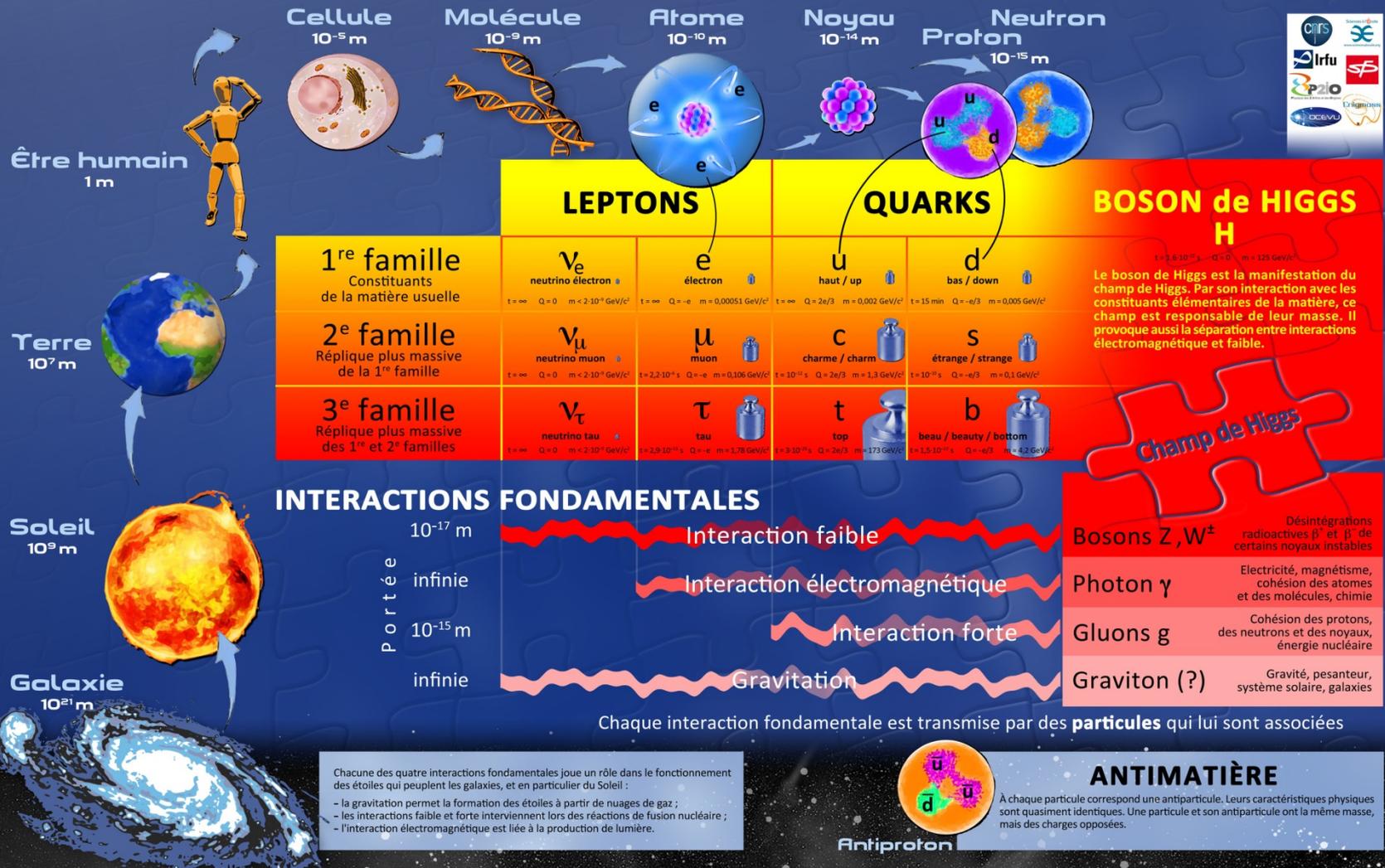


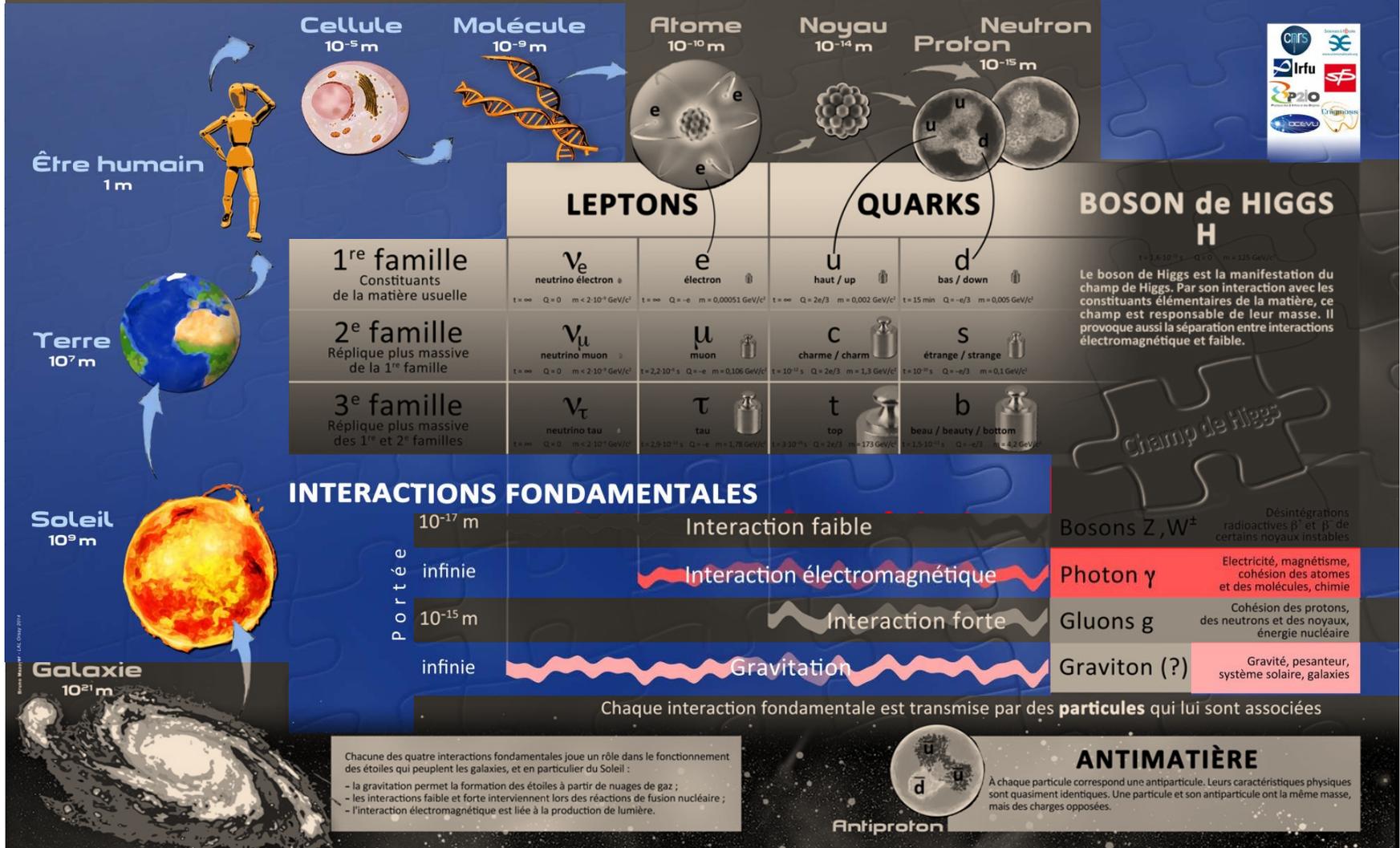
Retour vers le futur ...

