

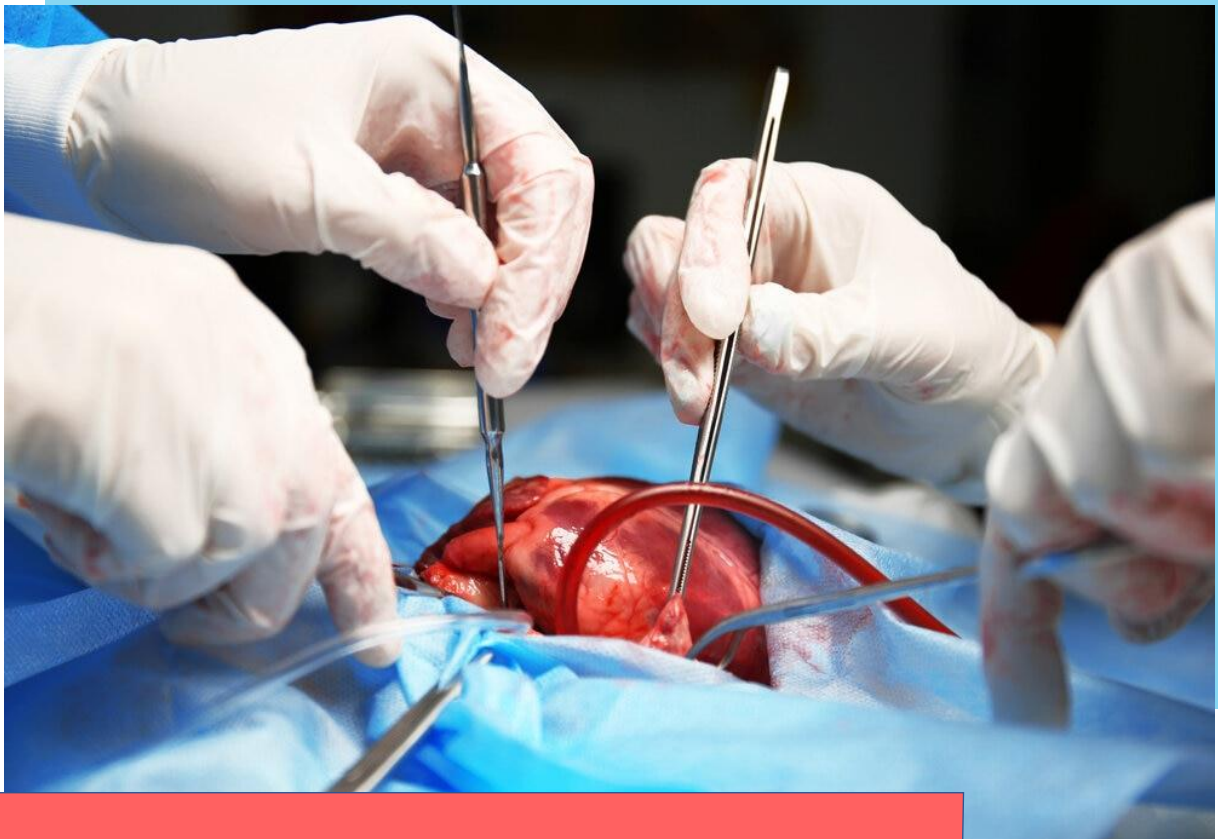
**Théo BÉRENGER**

**Jérémy LE MELLECHENRIQUES**

**Ludovic MICHEL**

**1G2**

## **La transplantation cardiaque**



**Comment la transplantation cardiaque  
est-elle possible ?**

1	Introduction.....	3
2	Le cœur .....	4
2.1	La circulation sanguine .....	4
2.2	La vascularisation artérielle du cœur.....	5
2.3	La morphologie externe et interne .....	6
2.4	Dissection .....	7
3	La transplantation.....	8
3.1	Immunologie et compatibilité .....	8
3.2	Traitement immunosuppresseur .....	10
4	La transplantation cardiaque .....	12
4.1	L'opération.....	12
4.2	Post-opération .....	14
5	Conclusion et ouverture .....	15
6	Bibliographie .....	16
7	Annexe.....	17

## 1 Introduction

Le 3 décembre 1972 a été réalisée la première transplantation cardiaque par le professeur Christiaan Barnard. La transplantation cardiaque est une intervention chirurgicale consistant à remplacer le cœur malade d'un patient par un cœur sain d'un donneur. La transplantation est le prélèvement d'un organe d'un donneur et implantation de cet organe à un receveur avec la vascularisation des tissus alors qu'une greffe n'est pas réalisée avec anastomose (connexions de vaisseaux sanguins) chirurgicale des vaisseaux sanguins. Un patient souffrant d'une insuffisance cardiaque sévère ou terminale effectuera une panoplie de test pour être sur la liste d'attente pour recevoir une greffe d'un cœur d'un donneur décédé d'une mort cérébrale (encéphalique). Le cœur est un organe indispensable au fonctionnement du corps. Comme à l'image d'une pompe par ses contractions il alimente le corps en dioxygène et les nutriments pour l'ensemble de notre organisme. Le cœur sert aussi à éliminer les déchets métaboliques et le dioxyde de carbone. La transplantation cardiaque utilise la machine de la circulation extracorporelle (C.E.C) qui permet de remplacer la fonction du cœur pendant l'opération car le cœur du receveur n'est plus en activité (il va être remplacé). Cette pratique médicale de la greffe repose essentiellement sur l'immunologie dont l'histocompatibilité avec le système immunitaire par le système HLA (Human Leukocyte Antigen). La transplantation implique donc l'utilisation de médicaments dont le traitement immunosuppresseur qui permet d'éviter les rejets de greffons.

