

## Activité 3.1 – Principe d'une échographie

### Objectifs :

- Comprendre le principe d'une échographie.

**Contexte :** Pendant les grossesses on peut visualiser l'embryon à l'aide d'une **échographie**, ce qui permet de vérifier son bon développement.

→ **Comment fonctionne une échographie ?**

### Document 1 – Fréquence de propagation et réflexion des ultrasons

Les ultrasons sont des ondes sonores inaudibles par une oreille humaine. La fréquence d'un ultrason est supérieure à 20 000 Hz.

Les ultrasons sont des ondes mécaniques et donc

- elles ne se propagent pas dans le vide ;
- la vitesse des ultrasons dépend du milieu traversé ;
- elles peuvent être réfléchies sur un obstacle (écho).

Vitesse de propagation d'un ultrason dans un milieu			
Matériau	Air à 20 °C	Eau à 37 °C	Sang
Vitesse de propagation	$340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$1\,530 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$1\,560 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

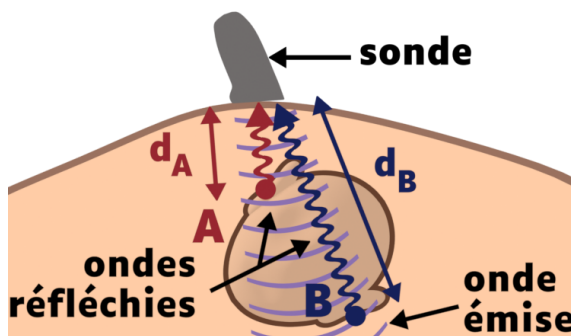
Dans un corps humain, la célérité moyenne d'un ultrason est  $c = 1\,540 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### Document 2 – L'échographie

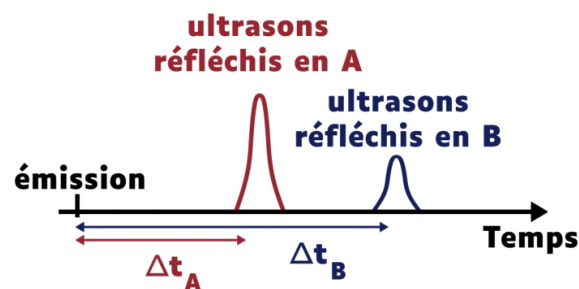
L'échographie utilise le phénomène d'écho, comme son nom l'indique. Une sonde est posée sur la peau recouverte d'un gel et émet des ultrasons. Les ultrasons se propagent dans le corps et sont réfléchis quand ils rencontrent un changement de milieu. Par exemple, pendant le passage d'un tissu musculaire à un tissu osseux.

Après réflexion, les ultrasons sont reçues par la sonde. La durée  $\Delta t$  qui sépare l'émission et la réception des ultrasons est alors mesurée et permet de calculer des distances.

En comparant les durée de réception et avec un traitement numérique, on peut obtenir une image contrastée des tissus biologiques dans le corps humain.



↑ Schéma d'une échographie.



↑ Ultrasons reçus lors d'une échographie.

### Document 3 – Surveillance d'une grossesse avec l'échographie

Afin de suivre la croissance du fœtus, une surveillance est réalisée par échographie. Elle permet d'effectuer différentes mesures, notamment celle du diamètre bipariétal BIP (largeur de la tête entre les deux oreilles), qui fournit de précieuses informations sur le développement cérébral du fœtus.

On note A la position de la première oreille et B la position de la seconde oreille.

**1 –** Exprimer la distance  $d_A$  entre la sonde et la première oreille, en fonction de la célérité des ultrasons  $c$  et du temps de détection des ultrasons réfléchis  $\Delta t_A$ .

$\Delta t_A$  correspond au temps mis par l'onde pour faire un aller-retour, il faut donc le diviser par 2 pour calculer la distance

$$d_A = c \times \frac{\Delta t_A}{2}$$

**2 –** Exprimer de même la distance  $d_B$  entre la sonde et la seconde oreille, en fonction de la célérité des ultrasons  $c$  et du temps de détection des ultrasons réfléchis  $\Delta t_B$ .

C'est le même calcul, mais avec  $\Delta t_B$  pour le temps

$$d_B = c \times \frac{\Delta t_B}{2}$$

**3 –** Calculer les valeurs de  $d_A$  et  $d_B$ . En déduire le diamètre bipariétal.

**Données :**  $\Delta t_A = 120 \mu\text{s}$ ,  $\Delta t_B = 185 \mu\text{s}$ ,  $1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$ .

Le diamètre bipariétal vaut

$$\begin{aligned} BIP &= d_B - d_A \\ &= c \times \frac{\Delta t_B}{2} - c \times \frac{\Delta t_A}{2} \\ &= c \times \left( \frac{\Delta t_B - \Delta t_A}{2} \right) \\ &= 1\,540 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \times \left( \frac{(185 - 120) \times 10^{-6} \mu\text{s}}{2} \right) \\ &= 5,0 \times 10^{-2} \text{ m} \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

**4 –** La patiente est examinée lors de la 21ème semaine d'aménorrhée. Les valeurs normales du diamètre bipariétal se situent alors entre 46 mm et 57 mm. Indiquer si l'examen permet de suspecter un retard de croissance du fœtus.

Le diamètre bipariétal est compris entre les deux valeurs normales,  $46 \text{ mm} < 50 \text{ mm} < 57 \text{ mm}$ , donc on ne peut pas suspecter un retard de croissance pour le fœtus.

## TP 3.1 – Réalisation pratique d'une échographie

### Objectifs :

- ▶ Utiliser une démarche expérimentale pour comprendre le principe d'imagerie par échographie.