Composants élémentaires de la matière



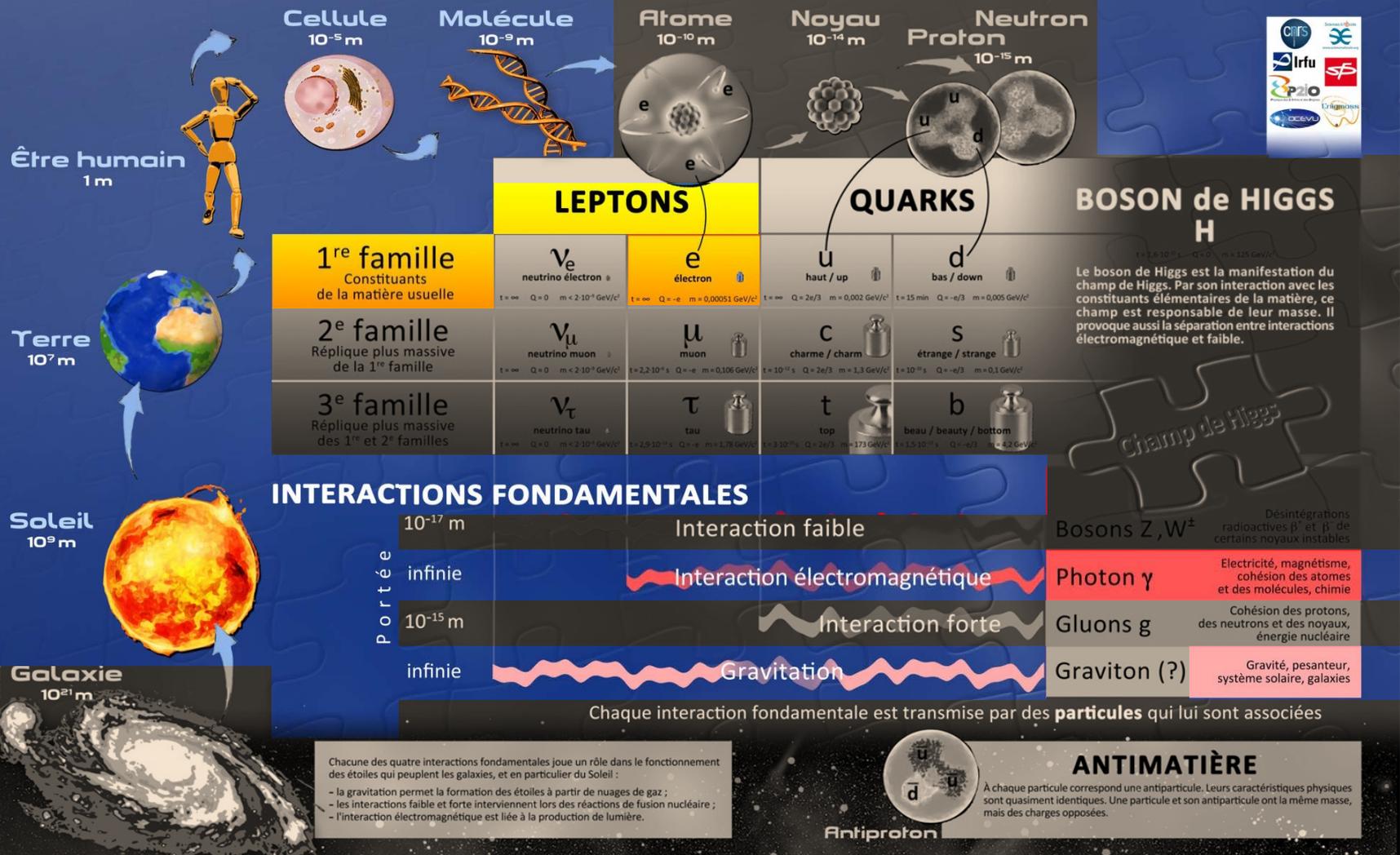
Situation au tout début du XX^e siècle

Composants élémentaires de la matière



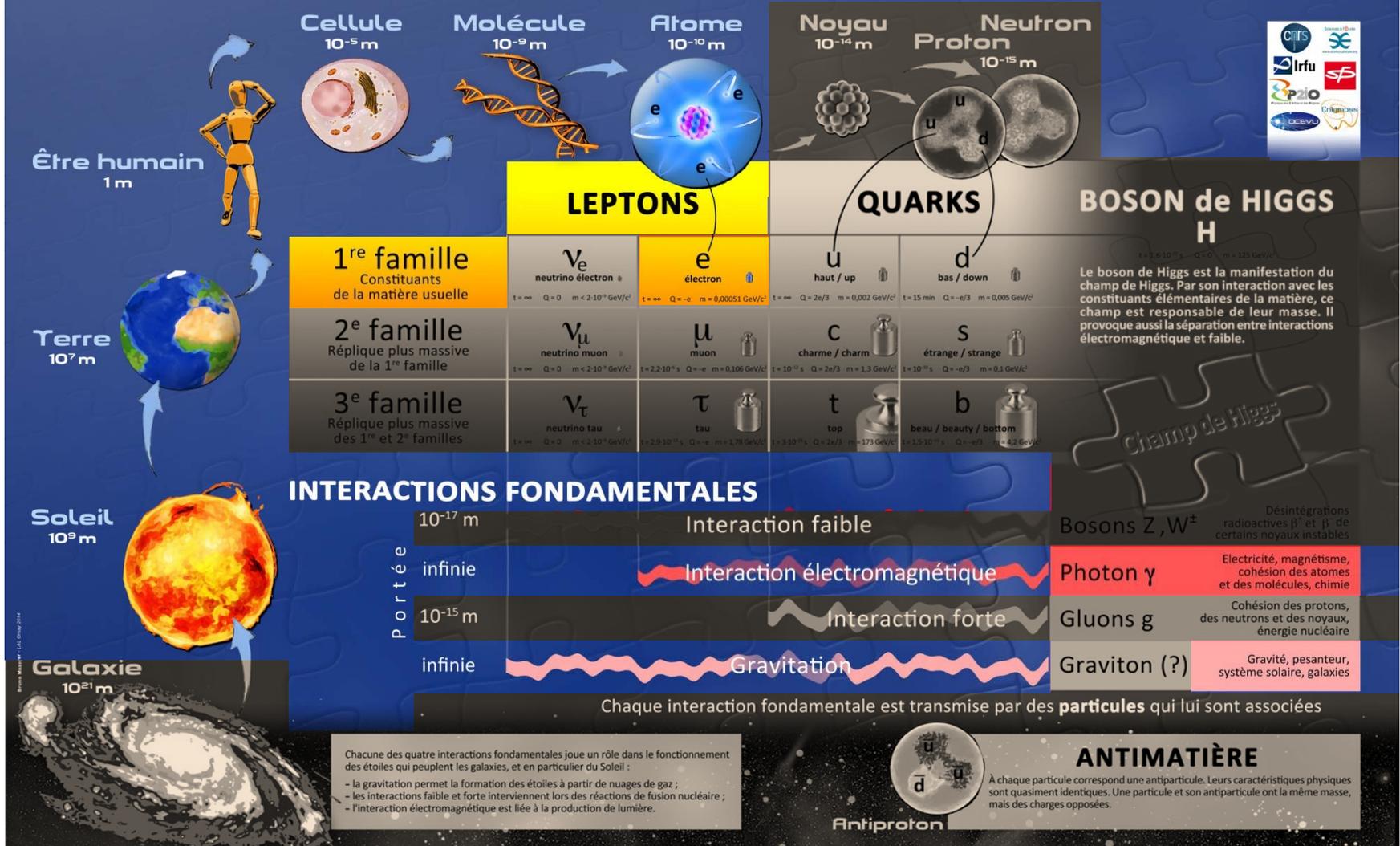
1897 : découverte de l'électron

Composants élémentaires de la matière

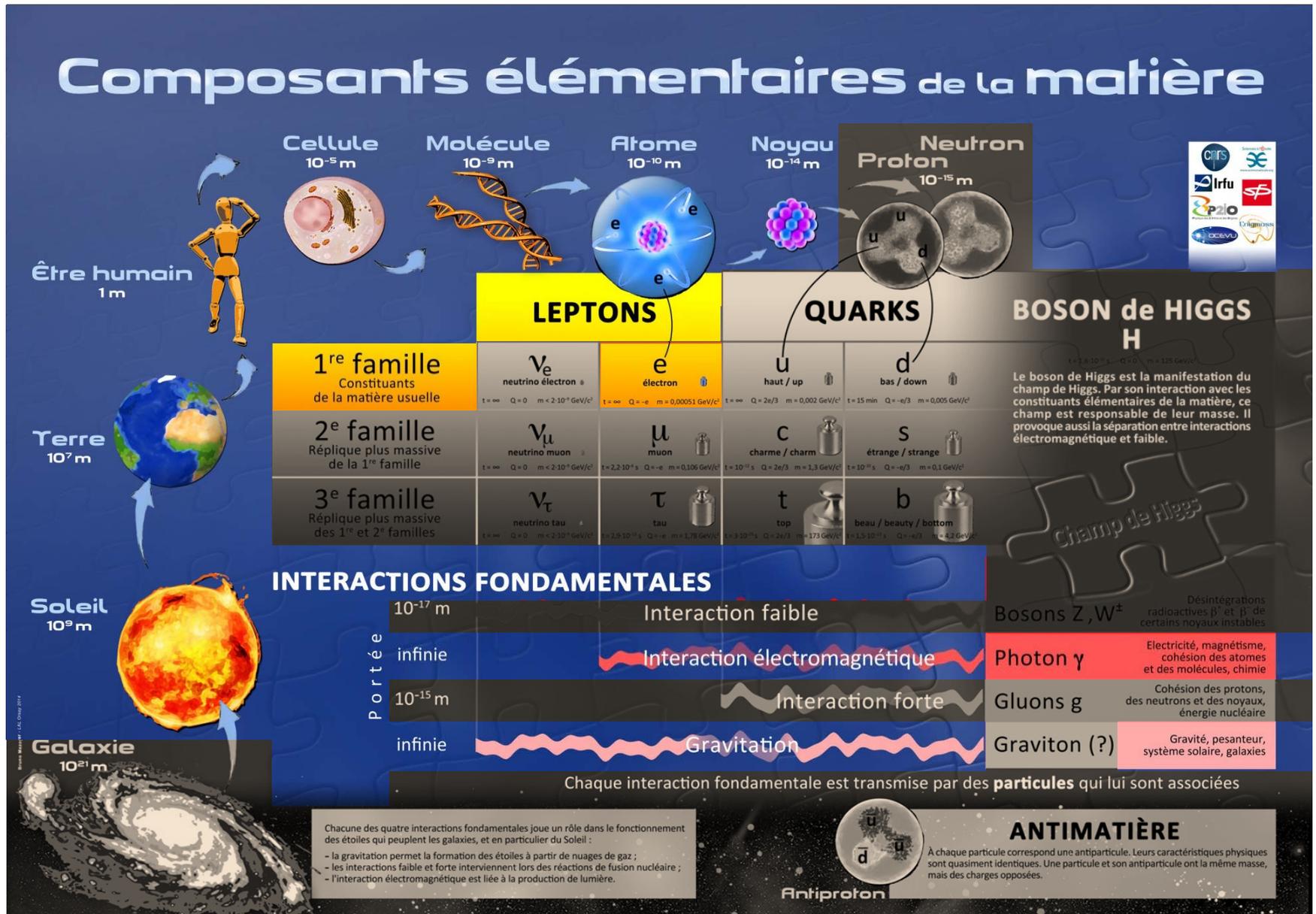


1905 : preuve de la réalité des atomes

Composants élémentaires de la matière

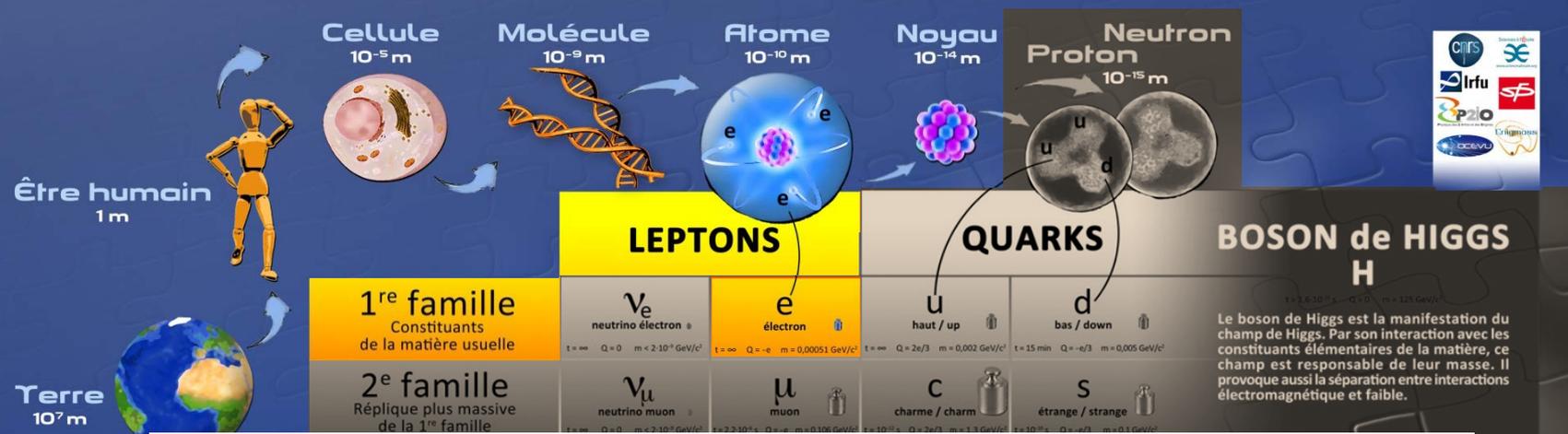


