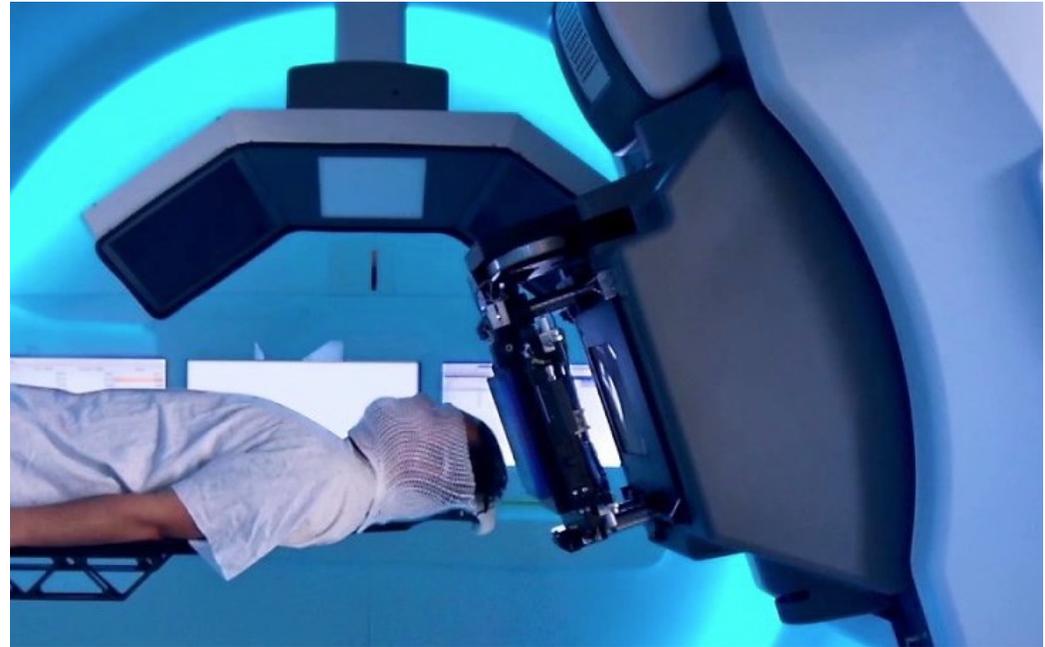


De la physique des particules aux applications médicales

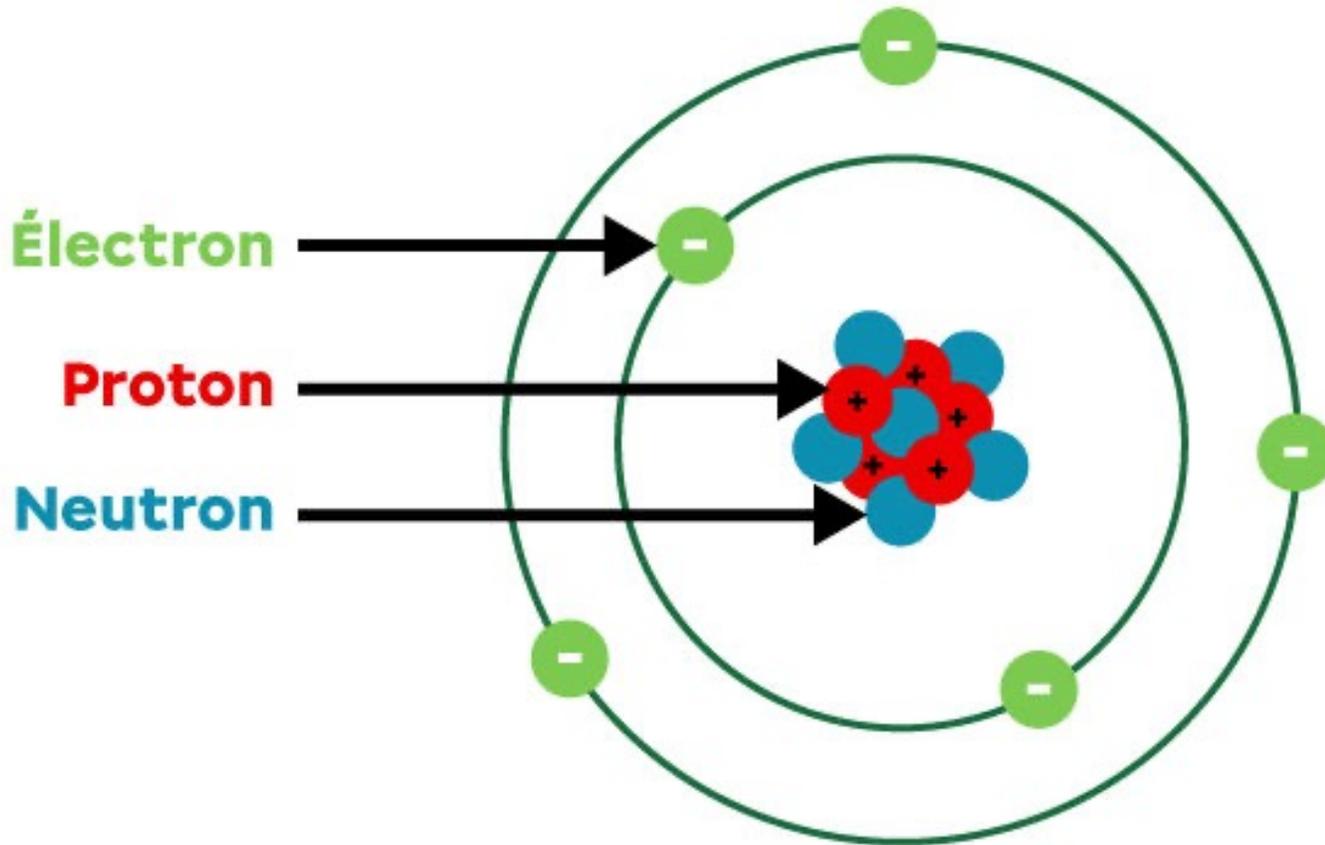


LHC (source: CERN)



La structure de la matière

20e siècle : 3 particules constitutives



Les particules subatomiques

1897 Thomson (électron)

1919 Rutherford (proton)

1932 Chadwick (neutron)

Cette idée a été formulée par Rutherford en 1920

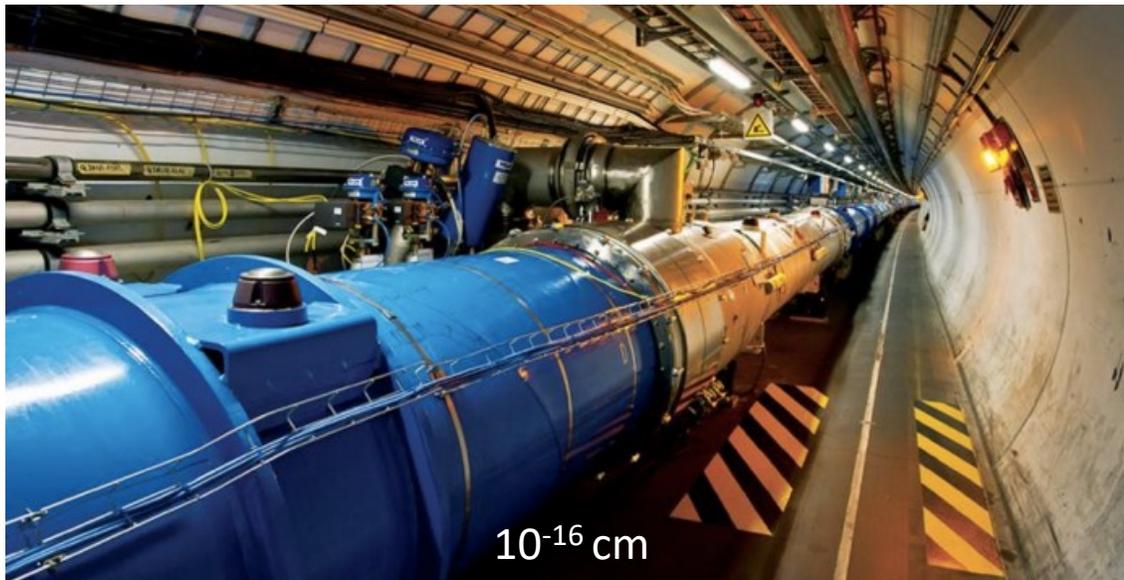
La structure de la matière

20e/21e siècle : Construction d'accélérateurs de particules

1932 le premier accélérateur de particules est construit

Les accélérateurs comme "super-microscopes"

plus l'impulsion (p) est élevée, plus la particule pouvant être étudiée est petite.



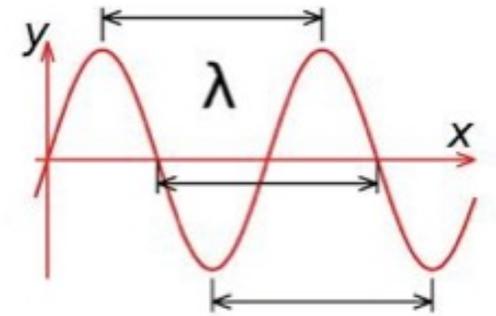
Dualité onde-corpuscule
(Louis de Broglie)

$$\lambda = h / p$$

L'objet : particule subatomique

La lumière : faisceau de particules accélérées

Détecteur pour la lumière réfléchi (les particules créées)



