SCIENCEMONDE

Hors-série :

LE PACEMAKER

Lycée de borda
2016/2017
Physique/SVT

ALBERDI Manon
SAUGNAC Agathe
LAFARGUE Emma
1èreS4

EVOLUTION OF PACEMAKER TECHNOLOGY

1958
Weight: 73.4g
Size: 35cc

1981
Weight: 55g
Size: 25cc

1995
Weight: 14g
Size: 6cc

2009
Weight: 23g
Size: 12.8cc

2013
Weight: 2g
Size: 1cc

Il existe aujourd'hui dans le monde plus de 70 millions de personnes atteintes d'une insuffisance cardiaque. Le pacemaker ou stimulateur cardiaque a donc été une révolution dans le monde médical ainsi que pour de nombreuses personnes. Il s'agit d'un boîtier permettant de réguler le rythme cardiaque. Cette invention qui sauve chaque année des milliers de vies a été mis au point dans les années 1950. Le tout premier stimulateur cardiaque utilisable à des fins médicales a été inventé par le Canadien John Hopps en 1951. C'est lors de recherches, qu'il découvrit qu'un cœur ayant cessé de battre pouvait être relancé en utilisant une stimulation électrique. Mais ce premier était trop volumineux pour être implanté à l'intérieur du corps, c'était un stimulateur cardiaque externe. Le premier pacemaker a donc été implanté en octobre 1958, en Suède. Depuis, le stimulateur cardiaque a subi de nombreuses transformations. De nos jours, il n'est pas rare de rencontrer des personnes portant un pacemaker et il y en a même de plus en plus tous les ans. En France, environ 67 000 pacemakers sont implantés (ou renouvelés) tous les ans.

DANS CE TPE, NOUS NOUS DEMANDERONS COMMENT LE PACEMAKER PEUT RÉSOUDRE LES DÉFAILLANCES CARDIAQUES ?

SOMMAIRE

I/ LE CŒUR NATUREL

a) Présentation
Expérience 1
b) Circulation sanguine et cycle cardiaque
c) Fréquence cardiaque
d) Défaillances

II/ LE PACEMAKER

a) Comment est il fait?
Expérience 2
b) Comment fonctionne-t-il ?
Expérience 3
c) Quels sont les différents types de pacemakers?
d) Comment est-il implanté ?

III/ EN SAVOIR PLUS SUR LE PACEMAKER

a) Points négatifs
b) Vie après l'implantation
c) Association: les porteurs

John Hopps, inventeur du pacemaker en 1951

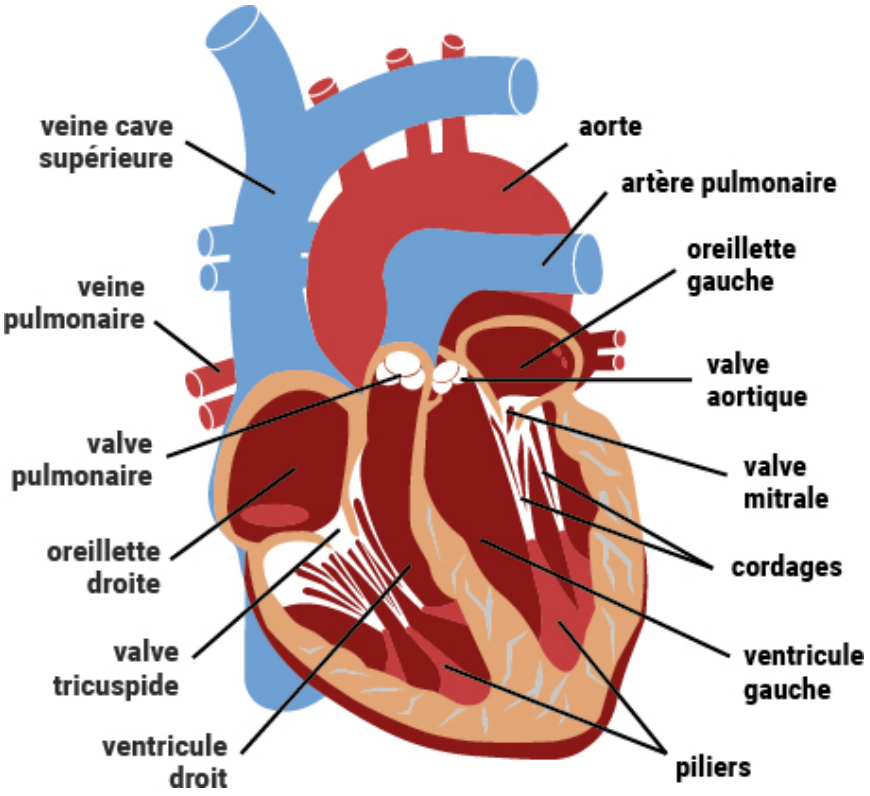
Dans notre prochain numéro découvrez les défibrillateurs implantables.

I/ LE COEUR NATUREL

a) Présentation

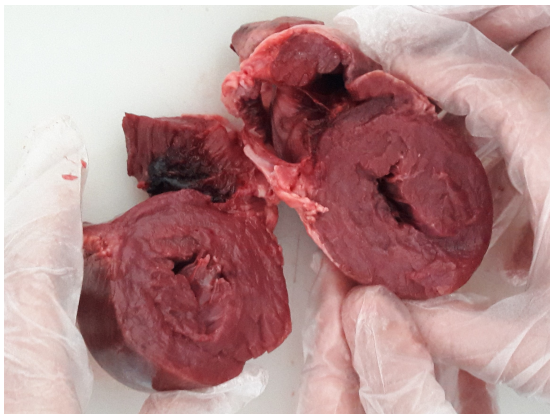
Le cœur est un organe creux et musculaire qui assure la circulation du sang dans le corps. Il est un muscle composé de deux parties « le cœur gauche » et « le cœur droit » séparées par une paroi : le septum (septum interventriculaire entre les ventricules gauche et droit, septum interatrial entre les oreillettes gauche et droite). Elles ont une organisation symétrique bien que le cœur gauche soit plus volumineux. Chacune de ces deux parties est divisée en deux chambres ou cavités : l'oreillette et le ventricule qui sont séparés par une valve (valve mitrale à gauche et valve tricuspide à droite). Le cœur consomme, à lui seul, 10 % de tout l'oxygène fourni à l'organisme et ne pèse qu'environ 300 grammes chez un adulte.

Les cellules du cœur présentent 2 particularités : elles sont capables de se contracter comme toutes les cellules musculaires, elles peuvent aussi conduire de l'électricité, ce qui déclenche la contraction.



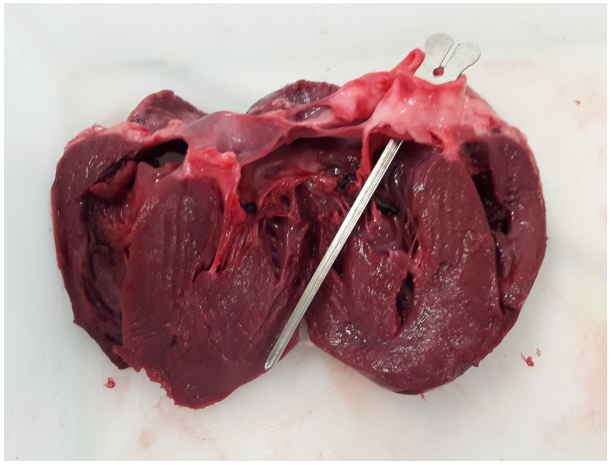
EXPERIENCE 1 :

Nous avons disséqué deux cœurs de moutons afin de comprendre le fonctionnement du cœur. Nous avons donc observé les deux parties distinctes du cœur en faisant deux coupes différentes. Nous avons coupé le premier cœur dans la longueur sur le coté et l'autre dans la largeur.

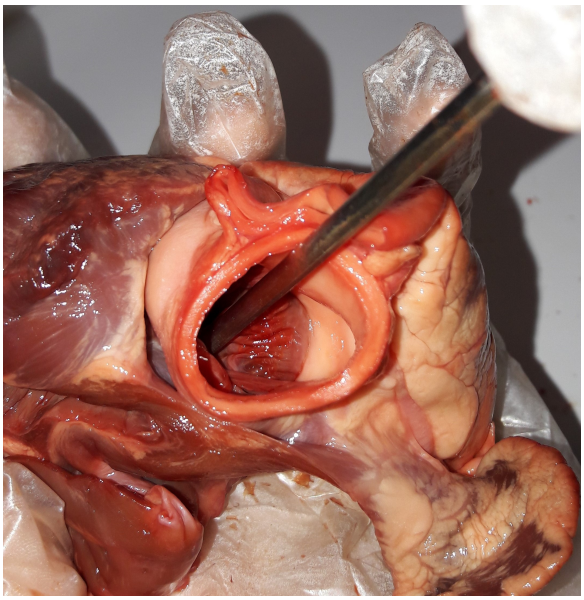


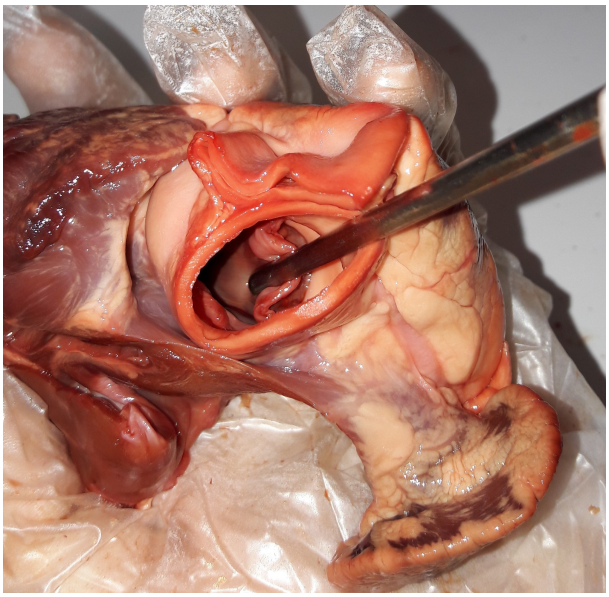
Nous voyons que le ventricule gauche est plus gros que le droit et a un muscle très épais et puissant car il envoie le sang dans tout le corps, jusqu'aux organes. Le coté droit gère « la petite circulation » celle entre les poumons et le cœur.

