Mathématiques
et
Médecine

Jean Céa

Des limites

- La médecine et la biologie sont de grandes consommatrices de mathématiques, même si ces dernières restent souvent cachées.
- Dans ce diaporama, nous nous sommes nécessairement limités à quelques exemples.
- *Nous ne parlerons pas de* : Génome, Echographie, Chirurgie à distance, Chirurgie Assistée par Ordinateur (CAO), Simulation, Propagation des épidémies…
- Nous aborderons à peine les **Systèmes experts et l'intelligence artificielle** qui vont bouleverser la médecine et la… formation !

Plan

Modélisation : paludisme, pancréas.
Imagerie médicale : Tomodensitométrie. Résonance Magnétique…
Applications de l'imagerie médicale : Prothèse totale du genou, Neuronavigation, Ablation par radiofréquence.
Interface Cerveau Machine : *commander par la pensée.*
Intelligence artificielle *: cancer du sein.*

Modélisation :
paludisme, pancréas

Le paludisme : vers un modèle

- **Contagion** : Hommes ↔ Moustiques du genre **anophèles** (femelles)

  Quand un **moustique contaminé** pique un **être humain sain**, il le contamine !

  Quand un **moustique sain** pique un **être humain contaminé**, il se contamine !
- **Responsable chez l'homme** : un parasite (**plasmodium**)
- **Louis Pasteur** (1822-1895) : maladies et microbes.
- **Alphonse Laveran** (1880) : le moustique est responsable (Nobel 1908)
- **Ronald Ross** (1897) : le cycle du parasite, un **modèle mathématique** très simple. (Nobel 1902)

Les moustiques et le paludisme (I)

« Le **paludisme** une maladie propagée par une variété de moustiques, **l'anophèle femelle**. Cette femelle doit faire un repas de **sang de vertébré** pour accumuler assez de protéines et fabriquer ses œufs - elle en pond jusqu'à 200 dans les bords de marais asséchés.

Aux beaux jours, dès que l'eau apparaît, lors d'une irrigation ou d'une pluie, la larve éclot. Elle vit de deux à quatre jours avant de se transformer en insecte volant. En un seul été, dix générations peuvent ainsi se succéder ! »

Il y a plus de 500 espèces différentes de moustiques. Certaines d'entre elles propagent des maladies qui ont fait **des millions de morts** et qui se propagent encore : **paludisme** (malaria), **dengue**, **chikungunya**, **zika**, **fièvre du nil occidental**… »

Les moustiques et le paludisme (II)

« **Paludisme 2017** : **219 millions de personnes malades et 435 000 décès** (OMS), 80 % des cas ont été enregistrés dans quinze pays **d'Afrique subsaharienne et l'Inde.**
Actuellement, le bilan actuel est encore plus sévère : 725.000 décès par an, selon la fondation Bill & Melinda Gates.

Pendant la dernière « grande guerre », sur le théâtre d'opérations du Pacifique qu'il commande, **le général MacArthur a compris que le paludisme est pire que l'ennemi japonais**: 65% des troupes américaines aux Philippines ont contracté la maladie, c'est l'une des causes de la retraite des troupes américaines à Bataan à la fin de 1942, face à l'avancée de l'armée impériale. «Cette guerre sera longue si, pour chaque division face à l'ennemi, j'en ai une autre à l'hôpital et une troisième en convalescence», dira MacArthur avant d'engager une campagne d'aspersion massive de DDT dans le Pacifique en 1943. »

DDT (I)

DDT : 1940-1970. LE moyen pour se débarrasser des moustiques. Les résultats sont spectaculaires :

Sardaigne : Paludisme « Entre 1946 et 1951, la fondation américaine Rockefeller obtient le droit de déverser **10 000 tonnes de DDT** en Sardaigne, dans les villes, les champs, les cours d'eau. Une expérience qui doit servir d'exemple, et dont le résultat sera spectaculaire : endémique depuis l'invasion des Carthaginois au VIe siècle avant J.-C., le paludisme est totalement **éradiqué** dans l'île italienne, Le DDT a sauvé des millions de vies et favorisé l'intensification de l'agriculture, qui a nourri des dizaines de millions de gens. »

Naples : Thypus **«** En octobre 1943, quelques semaines après le soulèvement de la population qui a conduit à sa libération, Naples est frappée par une épidémie de typhus. L'armée américaine ne tarde pas à réagir : plus d'un million de personnes sont traitées avec une poudre à base de DDT. Une expérience à grande échelle qui en prolonge d'autres menées discrètement quelques mois plus tôt sur des prisonniers de guerre en Afrique du Nord. » **Succès** !

DDT (II)

Le DDT a fini sur le banc des accusés : des succès mais…les conséquences pour la santé humaine étaient inconnues, l'environnement a payé un lourd tribut. Il est aujourd'hui suspecté de favoriser des **cancers du foie et du sein**, et classé «cancérogène probable» par l'OMS. Animaux disparus.

