

I INTRODUCTION

1.1 Qu'est ce que la Physique ?

La physique se propose de décrire la nature de manière intelligible.

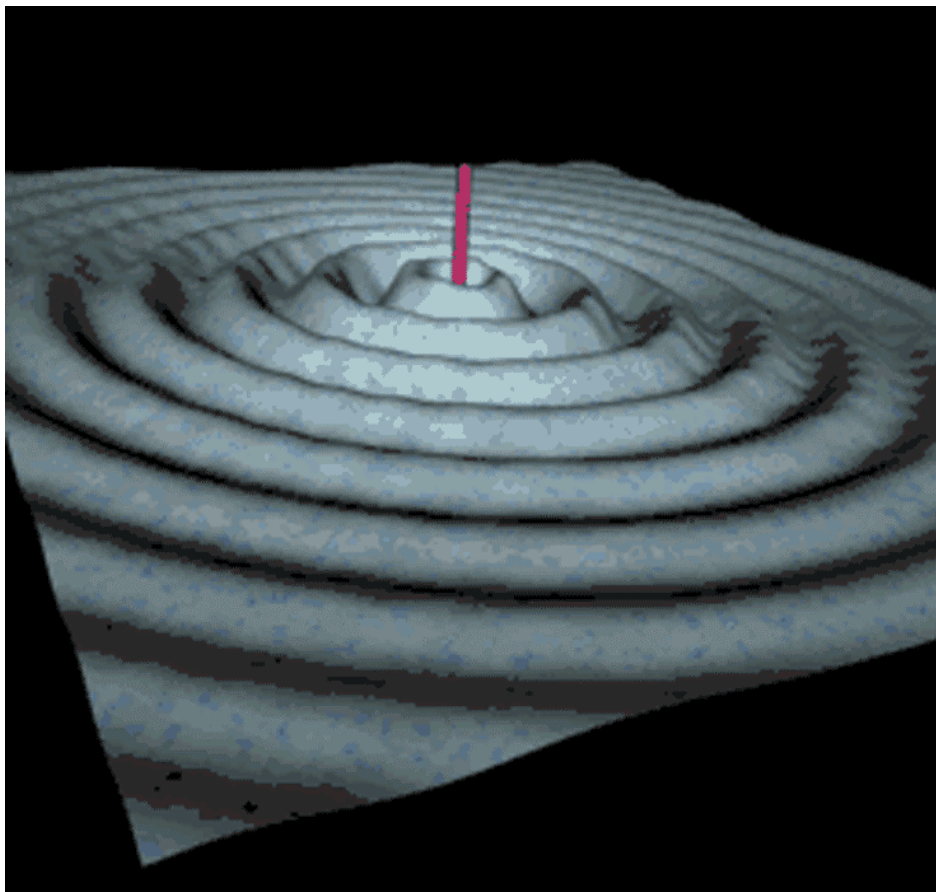
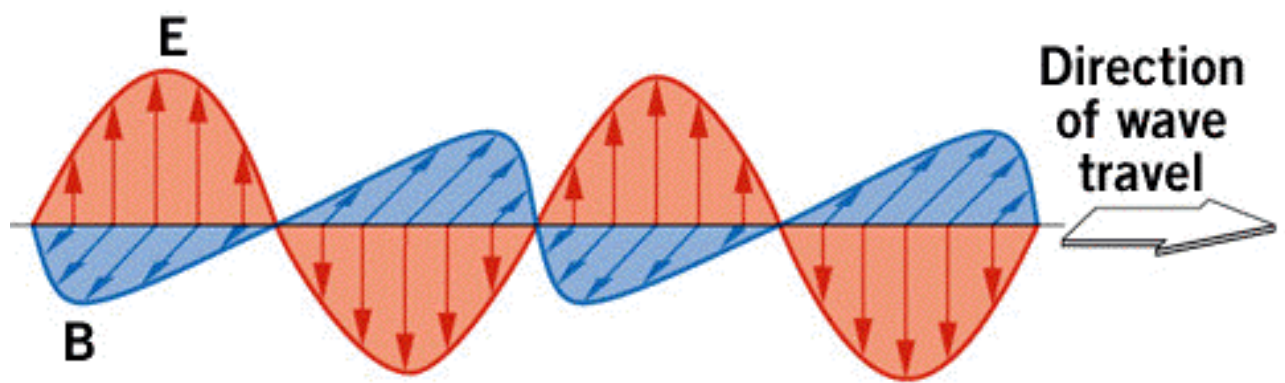
Elle étudie la nature :

- à différentes échelles
 - + grand : astronomie
astrophysique
 - + petit : mécanique quantique
physique des particules
- sous différentes formes
 - solide,
 - liquide
 - gazeux
 - plasmas
 - particules

La description d'un phénomène peut faire intervenir un concept qui peut être utilisé dans différents domaines de la physique.

