

# COMPILÉ RÉPONSES PROFESSEURS PR. JACQUES DARCOURT

## COURS : BIOPHYSIQUE DE LA CIRCULATION

[2019/2020]

### 1) Question :

Dans votre cours vous dites qu'au niveau des capillaires la vitesse de circulation du sang est lente ce qui permet d'accroître les échanges. Or, le Professeur Lefthériotis nous parle du cas de la digestion. Dans ce cas, le débit sanguin augmente et donc la vitesse du sang aussi. Les étudiants ont du mal à savoir ce qu'il faut retenir concernant la vitesse du sang et les échanges. Pouvez-vous préciser ?

#### Réponse :

Je ne sais pas ce que dit mon collègue. Mais cela ne me semble pas incompatible. Il est sûr que la vitesse ralentit au niveau des capillaires par rapport aux autres secteurs. Ensuite que cette vitesse augmente lors de la digestion par rapport au jeûne, c'est probablement ce que veulent dire les physiologistes.

### 2) Question :

Dans votre diapo, vous citez la maladie de Vaquez dans la partie sur l'écoulement dans les gros vaisseaux cependant, plusieurs étudiants ont du mal à comprendre qu'il puisse y avoir des thromboses dans les gros vaisseaux. Pouvez-vous nous confirmer la version du diapo ? La maladie de Vaquez s'applique-t-elle bien aux gros vaisseaux et non aux petits ?

#### Réponse :

La maladie de Vaquez est une illustration de la viscosité du sang pas de l'hémodynamique des petits ou des gros vaisseaux (c'est bien clair dans le cours). Ceci dit, les thromboses vont se produire prioritairement dans les petits vaisseaux bien entendu.

### 3) Question :

Peut-on parler d'écoulement laminaire/turbulent pour les fluides idéaux? Une des hypothèses de l'équation de Bernoulli concernant l'écoulement des fluides idéaux est que cet écoulement est «non tourbillonnaire», ce qui pourrait faire penser que ces régimes d'écoulement s'appliquent également aux fluides idéaux

#### Réponse :

En effet, dans un fluide idéal, les notions d'écoulement laminaire/turbulent ne s'appliquent pas. Vous avez raison, le terme non tourbillonnaire à ce niveau (avant de définir les régimes

d'écoulement) est perturbant. Ce qui compte c'est que dans un fluide réel en écoulement laminaire l'écoulement est modélisé par l'équation de Bernoulli à laquelle s'ajoute un terme de perte de charge.

#### 4) Question :

**Nous avons eu de nombreuses questions par rapport à la mesure de la pression artérielle. Compteriez-vous juste les items suivants :**

- Lorsque la pression dans le brassard est comprise entre la pression artérielle systolique et la pression artérielle diastolique, on entend un bruit intermittent dû à l'écoulement turbulent en **systole**

=> Oui (au début PB relativement élevée)

- Lorsque la pression dans le brassard est comprise entre la pression artérielle systolique et la pression artérielle diastolique, on entend un bruit intermittent dû à l'écoulement turbulent en **diastole**.

=> Oui (ensuite PB plus faible)

[2018/2019]

1) **Question :**

Dans un QCM d'annale, « au niveau d'une sténose : la pression terminale ( $P + \frac{1}{2} \rho v^2$ ) est inchangée »; vous nous avez déjà confirmé que l'item était vrai. Les étudiants se demandent si on peut également dire que la pression d'aval ( $P - \frac{1}{2} \rho v^2$ ) est inchangée au niveau de la sténose ? Le raisonnement est le suivant : on sait qu'au niveau d'une sténose, d'après le principe de continuité du débit, la vitesse augmente et pour compenser l'augmentation de la pression cinétique, la pression statique diminue. En regardant la formule de la pression d'aval, on se demande si cette dernière ne diminuerait pas, pouvez-vous donc nous dire comment varie la pression d'aval au niveau d'une sténose ?

Réponse :

Je n'ai pas en tête cette question d'annale (il faudrait tout l'énoncé). Au niveau d'une sténose, en vertu de la continuité du débit, la vitesse d'écoulement **augmente**. En vertu de Bernoulli et si on considère un fluide idéal en écoulement horizontal,  $P + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{cte}$  donc la pression latérale **diminue**. Mais la pression terminale est **inchangée** car  $P_T = P + \frac{1}{2} \rho v^2$ .

