

Matière, rayonnement et transformations 3

Transformations mutuelles de la matière et du rayonnement

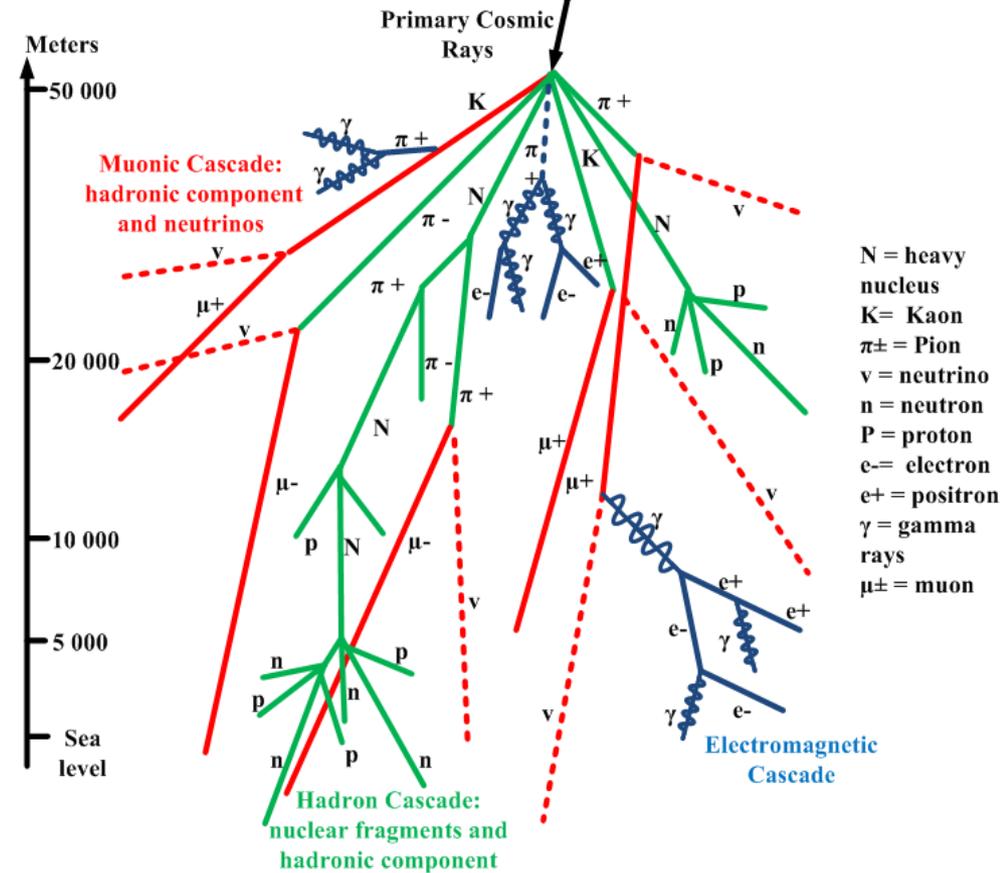
Notions utilisées :

1. Introduction
- 2-3. Structure de la matière
4. Les ondes

Pour une meilleure compréhension, certaines explications pourront être légèrement simplifiées/tronquées

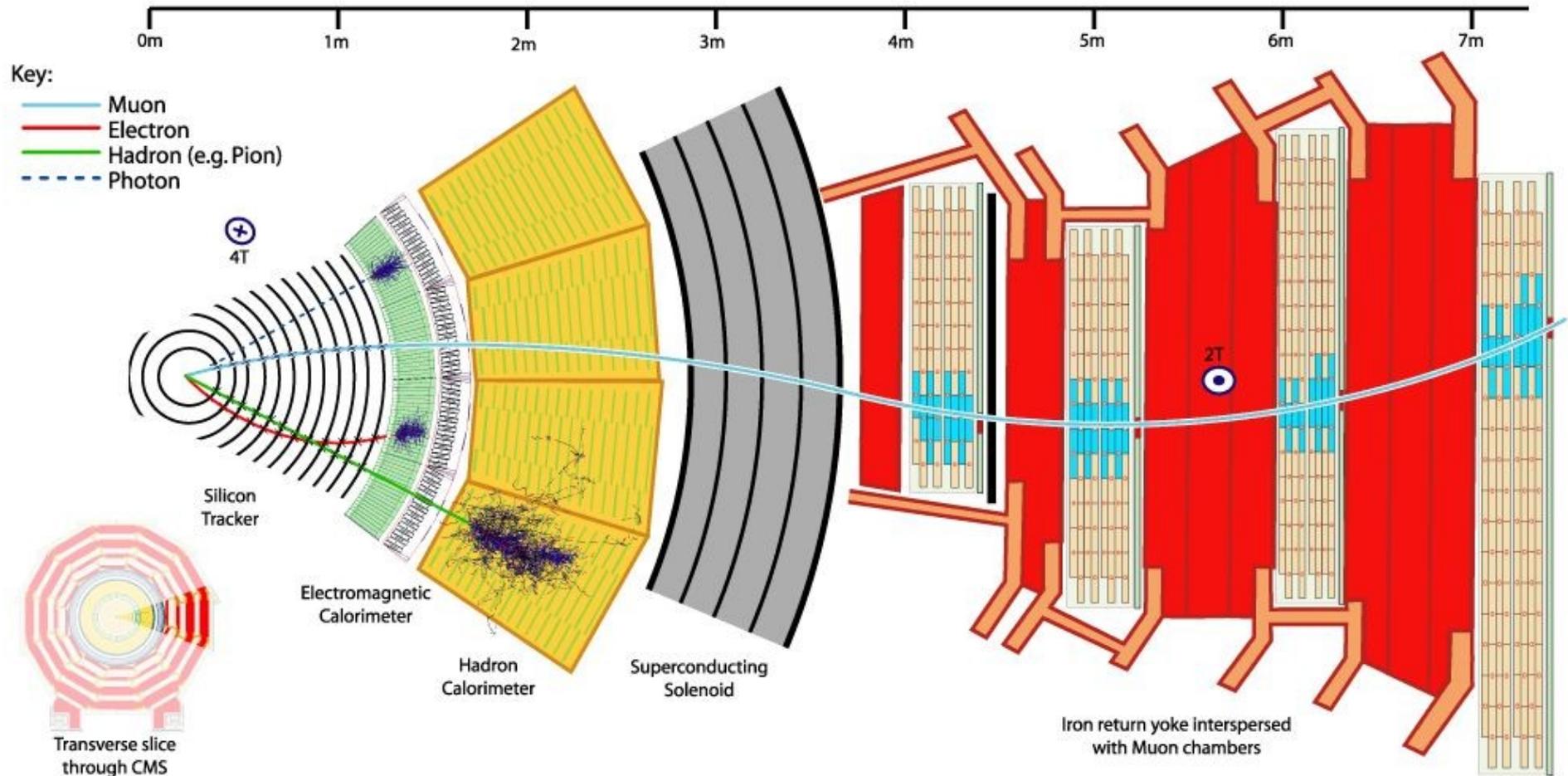
Images : Wikipédia sauf mention contraire

https://www.researchgate.net/figure/Showers-of-cosmic-ray-reactions-with-particles-of-the-atmosphere-Clo02_fig9_272826408