**Contexte :** En envoyant des ultrasons sur un corps humain, on observe que les ondes sont plus ou moins réfléchies en fonction des tissus rencontrés. Si on détecte beaucoup d'ultrasons réfléchis sur des tissus durs, la zone correspondante apparaît blanche sur l'image (os). Si on ne détecte pas ou peu d'ultrasons réfléchis, c'est qu'ils se sont propagés dans des tissus mous : la zone apparaît sombre sur l'image (liquide ou membrane).

→ **Comment reconstruire une image à partir des données mesurées pendant une échographie ?**

### Document 1 – Onde ultrasonore et matériau

Quand une onde sonore dans le domaine des ultrasons arrive sur une surface, elle peut être **transmise**, **absorbée** ou **réfléchie** en fonction des propriétés du matériau.

- **Transmission** : l'onde traverse le matériau ;
- **Absorption** : l'onde est absorbée par le matériau (son amplitude diminue) ;
- **Réflexion** : l'onde est réfléchie comme sur un miroir.

En général, plus un matériau est dense et dur, plus il réfléchira bien les ondes ultrasonores.


### Document 2 – Matériel disponible


On dispose

- d'un générateur 12 V ;
- d'un émetteur d'ultrasons (noté E), qui émet autour de 40 kHz ;
- d'un récepteur d'ultrasons (noté R), sensible autour de 40 kHz ;
- d'un oscilloscope ;
- de câbles BNC et de câbles banane.



### Document 3 – Protocole de mise en place

- ▶ Alimenter l'émetteur (E) d'ultrasons en 12 V en mode salve et le relier à la voie 1 de l'oscilloscope.
- ▶ Placer le récepteur (R) à environ 15 cm en face de l'émetteur que l'on relie à la voie 2 de l'oscilloscope.
- ▶ Allumer et régler l'oscilloscope pour qu'il affiche les signaux des deux voies.
- ▶ Changer le calibre de la voie 2 pour augmenter la sensibilité verticale (en Volt par division : V/div) et obtenir 2 signaux de taille similaire à l'écran.

 Réaliser le protocole du document 3, appeler le professeur en cas de soucis.

 Placer une plaque entre l'émetteur et le récepteur. Compléter le tableau concernant la capacité de transmission des différents matériaux avec les adjectifs : fort, moyen, faible, nul.

Matériau					
Capacité de transmission					

  Dans une échographie, l'émetteur et le récepteur sont côte à côte. Placer l'émetteur et le récepteur côte à côte, puis placer des obstacles devant l'ensemble pour remplir le tableau suivant avec les adjectifs fort, moyen, faible, nul.



Matériau					
Capacité de réflexion					

1 — Mesurer la durée  $\Delta t$  en seconde mise par les ultrasons pour faire l'aller-retour.

2 — Trouver la relation entre la célérité  $c$  de l'onde ultrasonore, le temps  $\Delta t$  que met l'onde à faire l'aller-retour et la distance  $d$  entre l'émetteur-récepteur et l'obstacle.

3 — Calculer  $d$ , sachant que  $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  dans l'air.

4 — Vérifier cette mesure avec une règle.

  Pour comprendre le fonctionnement de l'échographie médicale, on utilise le dispositif précédant. Une boîte en carton (ventre) contient un objet (foetus), que l'on va chercher à imager.

5 — Proposer et réaliser une démarche pour identifier la position de l'objet dans la boîte.

## Activité 3.2 – Principe d'une échographie doppler

### Objectifs :

- Comprendre le principe d'une échographie doppler.

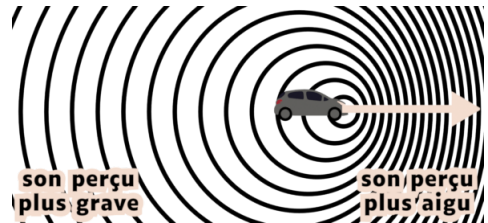
**Contexte :** Pour vérifier que le sang circule normalement dans les vaisseaux sanguins, de nos jours on utilise l'échographie doppler, qui est précise et non-intrusive.

→ **Comment fonctionne une échographie doppler ?**

### Document 1 – L'effet doppler

Quand deux personnes sont à la même distance d'une source sonore immobile, elles entendent le même son. Mais si la source est en mouvement, chaque personne perçoit un son différent :

- si la source se rapproche, le son paraît plus aigu : **la fréquence de l'onde augmente** ;
- si la source s'éloigne, le son paraît plus grave : **la fréquence de l'onde diminue**.



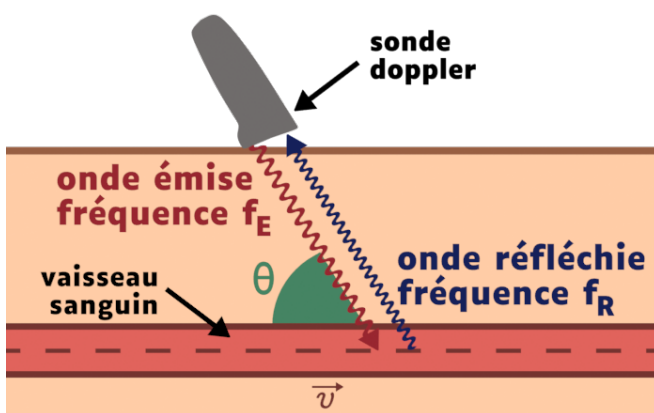
C'est **l'effet doppler** : la fréquence de l'onde émise change lorsqu'il y a un mouvement relatif entre la source d'émission et la personne qui écoute.

**1 —** Yasmine entend la sirène d'une ambulance de plus en plus aiguë. L'ambulance se rapproche ou s'éloigne de Yasmine ?

Comme le son est de plus en plus aiguë, cela veut dire que la fréquence augmente et que l'ambulance se rapproche de Yasmine.

### Document 2 – L'échographie doppler

L'échographie doppler utilise aussi le phénomène d'écho, comme l'échographie simple. Une sonde est posée sur la peau recouverte d'un gel et émet des ultrasons. Les ultrasons se propagent dans le corps et sont réfléchis par **les globules rouges** dans les vaisseaux sanguins.



