

# BACCALAURÉAT SCIENTIFIQUE

## Épreuve de sciences de l'ingénieur

### Session de novembre 2013

Mesure automatique de la pression artérielle  
à l'aide du tensiomètre SPG 300

## Éléments de correction

### 2 Mesure de la pression artérielle

---

Objectifs de cette partie :

- **comparer** la méthode de mesure auscultatoire et la méthode oscillométrique ;
  - **valider** la précision de la mesure oscillométrique.
- 

**Q1.** Sur le **DR1**, **mesurer** et **indiquer** les valeurs de PAD et PAS dans les cadres prévus à cet effet. Ces pressions seront positionnées *en bleu* sur le relevé de pression aux instants adéquats.

Lorsque le brassard est progressivement dégonflé par le médecin, la pression artérielle maximale est lue dès l'apparition du son dans le stéthoscope et correspond à la valeur PAS ; à la fin du dégonflement du brassard le son disparaît et le médecin peut lire la valeur minimale de la pression artérielle PAD. Les relevés sur le document DR1 conduisent à :

$$PAD_{ausc} = 74 \text{ mm Hg}$$

$$PAS_{ausc} = 130 \text{ mm Hg}$$

**Q2.** **Compléter**, sur le **DR2**, le diagramme FAST du tensiomètre à l'aide de **DT1** et de **DT2**, en faisant apparaître les fonctions techniques et les constituants manquants.

Voir le document réponse DR2. Le diagramme FAST permet de réaliser à la fois les analyses fonctionnelle et structurelle du tensiomètre.

**Q3.** **Calculer** l'écart en pourcentage entre ces deux méthodes, la méthode auscultatoire étant considérée comme la méthode étalon. **Conclure** vis-à-vis de la précision du tensiomètre SPG 300 spécifiée dans le cahier des charges.

L'écart relatif entre les deux méthodes pour les valeurs minimale et maximale s'obtient ainsi :

$$\left| \frac{PAS_{ausc} - PAS_{oscil}}{PAS_{ausc}} \right| = \left| \frac{130 - 130}{130} \right| = 0$$

$$\left| \frac{PAD_{ausc} - PAD_{oscil}}{PAD_{ausc}} \right| = \left| \frac{74 - 80}{74} \right| = 8\%$$

L'écart de mesure dépasse la valeur de 2 % indiquée dans le cahier des charges. La précision du tensiomètre électronique n'est donc pas suffisante si la mesure au stéthoscope est supposée être la référence.

### 3 Validation de la conception du brassard

Objectifs de cette partie :

- **choisir** la famille de matériau optimale pour la coque du brassard ;
- **valider** la conception de la coque du brassard à l'aide de résultats de simulation.

**Q4. Tracer** sur le DR3 la droite du module de Young limite  $E_{limite}$ . **Identifier** la famille de matériaux (parmi les polymères techniques, les alliages techniques, les céramiques poreuses...) la plus performante vis-à-vis du critère  $M_1$ . Pour cela, **tracer** la droite oblique correspondant à la plus grande valeur de  $M_1$  possible pour les matériaux envisageables de la coque. **Préciser** le nom du meilleur matériau dans cette famille, puis **justifier** la réponse en donnant la valeur de  $M_1$  pour le matériau choisi.

Le tracé des deux droites d'équations respectives  $E = E_{limite} = 0,4 \text{ GPa}$  et  $M_1 = M_{1maxi} = 0,005 \text{ m}^2$  est réalisé sur le document réponse DR3. Il permet de définir :

- la famille de matériaux la plus performante qui est celle des polymères techniques avec un  $M_{1maxi}$  de  $0,005 \text{ m}^{1/2}$  ;
- les meilleurs matériaux de cette famille qui sont le polyéthylène haute densité (PEHD) et le polytétrafluoroéthylène (PTFE).

Les mousses de polymères sont écartées à cause de leur module de Young trop faible.

**Q5. Identifier** sur le DR4 le ou les polymères techniques les plus adaptés à la maximisation du critère  $M_2$ . Pour cela, commencer par **tracer** la droite d'iso-valeur  $M_2 = 1 \text{ MPa} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^3$  à partir des points d'abscisses 500 et 5000  $\text{kg}/\text{m}^3$ . **Tracer** ensuite la droite parallèle correspondant à la plus grande valeur de  $M_2$  possible pour les matériaux envisageables. **Préciser** le matériau finalement retenu.

