

# Introduction à la physique des particules et à leur détection

Narei Lorenzo Martinez  
LAPP-CNRS



# Les briques et le ciment ...

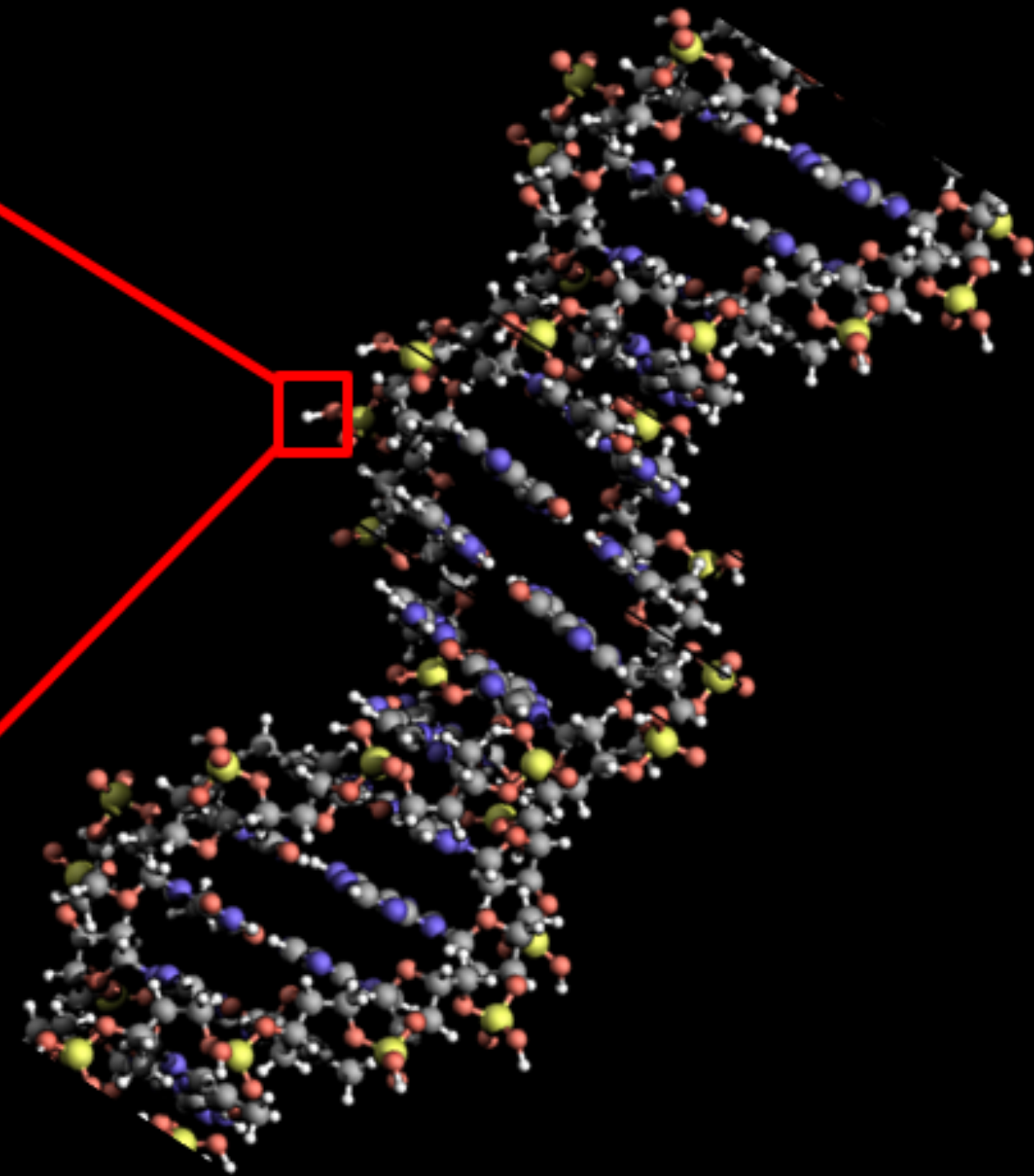
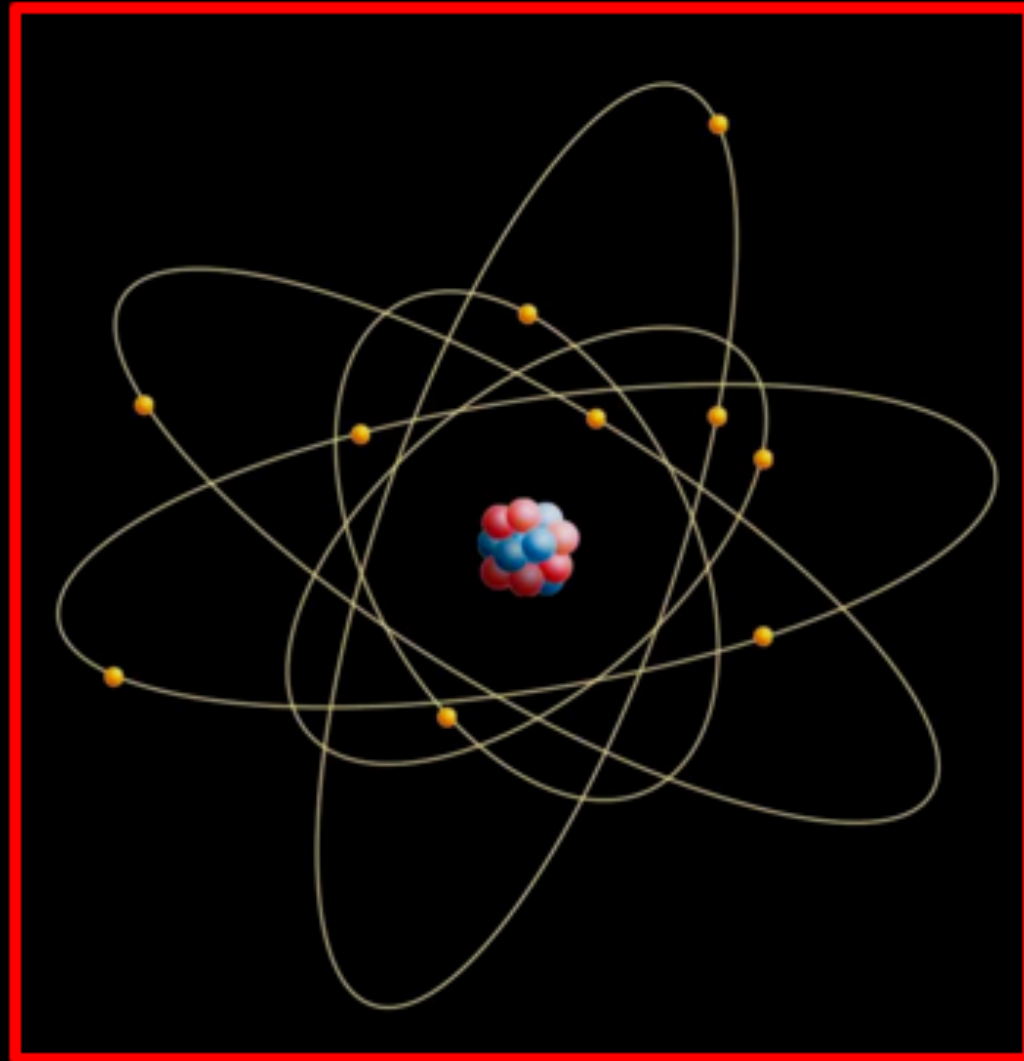
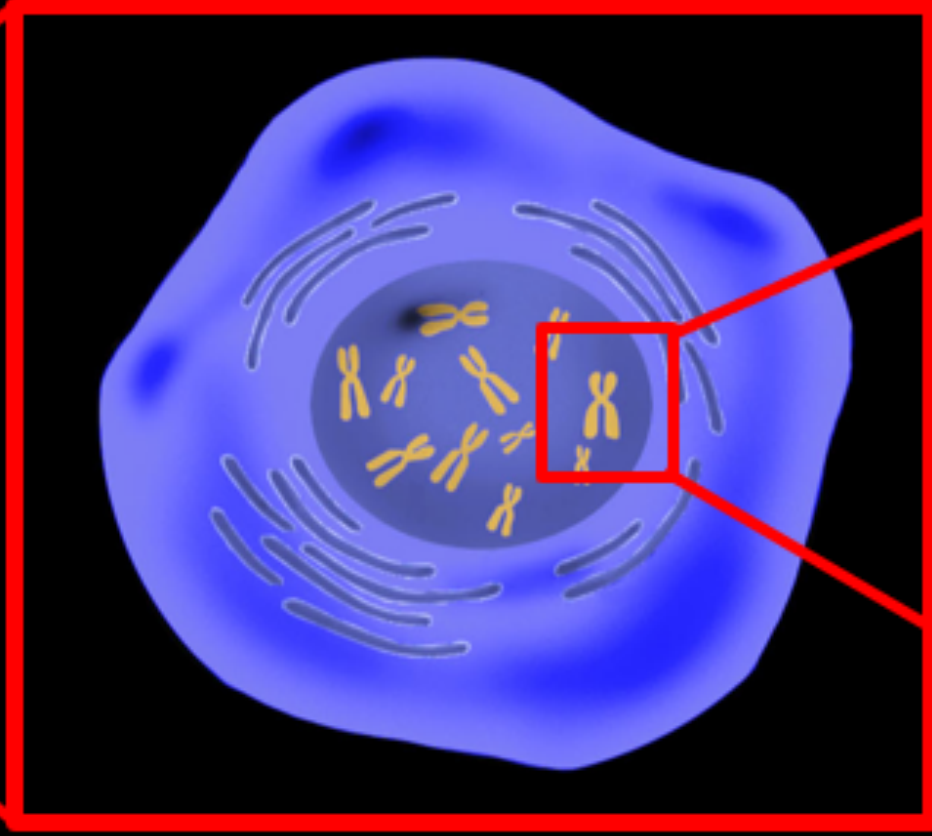
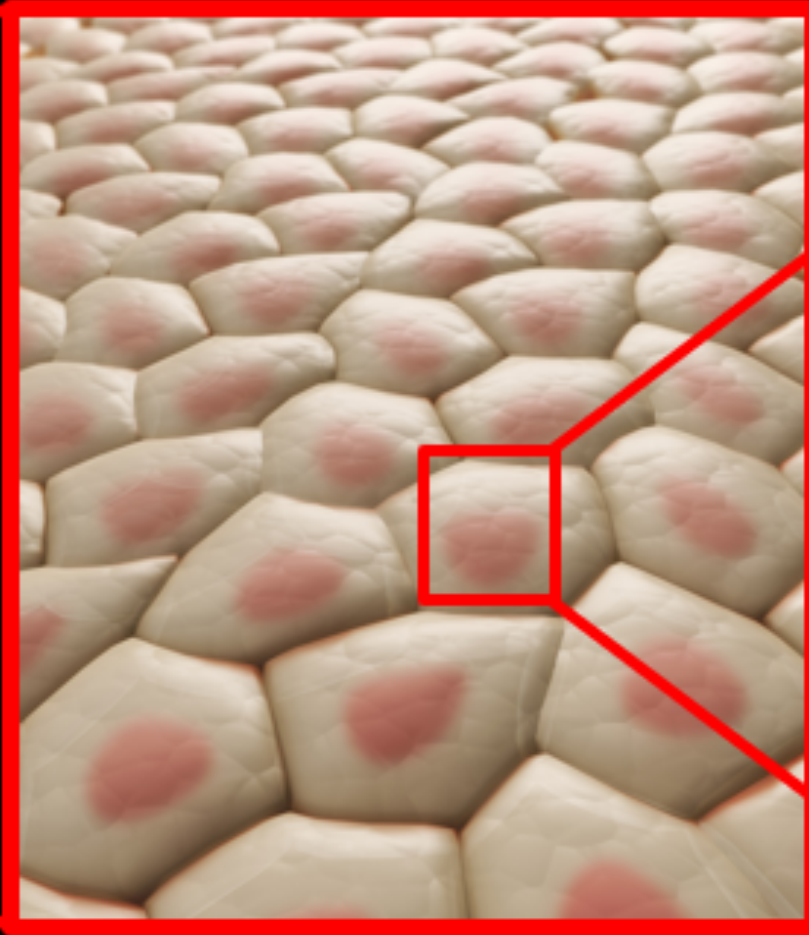
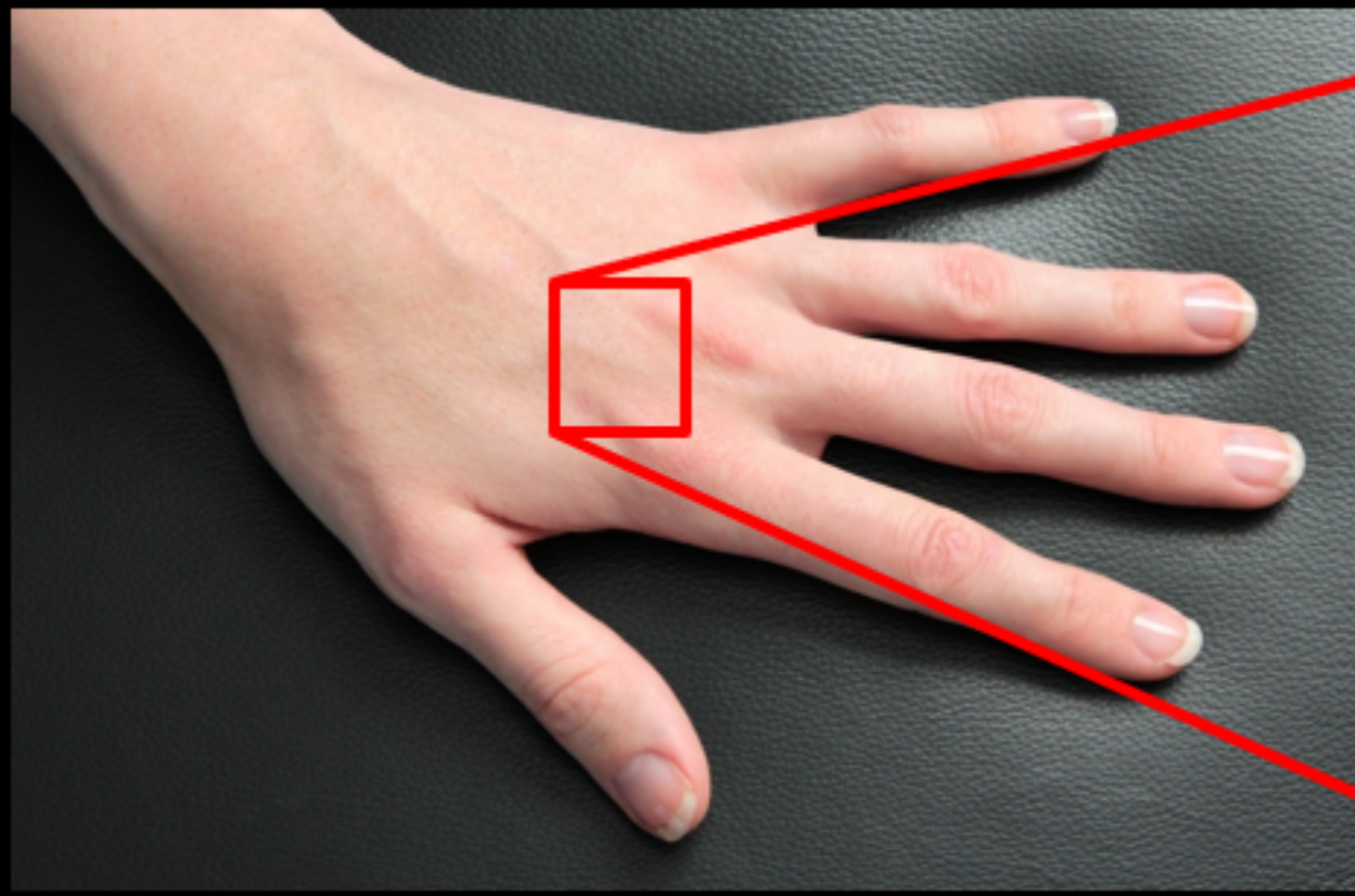