L'artère pulmonaire communique avec l'oreillette droite et le ventricule droit.

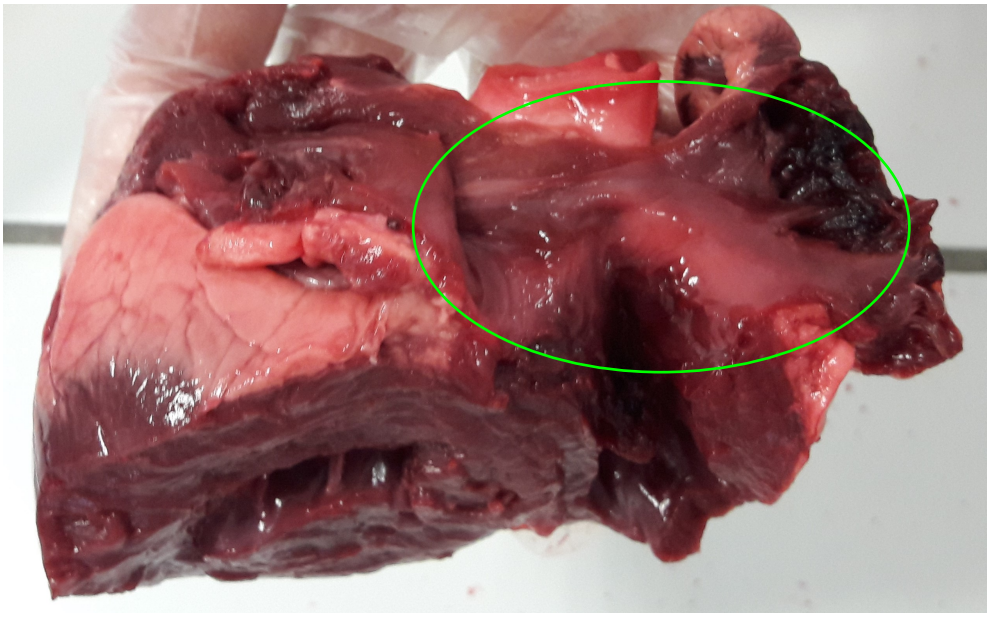


L'artère pulmonaire aorte avec l'oreillette gauche et le ventricule gauche.





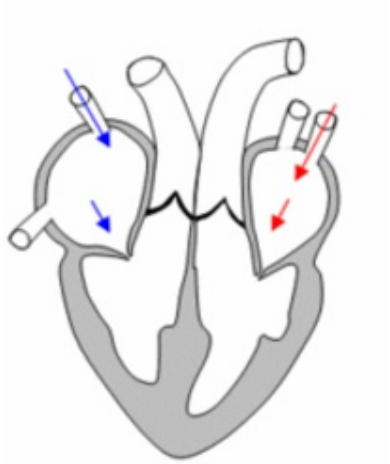
Nous avons également vu les valves fermées et ouvertes.



Nous avons ensuite cherché la position du nœud sinusal (que nous expliquerons après), il est invisible à l'œil nu mais nous en avons déduis son emplacement dans l'oreillette droite.

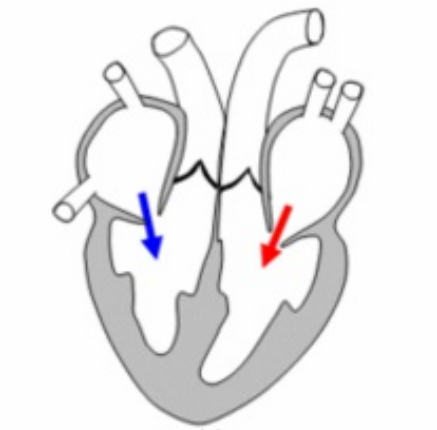
b) Circulation sanguine et cycle cardiaque

Le cœur forme un cycle qui se fait en 3 étapes suivant un rythme. Certains facteurs peuvent modifier le rythme de ce cycle comme les émotions, l'effort physique ou encore la consommation d'excitants tels que la drogue ou le café… Les 3 étapes sont : la diastole, la systole auriculaire et la systole ventriculaire.



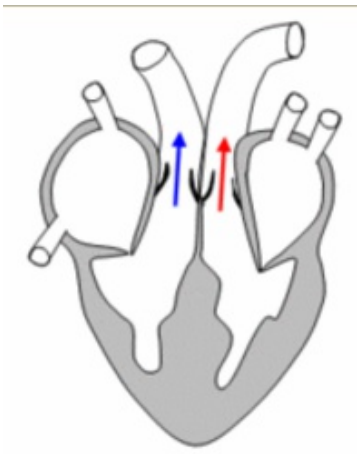
Diastole

La diastole est la phase de repos du cœur qui permet le remplissage des ventricules, par les oreillettes droites et gauches depuis les veines caves et pulmonaires.



systole auriculaire

Durant la systole auriculaire, les oreillettes se contractent et éjectent du sang vers les ventricules. Une fois le sang expulsé des oreillettes, les valves auriculo-ventriculaires entre les oreillettes et les ventricules se ferment. La fermeture de ces valves produit le son du battement du cœur.



Systole ventriculaire

Enfin, la systole ventriculaire implique la contraction des ventricules, le sang est envoyé vers le système circulatoire. Une fois le sang expulsé, la valve pulmonaire à droite et la valve aortique à gauche se ferment. Ainsi le sang ne reflue pas vers les ventricules.

c) Fréquence cardiaque

Le nœud sinusal fut observé pour la première fois par Arthur Keith et Martin Flack en 1907. C'est un ensemble de cellules situé dans la paroi supérieure de l'oreillette droite du cœur. Cette région produit une impulsion électrique qui rejoint une région centrale du cœur appelée nœud auriculo-ventriculaire. L'impulsion produit la contraction du muscle cardiaque responsable de l'éjection du sang vers les poumons et l'aorte. On l'appelle aussi « pacemaker naturel » car il correspond au point de référence sur lequel le rythme cardiaque se base pour se contracter. Ainsi, le rythme sinusal constitue le rythme normal du cœur.

La dépolarisation d'un muscle, correspond à un influx (signal électrique) qui né au sein même d'une structure musculaire et qu'il parcourt ensuite de bout en bout. Cette dépolarisation entraine la contraction.

Une onde de dépolarisation naît dans le nœud sinusal.
Elle se propage ensuite dans les oreillettes (droite puis gauche)
Elle est transmise par les oreillettes au nœud auriculo-ventriculaire.
Ensuite elle parcourt le faisceau de His, et se propage le long du réseau de purkinje dans la paroi ventriculaire

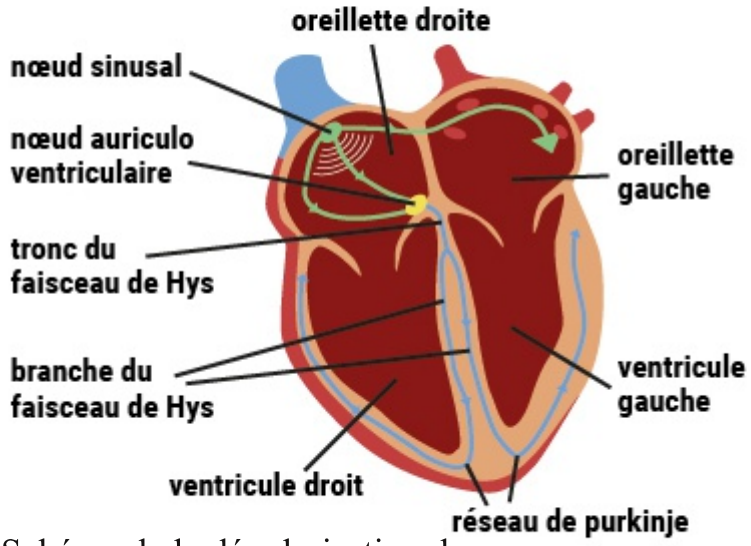


Schéma de la dépolarisation du coeur

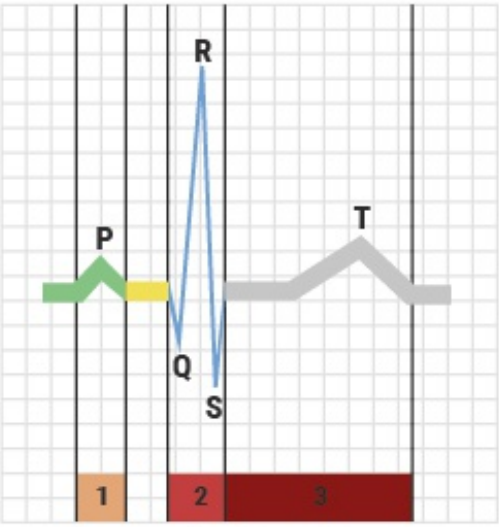
La circulation sanguine et le cycle cardiaque sont liés à l'activité du nœud sinusal. Lorsque l'influx électrique parcourt les oreillettes, les valves sont ouvertes et sous l'excitation de l'influx électrique les oreillettes se contractent puis lorsque l'influx est transmis au faisceau de his, les ventricules se dilatent et se remplissent de sang. Cela forme la systole auriculaire. Puis quand le flux se propage dans le réseau de purkinje cela provoque la contraction des ventricules : c'est la systole ventriculaire.