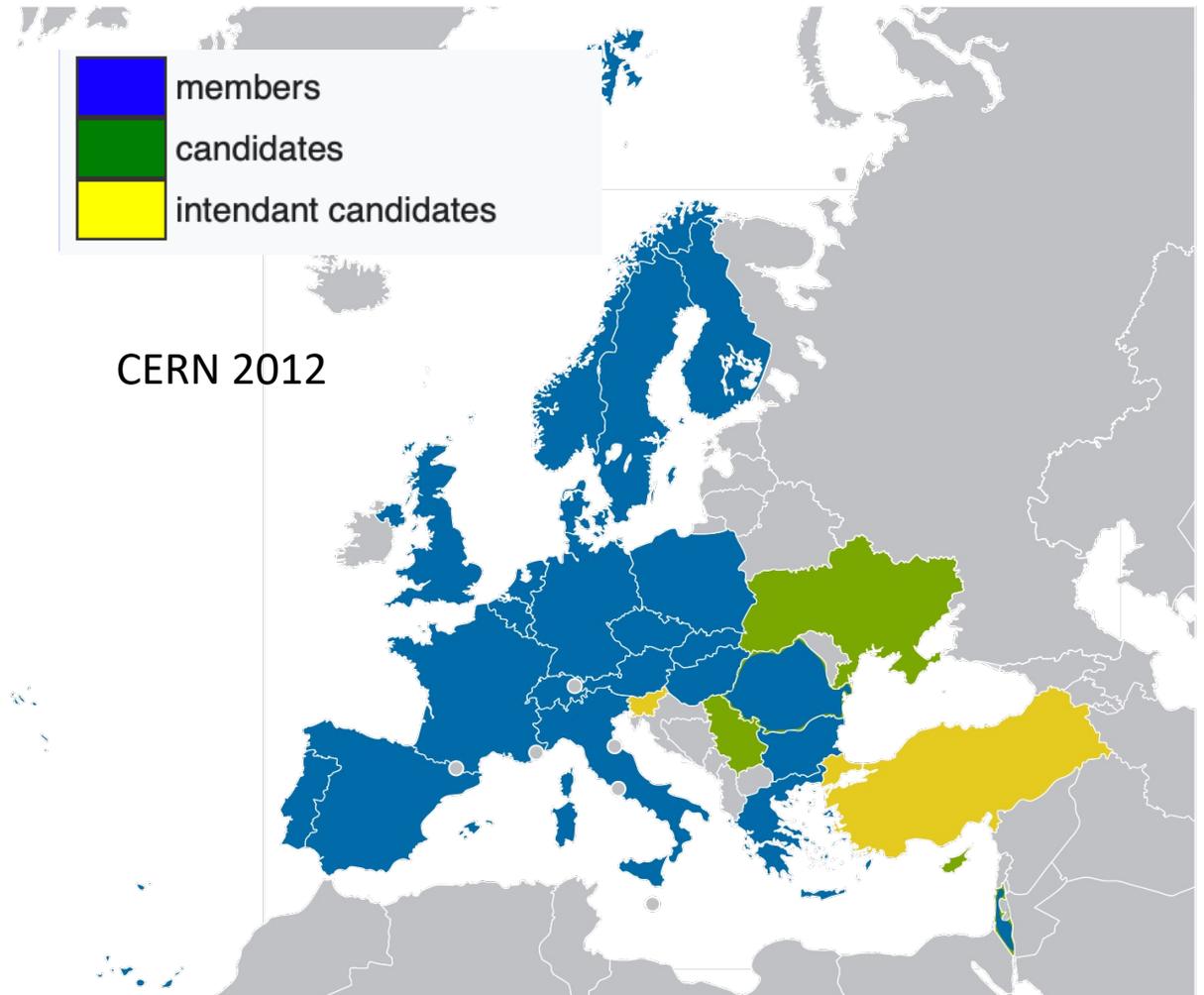
LHC (le plus grand accélérateur de particules au CERN, 2008)

Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire



Fondée en 1954 par 12 pays européens

Le plus grand laboratoire de recherche en physique des particules au monde. Situé à Genève à côté de la frontière française.



LHC (Grand Collisionneur de hadrons)



LHC (source: CERN)



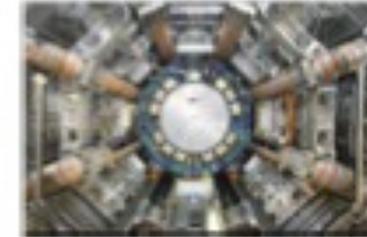
LHC est l'endroit
le plus chaud et
le plus froid de l'univers

LHC (Grand Collisionneur de hadrons)

Les 4 expériences principales au LHC



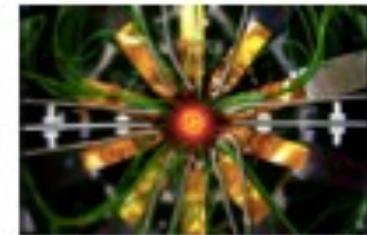
ATLAS



CMS



ALICE



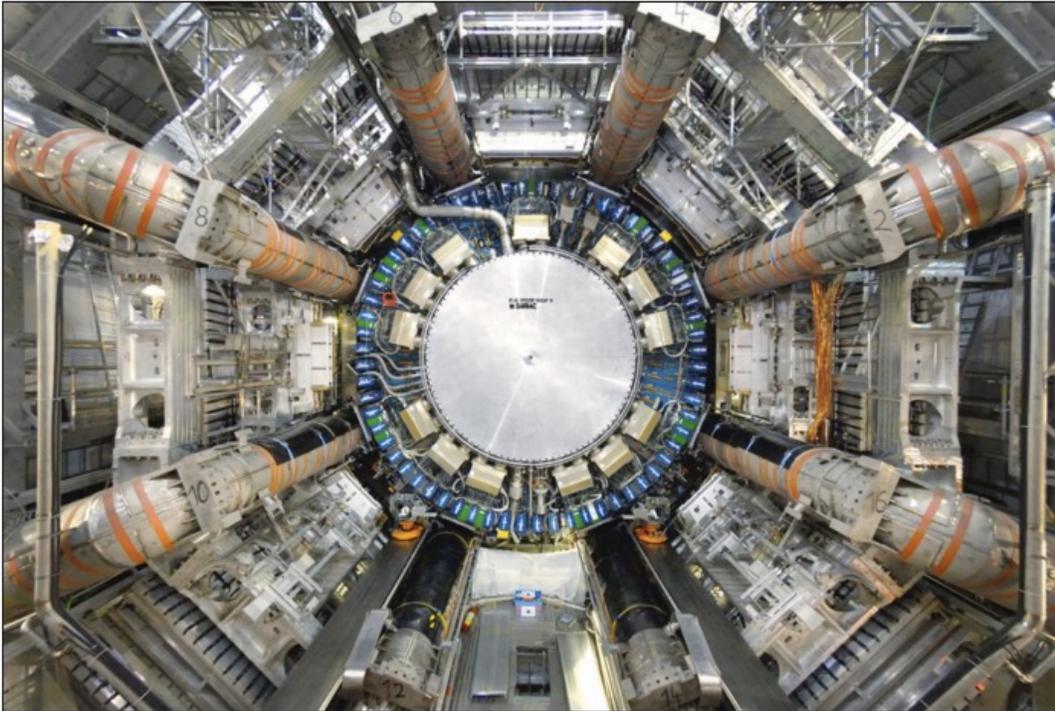
LHCb



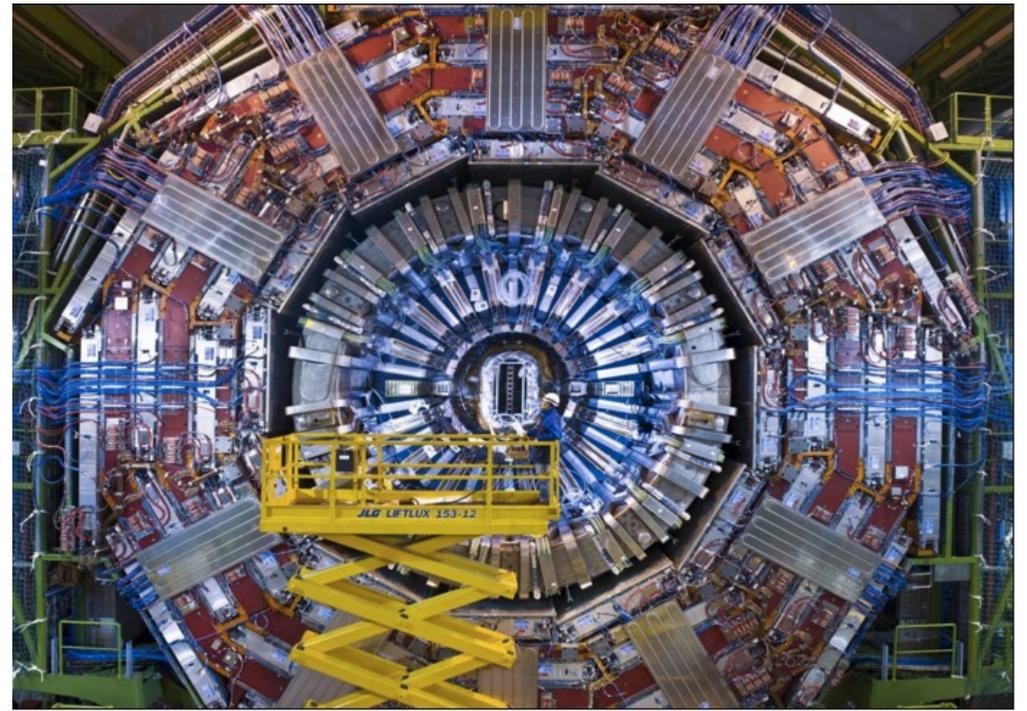
De nombreuses expériences **hors** LHC sont réalisées au CERN

LHC (Grand Collisionneur de hadrons)

