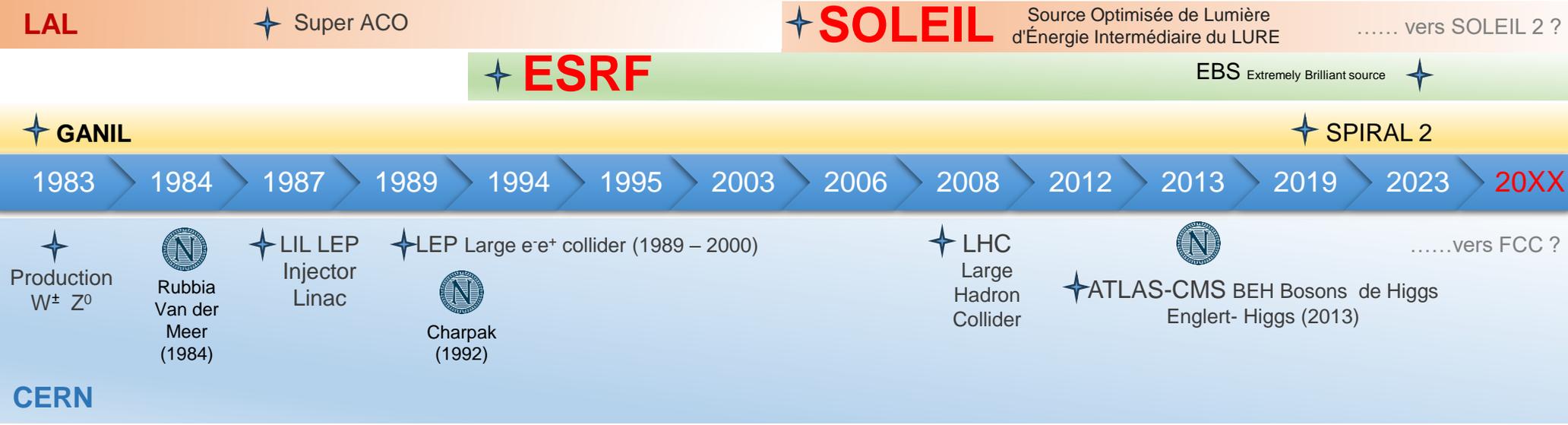
$f = 2.99855 \text{ GHz}$

**LEP operation: 1989- 2000**

*LEP = Large Electron Positron collider*

# Chronologie des accélérateurs de particule

## *Quelques jalons entre 1976 et 2023*



# 1994 - 2006: Accélérateurs pour le rayonnement synchrotronique



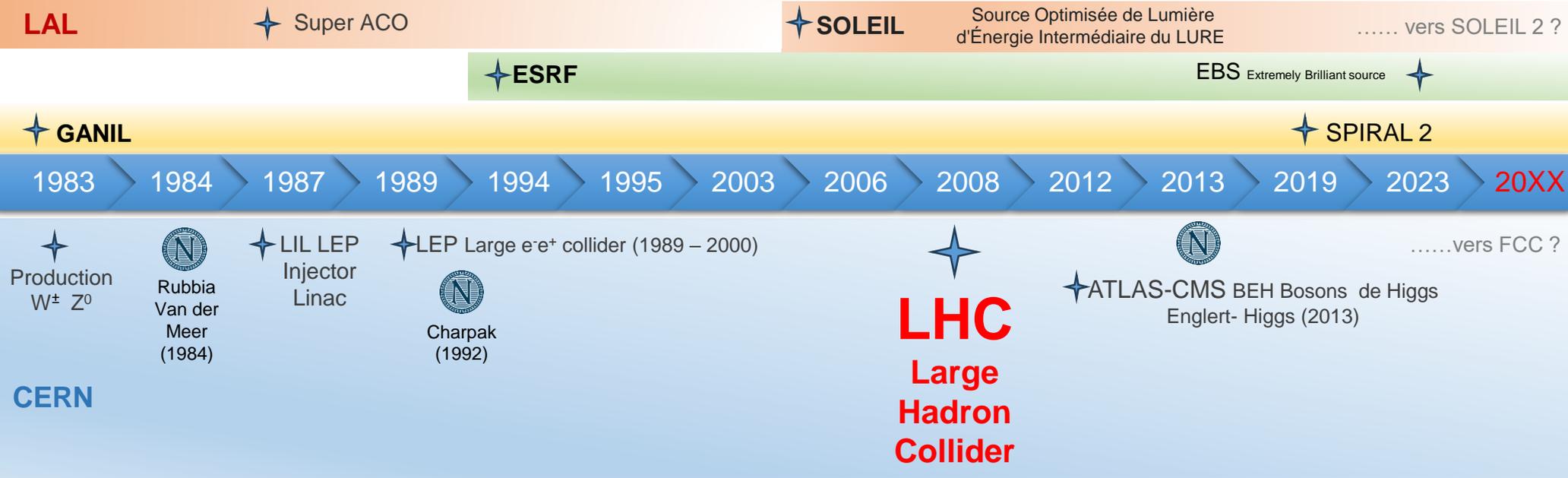
1994: ESRF – Grenoble  
*European Synchrotron  
Radiation Facility*  
 $E = 6 \text{ GeV}$   
 $I = 200 \text{ mA}$