La fréquence cardiaque définit le nombre de battements du cœur par minute. Au repos, le rythme cardiaque est en moyenne de 70 battements/minute chez l'Homme. Il peut varier suivant le besoin d'avoir plus d'oxygène ou moins de dioxyde de carbone. Comme pour la circulation sanguine, certaines activités peuvent modifier la fréquence cardiaque comme le sport, le sommeil, la maladie, la drogue.

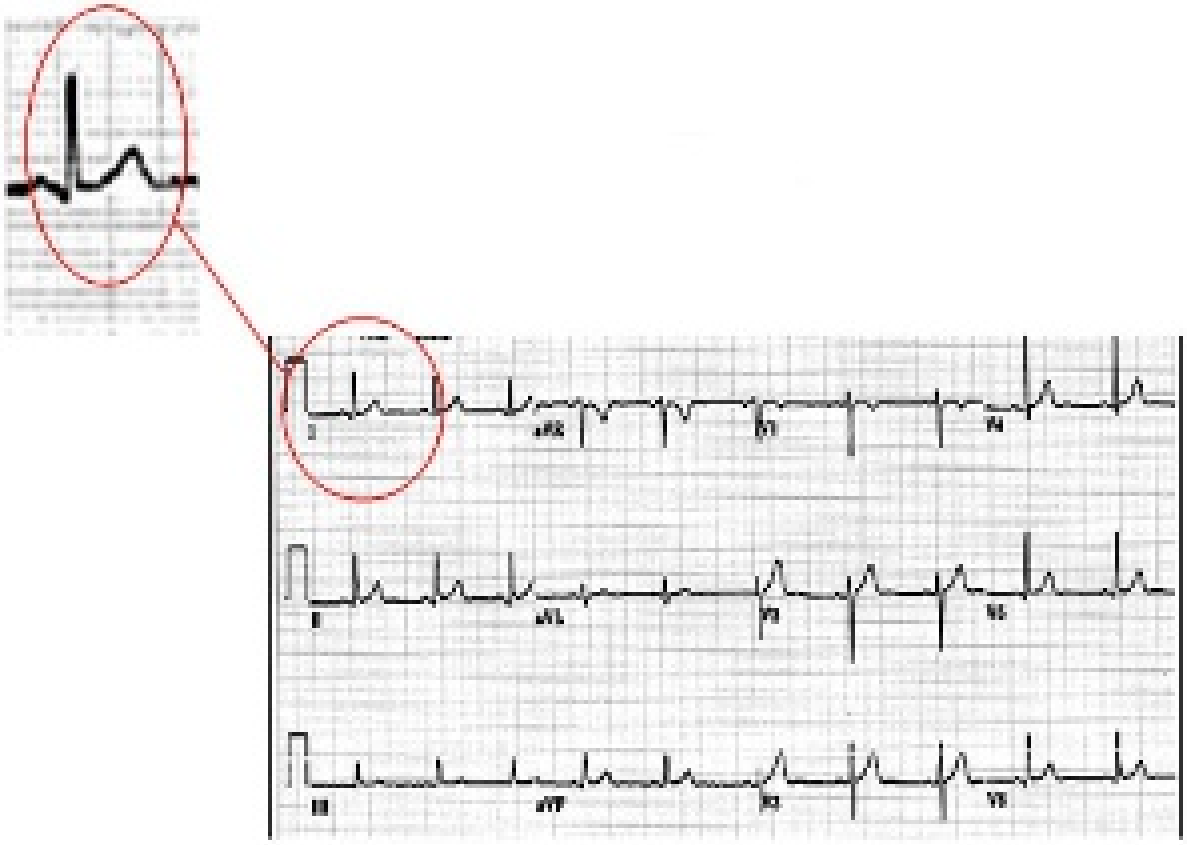
On peut mesurer l'activité électrique du cœur grâce à l'électrocardiogramme qui enregistre une succession de séquences de l'activité électrique du cœur, représentées par des ondes au moment de leur contraction

Comment cela fonctionne? :

La dépolarisation génère des signaux électriques qui sont recueillis à la surface du corps à l'aide d'électrode. Ces signaux sont transmis à l'électrocardiographe. Un électrocardiogramme normal se présente sous l'aspect d'ondes électriques. La première onde, onde P correspond à la contraction des oreillettes, les deuxièmes ondes QRS correspondent à la contraction des ventricules, puis la dernière l'onde T correspond à la repolarisation des ventricules, c'est-à-dire qu'ils reviennent à leur état initial.



1 contraction des oreillettes
2 contraction des ventricules
3 repolarisation des ventricules



d) Défaillances

Les arythmies sont des troubles du rythme du cœur, caractérisées par une irrégularité des contractions. Elles sont souvent dues à plusieurs facteurs psychologiques comme le stress mais aussi à des exercices physiques trop intenses, au tabagisme, à l'abus de certaines drogues ou d'alcool. De plus, certains médicaments vendus sans ordonnances, ou la consommation de boissons énergisantes peuvent aussi provoquer des arythmies chez certaines personnes.

La tachycardie correspond à un rythme cardiaque trop rapide (supérieur à 100 battements par minute). Certaines maladies, la consommation d'alcool, de cannabis, le stress… peuvent entraîner une accélération du rythme cardiaque. Dans les cas graves, la tachycardie peut être traitée par l'implantation d'un défibrillateur cardiaque électrique au niveau du cœur, qui détectera une éventuelle fibrillation et forcera le cœur à revenir à un rythme normal. Mais le pacemaker ne peut pas résoudre cette défaillance.

En revanche la bradycardie qui correspond à un rythme trop lent du cœur (soit moins de 60 fois par minute) peut être résolue par un pacemaker. Elle survient lorsque le cœur ne peut pomper suffisamment de sang pour combler les besoins de l'organisme. Si le problème n'est pas soigné, il peut engendrer une fatigue excessive, des vertiges, des étourdissements ou des évanouissements. La bradycardie peut être causée par un mauvais fonctionnement du nœud sinusal, qui se déclenche trop lentement.