ATLAS



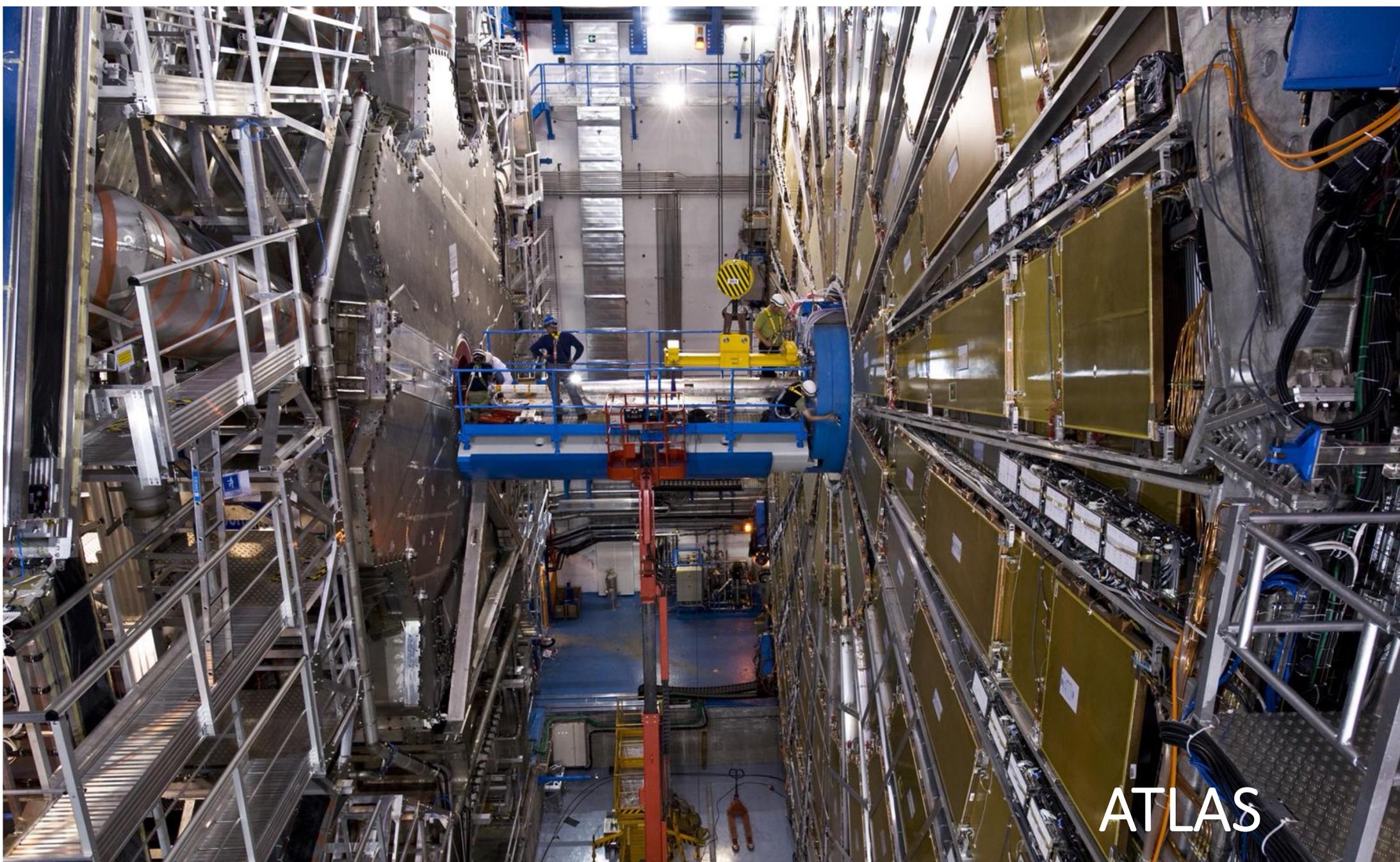
CMS (solénoïde compact à muons)



“The biggest of these experiments, ATLAS and CMS, use general-purpose detectors to investigate the largest range of physics possible. Having two independently designed detectors is vital for cross-confirmation of any new discoveries made” Source: CERN

ATLAS a 5 étages, 7000 tonnes

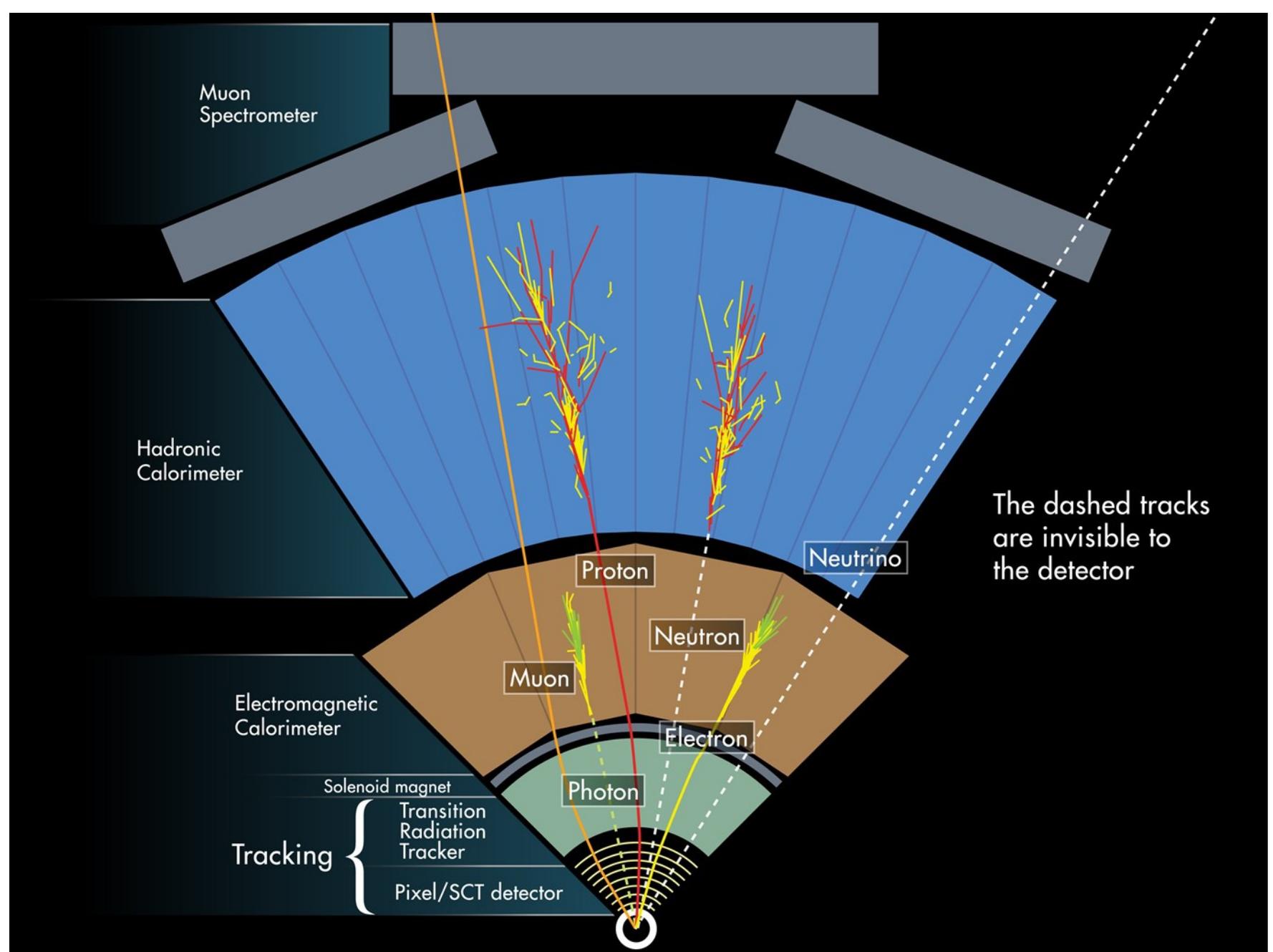
CMS (12000 tonnes) a plus de fer que la Tour Eiffel



ATLAS

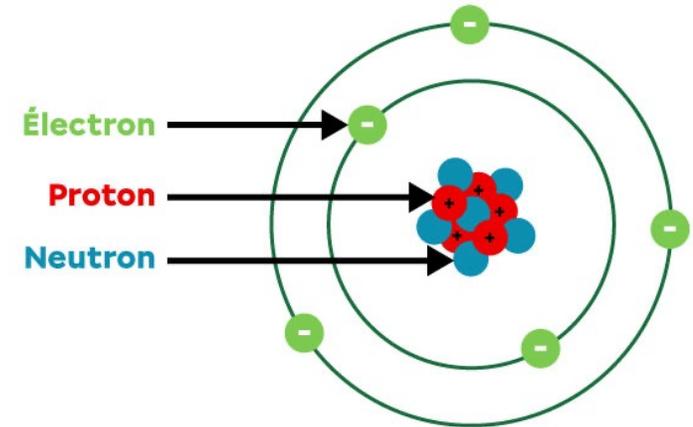
Comment ATLAS détecte les particules : schéma des trajectoires des particules dans le détecteur.

Image:
CERN



La structure de la matière

Années 1930: 3 constituants



Années 1960 (évolution des accélérateurs) : Zoo de particules

Des centaines de particules subatomiques découvertes : pions, kaons, muons, sigma, tauons, quarks,...

Zoo de particules->puzzle pour les physiciens.



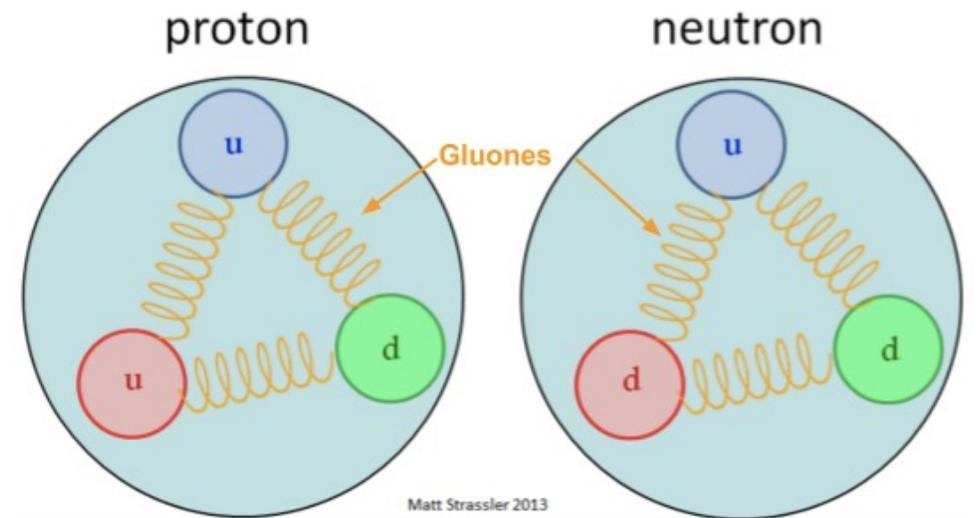
La recherche d'une théorie unifiée qui expliquerait les particules trouvées au niveau fondamental