Gerbe atmosphérique créée par un rayon cosmique

Transformations du rayonnement par la matière

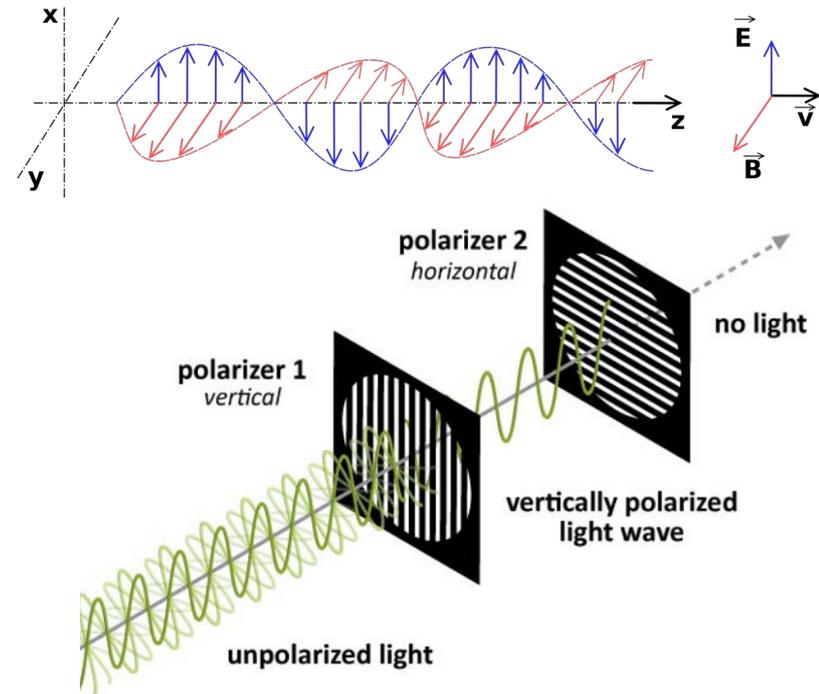


Polarisation de la lumière

- La **lumière naturelle** n'est **pas polarisée** : l'axe du champ électrique est **quelconque** (dans le plan perpendiculaire à la propagation de l'onde)
- On place des **polariseurs** : horizontal & vertical
 - En termes **ondulatoires** : ils polarisent la lumière selon une direction (et absorbent 50 % de la lumière) = **projection**
 - En termes **corpusculaires** : le photon passe ou pas (1/2)
- Le photon est défini par l'**état superposé** (et)

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|\uparrow\rangle + |\rightarrow\rangle)$$

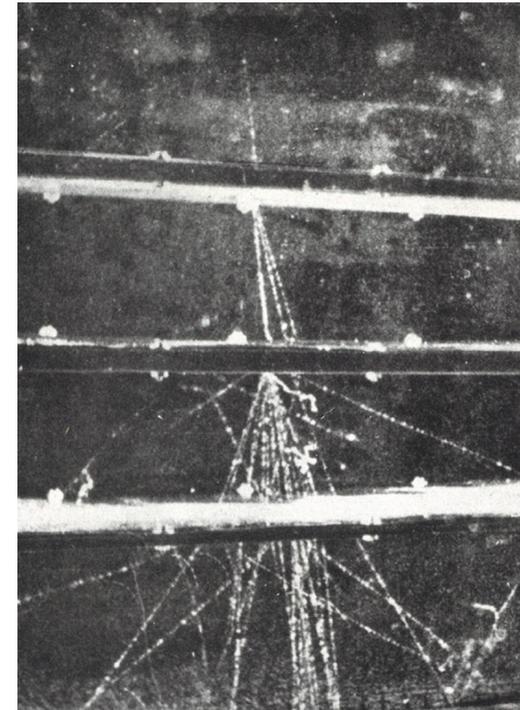
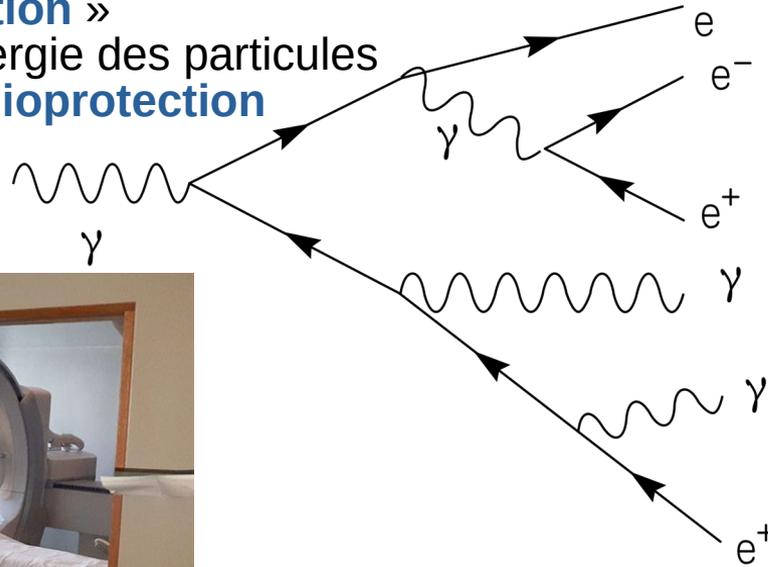
- En arrivant sur le polariseur, le photon va « prendre » une polarisation : \uparrow **ou** \rightarrow
 - Si // au polariseur, le photon **pass**e
 - Si \perp au polariseur, le photon **ne passe pas**
- Principe du cinéma 3D



Verre au plomb

- Forte densité (de 3 à 6 – 2,5 pour verre classique) et indice de réfraction élevé (1,7-1,8)
 - → **effet Tcherenkov** (si $v > c/n = 170\,000$ km/s)
 - → Faible « **longueur de radiation** » (= décroissance rapide de l'énergie des particules incidentes) → utilisation en **radioprotection**

- Utilisation en physique des particules : observation de « **gerbes / cascades électromagnétiques** » : création de paires e^-/e^+ & Bremsstrahlung