1909 : découverte du noyau atomique

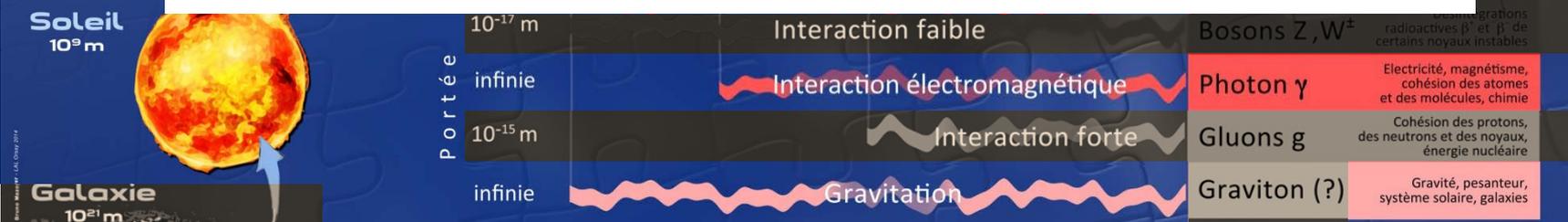


1915 : relativité générale

Composants élémentaires de la matière



Relativité générale (Einstein 1915) : généralisation de la Loi de la Gravitation Universelle (Newton, 1687)



Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

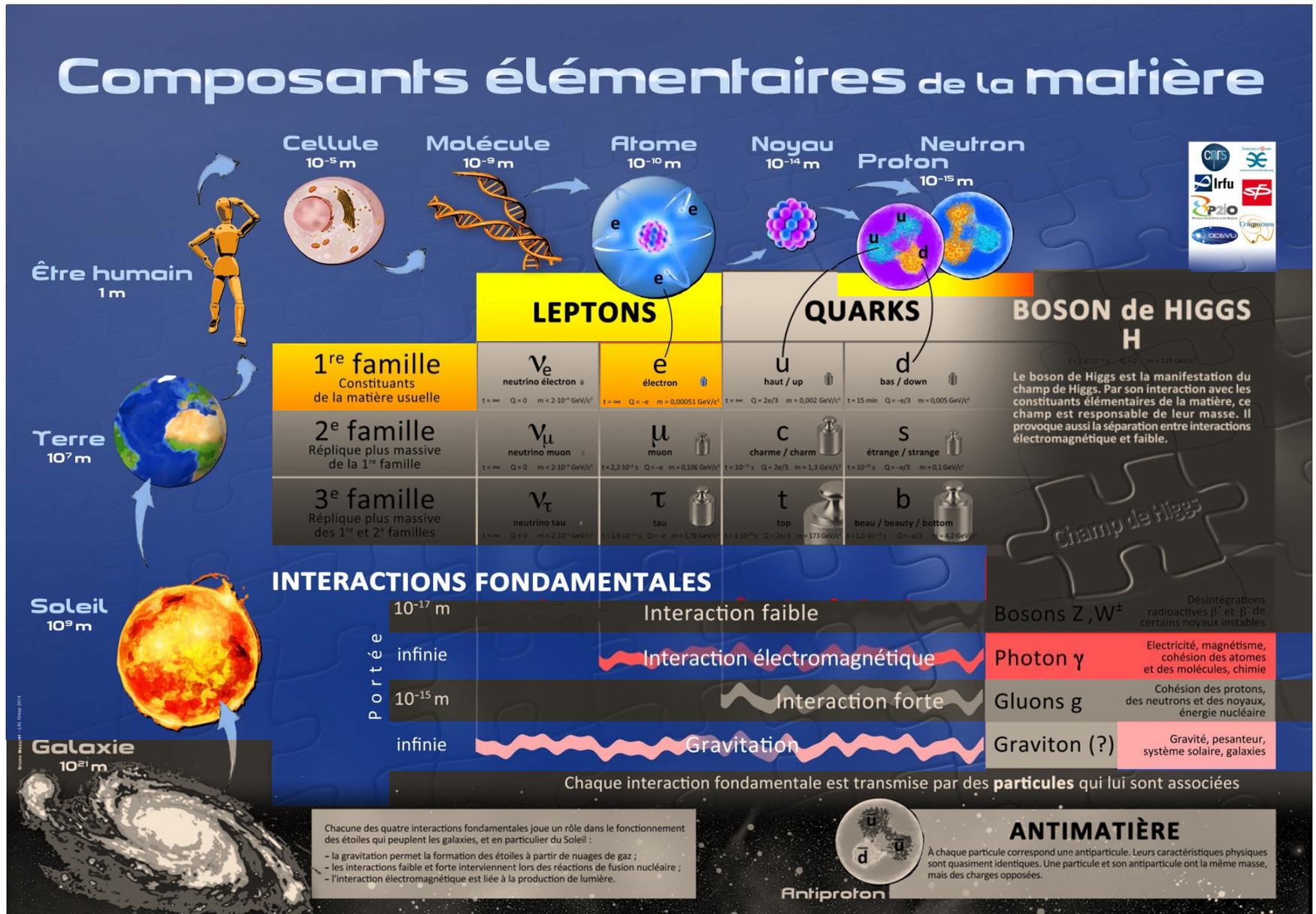
- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.