Après réflexion, les ultrasons sont reçus par la sonde. La fréquence de l'onde sonore réfléchie varie en fonction de la fréquence de l'onde émise et de la vitesse de déplacement des globules rouges.

Mesurer le décalage en fréquence  $\Delta f$  entre la fréquence de l'onde émise et celle de l'onde réfléchie, permet donc de déterminer la vitesse et le sens d'écoulement du sang dans les vaisseaux.

Le décalage en fréquence est relié à la vitesse d'écoulement par la relation suivante :

$$\Delta f = \frac{2v f_E \cos(\theta)}{c} \quad \Longleftrightarrow \quad v = \frac{c \Delta f}{2 f_E \cos(\theta)}$$

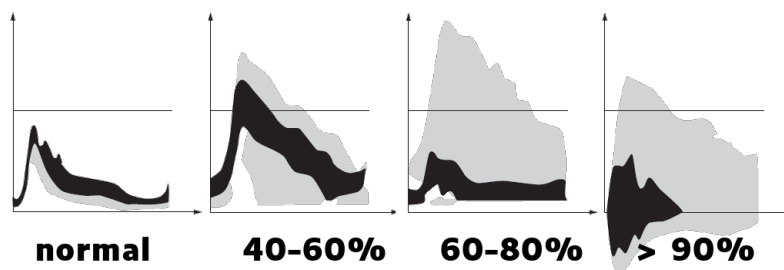
- $f_E$  est la fréquence de l'onde émise en Hz ;
- $f_R$  est la fréquence de l'onde réfléchiée en Hz ;
- $c$  est la célérité du son dans le corps en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- $v$  est la vitesse des globules rouges en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- $\theta$  est l'angle entre l'axe de la sonde et l'axe du vaisseau sanguin.

**2 –** Indiquer quelle partie du corps humain réfléchit le son dans une échographie doppler et quelle est la grandeur mesurée.

Ce sont les globules rouges qui réfléchissent les ondes sonores dans une échographie doppler. On mesure le décalage en fréquence de l'onde sonore

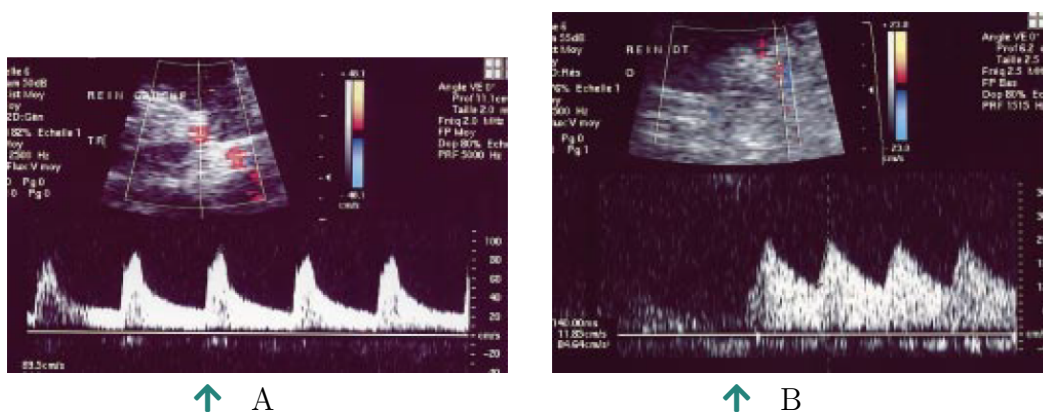
### Document 3 – Échographie doppler d'une artère

Les échographies doppler servent notamment à vérifier que les patient-es ne présentent pas de **sténose aortique**, c'est-à-dire une diminution du diamètre d'une artère. On peut exprimer cette diminution du diamètre en pourcentage par rapport à une taille normale. On a alors une évolution du signal mesuré avec une échographie doppler en fonction de l'avancée de la sténose.



↑ Signal doppler visible en fonction de l'avancée de la sténose.

On compare deux images d'échographie doppler d'une artère rénale : celle d'un-e patient-e sans pathologie et celle d'un-e patient-e souffrant d'une sténose aortique.



**3 –** Analyser les échographies et en déduire qui de A ou B souffre de sténose aortique.

C'est le patient B qui souffre d'une sténose aortique, car son signal doppler correspond à une diminution du diamètre de l'artère de 60 à 80 %.

## Activité 3.3 – Diagnostiquer une hémochromatose

### Objectifs :

- Utiliser les principes de l'échographie pour mener un diagnostic médical.

**Contexte :** L'hémochromatose est une maladie qui perturbe l'absorption du fer et nécessite la surveillance particulière du foie.

→ **Comment diagnostiquer une hémochromatose avec une échographie ?**

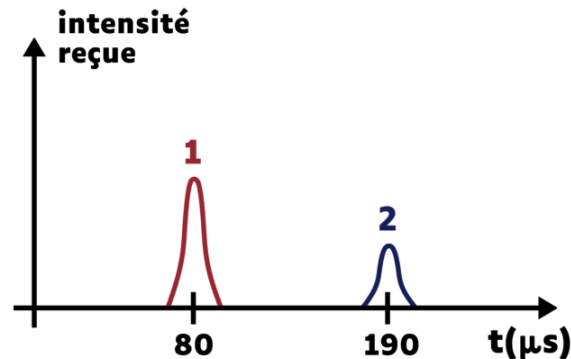
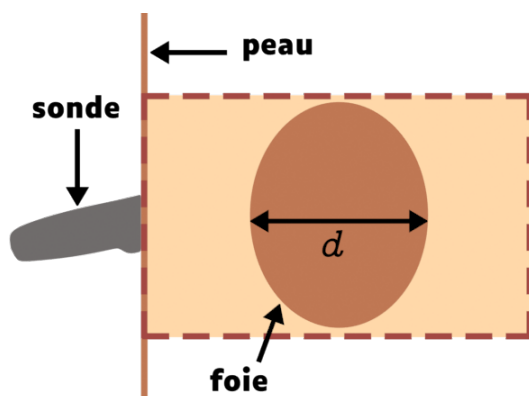
### Document 1 – L'hémochromatose

Les hémochromatoses sont un groupe de maladies héréditaires autosomiques, récessives dans l'immense majorité des cas, concernant le métabolisme du fer, et se caractérisant par une surcharge de fer dans l'organisme. À long terme, les dépôts ferriques engendrent des lésions anatomiques et fonctionnelles irréversibles.