Modèle standard de physique des particules

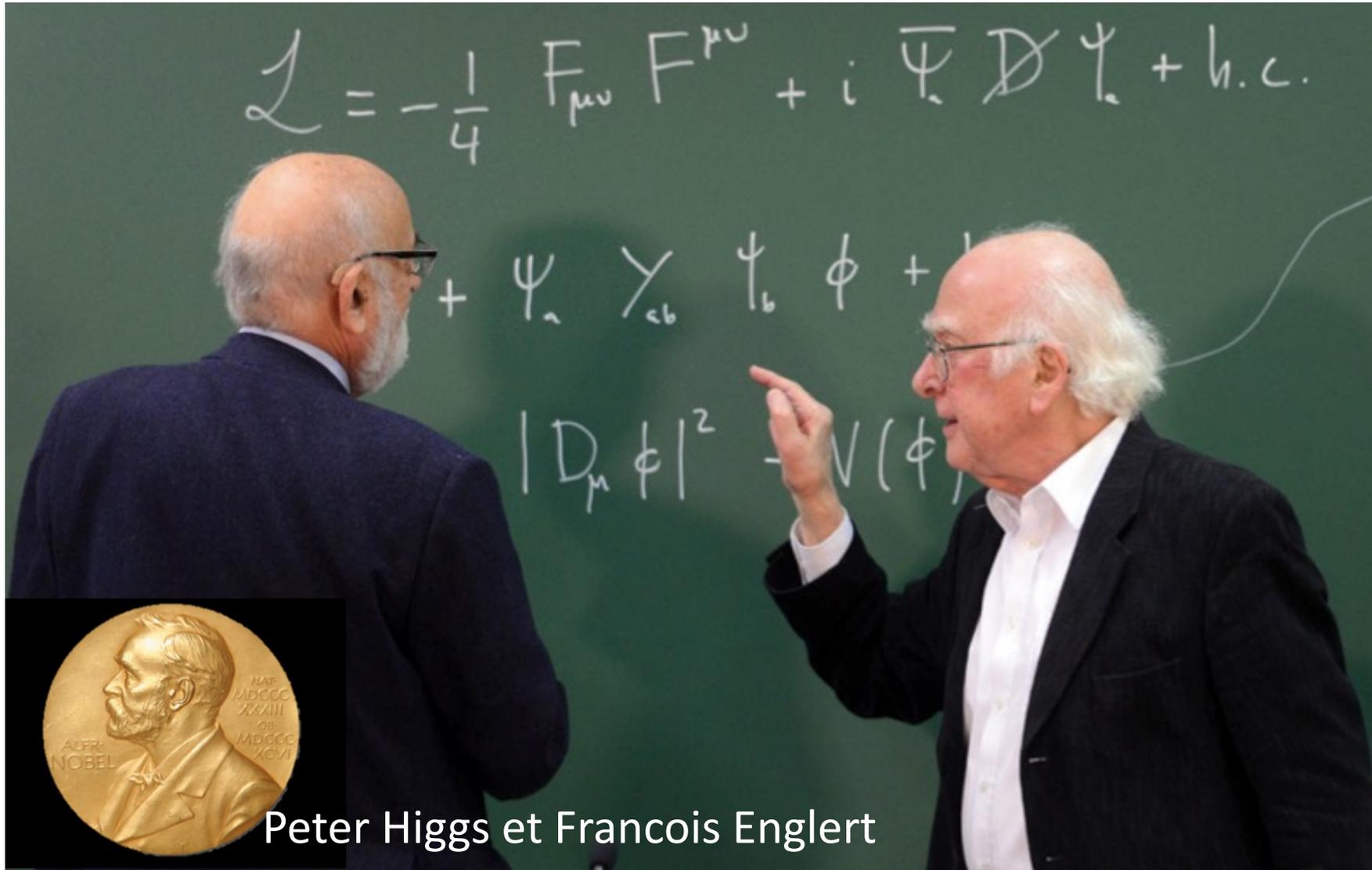
Model formulé vers 1970, achevé en 1978

3 familles de fermions (particules de matière)			Particules porteuses de forces		
	I	II	III		
masse →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H boson de Higgs
QUARKS	≈4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e électron	μ muon	τ tau	Z⁰ boson Z ⁰	
LEPTONS	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e neutrino électronique	ν_μ neutrino muonique	ν_τ neutrino tauique	W[±] boson W [±]	
					BOSONS DE JAUGE

Les constituants de base de la matière sont les fermions de la famille I : quark up, quark down, électron



Confirmation du Modèle Standard : boson de Higgs



Peter Higgs et Francois Englert

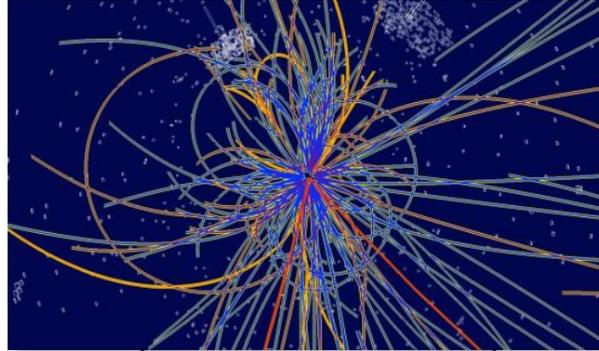
Prix Nobel 2013

Découverte en 2012 dans CMS et ATLAS (collaboration internationale) d'une particule qui se comporte comme le Higgs

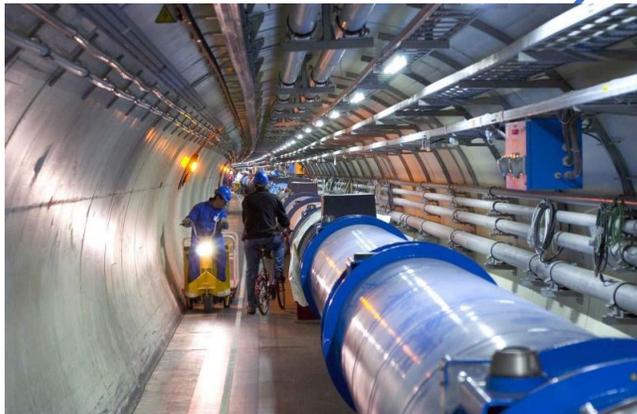
Confirmation du modèle standard

Physique et applications médicales

Technologies de la physique



Detectors:
detecting
particles



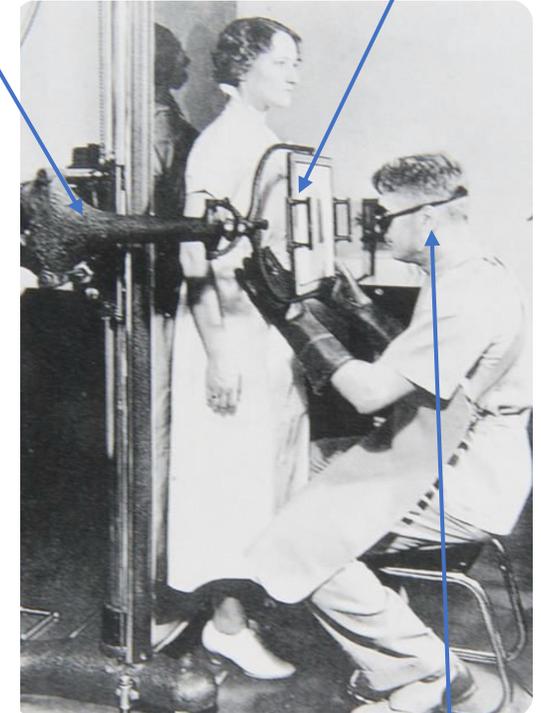
Accelerating particle beams



Large-scale computing (Grid)

Accelerating particles
(X-ray source)

Detector



Pattern
recognition
system

Origine de la physique médicale



Qu'est-ce que la physique médicale ?

Application de la physique au diagnostic et à la thérapie en médecine

- diagnostic et traitement du cancer

- La physique des particules joue un rôle essentiel en physique médicale :
 - Des particules (certains types) sont utilisées, généralement à des énergies plus faibles.
 - Même type de détecteurs que dans la physique des hautes énergies

La physique médicale bénéficie directement des avancées dans d'autres domaines

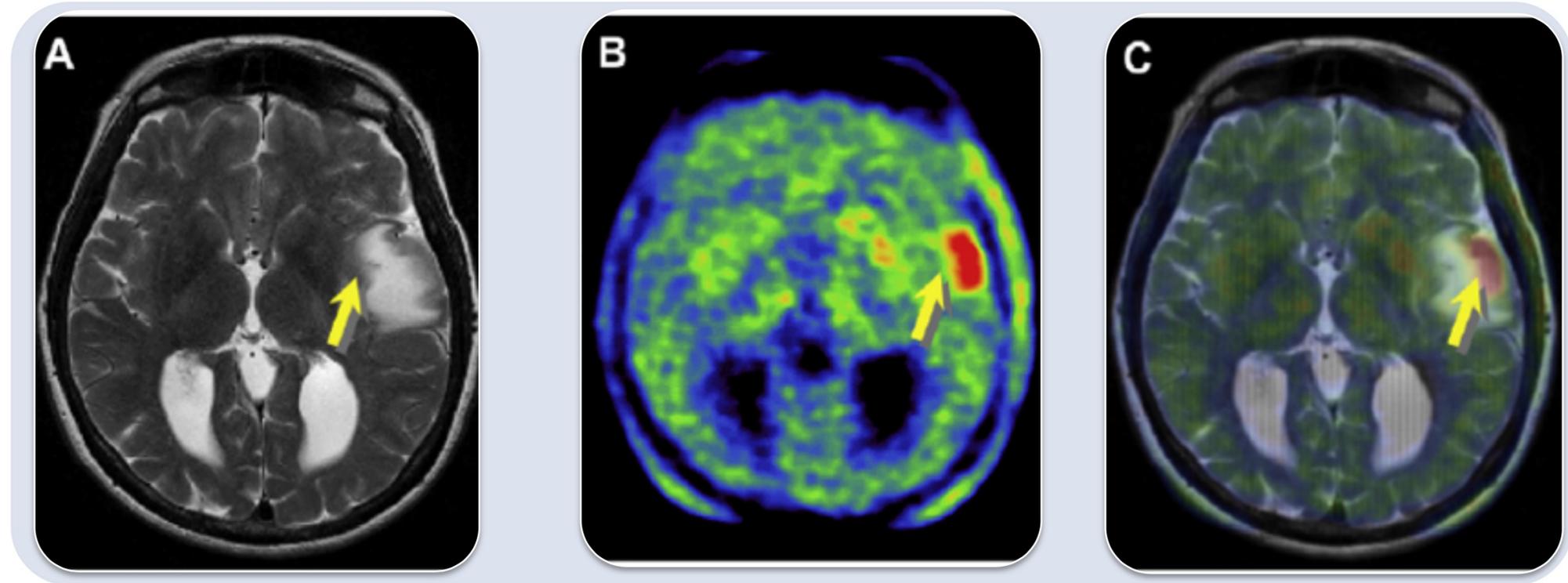
Imagerie médicale

Techniques non invasives

On utilise les propriétés physiques pour explorer le corps de l'extérieur.

