UNIVERSITE PIERRE & MARIE CURIE
LA SCIENCE A PARIS

BGPC1 – UE LP104
Examen du 9 janvier 2007
Durée : 2h

REMARQUES GENERALES :

- ***Les phénomènes sont présentés avec les unités couramment employées au quotidien. Il vous appartient de passer aux unités du Système International lorsque cela est nécessaire.***
- ***Les parties I, II et III peuvent être traitées indépendamment. Dans les exercices II et III, les pressions sanguines indiquées sont en réalité des surpressions par rapport à la pression atmosphérique. Cela n'a aucune incidence sur la résolution des problèmes.***
- ***On prendra bien soin de donner les expressions littérales des grandeurs physiques demandées avant toute application numérique (notée A.N.) si celle-ci est exigée.***
- ***Seules les calculatrices de type collège sont autorisées.***

I LE CYCLISTE, DANS LES MONTEES ET SUR LE PLAT

Un cycliste de masse M = 70 kg pédale sur un vélo de masse m = 10 kg et effectue le trajet représenté sur la figure 1. Pour les applications numériques, on prendra g = 10 m.s^{-2}.

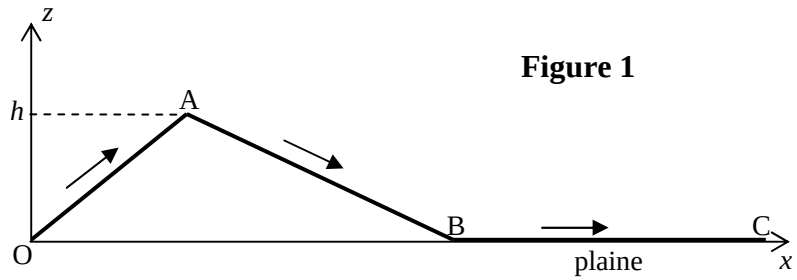

Figure 1

1ère étape : Phase d'ascension (OA)

Il grimpe le col du Colombier, soit une dénivellation de h = 1200 m en un temps t = 40 minutes. Dans cette montée, la vitesse du cycliste est suffisamment faible pour que son énergie cinétique soit négligée.

1) Déterminer, en la justifiant, l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur $E_p(z)$ du cycliste accompagné de son vélo en fonction de M, m, g et z. On prendra $E_p(z=0)=0$.
2) En supposant que tout le travail W fourni par le cycliste durant l'ascension est converti en énergie potentielle de pesanteur (les frottements sont donc négligeables ici), déterminer l'expression de ce travail W en fonction de M, m, g et h. Faire l'A.N.
3) En déduire la puissance moyenne $\mathcal{P}$ développée par le cycliste lors de l'ascension en fonction de M, m, g, h et t. Faire l'A.N.
4) Donner également l'expression de la puissance massique $\mathcal{P}_m = \mathcal{P}/M$ du cycliste en fonction de M, m, g, h et t. Faire l'A.N.
5) En pratique, pour comparer les qualités des grimpeurs, on n'utilise pas la puissance $\mathcal{P}$ mais la puissance massique $\mathcal{P}_m$. Expliquer pourquoi $\mathcal{P}_m$ est le paramètre le plus pertinent (on pourra comparer les temps de montée t_1 et t_2 de deux grimpeurs de puissances massiques différentes : $\mathcal{P}_{m1}$ et $\mathcal{P}_{m2}$ avec $\mathcal{P}_{m2} > \mathcal{P}_{m1}$).

2ème étape : Descente (AB)

1) Si la descente s'effectuait en « roue libre » et sans frottements, quelle serait la vitesse v_B atteinte par le cycliste à l'arrivée dans la plaine en B ? On supposera v_A=0. On donnera l'expression littérale de v_B et la valeur numérique de cette vitesse en km/h.
2) Dans la pratique, à cause des virages, le cycliste est obligé de freiner. Que devient dans ce cas l'énergie mécanique du cycliste ? Justifier.