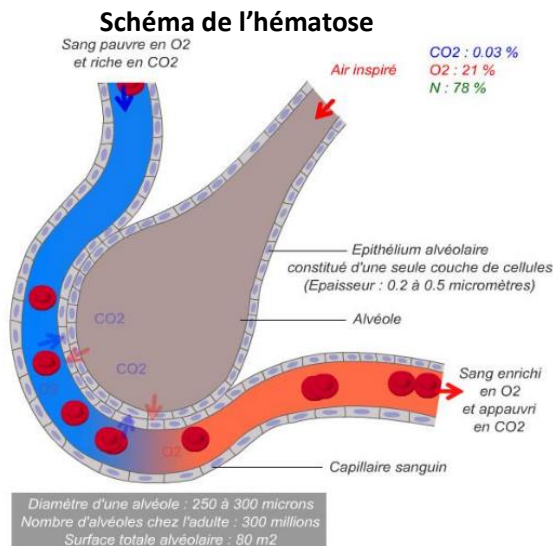
Comment la transplantation cardiaque est-elle possible ?

Après avoir analysé le cœur, nous verrons la transplantation. Enfin nous étudierons la transplantation cardiaque.

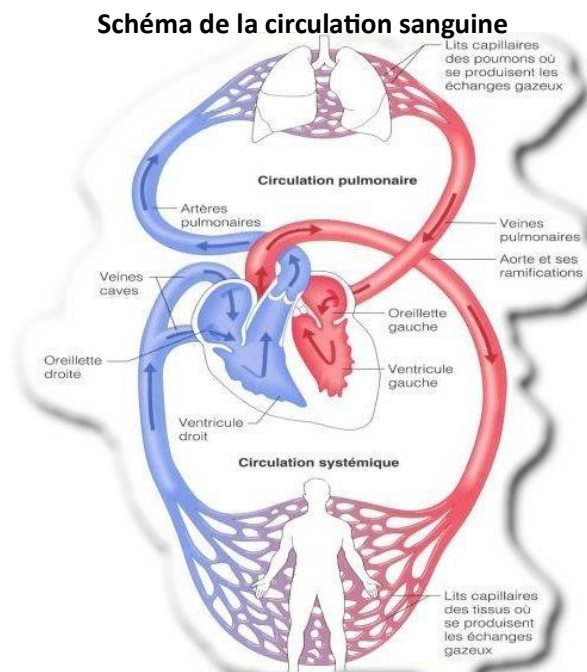


### 2.1 La circulation sanguine

Le cœur permet d'expulser le sang dans l'ensemble du corps pour alimenter les organes avec des nutriments et du dioxygène. Nos organes expulsent des déchets dans le sang notamment du dioxyde de carbone. Le cœur transfère ce sang riche en dioxyde de carbone et le dirige aux poumons. Les poumons échangent ce dioxyde de carbone en dioxygène (celui de la respiration) afin de pouvoir alimenter les organes : c'est l'hématose.



Il existe 2 circulations sanguines. Avec la grande circulation (la circulation systémique) le cœur apporte le sang riche en dioxygène à l'ensemble du corps et le reçoit ensuite. La petite circulation (circulation pulmonaire) permet au cœur de recevoir le sang riche en dioxyde de carbone et de l'apporter aux poumons pour l'échanger en dioxygène.

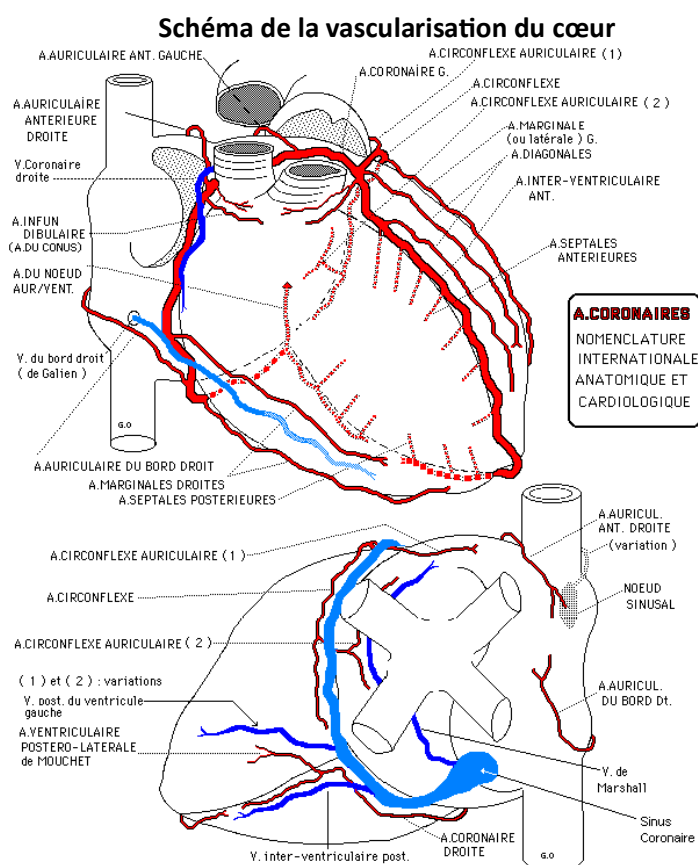


Le cœur est divisé en deux parties : gauche et droite. Le côté droit reçoit le sang riche en dioxyde de carbone pour l'envoyer aux poumons. Le côté gauche reçoit le sang riche en dioxygène pour l'envoyer à l'ensemble du corps (sauf les poumons). Le sang est transporté par des vaisseaux sanguins : les veines et les artères. Les artères partent du cœur et les veines reviennent au cœur. Cependant, il existe un troisième type de vaisseaux sanguins : les capillaires (pour passer d'une veine à une artère). Ils font l'échange de nutriments contre des déchets dans les organes.