ANTIMATIÈRE

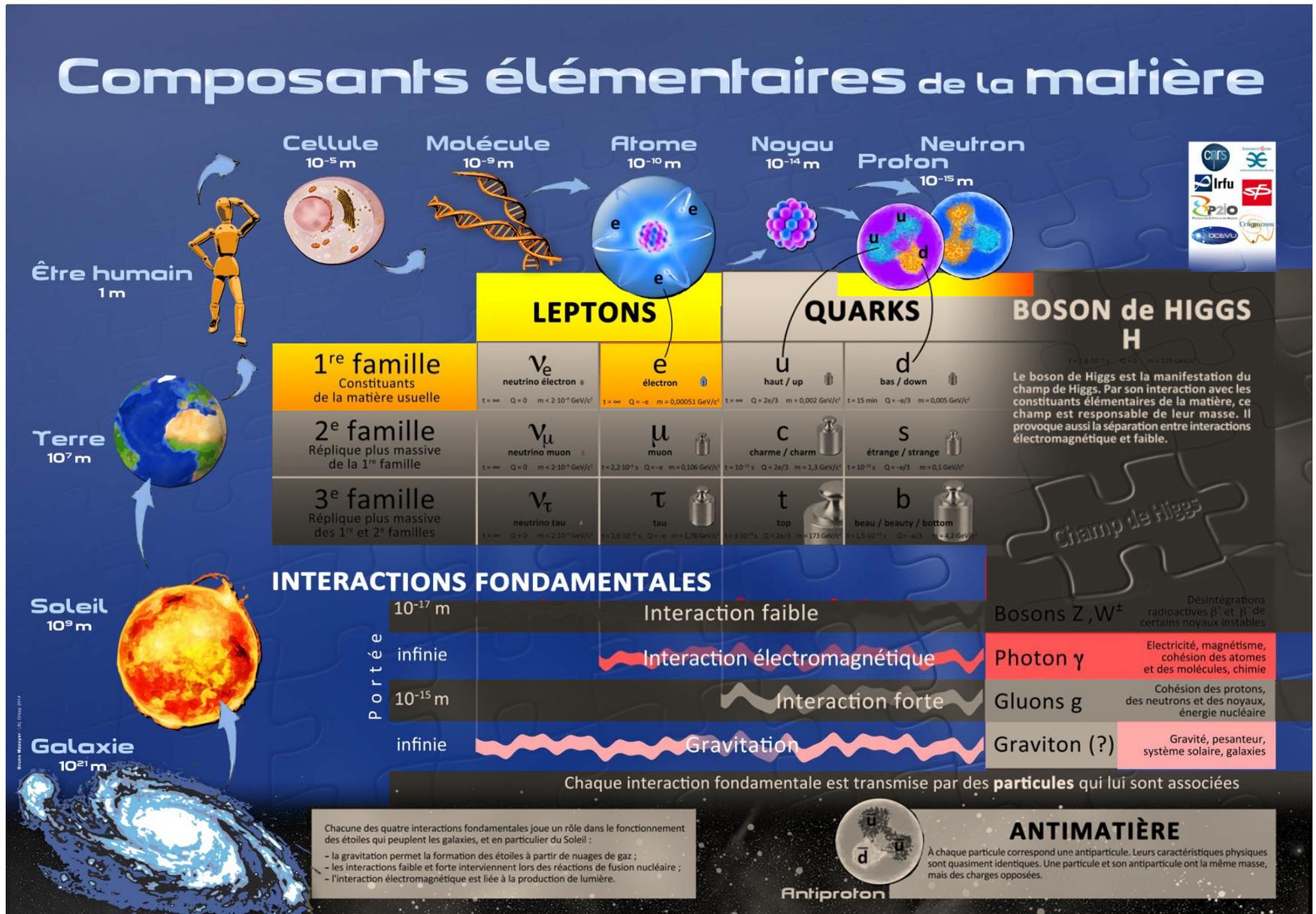
Antiproton

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Découvertes des nucléons : proton (1918) & neutron (1932)



Années 1920 : découverte des (autres) galaxies



1932 : découverte de l'antimatière

Composants élémentaires de la matière

Être humain
1 m



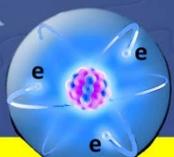
Cellule
10⁻⁵ m



Molécule
10⁻⁹ m



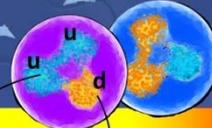
Atome
10⁻¹⁰ m



Noyau
10⁻¹⁴ m



Neutron
Proton
10⁻¹⁵ m





	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Bosons
10 ⁻¹⁷ m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ
10 ⁻¹⁵ m	Interaction forte	Gluons g
infinie	Gravitation	Graviton (?)

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.

ANTIMATIÈRE

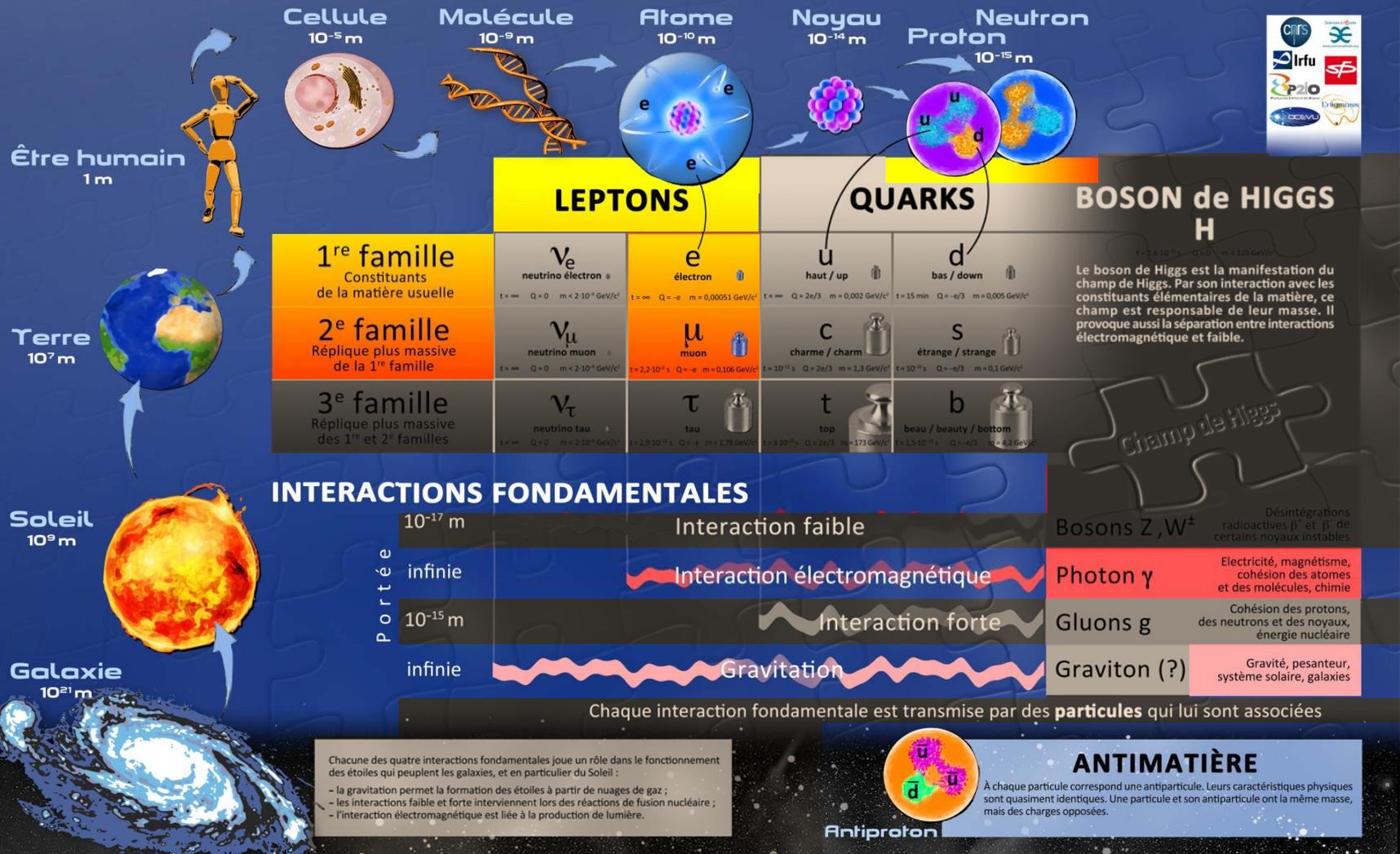
À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.