La pression d'aval, par contre, est fortement **diminuée** puisque  $P$  diminue et que  $v$  augmente.

2) **Question :**

Vous avez dit cette année que les veines sont globalement peu élastiques alors que le professeur Leftheriotis dit dans son cours que les veines ont des parois élastiques. Que doivent retenir les P1 ? Par ailleurs ils voudraient savoir si les veines sont plus élastiques que les artères comme le suggère le professeur Leftheriotis ou l'inverse ?

Réponse :

En effet, il y a une contradiction apparente. La raison est probablement la suivante :

- Structurellement il y a **moins d'élastine** dans les parois de veines que dans celles de artères
- Fonctionnellement les veines sont, pourtant, **plus élastiques**, car elles sont aussi plus pauvres en fibres collagènes et musculaires qui « rigidifient » les parois.

Donc, ce qui est le plus important : oui les veines sont plus élastiques que les artères (fonction de réservoir vasculaire). Là aussi on essaiera de ne pas jouer sur cette ambiguïté bien sûr.

3) **Question :**

A propos d'un QCM de fin de cours (2016)

L'effet Doppler :

A/ Utilise les propriétés des ondes radiofréquences

B/ Mesure la différence entre la fréquence de l'onde émise et celle de l'onde reçue

**C/ Permet de mesurer directement les pressions**

**D/ Permet de mesurer directement les vitesses**

**E/ Les propositions A, B, C et D sont fausses.**

**Les réponses sont BD. Les étudiants aimeraient avoir une justification pour les items C et D.**

Réponse :

L'effet Doppler mesure la différence entre les fréquences des ondes émises et reçues. Ceci revient à une mesure directe de vitesse puisque cette différence est directement proportionnelle à la vitesse.

La pression n'est pas mesurée directement car elle nécessite un calcul qui fait intervenir deux mesures (un mètre ruban mesure directement des longueurs et ne mesure pas directement des volumes ...)

[2017/2018]

1) **Question :**

À propos de ce QCM des annales :

La maladie Kawasaki est une affection qui se manifeste chez les jeunes adultes par des dilatations localisées sur les artères coronaires (anévrisme). Au niveau de ces dilatations, par rapport aux segments coronaires adjacents normaux (on considère les forces de frottements négligeables) :

- A) La pression latérale augmente
- B) La pression terminale est inchangée
- C) La vitesse circulatoire diminue
- D) La résistance à l'écoulement diminue

Nous rencontrons un problème au niveau de la réponse D, d'une part nous pensons que l'item est vrai en considérant la formule  $R = 8\eta L / \pi r^4$  avec une augmentation du rayon, mais d'autre part nous aurions tendance à compter cet item faux car dans l'énoncé il est précisé « on considère les forces de frottements négligeables » et il n'y aurait donc pas de résistance à l'écoulement car on se retrouve dans une situation où le fluide est idéal.

Pouvez-vous nous éclaircir sur ce point ?

Réponse :

Vous avez raison, puisque l'on néglige les frottements (fluide idéal), il n'y a pas de résistance à l'écoulement.

1) **Question :**

Le diamètre et le risque de turbulence varient-ils dans le même sens ou en sens inverse ?

D'une part, d'après la formule de Reynolds ils sont proportionnels, mais d'autre part on voit que lors d'une sténose (diminution du diamètre), le flux devient turbulent, ce qui semble se contredire...

Réponse :

En effet si on considère le nombre de Reynolds si  $d$  diminue, le risque de turbulence diminue aussi. Mais ceci est vrai seulement si  $d$  varie seul. En pratique, si  $d$  diminue,  $v$  augmente en vertu de la constance du débit. C'est pourquoi, il faut ré-écrire la formule en introduisant le débit pour se rendre compte que lorsque  $d$  diminue le risque de turbulence augmente. (je crois l'avoir indiqué de manière explicite durant le cours).

2) **Question :**

On sait que quand la viscosité augmente, le risque de turbulence diminue (d'après la formule de Reynolds). On sait aussi que lorsque le sang a un faible débit, les globules rouges forment des rouleaux et la viscosité augmente.