II/ LE PACEMAKER

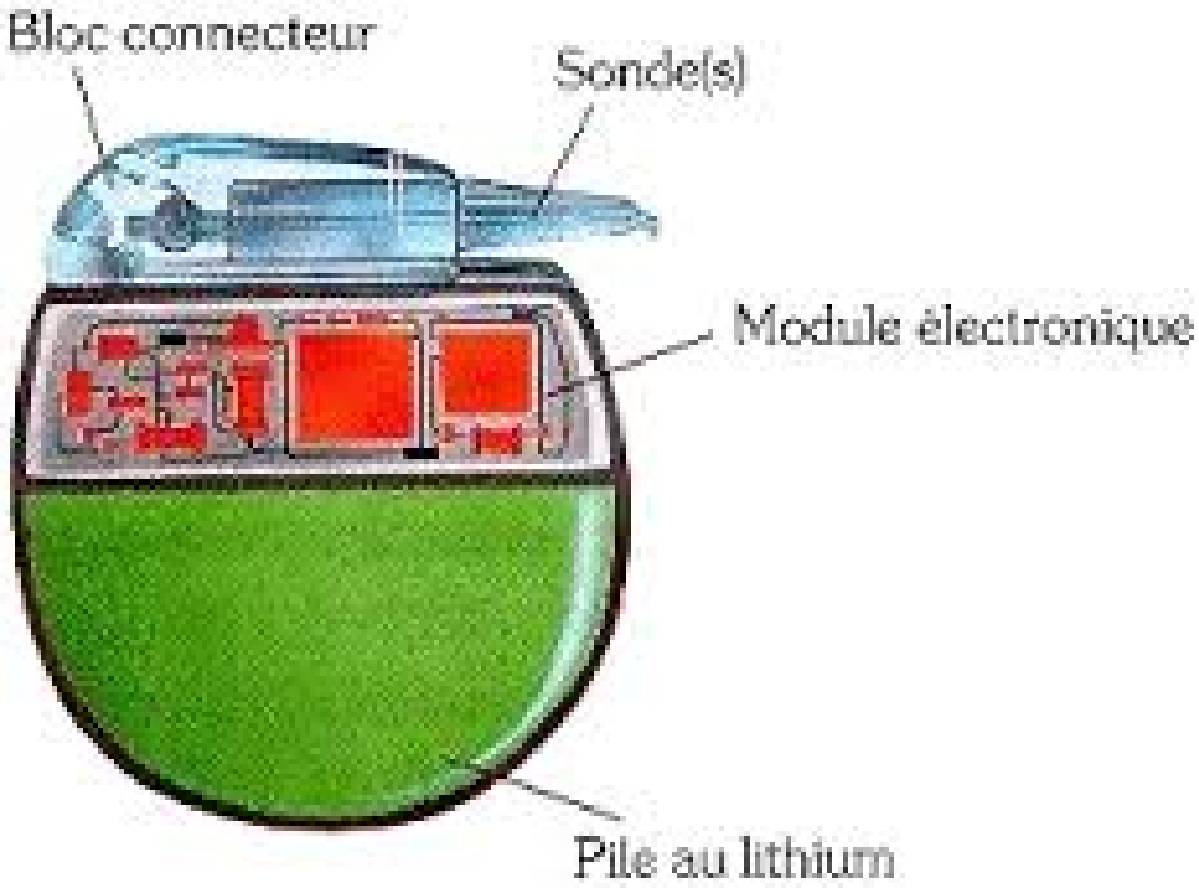
Le pacemaker vient de l'anglais «pace» qui signifie rythme et «make » faiseur.
Le pacemaker ou stimulateur cardiaque est destiné à lutter contre la mort subite d'origine cardiaque. Cet appareil est une sorte de pile reliée à un cœur malade. Il a pour fonction de détecter tout ralentissement considéré comme anormal du rythme cardiaque afin de le corriger en provoquant des contractions cardiaques grâce à des stimulations électriques.
Ces petits appareils concentrent dans quelques centimètres cube ce qui se fait de plus sophistiqué dans le domaine de la micro-électronique.

a) Comment est-il fait ?

Un stimulateur cardiaque surprend par sa petite taille. L'appareil est plat (de 6 à 8 mm d'épaisseur environ), de forme généralement arrondie (d'environ 40 à 50 mm de diamètre) rarement rectangulaire ou carré pour éviter les angles qui pourraient être source de traumatismes sous la peau (avec un volume autour de 8 à 12 cm cubes et un poids d'environ 25 g). Sa coque est faite de titane, métal particulièrement résistant, léger. L'étanchéité est garantie par des soudures au laser et des vérifications très sophistiquées lors de sa fabrication. La coque est surmontée d'un connecteur transparent destiné à insérer et à brancher la ou les sondes qui sont ainsi raccordées au stimulateur.

Les sondes sont l'élément essentiel: ce sont des sortes de câbles très fins et très souples que l'on introduit dans le cœur en passant par une veine de l'épaule (à droite ou a gauche) et qui sont reliées à leur autre extrémité au stimulateur. Elles vont servir d'intermédiaire entre ce dernier et le cœur pour permettre d'écouter l'activité électrique cardiaque et délivrer les impulsions de stimulation grâce aux électrodes situées au bout des sondes.

Dans le boîtier, moins de la moitié du volume est occupé par l'électronique, il y a un micro-ordinateur que l'on peut programmer. C'est la pile qui prend le plus de place. Elle est de type lithium/iode, très proche des piles utilisées pour des usages courants (montre…) mais bien sur d'une capacité plus importante. C'est le générateur des impulsions.


Bloc connecteur
Sonde(s)
Module électronique
Pile au lithium

Medtronic

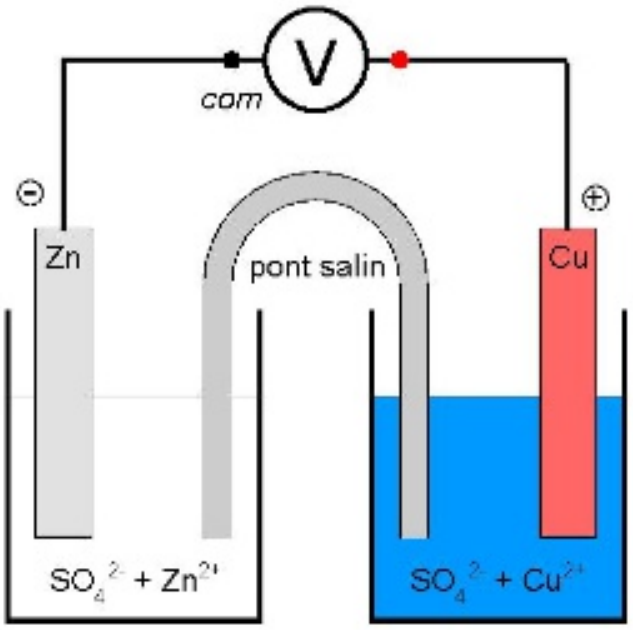
EXPERIENCE 2 :

Afin de comprendre le fonctionnement d'une pile, nous avons modélisé une pile cuivre/zinc qui ne fonctionne pas comme celle du pacemaker mais nous l'avons modélisé car c'est la pile la plus simple à comprendre et à modéliser.

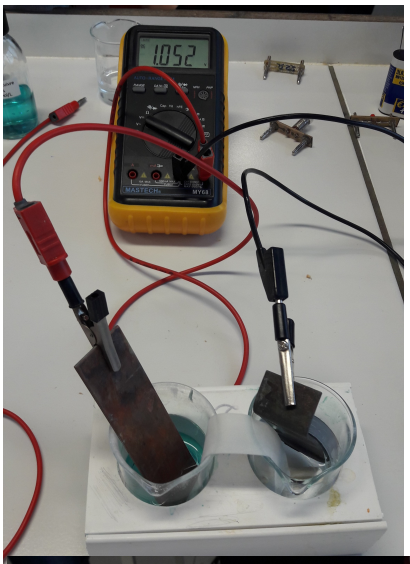
Nous avons versé une solution de sulfate de zinc ($SO4^{2-}$ + Zn^{2+}) dans un premier bécher et nous y avons plongé une lame de zinc. Puis dans un deuxième bécher, nous avons mis une solution de sulfate de cuivre ($SO4^{2-}$ + CU^{2+}) et une lame de cuivre. Cela forme deux demi-piles et chaque lame constitue une électrode.

Nous avons formé un pont électrolytique (ou pont salin) grâce à du papier imbibé d'une solution de nitrate de potassium (KNO3), en plongeant chaque extrémité dans un des deux bécher. Puis nous avons relié électriquement les deux lames à une diode.

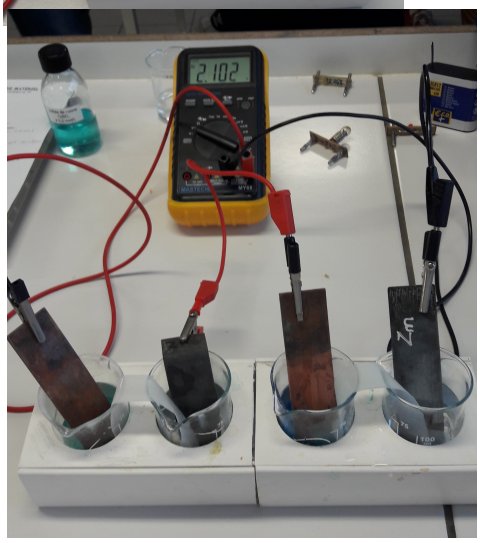
La diode ne s'est pas allumée donc nous avons mesuré la tension électrique de la pile avec différentes concentrations de solution en remplaçeant la diode par un voltmètre.



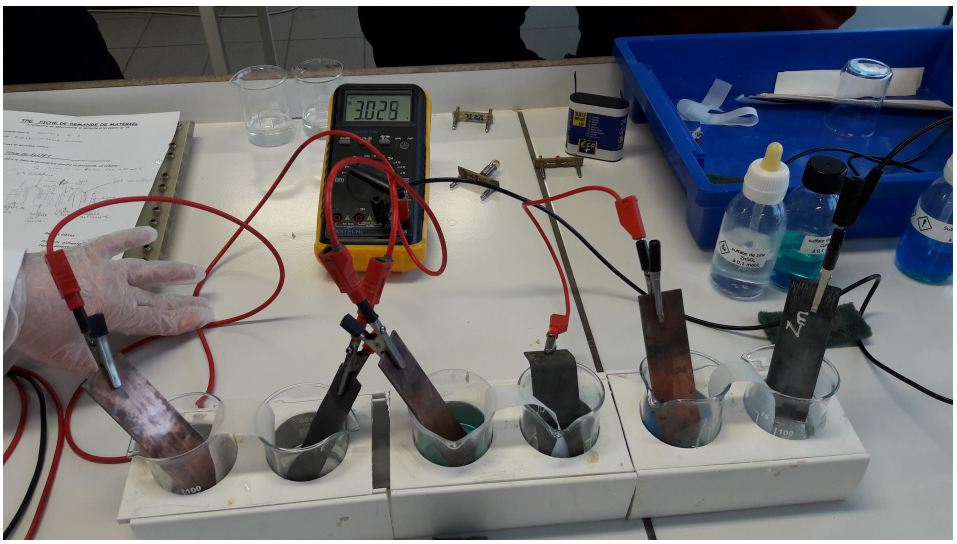
Avec les solutions de cuivre et zinc ayant une concentration de 1mol/L nous avons mesuré une tension de 1,075 Volt.
Lorsque les concentrations sont de 0,1mol/L, la tension est de 1,050Volt



Nous avons relié les deux piles formées avec des solutions de différentes concentrations et nous avons observé que la tension correspond à environ l'addition des deux piles soit 2,125Volt.