Voyons le cycle complet de la circulation sanguine. Le ventricule gauche expulse le sang oxygéné vers l'ensemble du corps par l'aorte. Elle va se diviser en différentes artères qui se divisent elles même en plus petites artères jusqu'à l'organe choisi. Ces dernières se divisent en artérioles puis en capillaires pour échanger du dioxygène contre du dioxyde de carbone. Après les échanges gazeux, les capillaires se rejoignent et grossissent pour former des veinules et puis des veines afin de rejoindre le cœur. Au cœur, les veines caves supérieures et inférieures récoltent le sang riche en dioxyde de carbone pour le donner à l'atrium (oreillette) droit puis au ventricule droit qui rejette ensuite le sang vers les poumons par le tronc pulmonaire qui contient les 2 artères pulmonaires gauches et droites. Les artères pulmonaires deviennent des artérioles puis des capillaires pour effectuer les échanges gazeux dans le poumon avec les alvéoles pulmonaires pour effectuer l'hématose. Ensuite, ils deviennent des veinules qui se rejoignent en 4 veines pulmonaires qui reviennent au cœur gauche en remplissant l'atrium gauche puis le ventricule gauche qui lui éjecte le sang oxygéné vers l'ensemble du corps par l'aorte. Le cycle est bouclé. Ce cycle se répète plus de 100 000 fois par jour avec 60 à 80 battements par minutes : c'est la fréquence cardiaque.

## 2.2 La vascularisation artérielle du cœur

Le cœur pour fonctionner, comme tous les autres organes, a besoin d'être vascularisé. La vascularisation du cœur est assurée par les artères coronaires. Il existe 2 artères coronaires : la coronaire droite et gauche qui naissent à la base de la partie initiale et antérieure de l'aorte et se ramifient pour vasculariser les différentes parties du cœur.



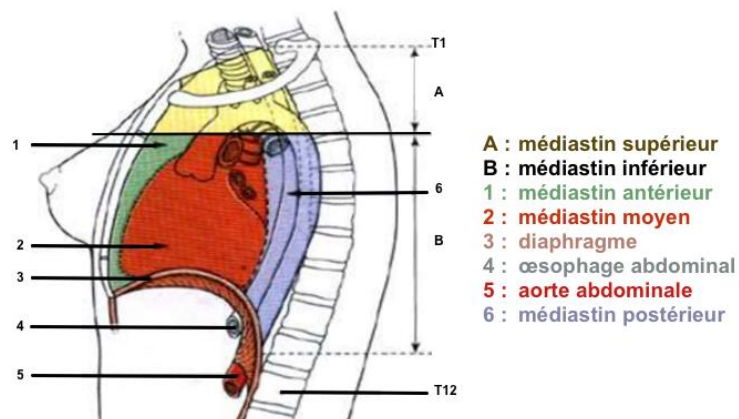
La coronaire droite naît de la base de l'aorte du côté antérieur droit, s'achemine dans le sillon atrio-ventriculaire droit puis donne un rameau nommé l'artère marginale droite et elle continue son chemin dans le sillon atrio-ventriculaire droit jusqu'à la croix des sillons où se croise l'atrio-ventriculaire droit, gauche et interventriculaire inférieur. Enfin, elle change de direction et longe le sillon interventriculaire inférieur et devient l'artère interventriculaire inférieure.

La coronaire gauche naît de la base de l'aorte du côté gauche, s'achemine à l'arrière du tronc pulmonaire puis se divise pour donner l'artère circonflexe (qui fait la circonférence du cœur en cheminant dans le sillon atrio-ventriculaire gauche) et l'artère interventriculaire antérieure.

### 2.3 La morphologie externe et interne

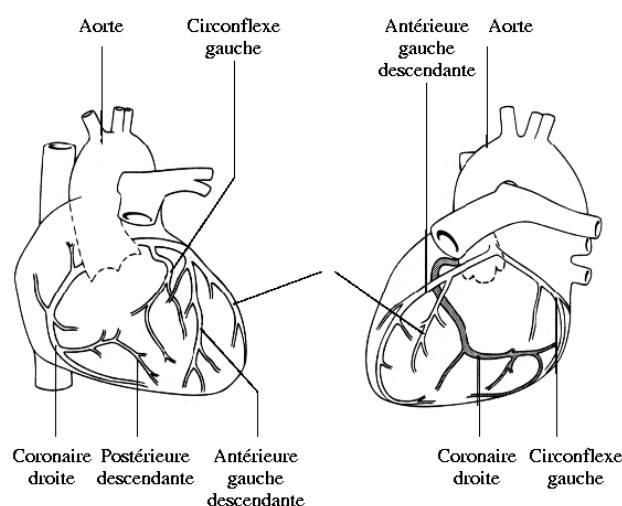
Le cœur a une forme de pyramide triangulaire et pèse environ 300 grammes. Il est situé dans le médiastin : une zone entre les poumons divisée en médiastin antérieure et postérieure. Le cœur est situé dans le médiastin inférieur du médiastin antérieur sur le diaphragme qui sépare le thorax et l'abdomen.

#### Division du médiastin



Le cœur est couché avec son sommet l'apex cardiaque qui se situe vers le mamelon gauche. Sur sa base il y a les atriums. La base du cœur se situe en arrière, en haut et vers la droite. Le grand axe du cœur se situe vers le bas, en avant et vers la gauche. On retrouve 3 faces : la base, la face sterno-costale (face droite) en contact avec le sternum et les côtes, la face pulmonaire (face gauche) en contact avec le poumon gauche et la face diaphragmatique (face inférieure) sur le diaphragme.