Tendance : le DDT semble revenir, il est efficace et bon marché.

https://www.pourlascience.fr/sd/epidemiologie/de-nouvelles-armes-contre-les-moustiques-14365.php

https://www.letemps.ch/sciences/ddt-linvention-providentielle-polluant-mortel

https://www.lexpress.fr/actualite/sciences/sus-au-moustique_458755.html

https://fr.wikipedia.org/wiki/Paludisme

Un travail multidisciplinaire

- La **modélisation** permet **d'analyser** des phénomènes réels, et en exploitant des modèles, de **prévoir** des résultats.
- Un modèle n'est pas une loi physique qui a fait ses preuves depuis des siècles. Il est le résultat de **tâtonnements, d'ajustements** et d'un **travail multidisciplinaire**.
- *Petit à petit, après de nombreuses confrontations entre le monde réel et le monde virtuel (des simulations)* **le modèle sera validé !**
- Les modèles mathématiques servent à effectuer des ***simulations virtuelles et à éviter des tests réels***… coûteux, parfois dangereux ou infaisables ! (choc avec une voiture)
- Dans un modèle, on traduit souvent en termes mathématiques des **lois de conservation**, des **situations d'équilibre, des passages à la limite**… On obtient des relations entre les fonctions qui décrivent un processus.

Tant qu'il y aura des… moustiques

- A l'époque, les décideurs pensaient que : **il y aura toujours des moustiques pour contaminer des hommes, qui contamineront des moustiques…** Donc, impossible de débarrasser une région de ses moustiques. **Donc, inutile de faire de gros investissements et de mobiliser de la matière grise !**
- Ross a montré avec son modèle mathématique ceci : **il existe un seuil critique, si le nombre de moustiques passe sous ce seuil, alors le paludisme disparaît de lui-même. Donc, il faut éliminer des moustiques et passer sous ce seuil !**

Un modèle mathématique simple

→ **Il y a 2 fonctions inconnues : h (t) et m(t), hommes et moustiques infectés au temps t (t >= 0).**

On étudie les ***évolutions*** *de ces 2 fonctions entre* ***t et t + Δt,*** *où Δt* est « petit ». **Exemple avec h, hommes infectés** :

h(t + *Δt*) - h(t) = [infectés] - [guéris] - [décédés] *pendant Δt*

Regardons le cas des ***guérisons*** : si la *proportion* de guérisons par unité de temps vaut **g** (nombre entre 0 et 1), alors le nombre total de guérisons entre t et t + *Δt* vaut à peu près :

h (t).g.*Δt* ↔ [**g.h (t)**] **.** *Δt*

Les infectés et les décédés vont conduire aussi à des expressions avec le **facteur *Δt :*** d'où

h(t + *Δt*) - h(t) = [**infectés - g.h (t) - décédés**] **.** Δt soit

(h(t + *Δt*) - h(t)) / Δt = [...]. ***A la limite quand Δt → 0 :***

h'(t) = [...], il ne reste plus qu'à expliciter le terme [...] !

Un système de 2 équations différentielles

- On montre avec quelques calculs simples que :

$$h' = a \,.\, h + b \,.\, m + c \,.\, m \,.\, h$$
$$m' = d \,.\, h + e \,.\, m + f \,.\, m \,.\, h$$

- a, b, c, d, e, f sont des nombres qui dépendent des paramètres de la modélisation. Il y a une infinité de solutions, on peut en préciser une si on connait les ***conditions dites initiales*** h_0 ***et*** m_0 ***au temps*** $t = 0$:

$$h(0) = h_0$$
$$m(0) = m_0$$

- Il s'agit d'un système de 2 équations différentielles à 2 fonctions inconnues h et m.
- Existence d'une solution, calculs…
- *Ajustement des paramètres, validation, exploitation.*

Le seuil critique de ROSS

- ***Les mathématiciens savent calculer (souvent de façon approchée) les solutions de ces 2 équations (différentielles). On peut donc connaître l'évolution de h(t) et de m(t).***
- ***En cherchant sous quelles conditions h (t) pourrait se rapprocher de 0 quand t devient grand (ce qui signifie que le paludisme va disparaître avec le temps)*** **Ross** a mis en évidence un nombre**, le seuil critique du type** : k . M / H (**M** = nombre total de moustiques, **H** = nombre total d'hommes) où k dépend des paramètres de la modélisation.
- **Le théorème du moustique** (**Ronald Ross, 1911**) :

  Si k. M / H < 1 alors la maladie va disparaître.

  La condition s'écrit : **M < (1/k) . H**

→ **Politique de santé publique : il suffit de réduire assez M, pour que le paludisme disparaisse !** (résultat asymptotique)

Le pancréas et le diabète

- Le **pancréas** synthétise des produits de sécrétion qui sont **libérés dans la circulation sanguine** où ils vont agir à distance sur des tissus (ou cellules) cibles. Les produits synthétisés par le pancréas sont, en particulier :

  - **L'insuline** qui favorise la synthèse de glycogène à partir du glucose. Son but principal est la mise en réserve du glucose issu d'une alimentation riche en glucides.

  - **Le glucagon qui** agit en sens contraire, il accélère la production de glucose.