Une augmentation de la taille du foie peut être un symptôme de l'hémochromatose. Une échographie du foie permet de mesurer sa taille.

### Document 2 – Suivi échographique

L'épaisseur d'un foie est normalement comprise entre 8 cm et 12 cm. Une sonde échographique, placée sur le ventre d'un patient, émet des ondes ultrasonores de fréquence  $f = 6,0$  MHz. Les signaux reçus par la sonde sont représentés sur la figure de droite ci-dessous.



L'instant  $t = 0 \mu\text{s}$  correspond à l'émission du signal

#### Données :

- $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ .
- $1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$ .
- Fréquences des ondes sonores audibles : de 20 Hz à 20 000 Hz.
- Vitesse des ultrasons dans le corps humain  $c = 1\,540 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

1 — Justifier que les ondes utilisées sont des ultrasons.

Les ondes sonores utilisées ont une fréquence de  $6,0 \text{ MHz} = 6 \times 10^6 \text{ Hz} > 20\,000 \text{ Hz}$ , ce sont donc des ultrasons.

2 — Rappeler le principe de l'échographie en précisant les phénomènes physiques mis en jeu.

On émet une onde sonore, qui va traverser le corps humain. En le traversant, elle va se réfléchir sur les organes internes ou les os. En mesurant les signaux réfléchis, comme on connaît la vitesse du son dans le corps humain, on peut calculer des distances ou produire des images.

**3 —** Expliquer la présence des deux signaux 1 et 2 reçus par la sonde et représentés dans le document 2.

On a un signal qui est la réflexion de l'onde sonore quand elle pénètre dans le foie, et on a un signal qui est la réflexion de l'onde sonore quand elle sort du foie.

**4 —** Montrer, à l'aide du document 2, que la durée de propagation des ultrasons pour parcourir l'épaisseur  $d$  du foie est  $\Delta t = 55 \mu\text{s}$ .

La durée entre la réception de ces deux signaux vaut  $190 - 80 \mu\text{s} = 110 \mu\text{s}$ . Cette durée correspond au temps mis par l'onde ultrasonore pour faire un aller-retour dans le foie, il faut donc diviser par 2 et on retrouve bien  $\Delta t = 55 \mu\text{s}$ .

**5 —** Déterminer si le foie du patient a une épaisseur normale.

L'épaisseur du foie vaut, en faisant attention à convertir les microsecondes en secondes,

$$\begin{aligned}d &= c \times \Delta t \\&= 1\,540 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \times 55 \times 10^{-6} \text{ s} \\&= 0,085 \text{ m} \\&= 8,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

Le foie a donc une épaisseur normale comprise entre 8 et 12 cm.

**6 —** Déterminer la distance entre la sonde et la paroi du foie la plus proche de la sonde.

L'onde ultrasonore a mis  $40 \mu\text{s}$  pour aller de la sonde à la première paroi du foie, soit une distance  $D$  qui vaut

$$D = 1\,540 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \times 40 \mu\text{s} = 6,1 \text{ cm}$$



## Activité 3.4 – Radiographie et radiothérapie

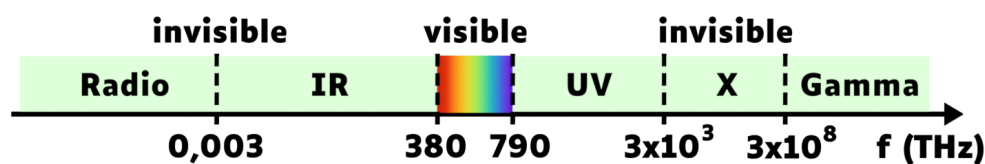
### Objectifs :

- ▶ Comprendre le principe de la radiographie.
- ▶ Comprendre le principe de la radiothérapie.

**Contexte :** Que ce soit pour diagnostiquer des blessures (radiographie) ou pour traiter des maladies (radiothérapie), les rayons X sont utilisés tous les jours en médecine.

→ **Comment et pourquoi les rayons X sont-ils utilisés dans le milieu médical ?**

### Document 1 – Les rayons X



La lumière est une **onde électromagnétique**, dont les propriétés dépendent de la **fréquence**. Plus la fréquence est élevée, plus les ondes électromagnétiques sont potentiellement dangereuses. La lumière est visible pour des yeux humains de 380 à 790 THz (1 THz =  $10^{12}$  Hz = mille milliards de hertz). Les autres fréquences sont invisibles.

Les ondes électromagnétiques sont la propagation d'un champ magnétique et d'un champ électrique à la **vitesse de la lumière**  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Elles se propagent dans le vide comme dans les milieux matériels.

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques de fréquences très élevées. En médecine les rayons X sont utilisés principalement pour

- faire de l'imagerie médicale : c'est la **radiographie** ;
- traiter des cancers : c'est la **radiothérapie**.

Le rayonnement dans le domaine X est dangereux à forte dose, car il est suffisamment énergétique pour détruire des molécules !

De par leur danger, les rayons X sont manipulés par des spécialistes et il faut limiter la durée d'exposition à ce rayonnement.

### Document 2 – Principe de la radiographie

La **radiographie** est une technique d'imagerie médicale utilisant des rayons X. Les rayonnements X sont très énergétiques et traversent plus ou moins la matière en fonction de sa composition et de son épaisseur.