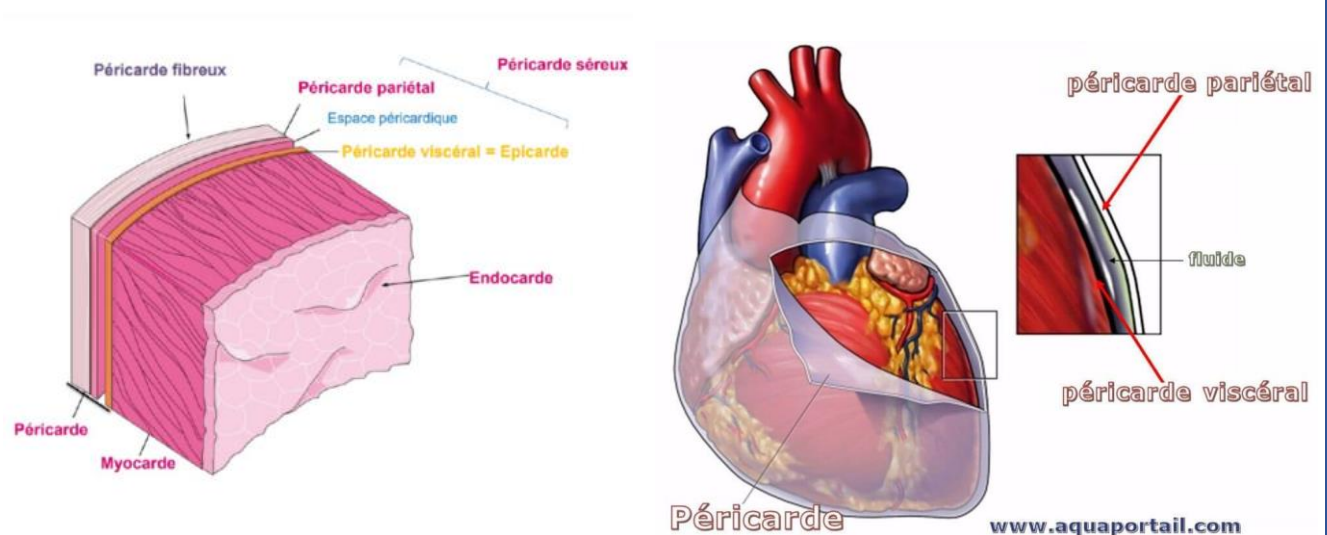
#### Schéma de la vue antérieure et latérale gauche du cœur



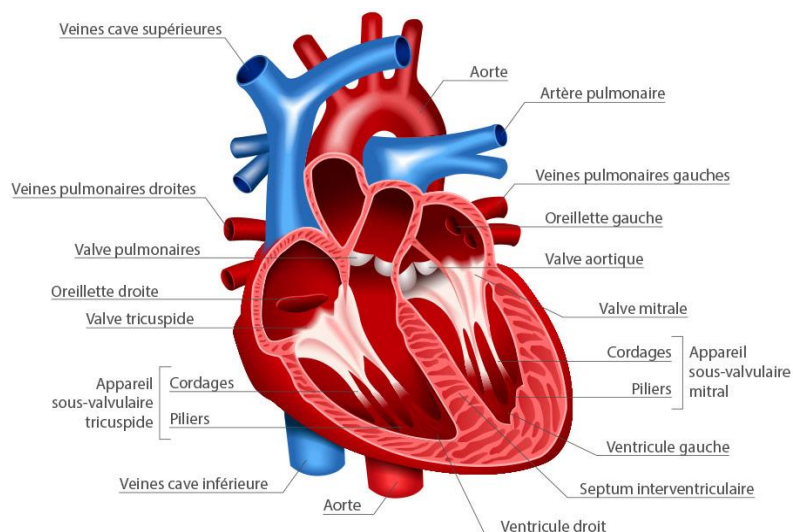


Le cœur est constitué de différentes couches. L'endocarde est la couche en contact avec le sang, elle empêche le sang de se coaguler et permet donc sa fluidité. Le myocarde est une couche épaisse et musculaire constitué de 2 types de cellules : les cardiomyocytes qui permettent la contraction cardiaque et les cellules cardionectrices qui sont un tissu nerveux permettant la contraction automatique du cœur. Ensuite, une couche de graisse recouvre le myocarde dans laquelle vont passer certains vaisseaux pour être alimenté. Enfin, l'ensemble du cœur est protégé par une enveloppe qui lui permet de battre sans frottements contre les autres organes autour. Cet enveloppe nommée « le sac péricardique » est constitué de 2 feuillets : le feuillet viscéral (épicaarde) et le feuillet pariétal. Entre ces 2 feuillets il y a le liquide péricardique.

### Schémas de la morphologie interne et externe du cœur



### Schéma du cœur



## 2.4 Dissection

Une dissection d'un cœur de lapin a été réalisée afin d'étudier plus profondément le cœur et son anatomie. Le cœur de lapin est semblable à celui de l'Homme hormis sa taille différente. La dissection a été filmée et photographiée. Les images sont en annexe et la vidéo sur l'ENT.

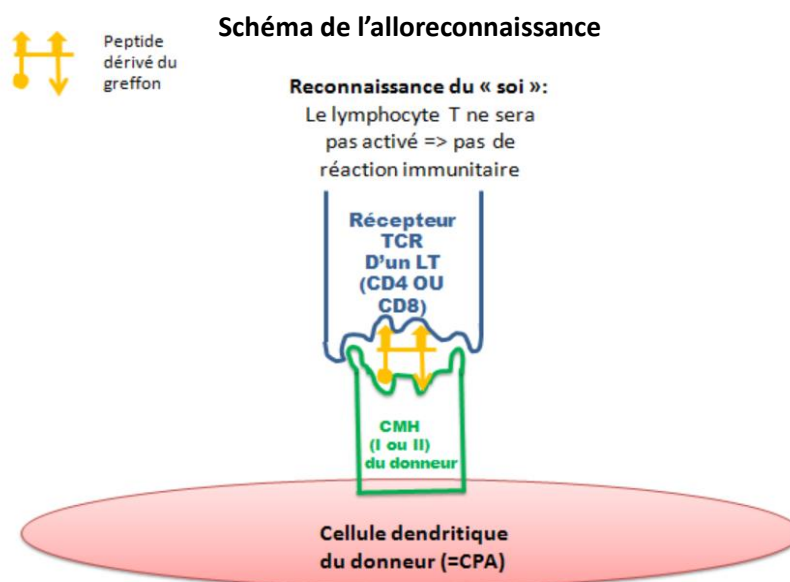
### 3.1 Immunologie et compatibilité

Le CMH (Majeur complexe d'histocompatibilité) sont des marqueurs (protéines) de compatibilité tissulaire qui constituent la carte d'identité d'un être vivant. Chaque être vivant possède une carte d'identité différente car il existe des centaines ou voir des milliers d'allèles de ces marqueurs. Les gènes du système HLA (Human Leukocyte Antigen) se trouve sur le chromosome 6. Notre système immunitaire est capable de reconnaître ces marqueurs et de l'intégrer comme appartenant au « soi » c'est-à-dire à notre organisme et de ne pas les reconnaître comme au « soi » c'est-à-dire étranger à notre organisme (« le non soi ») et d'entraîner une réaction immunitaire. C'est ce qui se passe lors d'une greffe. On ne peut pas avoir les mêmes protéines initiales à la surface de nos cellules car il y a beaucoup trop d'allèles différents des gènes codant pour ces protéines, le système immunitaire les détruit donc : c'est le rejet du greffon. Il existe une solution pour pallier ce problème : trouver des personnes histocompatibles qui possèdent des gènes communs au système HLA du receveur. Mais cela ne suffit pas, la compatibilité sanguine est aussi nécessaire et il faut prendre un traitement immunosuppresseur à vie.