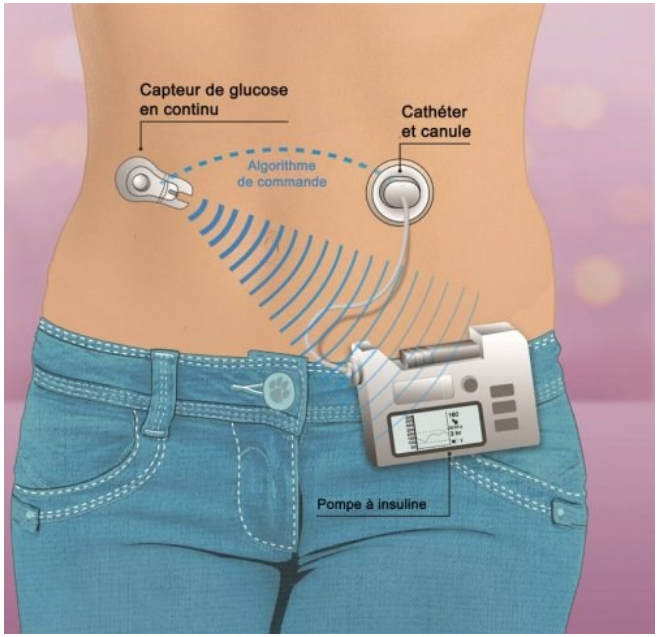
- **Ces deux hormones sont nécessaires à la régulation de la glycémie (concentration du glucose dans le sang).**

- Extrait de : http://fr.wikipedia.org/wiki/Glycog%C3%A9nogen%C3%A8se

Qu’est-ce que le diabète ?

- « Le diabète est une maladie… causée par une **carence ou un défaut d'utilisation de l'insuline entraînant un excès de sucre dans le sang** (1922).
- À la longue, l’hyperglycémie provoquée par la présence excessive de glucose dans le sang peut entraîner certaines complications, notamment au niveau des yeux, des reins, des nerfs, du cœur et des vaisseaux sanguins. »
- **Dans certains cas,** les personnes diabétiques dépendent d‘**injections quotidiennes d'insuline** pour vivre (diabète de type 1).

Vers un « pancréas artificiel »



Crédit illustration :
© Sophia Winters - Fotolia.com

- Le **capteur de glucose** est implanté sous la peau. Il mesure en continu (toutes les **5 minutes** !) le niveau du glucose qu'il transmet par un signal.

- Le **centre de traitement (ordinateur, logiciel)** est actuellement de la taille d'un Smartphone. Il **analyse le signal reçu**, utilise un **algorithme (basé sur un modèle)** et **décide** du taux **d'insuline** (et éventuellement de **glucagon**) à injecter.

- La **pompe à insuline** agit selon les ordres reçus (du centre de traitement).

*Plusieurs centres de recherches à travers le monde cherchent à automatiser et à optimiser le processus d'absorption de l'insuline. Des prototypes d'un « **pancréas artificiel** » existent et sont expérimentés, en particulier en France chez le Professeur Éric Renard (**Montpellier**). **La difficulté (non satisfaisante actuellement) : il y a bien un modèle mathématique, mais il n'est pas satisfaisant !***

L'imagerie médicale

Une belle vidéo sur l’imagerie médicale, suggérée par Jean-Michel Groleau, après ma conférence à Saint Laurent du Var, Université Pour Tous. Mes remerciements.
https://www.youtube.com/watch?v=1z3WovnWhys

« Elle regroupe les moyens **d'*acquisition et de restitution d'images*** du corps humain à partir de **différents phénomènes physiques** tels que :

- **Absorption des rayons X** (**Tomographie-X ou Scanner**)
- **Résonance magnétique nucléaire** (**IRM**)
- **Réflexion d'ondes ultrasons** (**Echographie**)
- Et depuis peu, **Micro-ondes ».**

Plusieurs phases dans l'imagerie

1. Un **phénomène physique.**
2. Une **fonction caractéristique** des tissus du corps humain, comme, les os, le cerveau, la moelle épinière , les viscères, les muscles ou les tendons.
3. Le **calcul mathématique** de cette fonction.
4. Le **stockage des valeurs** de cette fonction pour un ensemble de points.
5. **L'extraction** de données pour la **construction** mathématique et informatique **d'images** et de **vues** diverses.

Tomographie-X, scanner-X

Tomodensitométrie

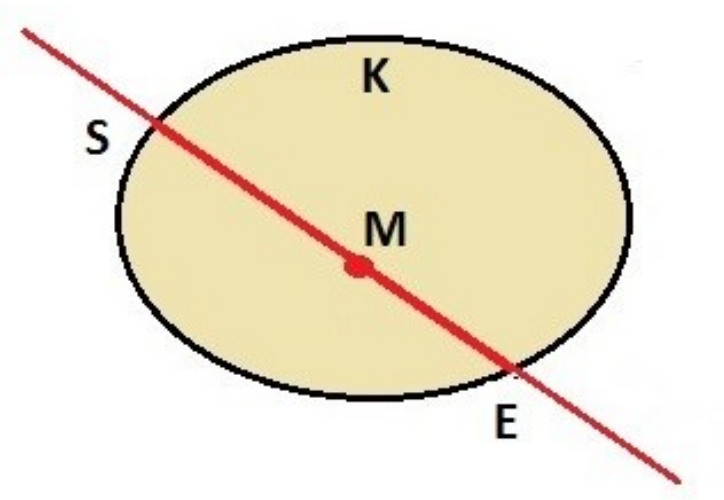
Tomodensitométrie

Dernier cri dans la **tomodensitométrie** : le **CT-scan à double source**. (Wikipedia)

Quand un rayon X traverse notre corps

(une tranche planaire de notre corps, représentée par l'ensemble K)

Le rayon X arrive en E avec une certaine énergie, il traverse K pour sortir en S. En tout point M du segment ES, **il perd de l'énergie**. Cette perte est **caractéristique** du milieu traversé : os, muscle, graisse, air…



Fonction f :

A tout point M de K, on associe un nombre f(M).

C'est l'atténuation de l'énergie de tout rayon X qui passe par M.