Nous avons fabriqué une troisième pile de concentration 0,01mol/L, nous avons donc mesurét une tension de 1,020 volt
Nous avons également remarqué que lorsque l'on relie les trois ensemble, la tension est de 3,03volt

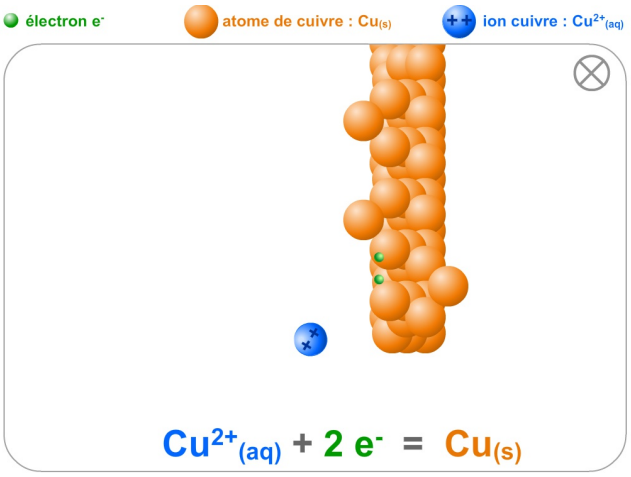


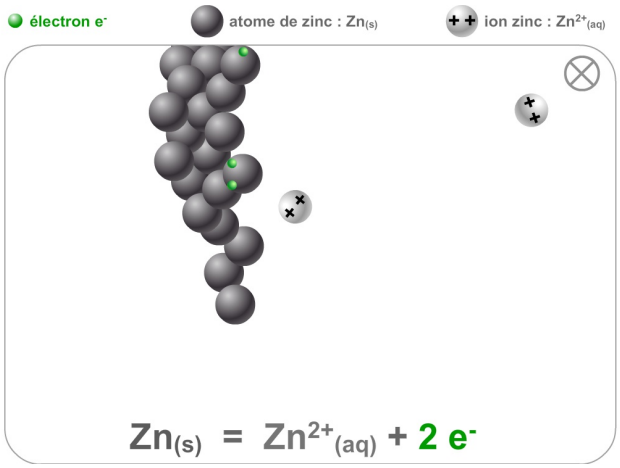
Nous remarquons également qu'en imbibant de nouveau le pont, le courant augmente.

Mais même avec les trois piles reliées la diode ne s'est pas allumée, nous en avons déduit que le courant était trop faible.

Explication:

Dans le pôle positif de la pile (cathode, ici la lame de cuivre) il y a une réduction. Les ions Cu^{2+} captent deux électrons du circuit extérieur et se transforment en cuivre métal : $Cu^{2+}(aq) + 2\ e^- = Cu(s)$. La solution perd de sa couleur bleue et un dépôt de cuivre se pose sur la lame de cuivre.





A l'inverse, au pôle négatif (anode, ici la lame de zinc) il y a une oxydation. Le zinc libère deux électrons au circuit extérieur et des ions Zn^{2+} dans la solution : $Zn(s) = Zn^{2+}(aq) + 2\ e^-$. La lame de zinc est consommée.

L'équation s'écrit donc $Cu^{2+}(aq) + Zn(s) = Cu(s) + Zn^{2+}(aq)$

Le pont électrolytique permet de compenser les excès ou manques d'électrons dans les différentes solutions.

En conclusion, la pile fonctionne grâce à deux pôles : une anode qui libère les électrons et une cathode qui les reçoit. Ainsi qu'un électrolyte qui permet aux électrons de voyager entre les deux pôles. L'énergie chimique issue de la réaction d'oxydoréduction est transformée en énergie électrique.

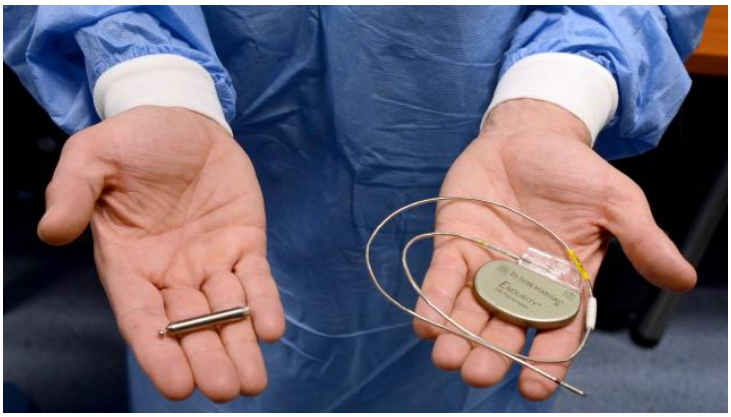
b) Comment fonctionne-t-il ?

Un pacemaker doit être en mesure de détecter tout ralentissement considéré comme anormal du rythme cardiaque afin de le corriger. Le pacemaker surveille donc en permanence le rythme cardiaque du patient, de sa fréquence et de ses modifications, c'est la fonction de surveillance.

Mesurer: Le pacemaker utilise l'électrocardiogramme pour connaître la fréquence cardiaque d'un patient et pour l'analyser. C'est possible en reliant l'appareil au cœur, plus exactement à une ou plusieurs cavités cardiaques à l'aide de sondes qui servent pour la détection et la stimulation du cœur.

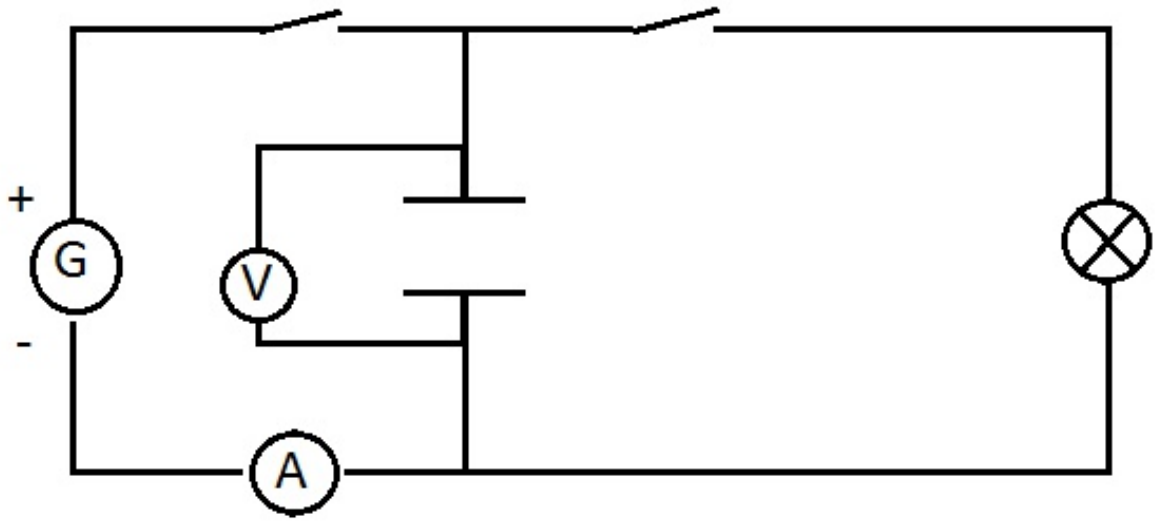
Corriger: En réponse à l'activité électrique détectée et en fonction de la programmation du micro-ordinateur (elle dépend de chaque patient) le stimulateur répond ou non par une stimulation cardiaque. Le stimulateur compare battement après battement la fréquence cardiaque du patient à des valeurs de références inscrites dans ses programmes informatiques. Par exemple s'il y a bradycardie le stimulateur intervient selon le programme inscrit dans ses mémoires.