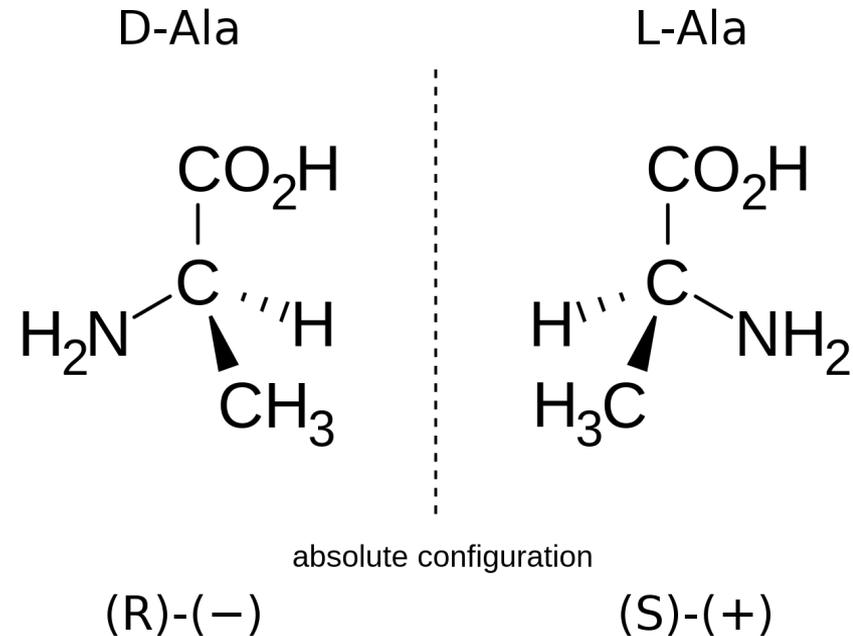


La chiralité

- Un système est dit **chiral** s'il n'est pas **superposable à son image dans un miroir**.
 - Deux molécules sont des « **énantiomères** » : **R / S**
 - Deux énantiomères peuvent avoir des **propriétés biologiques très différentes, voire antagoniques**
 - Ex : **thalidomide** : la configuration (R) a des effets sédatifs et anti-nauséeux (notamment chez la femme enceinte), alors que la configuration (S) a des effets **tératogènes**.
- **Asymétrie** des molécules biologiques ou « **homochiralité** » (du grec homos, « même », et cheir, « main ») :
 - les acides aminés prébiotiques et les glucides simples naturels n'existent **pratiquement que sous une des deux formes énantiomères**
 - Alors que, lors d'une synthèse chimique, on obtient un **mélange « racémique »** (50/50) des deux formes (du latin *racemus*, grappe, raisin)

Rectus / Sinister

Ex : alanine (un des 22 acides aminés protéinogènes)

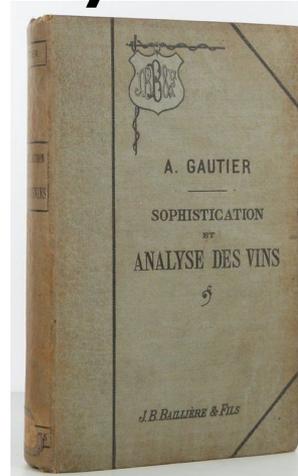
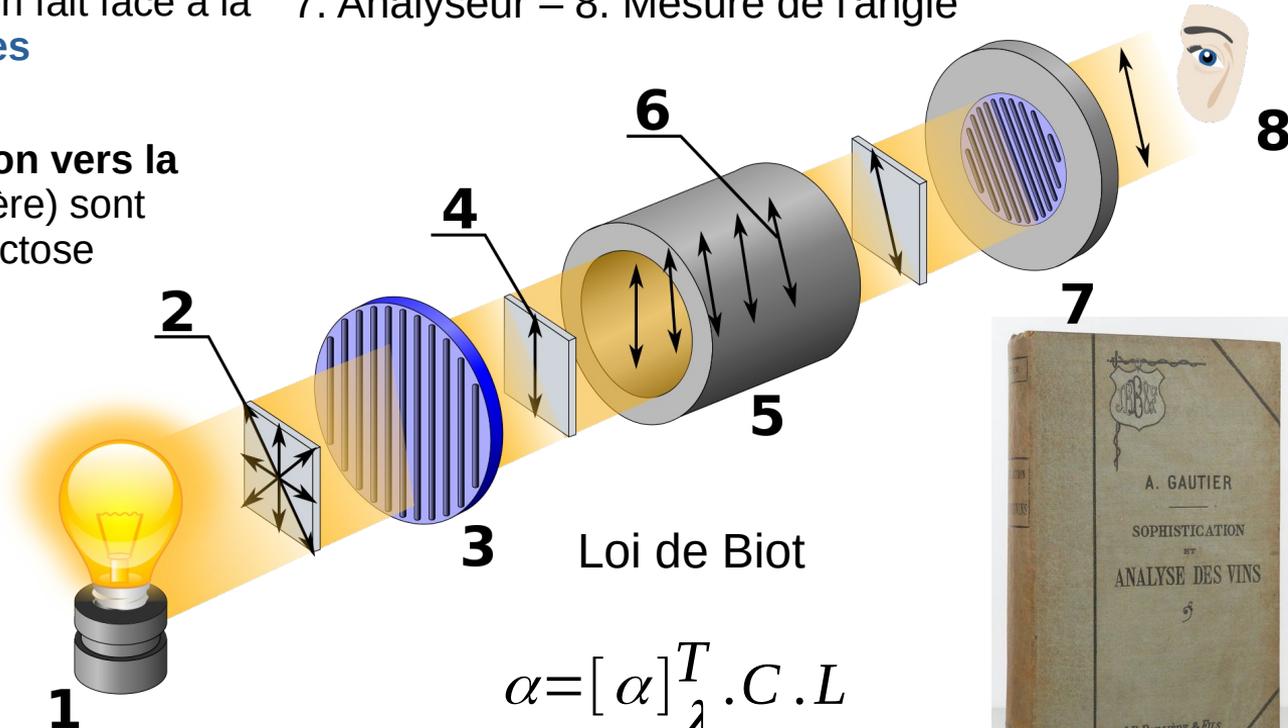


Le pouvoir rotatoire

- C'est la **capacité d'un milieu à faire tourner le plan de polarisation d'une lumière polarisée rectilignement**
 - Les composés induisant une **déviaton de la polarisation vers la droite** (quand on fait face à la lumière) sont qualifiés de **dextrogyres**
Exemple : saccharose
 - Les composés induisant une **déviaton vers la gauche** (quand on fait face à la lumière) sont qualifiés de **lévogyres**, exemple : fructose
- Le mélange des deux **énantiomères** à 50/50 est **optiquement inactif**
- Possibilité de détecter une **chaptalisation** du vin (limitée et taxée)
→ différence de pouvoir rotatoire

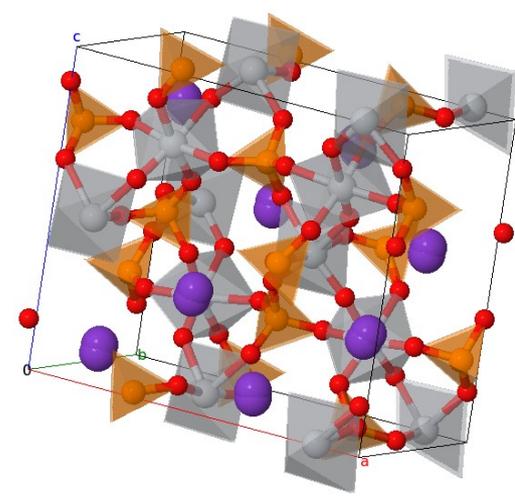
Dispositif de mesure du pouvoir rotatoire

1. Source lumineuse – 2. Lumière non polarisée
3. Polariseur – 4. Lumière polarisée rectilignement
5. Cuve de longueur L contenant le soluté
6. Direction de polarisation modifiée
7. Analyseur – 8. Mesure de l'angle