Nous traçons sur le document réponse DR4 la droite d'équation  $M_2 = 1 \text{ MPa} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^3$ .

Les matériaux les plus performants vis-à-vis du critère  $M_2$  sont le polyester avec une valeur  $M_{2maxi}$  égale à  $3,7 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ , puis le PVC (polychlorure de vinyle) avec une valeur  $M_{2maxi}$  de  $2,8 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ , puis l'ABS (acrylonitrile butadiène styrène) avec un  $M_{2maxi}$  de  $2,6 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ , puis le PMP (polyméthyl pentène) avec un  $M_{2maxi}$  de  $2,2 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Le matériau retenu est le polyester comme matériau le plus performant au regard du critère utilisé ici.

**Q6. Analyser** les résultats de la simulation en traitant les points suivants :

- **comparer** la contrainte maximale donnée par la simulation par rapport aux caractéristiques du matériau choisi (voir le **DT4**) et conclure quant à la tenue de la pièce ;
- **expliquer** le phénomène observé sur la photographie par rapport aux résultats de la simulation ;
- **proposer** d'éventuelles modifications de conception.

La contrainte maximale de Von Misès de 20 N/mm<sup>2</sup> est à comparer avec la résistance à la traction du PE40 qui est de 25 MPa (tableau situé en bas du document technique DT4) qui n'est donc pas atteinte ici. La limite d'élasticité est, par contre, dépassée dans les zones les plus sollicitées. La contrainte maximale identifiée est donc élevée pour le matériau choisi et risque d'engendrer rapidement sa dégradation. Cette hypothèse est confirmée par la photo de la coque qui montre un endommagement dans les zones de contraintes maximales apparaissant sur la simulation : dans ces zones, le matériau s'est plastifié (dépassement de la limite élastique) ce qui explique son blanchiment. Une solution simple permettant de renforcer la coque serait d'augmenter son épaisseur. On peut aussi envisager la modification de la forme des îlots pour réduire l'effet poinçon observé. Utiliser un polymère plus rigide tel que le PE100, le PP (polypropylène) ou le PMP peut également être envisagé.

#### 4 Étude de la phase de gonflage

*Objectifs de cette partie :*

- **comprendre** le fonctionnement du compresseur ;
- **valider** le choix du compresseur permettant de gonfler la poche dans le temps imparti.

**Q7. Donner** l'expression de l'écrasement de la membrane **3** noté  $\lambda$  en fonction des paramètres géométriques du mécanisme. **Réaliser** l'application numérique.

Les figures du document technique DT5 mettent en évidence le triangle rectangle dont l'hypoténuse a pour longueur  $h$ . On obtient ainsi la relation permettant de calculer l'écrasement de la membrane  $Dl$  entre les deux valeurs extrêmes obtenues pour  $\theta = 0$  et  $\theta = \pi$  rad.

$$Dl = h \sin(2a)$$

Numériquement

$$Dl = 5,7' \sin(2' 13,5) = 2,59 \text{ mm}$$

**Q8. Calculer** la vitesse de rotation  $N$  en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$  de l'arbre moteur **1** pour assurer un débit  $D_v$  de  $1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .

En un tour, le volume vidé par les deux demi-membranes (modélisé chacune par un cylindre de volume  $V$ ) est :

$$2 \times V = 2 \times 2,59 \times \pi \times 2,5^2 = 102 \text{ mm}^3 = 102 \times 10^{-6} \text{ L}$$

C'est la cylindrée du compresseur.

Le débit volumique de l'air circulant dans le circuit est  $D_v = 1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ .

La relation entre le débit volumique, la fréquence de rotation et la cylindrée du compresseur est donnée par ( $D_v$  en  $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $V$  en L et  $N$  en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$ ) :

$$D_v = 2 \times V \times N$$

La fréquence de rotation  $N$  de l'arbre moteur est donc :

$$N = \frac{D_v}{2 \times V} = \frac{1}{102 \cdot 10^{-6}} = 9804 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

**Q9.** À partir du cycle de fonctionnement du compresseur du **DT5**, **expliquer** la présence de trois phases distinctes sur chaque courbe d'effort et **distinguer** clairement ces trois phases pour la courbe  $F2$  en précisant les domaines angulaires concernés. **Vérifier** la valeur numérique maximale de l'effort.