Exemple : les ondes

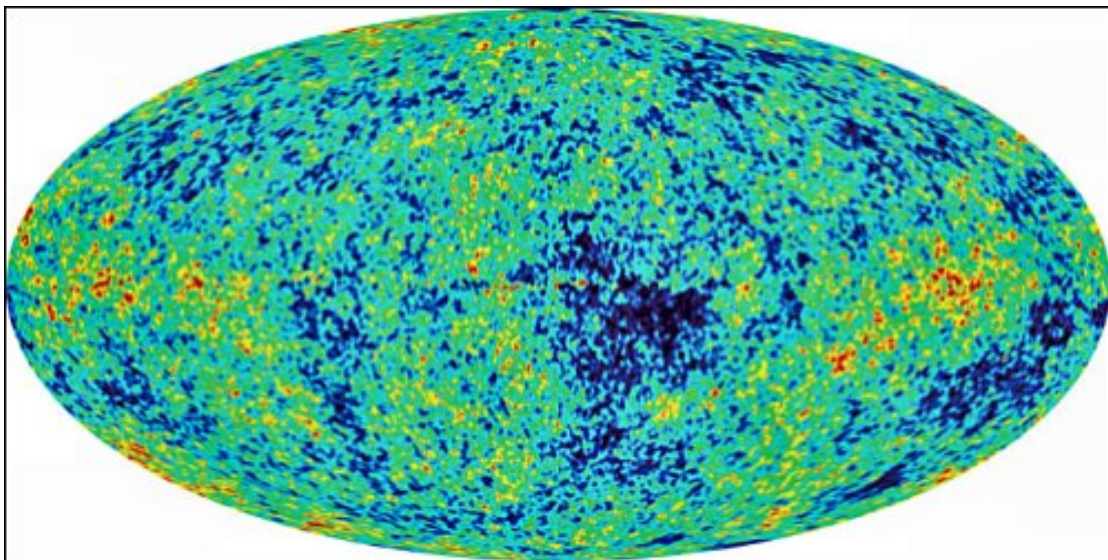
- Optique, Acoustique, Électronique



- Astrophysique

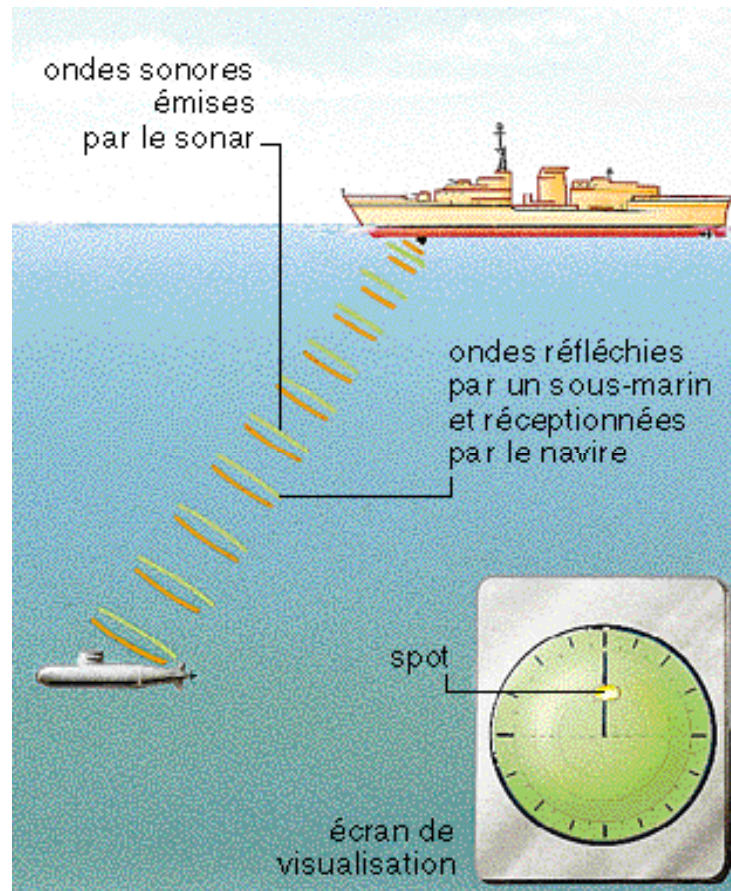
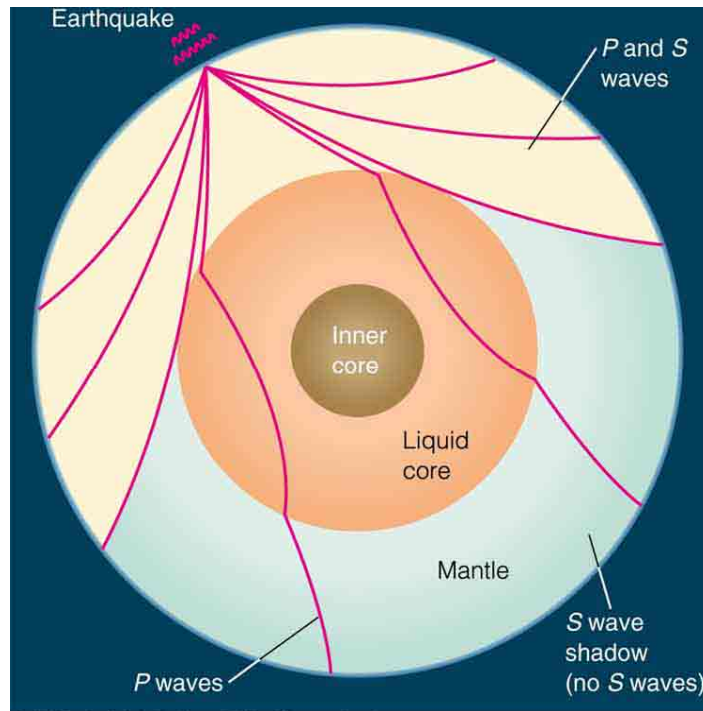


Image composite visible/rayon X du pulsar du Crabe, né de la supernova historique SN 1054, montrant le gaz environnant la nébuleuse agité par le champ magnétique et le rayonnement du pulsar. Image NASA.