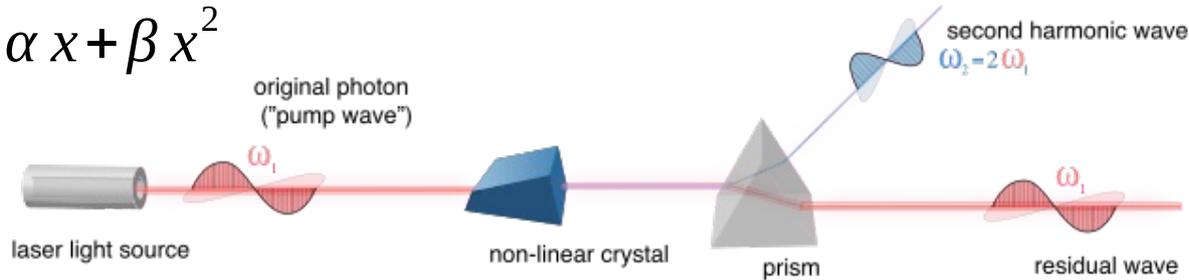
Doublement de fréquence

- « Génération de seconde **harmonique** »
- Effets **non linéaires** avec de grandes densités de puissance (lasers) → « **optique non linéaire** »

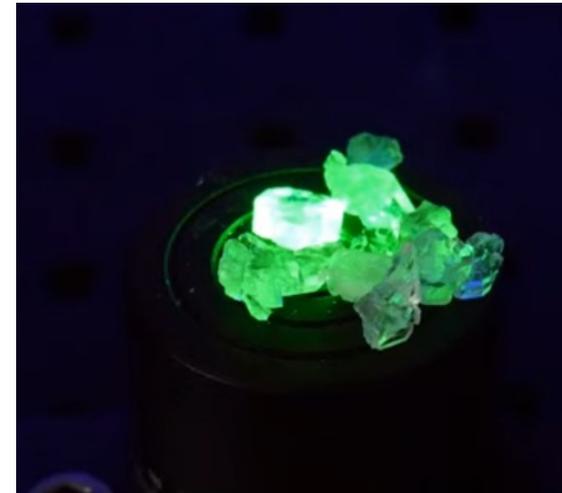


Titanyl phosphate de potassium KTiOPO_4

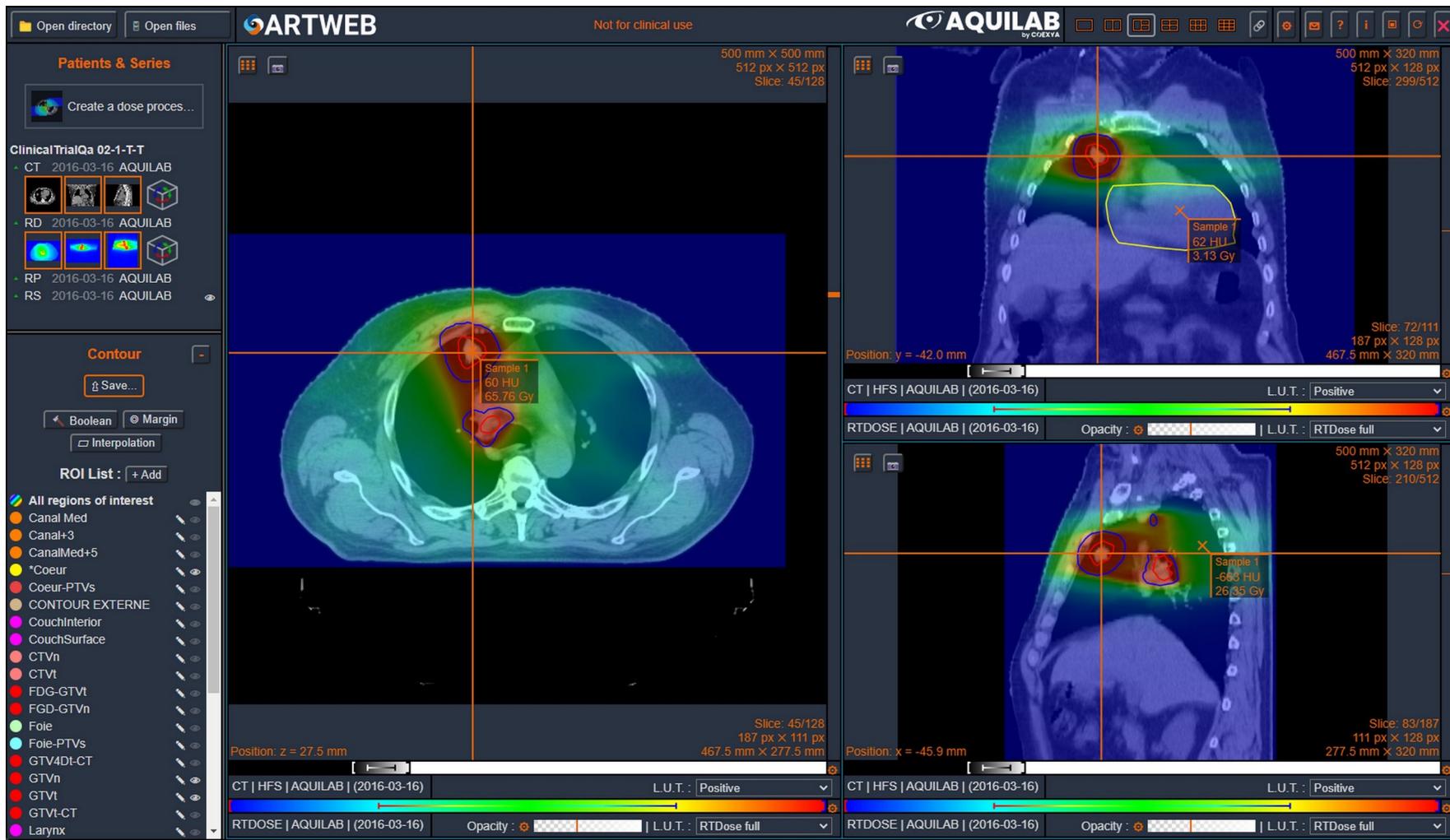
$$\text{effet} = \alpha x + \beta x^2$$



[youtube.com/watch?v=UaslPhb9_Is](https://www.youtube.com/watch?v=UaslPhb9_Is)