# du monde et de l'univers...

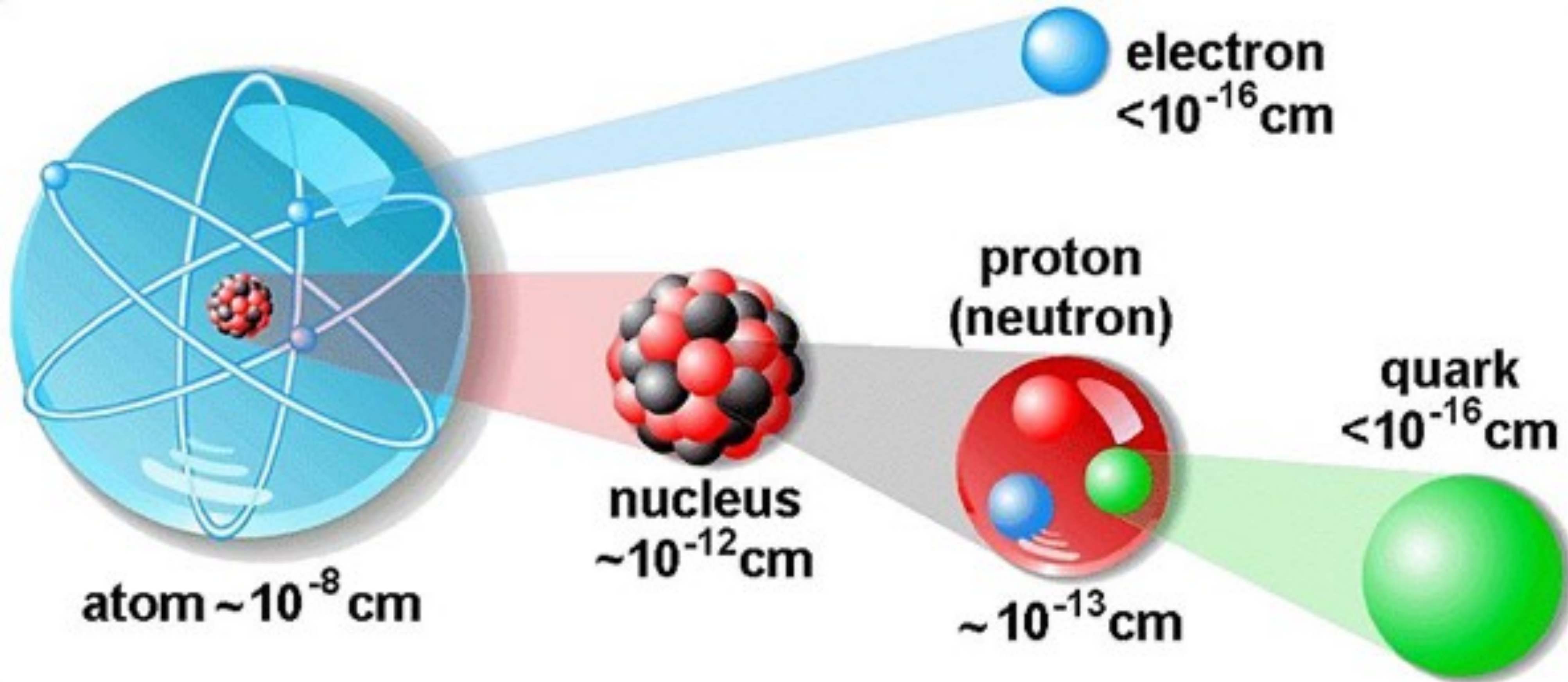






Particules





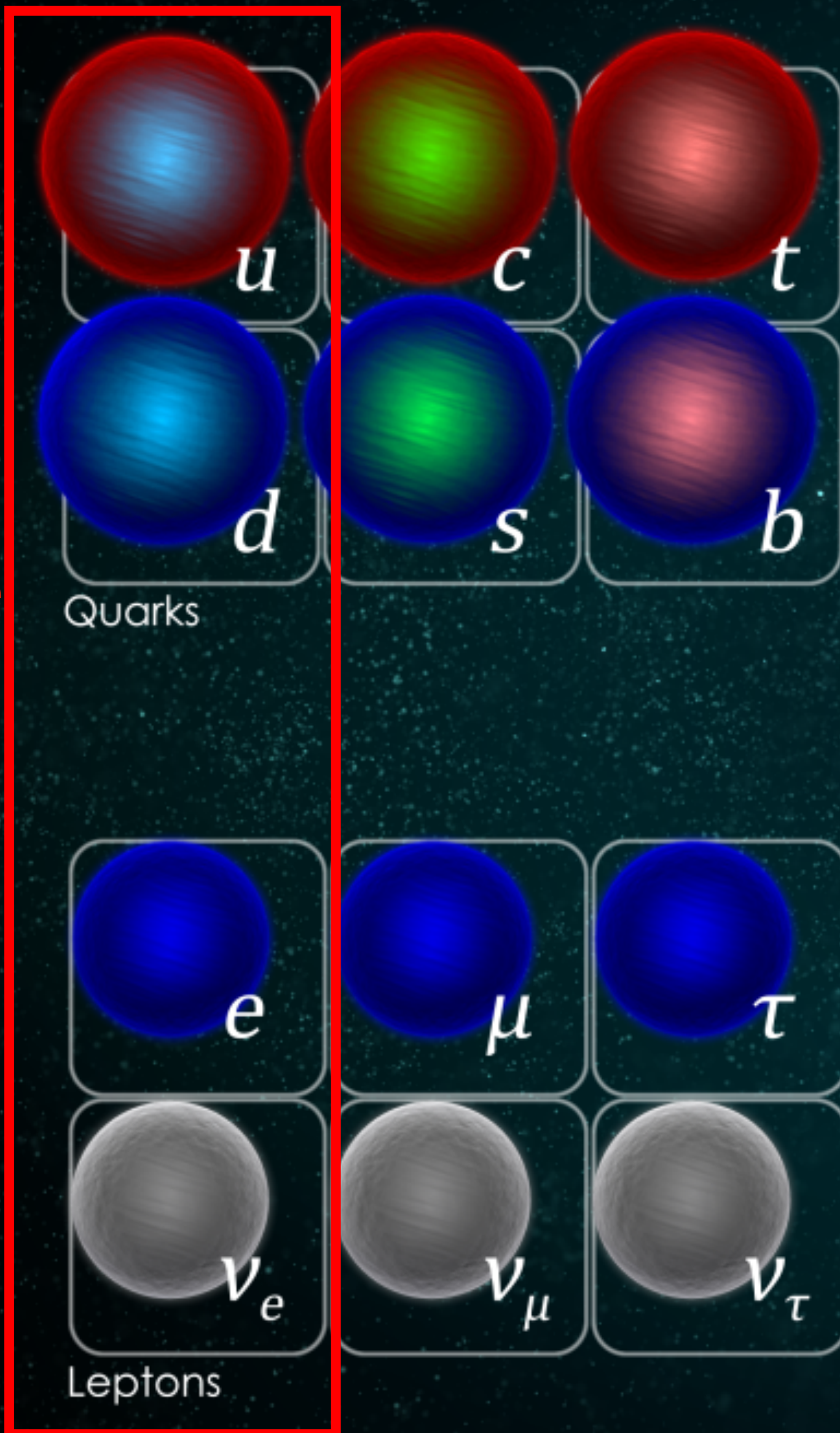
Physique atomique

Physique nucléaire

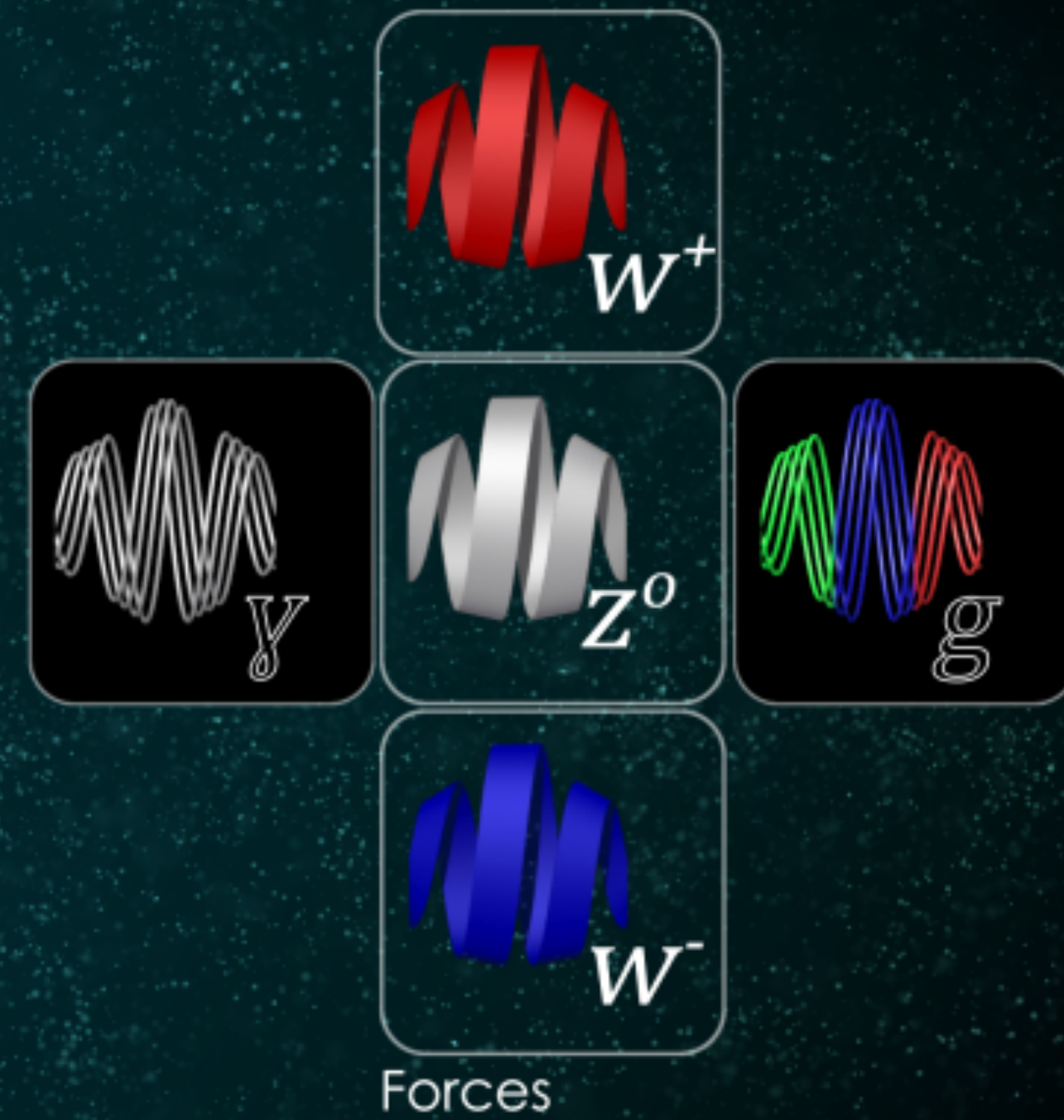
Physique des particules



# Briques



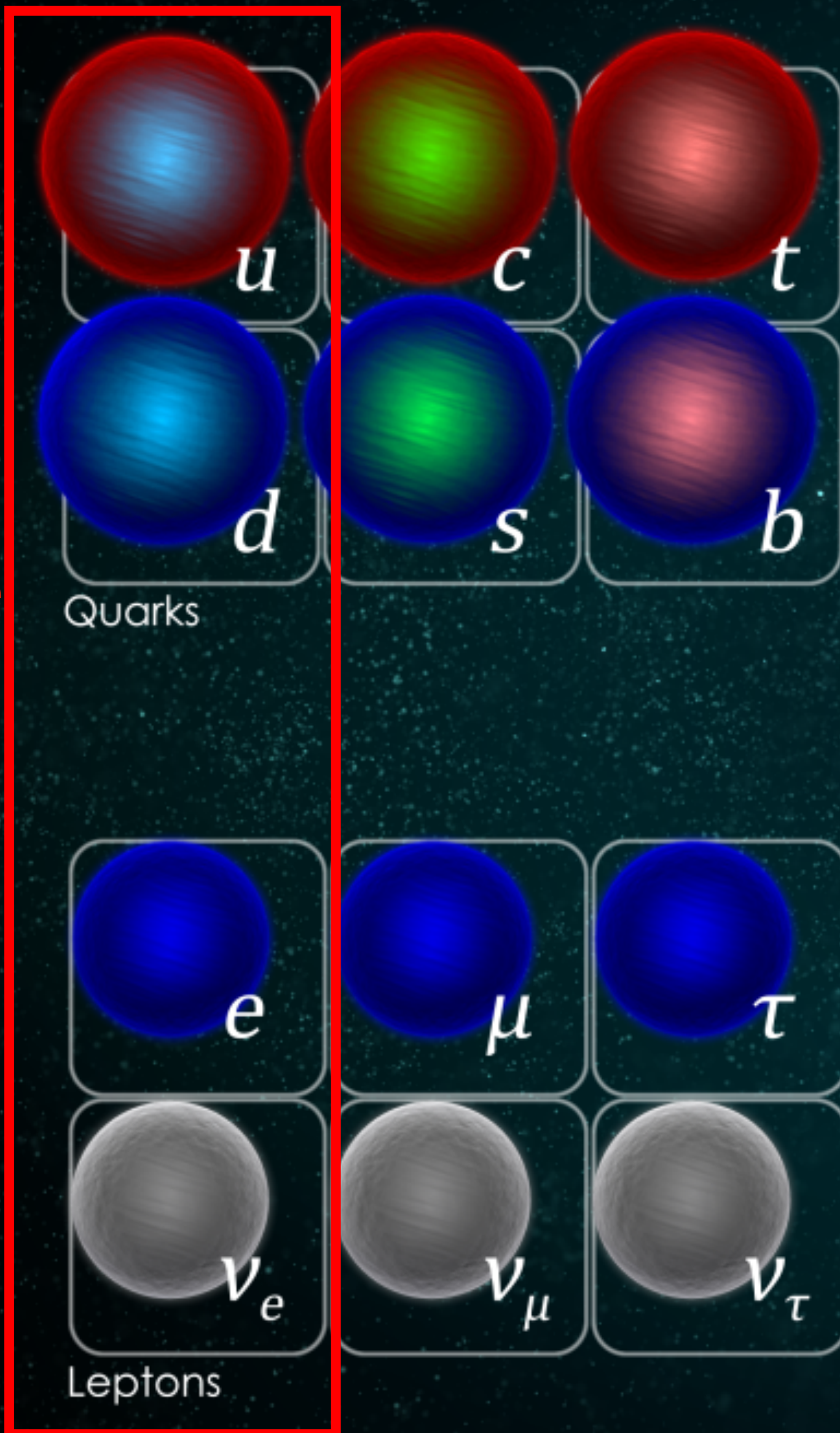
# Ciment



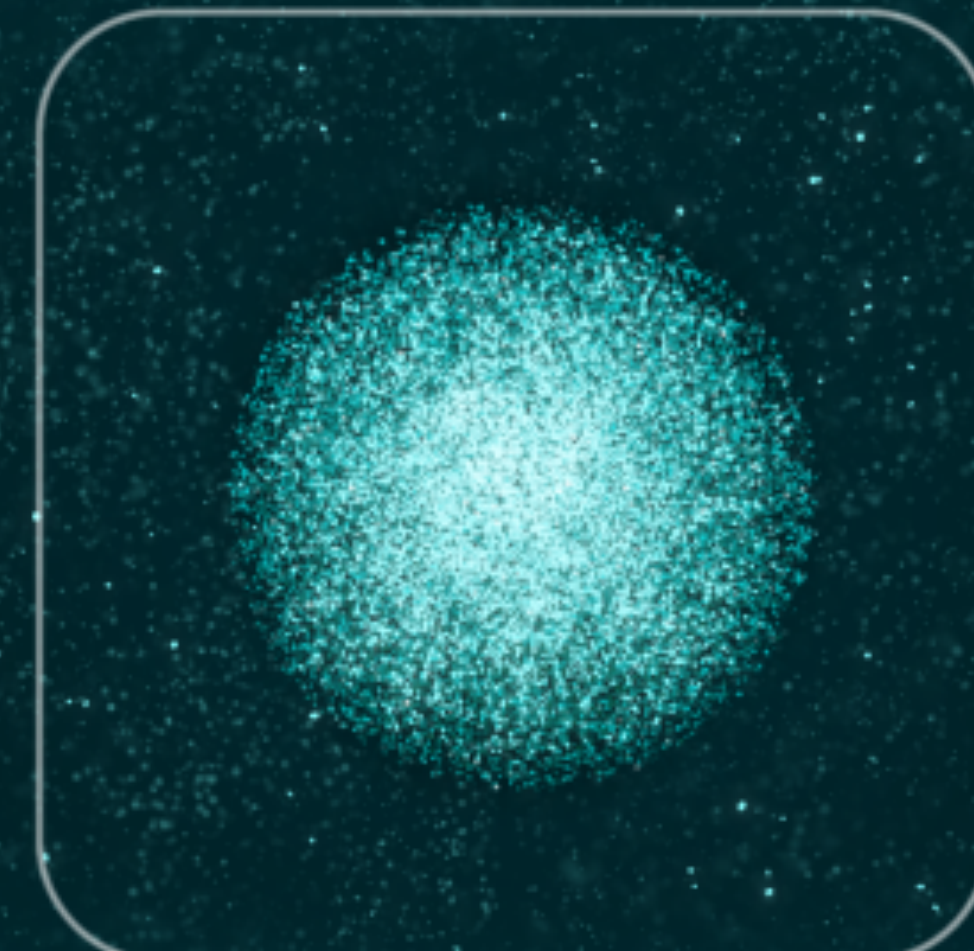
Modèle finalisé il y a 50 ans !



# Briques



Matière ordinaire



Higgs boson