Des images

Si, en chaque point M de K, on connaît le nombre f(M), on connaît alors la nature du milieu en M.

On pourrait alors construire des **images** selon un *code de teintes* pour représenter le milieu : os, muscle, graisse, air...

Images 2D dans chaque coupe K, **image 3D** par des raccordements mathématiques d'images 2D.

Un cheminement curieux

→ **Notre inconnue est une fonction f. On voudrait connaître f(x) pour tout x (point du plan, de l'espace…).**
En mathématiques, on a souvent recours à un déplacement de la difficulté. Un problème peut-être difficile à résoudre dans son cadre d'origine, mais, il peut devenir plus simple à comprendre dans un autre cadre. Un exemple avec une transformation F de f, f étant la transformée inverse de F :

f ⟶ **F**

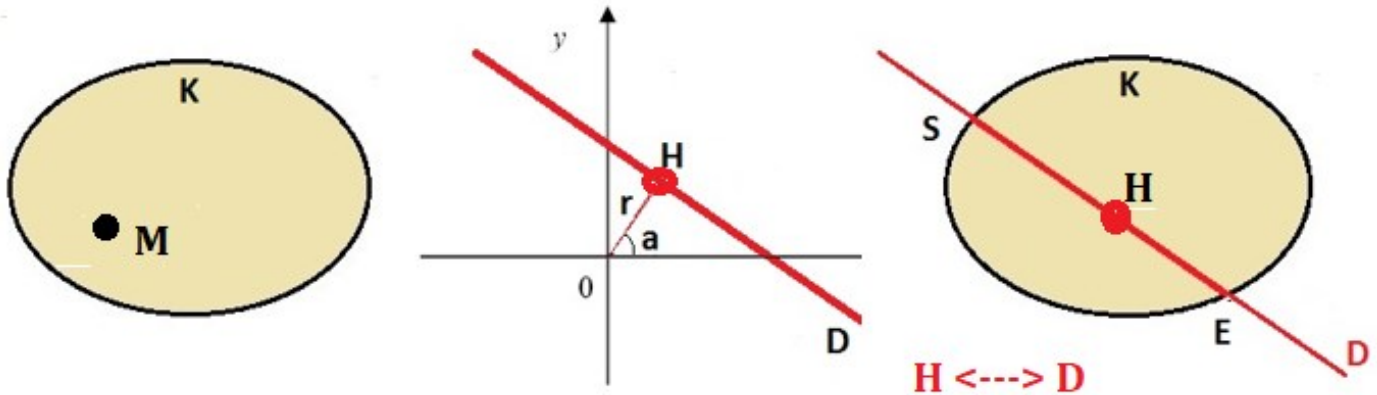
⬇

f calculée ⟵ **F calculée** (mesures physiques, par ex.)

Dans notre cas, **F sera la Transformée de Radon de f, 1917.**

La transformée de Radon (1917)

f



F

f (M) définie ∀ M

f (M) = o si M n'est pas dans K (borné)

∀point H, repéré par a,r
On va définir F(H)

a,r ⟷ la droite **D** (avec orientation)

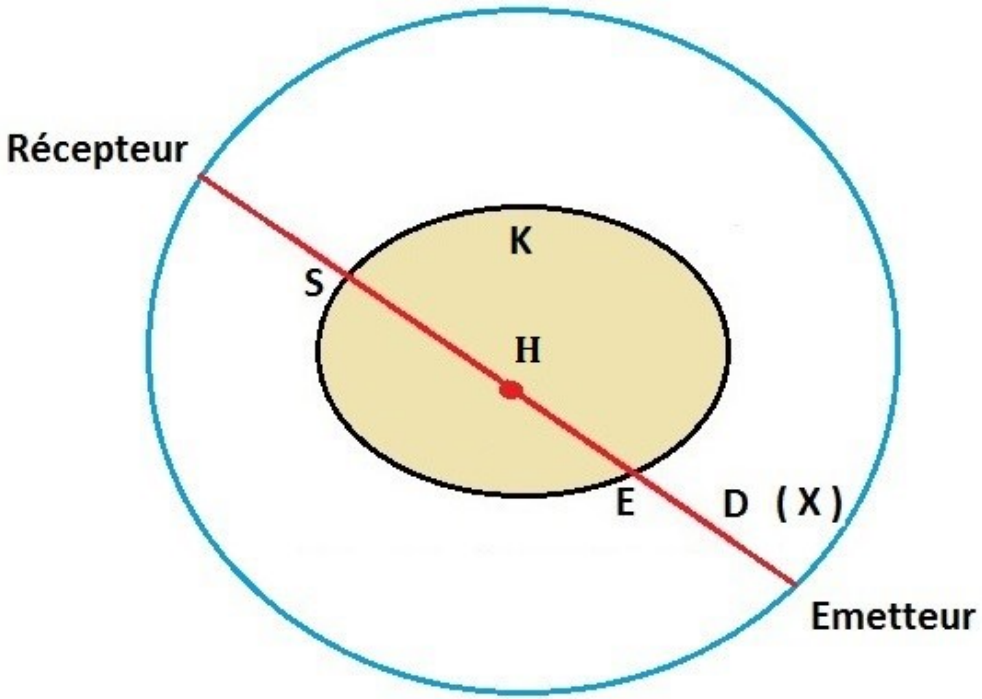
F (D) définie ∀ D

ou F(a,r) ou F(H)

En 1917, Radon associe à une fonction f une fonction **F**, dite **transformée de Radon de f.** F(D) = **intégrale de f sur ES** ; moyenne de f sur ES * (ES)

Radon démontre que sa transformation est inversible, autrement dit, connaissant F on peut trouver f.