Pour réaliser une radiographie, il faut placer une plaque X-sensible sous l'objet que l'on veut observer, puis envoyer des rayons X à partir d'une source. La plaque X-sensible noircit si elle reçoit des rayons X et reste blanche si elle n'en reçoit pas.

Si on irradie une main avec des rayons X pendant une durée très courte, alors :

- la peau et les muscles absorbent peu les rayons X, la plaque reçoit peu de rayons et noircit faiblement ;
- les os absorbent beaucoup les rayons X, la plaque reçoit très peu de rayons et apparaît presque blanche.

### Document 3 – Absorption des rayons X

Les rayons X sont plus absorbés si les atomes qui composent la matière ont des numéro atomique  $Z$  élevé.

- La peau et les muscles sont essentiellement composés d'hydrogène ( $Z = 1$ ), de carbone ( $Z = 6$ ), d'azote ( $Z = 7$ ) et d'oxygène ( $Z = 8$ ). Ils absorbent donc peu les rayons X et apparaissent gris.
- Les os sont essentiellement composés de phosphore ( $Z = 15$ ) et de calcium ( $Z = 20$ ). Ils absorbent beaucoup les rayons X et apparaissent presque blanc.
- la plaque directement exposée devient noire.



↑ Radiographie d'une main

### Document 4 – Principe de la radiothérapie

La **radiothérapie** consiste à irradier suffisamment longtemps les cellules cancéreuses pour les tuer et éviter leur prolifération. Quand ils pénètrent dans la matière, les rayons X vont décharger leur énergies a une certaine profondeur que l'on connaît : on peut donc détruire finement un cancer en endommageant au minimum ce qu'il y a autour.

Pendant une radiothérapie, le ou la patiente est donc soumis localement à des rayonnement X intense et prolongée, la dose reçue est 10 000 fois plus intense que pendant une radiographie !

🔧 🧑 L'épave la radio en précisant l'épaisseur et la composition atomique des milieux traversé.

1 — Rechercher le numéro atomique de l'or dans le tableau périodique et expliquer pourquoi on observe une ellipse blanche sur la radio.

L'or de symbole Au a un numéro atomique de 79, il absorbe donc très fortement les rayons X, d'où le fait qu'un anneau en or apparaisse blanc sur une radio.

2 — Expliquer pourquoi la source de rayon X doit être proche de la patiente pendant une radiographie.

Pour éviter d'irradier (« éclairer ») des parties du corps non observées et limiter la dose de rayons X reçu.

3 — Comparer radiographie et radiothérapie. Trouver un point commun et deux différences.

Pour ces deux méthodes ce sont les rayons X qui sont utilisés. Pour la radiographie on utilise un faible temps d'exposition avec un flux peu intense, alors que pendant une radiothérapie on utilise un temps d'exposition plus long et un flux beaucoup plus intense.

4 — Chercher et lister quelques effet néfastes sur la santé des rayons X utilisés à fortes doses.

À très forte dose les rayons X sont mortels ! Une exposition prolongée non-mortelle augmente fortement le risque de cancer et entraîne des brûlures. Les rayons X sont tératogène, donc il ne faut surtout pas y exposer des femmes enceintes.

## Activité 3.5 – Imagerie par résonance magnétique (IRM)

### Objectifs :

- Comprendre le principe de l'IRM et l'intérêt des produits de contrastes.

**Contexte :** L'Imagerie par Résonance Magnétique est une technique d'imagerie médicale qui permet d'observer les tissus mous en temps réel.

→ Quels principes physiques permettent de former une image par IRM ?

### Document 1 – Aimantation des noyaux

Les noyaux de certains éléments chimiques se comportent comme des petits aimants. Les aimants qui sont placés dans un champs magnétique vont s'aligner avec celui-ci, comme le ferait une boussole, on parle **d'aimantation**.

Si un noyau est entouré d'électrons, ils vont agir comme un écran et le protéger des champs magnétiques extérieurs.

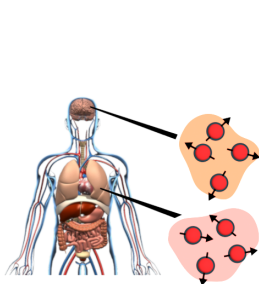
C'est pourquoi les noyaux d'hydrogènes, les protons, qui se trouvent dans des **molécules simples**, comme la molécule d'eau, sont les plus sensibles au champ magnétique et présentent l'aimantation la plus forte.

### Document 2 – Principe d'une IRM

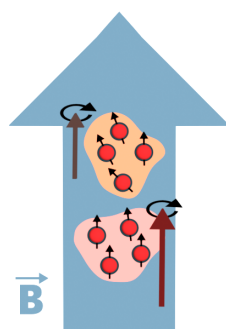
L'Imagerie par Résonance Magnétique est utilisée pour observer les tissus mous riche en molécules d'eau : cerveau, muscle, coeur, moelle épinière, etc.

Le principe est le suivant :

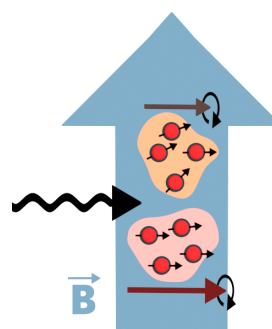
- les tissus observés sont soumis à un fort champ magnétique  $\vec{B}$  qui aimante les protons ;
- on émet une onde électromagnétique dans le domaine radio qui va être absorbée par les noyaux d'hydrogène, ce qui change l'orientation de leur aimantation ;
- en fonction de leur environnement, les noyaux d'hydrogènes vont retrouver plus ou moins rapidement l'orientation du fort champ magnétique  $\vec{B}$ , on parle de **relaxation** ;
- en mesurant l'orientation de l'aimantation au cours de cette relaxation, on peut ainsi créer une image contrastée des tissus en fonction de leur composition.