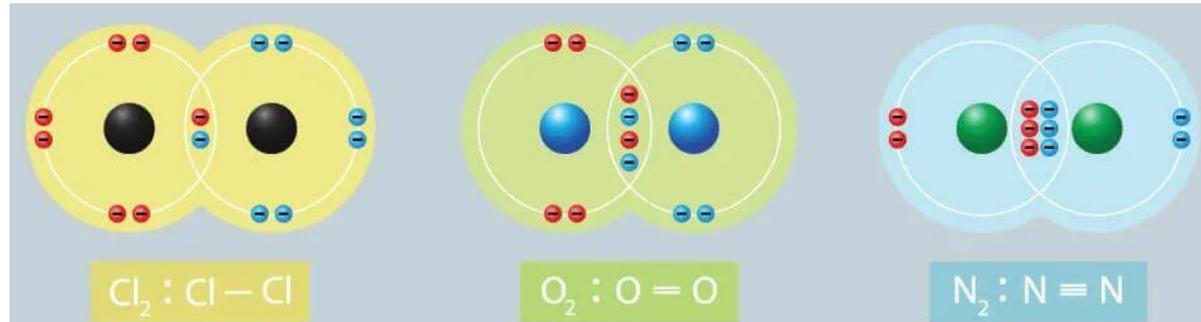
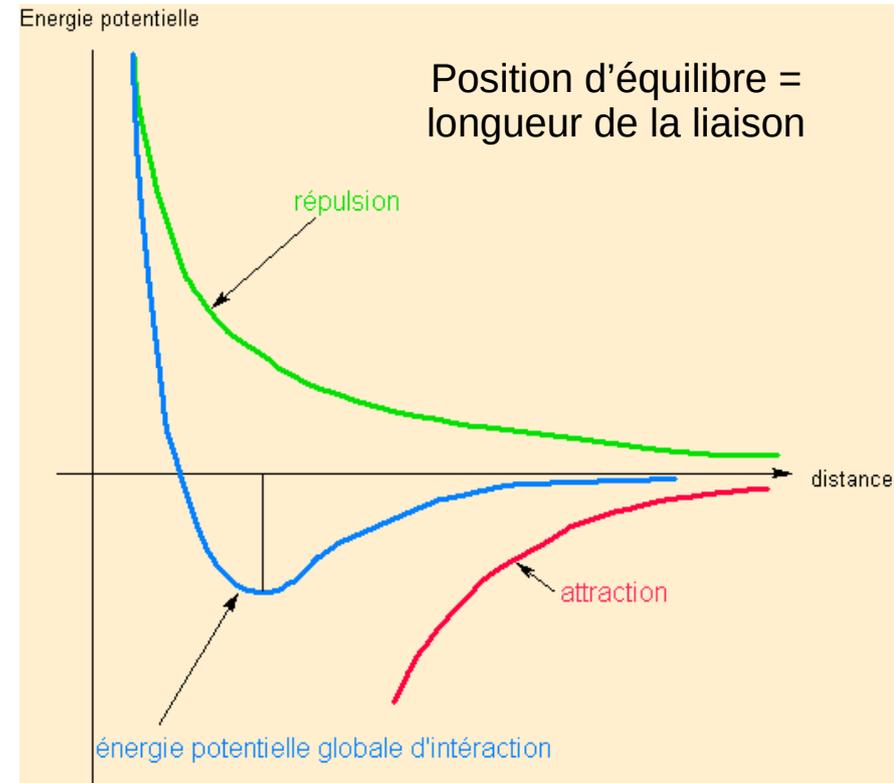
Transformations de la matière par le rayonnement



« Plan de radiothérapie »

La liaison chimique

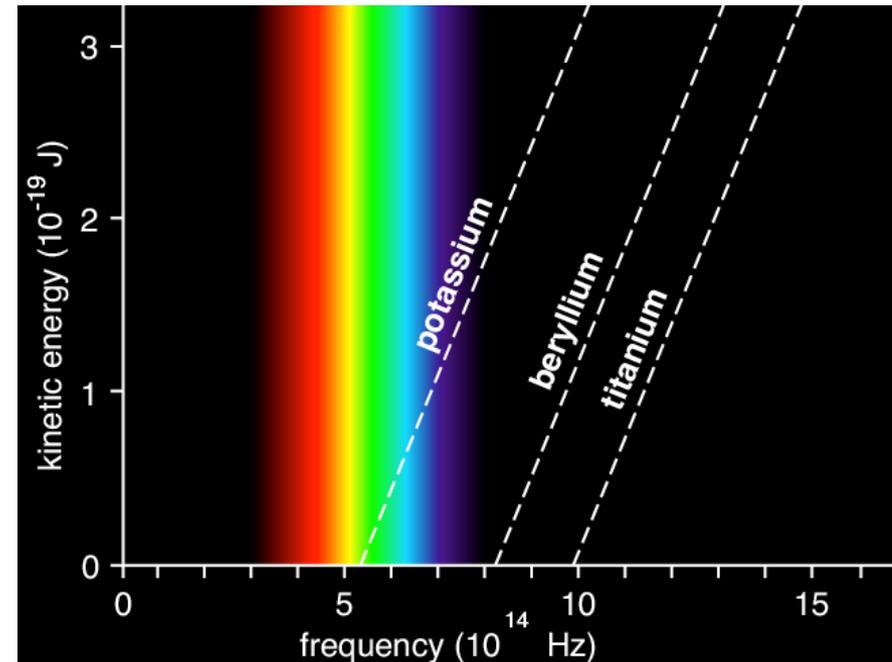
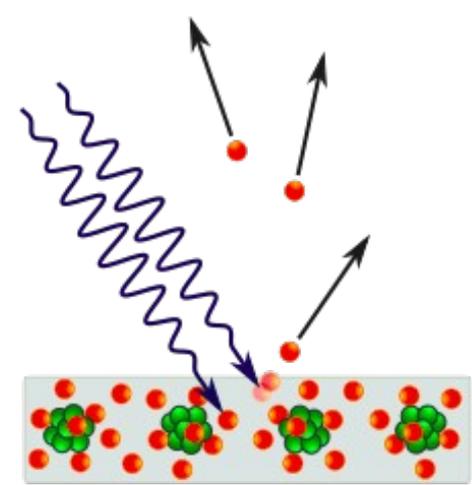
- Interaction **stable** et **durable** entre plusieurs **atomes, molécules, ions**
 - **Attraction mutuelle des noyaux et des électrons mis en commun**
- **Nombreux types de liaisons : métallique, ionique, hydrogène, covalente**
- **Liaison covalente** : deux atomes se partagent deux électrons d'une de leurs couches externes → « **doublet liant** » **délocalisé**
 - partage de 2 / 3 paires d'e⁻ = liaisons « double » et « triple »



L'effet photoélectrique 1

Problème expérimental à la fin du XIX^e siècle : lorsque l'on éclaire un métal avec de la **lumière**, celui-ci peut **émettre des électrons**

- Interaction onde-matière : **le rayonnement arrache des électrons à la matière**
- 1902, Philipp Lenard (PN 1905) : **l'énergie ne dépend pas de l'intensité de la lumière**
 - L'**énergie cinétique** dépend de la **fréquence** ; le nombre d'e⁻, de l'**intensité**
 - Se déclenche à **partir d'un certain seuil de fréquence** – incompréhensible si on considère la lumière comme une **onde**



L'effet photoélectrique 2

- Article d'Einstein (1905)
 - **le rayonnement électromagnétique est lui-même quantifié**
 - Un grain de lumière (« **photon** ») porte une **énergie $E = h \cdot \nu$** ($h = 6,626 \times 10^{-34}$ J.s : constante de Planck)
 - Titre de docteur en physique et prix Nobel de physique en 1921
- Interaction entre onde et matière **quantifiées**
 - « **Optique quantique** »