Quand une droite est un rayon X



***En bleu* : une tranche du tunnel du scanner.**

En jaune clair, une tranche du corps humain à analyser.

***En rouge* : un rayon X qui va de l'émetteur au récepteur.**

Il n'y a pas de perte d'énergie dans l'air, entre l'émetteur et E, entre S et le récepteur.

Une droite D est un rayon X émis par l'émetteur.

Balayage de rayons X par les émetteurs. Mouvement hélicoïdal possible.

Pour toute D, il se trouve que F(D) est calculable à partir des énergies du rayon X en E et S, c'est-à-dire à l'émetteur et au récepteur. F étant connue, on sait retrouver f mathématiquement.

Tomodensitométrie, Tomographie X, Scanner

- Ces techniques utilisent **trois outils** :
- Les **rayons X** : Wilhelm Röntgen, **1895**, Nobel de physique en 2001.
- La transformation du mathématicien **Radon** : **1917**.
- Les ordinateurs : besoin d'une énorme puissance de calcul.

La Tomographie médicale a été développée dans les années **1970 et 1980**. En 1979, Allan **Cormark** (physicien) et Godfrey **Hounsfield** (ingénieur) ont reçu le prix **Nobel de médecine** pour leurs contributions dans l'invention du CT scanner (CT = Computed Tomography) ou la Tomographie X médicale d'aujourd'hui. **Radon n'a rien reçu : qui pouvait penser à l'époque que sa transformation pouvait servir ?**

Imagerie par Résonance Magnétique

Imagerie par **R**ésonance **M**agnétique

- L'imagerie par résonance magnétique est une **technique non invasive**. (**Champ magnétique**, *pas de rayons X*)
- **On peut observer des tissus avec des contrastes très élevés, meilleurs que ceux obtenus à l'aide d'un scanner.**
- L'IRM utilise la **résonance** des **protons** d'un organisme pour récupérer les données qui permettront de construire des images. Ou trouve-t-on ces protons ? *Physique quantique.*

Esquisse du fonctionnement de l'IRM (I)

- Le corps humain est composé en majorité d'eau (H_2O).
- Le noyau de **l'hydrogène** est composé d'une seule particule : un proton. Ces protons réagissent au champ magnétique de façon spécifique. *On commence* par placer **le corps du patient dans un intense champ magnétique,** *puis, on excite les protons* à une certaine fréquence à l'aide d'une **émission électromagnétique** *jusqu'à les mettre en résonance*.
- http://www.dossier-irm.fr/le_principe_de_la_resonance_magnetique_nucleaire.html

Fonctionnement simplifié de l'IRM (II)

- ***Résonance*** *:* cela signifie que les protons vont **absorber l'énergie du rayonnement**.
- Arrêt de l'excitation : avec une ou plusieurs **antennes**, on peut mesurer **l'énergie rendue** par les protons en chaque point.

➢ ***Le mode de restitution est typique des tissus traversés.*** **On peut donc différencier les points des tissus traversés et construire des images.**

- http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9sonance_magn%C3%A9tique_nucl%C3%A9aire
- http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9sonance

Applications

Prothèse totale du genou
Ablation par radiofréquence
Neuronavigation

Prothèse totale du genou

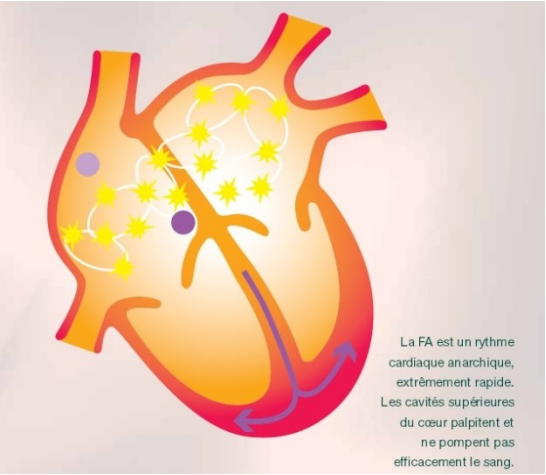
- Les **mathématiques** interviennent surtout avant l'opération. Cependant, elles peuvent aussi intervenir pendant l'opération dans le cas de la **CAO** (ChirurgieAO)
- **Scanner préopératoire** (IRM ou Scanner-X). Avec les résultats de ce scanner, on fait une **modélisation 3D de la jambe**. Le chirurgien aura ainsi une vision complète du genou-fémur-tibia.
- « L'axe de la PTG et la balance ligamentaire sont les 2 critères les plus importants pour que le résultat clinique soit bon et la durée de vie de la prothèse optimisée. »
- Le chirurgien devra faire des **choix** sur son ordinateur, en tenant compte des alignements, des espaces, des tendons… Il choisira bonne **taille de la prothèse** pour assurer une réussite.