Le CMH permet à la cellule d'exposer des peptides (fragments de protéines). Des cellules spécialisées du système immunitaire les lymphocytes T dont les LTCD8 veillent à la protection de notre organisme. Ils ont un récepteur (le TCR) qui leur permettent d'analyser le CMH de l'organisme et le peptide exposé à la cellule. Il reconnaît à la fois le CMH (qui dit le soi et le non soi) et le peptide à l'intérieur pour savoir s'il est compatible avec son TCR ou pas.

La plupart du temps c'est un peptide du soi issu de la dégradation de protéines normales (par le protéasome). Le LTCD8 l'ignore alors.

Dans le cas d'une cellule greffée (mais aussi infectée ou mutée dans un autre cas) les lymphocytes TCD8 (plus précisément les LT cytotoxiques qui sont les LTCD8 différenciés en cytotoxiques par des médiateurs chimiques « les interleukines » produites par les lymphocytes T4) par leurs récepteurs complémentaires et spécifiques vont déclencher une réponse adaptée du système immunitaire afin de la détruire (selon deux modes d'action : par lyse et apoptose) car les peptides présentés n'appartiennent pas au répertoire de peptides générés par l'individu.





Les gènes du CMH sont organisés en régions codant pour trois classes de molécules (CMH de classe 1, classe 2 et CMH de classe 3). On s'intéresse uniquement au CMH de classe 1 et 2 pour leur intérêt à la greffe.

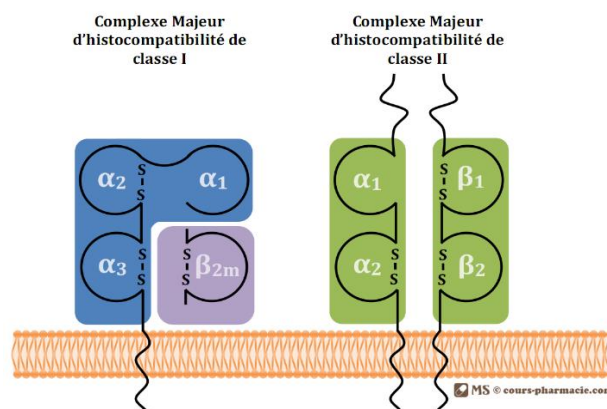
Les gènes de CMH de classe 1 codent pour des glycoprotéines exprimées à la surface de nos cellules nucléées (avec un noyau). Leur fonction principale est la présentation d'antigènes peptidiques (peptides) aux lymphocytes T8.

Les molécules de CMH de classe 1 sont composées de 2 chaînes. Une chaîne lourde  $\alpha$  liée à la chaîne  $\beta$ -2-microglobuline (codée par un gène du chromosome 15) de manière non-covalente. La chaîne  $\alpha$  est organisée en trois domaines :  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  et  $\alpha_3$  (les domaines  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  forment un sillon de liaison peptidique où se trouve un peptide). Il existe 3 gènes du CMH de classe 1 : HLA-A, HLA-B et HLA-C codant pour trois types de molécules au même nom.

Les gènes du CMH de classe 2 codent pour des glycoprotéines exprimées principalement sur les CPA (cellules présentatrice d'antigènes). Elles présentent principalement les antigènes peptidiques exogènes aux cellules LTCD4 qui entraîneront une réponse adaptée.

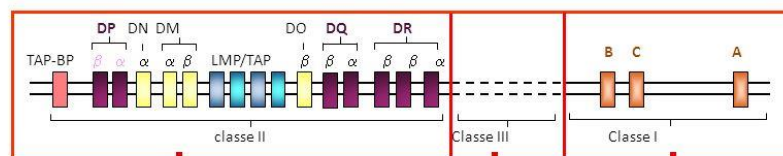
Les molécules de CMH de classe 2 sont composées de 2 chaînes. Une chaîne  $\alpha$  et  $\beta$  qui créent un site de liaison peptidique. Il existe 3 locus : HLA-DR, HLA-DQ et HLA-DP. Dans ces locus il y a des gènes A et B qui codent les chaînes  $\alpha$  et  $\beta$ .

### Schéma du CMH de classe 1 et 2



### Organisation des gènes et Fonctions des molécules CMH de classe I et CMH de classe II

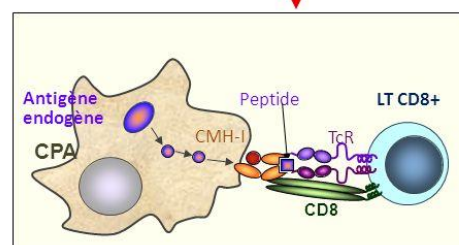
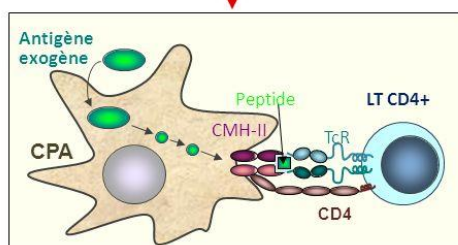
#### Organisation des gènes du locus CMH



Présentation de peptides aux lymphocytes T CD4




























Autre fonctions immunes et non immunes

Présentation de peptides aux lymphocytes T CD8



Le groupe sanguin doit être identique ou compatible. Le test de compatibilité croisé indique si le receveur possède des anticorps dirigés contre le système ABO (groupe sanguin) du donneur.