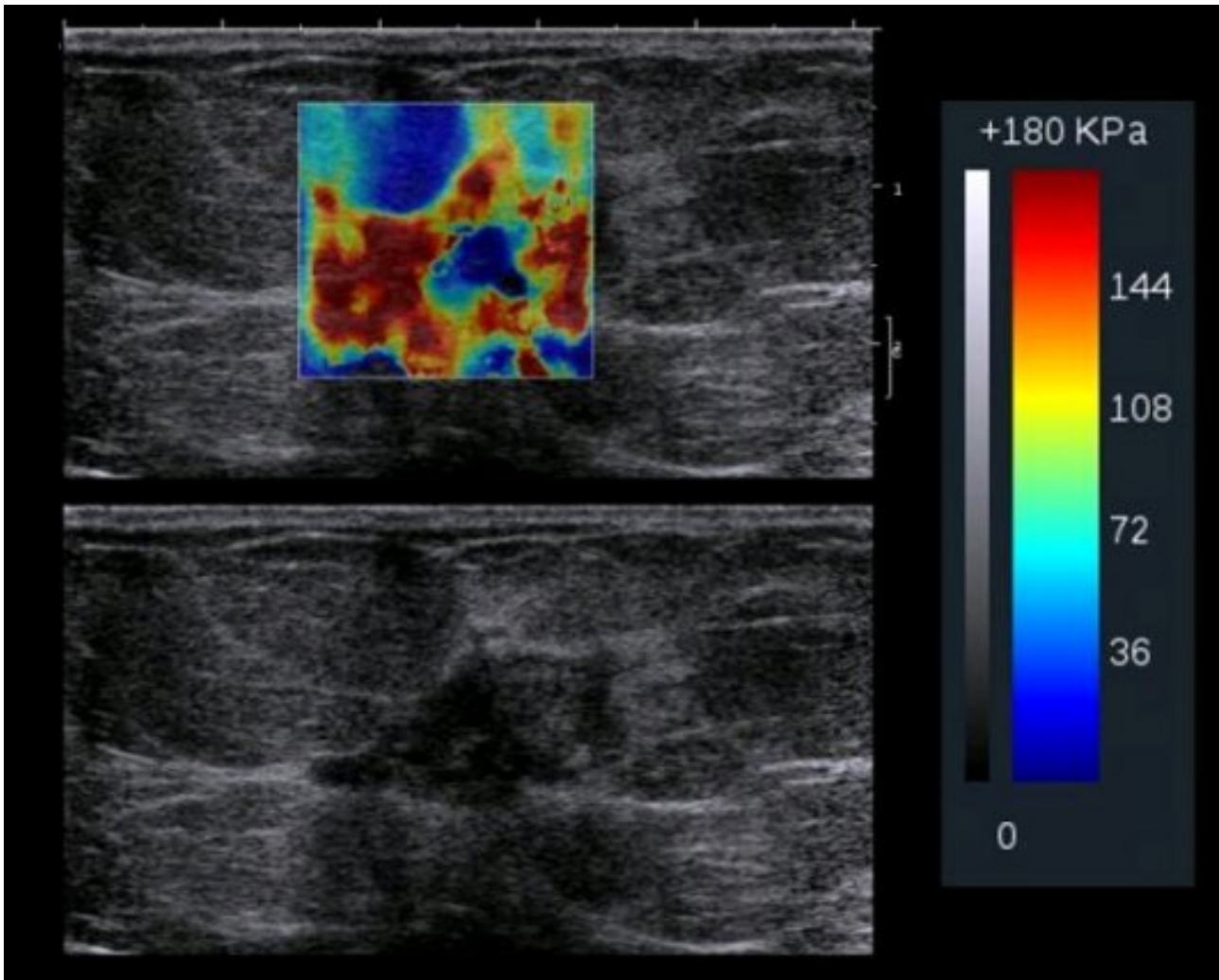
Carte de la sphère céleste montrant les fluctuations (ou anisotropie) du fond diffus cosmologique observées par le satellite [WMAP](#) (juin 2003)

- Sciences de la Terre / Géophysique



- Médecine / échographie / radiographie

Dépistage cancer du sein



Imagerie échographique (en niveau de gris) et imagerie d'élasticité superposée (en niveau de couleur) © *Institut Langevin - ESPCI*

- La conceptualisation permet de décrire les propriétés générales des différents types d'ondes considérées (propagation, longueur d'onde, période)
- Grâce à l'utilisation de concepts précis, les lois physiques permettent la description des phénomènes observés en termes quantitatifs.
- Elles expliquent le comportement des systèmes étudiés en distinguant les causes et les effets.
- Il est alors possible de modéliser les phénomènes.