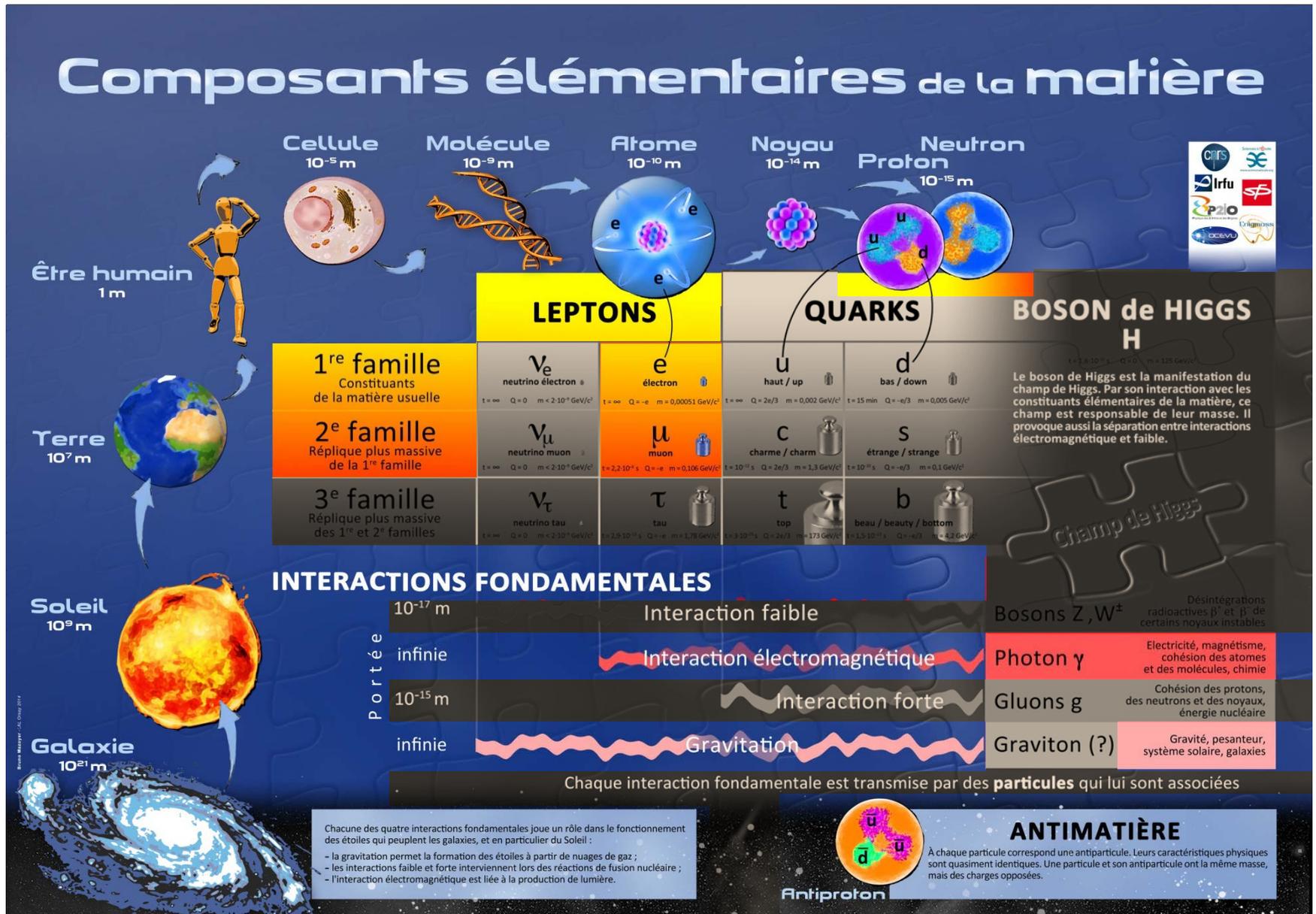
Antiproton

1936 : découverte du muon

Composants élémentaires de la matière



Années 1930 : réactions nucléaires dans le Soleil



1948 : l'électrodynamique quantique

Composants élémentaires de la matière

Être humain
1 m

Cellule
10⁻⁵ m

Molécule
10⁻⁹ m

Atome
10⁻¹⁰ m

Noyau
10⁻¹⁴ m

Neutron
Proton
10⁻¹⁵ m

	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	<p>Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.</p> <p><i>Champ de Higgs</i></p>
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

Soleil
10⁹ m

Galaxie
10²¹ m

INTERACTIONS FONDAMENTALES			
Portée	10 ⁻¹⁷ m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]
	infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ
	10 ⁻¹⁵ m	Interaction forte	Gluons g
	infinie	Gravitation	Graviton (?)

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.

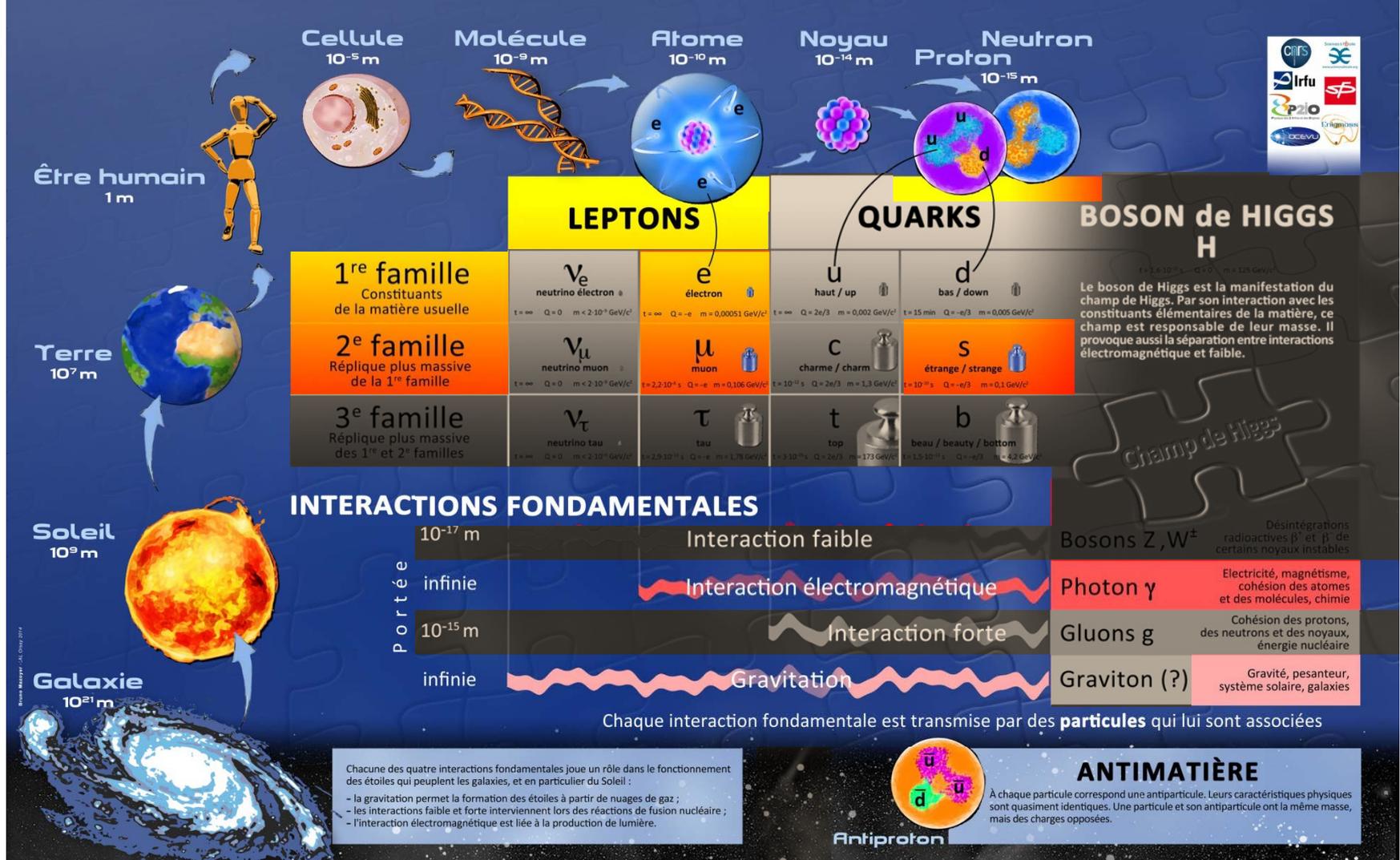
Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

~1950 : découverte des particules étranges

Composants élémentaires de la matière



1956 : découverte du neutrino électron

Composants élémentaires de la matière

Être humain
1 m



Cellule
10⁻⁵ m



Molécule
10⁻⁹ m



Atome
10⁻¹⁰ m



Noyau
10⁻¹⁴ m



Neutron
Proton
10⁻¹⁵ m



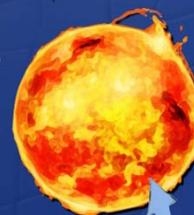


	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

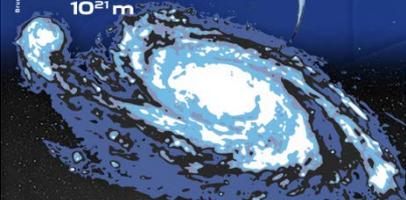
Terre
10⁷ m



Soleil
10⁹ m



Galaxie
10²¹ m



INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particules associées
10 ⁻¹⁷ m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ
10 ⁻¹⁵ m	Interaction forte	Gluons g
infinie	Gravitation	Graviton (?)