L'évolution de  $F2$  se sépare en trois phases :

- de  $\theta = 0$  à  $180^\circ$ , l'action mécanique de l'air comprimé sur la membrane est nulle car c'est la phase d'admission de l'air ;
- de  $\theta = 180$  à  $270^\circ$ , l'action mécanique augmente de façon quasi linéaire. Cette phase correspond à la compression de l'air. Le volume de la membrane décroît de façon quasi linéaire, la surface reste constante ce qui explique la croissance linéaire de l'effort ;
- de  $\theta = 270$  à  $360^\circ$ , l'action mécanique est constante car la pression reste constante lors du refoulement.

On vérifie :  $F1_{maxi} = P_{maxi} \times S = (168875 - 101300) \times \pi \times (2,5 \times 10^{-3})^2 = 1,3 \text{ N}$

On retrouve bien la valeur lue sur le graphe.

**Q10.** À partir des questions précédentes, **choisir** parmi les moteurs proposés sur le **DT6** un moteur adapté à l'application. **Justifier** le résultat en considérant la vitesse de rotation, le couple et la puissance dans les conditions d'efficacité maximale et de calage du moteur.

Le moteur doit pouvoir fournir un couple de  $1,5 \text{ N} \cdot \text{mm}$  à  $9804 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ , soit une puissance de  $P = 1,5 \times 10^{-3} \times 9804 \times \frac{2\pi}{60} = 1,54 \text{ W}$ .

Le moteur TFF-032 peut convenir bien que les conditions ne soient pas celles de l'efficacité maximale. Le moteur est utilisé en sur-couple et survitesse au regard des conditions d'efficacité maximale.

Le TFF-030PA est limité en couple et en vitesse, le MFF-1418PA est limité en puissance et le TFF-M20VA/PA est limité en couple.

On choisit le moteur TFF-032.

## 5 Autonomie du système

*Objectif de cette partie : vérifier l'autonomie du système.*

**Q11.** À l'aide du relevé de l'intensité absorbée par le tensiomètre lors d'une mesure présenté sur le **DT8**, et de la méthode de calcul présentée ci-après, **déterminer** la durée  $t_m$  de la mesure de la pression artérielle ainsi que la valeur de l'intensité moyenne du courant  $\langle I \rangle$ .

L'analyse de la courbe du document technique DT8 permet de déterminer directement la durée de la mesure. On trouve ici  $t_m = 31 \text{ s}$ .

Par ailleurs, la valeur moyenne d'une fonction  $f$  sur un intervalle  $[a, b]$  est donnée par :

$$\langle f \rangle = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(t) dt$$

La décomposition de l'aire sous la courbe en deux figures élémentaires (trapèze et rectangle) permet le calcul de l'intégrale de la relation ci-dessus. On a

$$\bar{I} = \frac{1}{33,5 - 2,5} \times \left[ \frac{0,42 + 0,35}{2} \times (8 - 2,5) + 0,09 \times (33,5 - 8) \right] \\ \approx 0,14 \text{ A}$$

Le courant moyen est donc  $\bar{I} \approx 0,14 \text{ A}$ .

**Q12. Calculer** la capacité  $Q$  en mAh nécessaire pour assurer une mesure.

À l'aide des deux résultats obtenus à la question précédente, le calcul de la capacité  $Q$  nécessaire pour assurer une mesure s'obtient par :

$$Q = \langle I \rangle \times t_m = 140 \times \frac{31}{3600} = 1,2 \text{ mA} \cdot \text{h}$$

**Q13. Conclure** sur le choix des piles vis-à-vis du cahier des charges.

D'après le tableau du document technique DT7, les piles alcalines LR6-AA 1,5 V ont une capacité de 2250 mA·h.

La capacité nécessaire pour assurer les 200 mesures prévues par le cahier des charges est donc de :  $200 \times 1,2 = 240 \text{ mA} \cdot \text{h}$ .

Le choix de ces piles est judicieux car la capacité est suffisante.

**Q14. Proposer** une explication de l'écart important entre la capacité nécessaire pour assurer les 200 mesures et la capacité réelle des piles utilisées.

Les raisons de cet écart notable peuvent être :

- les piles sont surdimensionnées ;
- sur le relevé du courant, on s'aperçoit que le courant n'est pas nul à la fin de la mesure de pression. Des courants de fuites apparaissent. Par conséquent, cela a une influence sur la durée de vie des piles.