2006: SOLEIL – Saclay  
*Source Optimisée de  
Lumière d'Énergie  
Intermédiaire de LURE*  
 $E = 2.75 \text{ GeV}$   
 $I = 500 \text{ mA}$

# Chronologie des accélérateurs de particule

## *Quelques jalons entre 1976 et 2023*



# 2008: Premier faisceau de protons dans le LHC



Lyn Evans et Robert Aymar dans la salle de contrôle principale du CERN

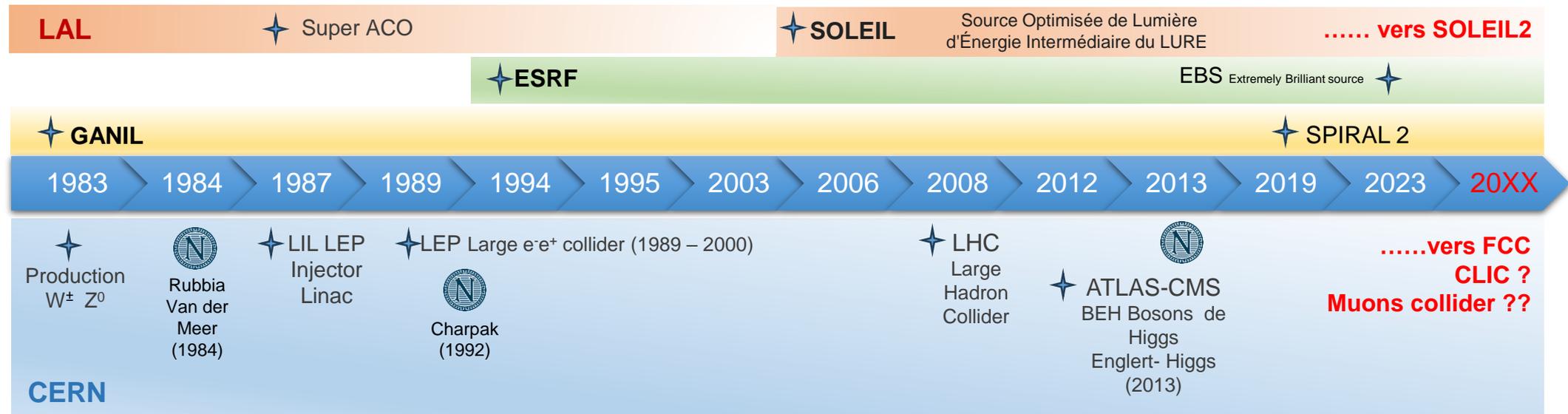
En 2008, énergie au centre de masse:  $E_c = 8 \text{ TeV}$  (2008)

=> **Découverte du Boson de Higgs, en 2012, avec cette énergie.**

**Juillet 2023:**  $E_c = 13,6 \text{ TeV}$ , Luminosité =  $20 \text{ fb}^{-1}$ ,  $N = 1,6 \times 10^{11} \text{ p}^+/\text{paquet}$

# Futurs accélérateurs de particule

## Après 2023



ILC ?  
 Accélérateurs Laser Plasma ?  
 .....  
 .....  
 A nous d'écrire l'histoire !