**Tableau de la compatibilité sanguine**

		GROUPE SANGUIN DU DONNEUR							
		O-	O+	B-	B+	A-	A+	AB-	AB+
GROUPE SANGUIN DU RECEVEUR	AB+								
	AB-								
	A+								
	A-								
	B+								
	B-								
	O+								
	O-								

Ici on peut voir les 8 différents groupes sanguins existants et leur compatibilité avec les autres cas du donneur. Les donneurs du groupe O- sont compatibles avec tous les receveurs. Les O+ sont compatibles avec les AB+ et AB- receveurs. Les B- sont compatibles avec les AB+ et AB- receveurs. Les B+ sont uniquement compatibles avec les AB+ receveurs. Les A+ sont compatibles avec les AB+, AB-, A+ et A- receveurs. Les AB- sont compatibles avec les AB+ et AB- receveurs. Enfin, les AB+ sont uniquement compatibles avec les AB+ receveurs.

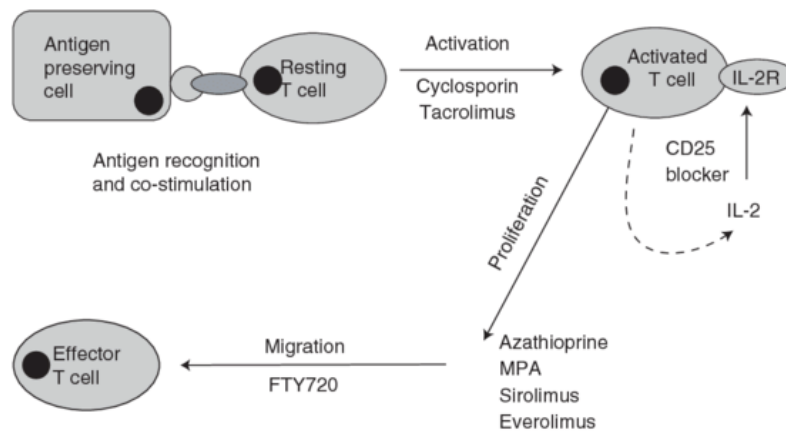
### 3.2 Traitement immunosuppresseur

Malgré les nombreux tests réalisés avant l'opération il peut arriver qu'il y ait un rejet du greffon, de plus beaucoup de transplantations cardiaques se font dans l'urgence et les différents tests n'ont pas le temps d'être réalisés et le polymorphisme du système HLA augmente la possibilité d'un rejet. C'est pourquoi le traitement immunosuppresseur est effectué après les greffes. C'est une association de plusieurs molécules agissant sur l'alloreconnaissance et donc sur le système immunitaire afin de le rendre moins efficace et d'éviter un rejet. Comme le système immunitaire est affaibli des maladies ou infections peuvent parvenir plus souvent, c'est pourquoi les doses sont très contrôlées.

Les inhibiteurs de la calcineurine comme la cyclosporine le plus souvent, servent à empêcher la prolifération des lymphocytes T responsables du rejet. Mais ce médicament étant néphrotoxique, il amène à des complications comme la vasoconstriction des artérioles afférentes où une certaine pression dans les artères se manifeste. Il existe une série d'autres médicaments selon le cas et la gravité des rejets, comme les corticostéroïdes (qui empêchent les globules blancs d'attaquer le tissu du patient).

On peut voir l'action immunosuppressive des médicaments comme la cyclosporine ou l'azathioprine. Les lymphocytes T avec les antigènes provoquent un rejet (alloreconnaissance), c'est pourquoi dans un premier temps la cyclosporine notamment est utilisée mais fait face aux IL2 qui provoquent la prolifération des lymphocytes T. Ensuite avec l'utilisation d'azathioprine ou encore de MPA, la prolifération est arrêtée et les cellules T ne sont plus activées mais effectrices, donc elles n'attaquent plus le greffon.

### Schéma du mécanisme d'un traitement immunosuppresse



## 4 La transplantation cardiaque

### 4.1 L'opération

Avant toute intervention chirurgicale, une visite préopératoire est obligatoire. Cette visite a pour but de faire différents examens afin de savoir si le patient est apte à subir l'intervention prévue. Dans le cas de la transplantation d'un cœur, de nombreux bilans sont nécessaires avant que le patient bénéficie de la greffe :

- Un cathétérisme cardiaque droit (vérification de la pression du côté droit du cœur)
- Un bilan pulmonaire : radiographie, épreuves fonctionnelles respiratoires, scintigraphie pulmonaire
- Un bilan artériel : doppler artériel cervical et des membres inférieurs, artériographie digestive
- Un bilan gastro-entérologique et rénal : échographie abdominale, fibroscopie oeso-gastro-duodénale, coloscopie
- Un bilan urologique et gynécologique
- Un bilan radiologique osseux, ORL et stomatologique
- Un bilan biologique et immunologique (détermination du groupe HLA)
- Un bilan bactériologique et viral

En plus de ces nombreux bilans et examens, le patient doit faire un bilan afin d'adapter le greffon. Pour ce faire, il doit renseigner des informations telles que : l'identité du groupe sanguin, une adéquation poids/taille, âge voisin, passé infectieux viral. Une fois tous ces examens effectués, le patient doit rester dans l'attente d'un greffon disponible. Les patients sont inscrits sur une liste d'attente nationale, classée selon la priorité des différents patients.

Lorsqu'un cœur est disponible, ce dernier est prélevé sur le donneur. Les donneurs de cœur sont très généralement des personnes accidentées de la route, et souvent des motards. Le cœur est arrêté, prélevé du donneur puis placé dans un liquide à 4°C. Cette suite d'action est faite afin de prévenir au maximum les lésions sur le greffon. La réussite de la greffe dépend du temps d'acheminement du greffon, plus elle est rapide et plus la transplantation a des chances de réussite. Un délai de 4 heures entre le prélèvement et la greffe est préférable.