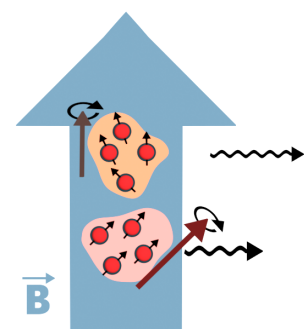
Les noyaux d'hydrogènes ont des environnements différents en fonction des tissus.



Les protons s'orientent selon  $\vec{B}$ , ce qui donne une aimantation plus ou moins forte.



L'aimantation est pivotée de  $90^\circ$  sous l'action d'une onde radio perpendiculaire à  $\vec{B}$ .



L'aimantation reprend l'orientation de  $\vec{B}$  et les protons émettent une onde radio qui dépend de leur environnements.

**1 –** Expliquer pourquoi les noyaux d'hydrogènes dans des molécules complexes comme les lipides ou les protéines s'aimantent moins bien que les noyaux d'hydrogènes dans des molécules d'eau.

Les molécules complexes sont plus riches en électrons, qui vont « protéger » les noyaux d'hydrogènes du champs magnétique extérieur, ce qui entraîne une aimantation plus faible.

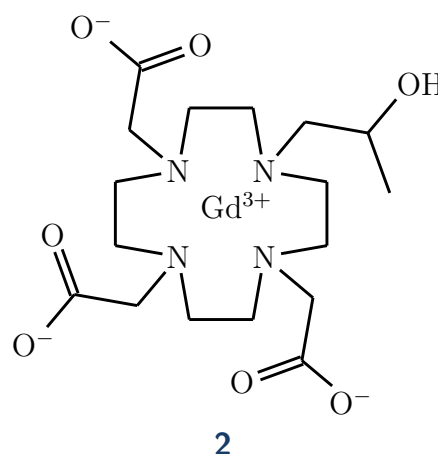
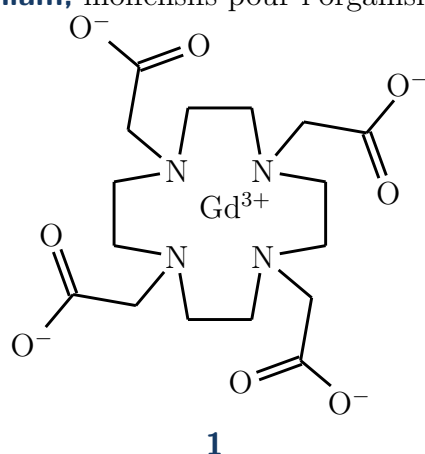
**2 –** Expliquer pourquoi les tissus osseux ne sont pas visible en IRM.

C'est parce que les tissus osseux contiennent peu de molécules d'eau, leur aimantation est donc faible et ils sont peu visible avec une IRM.

### Document 3 – Les produits de contraste pour l'IRM

Pour réaliser certains diagnostics, on peut injecter des produits de contraste dans le corps du ou de la patiente. Ces produits améliorent la sensibilité au champ magnétique d'un tissu particulier, ce qui augmente son aimantation et permet de le visualiser avec un meilleur contraste. Par exemple pour visualiser les vaisseaux sanguins et donc détecter d'éventuelles thromboses.

Les produits de contraste utilisent **l'ion gadolinium III** noté  $Gd^{3+}$ , qui est le plus sensible au champ magnétique. L'ion est couplé à des molécule, les ligands, pour former des **chélates de gadolinium**, inoffensifs pour l'organisme.



**3 –** Identifier le chélate qui est un alcool. Donner son nombre de fonction amine.

C'est le chélate **2**, il possède 4 fonctions amines autour du gadolinium.

**4 –** Expliquer l'intérêt d'un produit de contraste.

Le produit de contraste permet d'améliorer la visibilité d'un organe précis sur une IRM, en augmentant temporairement son aimantation.

## Activité 3.6 – La radioactivité

### Objectifs :

- ▶ Comprendre le principe de la radioactivité.
- ▶ Savoir qu'il y a trois types de décomposition pour la radioactivité.
- ▶ Comprendre la notion d'activité et de temps de demi-vie.

**Contexte :** Les objets qui nous entourent sont composés d'atomes, qui peuvent être radioactifs. Par exemple les bananes sont naturellement radioactives.

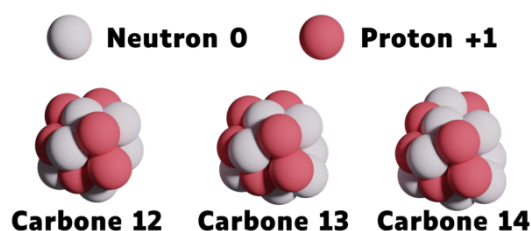
→ **Qu'est-ce que la radioactivité ? Comment la radioactivité évolue au cours du temps ?**

### Document 1 – Constitution d'un noyau et isotope

Un noyau atomique est constitué de neutrons et de protons, qui sont des nucléons. Un élément chimique est noté  ${}^A_ZX$

- A est le nombre de nucléons (protons + neutrons) ;
- Z est le numéro atomique ou le **nombre de charges** ;
- X est le symbole de l'élément (H, O, C, etc.).

Un même élément chimique peut avoir plusieurs noyaux différents, avec le même nombre de protons, mais un nombre de neutrons différents. On parle **d'isotopes**. Par exemple, le carbone (Z = 6) a 3 isotopes, le carbone 12 avec 12 nucléons, le carbone 13 a 13 nucléons et le carbone 14 a 14 nucléons.