# 2023: Accélérateurs d'aujourd'hui et du futur

juas

Joint Universities Accelerator School

1994 – 2023

Ecole de Physique et de  
Technologie sur les  
Accélérateurs de particules  
Archamps - France



# Conclusion

En un siècle de développements, il y a eu 48 Prix Nobel de Physique (et de Chimie), reliés à des accélérateurs de particules.

Le nombre d'applications basé sur des accélérateurs de particules est aujourd'hui considérable: physique nucléaire, physique des particules élémentaires, rayonnement synchrotronique, médecine, sources Compton, analyse du patrimoine, environnement, etc...

Le champ d'applications pour les accélérateurs de particules du futur est immense et diversifié. **La France y joue un rôle crucial.**

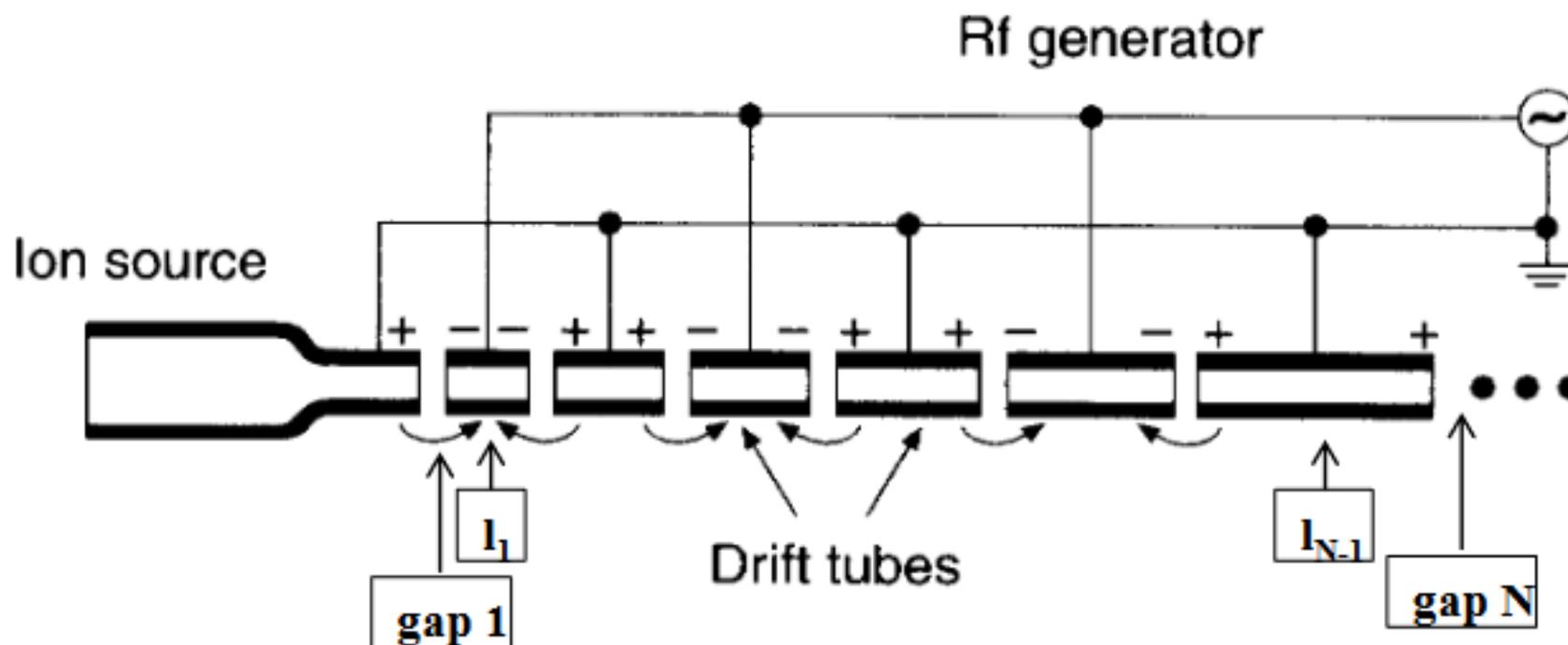
Les études de faisabilité et les plannings de développements s'étalent sur le prochain siècle. **L'histoire reste à écrire.**