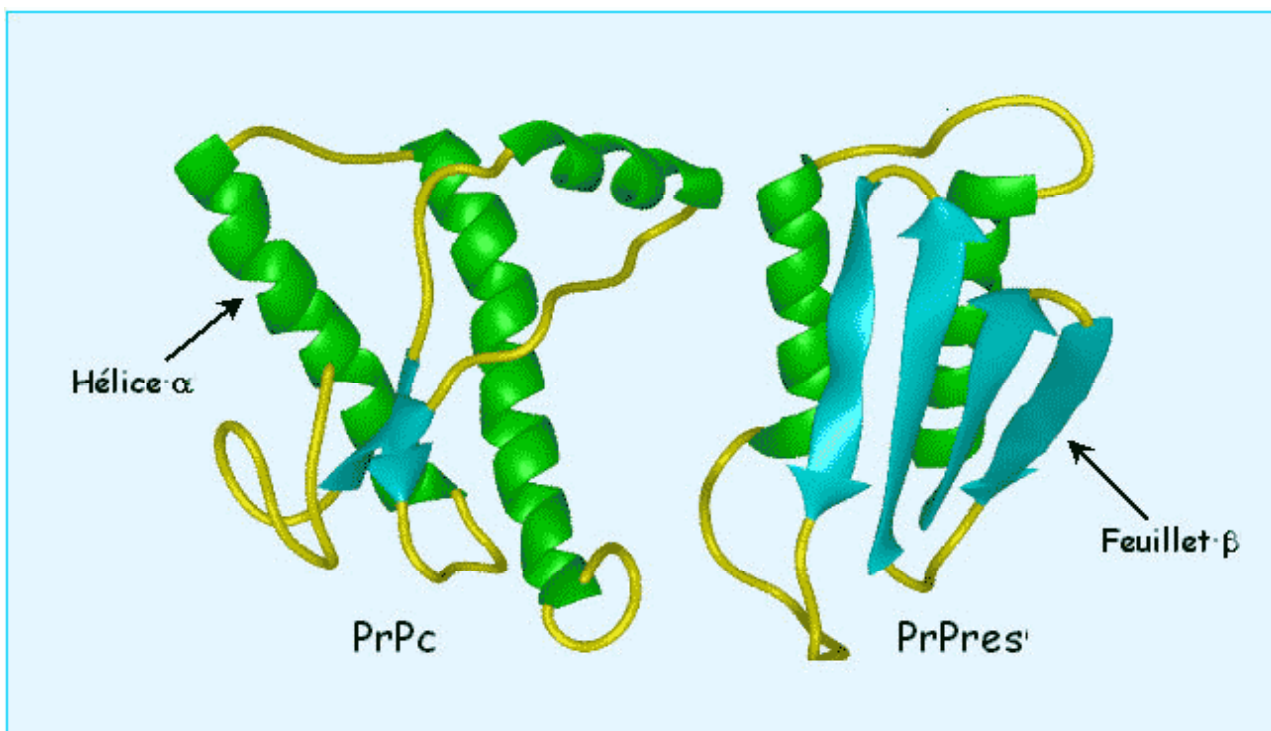
Place de la Physique en SVT

La plupart des phénomènes biologiques ou naturels ne sont pas modélisables sauf en effectuant de fortes approximations (simplifications)

BIOLOGIE

Une cellule est un objet extrêmement complexe, seuls certains aspects de son fonctionnement peuvent être étudiés par la physique :

- propriétés mécaniques de l'ADN
- repliement des protéines



MÉTÉOROLOGIE

Il est impossible de faire des prévisions météorologiques à plus d'une semaine

Néanmoins, ces prévisions météorologiques qui font intervenir des modèles physiques permettent de connaître (+/-) bien le temps à quelques jours

La Physique intervient dans la description de nombreux phénomènes naturels :

- montée de sève dans les plantes
- propagation de l'influx nerveux
- structure / propriétés des minéraux
- structure interne de la Terre
- phénomène de marées
- métabolisme des êtres vivants
- ...

1.2 Les interactions fondamentales

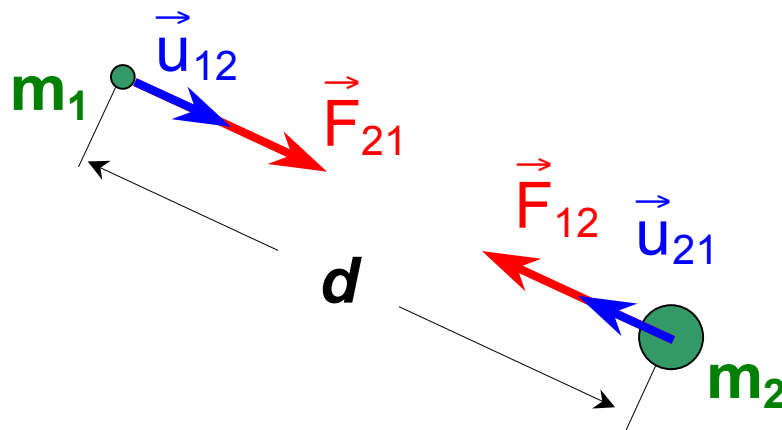
Tous les phénomènes physiques, chimiques ou biologiques connus peuvent être expliqués à l'aide de seulement 4 interactions fondamentales :

- l'interaction gravitationnelle
- l'interaction électromagnétique
- l'interaction forte
- l'interaction faible

1.2.1 L'interaction gravitationnelle

Décrite pour la première fois par **Isaac Newton** (1687).