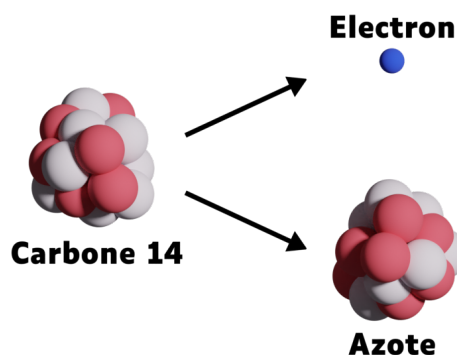
### Document 2 – Désintégration des noyaux instables

Le carbone 12 et 13 sont **stables**, tandis que le carbone 14 est **instable**. Les noyaux instables sont dit **radioactifs**. Cette instabilité se traduit par une **désintégration inéluctable** du noyau.

La désintégration est un phénomène aléatoire, on ne peut donc pas prédire quand un noyau va se désintégrer.

Par contre on sait avec certitude que le noyau instable, appelé noyau père, va se transformer en un autre noyau, appelé noyau fils, en libérant une particule au passage.

Le noyau fils a généralement une énergie trop élevée, il est dans un état excité, noté avec un astérisque en exposant ( $X^*$ ). Son énergie est abaissée par l'émission d'un rayonnement électromagnétique de très courte longueur d'onde, appelé rayonnement  $\gamma$  (gamma). On parle de **désexcitation gamma**.



Désintégration du carbone 14 en azote 14.

Type de désintégration	Particule émise
$\alpha$ (alpha)	Noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$
$\beta^-$ (beta moins)	Électron ${}^0_{-1}\text{e}$
$\beta^+$ (beta plus)	Positron ${}^0_{+1}\text{e}$

⚠ Vous devez être capable de reconnaître la particule émise au cours d'une désintégration.

1 – Noter les 3 noyaux isotopes du carbone en utilisant l'écriture  ${}^A_ZX$ .

Carbone 12 :  ${}^{12}_6\text{C}$ , carbone 13 :  ${}^{13}_6\text{C}$ , carbone 14 :  ${}^{14}_6\text{C}$

2 – Identifier les équations de désintégrations suivantes en indiquant s'il s'agit de désintégration  $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  ou d'une désexcitation  $\gamma$  :



- a) la particule émise est un positron, donc c'est une désintégration  $\beta^+$ .  
b) la particule émise est un photon, donc c'est une désintégration  $\gamma$ .  
c) c'est un électron qui est émis, c'est donc une désintégration  $\beta^-$ .  
d) c'est un noyau d'hélium qui est émis, c'est donc une désintégration  $\alpha$ .

### Document 3 – Activité d'un échantillon de matière

L'activité représente le nombre de désintégration dans un échantillon de matière pendant une seconde. Elle se note  $A$  et s'exprime en Bq.

► *Exemple* : Si  $A = 400$  Bq, alors chaque secondes 400 noyaux radioactifs se désintègrent.

### Document 4 – Évolution de la radioactivité au cours du temps

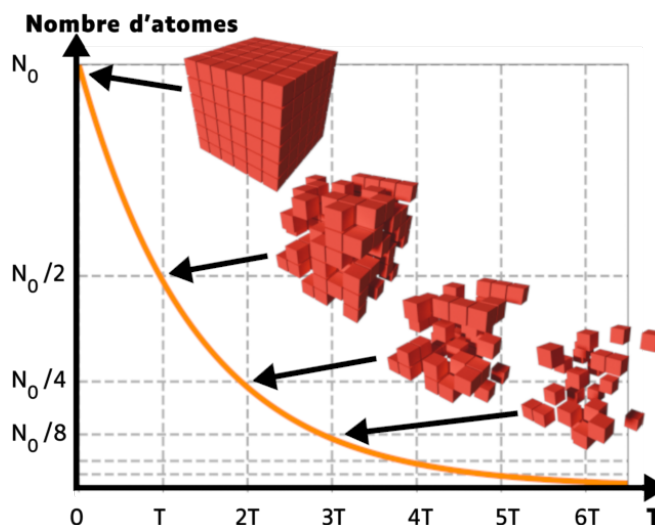
Les noyaux radioactifs instables forment des noyaux stables, non radioactifs, en se désintégrant. Au sein d'un échantillon de matière radioactive, l'activité ne fait donc que diminuer au cours du temps.

La **période radioactive**  $T$  ou **demi-vie radioactive**  $t_{1/2}$  est la durée nécessaire

- pour que la moitié des noyaux radioactifs dans un échantillon se désintègrent.
- donc pour que l'activité soit divisée par 2.

Quelques exemples de périodes radioactives

Noyau	${}^{14}\text{C}$	${}^{131}\text{I}$	${}^{191}\text{Po}$
$T$	5 730 ans	8 jours	22 ms



### Document 5 – Variation de l'activité

	Lait	Granite
$A$ pour 1 kg	70	1000
$A$ pour 2 kg	140	2000

3 – Calculer  $2^{20}$  et indiquer pourquoi on peut considérer qu'il n'y a plus de radioactivité dans un échantillon au bout de 20 périodes radioactive.

$2^{20} = 1\,048\,576$ . Donc, au bout de 20 périodes radioactives l'activité a été divisée par 1 million, ce qui va donner une activité très faible qu'on peut négliger.

## Activité 3.7 – Utilisation de la radioactivité en médecine

### Objectifs :

- ▶ Comprendre la notion de dose absorbée.
- ▶ Comprendre la notion de dose équivalente.
- ▶ Connaître quelques utilisations médicales diagnostiques et curatives.

**Contexte :** La radioactivité est utilisée tous les jours en médecine pour diagnostiquer ou pour soigner des maladies.

→ Quelles sont les doses radioactives utilisées pour diagnostiquer ou soigner ?