## 6 Validation des solutions techniques concernant la commande et le traitement des informations

---

Objectif de cette partie : **analyser** la solution permettant la mesure de pression et **valider** le fonctionnement séquentiel.

---

**Q15. Calculer** la valeur de la capacité lorsqu'aucune pression ne s'exerce sur la membrane déformable.

En l'absence de pression appliquée, la capacité intrinsèque de la cellule est celle d'un condensateur plan. Elle est donc définie par :

$$C_0 = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

À partir des valeurs numériques fournies, il vient :

$$C_0 = 1 \times 8,85 \times 10^{-12} \times \frac{\pi \times (8,5 \times 10^{-3})^2}{0,4 \times 10^{-3}} = 5,02 \text{ pF}$$

**Q16. Justifier** pourquoi la capacité diminue quand la pression augmente.

En présence de pression, la membrane se déforme et la distance  $d$  entre les armatures augmente, provoquant ainsi une diminution de la capacité.

**Q17. Expliquer** le rôle de ce montage.

Ce montage réalise la fonction *commuter* et permet l'alimentation électrique ou non du compresseur en fonction de l'état du signal POMP.

**Q18. Analyser** puis **compléter** le chronogramme illustrant la commande du compresseur sur le **DR5**.

Lorsque le signal POMP est à l'état haut (1), le transistor est passant. La tension aux bornes du compresseur est alors  $V_{cc} = 3 \text{ V}$ .

Lorsque le signal POMP est à l'état bas (0), le transistor est bloqué. La tension aux bornes du compresseur est la tension de seuil (ici  $-0,6 \text{ V}$  vu le sens de montage de la diode).

La diode de roue libre sert à éviter les surtensions aux bornes du compresseur lorsque le transistor devient bloqué.

On en déduit le chronogramme du document réponse DR5.

**Q19. Sur la vue synoptique du DR6, préciser les flux et les constituants manquants dans les zones grisées.**

Voir document réponse DR6.

## 7 Synthèse

---

*Objectif de cette partie :* **proposer** une synthèse du travail réalisé sous la forme d'un organigramme, ainsi que quelques pistes d'amélioration du système.

---

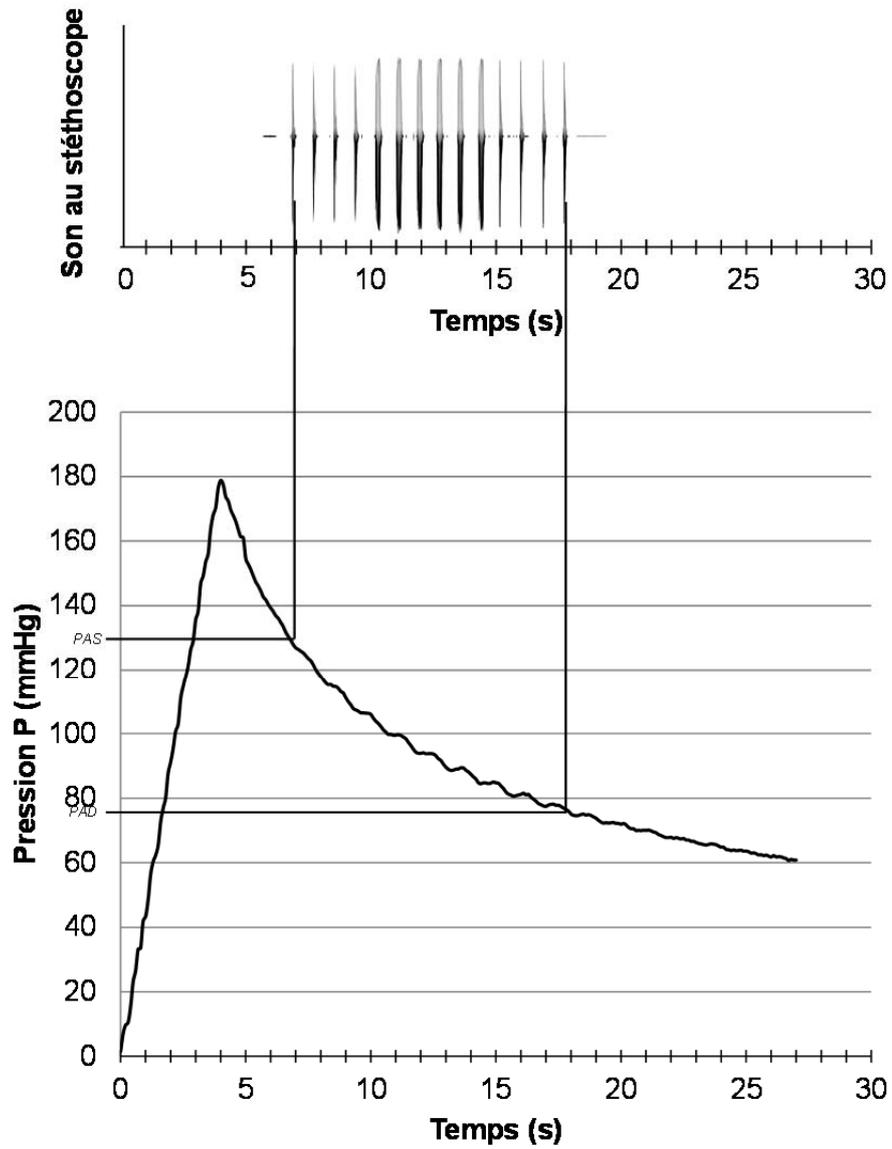
**Q20. Compléter** sur le **DR7** l'algorithme du programme principal de fonctionnement du tensiomètre. **Indiquer** les commandes de la pompe et de l'électrovanne en suivant les notations indiquées.