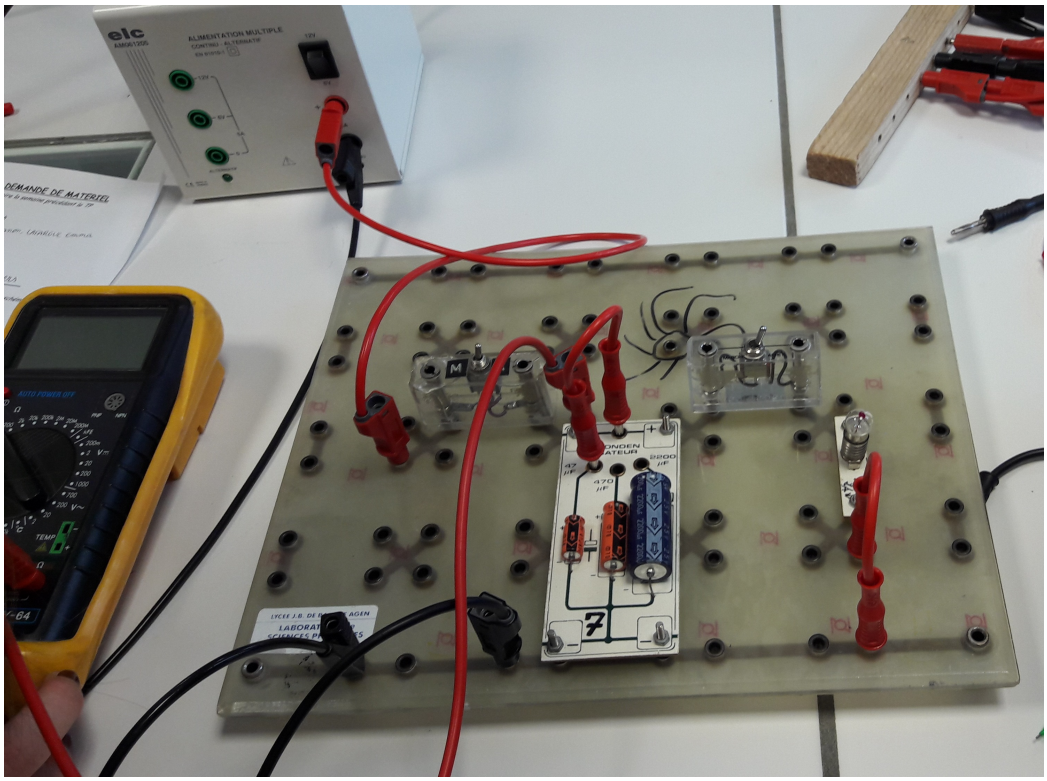
C’est un courant électrique à l’extrémité de l’électrode qui déclenche la stimulation. La stimulation est l'application d'une tension très faible (quelques volts voire quelques dixième de volts) pendant un temps très court (quelques dixième de millisecondes) sur la surface du cœur. Le muscle répond à cette stimulation par une dépolarisation qui provoque une contraction.



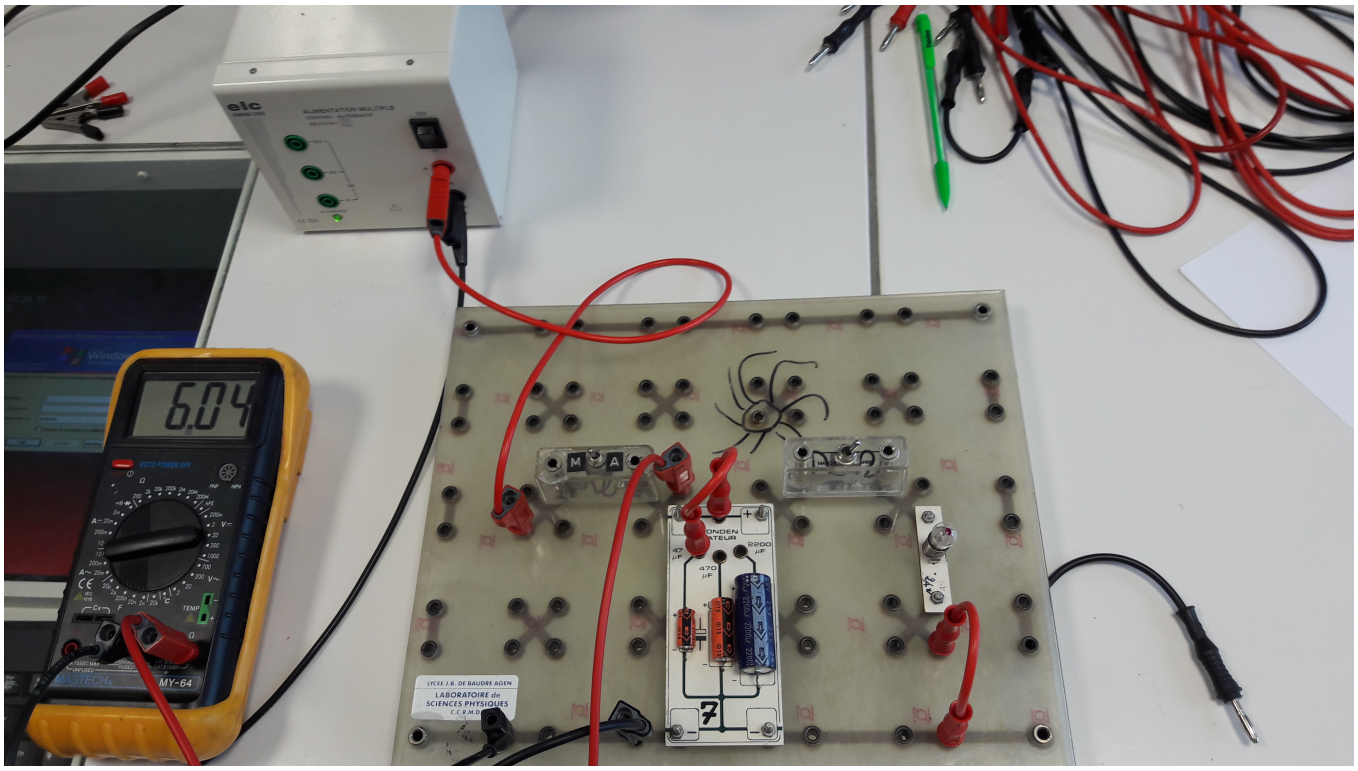
EXPERIENCE 3 :

Nous avons modélisé un pacemaker grâce à un circuit électrique. Nous avons utilisé une lampe pour représenter le cœur, un générateur qui représente la pile, un condensateur ainsi qu'un voltmètre et un ampèremètre pour réaliser des mesures, et des câbles et deux interrupteurs.





Nous avons seulement fermé le premier circuit. Comme les électrons circulent du - vers le + ils arrivent au condensateur et forment une charge négative. Le condensateur est isolant au milieu ce qui oblige les charges négatives à passer de l'autre côté. Nous avons donc polarisé le condensateur. Il y a une charge positive d'un côté et une négative de l'autre.



Lorsque nous avons fermé le second circuit, le condensateur a envoyé la charge jusqu'à la lampe qui s'est allumée (elle a fait un flash).

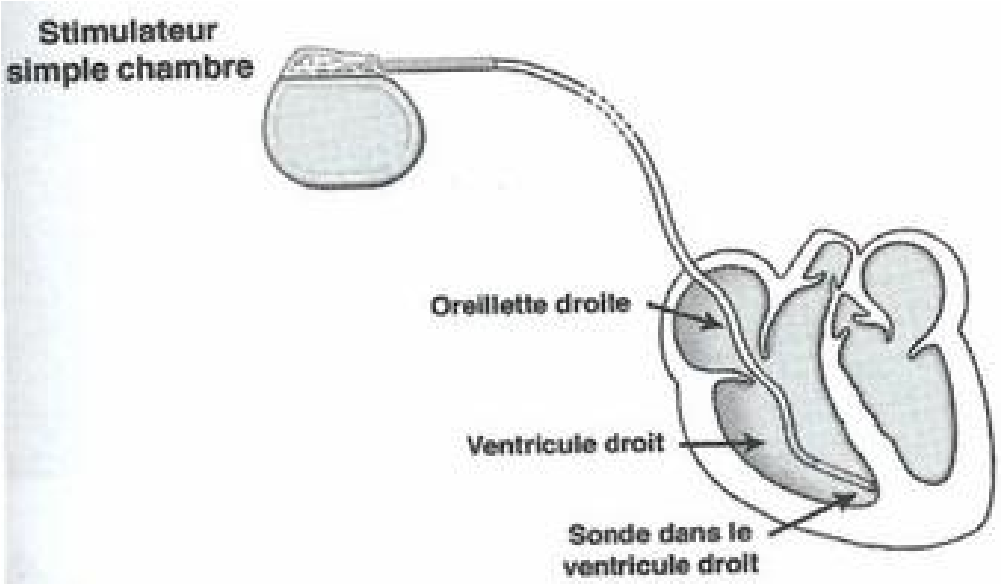
c) Quels sont les différents types de pacemakers ?