On a besoin d'un 'agent' pour transmettre l'information (ex. R-X)

Imagerie médicale : types selon l'info



Zaidi et al, PET Clinics (vol. 3,num.3,pp 275-91)(2008)

STRUCTURELLE

(informations anatomiques)
Radiographie, CT scan, **IRM**,
échographie

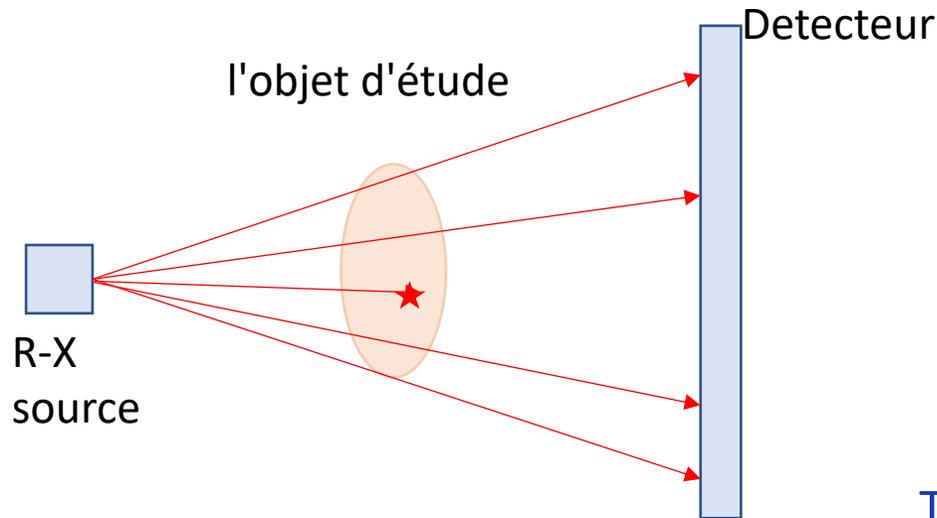
FONCTIONNELLE

(informations métaboliques ou
chimiques)
Scintigraphie, TEMP, **TEP**, IRM

MULTIMODAL

TEP-CT scan
TEP-IRM
TEMP-CT

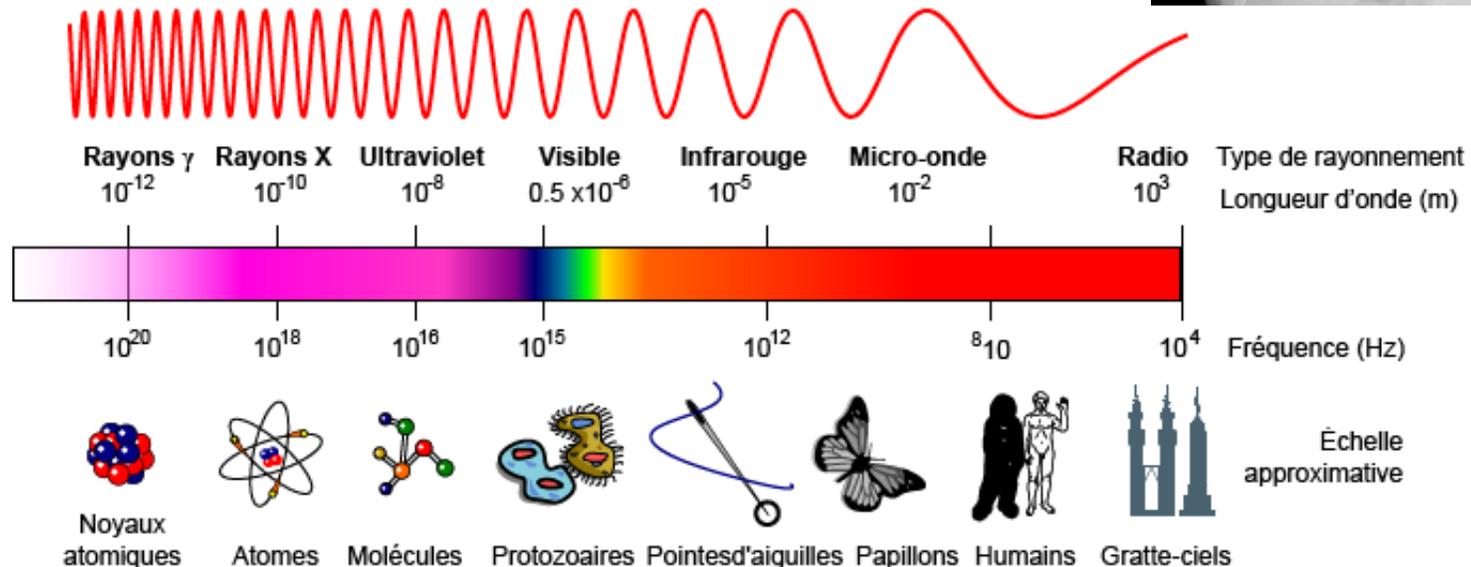
Imagerie structurelle : transmission de R-X



Radiographie plane



Transmission de R-X



Imagerie structurelle : transmission de R-X

CT scan (Tomodensitométrie)

Les radiographies (projections) sont prises sous différents angles autour du patient pour la reconstruction



Radiographie plane

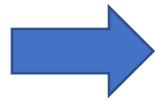
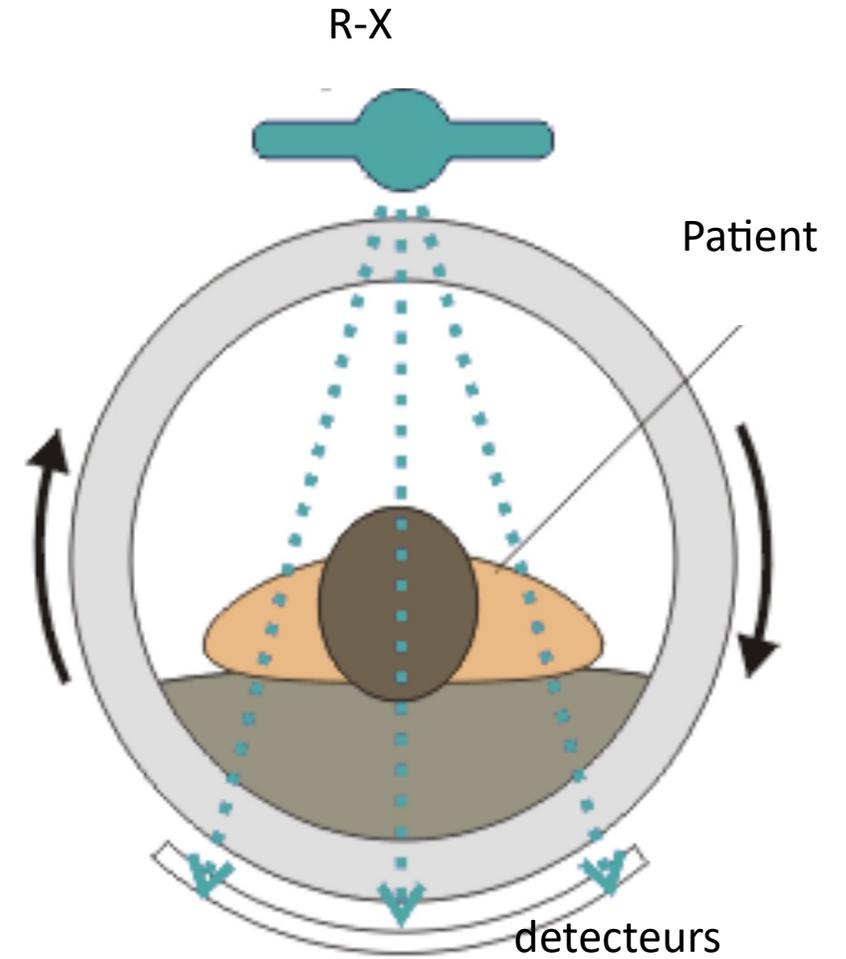
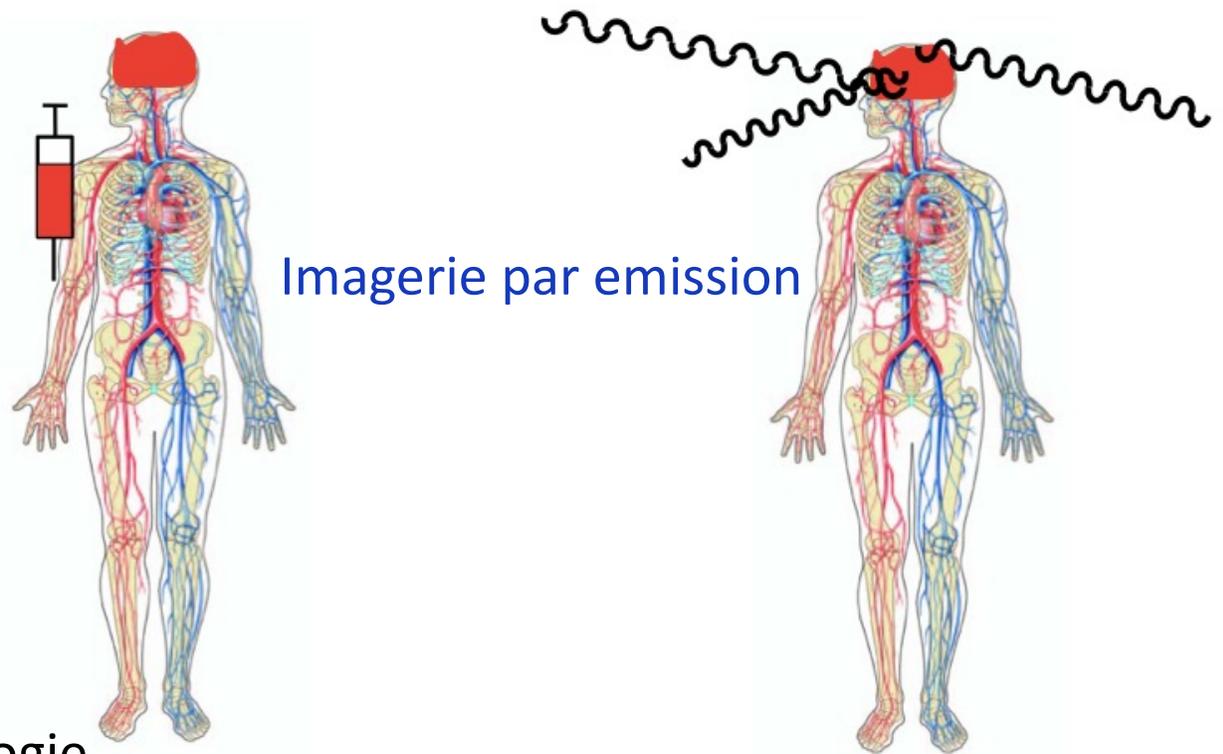
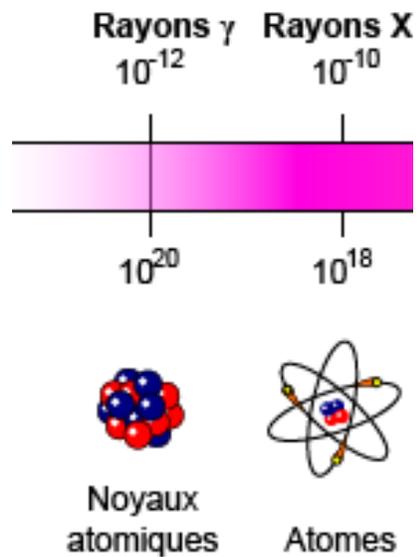