Les donneurs doivent être décédés d'une mort cérébrale (encéphalique DDME) pour une transplantation cardiaque. Avec une mort encéphalique le cœur, les poumons, les reins, le foie, le pancréas et l'intestin grêle peuvent être prélevés. Des bilans sont également réalisés chez les donneurs décédés afin d'évaluer la fonction de l'organe et de dépister des pathologies infectieuses (âge, sexe, IMC, circonstance du décès, sérologies, groupe sanguin, système HLA, bilan de l'organe en question).

Une fois que le greffon est arrivé, l'opération peut commencer. Tout d'abord, avant de partir pour le bloc opératoire, le patient doit signer un formulaire de consentement, sinon l'opération ne peut pas

avoir lieu. Une fois arrivé au bloc opératoire, l'opération peut commencer. La transplantation est une opération très lourde et qui dure entre 4h et 8h, le patient subi donc une anesthésie générale. L'opération commence une fois le patient endormit.

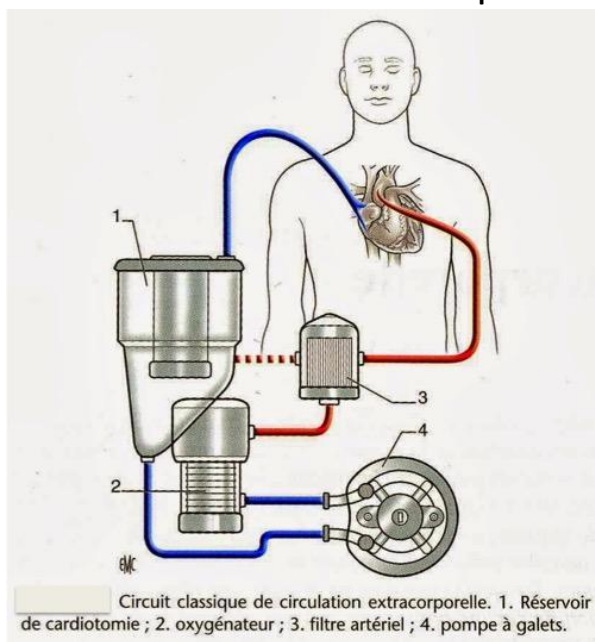
La première étape de l'intervention consiste à atteindre le cœur. Pour ce faire, le chirurgien pratique incision du thorax, puis à la découpe du sternum (os plat situé en avant du thorax)

#### Schéma des premières étapes de l'opération



Une fois l'accès au cœur établi, le chirurgien procède à la mise en place de la Circulation Extra-Corporelle (C.E.C). La C.E.C permet grâce à une machine, de propulser le sang oxygéné dans tout le corps, puis de réoxygéner ce sang pour le renvoyer à nouveau. Cette machine prend les fonctions du cœur et des poumons, d'où son autre nom, la machine cœur-poumon. Une canule veineuse est branchée sur l'oreillette droite, la pompe permet de faire circuler le sang dans la machine et le renvoyer dans le corps, l'oxygénateur permet de réoxygéner le sang. Une fois fait, le sang est réintroduit dans le corps par l'aorte, et le cycle recommence.

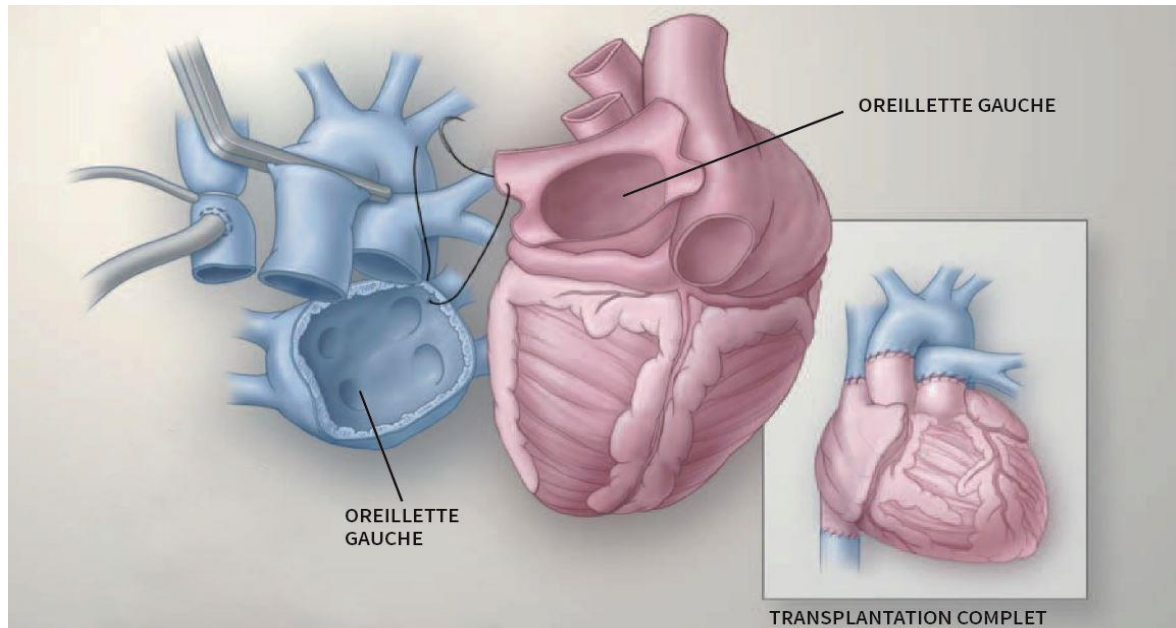
#### Schéma et photo de la circulation extra-corporelle (C.E.C)





Une fois la circulation extra-corporelle mis en place, le cœur du patient est retiré en quasi-totalité, seul une partie de l'oreillette et ses quatre veines pulmonaires sont gardées.

#### Schéma de la technique bicavale (suite de l'opération)



Le cœur du donneur est alors relié aux tissus restants, on dit alors que le greffon est anastomosé. On purge alors les cavités afin de retirer l'air restant et on relance la circulation interne. Des drains thoraciques sont placés autour du cœur afin d'aspirer le sang présent autour du cœur, ce qui peut entraîner des complications post-opératoires. Une fois fait, les incisions sont alors refermées. Il arrive que le cœur ne redémarre pas normalement, dans ce cas, une petite impulsion électrique est effectuée pour relancer le cœur.