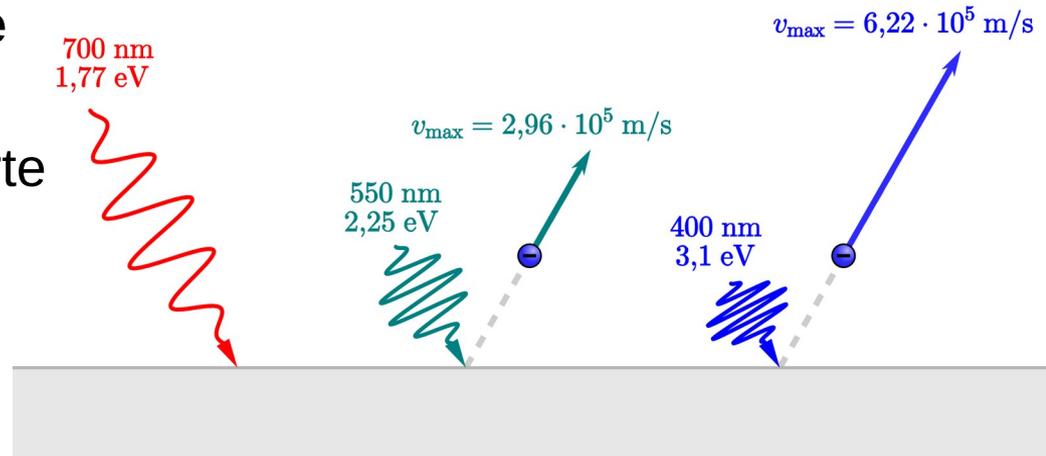
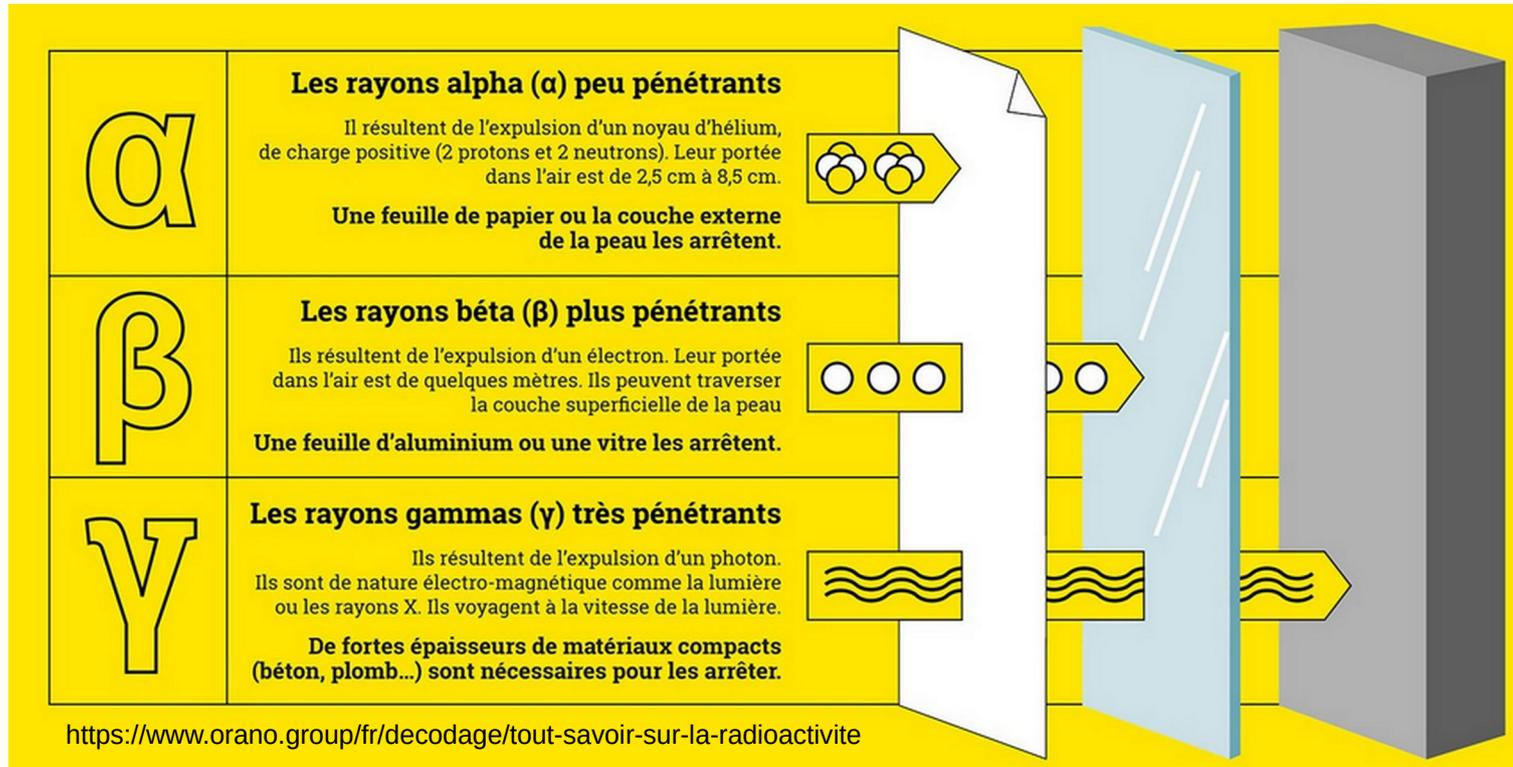


Illustration de la dépendance de l'effet photoélectrique à l'énergie du photon incident. Le photon en rouge n'a pas assez d'énergie pour libérer un électron du métal.

Les rayonnements ionisants

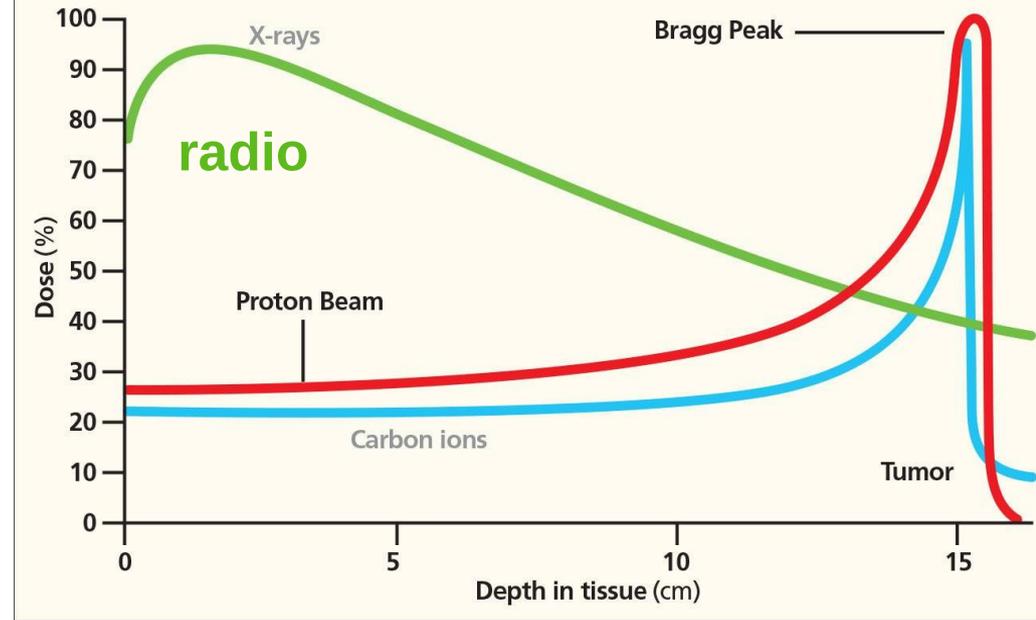
- Rayonnements pouvant **produire directement ou indirectement des ions** lors de leur passage à travers la matière → brûlures, cancers, mort (physiciens, médecins, ...)
- Meurtre au polonium 210 (radioactivité α , Marie Curie 1898) d'Alexandre Litvinenko en 2006 (et Yasser Arafat en 2004 ?) – quelques dizaines de ng suffisent...