Image reconstruite (section 2D)



Imagerie fonctionnelle

Fonctionnement : on injecte un radiotracer au patient, une substance avec un composant radioactif, qui s'accumule dans l'organe que l'on veut étudier



Types d'imagerie : TEMP, TEP, scintigraphie

Applications en oncologie, neurologie, cardiologie.

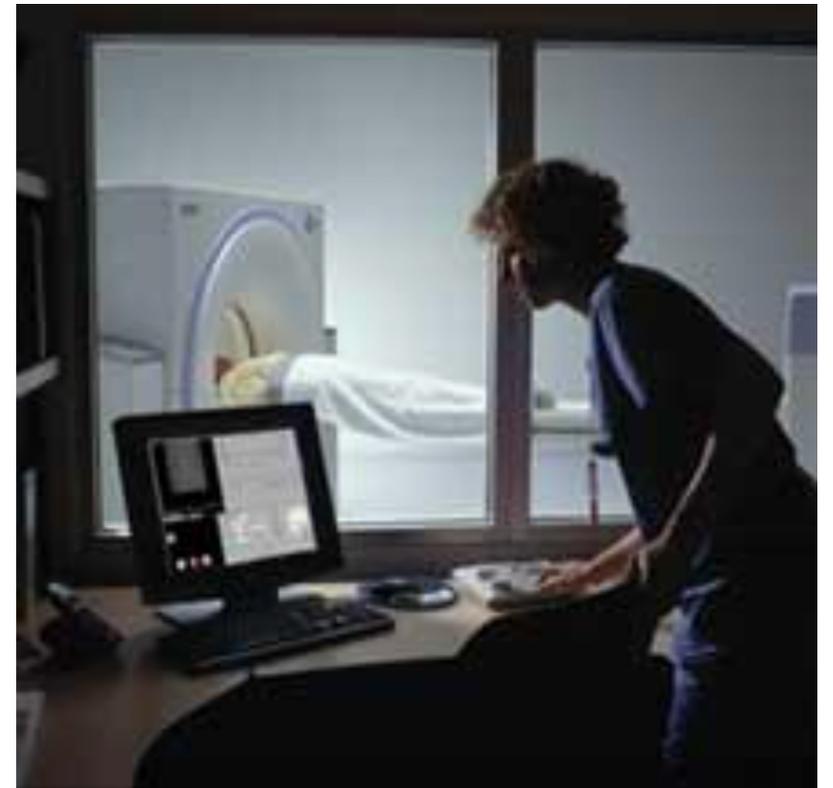
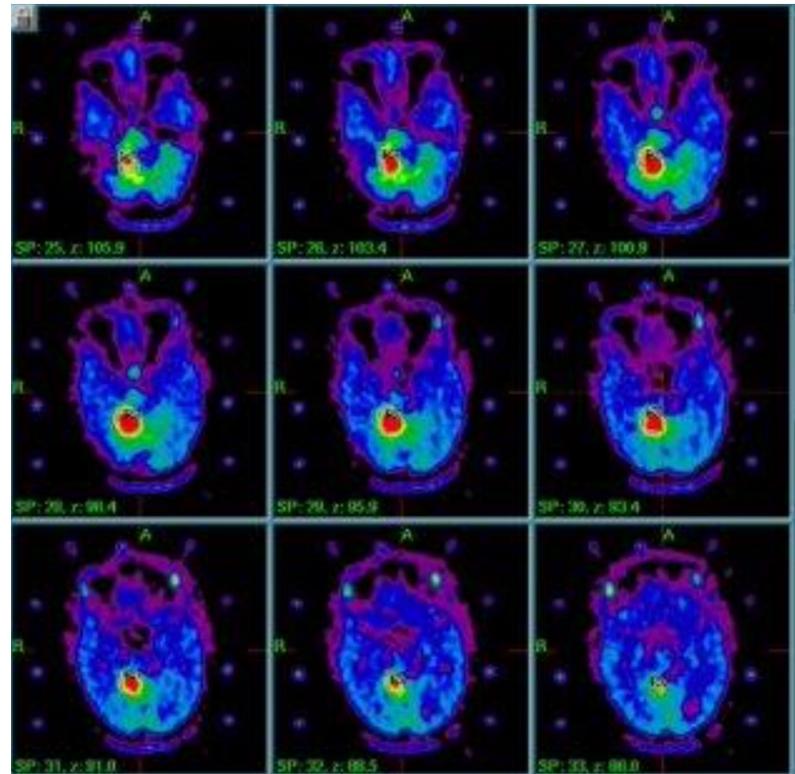
Imagerie fonctionnelle :TEP

TEP : Tomographie par Émission de Positons

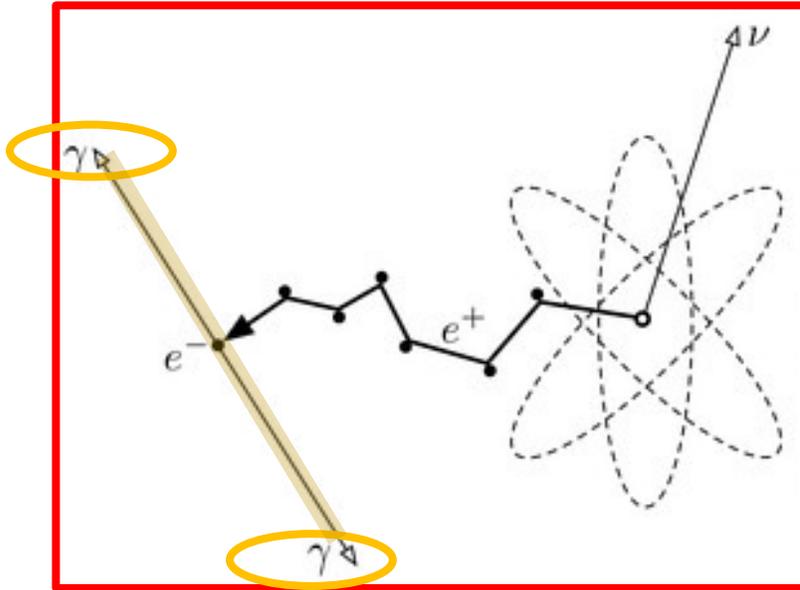
Antimatière (positon, e^+) en clinique. Le positon est l'antiparticule de l'électron (e^-)

Création d'isotopes dans les cyclotrons. Accélérer des protons ou des isotopes de l'hydrogène et les faire entrer en collision

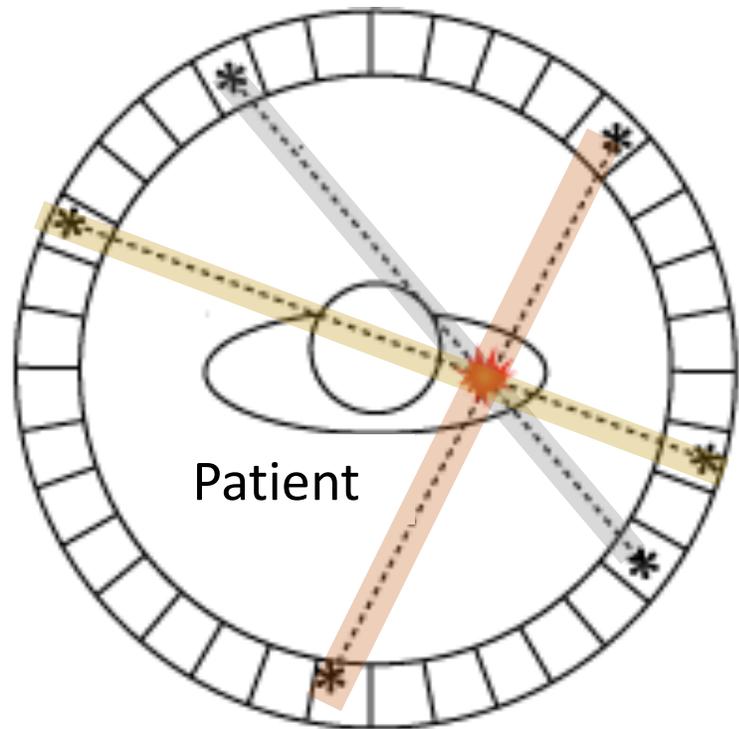
Radio-isotopes émetteurs de positons : F-18, C-11, N-13