Voir document réponse DR7.

**Q21.** En justifiant la réponse par rapport au cahier des charges et aux différentes études conduites dans ce sujet, **proposer** des pistes d'amélioration du tensiomètre sous forme d'une rédaction de quelques lignes (cinq au maximum).

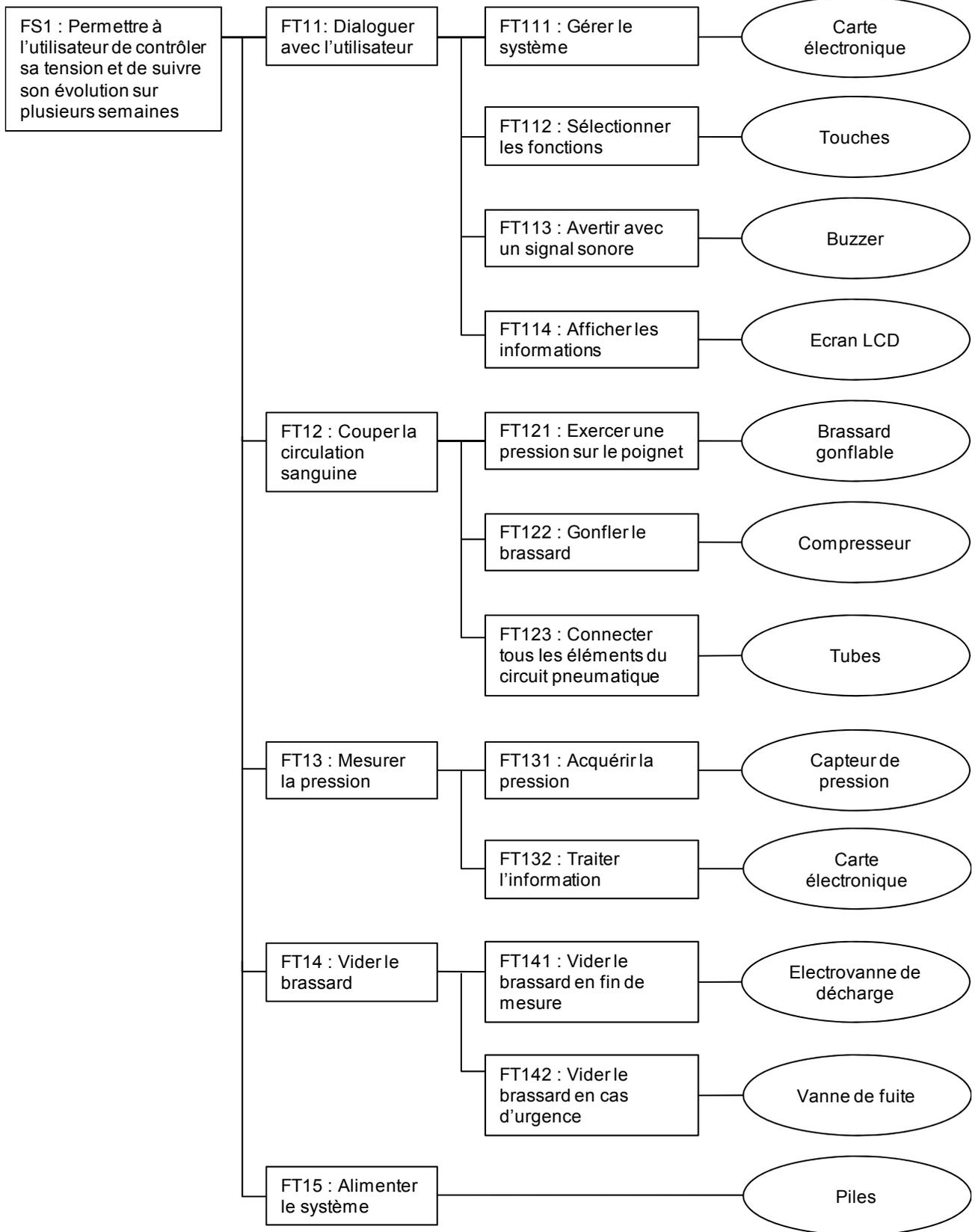
L'autonomie du système pourrait être augmentée en remplaçant les piles par une batterie de capacité supérieure. Le rendement du compresseur pourrait être amélioré en minimisant les frottements au niveau des guidages en rotation (utilisation de coussinets) ou en remplaçant les membranes par des pistons. L'affichage pourrait être amélioré en remplaçant l'écran LCD par un écran couleur de plus haute résolution. Une optimisation des matériaux (utilisation du polypropylène – PP –) permettrait de gagner en masse et/ou de réduire l'encombrement.