L'hadronthérapie

- **Hadron** = composé de **quarks**
 - **protons**, ions **carbone**
- Physique quantique & relativité restreinte → calcul du **dépôt d'énergie dans le milieu** : « **formule de Bethe** »
 - Prix Nobel de physique 1967

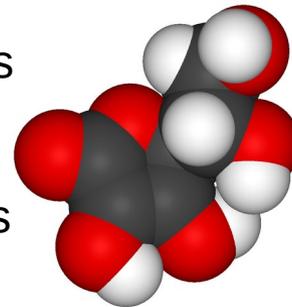
$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi}{m_e c^2} \cdot \frac{n z^2}{\beta^2} \cdot \left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \cdot \left[\ln\left(\frac{2m_e c^2 \beta^2}{I \cdot (1-\beta^2)}\right) - \beta^2 \right]$$



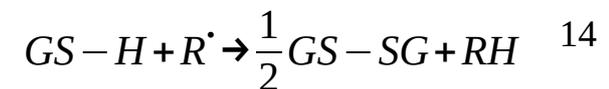
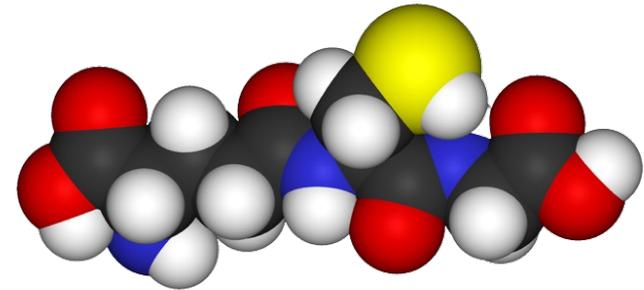
- La **section efficace** augmente lorsque l'énergie de la particule décroît
→ « **pic de Bragg** »
- Le faisceau est conçu pour déposer la **majeure partie de son énergie** au niveau de la tumeur

Les radicaux libres

- Un **radical (libre)** est une espèce chimique possédant **un/des électron(s) de valence non apparié(s)**
 - **Dérivés / espèces réactifs/ves de l'oxygène (DRO/ERO)** : espèces chimiques oxygénées **très réactives** : anion superoxyde O_2^- , oxygène singulet 1O_2 , peroxyde d'hydrogène H_2O_2 , ozone O_3
 - Origine **endogène** (sous-produits métaboliques) ou **exogène** : UV, polluants, ...
- Le radical cherche à **céder ou gagner un électron** en provoquant des **réactions d'oxydoréduction** = transferts d'électrons entre un oxydant (qui se réduit = gagne des e^-) et un réducteur (qui s'oxyde = perd des e^-) → **transmet ses propriétés réactives** à une autre molécule → **réactions en chaîne**
 - → Dommages à l'ADN (**mutations**), aux protéines (**modification de structure** → dénaturation, inactivation) et aux lipides (**membrane cellulaire**)
- **Anti-oxydants** = molécules qui **préviennent / réduisent l'oxydation en réagissant avec les radicaux**. Notre organisme dispose d'antioxydants naturels, notamment d'enzymes. Un « **stress oxydant** » (« **oxydatif** ») apparaît lorsque les défenses antioxydantes naturelles sont dépassées
- Ex : vitamine C, glutathion (γ -L-Glutamyl-L-cystéinyglycine), dont le NAC est un précurseur

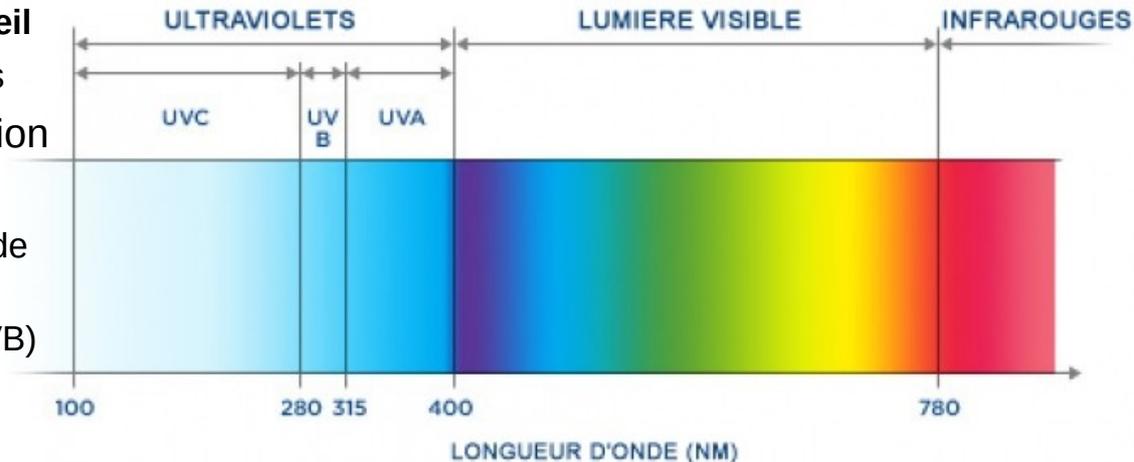
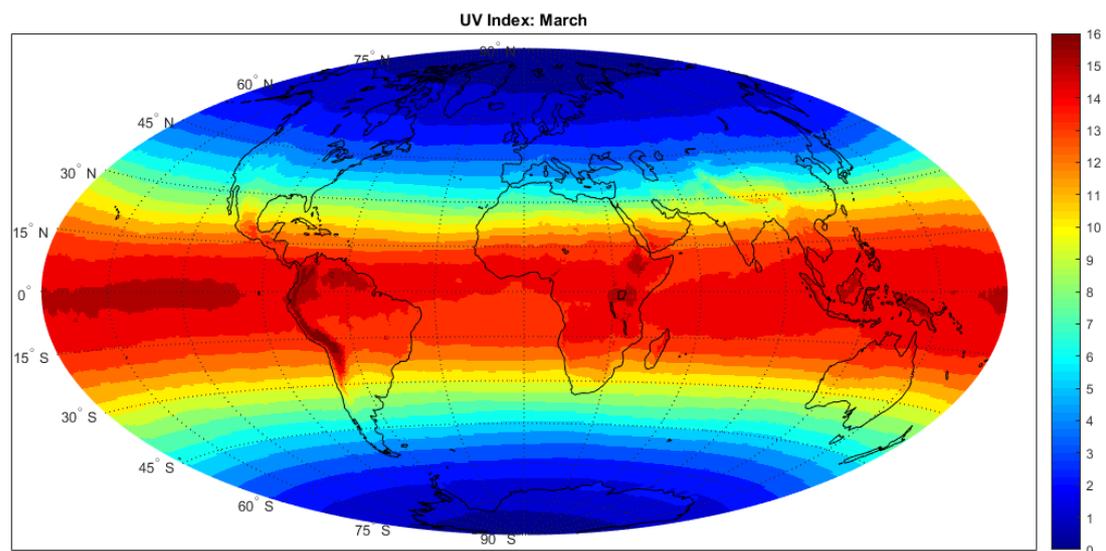