Imagerie fonctionnelle : TEP

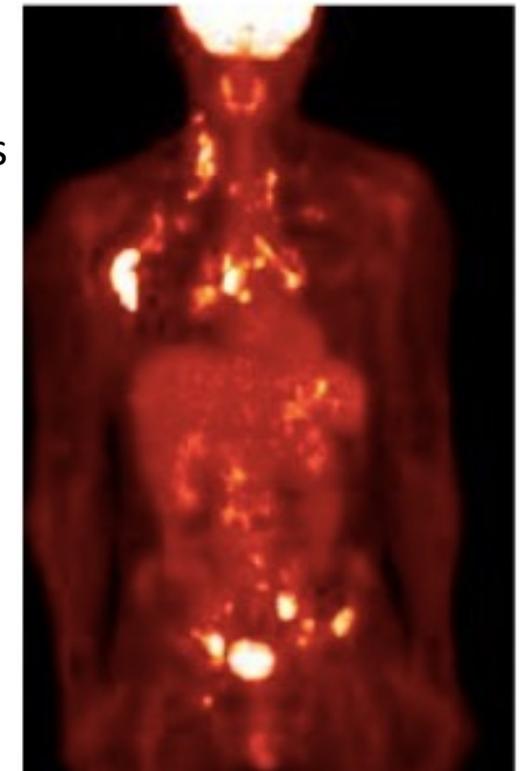


Annihilation (e^+e^-) deux photons émis antiparallèlement



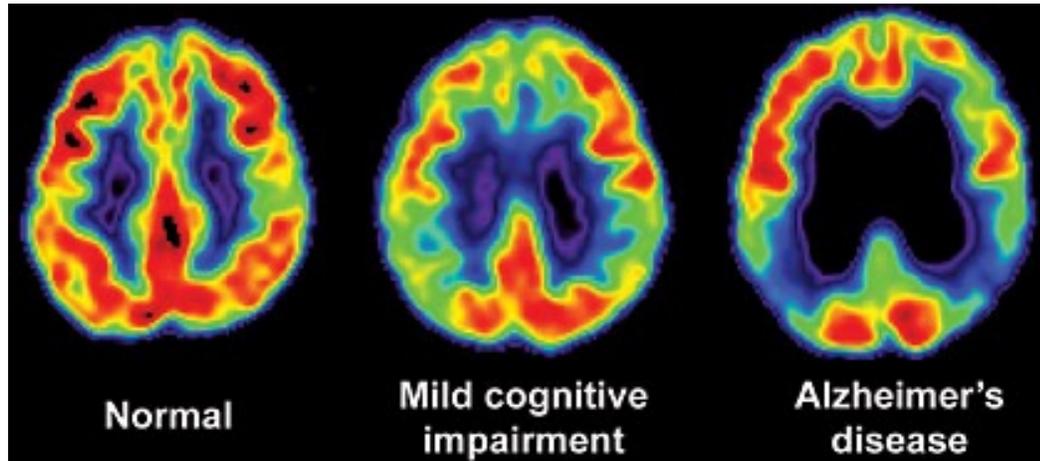
anneau détecteur (système TEP)

Méthodes mathématiques



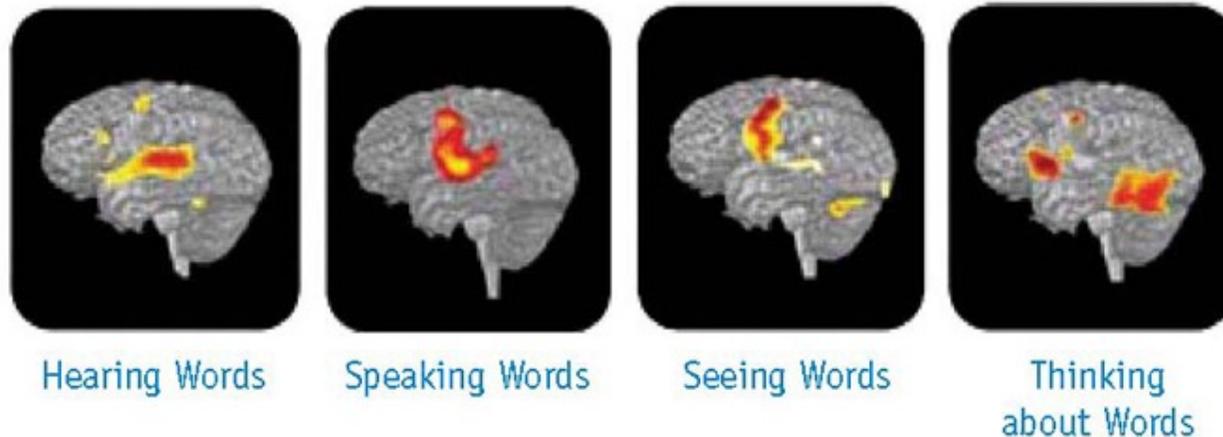
Applications de TEP

- Diagnostic d'Alzheimer

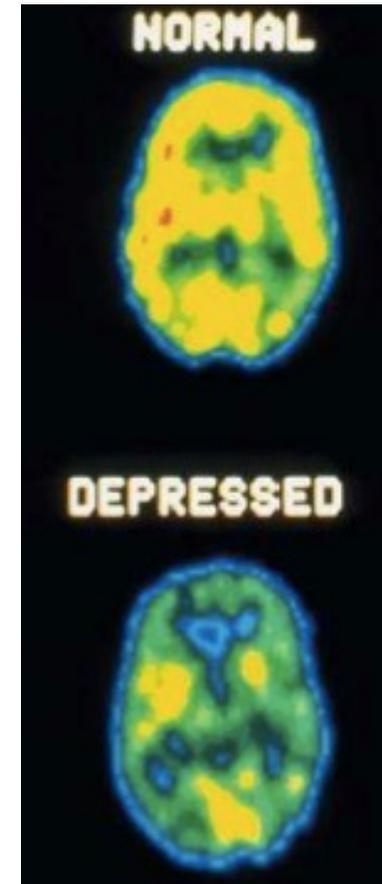


Cindee Madison and Susan Landau, UC Berkeley (2009)