Document réponse DR1 : méthode sphygmomanométrique (utilisée par les médecins)



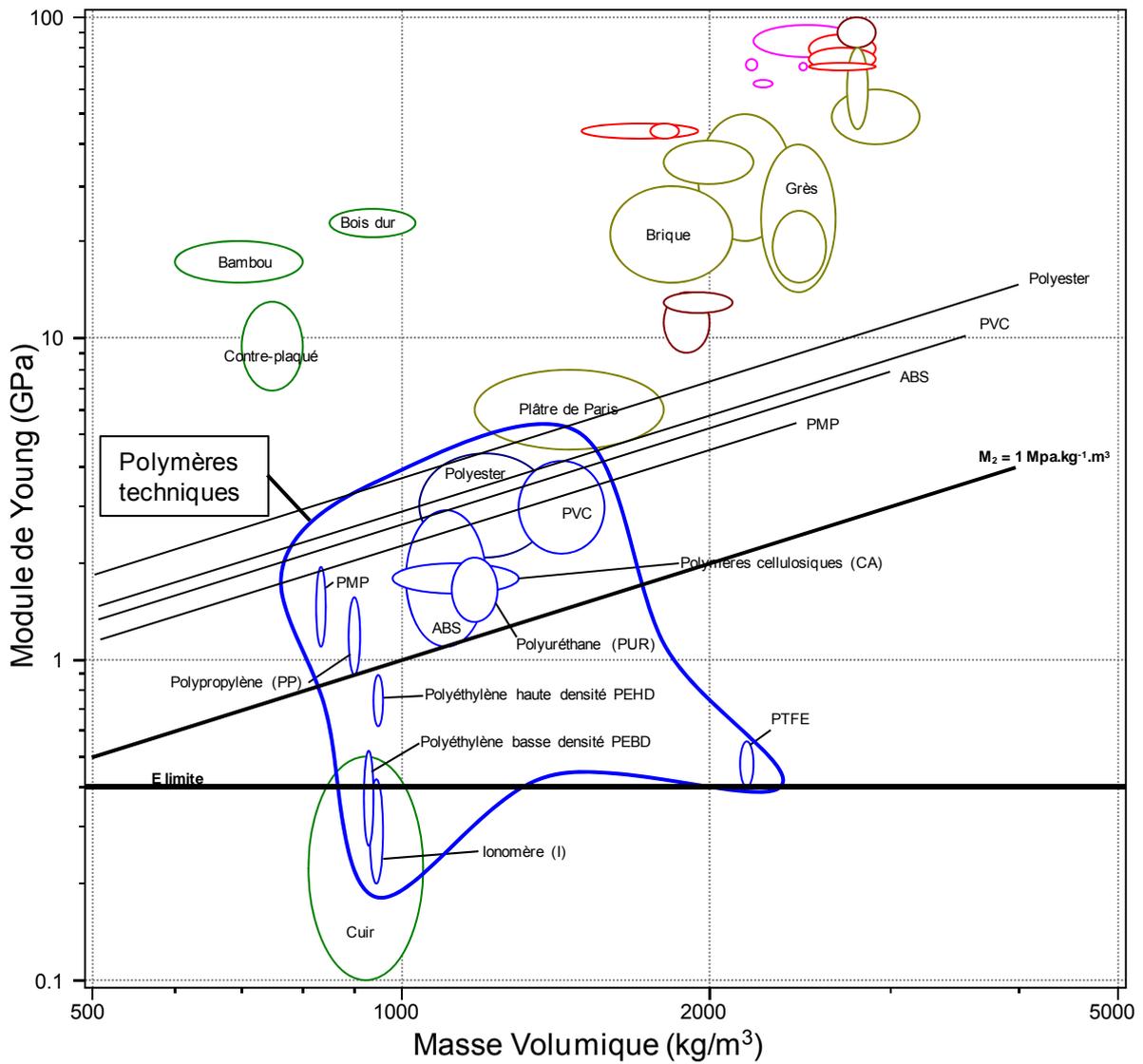
QUESTION 1	
PAD	<input type="text" value="74 mmHg"/>
PAS	<input type="text" value="130 mmHg"/>
(à compléter)	