Cette interaction réciproque, toujours attractive, agit sur toute forme d'énergie avec une intensité très faible.



La force exercée par la masse m_1 sur la masse m_2 est donnée par la relation :

$$\vec{F}_{12} = - G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \vec{u}_{12}$$

avec G : Cte de gravitation universelle

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ SI (m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}\text{)}$$

Les effets de la force gravitationnelle ne sont aisément perceptibles qu'en présence d'objet(s) massif(s).

La force de gravitation intervient pour expliquer la formation des planètes, des étoiles et des galaxies ainsi que leur mouvement.

Elle serait transportée par le graviton



1.2.2 L'interaction électromagnétique

Ensemble de deux interactions réciproques qu'exercent l'un sur l'autre deux systèmes chargés électriquement.

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 d^2} \vec{u}_{12}$$

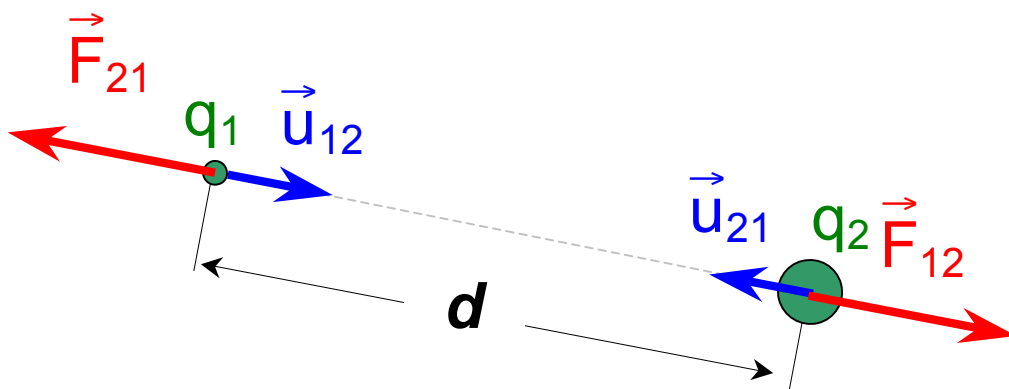
avec q_1 et q_2 : charges des particules

ϵ_0 : permittivité diélectrique du vide

$$8.854 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$$

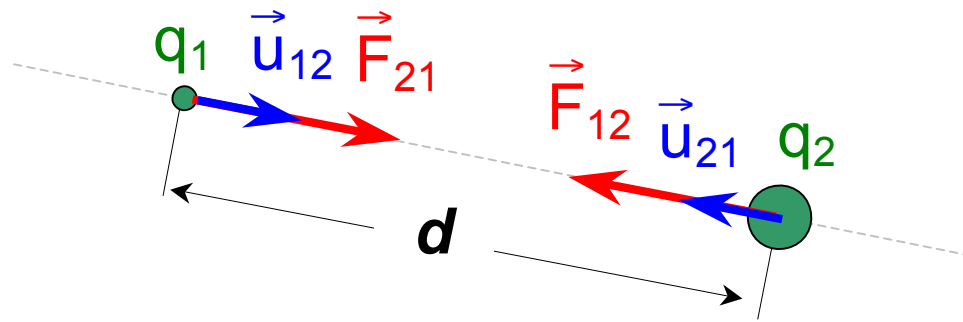
d : distance entre particules

1^{er} cas : $q_1 \cdot q_2 > 0$, charges de même signe



interaction répulsive

2^{ème} cas : $q_1 \cdot q_2 < 0$, charges opposées



interaction attractive

- L'interaction électromagnétique est à l'origine de tous les phénomènes électriques et magnétiques.
- L'interaction électromagnétique permet aussi la cohésion électrons – noyau des atomes. Cette même liaison permet de combiner les atomes en molécules et l'interaction électromagnétique est donc responsable des réactions chimiques (lien avec la biologie).
- La particule médiateur de l'interaction électromagnétique est le **photon**.

Comparaison entre interactions gravitationnelle et électromagnétique

Exemples :

- **2 protons séparés de 1 m**

$$m_p = 1.672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$F_g = 1.86 \cdot 10^{-64} \text{ N}$$