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



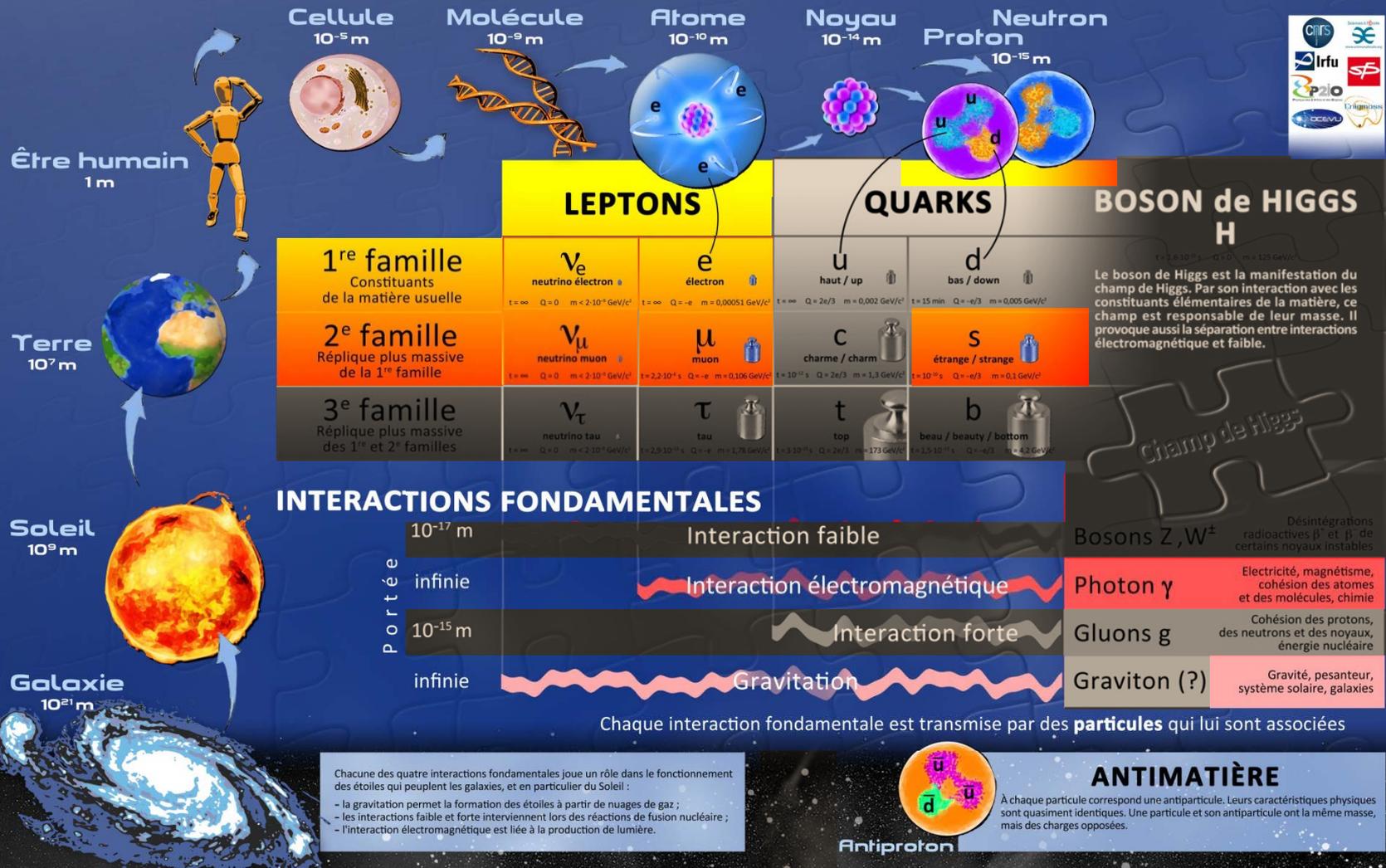
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

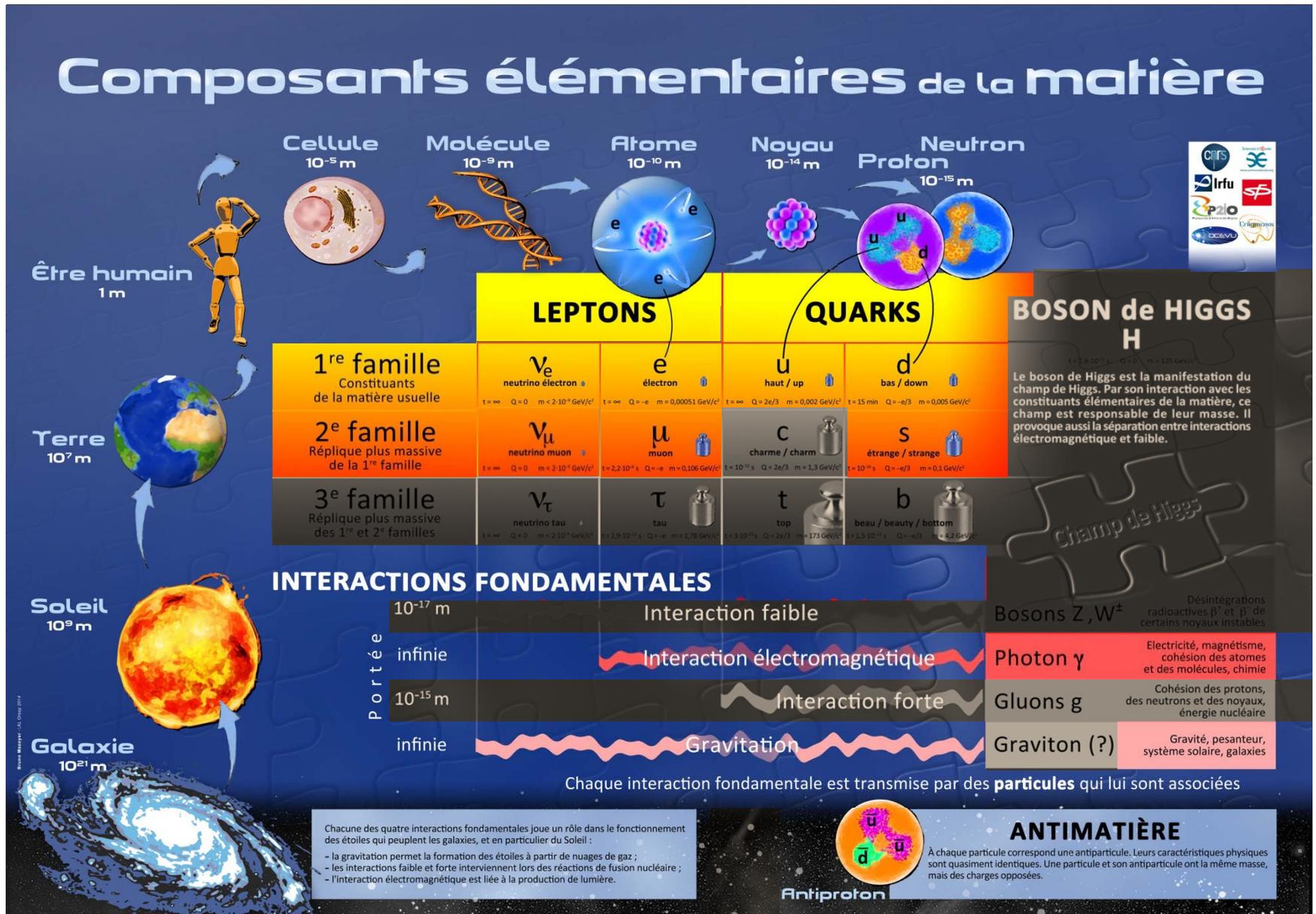
Antiproton

1962 : découverte du neutrino muon

Composants élémentaires de la matière

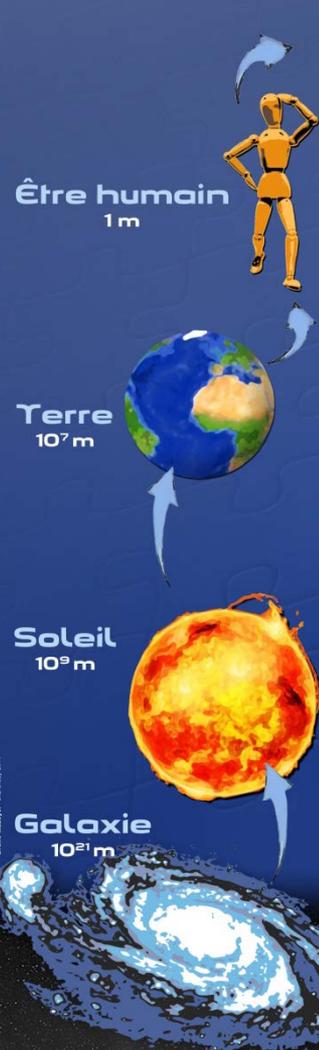


1968 : découverte de la structure du proton



1974 : découverte du 4^{ème} quark – le charme

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS	
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom

BOSON de HIGGS H

Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.