# Réerves

# Accélérateur de Rolf Wideröe

Construction d'un accélérateur avec 3 électrodes pour accélérer des ions Na et K

1928: publication d'une thèse sur deux types d'accélérateurs



# Source Cockcroft Walton



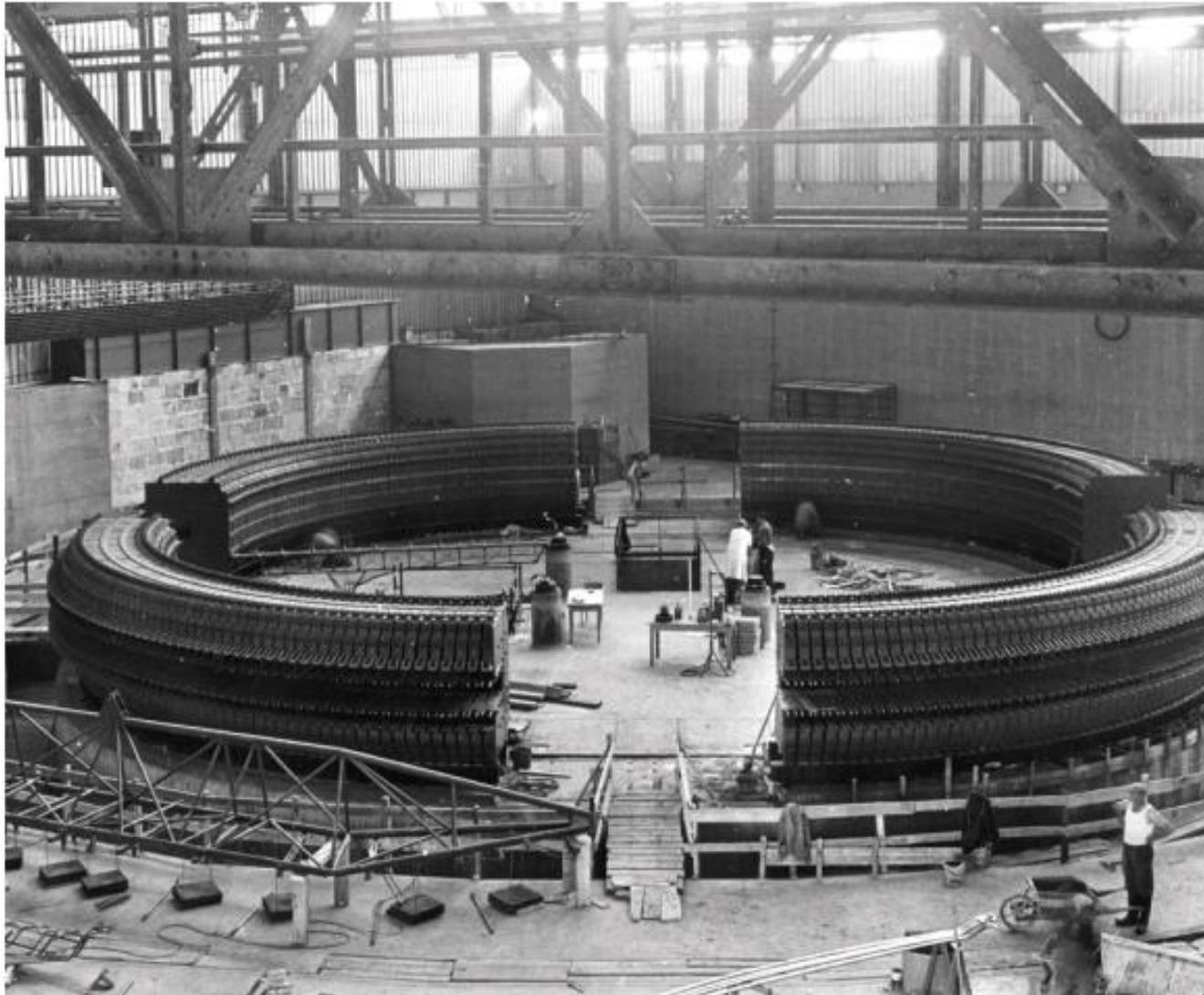
1932: Première construction

Tension:  
750 kV

Pré injecteur pour les protons du CERN

Arrêté en 1993.

