

# Étude d'un tensiomètre électronique (Banque PT - 2016)

## I Présentation

Dans le domaine médical, la pression artérielle est l'un des paramètres les plus surveillés dans le cadre des maladies cardio-vasculaires. En effet, quand la pression artérielle est trop élevée, pendant des durées très longues, le muscle cardiaque finit par se fatiguer jusqu'à atteindre des insuffisances cardiaques sévères ; on parle d'hypertension.

À l'inverse, une tension trop basse conduit à sous-alimenter les organes et peut conduire à des étourdissements ou évanouissements. L'hypotension n'est généralement pas considérée comme une maladie.

Communément, la mesure de la pression artérielle se fait par la détermination de deux valeurs classiques : la pression systolique (pression la plus élevée suite à la contraction du cœur) et la pression diastolique (pression la moins élevée après le relâchement du cœur quand celui-ci se remplit de sang).

Pour mesurer ces pressions, le médecin utilise classiquement la méthode du brassard associé à son stéthoscope. Le médecin gonfle le brassard jusqu'à couper la circulation sanguine dans le bras. Le médecin pose ensuite le stéthoscope sur l'artère et dégonfle progressivement le brassard. Dès qu'il écoute le sang passer à nouveau dans l'artère, il mesure la pression systolique sur le manomètre associé au brassard. Puis il continue à dégonfler le brassard jusqu'à ne plus écouter aucun bruit, là il lit la pression diastolique.

On peut également mesurer ces pressions avec un tensiomètre électronique (voir figure 1). Il existe des modèles simples pour les particuliers et des modèles beaucoup plus complets dans le cadre des milieux médicaux.

Les applications numériques seront données avec 1 chiffre significatif, sauf contre-ordre.



FIGURE 1 – Tensiomètre utilisé en milieu hospitalier.

## II Étude du capteur de pression

### II.1 Étude du capteur : modélisation de la déformation de la membrane

Le principe du capteur de pression repose sur l'effet piézorésistif (voir figure 2). La cellule sensible du capteur est constituée d'une membrane se déformant sous l'effet de la force appliquée par un micro-vérin. Le micro-vérin applique une force  $F$  proportionnelle à la pression du brassard. Sur la membrane sont fixées 4 jauges de déformation. Les résistances électriques de ces jauges varient sous l'effet d'une déformation. Puis cette variation de résistance est transformée en tension électrique  $V_p$  au moyen d'un circuit de conditionnement.

L'objectif de cette partie est de relier la pression du brassard à la tension mesurée dans le circuit de conditionnement en fonction des différents paramètres caractéristiques du capteur.

On cherchera également à montrer que le capteur permet d'avoir une précision de moins d'un mmHg.

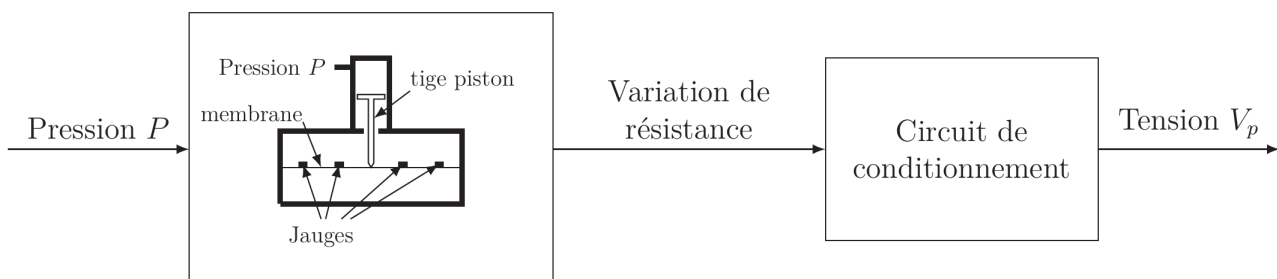


FIGURE 2 – Principe de fonctionnement du capteur et de la mesure.

En première approximation, la membrane peut être modélisée par une poutre de longueur  $2L$  encastree à chacune de ses extrémités soumise à un effort d'intensité  $F$  en son milieu (figure 3(a)).

Les caractéristiques de la poutre sont :

- $E$  : le module d'Young
- $S$  : la surface de la section droite de la poutre
- $I$  : le moment d'inertie de la section autour de l'axe  $(G, \vec{z})$
- $e$  : l'épaisseur de la membrane

$G$  est le centre d'inertie de la section droite de la poutre.

On note  $\vec{AG} = x\vec{x}$ .

On suppose que le déplacement de la section droite est  $\vec{u}(G) = u_y(x)\vec{y}$ .

La force appliquée par le vérin est notée  $\vec{F} = -F\vec{y}$ .

Les effets de la pesanteur sont négligés.