$$F_e = 2.31 \cdot 10^{-28} \text{ N}$$

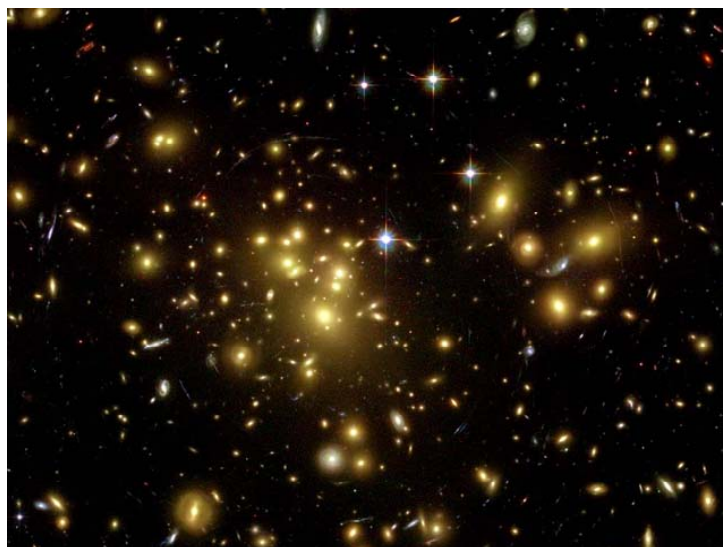
$$F_e / F_g \approx 10^{36}$$

⇒ interaction électromagnétique prédominante

- **Interactions entre galaxies**

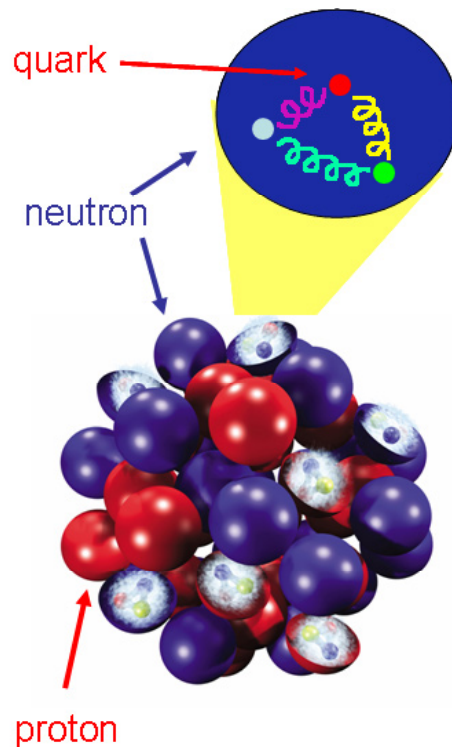
Les galaxies sont des objets globalement neutres

⇒ C'est l'interaction gravitationnelle qui prédomine



1.2.3 L'interaction forte (nucléaire)

- Exclusivement attractive, cette force agit sur les **quarks**, constituants élémentaires des **protons** et **neutrons**.



- C'est la plus intense des interactions mais son rayon d'action est très limité ($2.5 \cdot 10^{-15}$ m)
- Un effet dérivé de la force forte est responsable de la cohésion des nucléons (protons et neutrons) au sein du noyau de l'atome.
- Elle domine les forces de répulsion électrostatique entre protons et rapproche neutrons et protons.

1.2.4 L'interaction faible (nucléaire)

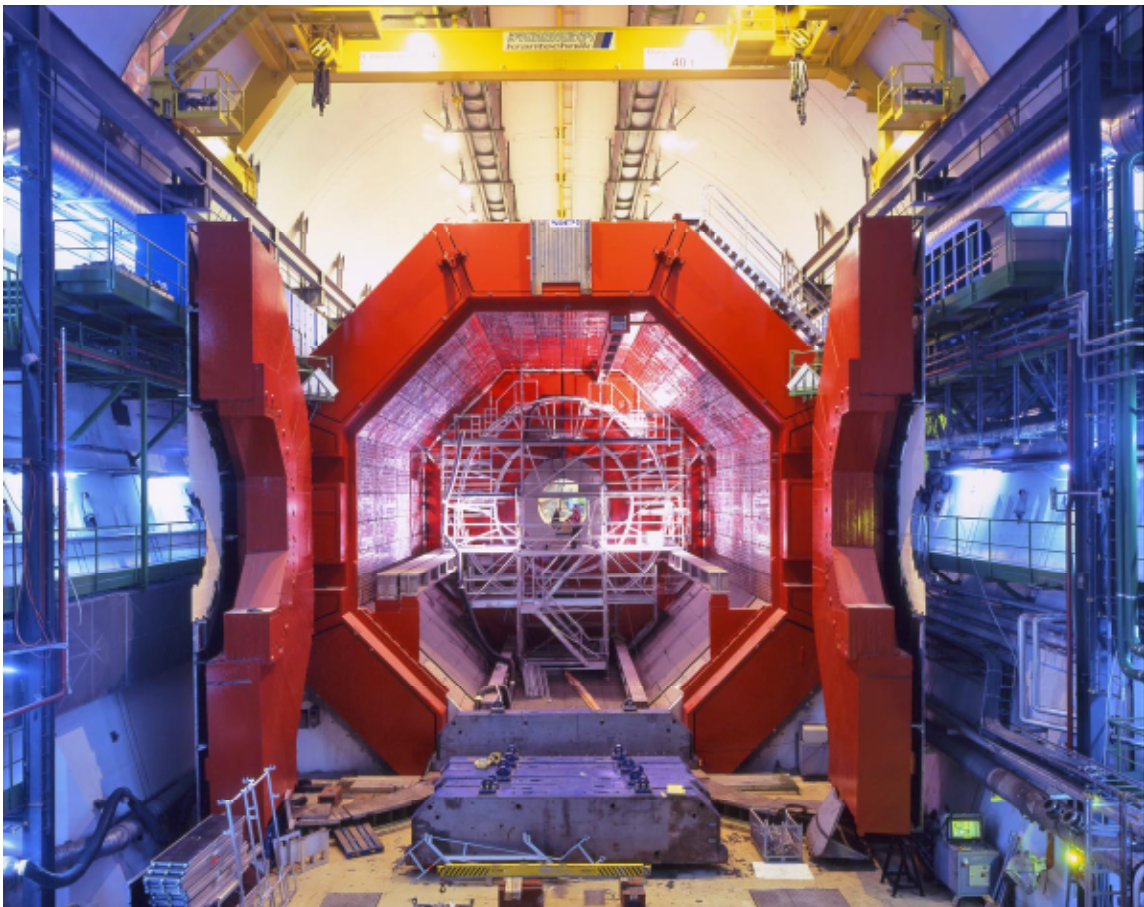
Elle agit sur toutes les particules et est responsable de la radioactivité β (émission d' e^- et de e^+ par certains isotopes instables)

À très haute énergie (> 90 Gev), les interactions faible et électromagnétique ne font plus qu'une : interaction électro-faible (Salam & Weinberg, 1967).