Champ de Higgs

INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction	Particules associées
10 ⁻¹⁷ m	Interaction faible	Bosons Z, W [±]
infinie	Interaction électromagnétique	Photon γ
10 ⁻¹⁵ m	Interaction forte	Gluons g
infinie	Gravitation	Graviton (?)

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



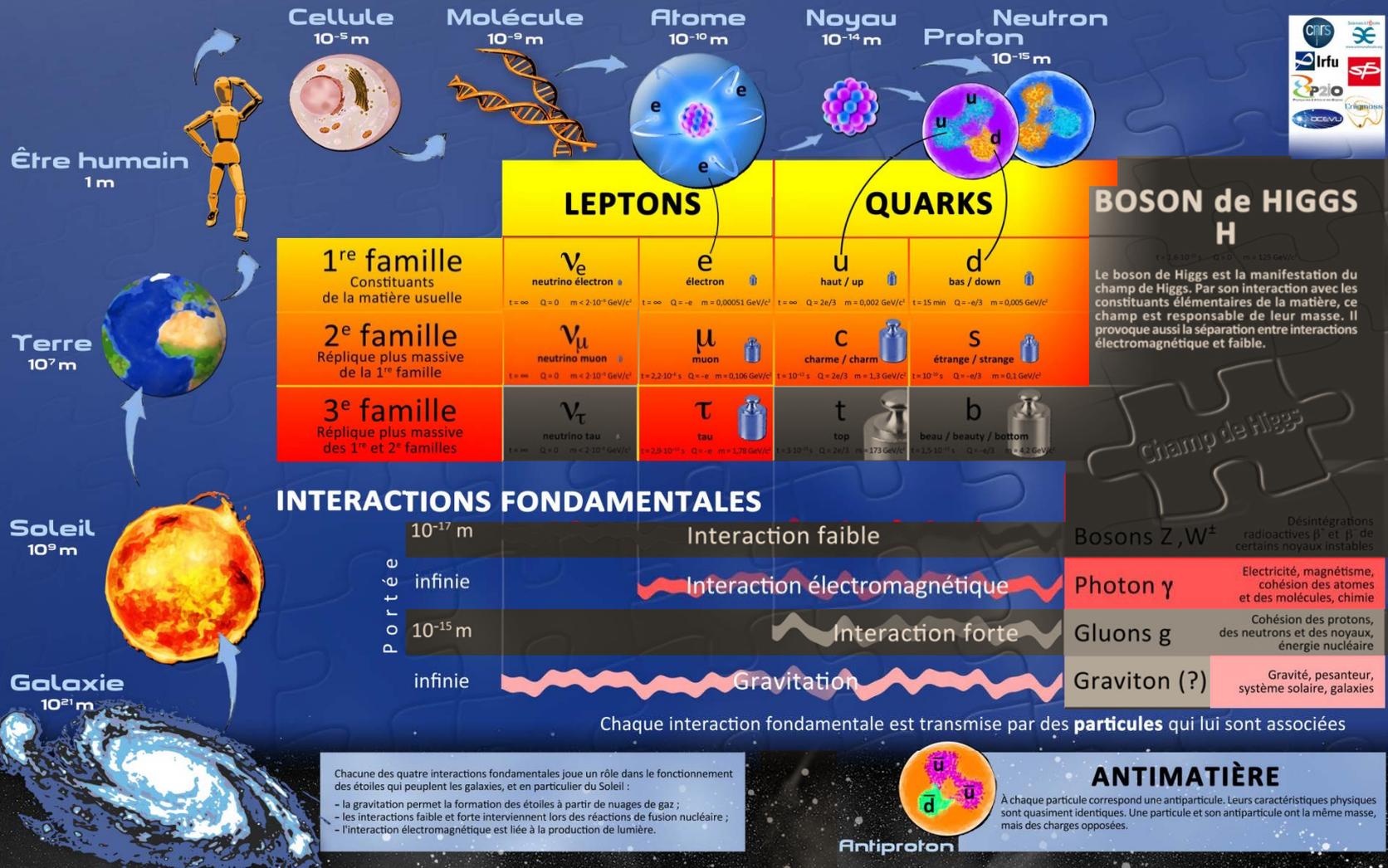
Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

1975-1976 : découverte du lepton tau

Composants élémentaires de la matière



1977 : découverte du 5^{ème} quark – le b

Composants élémentaires de la matière

Être humain
1 m



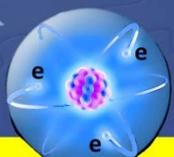
Cellule
10⁻⁵ m



Molécule
10⁻⁹ m



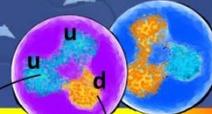
Atome
10⁻¹⁰ m



Noyau
10⁻¹⁴ m



Neutron
Proton
10⁻¹⁵ m





	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	<p>Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.</p> 
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

INTERACTIONS FONDAMENTALES		Bosons Z, W [±]	
Portée	10 ⁻¹⁷ m	Interaction faible	
	infinie	Interaction électromagnétique	
	10 ⁻¹⁵ m	Interaction forte	
	infinie	Gravitation	

	Photon γ	Électricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
	Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
	Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.