Les étudiants n'arrivent pas à différencier ces deux notions : si les globules rouges sont en rouleaux, le flux sera-t-il laminaire ? Deviendra-t-il turbulent si le débit augmente ? Peut-on appliquer la formule de Reynolds au sang ?

Pourriez-vous éclaircir ce point sur la viscosité appliquée au sang avec un petit récap si possible ?

Réponse :

Le sang est un fluide non newtonien (une valeur unique de viscosité n'a pas de sens). Mais dans des conditions de circulation définies, on peut considérer une viscosité apparente. A débit faible, la viscosité apparente est élevée (formation de rouleaux de GR), elle diminue avec l'augmentation de  $dv/dx$  (effet de rhéofluidification).

La viscosité est un facteur de cohérence de la circulation d'un fluide, donc aussi du sang. Donc à débit faible, l'écoulement du sang est plus probablement laminaire qu'à débit élevé (toutes choses étant égales par ailleurs et malgré le phénomène de rouleaux).

3) **Question :**

Toujours un problème de viscosité : on sait que si la vitesse du sang augmente, la viscosité diminue (rhéofluidification).

Or si on prend la formule de Reynolds  $Re = \rho v d / \eta$  soit  $v = Re \cdot \eta / \rho v$  on voit que  $\eta$  et  $v$  varient dans le même sens.

Je ne sais pas si on peut modifier la formule de Reynolds de cette manière...

Sinon, vous confirmez que la viscosité diminue si la vitesse du sang augmente (à cause des propriétés des globules rouges qui font du sang un fluide non Newtonien) ?

Réponse :

Soit 2 situations : 1 vitesse de circulation du sang faible et donc viscosité apparente du sang élevée. Le nombre de Reynolds sera  $R_1$ .

Situation 2 : vitesse de circulation supérieure et viscosité plus faible (rhéofluidification) (les deux sont liés, mais pas de manière linéaire). Le nombre de Reynolds sera  $R_2$ .

On aura (si  $d$  ne change pas)  $R_2 > R_1$  et donc un risque de turbulence augmenté.

1) Question :

Les étudiants voudraient s'assurer que lors de la mesure de la pression artérielle, la pression artérielle diastolique est sur-estimée, comme vous l'avez dit en cours et comme le montre la formule  $P_{Amin} = P_{A\text{ dia}} + 2\text{mmHg}$ . En effet, nous avons appris qu'elle était sous-estimée et non sur-estimée ?

Réponse :

Oui je confirme [que la pression artérielle diastolique est sur-estimée par la mesure auscultatoire de la pression artérielle]. Il est écrit dans certains livres que cette mesure sous-estime la  $P_{\text{diastolique}}$ , mais c'est illogique puisque le passage en régime laminaire ne peut que précéder le seuil de la  $P_{\text{diastolique}}$ .

2) Question :

Concernant le nombre de Reynolds : nous avons du mal à expliquer aux étudiants ce qu'il se passe lorsque le diamètre d'un vaisseau augmente.

En effet, selon la première formule que vous donnez,  $\mathcal{R} = \rho d v / \eta$ , il semble que si  $d$  augmente,  $\mathcal{R}$  augmente.

Selon la seconde,  $\mathcal{R} = \rho^4 Q / \eta \pi d$ , il semble que lorsque  $d$  augmente,  $\mathcal{R}$  diminue.

Nous leur avons répondu que selon les deux formules, lorsque  $d$  augmente,  $\mathcal{R}$  diminue. Pour la première formule, lorsque  $d$  augmente,  $v$  diminue de façon plus importante car  $v_2 \cdot d = \text{constante}$ . Le numérateur de la première formule diminue. Confirmez-vous cela ?

Réponse :

Oui c'est exact. La contradiction apparente vient en effet du fait que les paramètres sont liés entre eux. La seconde formulation lie  $d$  et  $v$  dans le débit et rend un peu plus facile la compréhension.

3) Question :

A propos de la courbe caractéristique de la paroi des vaisseaux musculo-élastique :

Peut-on dire que lorsque le  $\Delta P$  augmente, il y a un risque d'occlusion du vaisseau par perte du point d'équilibre stable ?