Remarque

Des efforts théoriques et expérimentaux (LHC – CERN) cherchent à unifier les différentes théories et améliorer les modèles pour :

- expliquer l'existence de la masse
- comprendre l'origine des 3 dimensions
- faire le lien entre mécanique quantique (infiniment petit) et la relativité générale (infiniment grand)



1.3 Grandeurs physiques, Dimensions, Unités

Les grandeurs physiques qui décrivent un phénomène sont caractérisées par leurs **dimensions**.

La dimension d'une grandeur nous informe sur sa nature physique.

Il existe 7 grandeurs fondamentales :

<i>Grandeur</i>	<i>Dimension</i>
• longueur	L
• masse	M
• temps	T
• Intensité électrique	I
• Température	Θ
• Quantité de matière	N
• Intensité lumineuse	J

Toutes les autres grandeurs mesurables sont liées à ces grandeurs fondamentales. On dit qu'elles en sont **dérivées**.

Lorsqu'on écrit une équation, on traduit une égalité entre grandeurs physiques.

Il faut donc s'assurer de l'homogénéité des relations utilisées :

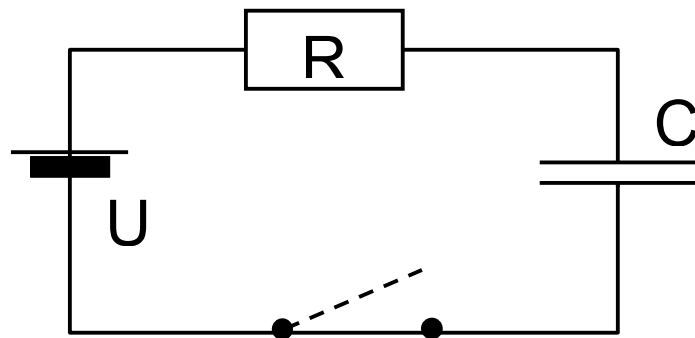
- les deux membres d'une égalité doivent avoir la même dimension

- les arguments d'une fonction mathématique doivent être sans dimension

- La dimension du produit de deux grandeurs est le produit des dimensions des grandeurs

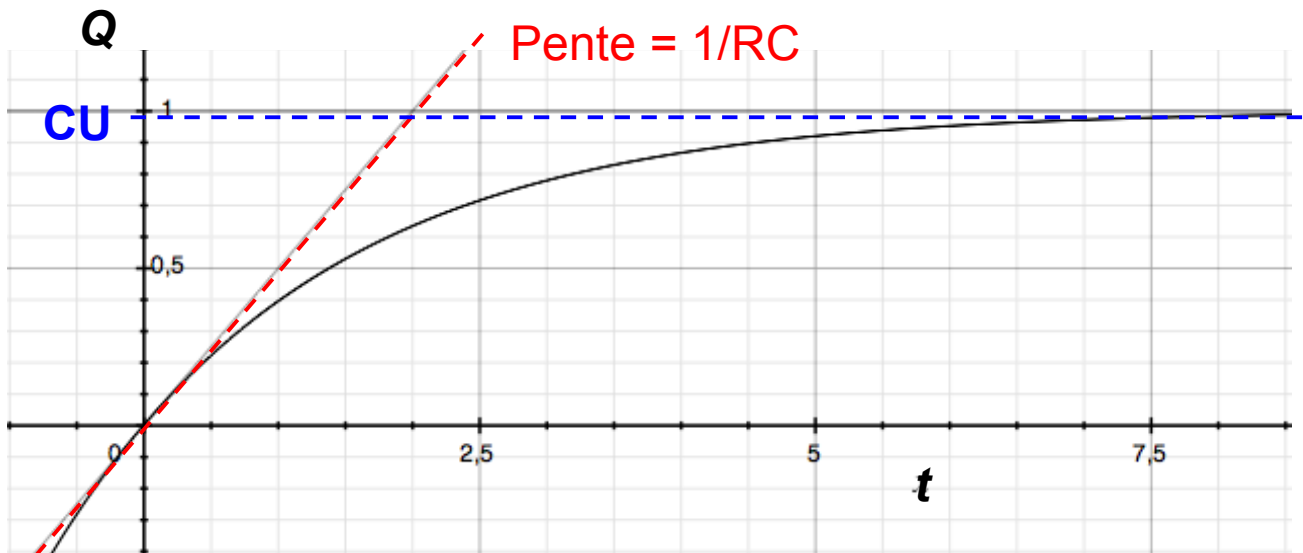
- Pour comparer, ajouter, soustraire deux grandeurs physiques, il faut qu'elles aient la même dimension

Exemple : charge d'un condensateur



À $t = 0$, on ferme le circuit. La variation de la charge du condensateur avec le temps s'écrit :

$$Q = C.U. \left[1 - \exp\left(\frac{-t}{RC}\right) \right] \quad t : \text{temps}$$



- $[Q] = [C.U]$

⇒ $C.U$ a la dimension d'une charge

- $\left[\frac{-t}{RC} \right] = 1$ sans dimension ⇒ $[RC] = T$

Unités

Il convient, en général, d'utiliser les unités du **Système International SI** (www.bipm.org).