# Ciment



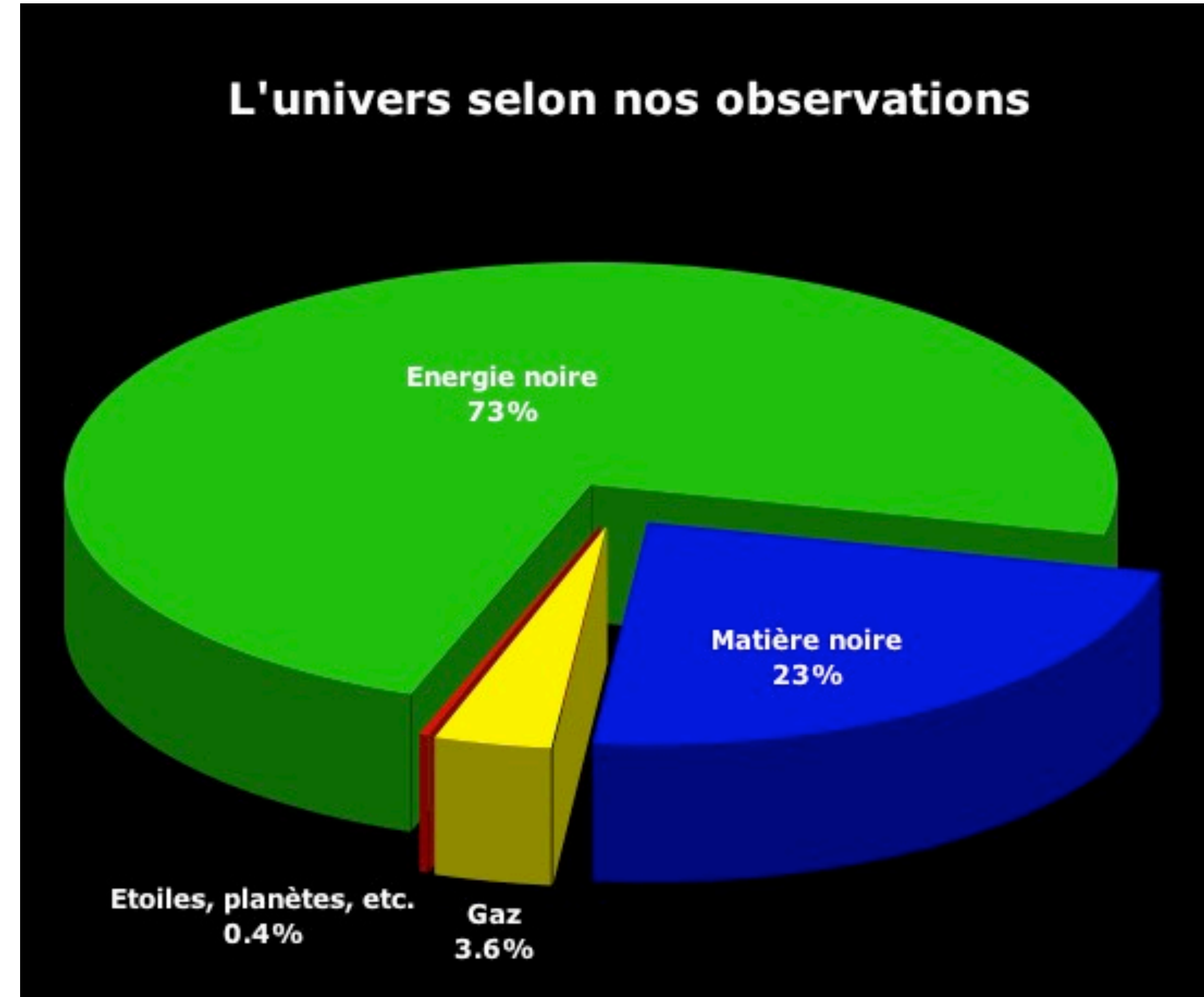
Découvert en 2012 !





# Encore beaucoup de questions !

- ❑ Qu'est-ce que la matière noire
- ❑ Existe-t-il des briques **inconnues** ?
- ❑ Peut-on **casser** les briques?
- ❑ Y'a t'il un graviton ?





# Et les réponses ?

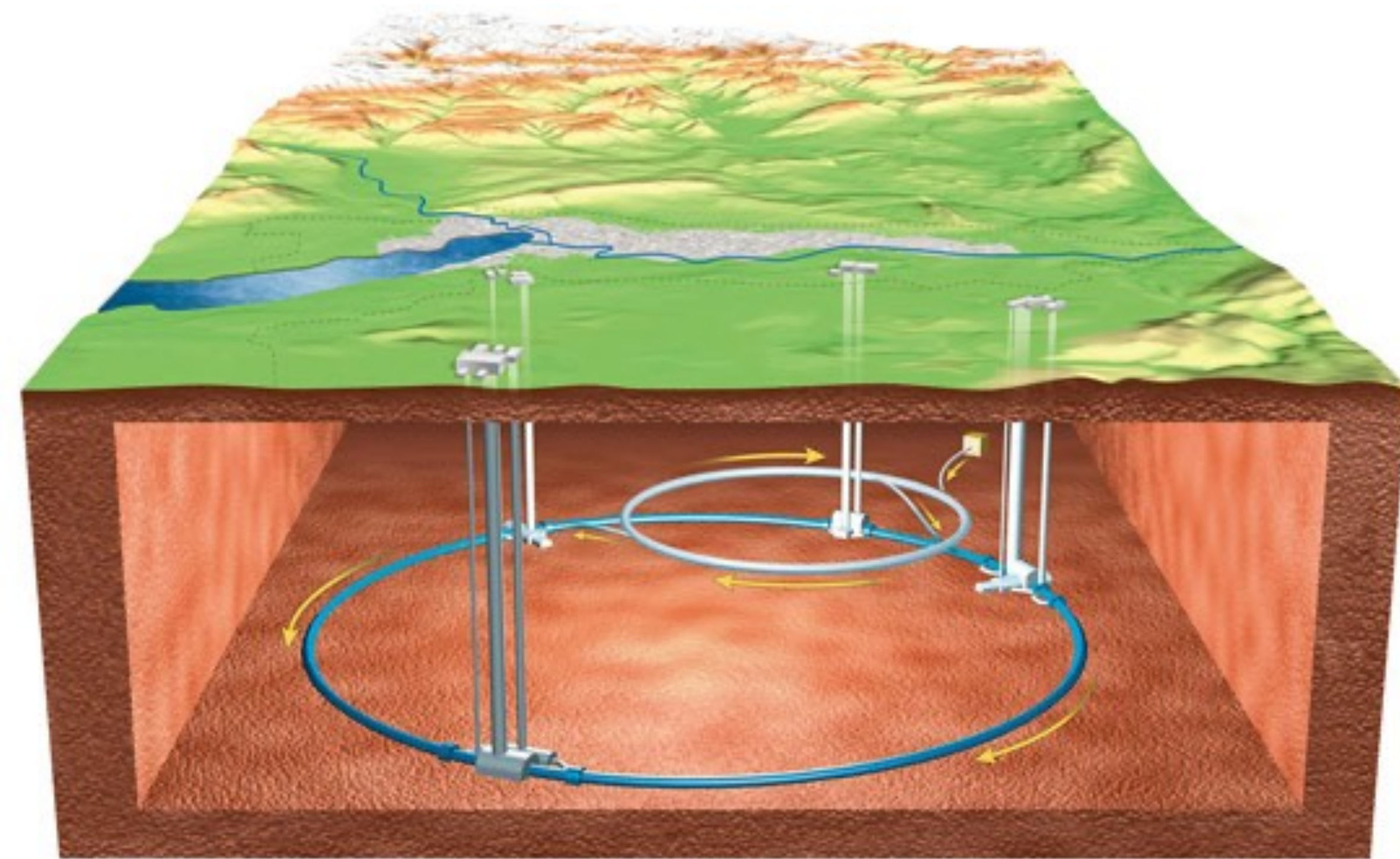
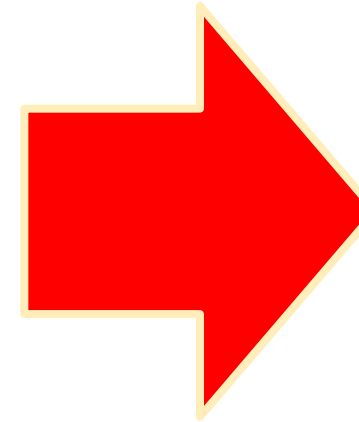
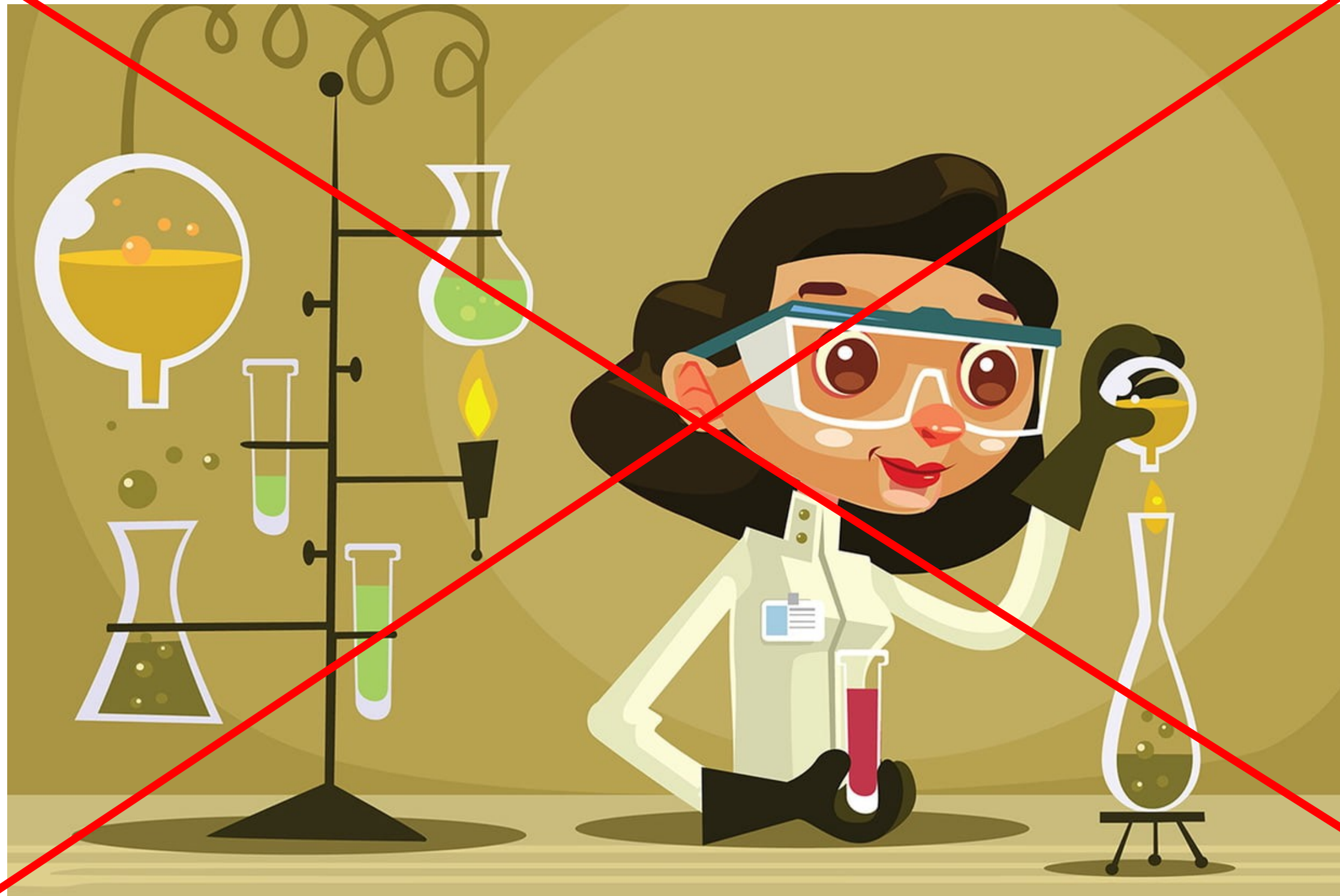
- On fait des **expériences** pour répondre à ces questions