# Synchrotron Saturne à Saclay

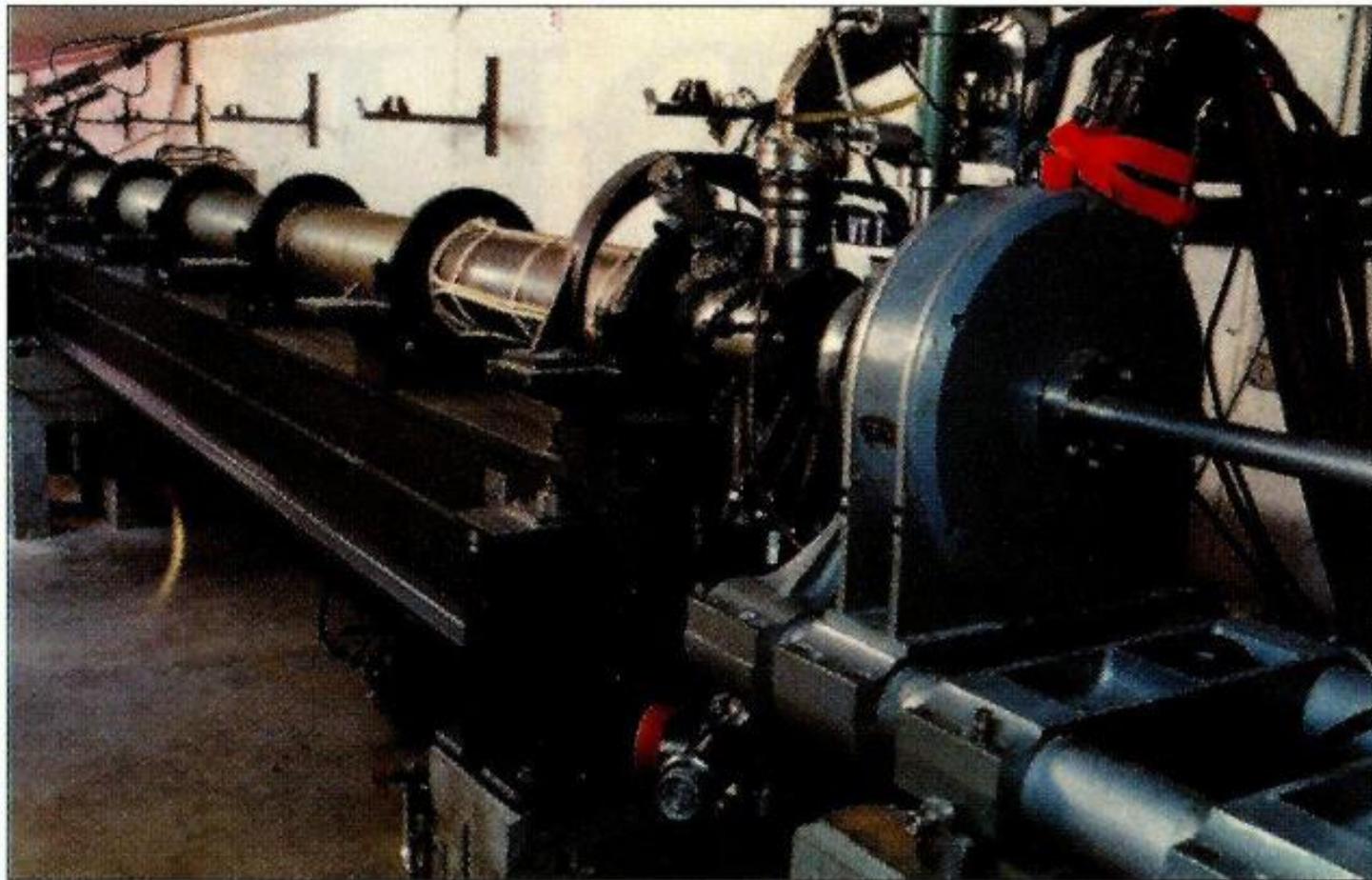


Inauguré en 1958

Energie de 3 GeV

Arrêté en 1997.