3ème étape : Plaine (BC)

Le cycliste aborde maintenant une étape de plaine (BC). Les différents types de frottements (résistance de l'air, frottements mécaniques du vélo) sont équivalents à une force qui s'exerce sur le cycliste. Son module F_f dépend de la vitesse du cycliste. Pour avancer à une vitesse constante v = 35 km/h, il doit développer une force motrice horizontale de module F_m. Cette force correspond à une puissance $\mathcal{P}$ égale à celle qu'il avait en montant (1ère étape)

1) Exprimer F_m en fonction de $\mathcal{P}$ et v.
2) Vérifier l'homogénéité de la relation précédente (on justifiera les dimensions des différentes grandeurs intervenant).
3) Faire un bilan de toutes les forces agissant sur le cycliste et les représenter sur un schéma.
4) Le mouvement du cycliste étant rectiligne uniforme, donner la relation reliant $\overrightarrow{F_f}$ et $\overrightarrow{F_m}$.
5) En déduire l'expression de v en fonction de $\mathcal{P}$ et F_f.
6) Sur le plat, lequel des deux paramètres $\mathcal{P}$ et $\mathcal{P}_m$ est le plus pertinent pour comparer les chances de victoire de deux coureurs cyclistes ? (Justifier votre réponse)

II ASPECT ENERGETIQUE DE LA CIRCULATION SANGUINE

A. Généralités

On assimile le sang à un fluide incompressible de masse volumique ρ. Le volume de sang expulsé à chaque pulsation par le coeur dans l'aorte est de $\mathcal{V}$ = 75 cm^3. La fréquence cardiaque vaut f = 70 pulsations par minute et la section de l'artère aorte S_0 = 3 cm^2.

1) Exprimer l'intervalle de temps τ entre deux pulsations. Faire l'A.N.
2) Exprimer le débit volumique sanguin moyen D. Faire l'A.N.
3) En déduire l'expression de la vitesse moyenne v_0 du sang dans l'aorte. Faire l'A.N.
4) Sachant que la quantité de sang chez l'homme est de V = 5 litres au total, exprimer le temps T au bout duquel tout le sang est passé par le cœur. Faire l'A.N.

B. Irrigation des organes

La ramification progressive du système de circulation est schématisée sur la figure 2. L'aorte (de section S_0) se divise en N_1 artères de section S_1. Les artères se divisent ensuite pour donner globalement N_2 artérioles de section $S_2 = 10^{-5}$ cm^2. On considère ici un corps allongé, de sorte que tous les points de la circulation sanguine sont à la même altitude.

Dans une description très simplifiée, on considère que, depuis le début de l'aorte jusqu'à l'extrémité des artères, la vitesse du sang reste constante et égale à v_0, et que la pression sanguine reste également constante et égale à P_0 =13 kPa.

Dans les artérioles en revanche, la vitesse du sang est beaucoup plus faible et vaut v_2 = 0,5 cm/s. De plus la pression chute considérablement le long des artérioles, de 13 kPa à l'entrée à 5 kPa à la sortie.

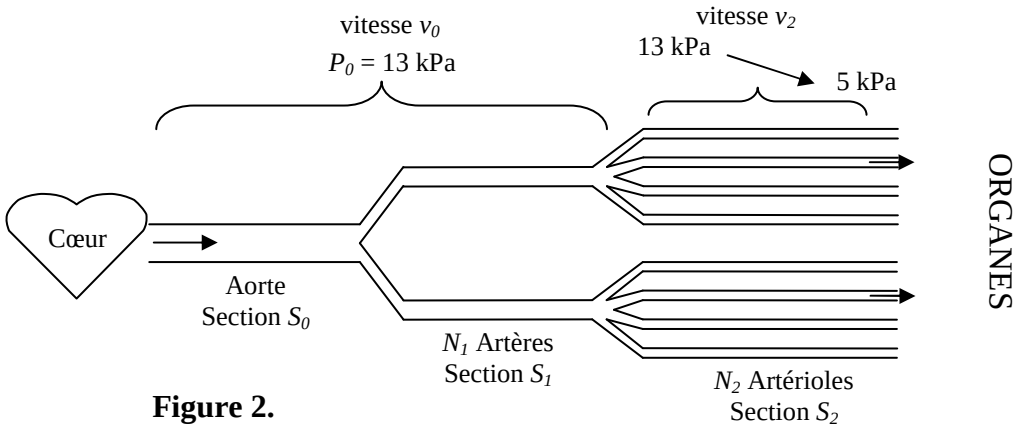

Figure 2.

1) Donner l'expression de la section S_1 des artères en fonction de S_0 et de N_1. Justifier précisément l'origine physique de cette relation.
2) Rappeler l'expression générale du théorème de Bernoulli et ses conditions d'application. Quelle propriété de conservation cette relation traduit-elle ?
3) Est-il vérifié pour le sang entre le début de l'aorte et l'extrémité des artères ?
4) Donner l'expression du nombre d'artérioles N_2 en fonction de S_0, S_2, v_0 et v_2.
5) Le théorème de Bernoulli est-il vérifié le long d'une artériole ? Proposer une explication.