# Et les réponses ?

- On fait des **expériences** pour répondre à ces questions

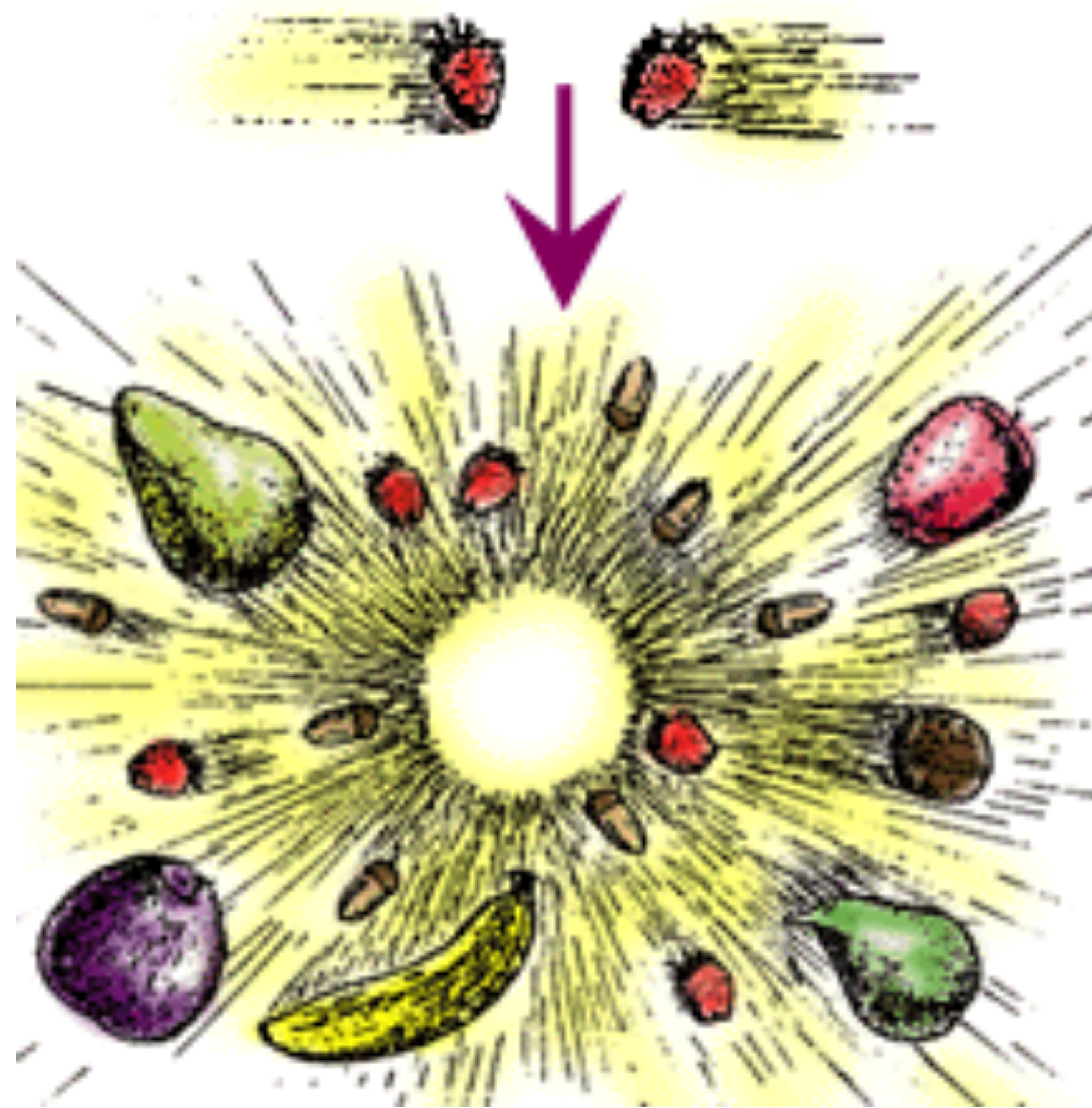


LHC



LHC = Large Hadron **Collider**

Accélérer, faire entrer en collision

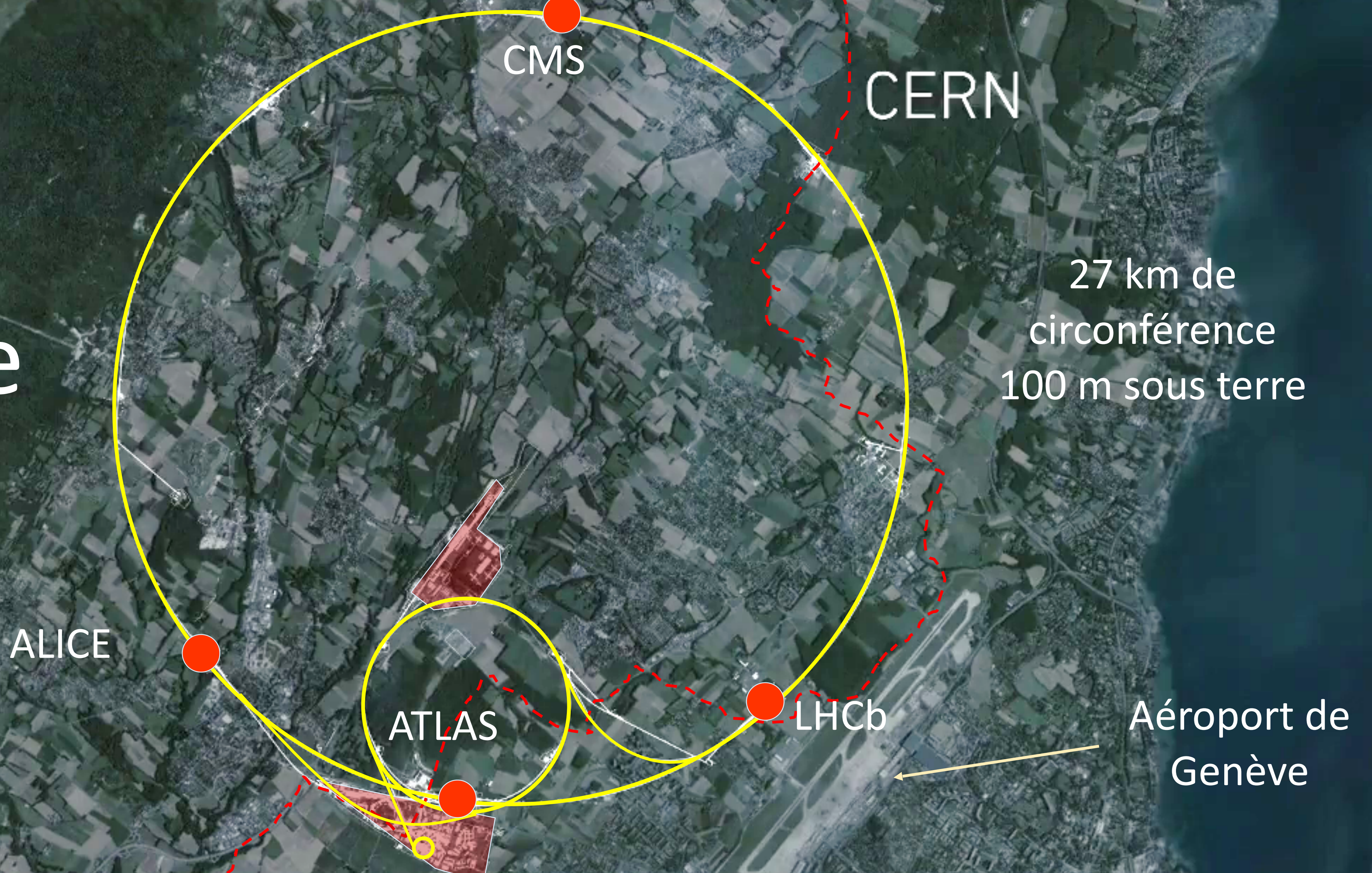


$$E = mc^2$$

Pour créer de la masse, il faut de l'énergie



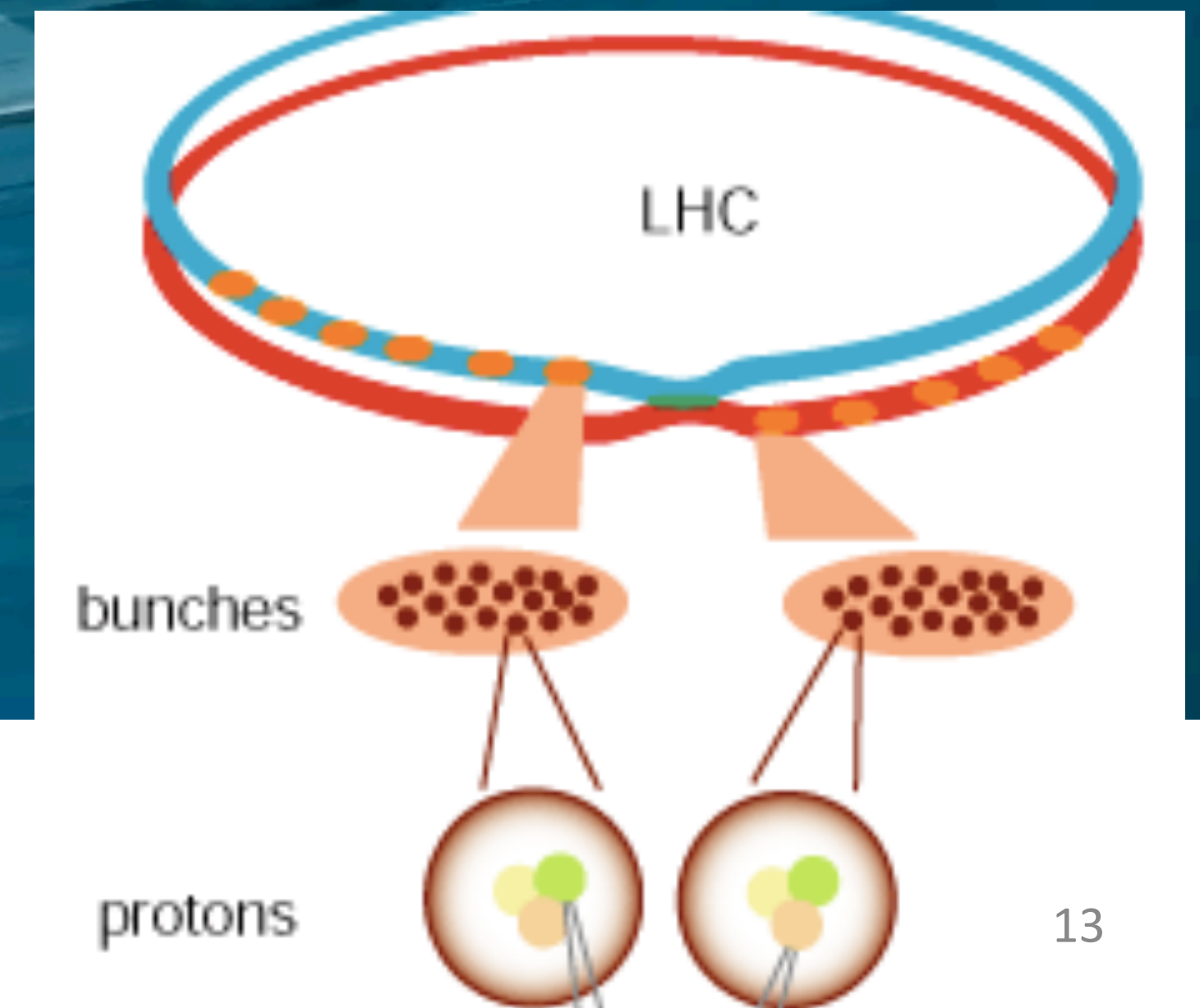
# La plus grande machine sur Terre





# Des millions de collisions

Paquets de 100 milliards de protons  
Croisement de paquets toutes les  
25 ns  $\rightarrow$  40 millions / s