Ou bien quand  $\Delta P$  augmente il n'y a pas de risque d'occlusion du vaisseau ?

Réponse

Il n'y a pas de risque d'occlusion, il y aura toujours une intersection entre la droite  $\Delta P$  et la courbe caractéristique.

#### 4) Question :

A propos de la mesure de la pression artérielle grâce au brassard :

Lors de cette mesure, on a :

- $P(\text{brassard}) > \text{PAS}$  : silence, pas d'écoulement
- $P(\text{brassard}) = \text{PAS}$  : apparition des bruits, passage du sang en écoulement turbulent en systole.
- $\text{PAS} > P(\text{brassard}) > \text{PAD}$  : allongement progressif des bruits, passage du sang en systole et en diastole -  $\text{PAD} > P(\text{brassard})$  : écoulement laminaire en systole et en diastole, pas de bruit.

On a donc un écoulement en diastole avant quand la pression du brassard ne soit inférieure à la PAD, et les étudiants se demandent comment cela est possible.

Réponse :

Je ne comprends pas bien la question. Ce qu'il faut comprendre, c'est que la disparition de tout bruit correspond à un retour à un écoulement laminaire (y compris quand la vitesse du sang est minimale soit en diastole) et qu'il se trouve que cette valeur correspond à peu près à la pression diastolique.

[Si vous non plus vous ne comprenez pas la question, passez votre chemin, le prof s'en fiche]

#### 5) Question :

Question de terminologie :

Les étudiants se demandent si, dans un qcm :

- « a varie avec b » signifie « a est proportionnel à b », donc lorsque b augmente a augmente, ou bien simplement que a et b sont liés et que lorsque l'un varie, l'autre varie aussi ?
- « a est proportionnel à b » signifie seulement que  $a = x \cdot b$  ou si cela signifie simplement que lorsque a augmente, b augmente aussi, peu importe la relation qu'il y a entre eux ?

Par exemple, un item tel que « d est inversement proportionnel à v » est vrai, même si la relation est  $d \cdot v^2 = \text{constante}$  ?

Réponse :

On essaie de ne pas se trouver dans ce genre de formulation ambiguë (qui a gêné tout le monde dans le passé dans certaines occasions ; la question provient probablement de questions d'annales).

Au sens strict « varie avec » est équivalent à « dépend de » sans préjuger du sens ; mais dans certains sujets des annales, il est possible que cela ait été considéré comme « augmente avec ». Pour proportionnel ou inversement proportionnel, si c'est avec le carré, on devrait le stipuler.

[En gros, il est au courant et fera attention => à priori, pas de piège la dessus au concours !]

#### 6) Question :

## A propos de la pression terminale dans un conduit horizontal avec un fluide en circulation

Les étudiants ont du mal à appréhender cette notion, et en particulier ce qu'il se passerait dans le cadre d'une sténose : la pression terminale serait-elle inchangée par l'équilibre entre diminution de pression latérale et augmentation de vitesse ou augmenterait-elle avec l'augmentation de vitesse ?

Voici la réflexion d'un étudiant :

«  $P_{\text{totale}} = P_{\text{latérale}} + P_{\text{pesanteur}} + P_{\text{cinétique}} = \text{Constante}$   
 $P_{\text{totale}} = P + pgh + 1/2 \rho v^2$  (Car conduit horizontal) = Constante

Ce qui donne donc  $P + 1/2 \rho v^2 = \text{Constante}$ , or  $P + 1/2 \rho v^2 = P_{\text{terminale}} = \text{Constante}$ , donc si  $P$  diminue,  $1/2 \rho v^2$  varie en conséquence pour équilibrer et la somme des deux ne bouge pas ? »

Réponse :

Oui, c'est juste. L'intérêt de la notion de pression terminale est :

- De savoir que ce n'est pas la pression latérale (qui intéresse le catéthériseur par exemple) ;
- Que la comparaison de la  $P_{\text{terminale}}$  et de la  $P_{\text{latérale}}$  permet de calculer la vitesse d'écoulement (principe du tube de Pitot).

[En bref, il confirme et dit que ça ne tombera pas comme ça]