#### 4.2 Post-opération

Après l'opération, le patient est gardé pendant quelques jours en soins intensifs pour une surveillance rapprochée. Les drains sont retirés quelques jours plus tard, c'est une action qui nécessite l'intervention d'un chirurgien, bien que cette action soit faite en chambre et non au bloc opératoire. Le patient est alors mis sous gaz hilarant afin d'atténuer la douleur. Au bout de quelques jours en soins intensifs, le patient est transféré dans une chambre classique où il y passera le reste de son hospitalisation. A la suite de son hospitalisation, le patient doit aller dans une maison de réadaptation cardio-vasculaire et de convalescence pour quelques semaines.

Après son opération, le patient doit alors suivre un traitement composé de plusieurs médicaments notamment des immunosuppresseurs, des antibiotiques et des antiviraux. Ce traitement a pour but d'éviter au maximum le rejet de la greffe. Ce traitement est à prendre à vie. Des examens sont régulièrement faits après l'opération afin de prévenir un éventuel rejet. Après cette difficile épreuve aussi bien pour le patient que pour son entourage, la vie de ce dernier reviendra tout à fait à la normale.

Le rejet est le premier risque à la suite d'une transplantation cardiaque. Il peut y avoir un rejet aigu ou chronique qui se stabilise au bout d'un an et cela touche entre 50 et 80% des patients qui sont pour la plupart asymptomatiques. Dans le cas d'un rejet aigu voir hyper-aigu, une insuffisance cardiaque se manifeste avec un choc cardiogénique : c'est-à-dire l'incapacité du cœur à renvoyer un débit sanguin assez important pour alimenter tous les organes.

La vasculopathie de l'allogreffe est une complication mineure mais qui touche 25% des patients. Plusieurs facteurs peuvent amener à cette complication où la lumière des vaisseaux sanguin (le centre à l'intérieur du vaisseau sanguin) est limitée par une athérosclérose qui se caractérise par un dépôt de lipides dans les artères. Pour y remédier on utilise des traitements qui font chuter le taux de lipide.

Le traitement immunosuppresseur et notamment l'utilisation importante de corticostéroïde entraîne une faiblesse du système immunitaire, par conséquent des infections peuvent survenir (chez 10% des patients). Ces infections peuvent également provenir de la chirurgie, et ont pour principal symptôme la fièvre.

Index :

Scintigraphie : examen qui analyse les organes et leurs fonctionnements

Doppler : technique d'imagerie médicale

Artériographie : examen radiologique des artères

Fibroskopie : oeso-gastro-duodénale : examen où l'on regarde l'œsophage

Coloscopie : examen où l'on regarde l'intérieur de l'intestin

Stomatologique : examen où l'on regarde s'il y a une infection au niveau de la bouche

## 5 Conclusion et ouverture

Chaque année, environ 500 personnes bénéficient d'une transplantation cardiaque. Cette opération chirurgicale peut paraître simple en apparence en raison du fonctionnement du cœur et de son anatomie, mais en réalité soumise à de nombreux tests (dont le bilan immunologique de détermination du groupe HLA) et études avant l'autorisation d'une transplantation. Après tous les bilans réalisés, les patients doivent attendre sur la liste d'attente nationale. Cette technique médicale est possible avec la machine de la circulation extra-corporelle (C.E.C). Bien que l'opération se passe bien, la suite reste compliquée : de nombreuses complications post-opératoires posent un problème dont le rejet du greffon. Des traitements existent néanmoins comme le traitement immunosuppresseur afin d'éviter un potentiel rejet.

Nous sommes curieux de connaître les avancées médicales en cardiologie dont la prouesse technique du cœur artificiel. L'implantation de cœur artificiel est une opération très rare en France (une dizaine par an).

## 6 Bibliographie

- <https://blogglophys.wordpress.com/2016/10/11/hématose/>
- <https://cours-galien.fr/wp-content/uploads/2021/09/Rennes-Anatomie.pdf>
- <https://www.anatomie-humaine.com/Vascularisation-du-coeur.html>
- <https://blogglophys.wordpress.com/2017/06/10/mediastin-posterieur/>
- <https://www.sop.inria.fr/epidaure/FormerCollaborations/ultrasons3D/anatomie.html>
- <https://www.cours-pharmacie.com/immunologie/de-limmunité-innée-a-limmunité-adaptative-et-complexe-majeur-d%E2%80%99histocompatibilité.html>
- <https://www.chuv.ch/fr/cardiologie/car-home/patients-et-famille/fonctionnement-du-coeur/>
- [Cours-Medecine.info : Le Cœur](https://www.cours-medecine.info/Le-Coeur)
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK27149/>
- <https://www.urofrance.org/lafu-academie/formation-du-college/referentiel-du-college-urologie-5eme-edition/chapitre-13-transplantation-dorganes/>
- <https://www.msmanuals.com/fr/professional/immunologie-troubles-allergiques/transplantation/revue-g%C3%A9n%C3%A9rale-des-transplantations>
- [https://www.researchgate.net/figure/Mechanism-of-action-of-new-immunosuppressive-drugs-IL-2R-IL-2-receptor-MPA\\_fig1\\_7904241](https://www.researchgate.net/figure/Mechanism-of-action-of-new-immunosuppressive-drugs-IL-2R-IL-2-receptor-MPA_fig1_7904241)
- <https://www.ottawaheart.ca/fr/transplantation-cardiaque/processus-de-transplantation>
- <https://youtu.be/bTpZ7XVBTeo>

Photographies de la dissection du cœur du lapin



<https://we.tl/t-zyUmrRft66> (lien de la vidéo)

On remarque que le cœur est caché par les poumons, ils ont dû être retirés. Il existe un clapet entre les deux côté du cœur en stade fœtus (trou de Botal) essentielle à la circulation sanguine de l'embryon.