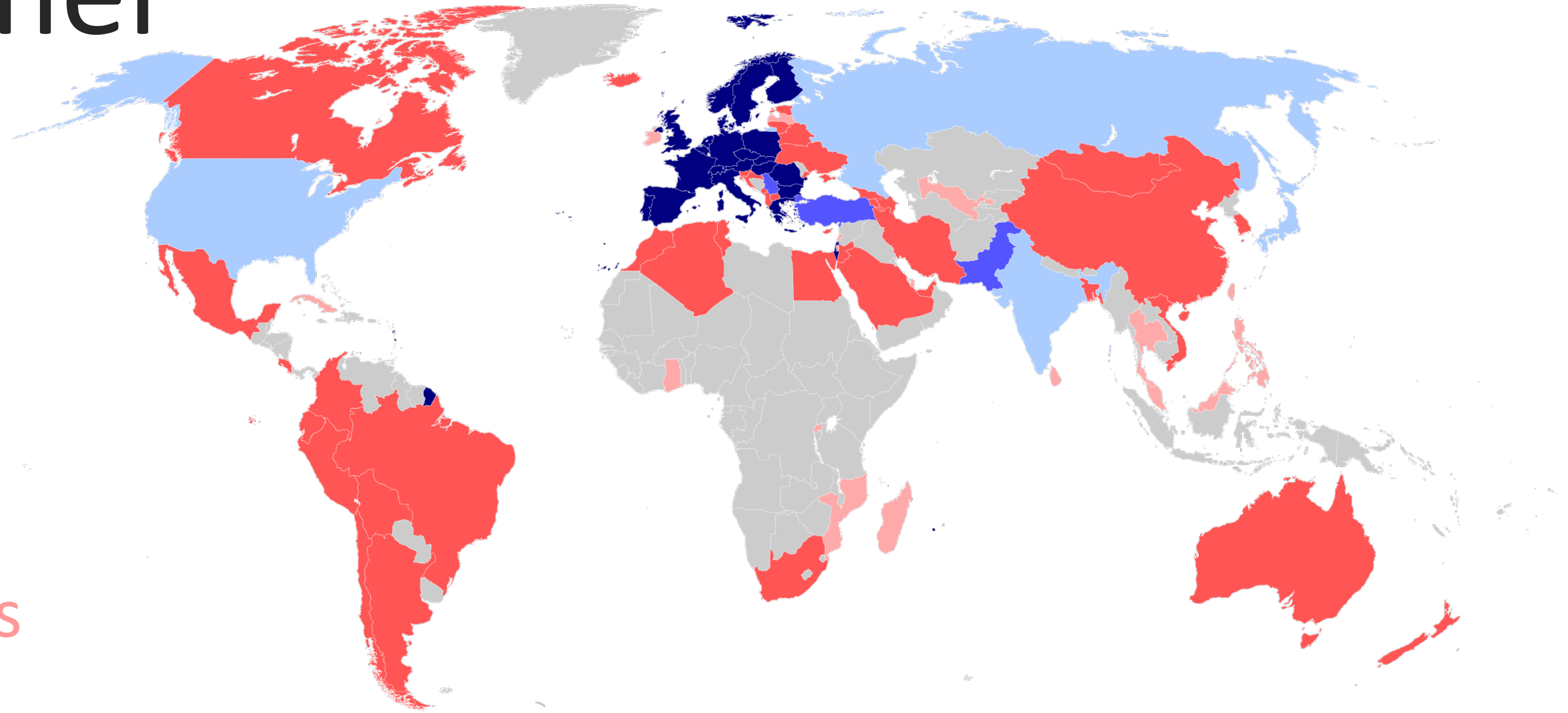




# Une collaboration mondiale pour tout faire marcher

Plus de 80 pays

~3000 scientifiques



***L'anglais est la langue « commune »***

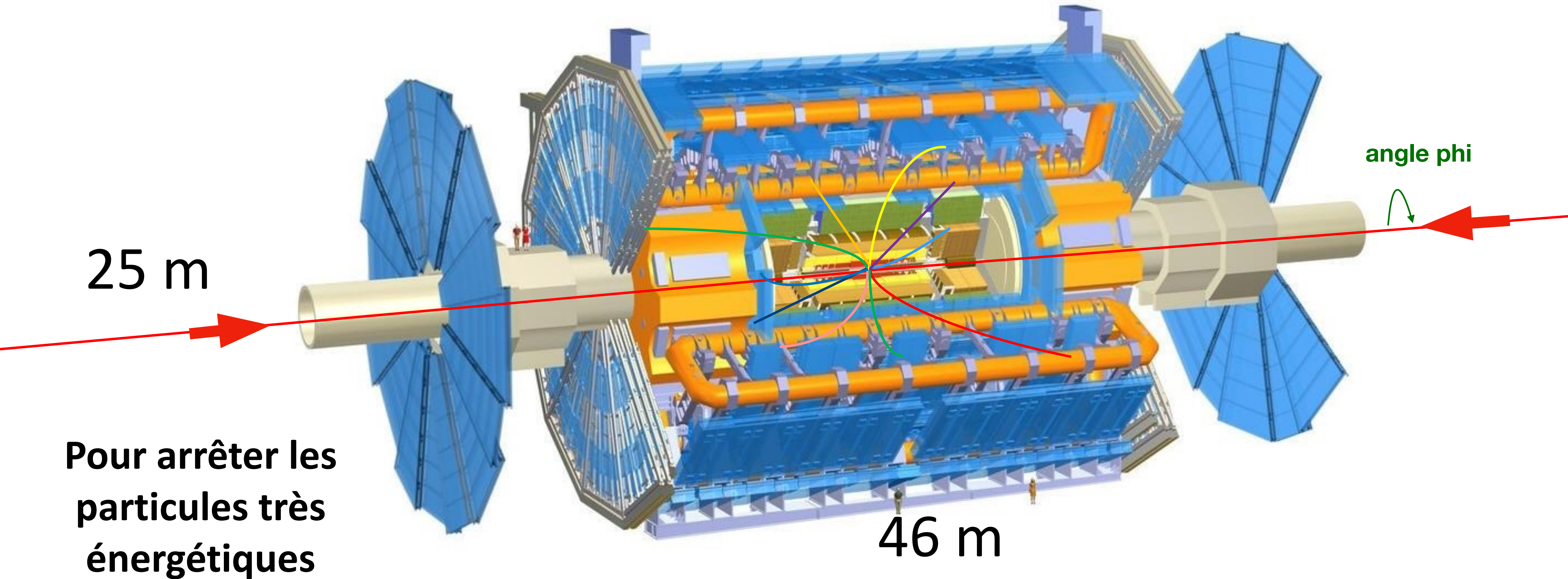




Détecter les particules  
et les identifier



# Le plus grand détecteur : ATLAS



7000 tonnes, 3000 km de câbles, 100 millions de canaux



# Carte d'identité d'une particule

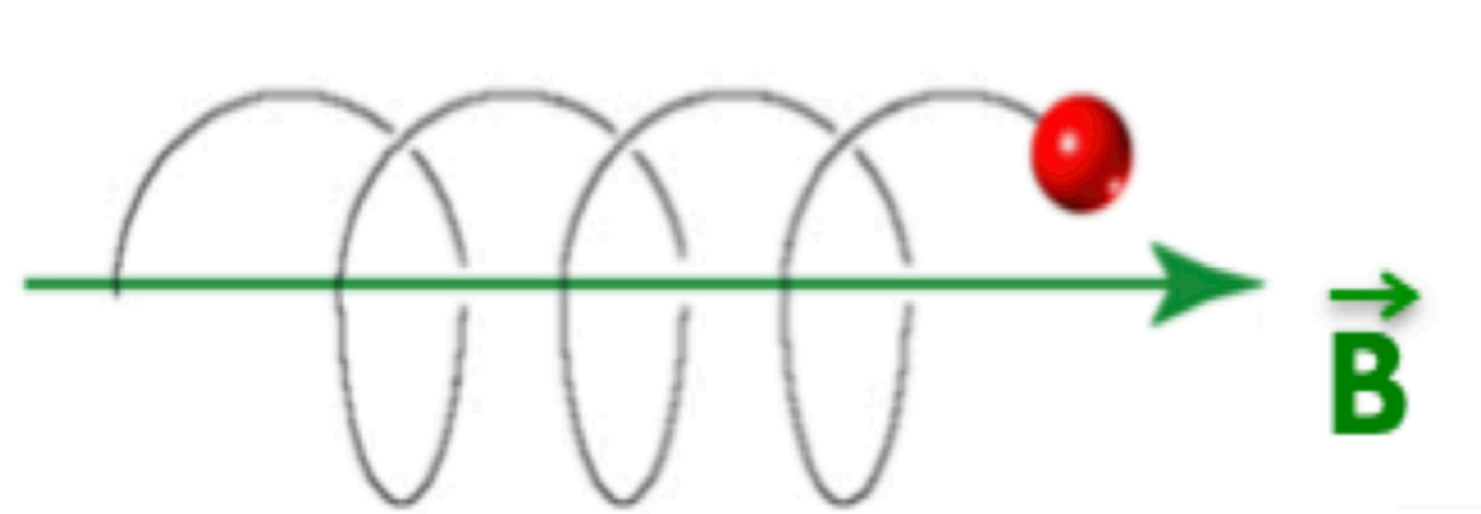
	fermions (3 générations de la matière)			bosons (forces)	
	I	II	III		
masse →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0	électromagnétisme
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
nom →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b><math>\gamma</math></b> photon	
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0	interaction forte
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon	
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV	interaction faible
	0	0	0	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	<b><math>\nu_e</math></b> neutrino électronique	<b><math>\nu_\mu</math></b> neutrino muonique	<b><math>\nu_\tau</math></b> neutrino tauique	<b><math>Z^0</math></b> boson $Z^0$	
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV	interaction faible
	-1	-1	-1	$\pm 1$	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	<b>e</b> électron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau	<b><math>W^\pm</math></b> boson W	

- Masse
- Charge électrique
- Energie
- Interaction subie



# Les particules chargées

- Sont déviées dans un champs magnétique
  - courbure dépend de sa vitesse et sa masse



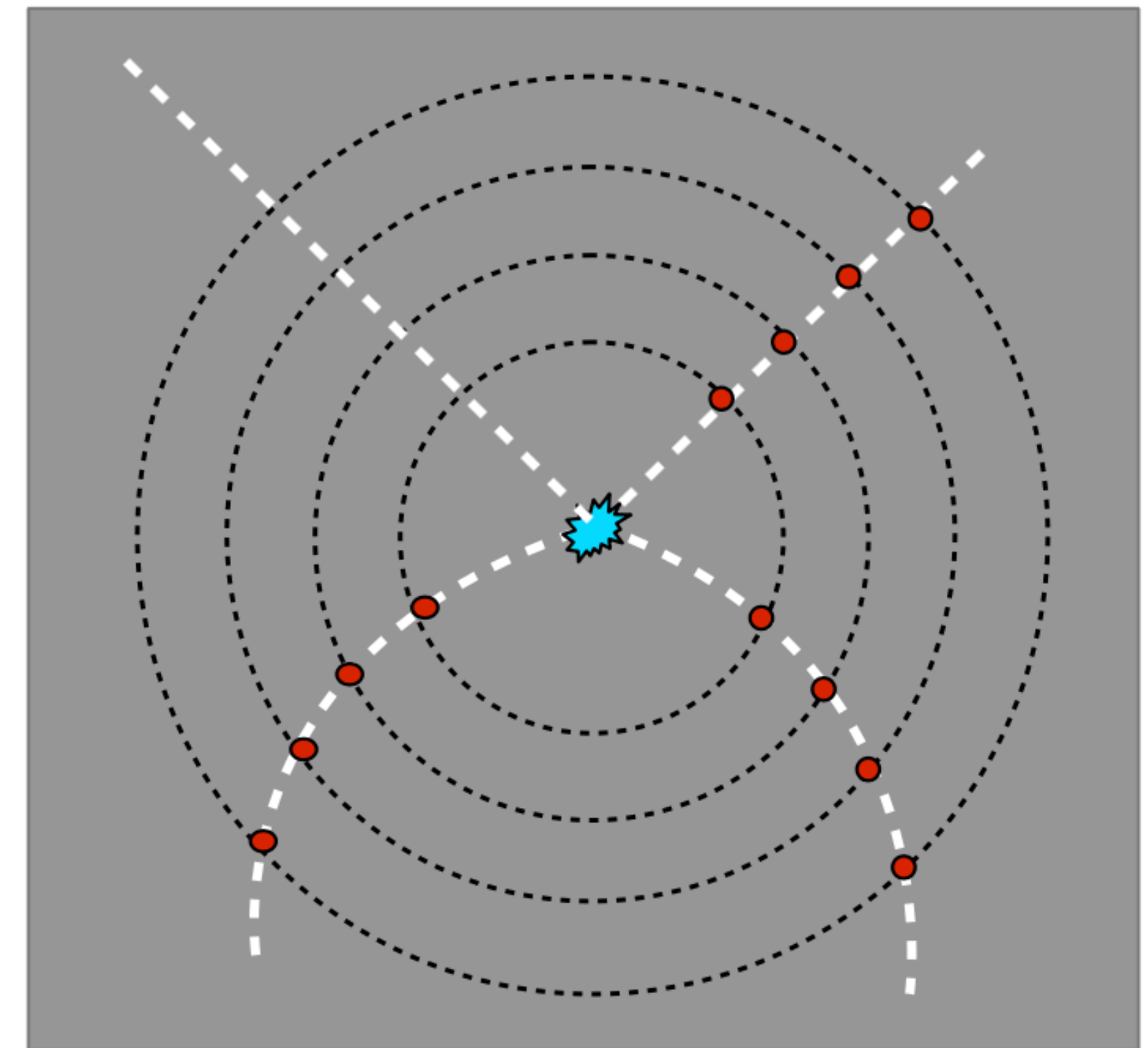
$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Quantité de mouvement

- Arrachent électrons sur leur passage
  - champ électrique -> signal dans le détecteur

Particule neutre :  
pas de points  
de mesure !

Particule chargée  
très énergétique :  
pas de courbure !