Aide des mathématiques

- Après ses choix, le chirurgien recevra les **guides de coupe à usage unique**.
- Ces guides s'adaptent ***anatomiquement*** au fémur et au tibia. Ils permettent une première découpe, on peut ensuite poser sans erreur, les **guides à 4 découpes adaptées à la prothèse choisie**.
- Beaucoup de mathématiques dans le scanner, dans la modélisation 3D, dans le dessin et la position « anatomique » des guides…
- Apport : rigueur, réductions des erreurs, efficacité…

Rythme Cardiaque

- Le **cœur** est un muscle qui fait office de pompe en se contractant environ 60-70 fois par minute.
- Le chef d'orchestre est le **Sinus**, situé au-dessus de **l'oreille droite** : il envoie des signaux électriques qui se propagent dans les oreillettes, puis dans les ventricules via le **Nœud Atrio-Ventriculaire**.



Quand le cœur fonctionne bien, le rythme est dit **sinusal**.

Anomalies du Rythme Cardiaque

- Il arrive que ***des* cellules ne fonctionnent pas en rythme** et que *les* signaux soient retransmis de façon anarchique : c'est **l'Arythmie.**

Crédit : http://fr.wikipedia.org/wiki/Fibrillation_atriale

La fibrillation auriculaire (atriale)

- **Arythmies la plus fréquentes.** Celles qui affectent les oreillettes : la **fibrillation auriculaire** (ou **atriale**). Le muscle cardiaque « fibrille », les cellules ne travaillent pas, en même temps et dans le même sens pour expulser le sang.
- **Conséquences de l'arythmie** :
  - Expulsion insuffisante du sang
  - Vertiges, Fatigue, Essoufflements, Palpitations, Risque d' AVC…
- **Soins** : médicaments, choc électrique, *ablation par radiofréquence*…
- **Statistiques** : 3,5 % des personnes de plus de 65 ans, *10% des personnes de plus de 80 ans.*

Principe de l'Ablation par radiofréquence

Le procédé consiste à détecter les zones qui ne fonctionnent pas bien et à les supprimer en les brûlant, c'est l'ablation !

Il se trouve que dans la F.A. ces zones se concentrent aux embouchures des veines pulmonaires dans l'oreillette gauche. On cherchera donc à isoler (électriquement) ces veines par l'ablation.

Succès : >= 90 %, éventuellement en 2 fois, cela dépend s'il y a des facteurs aggravants ou non (âge, pression artérielle…)

- http://www.notretemps.com/sante/videos/ablation-par-radiofrequence,i7464
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Fibrillation_atriale

Mise en ouvre de l'Ablation par radiofréquence (I)

Tout dépend des matériels et des logiciels utilisés. Par ex. :

via la **veine fémorale droite**, on introduit dans **l'oreillette droite** des **cathéters (diagnostic, ablation,…)** et des **sondes (cartographie, échographie…).** On traverse la cloison pour aller à **l'oreillette gauche**.

On peut aussi introduire directement une sonde dans **l'oreillette gauche** (**diagnostic**).

Cartographie du cœur : certains cathéters sont prolongés par des **électrodes** qui vont dresser des « électrocardiogrammes » de l'intérieur du cœur. Avec un système **d'imagerie**, on visualise la cartographie du cœur.

On sélectionne alors les **zones à brûler**.

Ablation : des **cathéters d'ablation** vont faire ce travail.

Mise en ouvre de l'Ablation par radiofréquence (II)

On a besoin de « voir » où se trouvent les instruments et les zones défectueuses. Donc, **reconstitution 3D du cœur**. Au début, on ne disposait que de la scopie, mais « Danger » à cause des rayons X.

Guidage des cathéters. Une invention très récente, **une révolution** : le **Guidage Magnétique.** Le patient est placé entre 2 grands aimants, les cathéters (d'ablation) portent 3 ou 4 petits aimants. Depuis un ordinateur, en faisant varier le champ magnétique, on commande les mouvements des cathéters.

Intérêt du guidage magnétique : plus précis, mieux contrôlé, plus rapide, pas de rayon X… beaucoup moins d'accidents…

Durée de l'opération : entre 2 et 4 heures.

Séjour dans l'établissement : 2 ou 3 nuits

Les mathématiques sont dans la reconstitution des images et dans la gestion du mouvement des cathéters par guidage magnétique…

Anecdote colloque mathématiques.

Michel Haïssaguerre, spécialiste du coeur © PATRICK BERNARD / AFP

«Ce système de navigation magnétique, c'est la médecine du troisième millénaire», a commenté un médecin de l'hôpital Lariboisière. *Crédits photo : AFP*

Neuronavigation

- Le cerveau n'est pas uniforme : il comprend des zones dites **éloquentes**, très sensibles. Un *processus pathologique* ou une infime *lésion chirurgicale* y entraînent des *symptômes très invalidants.*
- Les **lésions profondes** ou **celles qui bordent une zone éloquente** demeurent le **défi majeur** pour un neurochirurgien.
- **Objectif du neurochirurgien** : choisir le **trajet le plus court** en traversant des **tissus non-éloquents.**

Neuronavigation - GPS

- *Neuronavigation = outil analogue au GPS.*
- **Repères** : sur la tête du patient, anatomiques ou « pastilles » collées sur la peau.
- **A l'IRM**, les repères seront visibles, « filmés ».
- Les tranches enregistrées du cerveau sont transférées vers un PC de la salle d'opération.
- Lorsque le patient est sur la table d'opération, on procédera à un « **calage** » avec l'aide d'une caméra infrarouge pour faire superposer les repères du patient (réel) et ceux sur l'IRM (virtuels). Localisation en GPS
- **L'image IRM coïncide alors avec le cerveau**. On peut « jouer » avec l'image virtuelle : rotation des axes, zooms…

Planification préopératoire.