Le modèle est considéré comme plan.

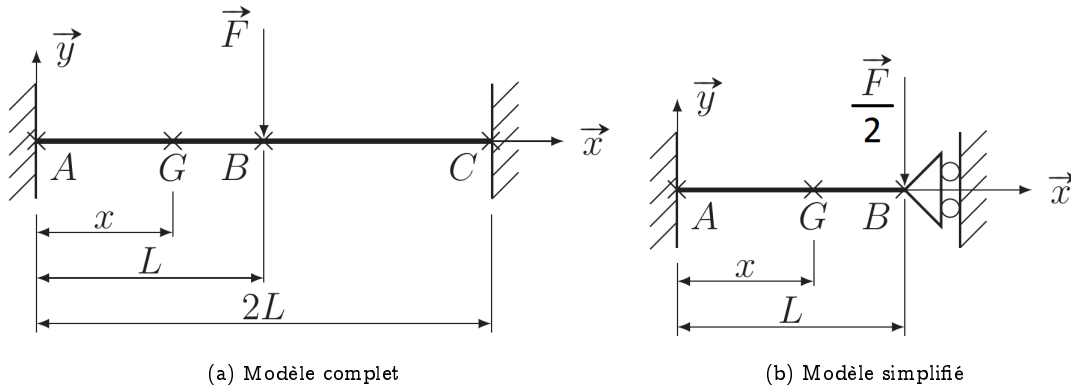


FIGURE 3 – Modèle poutre de la membrane

Pour simplifier le calcul de la déformée de la membrane, on adopte le modèle donné sur la figure 3(b). On supposera que la liaison en  $B$  bloque la translation suivant  $\vec{x}$  et la rotation suivant  $(B, \vec{z})$ .

**Q1.** Justifier pourquoi le modèle de la figure 3(b) est équivalent à celui de la figure 3(a). Justifier l'intérêt de cette simplification en déterminant le degré d'hyperstatisme des deux modèles.

On notera les torseurs des actions mécaniques au niveau des liaisons sous la forme :

$$\{\mathcal{T}(i \rightarrow j)\} = \left\{ \begin{array}{cc} X_M & - \\ Y_M & - \\ - & M_M \end{array} \right\}_{M,R}, \text{ le torseur de cohésion est noté } \{\mathcal{T}(coh)\} = \left\{ \begin{array}{cc} T_X & - \\ T_Y & - \\ - & M_Z \end{array} \right\}_{G,R}$$

(action de la partie droite sur la partie gauche).

**Q2.** Isoler le tronçon de poutre compris entre l'abscisse  $[0, x]$ . Écrire l'équation issue du principe fondamental de la statique permettant d'obtenir la relation entre le moment fléchissant  $M_Z$ , l'effort tranchant  $T_Y$  et une (ou des) inconnue(s) de la liaison en  $A$ .

Effectuer un second isolement et écrire l'équation nécessaire permettant d'exprimer l'effort tranchant  $T_Y$  en fonction de  $F$ .

En déduire la relation entre le moment fléchissant  $M_Z$ , l'effort  $F$  et une (ou des) inconnue(s) de la liaison en  $A$ .

On rappelle que la relation de comportement reliant le moment de flexion au déplacement  $u_y$  est  $M_z = EI \frac{d^2 u_y}{dx^2}$ . On se place dans les hypothèses de Navier-Bernoulli en petits déplacements, on a ainsi  $\theta = \frac{du_y}{d\theta}$ ,  $\theta$  la rotation de la section droite autour de l'axe  $(G, \vec{z})$ .

**Q3.** Après intégration, montrer que le déplacement se met sous la forme  $u_y(x) = A_1 x^3 + A_2 x^2$  où vous préciserez les expressions des constantes  $A_1$  et  $A_2$  en fonction des paramètres du modèle en éliminant les inconnues de la liaison en  $A$ .

On rappelle que le problème étant hyperstatique, le moment de flexion est exprimé en fonction d'inconnues de liaisons qui seront déterminées en appliquant les conditions limites.

On rappelle que la déformation dans une section droite de la poutre est donnée par  $\varepsilon(x) = -y \frac{d\theta}{dx} = -y \frac{d^2 u_y}{dx^2}$ .

**Q4.** Montrer que la déformation sur la peau supérieure de la membrane ( $y = e/2$ ) se met sous forme  $\varepsilon = A_3 + A_4 x$ , où vous préciserez les expressions des constantes  $A_3$  et  $A_4$  en fonction des paramètres du modèle.

Quatre jauges de déformation sont disposées sur la peau extérieure de la membrane (voir figure 4).