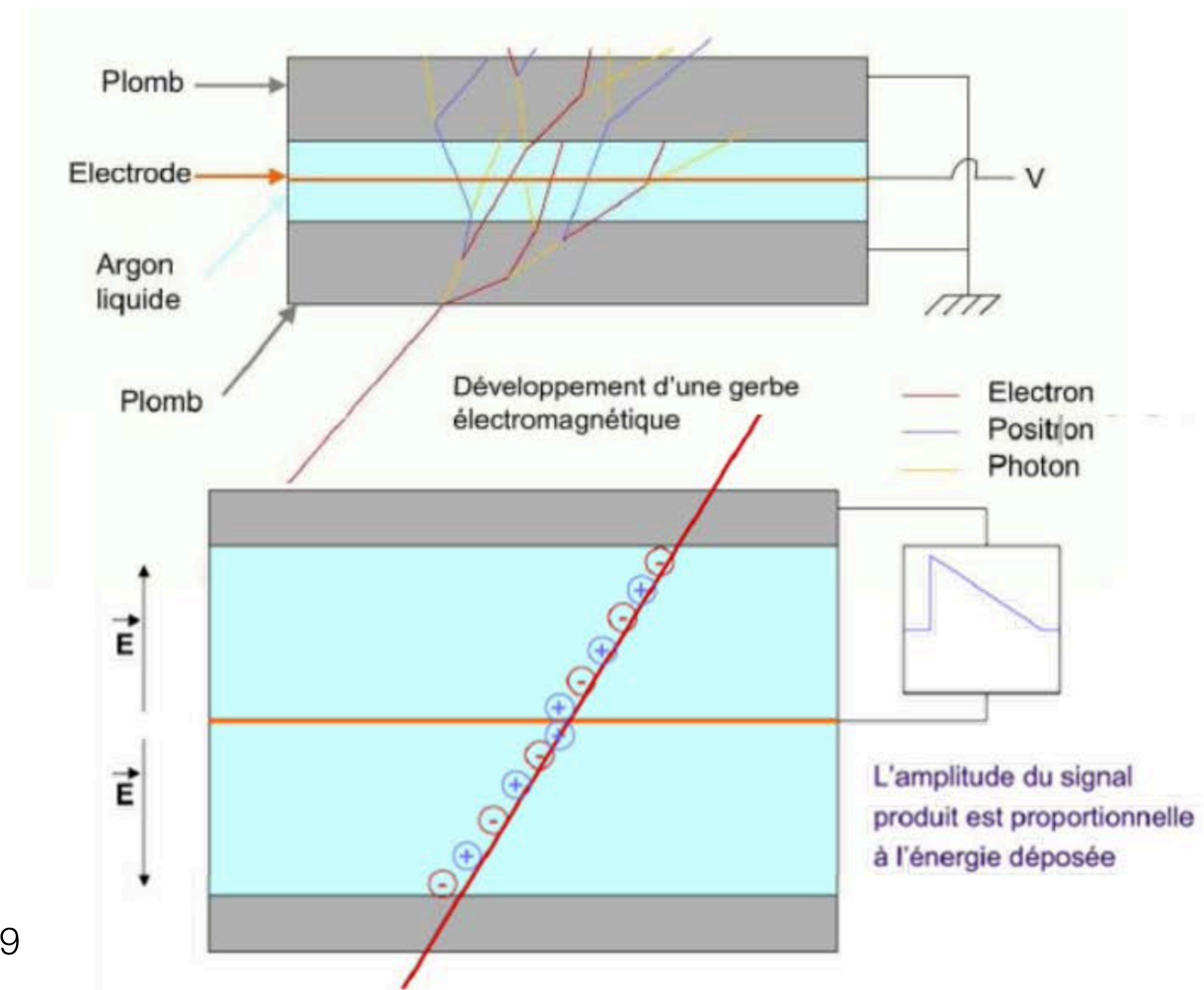
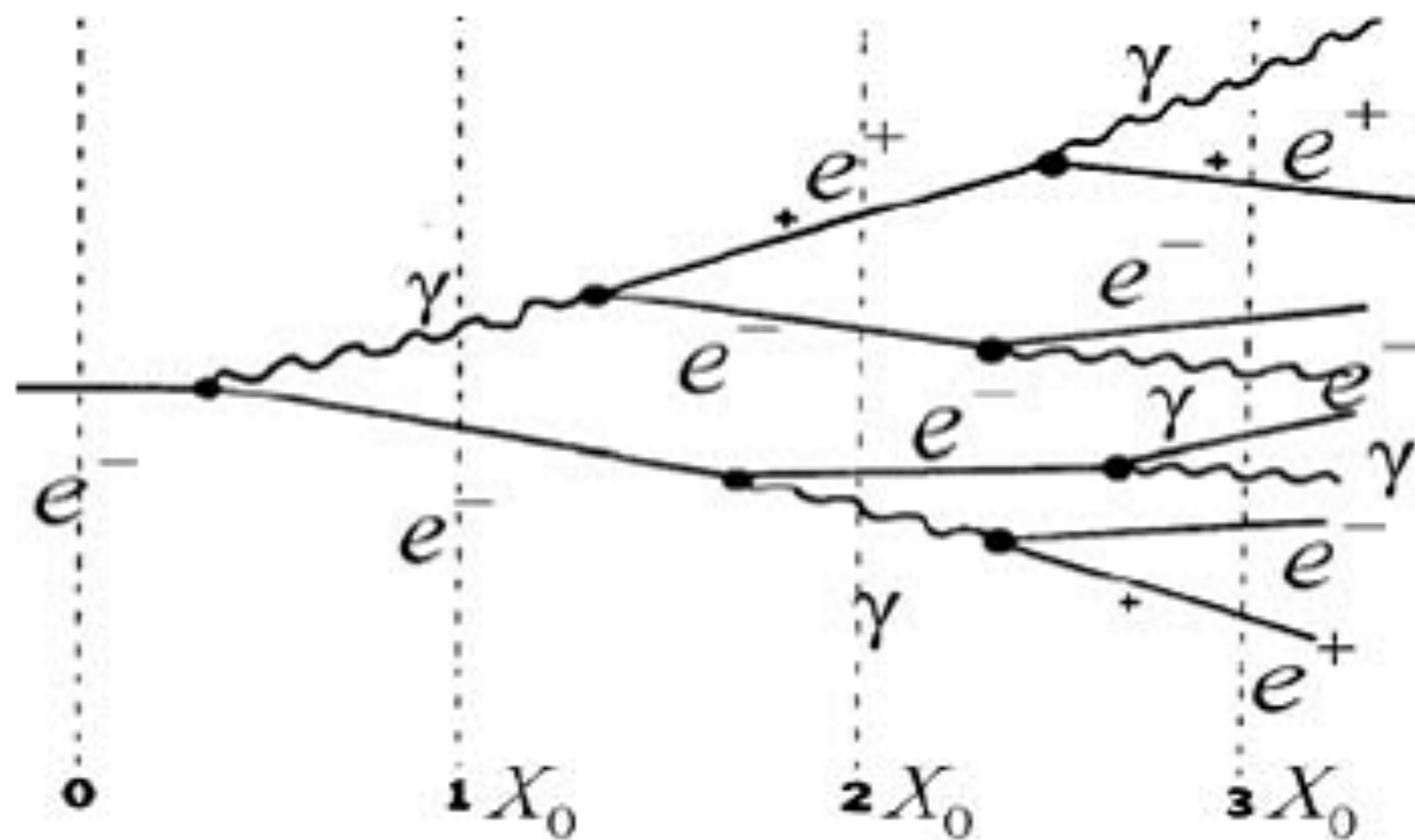
Particule chargée  
négativement

Particule chargée  
positivement



# L'énergie d'une particule

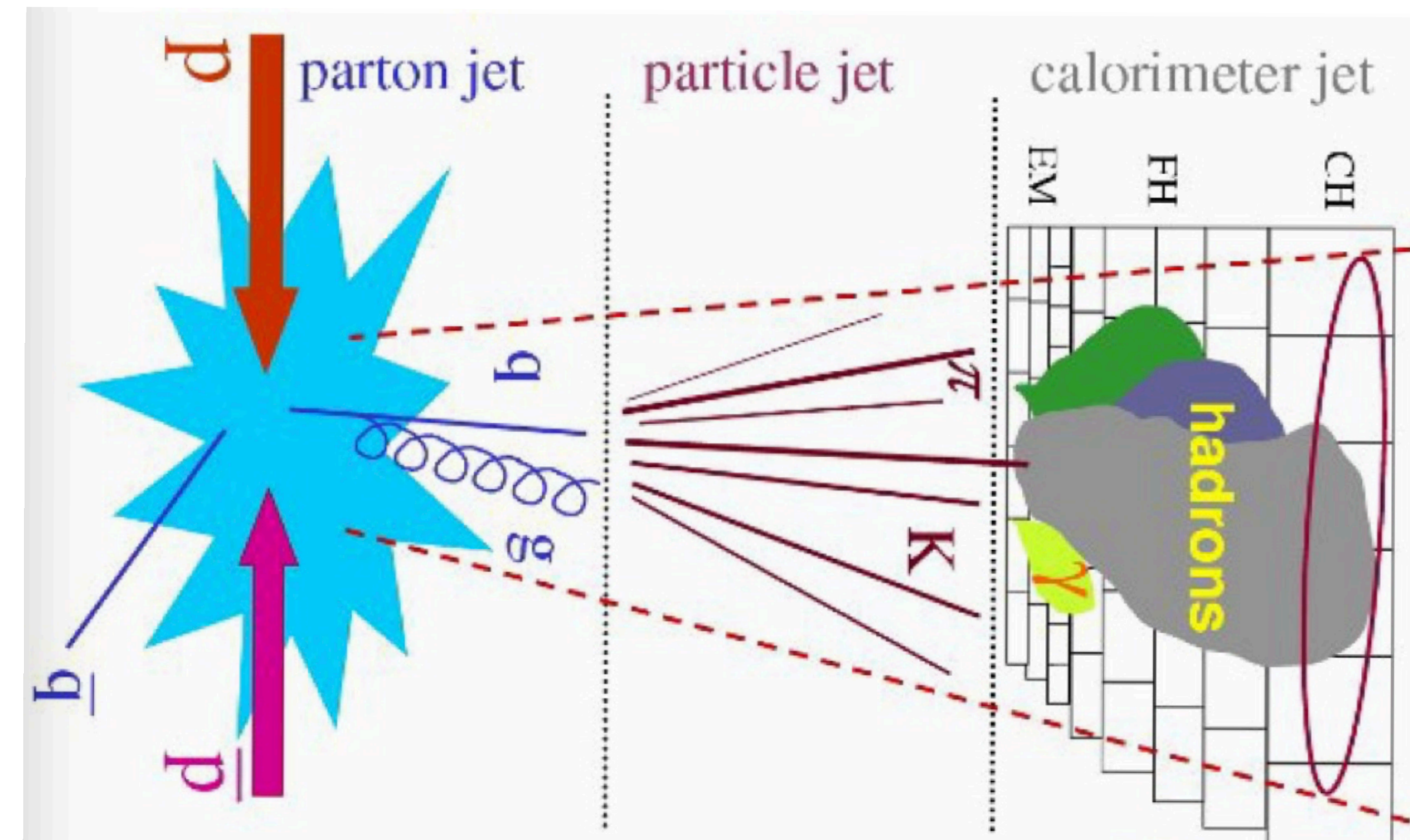
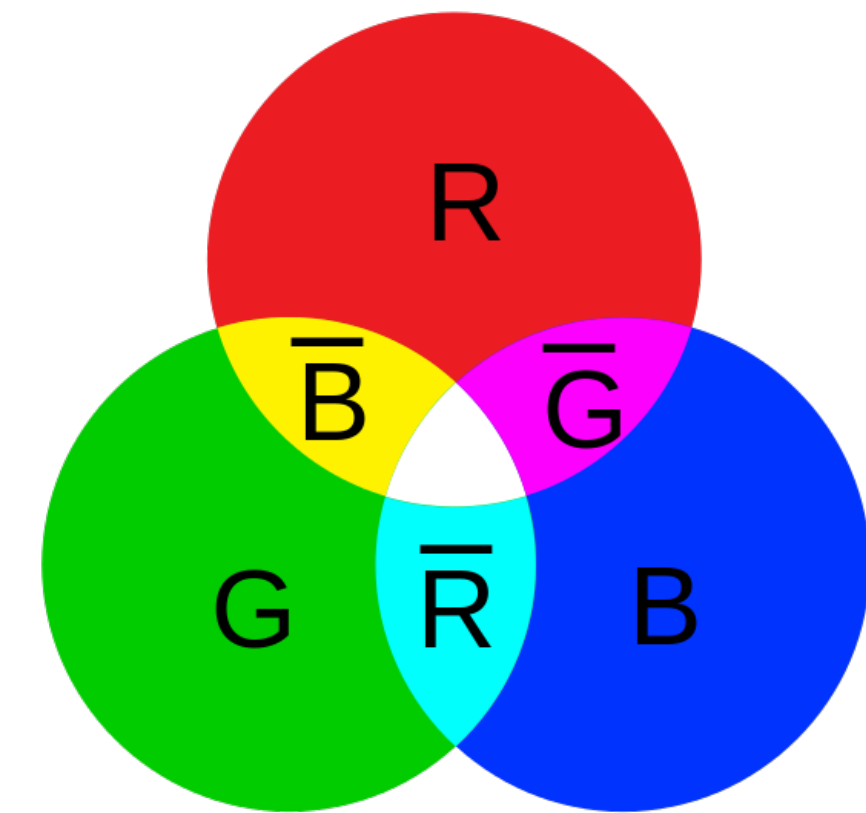
- Les particules déposent de l'énergie dans la matière du détecteur en se désintégrant. L'énergie des particules filles est transformée en courant électrique
  - il faut qu'il y ait beaucoup de matière, pour pouvoir arrêter la particule et mesurer toute son énergie