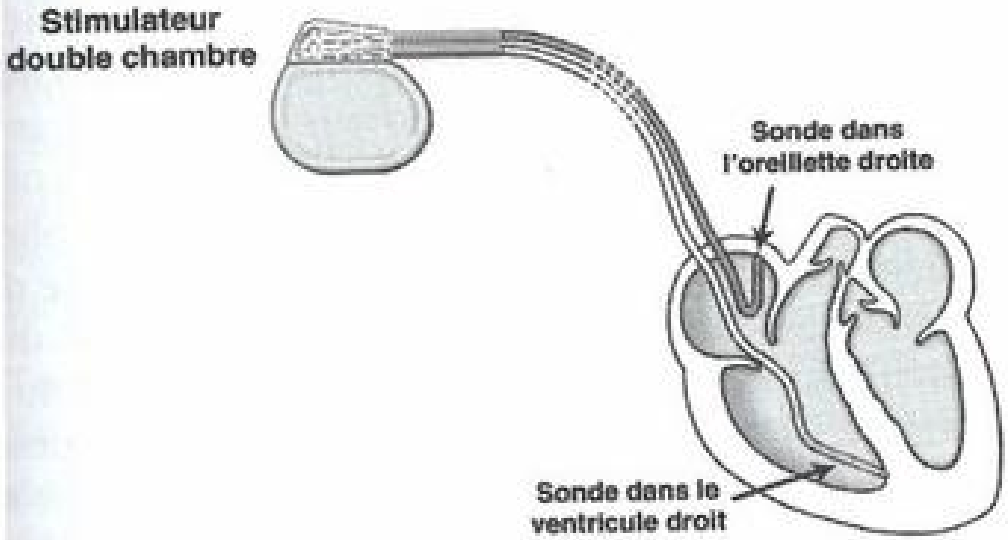
Il existe différents types de stimulations.

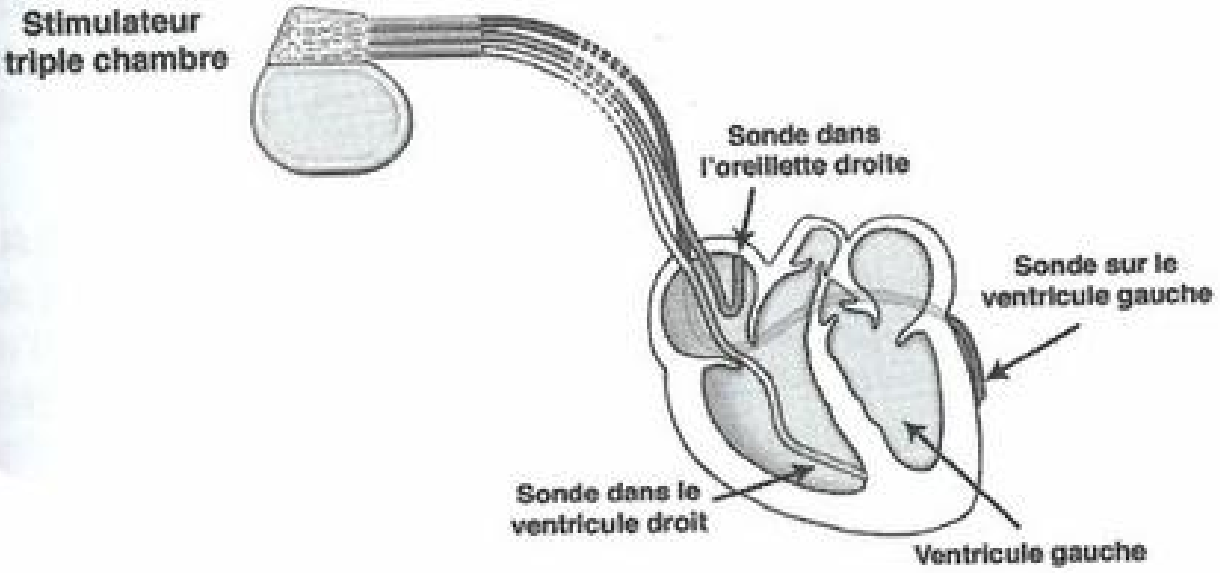
La stimulation mono chambre, correspond à une stimulation d'une seule cavité cardiaque. Il n'y a qu'une sonde placée dans l'oreillette ou le ventricule droit (là où se produit la stimulation). Le stimulateur simple chambre est implanté dans l'oreillette droite quand il y a un dérèglement au commencement de l'influx électrique au niveau du nœud sinusal alors que par ailleurs tout est normal. A l'inverse il est implanté dans le ventricule quand la bradycardie trouve son origine dans un défaut de transmission de l'influx électrique des oreillettes vers les ventricules.

La stimulation double chambre, signifie que deux sondes sont introduites. Dans la majorité des cas, il y en a une dans l'oreillette droite et l'autre dans le ventricule droit, sinon une dans chaque ventricule. Le stimulateur peut donc détecter et stimuler dans les deux cavités ensembles ou indépendamment.

La stimulation triple chambre est la plus récente. Il y a trois sondes placées dans l'oreillette droite, dans le ventricule droit et sur le ventricule gauche. C'est la stimulation dite de resynchronisation. Ce stimulateur coordonne les deux ventricules ce qui amène une meilleure efficacité du cœur et donc améliore l'insuffisance cardiaque.


Stimulateur
simple chambre
Oreillette droite
Ventricule droit
Sonde dans le
ventricule droit


Stimulateur
double chambre
Sonde dans
l'oreillette droite
Sonde dans le
ventricule droit

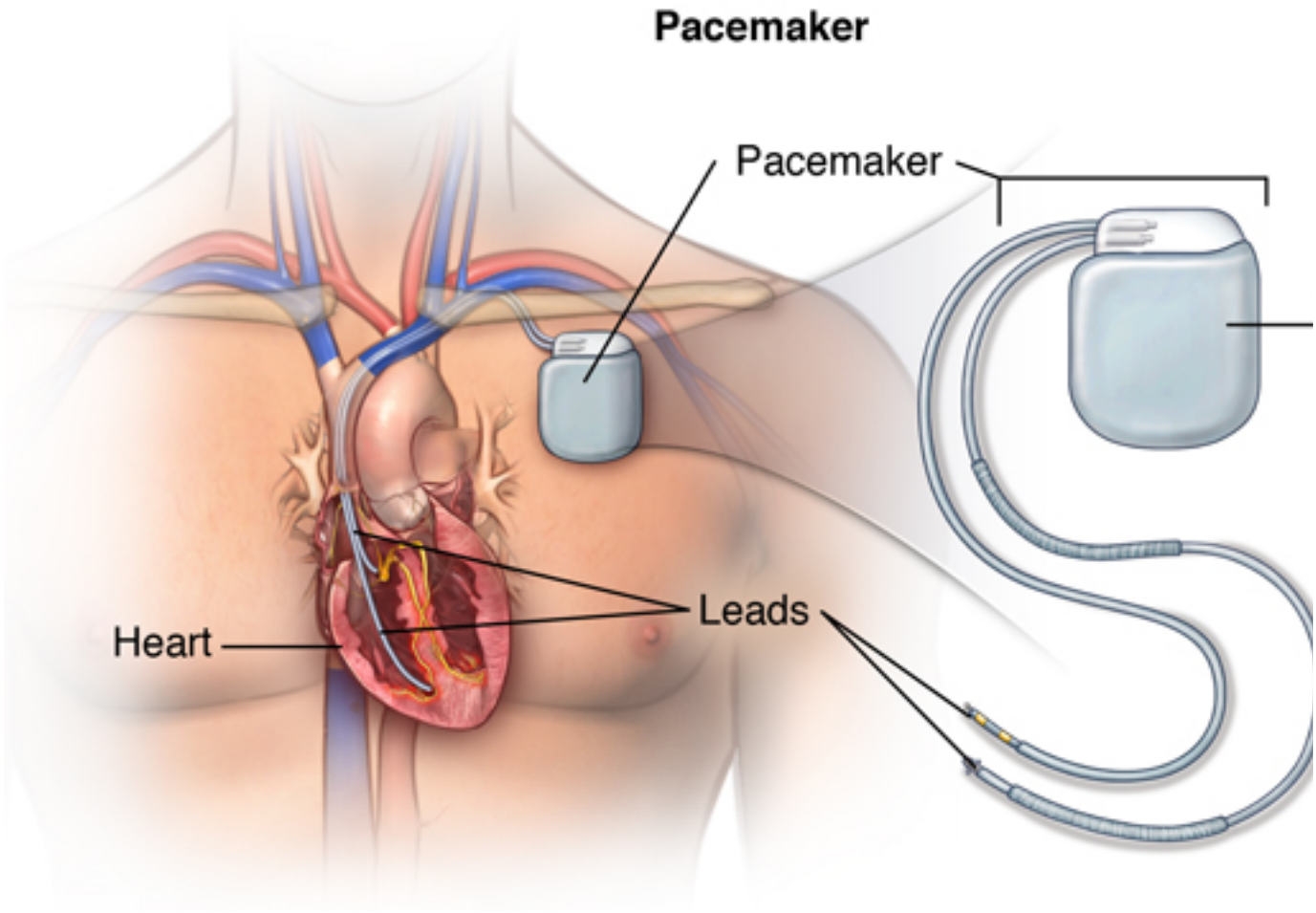

Stimulateur
triple chambre
Sonde dans
l'oreillette droite
Sonde sur le
ventricule gauche
Sonde dans le
ventricule droit
Ventricule gauche

d) Comment est-il implanté ?

Le pacemaker est généralement implanté dans la région sous-claviculaire ou sous le muscle pectoral à droite ou à gauche. En effet, le choix dépend de l'habitude de l'opérateur, des conditions locales et des désirs du patient.

A noter :

Le pacemaker est un corps étranger qui ne peut pas être rejeté par l'organisme.