III PUISSANCE MECANIQUE DU CŒUR.

Le cœur est une double pompe (cœurs droit et gauche, chacun possédant deux cavités : oreillette et ventricule). Le but de cet exercice étant d'évaluer la puissance mécanique du cœur, on utilise une description très simple dans laquelle le cœur est assimilé à son ventricule gauche.
Au cours d'un battement de cœur (pulsation), ce ventricule décrit le cycle suivant :

- **Phase de remplissage isobare AB :** le ventricule se remplit du sang provenant des veines, il double de volume à pression constante et faible.
- **Phase de contraction isochore BC :** la tension des fibres musculaires fait augmenter la pression dans la cavité sans variation de volume.
- **Phase d'éjection CD :** dès que la pression dans le ventricule dépasse 13 kPa, une partie du sang est éjectée dans l'aorte.
- **Phase de relâchement isochore DA :** le muscle relâche sa tension et la pression chute brutalement.

1) Indiquer sur le diagramme pression-volume du ventricule fournit en annexe (figure 3) le sens de parcours du cycle et reporter les points A, B, C et D.
2) On rappelle que l'expression du travail des forces de pression associée au sang dans le ventricule est la même que celle définit en cours pour les gaz. Donner alors l'expression générale du travail échangé par le ventricule avec l'extérieur lors d'une transformation. Expliquer comment le travail fourni pendant un cycle par les muscles entourant le ventricule peut-être évalué à l'aide du diagramme pression-volume du ventricule.
3) A l'aide du diagramme, calculer numériquement les travaux W_{AB}, W_{BC}, W_{CD} et W_{DA} fournis par le ventricule dans chaque phase du cycle. Justifier à chaque fois le signe obtenu. On donnera les valeurs numériques en kPa.cm^3 puis en Joules.
4) En déduire le travail fourni par le ventricule au cours d'un cycle.
5) La fréquence cardiaque étant de f =70 pulsations par minute, calculer la puissance mécanique $\mathcal{P}_{méca}$ du ventricule.
6) La puissance musculaire consommée pour la contraction des muscles du ventricule est $\mathcal{P}_{cons}$ = 15 W. Comment définir le rendement mécanique du ventricule η ? Donner sa valeur numérique en %.

Section :
N° de place :

ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE

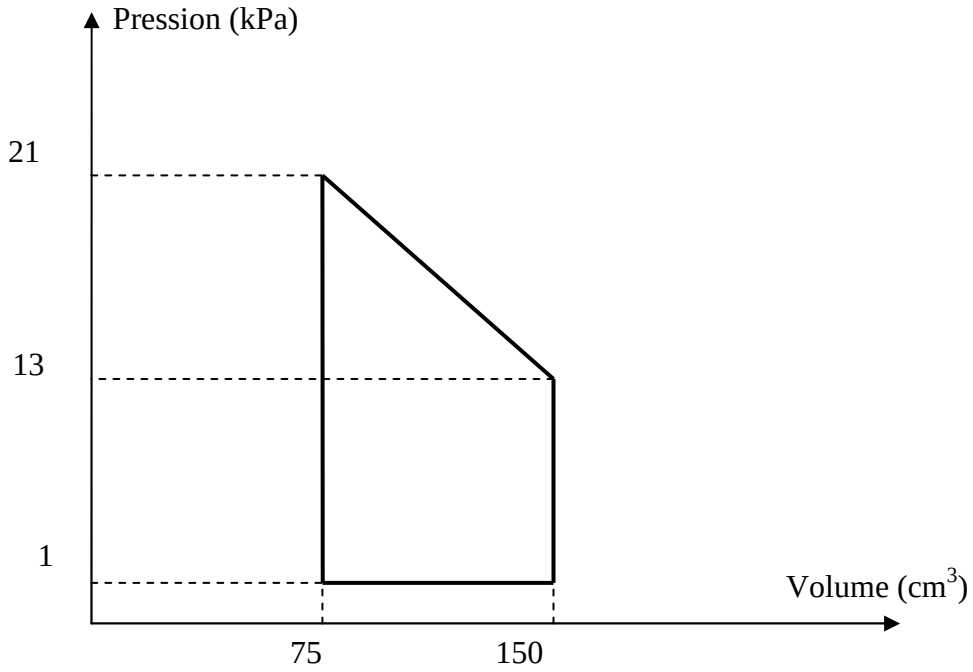

Figure 3