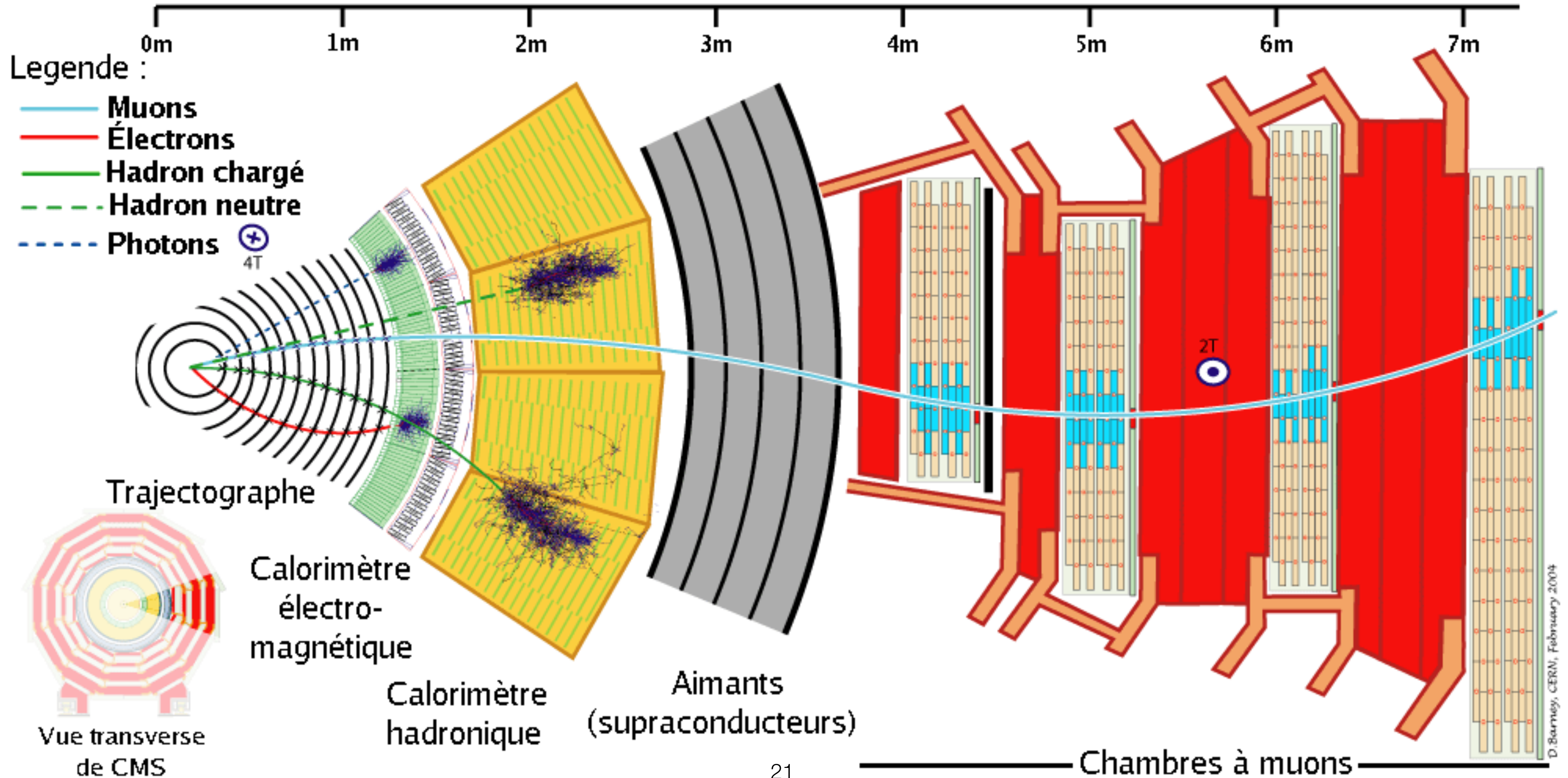
# Les particules hadroniques

- Contiennent des quarks (ex: proton, neutron, pion, ...)
- Subissent l'interaction forte
- Plus lourdes que les particules électromagnétiques (electron, photon)
- Un quark ou un gluon ne peut pas « exister » tout seul, s'il est produit seul, il « s'habille » avec d'autres quarks
  - cela produit des « jets » dans le détecteur



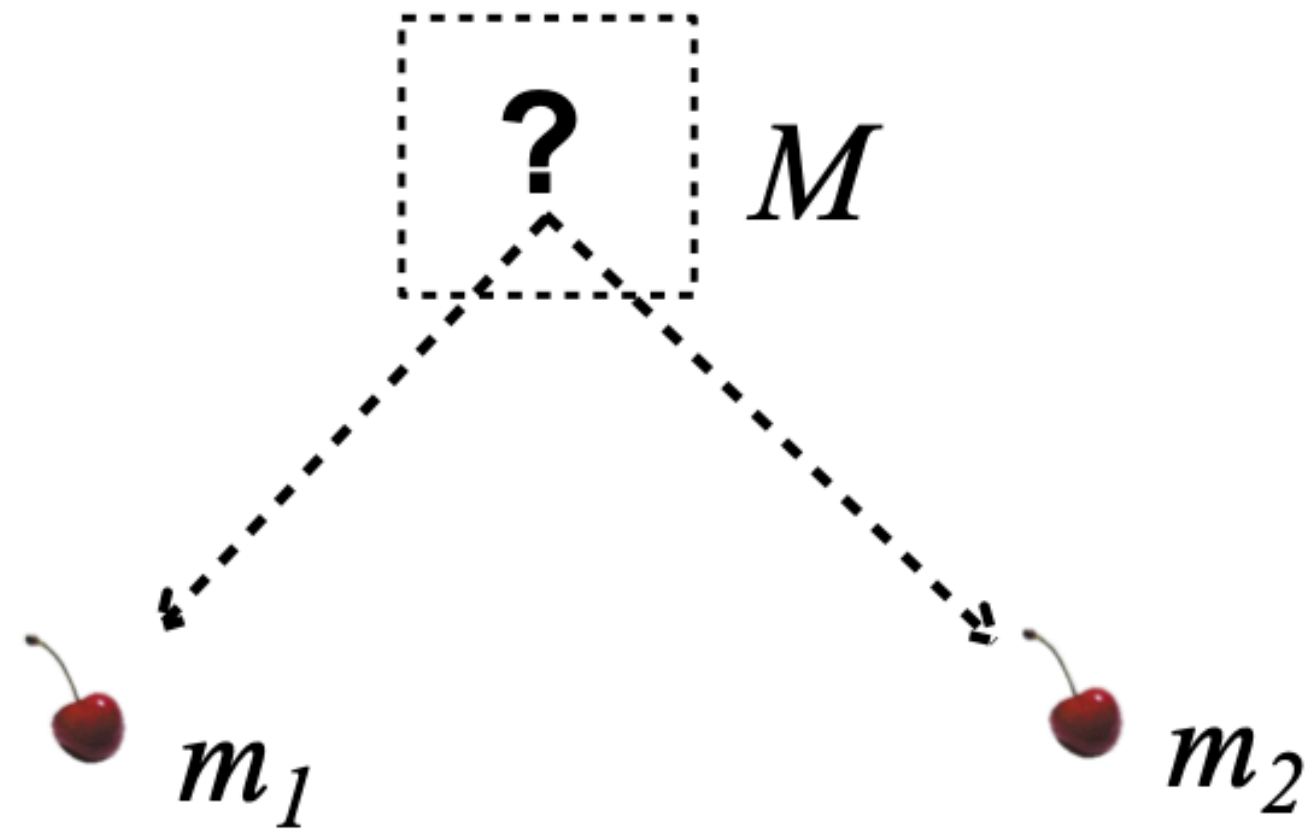


# Résumé

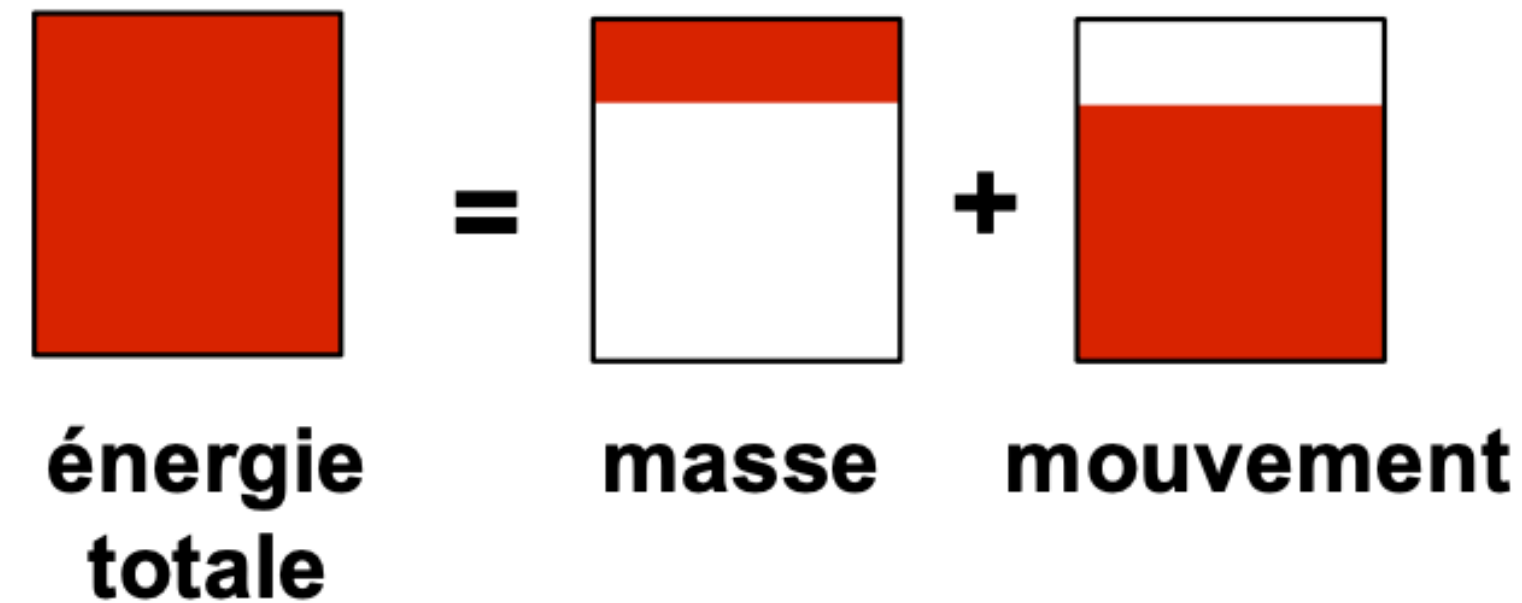




# Comment retrouver la particule de départ ?



$$M > m_1 + m_2$$



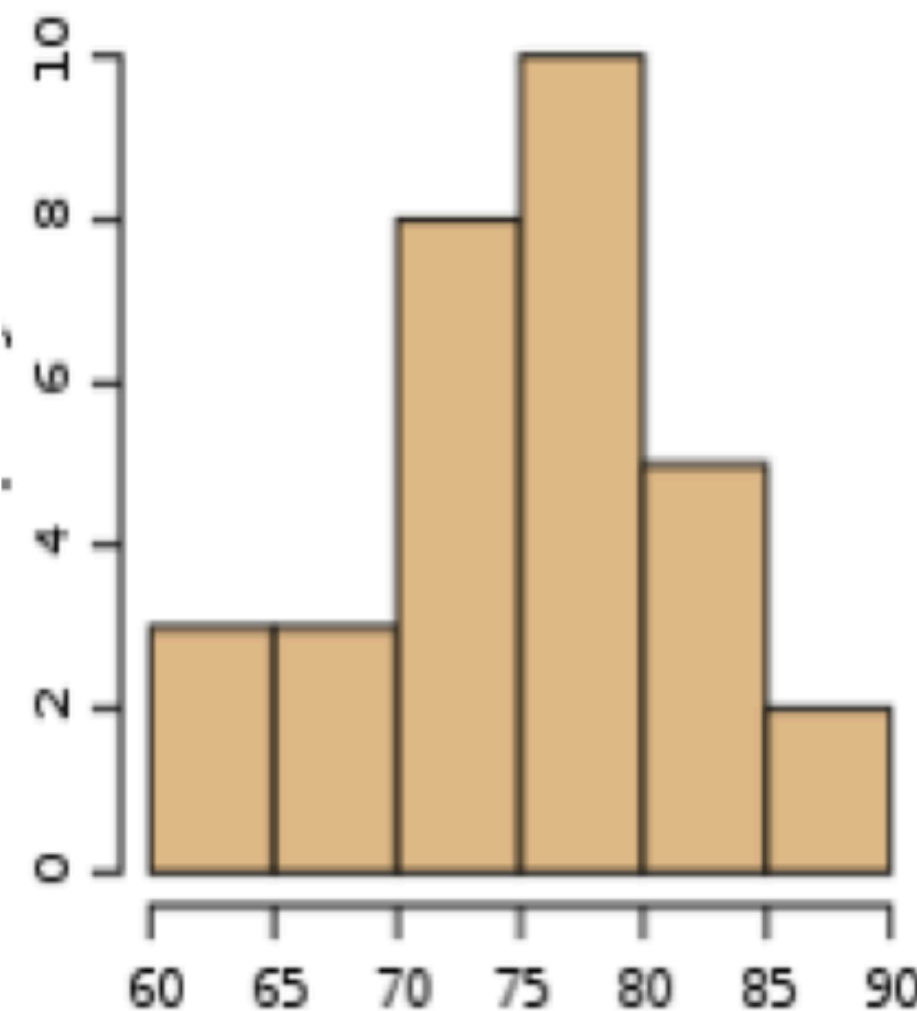
**Pour reconstruire la masse des particules désintégrées, il faut mesurer l'énergie et la masse de toutes les particules produites lors de la collision**



# Histogrammes et mesures

- Une mesure est **toujours** entachée d'incertitude :

- **Précision** de l'instrument de mesure
- **Calibration** de l'instrument
- **Erreur de manipulation**
- **Fluctuations statistiques**



Masse [GeV]

- Pour **limiter** ces erreurs, il faut :

- **Faire un grand nombre de mesures**
- Utiliser des **objets connus** pour calibrer notre instrument
- Si possible, réaliser la même mesure plusieurs fois avec des **instruments différents**