## Document réponse DR2



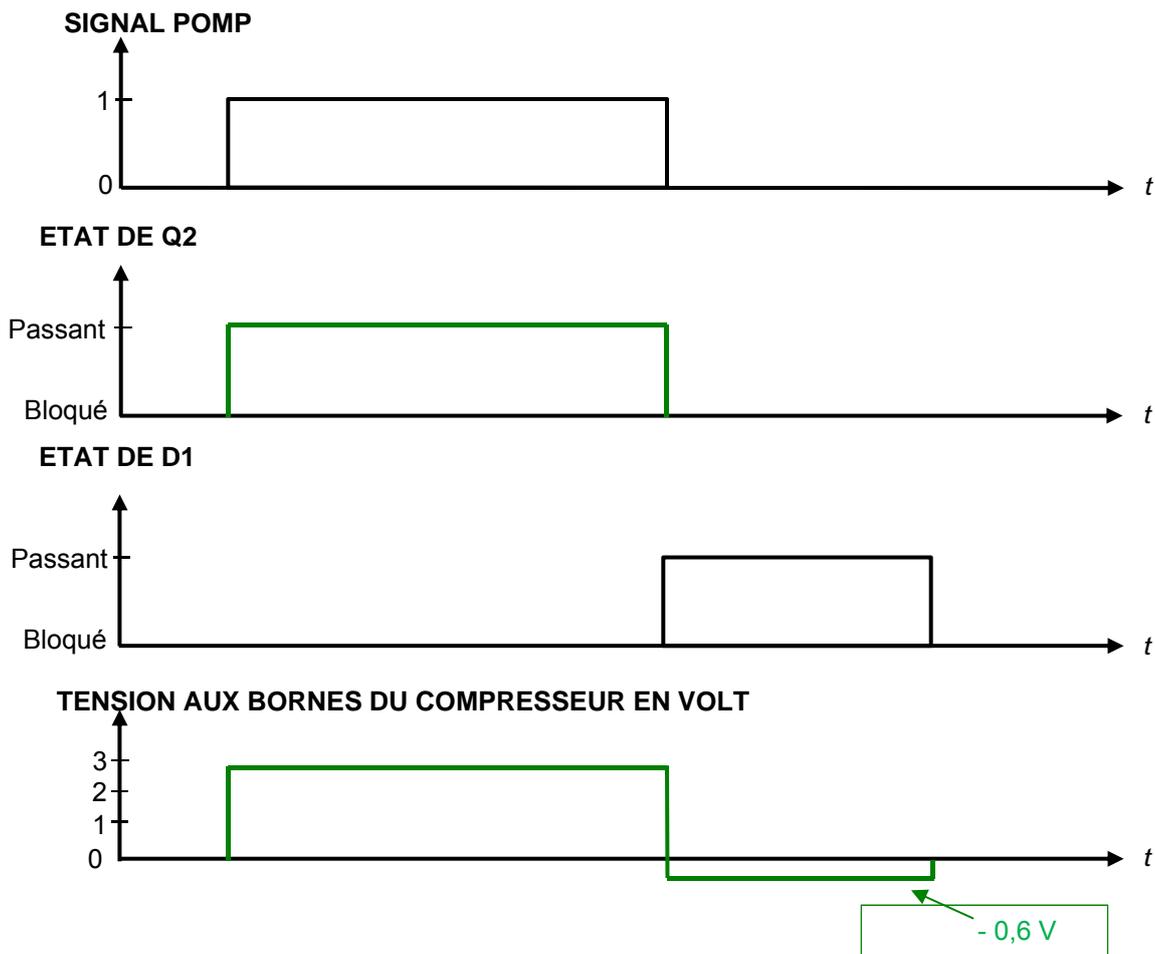


Document réponse DR4 : diagramme densité / module de Young

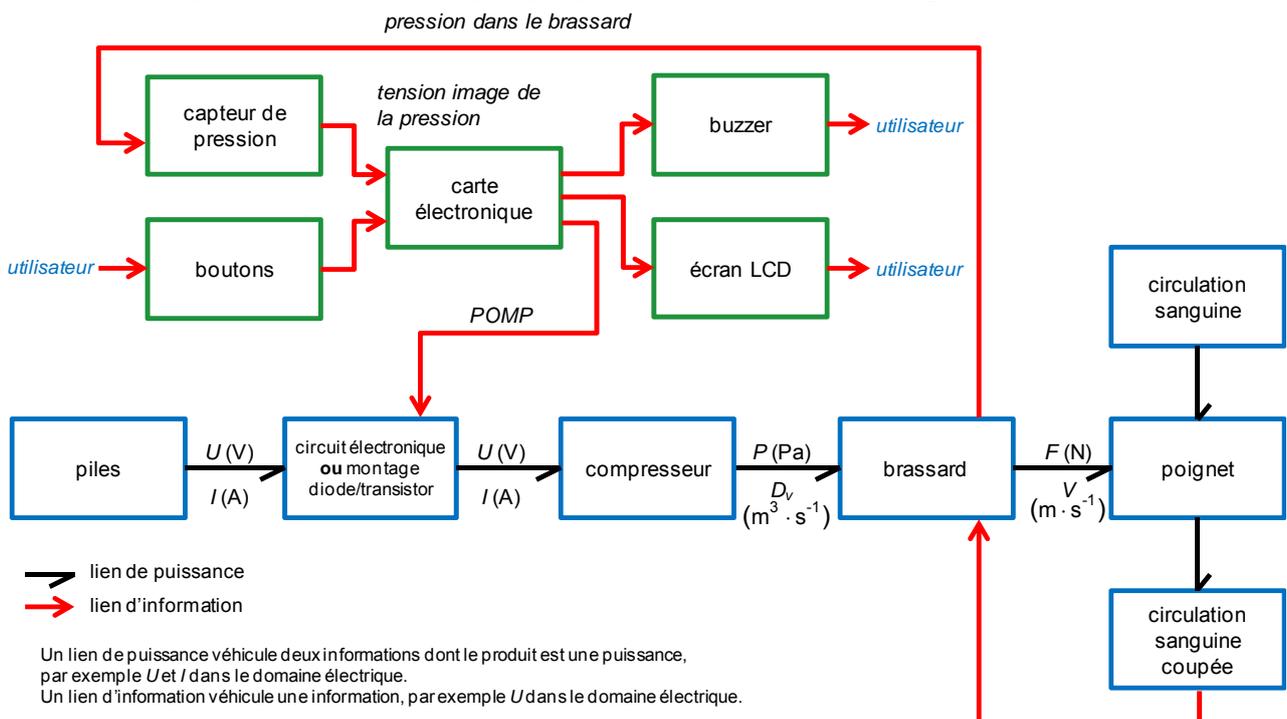


Matériau retenu : polyester

## Document réponse DR5



## Document réponse DR6 : vue synoptique des chaînes d'énergie et d'information



Document réponse DR7