# LAL: Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire d'Orsay



1958: Premier faisceau d'électrons de 3 MeV

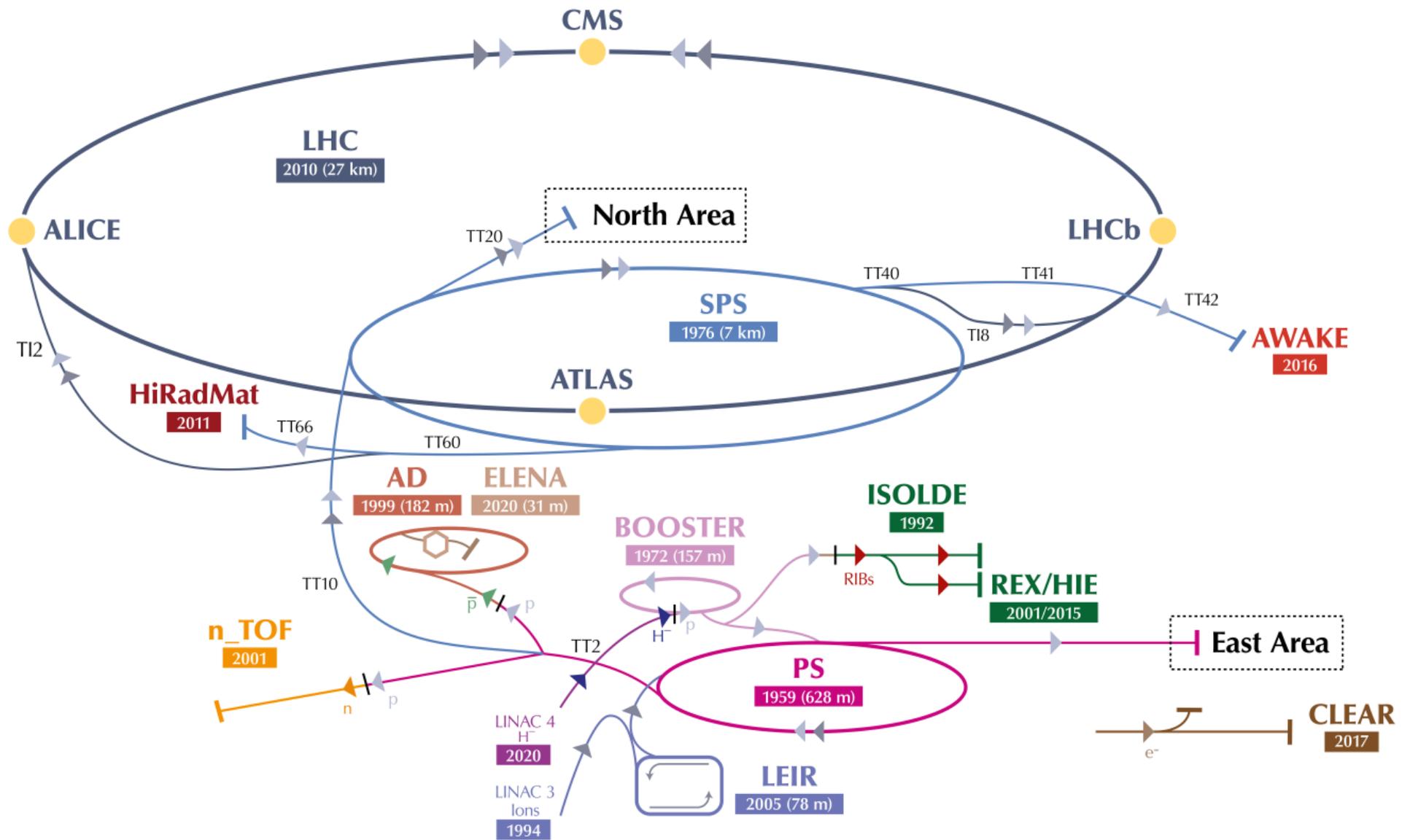
1964: Faisceau à 1.3 GeV

1968: Faisceau à 2.3 GeV

Faisceau de positons à 1 GeV

2003: Arrêt définitif du linac.