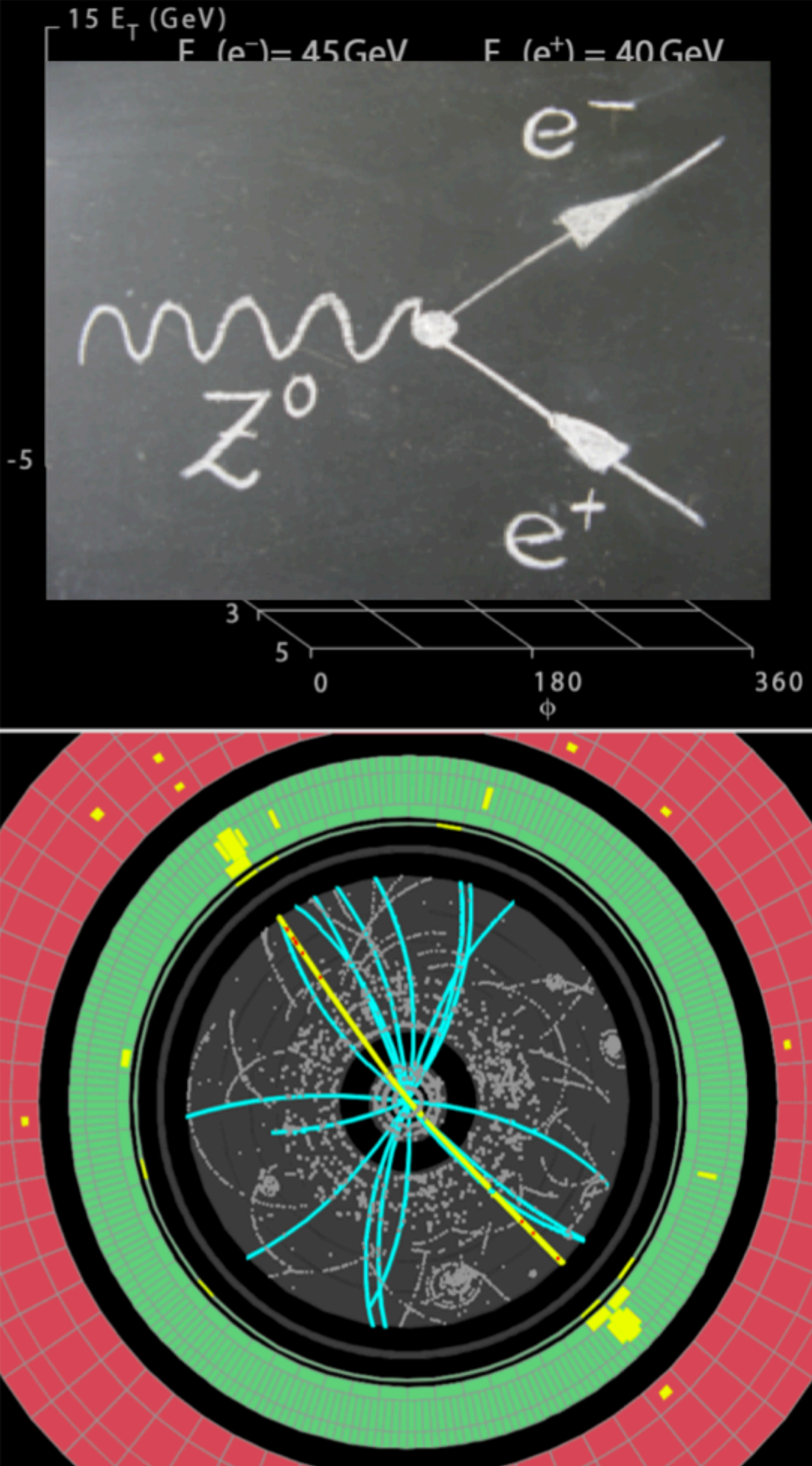
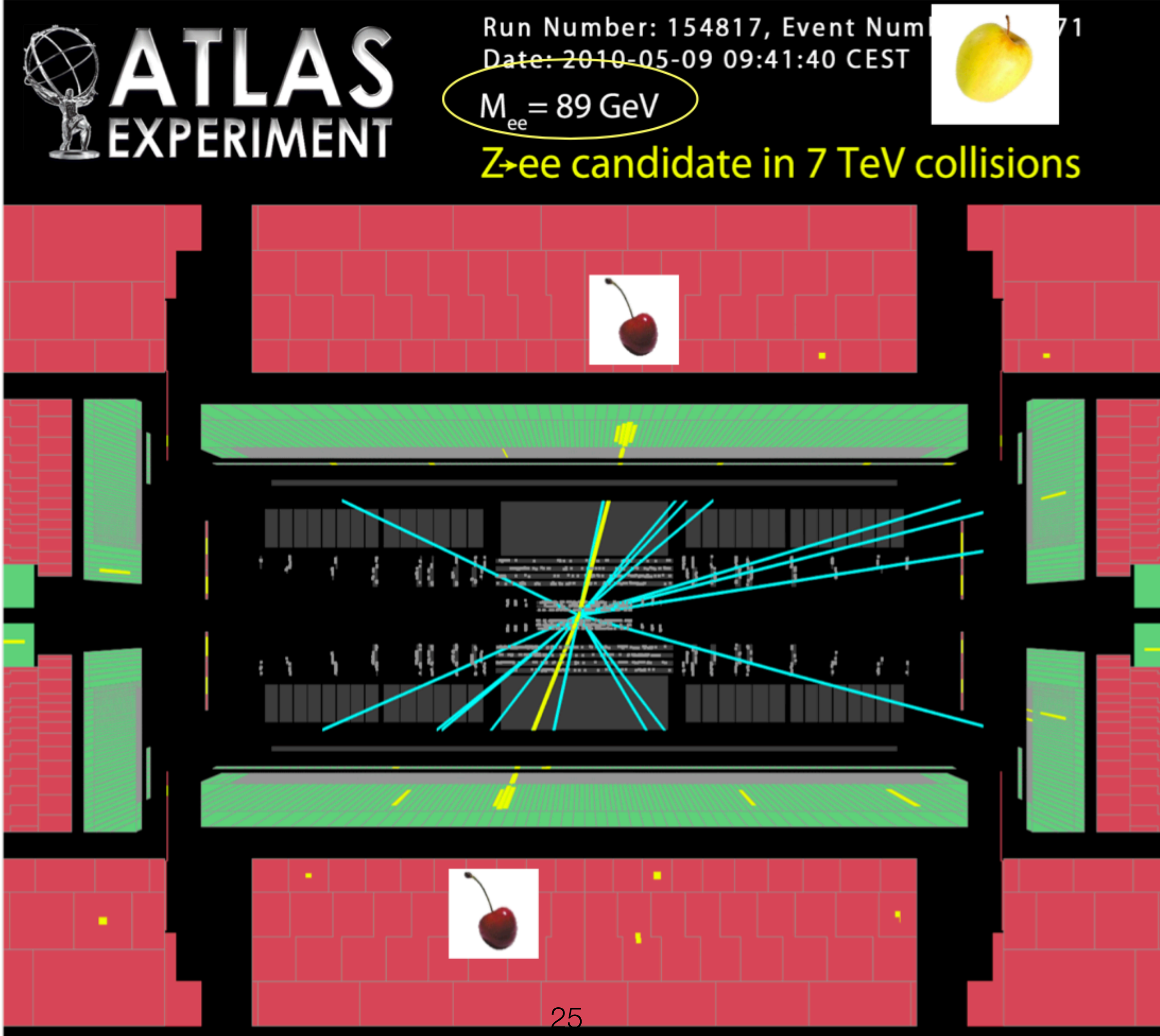


**A vous de jouer !**



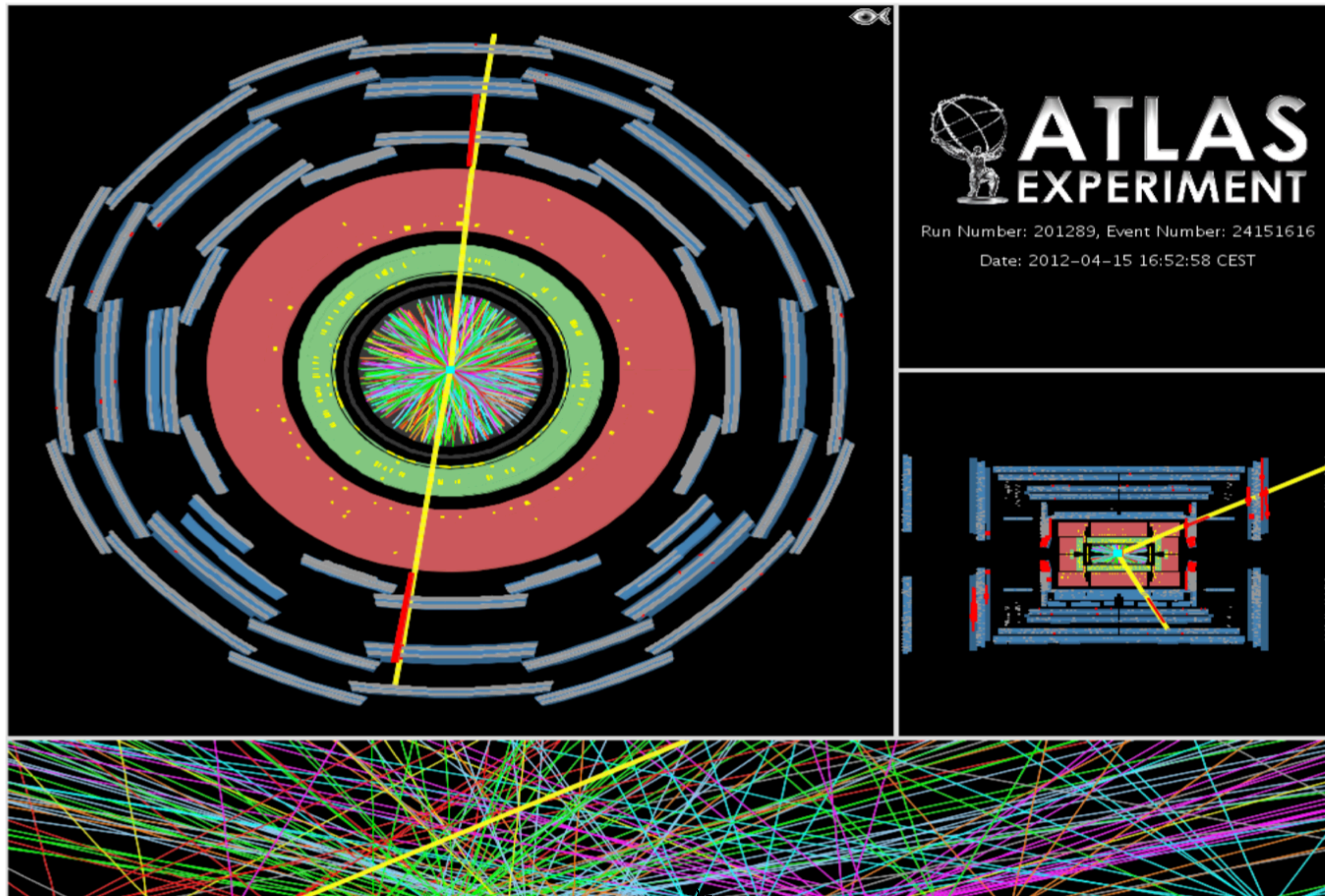
# Electrons

- Le boson Z (comme beaucoup d'autres particules), est très instable et se désintègre très rapidement.
- Seuls les produits de sa désintégration seront visibles dans notre détecteur



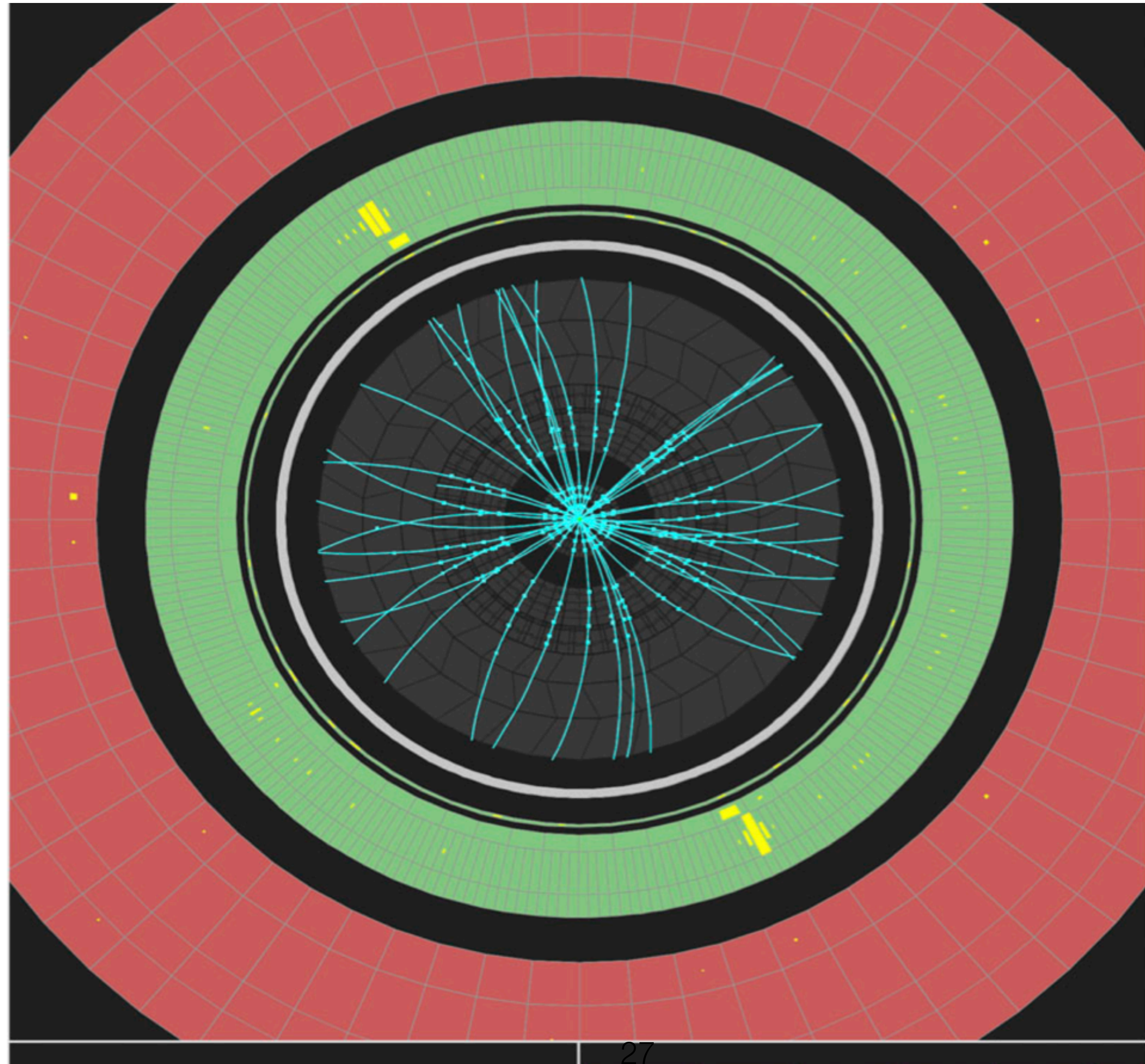


# Muons





# Photons





# Jets