- Étude des zones d'activation du cerveau



- Diagnostic de dépression

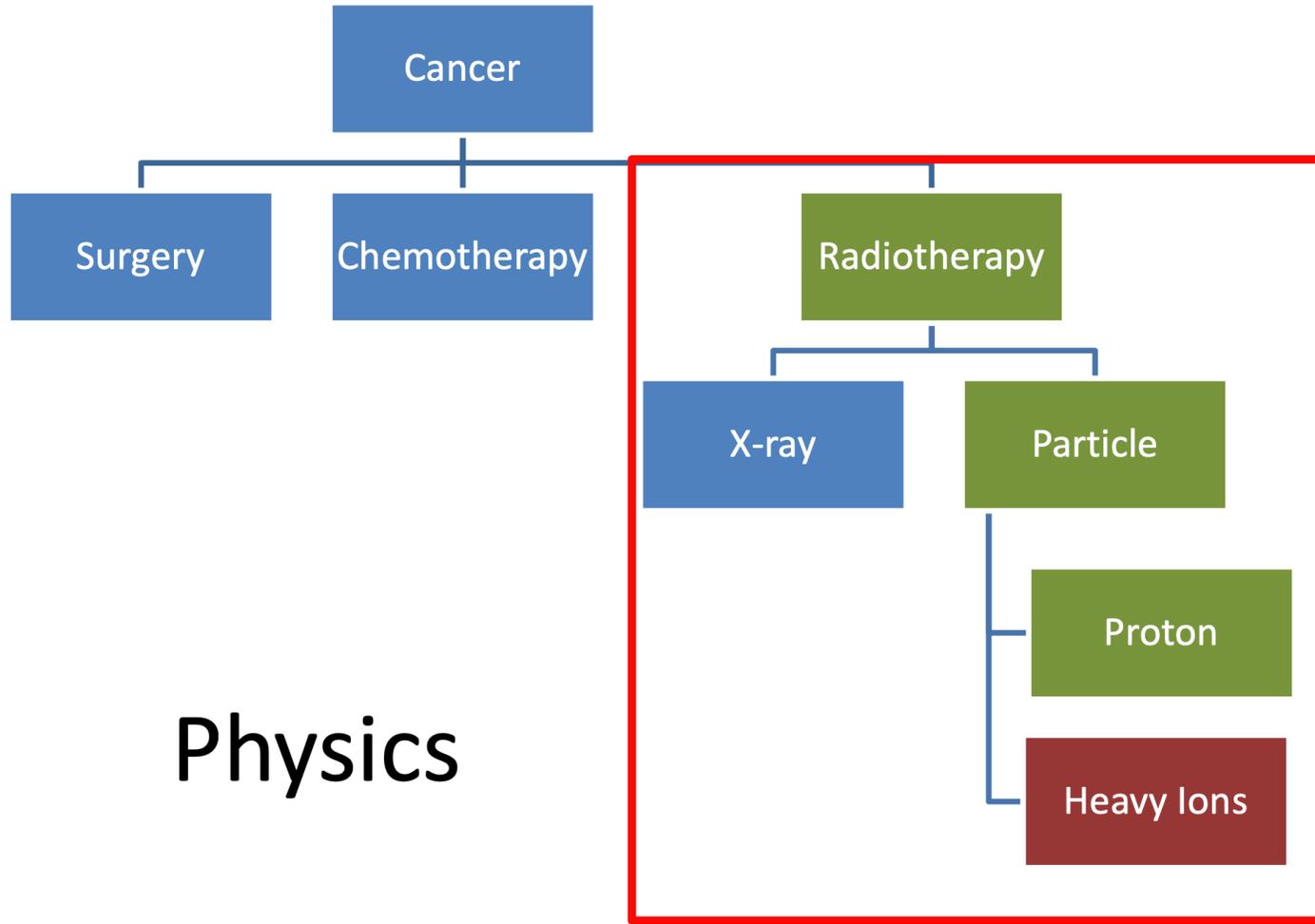


- Diagnostic cancer

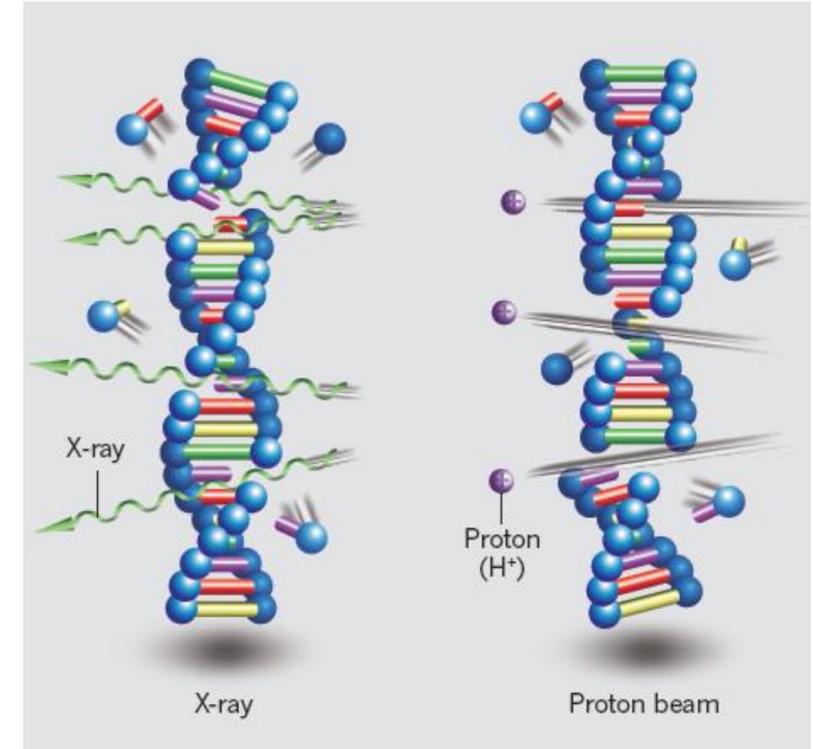


Traitement

Options de traitement du cancer



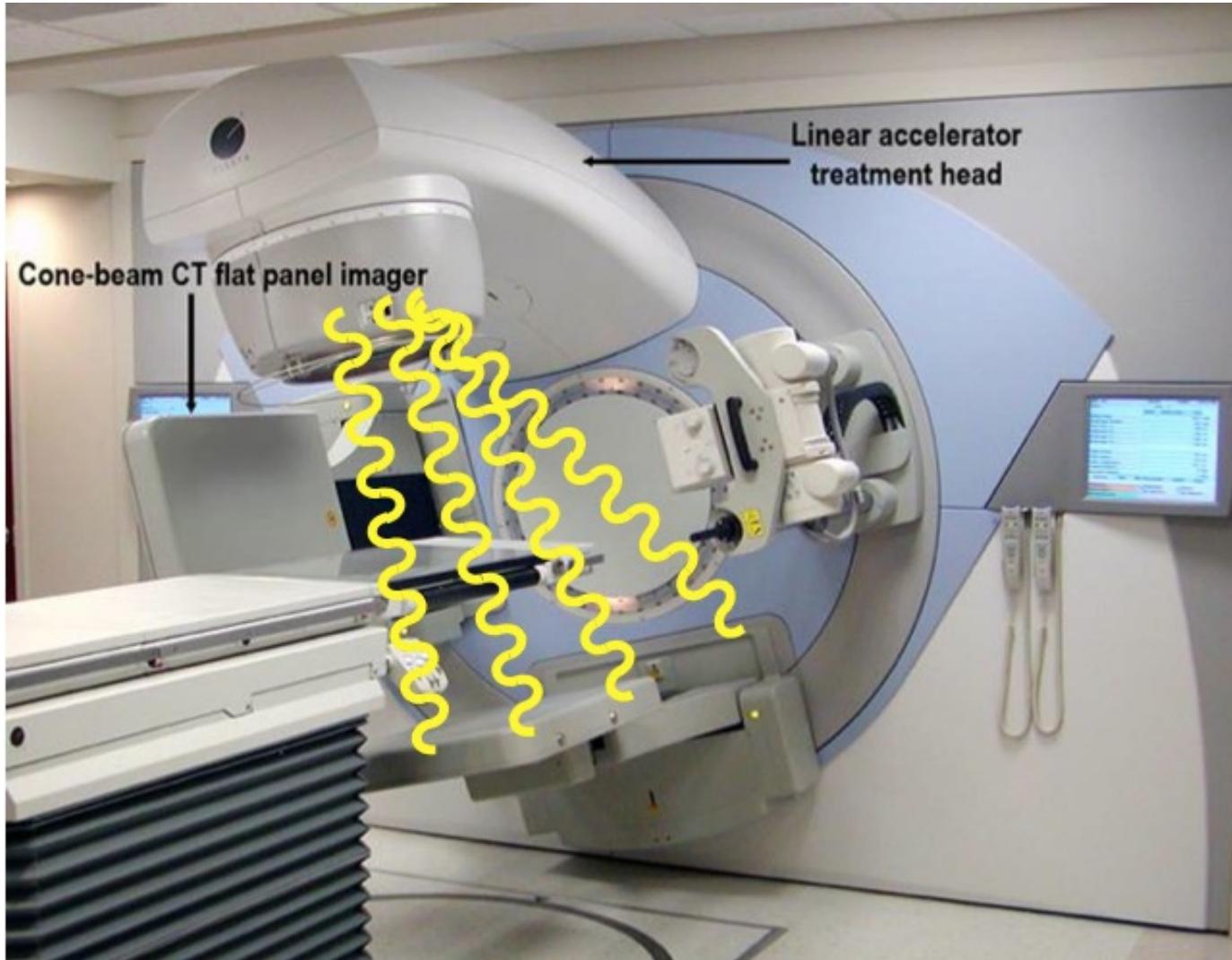
Physics



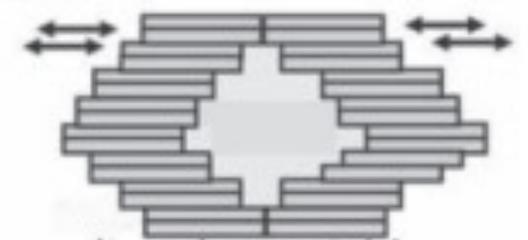
Marx, Nature 2014

Les radiations peuvent tuer les cellules cancéreuses en endommageant leur ADN.

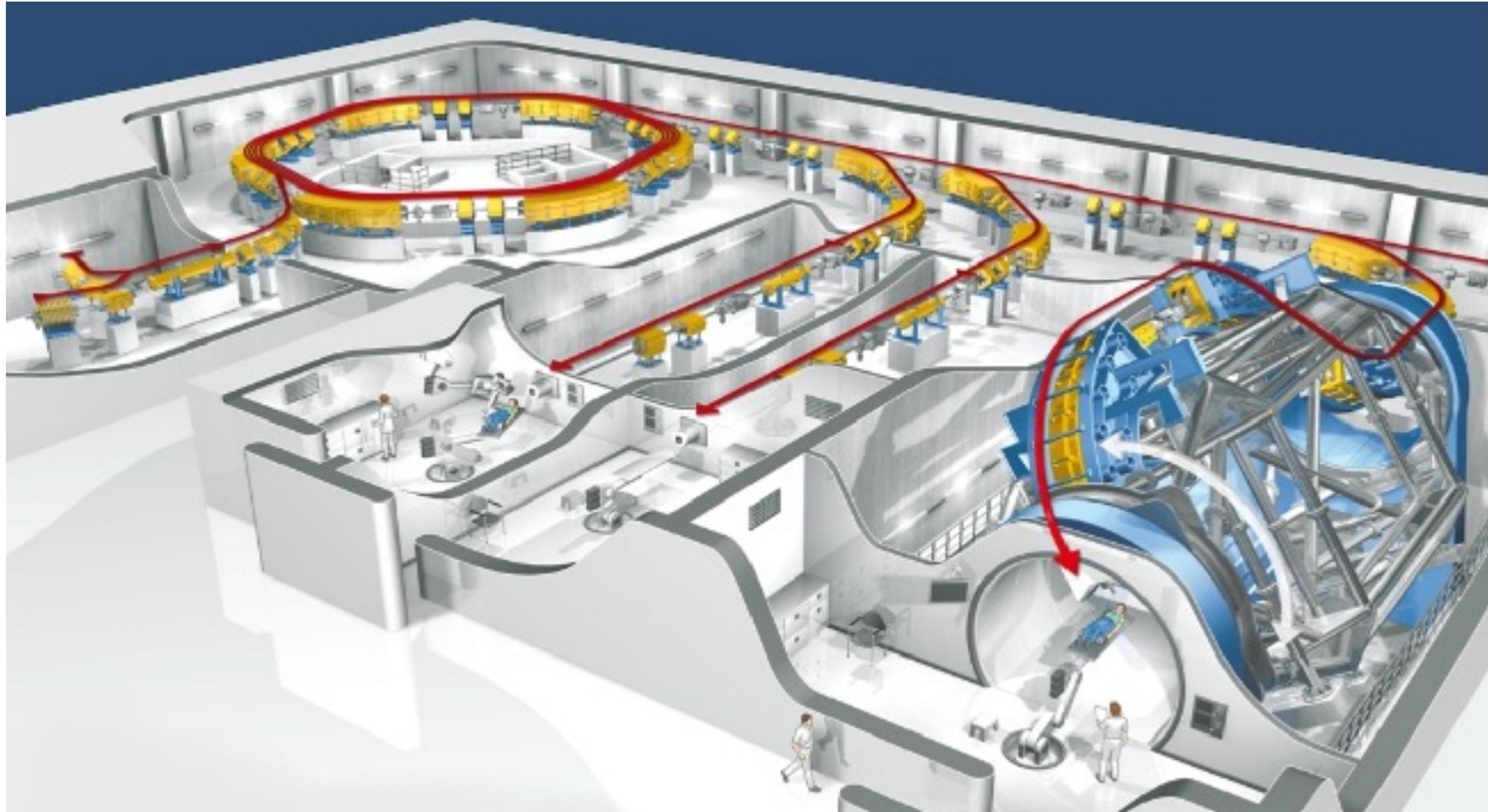
Radiothérapie (R-X)



Accélérateurs linéaires (LINAC) pour la génération de rayons X



HIT: Heidelberg particle therapy center



HIT : salle de traitement à faisceau fixe



Conclusion

- La physique des particules est essentielle en imagerie et en thérapie.
- La physique médicale est un domaine de recherche très intéressant, qui combine la physique fondamentale avec des applications, et avec d'autres disciplines (médecine, mathématiques, informatique...).
- Activités de recherche toujours très dynamiques dans le domaine !

Plus de détails sur les principes de la radiothérapie dans la présentation suivante