# CERN: tous les accélérateurs de particules en 2023



# Prix Nobel de Physique (et Chimie) relatifs aux accélérateurs de particules (48 personnes)

1922: Niels Bohr

1924: Karl Manne Siegbahn

1935: Frédéric Joliot (prix Nobel de Chimie)

Importantes contributions sur les premiers cyclotrons

1939: Ernest Lawrence

Invention et développement des cyclotrons

1951: John Cockcroft et Ernest Walton

Développement d'un accélérateur avec intense champ électrique pour accélérer des protons

1951: Edwin McMillan (prix Nobel de Chimie)

Invention du synchrocyclotron

Principe de la stabilité de phase ouvre la voie des accélérateurs linéaires et des synchrotrons

1952: Felix Bloch

Mesure du moment magnétique du neutron

Premier Directeur général du CERN

1959: Emilio Segré et Owen Chamberlain

Découverte de l'antiproton grâce à un puissant accélérateur de particules

1960: Donald Glaser

Invention de la chambre à bulles permettant l'étude des particules de hautes énergies issues des accélérateurs

1961: Robert Hofstadter

Diffraction des électrons dans le noyau atomique et découvertes sur la structure des nucléons

1963: Maria Goeppert Mayer et J. Hans D. Jensen

Découvertes concernant la structure atomique du noyau

1967: Hans A. Bethe

Contributions à la théorie des réactions nucléaires

1968: Luis Alvarez

Version améliorée du linac de R. Wideröe avec ondes RF stationnaires

1976: Burton Richter et Samuel C. Ting

Travaux de pionniers pour la découverte de particules élémentaires lourdes d'un nouveau type

Construction d'un collisionneur e-e<sup>+</sup> à haute énergie

1979: Sheldon L. Glashow et Abdus Salam et Steven Weinberg

Théorie d'unification de l'interaction électromagnétique et faible entre les particules élémentaires et prédiction des courants neutres

1980: James W. Cronin et Val L. Fitch

Découverte des violations des principes fondamentaux de symétrie dans la désintégration des mésons neutres K

1981: Kai M. Siegbahn

Développement pour la spectroscopie haute résolution de l'électron

1983: William A. Fowler

Etudes théoriques et expérimentales des réactions nucléaires

1984: Carlo Rubbia et Simon van der Meer

Découverte des bosons W et Z, particules de l'interaction faible, obtenue grâce au refroidissement stochastique des antiprotons.

1986: Ernst Ruska

Premier microscope à électrons

1988: Leon M. Lederman et Melvin Schwartz et Jack Steinberger

Neutrino et découverte du neutrino muonique

1989: Hans G. Dehmelt et Wolfgang Paul

Développement de la technique pour piège à ions

1990: Jerome I. Friedman et Henry W. Kendall et Richard E. Taylor

Modèle des quarks en physique des particules

1992: Georges Charpak

Détecteurs de particules et en particulier la chambre propoortionnelle multifils

1995: Martin L. Perl

Découverte de la particule Tau à partir de collisions électrons-positons

2004: David J. Gross et H. David Politzer et Frank Wilczek

Découverte de la liberté asymptotique de l'interaction forte

2008: Yoichiro Nambu et Makoto Kobayashi et Toshihide Maskawa

Découverte de l'origine de la brisure de symétrie qui prédit l'existence d'au moins trois familles de quarks.

2013: Francois Englert et Peter W. Higgs

Découverte théorique prédisant l'origine des masses des particules élémentaires confirmée par les détecteurs ATLAS et CMS du LHC au CERN

2015: Takaaki Kajita et Arthur B. McDonald

Découverte des oscillations neutrinos => neutrinos sont massifs