- Avant toute opération, le **chirurgien va optimiser sa stratégie** : localisation d'une lésion, définition de ses limites, voie d'approche, évitement des zones éloquentes, protection des artères et veines. De plus, il va définir les limites d'une *craniotomie*.
- *Orientation dans le cerveau, signalement de dangers…*
- Applications en neurochirurgie : Tumeurs, Biopsies, Electrodes et Parkinson, Drains…
- *Encore plus loin* : danger du changement de forme du cerveau dans certains cas. IRM en temps réel…

- http://files.chuv.ch/internet-docs/nch/nch_neuronavigation.pdf

Interface Cerveau Machine

Les diverses étapes

Interface cerveau-machine

Phase 1 : étalonnage

On demande au patient de simuler mentalement une action. Il en résulte une *émission de signaux électriques et magnétiques.*

→ **Le système « enregistre » des signaux pendant cette phase.**

- Mesures des signaux.
- Elimination du « bruit ».
- Classification par extraction des caractéristiques essentielles.
- Stockage « *action simulée-signal* » dans une **base de données**

- **Les signaux proviennent de l'activité électrique des neurones**. Les techniques non invasives consistent à placer les électrodes sur le cuir chevelu.
- **« Nettoyage des signaux » par élimination du bruit de fond**. Il y a une marge plus ou moins grande d'incertitude dans leur émission et leur interprétation, bruit qui peut être dû, par exemple, à des activités mentales involontaires du sujet ou à la superposition des champs électriques de larges populations de cellules. Des techniques de **filtrage** spatial et temporel sont nécessaires en prétraitement du signal (électronique, mathématiques).

- **La classification des données** appelle une extraction d'un signal cohérent et stable depuis les données brutes. Tout ce qui permettra une *identification facile* et sans erreur. *Comme un* ***dictionnaire*** *des mots, faciles à retrouver*.
- **Stockage dans une base de données**

- http://www.inserm.fr/thematiques/technologies-pour-la-sante/dossiers-d-information/interface-cerveau-machine

Interface cerveau-machine

Phase 2 : robotique ou exécution

Nous arrivons à la phase robotique avec ses 3 grandes étapes :

1. Capteur d'informations pertinentes.
2. Analyseur et prise de décision
3. Actionneur : actions diverses en fonction de l'analyse des signaux reçus par le capteur.

→ 4. Rétroaction possible.

Le patient va penser à une action. Le système **capte** les signaux émis par son cerveau. Il les **analyse** et les compare à ceux qui figurent dans la base de données. Il **identifie** alors l'action imaginée par le patient pendant l'étalonnage. Le système va émettre une **commande** afin qu'un **système mécanique** (un robot, un clavier sur écran, un fauteuil roulant, une prothèse...) **exécute l'action identifiée.**

Il peut y avoir un « retour » d'information (une rétroaction) au patient afin de consolider le mode de fonctionnement.

Un exploit : commander par la pensée (I)

- Des chercheurs de l'Université de **Pittsburgh** (école de médecine – Pennsylvanie, 2012) ont permis à *une femme paralysée à partir du cou par une maladie neurologique dégénérative* de ramasser et de réorienter des objets et même de se nourrir **en contrôlant un bras robotisé avec ses pensées.** Un degré de nuance et de fluidité encore jamais vu.
- **Taux de 91,6 % de réussite** dans ses « actions ».

Un exploit : commander par la pensée (II)

- Il ne lui a fallu que **deux semaines pour prendre le contrôle total de la main artificielle** (même si elle était en mesure de la déplacer après seulement deux jours)
- Sa vitesse augmente avec la pratique, ce qui suggère que les algorithmes et le cerveau humain sont capables d'améliorer les performances de ce type d'interface cerveau-machine au fil du temps.
- **http://www.gurumed.org/2012/12/19/la-meilleur-prothse-linterface-cerveau-machine-pas-de-bras-mais-du-chocolat/** **Depuis 2012 de gros progrès.**
- **Voir espaces de temps : 1:35-1:55 et 6:26-8:00**

Bras bioniques : réinnervation ciblée des muscles.
Oxandre et Priscille Deborah

Oxandre :
https://www.instagram.com/p/Bv_3MwrnpxX/?hl=fr
https://france3-regions.francetvinfo.fr/hauts-de-france/pas-calais/saint-omer/video-main-bionique-realisee-impression-3d-garcon-12-ans-premiere-france-1630976.html?fbclid=IwAR1RbRA801VVlhhEgOG-P3riHr3YiTEmVlhNI9LBQj2r32ua7YXG305O-Po

Priscille :
https://handi-a-vie.fr/tag/bionique/
https://www.ouest-france.fr/leditiondusoir/data/54462/reader/reader.html#!preferred/1/package/54462/pub/79133/page/11
130.000 euros.

France 2, 04/10/2019, 20:32

Grenoble : un homme tétraplégique parvient à marcher grâce à un exosquelette.