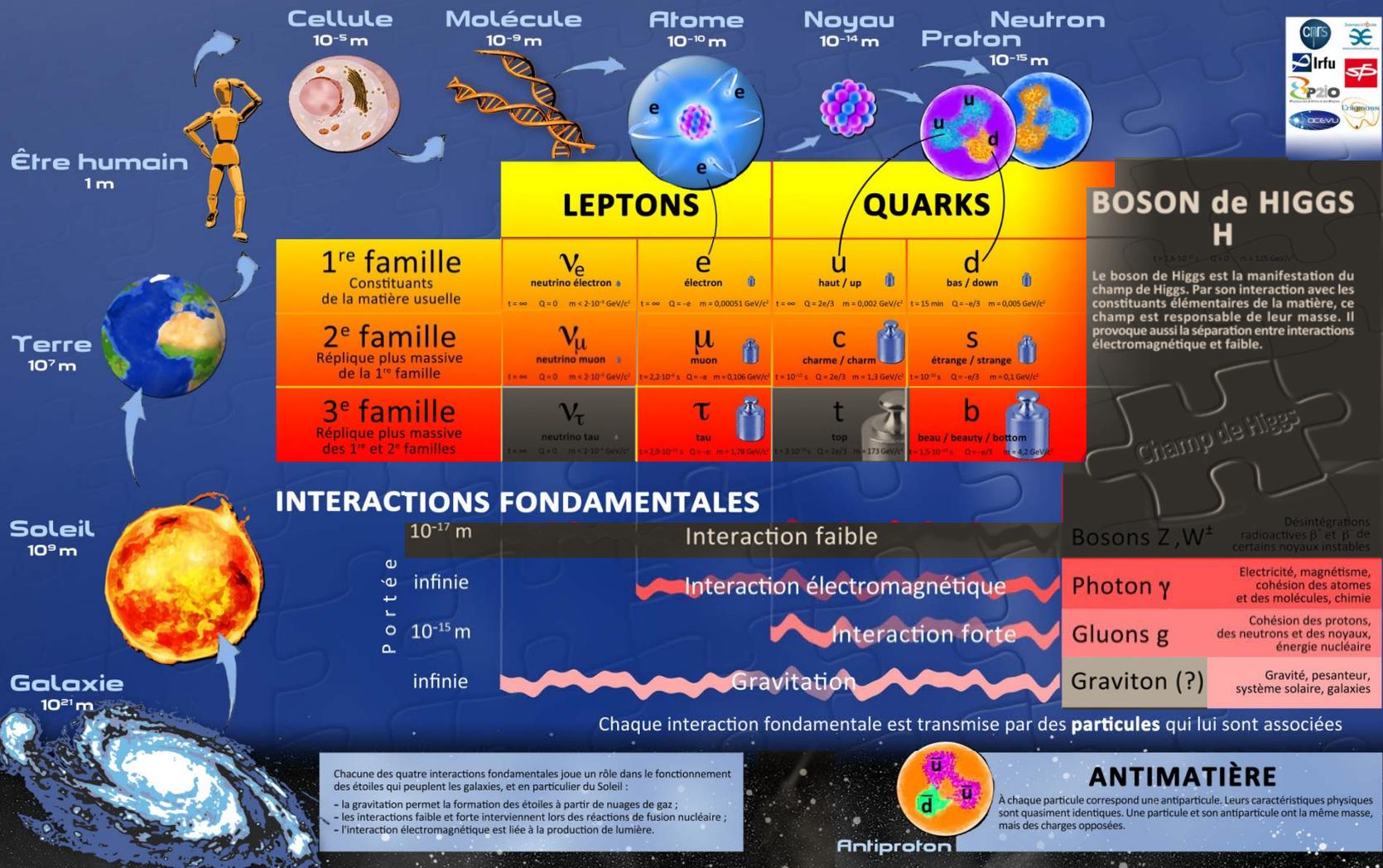


ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

1979 : découverte des gluons

Composants élémentaires de la matière



1983 : découverte des bosons W et Z

Composants élémentaires de la matière

Être humain
1 m

Terre
10⁷ m

Soleil
10⁹ m

Galaxie
10²¹ m

Cellule 10⁻⁵ m

Molécule 10⁻⁹ m

Atome 10⁻¹⁰ m

Noyau 10⁻¹⁴ m

Proton Neutron 10⁻¹⁵ m

LEPTONS	QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle ν_e neutrino électron e électron	u haut / up	d bas / down	Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille ν_μ neutrino muon μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles ν_τ neutrino tau τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

INTERACTIONS FONDAMENTALES	PORTÉE	Bosons Z, W [±]	Photon γ	Gluons g	Graviton (?)
Interaction faible	10 ⁻¹⁷ m	Desintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables			
Interaction électromagnétique	infinie		Électricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie		
Interaction forte	10 ⁻¹⁵ m			Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire	
Gravitation	infinie				Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.

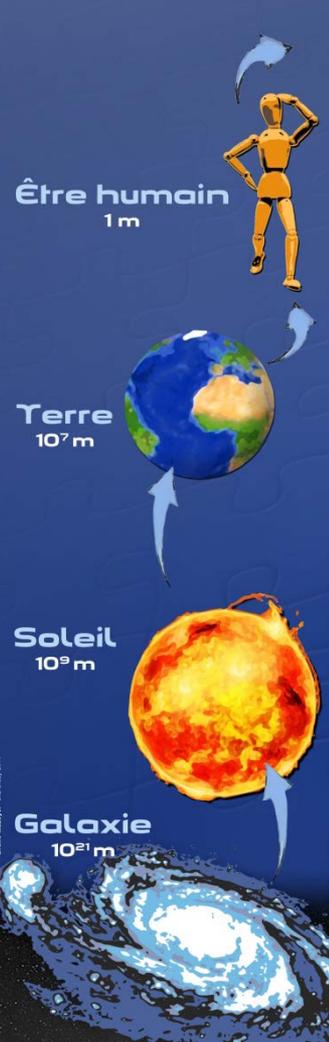
ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

Antiproton

1995 : découverte du 6^{ème} quark – le top

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS	
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom

BOSON de HIGGS H

Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.

INTERACTIONS FONDAMENTALES

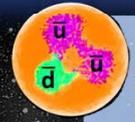
Portée	Interaction
10 ⁻¹⁷ m	Interaction faible
infinie	Interaction électromagnétique
10 ⁻¹⁵ m	Interaction forte
infinie	Gravitation

Bosons Z, W [±]	Désintégrations radioactives β ⁺ et β ⁻ de certains noyaux instables
Photon γ	Électricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



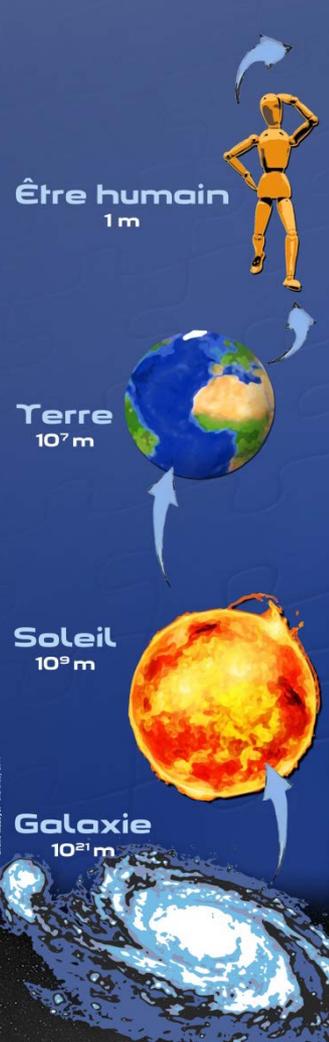
Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

2000 : découverte du neutrino tau

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS	
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom

BOSON de HIGGS H

Le boson de Higgs est la manifestation du champ de Higgs. Par son interaction avec les constituants élémentaires de la matière, ce champ est responsable de leur masse. Il provoque aussi la séparation entre interactions électromagnétique et faible.

INTERACTIONS FONDAMENTALES

Portée	Interaction
10 ⁻¹⁷ m	Interaction faible
infinie	Interaction électromagnétique
10 ⁻¹⁵ m	Interaction forte
infinie	Gravitation

Bosons Z, W [±]	Désintégrations radioactives β ⁺ et β ⁻ de certains noyaux instables
Photon γ	Électricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie
Gluons g	Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire
Graviton (?)	Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



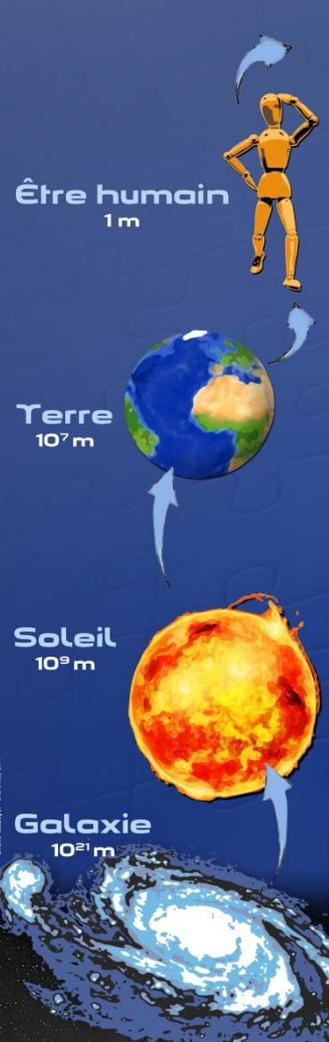
Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

2012 : découverte du boson de Higgs

Composants élémentaires de la matière



	LEPTONS		QUARKS		BOSON de HIGGS H
1^{re} famille Constituants de la matière usuelle	ν_e neutrino électron	e électron	u haut / up	d bas / down	1.26×10^{-25} s, $Q^2=0$, $m = 125$ GeV/c ²
2^e famille Réplique plus massive de la 1 ^{re} famille	ν_μ neutrino muon	μ muon	c charme / charm	s étrange / strange	
3^e famille Réplique plus massive des 1 ^{re} et 2 ^e familles	ν_τ neutrino tau	τ tau	t top	b beau / beauty / bottom	

Champ de Higgs

Désintégrations radioactives β^+ et β^- de certains noyaux instables

Bosons Z, W[±]

Electricité, magnétisme, cohésion des atomes et des molécules, chimie

Photon γ

Cohésion des protons, des neutrons et des noyaux, énergie nucléaire

Gluons g

Gravité, pesanteur, système solaire, galaxies

Graviton (?)

INTERACTIONS FONDAMENTALES	
10 ⁻¹⁷ m	Interaction faible
infinie	Interaction électromagnétique
10 ⁻¹⁵ m	Interaction forte
infinie	Gravitation

Chaque interaction fondamentale est transmise par des **particules** qui lui sont associées

Chacune des quatre interactions fondamentales joue un rôle dans le fonctionnement des étoiles qui peuplent les galaxies, et en particulier du Soleil :

- la gravitation permet la formation des étoiles à partir de nuages de gaz ;
- les interactions faible et forte interviennent lors des réactions de fusion nucléaire ;
- l'interaction électromagnétique est liée à la production de lumière.



Antiproton

ANTIMATIÈRE

À chaque particule correspond une antiparticule. Leurs caractéristiques physiques sont quasiment identiques. Une particule et son antiparticule ont la même masse, mais des charges opposées.