L'implantation d'un stimulateur cardiaque est généralement rapide (30 à 60 min) mais l'implantation d'un pacemaker à 3 sondes est plus délicate et peut parfois durer plus de 2h. L'opération peut s'effectuer sous anesthésie locale ou générale. Une petite incision d'environ 5 centimètres de long est pratiquée dans le haut de la poitrine. Un petit espace est créé entre la peau et le muscle pour y loger le stimulateur. Les extrémités des sondes sont placées dans les cavités du cœur appropriées puis reliées au boîtier en passant par une veine. L'appareil est alors programmé en fonction des besoins du patient. Puis le stimulateur est mis en place sous la peau et l'incision est refermée. Une vérification à lieu un jour après l'intervention à l'aide d'un programmateur pour vérifier le bon fonctionnement du pacemaker.

III/ EN SAVOIR PLUS SUR LE PACEMAKER

a) Points négatifs

Malgré les avantages du pacemaker il subsiste quand même quelques dangers:

— Danger d'inflammation, souvent dû à un déplacement du pacemaker dans l'organisme (risque estimé à 2% lors de l'implantation).
— Danger de casse du pacemaker, qui nécessiterait un nouveau stimulateur.
— Danger du déplacement de l'appareil, ce qui pourrait déplacer les sondes et rendre le pacemaker inutilisable, voire carrément dangereux.

Ces défaillances sont souvent dues à une mauvaise construction du pacemaker ou au fait que le patient ne tient pas compte des conseils du médecin et des précautions à prendre.

De plus, le pacemaker empêche certaines actions dans la vie quotidienne. Cette pancarte se trouve souvent dans des centres de radiologie et d'Imagerie par Résonance Magnétique et informe que les patients portant un pacemaker ne doivent pas passer d'IRM.

Les plaques à inductions sont dangereuses pour le pacemaker, car elles produisent un petit champ magnétique, qui pourrait altérer le fonctionnement du pacemaker.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les fours à micro-ondes n'ont pas d'impact sur le fonctionnement du pacemaker. Etant donné qu'il s'agit d'ondes puissantes et dangereuses pour tout être vivant, les fabricants de fours à micro-ondes veillent à isoler parfaitement l'intérieur du four et empêcher la sortie des ondes nocives.

Il faut savoir que la distance entre un portable et un pacemaker ne peut être inférieure à 20 cm. Le patient doit utiliser l'oreille opposée au pacemaker et ranger le téléphone dans la poche opposée.

Les pacemakers sont vulnérables au piratage informatiques: en effet, les pacemakers sont équipés de technologies sans fil qui permettent aux cardiologues de contrôler à distance le bon fonctionnement des implants. Mais des pirates informatiques peuvent les reprogrammer sans aucun problème à l'insue du patient.

b) Vie après l'implantation

Le patient doit effectuer un bilan médical tous les 6 mois pour contrôler le bon fonctionnement du pacemaker. La pile a une durée de vie de 6 à 14 ans en fonction du nombre de stimulations effectuées, il faut alors changer la pile donc le boîtier mais on ne remplace pas les sondes.

Un patient portant un pacemaker peut voyager si son état le permet. Il se peut qu'un patient éprouve des vertiges ou que son pouls s'accélère s'il passe sous un portique de détection à l'aéroport. L'alarme peut être déclenchée dans de très rares cas. Le patient doit alors prévenir les agents de sécurité qu'il possède un stimulateur cardiaque en présentant sa carte d'identification.

Les implantés peuvent quand même utiliser un défibrillateur car ce dernier permet de résoudre les problèmes de tachycardie (quand le cœur fibrille, il va monter très haut et s'arrêter subitement).

Comme pour toute personne, il est conseillé de pratiquer du sport aux porteurs mais il faut éviter les sport de combat pour éviter les chocs qui pourraient détruire ou déplacer le boîtier, les sports à fortes sensations comme le parachutisme ou l'alpinisme car si le patient a un problème il serait difficile de le réanimer. Les sports nécessitant une grande mobilité des bras sont également à éviter comme l'escalade et le basket car ils pourraient entraîner un déplacement de l'appareil. En revanche les sports comme le foot (tout en faisant attention aux coups et chutes), le vélo de route, la course à pied où les risques sont moindres sont recommandés pour entretenir une bonne forme physique. Mais il faut toujours avoir l'accord du cardiologue pour pratiquer du sport. Il faut savoir que le sport en compétition n'est pas envisageable car la présence du pacemaker ne permet pas d'obtenir une licence nécessaire.

Lors du décès du patient on doit retirer le pacemaker car la pile est polluante (elle contient du mercure).

c) L'association : les porteurs

LES PORTEURS

www.lesporteurs.fr

Nous avons eu l'occasion d'interviewer la présidente « des porteurs » Anne Pinna qui nous a donné quelques informations qu'il nous manquait. Cette association est une chaîne humaine : les gens qui ont l'angoisse de se faire implanter sont aidés afin de surmonter l'épreuve, à accepter la maladie. Le but de cette association est d'échanger, de partager le vécu et les témoignages des implantés, de donner des informations sur les nouvelles technologies, d'organiser des réunions tous les 3/ 4 mois sur le thème de leur choix en rapport avec le pacemaker.

CONCLUSION

Pour conclure, les pacemakers permettent de résoudre très efficacement les problèmes cardiaques tels que la bradycardie, d'augmenter l'espérance de vie des personnes atteintes par cette maladie tout en leur permettant de garder une vie correcte et saine. Ainsi, l'invention du pacemaker est révolutionnaire et a joué un grand rôle dans l'histoire de la cardiologie. De plus, il continue de se moderniser en se miniaturisant. Les scientifiques sont en perpétuelle recherche afin de trouver des solutions futures et pourquoi pas faire disparaître les pacemakers. En effet, une idée qui nous paraissait irréalisable est en train d'être innovée: la greffe de cellules. Ces recherches concernent la possibilité de cultiver des cellules spécialisées dans la production d'influx, et de les implanter dans le cœur afin qu'elles s'y développent et remplacent l'activité manquante. L'aboutissement de ces travaux n'est pas attendu avant des années mais ils témoignent de l'extraordinaire dynamisme des recherches dans le domaine.

LEXIQUE

ARYTHMIES: trouble du rythme du cœur, caractérisé par une irrégularité des contractions.

DEPOLARISATION (cellule) : passage d'une cellule chargée négativement à une cellule chargé positivement, ceci par le biai d'une impulsion électrique.

DEPOLARISATION (d'un muscle): Quand un influx né au sein même d'une structure musculaire, qu'il parcourt ensuite de bout en bout. Cette dépolarisation entraine la contraction.

ELECTROCARDIOGRAMME: Enregistrement graphique de l'activité électrique du coeur permettant de diagnostiquer les affections ou les troubles du rythme cardiaque.

INFLUX: signal électrique.

MYOCARDE appelée plus couramment coeur.

REACTION D'OXYDOREDUCTION : transfert d'électrons entre deux réactifs : un oxydant et un réducteur.

BIBLIOGRAPHIE

CHAUVIN, Michel. *Pacemakers et défibrillateurs implantables pour les nuls*. First édition, 2011. 239p

Fedecardio [en ligne], [consulté le 22/11/16]. Le fonctionnement du coeur. Disponible sur : https://www.fedecardio.org/Je-m-informe/Le-coeur/le-fonctionnement-du-coeur

écris par Blausen sur *e-santé* [en ligne], date de mis à jour 19/08/2010 [consulté le 22/11/16]. Fonctionnement du coeur expliqué en vidéo. Disponible sur : http://www.e-sante.fr/fonctionnement-coeur-explique-en-video/video/321

Aquaportail [en ligne], date de mis à jour 14/05/2015 [consulté le 29/11/16]. Définition de fréquence cardiaque. Disponible sur : https://www.aquaportail.com/definition-4709-frequence-cardiaque.html

Ecris par Audrey sur *gralon.net* [en ligne], mis à jour le 05/11/2008 [consulté le 06/12/16]. Le pacemaker : histoire d'une invention. Sur : https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiel-medical/article-le-pacemaker---histoire-d-une-invention-2137.htm

Pacemaker.e-monsite.com [en ligne], [consulté le 03/01/17]. TPE : Le pacemaker. Sur : http://pacemaker.e-monsite.com/pages/ii-le-pacemaker/b-le-pacemaker-et-ses-caracteristiques.html

Par Lonnie DOS SANTOS sur *madmagz* [en ligne]. mis à jour le 05/08/2013 [consulté le 06/12/16]. Le pacemaker. Sur : http://tpe.madmagz.com/fr/exemple-de-tpe-s-le-pacemaker/

*Tpe-pacemake*r [en ligne] [consulté le 06/12/16] Pacemaker sur : http://tpe-pacemaker.e-monsite.com/pages/ii-du-pacemaker-a-son-porteur/fonctionnement-du-pacemaker.html

simplyscience [en ligne] mis à jour le 20/02/2014 [consulté le 03/01/2017].Comment fonctionne une pile sur : https://www.simplyscience.ch/archives-enfants/articles/comment-fonctionne-une-pile.html

TPE REALISE PAR

Manon ALBERDI
Agathe SAUGNAC
Emma LAFARGUE