Une équipe de scientifiques français a permis à un jeune homme paralysé de parcourir plus d'une centaine de mètres à l'aide d'un exosquelette. Le dispositif se met en mouvement grâce à la pensée de Thibaut…

- **On connaît les exosquelettes qui aident les patients paralysés à réaliser des mouvements grâce à des harnais robotisés. On connaît aussi les bras bioniques : reliés au cerveau par des électrodes, ils permettent d'effectuer des gestes pour les personnes tétraplégiques. Aujourd'hui, les chercheurs français viennent de coupler ces technologies afin d'aider un jeune tétraplégique à remarcher grâce à la pensée…**
- **Son cerveau envoie l'ordre de se déplacer grâce à un exosquelette qui réalise le mouvement. Un exploit pour ce Lyonnais de 28 ans, paralysé des quatre membres après une chute. Il y a deux ans, des chercheurs français ont implanté 64 électrodes de quelques centimètres carrés à la surface du cerveau de ce patient. Elle capte les signaux cérébraux et les retranscrit pour commander la machine. Un succès pour les médecins après des années de recherche.**
- https://www.francetvinfo.fr/sante/decouverte-scientifique/grenoble-un-homme-tetraplegique-parvient-a-marcher-grace-a-un-exosquelette_3644937.html

Imagerie cérébrale et pédagogie

- **Des retombées sur l'acquisition et la mémorisation des connaissances, des applications à la pédagogie :**
- Apprenez à apprendre, Stanislas Dehaene. Un modèle de clarté et de simplicité !
  https://www.youtube.com/watch?v=MMvzA5SfBGk&feature=youtu.be

- « Apprendre ! » et améliorer les capacités du cerveau, La Grande Librairie, Stanislas Dehaene
- https://www.youtube.com/watch?v=M-5FNwvjcxk

- **Apprendre,** Stanislas Dehaene, Odile Jacob, 2018
- **La plus belle histoire de l'intelligence**, Stanislas Dehaene, Yann Le Cun, Jacques Girardon, Robert Laffont, 2018.
- **Demain, l'école**, Frédéric Castagnède, Arte Boutique, 2018.

Intelligence artificielle et Médecine
Un exemple

Dépistage du cancer du sein

- **La mammographie est une modalité de l'image médicale mettant en œuvre la radiographie des seins. Elle permet d'obtenir des images des tissus intérieurs et ainsi de détecter d'éventuelles anomalies, notamment des nodules, qui peuvent être signes d'un cancer du sein. Wikipédia**

- **Dans le cadre du dépistage du cancer du sein, deux radiologues experts examinent les clichés.**

- **Le cancer du sein est la première cause de mortalité (par cancer) chez les femmes. De nombreuses recherches sur le dépistage du cancer du sein ont lieu actuellement. Les principaux résultats viennent de l'exploitation de l'Intelligence Artificielle, il s'agit de mathématiques à 100 %. En Mai 2019, une équipe de chercheurs du MIT a publié des résultats extrêmement encourageants : ils peuvent prédire l'apparition d'un cancer du sein, quatre ans avant les radiologues, experts en imagerie médicale !**

- **90.000 images examinées par le logiciel d'apprentissage profond.**

- **« Un enjeu décisif puisque, pour mémoire, la survie à cinq ans est de 26% pour un cancer du sein métastasé contre 99% si la tumeur est détectée précocement »**

→ **Résultats analogues pour les cancers de la peau !**

- https://www.sciencesetavenir.fr/sante/cancer/une-intelligence-artificielle-pour-predire-le-cancer-du-sein_134056

Prédiction et sérénité !

- La **prédiction précoce** du cancer du sein est très importante, mais, supposons que l'on annonce à une femme que dans 4 ou 5 ans, elle risque d'avoir un cancer du sein. Que va-t-il se passer ?
- La prédiction précoce exige :

  - Un traitement : **soigner l'angoisse de la patiente**.

  - Lancer des recherches pour contrôler, compléter, améliorer la **qualité de la prédiction** : **Mammographies (danger : intrusif, rayons X), IRM, Echographies, Micro-ondes (et I.A.), des prises de sang pour la gestion de certains anticorps créés par les tissus des seins.**

Bibliographie :

- https://www.pourquoidocteur.fr/Articles/Question-d-actu/31124-Cancer-sein-l-IA-ameliorer-diagnostic
- https://www.sante-sur-le-net.com/intelligence-artificielle-cancer-sein/
- https://www.journaldugeek.com/2020/02/27/dispositif-intelligence-artificielle-cancer-sein/
- https://www.sciencesetavenir.fr/sante/cancer/une-intelligence-artificielle-pour-predire-le-cancer-du-sein_134056

Conclusion

Bouleversement de la médecine

- « En 1700, il fallait qu'une femme ait **7 ou 8 enfants** pour qu'en survivent **2 ou 3 (sécurité sociale, retraite)**. Aujourd'hui, elle n'a besoin que d'en avoir 2 ou 3, car **les bébés ne meurent presque plus (!)**
- **La médecine a révolutionné le monde davantage que l'agriculture ou l'industrie.** » (J.C .Barreau, G. Bigot : Toute l'histoire du monde (Le livre de Poche)).
- Après **Pasteur** et la **microbiologie** (1822-1895), après **Semmelweis** et **l'hygiène** (1818-1865)… **la médecine est en train de vivre une révolution.**

- Il faut des générations (3-4) pour que s'accomplisse la « **transition démographique** ».
- **Avec l'exploitation intensive de la science** (physique, biologie, chimie, mécanique, théorie du signal, informatique et mathématiques…), **la médecine vit une nouvelle révolution** qui bouleverse notre société. *Elle en est à ses débuts* !
- Maîtrise de la **génétique**, exploitation des **signaux** émis par le corps humain, **appareils connectés**, **bases de données** colossales, **I.A.,** évolution de l'enseignement… les développements seront nombreux.
- **Une inconnue : les financements !**

MERCI