### Document 1 – Dose absorbée et dose équivalente

La **dose absorbée**  $D$  se mesure en Gray noté Gy

$$D = \frac{\text{Énergie reçue pendant la désintégration (J)}}{\text{masse du corps recevant l'énergie (kg)}}$$

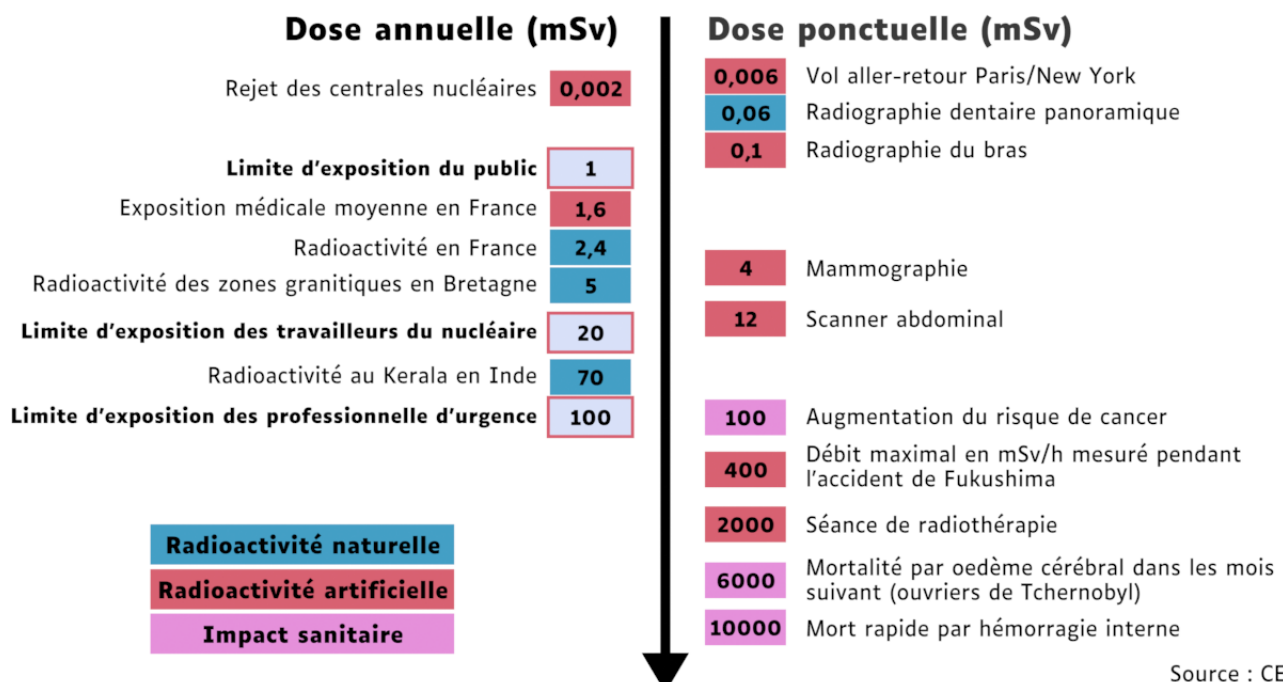
La dose absorbée mesure l'irradiation brute reçue, mais certaines particules sont plus dangereuses que d'autres à cause de leur masse. C'est pour ça qu'on introduit la dose équivalente  $H$ .

La **dose équivalente**  $H$  se mesure en sievert noté Sv

$$H = w_R \times D$$

où  $w_R$  est un facteur de pondération.  $w_R$  vaut 1 pour les radioactivités  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  et  $\gamma$ .  $w_R$  vaut 20 pour la radioactivité  $\alpha$ .

### Document 2 – Échelle de dose reçue





### Document 3 – Réglementation française

En France, une dose efficace annuelle  $H$  est préconisée pour le grand public, en plus de la radioactivité naturelle et médicale.

Grand public	Personne travaillant avec des sources radioactives
1 mSv/an	20 mSv/an

### Document 4 – Utilisation des radioéléments en médecine

Radioélément	Cible	Dose	Demi-vie	Application
Technétium : $\gamma$	Peu spécifique	1 à 10 mSv	6 h	Scintigraphie
Gallium : $\gamma$	Colon, poumons	30 mSv	78 h	
Fluor : $\beta^+$ et $\gamma$	Détection des cellules cancéreuses. Neurologie.	7 mSv	110 min	Tomographie par Émission de Positrons (TEP) par détection des rayons $\gamma$ de hautes énergies
Samarium $\beta^-$	Os, poumons, prostate, sein	2 Sv/séance	1,9 jours	Radiothérapie métabolique
Yttrium $\beta^-$	Foie		2,7 jours	

**1 —** On considère qu'une source radioactive est inoffensive passé 20 demi-vies. Calculer 20 fois la demi-vie pour chaque radio-élément utilisé.

- Technétium :  $20 \times 6 \text{ h} = 120 \text{ h}$ .
- Gallium : 1 560 h.
- Fluor :  $2\,200 \text{ min} = 36 \text{ h}40 \text{ min}$ .
- Samarium : 38 jours = 2 280 h
- Yttrium : 54 jours = 3 240 h

**2 —** Pourquoi utilise-t-on des éléments avec de courtes demi-vies en médecine ?

Pour éviter que les personnes soignées n'irradient leur entourage en ayant des éléments radioactifs longtemps sur eux.

**3 —** Est-ce que les examens utilisant des radioéléments sont dangereux ?

S'ils ne sont pas réalisés trop souvent, non. Les doses utilisées permettent de rester en dessous des limites d'exposition annuelle pour des travailleurs du nucléaire, même si elles sont plus élevées que la limite d'exposition du public.

**4 —** Comparer les doses reçues lors d'un examen diagnostique et pendant une radiothérapie.

Entre les examens d'imagerie et les radiothérapie, la dose est multipliée par 1000 ! Elles sont donc beaucoup plus dangereuse si elles sont mal réalisées.



**5 —** Chercher comment le personnel médical se protège des radiations.

En utilisant des tenue protectrice en plomb, ou en s'abritant dans une pièce séparée avec un blindage en plomb pendant les examens ou les radiothérapies.