<i>grandeur</i>	<i>dimension</i>	<i>unité</i>	<i>symbole</i>
longueur	L	mètre	m
masse	M	kilogramme	kg
temps	T	seconde	s
intensité électrique	I	ampère	A
température	Θ	kelvin	K
quantité de matière	N	mole	mol
intensité lumineuse	J	candela	cd

Remarque :

Certaines disciplines de la Physique adoptent d'autres unités plus commodes :

- année-lumière, parsec (astronomie)
- masse en GeV (physique des particules)
- énergie en eV (physique quantique, électronique)

Grandeurs dérivées

<i>grandeur</i>	<i>dimension</i>	<i>unité SI</i>	<i>symbole</i>
accélération	LT^{-2}	$m\ s^{-2}$	–
force	$M\ LT^{-2}$	$kg\ m\ s^{-2}$	newton (N)
pression	$M\ L^{-1}T^{-2}$	$kg\ m^{-1}\ s^{-2}$	pascal (Pa)
énergie	$M\ L^2T^{-2}$	$kg\ m^2\ s^{-2}$	joule (J)
charge électrique	IT	$A\ s$	coulomb (C)
résistance	$M\ L^2T^{-3}\ I^{-2}$	–	ohm (Ω)
tension	$M\ L^2T^{-3}\ I^{-1}$	–	volt (V)

1.4 Analyse dimensionnelle

L'analyse dimensionnelle peut être utilisée pour vérifier l'homogénéité des équations mais permet **surtout** de prédire / retrouver des lois physiques

Toute grandeur physique peut se décomposer en fonction des sept grandeurs fondamentales.

L'équation aux dimensions s'écrit alors :

$$[G] : M^{a_1} L^{a_2} T^{a_3} I^{a_4} \Theta^{a_5} N^{a_6} J^{a_7}$$

avec, en général, a_i rationnel

Exemples :

- Quelle est la dimension d'une capacité ?

$$[RC] = T$$

$$\text{comme } [R] = M L^2 T^{-3} I^{-2},$$

on en déduit :

$$[C] = M^{-1} L^{-2} T^4 I^2$$

- Quelle relation lie **W** l'énergie stockée dans un condensateur à sa capacité **C** et à la tension **U** à ses bornes ?

$$W = k C^\alpha U^\beta$$

$$[W] = M L^2 T^{-2}$$

$$[k C^\alpha U^\beta] = 1 \cdot M^{-\alpha} L^{-2\alpha} T^{4\alpha} I^{2\alpha} \cdot M^\beta L^{2\beta} T^{-3\alpha} I^{-\beta}$$

d'où : $\alpha = 1$ et $\beta = 2$

$$\Rightarrow W = k C \cdot U^2 \quad \text{en réalité : } W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

1.5 Ordres de grandeurs

1.5.1 Multiples et sous-multiples

Il est parfois / souvent judicieux d'utiliser les multiples et sous-multiples des unités SI.

Les valeurs numériques correspondantes sont alors proches de 1

Exemples :

- puissance centrale nucléaire : mégawatt (MW)
- taille d'une bactérie : micromètre (μm)
- âge de la Terre : 4,5 Ga
- distance interatomique dans un cristal :
0.1 nanomètre (nm) ou 1 angstrœm (\AA)

10^{-18}	10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}
atto	femto	pico	nano	micro	milli

10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}
kilo	méga	giga	tera	peta	exa

1.5.2 Ordre de grandeur

Avant d'entamer un calcul ou la résolution d'un problème, il est important d'avoir en tête une idée, même approximative de la valeur du résultat

Exemples :

- Pour un problème d'astronomie, l'ordre de grandeur des masses d'objets célestes est environ : 10^{30} kg (Soleil)
- Les périodes de révolutions des planètes du système solaire est de l'ordre de l'année.
- La distance Terre – Soleil est $\approx 150 \cdot 10^6$ km
- Pour un problème à l'échelle nanométrique :
 - distance entre atomes pour un gaz parfait :
 ≈ 30 nm
 - taille d'un noyau : 10^{-15} m

- Masse volumique :
 - solide : $\rho \approx 10^3 \text{ kg m}^{-3}$
maximum $22.8 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ (osmium)
 - gaz (dans les conditions normales)
i.e. $T = 273.15 \text{ K}$ et $p = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 $\rho \approx 1 \text{ kg m}^{-3}$

- Débits :
 - Amazone : $175\,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
 - Rhône : $2\,200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$
 - Robinet : L.s^{-1}
 - Artère aorte : $\approx 0.1 \text{ L.s}^{-1}$

- Pression :
 - atmosphérique 10^5 Pa
 - fosse des Mariannes : $1000 \text{ bar} \approx 100 \text{ MPa}$
 - au centre de la Terre : 360 GPa
 - dans l'espace $10^{-8} - 10^{-11} \text{ Pa}$