Vitamine C et glutathion



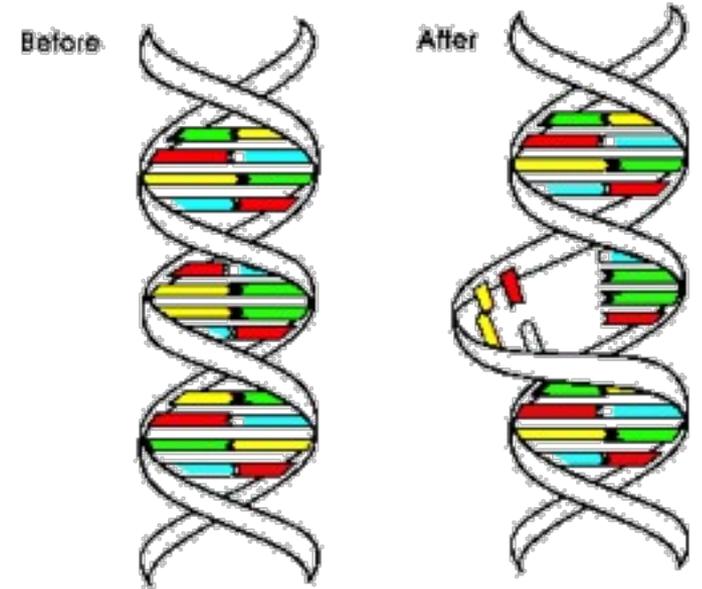
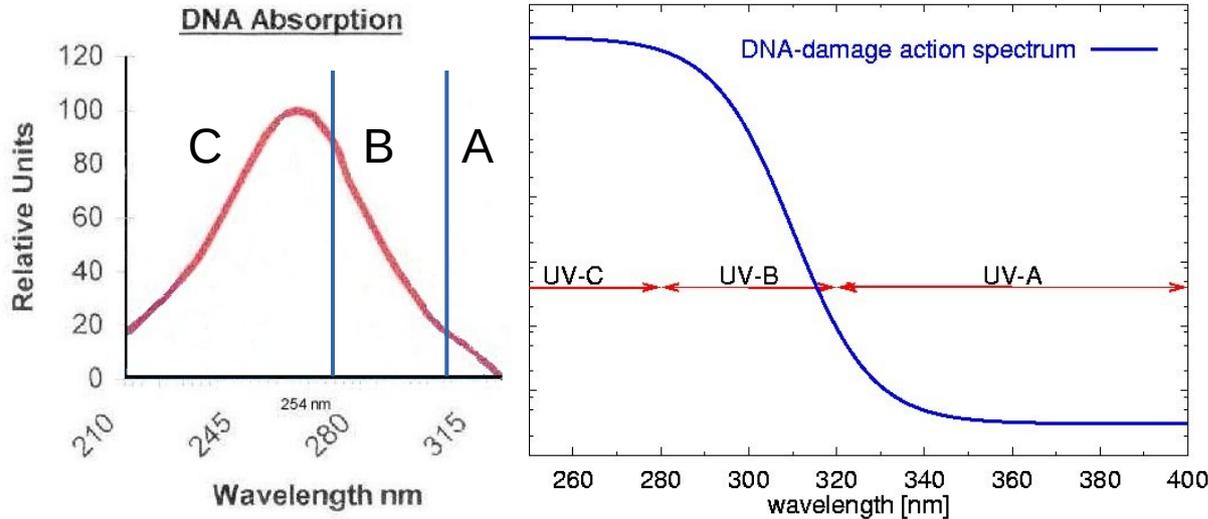
Les rayons UV

- 5 % de l'énergie électromagnétique du Soleil
- On en distingue **3 types** :
 - Les **UVC** ($\lambda = 100 - 280 \text{ nm}$)
 - les **plus énergétiques** et les plus nocifs
 - Filtrés par la **couche d'ozone** (importante !)
 - Effet **germicide** (stérilisation de l'eau, d'objets)
 - Les **UVB** ($\lambda = 280 - 315 \text{ nm}$) – 5% exposition
 - **arrêtés** par le verre et les nuages
 - → **bronzage à retardement** et **coups de soleil**
 - **vieillissement** de la peau et **cancers** cutanés
 - Les **UVA** ($\lambda = 315 - 400 \text{ nm}$) – 95 % exposition
 - **Pas arrêtés** par le verre ou nuages
 - → **bronzage immédiat** et du **vieillissement** de la peau
 - Effet **cancérogène** longtemps ignoré (<< à UVB)
 - Énergie de **qq eV** ($1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$)
 - $\lambda > \lambda_{\text{visible}} \Leftrightarrow E > E_{\text{visible}}$
 - ~ **énergie de liaison chimique**
 - **dégâts biologiques**



Mécanisme du coup de soleil

- Les UV créent un « **stress oxydatif** » via des « **radicaux libres** » qui **endommagent** l'ADN, ce qui déclenche une **réaction inflammatoire**

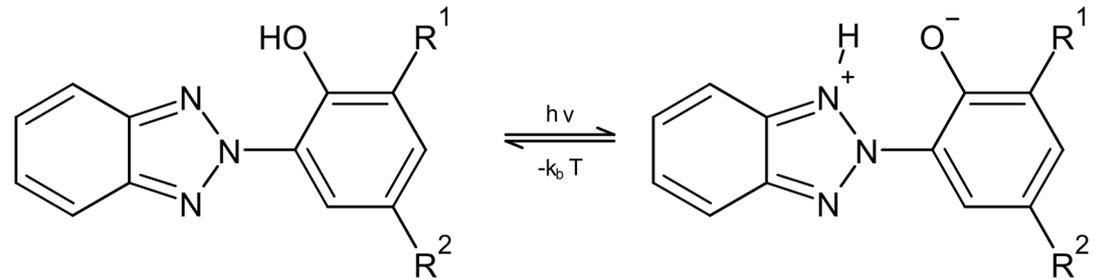


Les principales cibles sont les bases thymine et cytosine :
les photons (UVB) absorbés **rompent les liaisons** existantes et en créent d'autres
→ **distorsions dans la molécule**

Vieillessement du plastique

- **Photo-dégradation** ou **photo-oxydation** des polymères
 - Action combinée des UV et de l'oxygène
- Création de **radicaux libres** qui réagissent avec l'oxygène de l'air
- → rupture des chaînes polymères
→ le matériau devient fragile et cassant

- Prévention : ajout d'une fraction de « **stabilisants UV** » = molécules qui **absorbent sans dommages les rayons UV**
 - Ex : benzotriazole-phénol



Découpe au laser

- Grande quantité d'énergie lumineuse générée par un laser, **concentrée sur une surface très réduite**
 - Le faisceau laser permet d'**élever la température** d'une **zone réduite** de matière, jusqu'à **vaporisation** du matériau
 - La ZAT (**zone affectée thermiquement**) est réduite ($\sim 0,3$ mm) \rightarrow peu de déformation des pièces découpées