**Q5.** Quelle serait la position idéale des jauges de déformation ? En pratique elles sont placées en  $x = L/4$  et en  $x = 3L/4$ ,

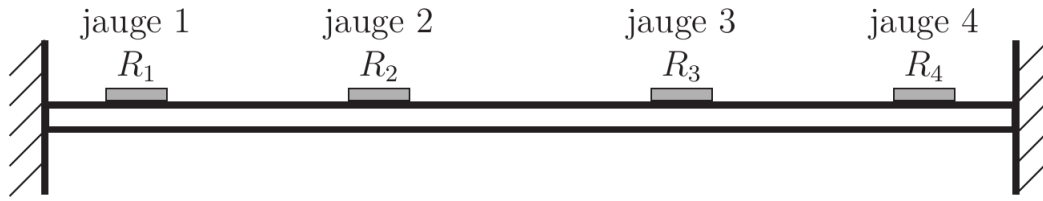


FIGURE 4 – Disposition des jauges de déformation sur la membrane.

donner la valeur des déformations de ces jauges et montrer que  $\varepsilon_1 = -\varepsilon_2 = -\varepsilon_3 = \varepsilon_4 = kF$  où vous donnerez l'expression de  $k$  en fonction des paramètres du modèle.

## II.2 Choix des jauges de déformations

Les jauges de déformation disposées sur la membrane (voir figure 4) subissent une déformation proportionnelle à l'intensité de la force  $F$  appliquée par le piston :  $\varepsilon_1 = -\varepsilon_2 = -\varepsilon_3 = \varepsilon_4 = kF$ .

On cherche maintenant à déterminer la relation entre la variation de la résistance de la jauge de déformation et l'effort presseur  $F$ .

Considérons une jauge de déformation de forme parallélépipédique constituée d'un matériau homogène de résistivité  $\rho$  (s'exprimant en  $\Omega \cdot m$ ). On note  $\ell$  sa longueur,  $a$  et  $b$  ses dimensions transversales,  $s$  sa section droite (voir figure 5).

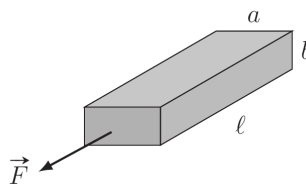


FIGURE 5 – Jauge de déformation.

La résistance électrique  $R$  de ce corps d'épreuve s'exprime au moyen de la relation  $R = \rho \frac{\ell}{s}$

**Q6.** Lorsque la jauge d'épreuve est soumise à une force  $\vec{F}$  appliquée parallèlement à  $\ell$ , elle se déforme :  $\ell$ ,  $s$  et  $\rho$  subissent de petites variations valant respectivement  $\delta\ell$ ,  $\delta s$  et  $\delta\rho$ . Exprimer la variation relative de résistance électrique  $\frac{\delta R}{R}$ .

Les variations de  $\ell$  et de  $a$  et  $b$  ne sont pas indépendantes :  $\frac{\delta a}{a} = \frac{\delta b}{b} = -\nu \frac{\delta\ell}{\ell}$  avec  $\nu$  une constante dépendant du matériau, appelée coefficient de Poisson.

**Q7.** Exprimer  $\frac{\delta R}{R}$  en fonction de  $\frac{\delta\ell}{\ell}$ ,  $\nu$  et  $\frac{\delta\rho}{\rho}$ .

Dans le cas d'un métal,  $\delta\rho$  est lié à la variation  $\delta V$  du volume  $V$  selon la loi  $\frac{\delta\rho}{\rho} = c \frac{\delta V}{V}$ , avec  $c$  une constante appelée constante de Bridgman.

**Q8.** Montrer que  $\frac{\delta R}{R}$  peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{\delta R}{R} = K \frac{\delta\ell}{\ell} \text{ avec } K \text{ une constante appelée facteur de jauge.}$$

Dans le cas d'un semi-conducteur,  $\delta\rho$  est lié à la contrainte  $\sigma = \frac{\|\vec{F}\|}{s}$  selon la loi  $\frac{\delta\rho}{\rho} = \Pi \cdot \sigma$ , avec  $\Pi$  une constante appelée constante de piézorésistivité ; de plus, le module de Young  $E$  du matériau lie la contrainte  $\sigma$  et la déformation  $\frac{\delta\ell}{\ell}$  :  $\frac{\delta\ell}{\ell} = \frac{\sigma}{E}$

**Q9.** Exprimer le facteur de jauge dans le cas d'un semi-conducteur.

On donne :

- Pour le cuivre :  $\nu = 0,3$ ,  $c = 1$  ;      - Pour le silicium :  $\nu = 0,4$ ,  $E = 10^{11}$  Pa,  $\Pi = 10^{-9}$  Pa $^{-1}$ .

**Q10.** Évaluer le facteur de jauge dans le cas du cuivre et dans le cas du silicium. Commenter.

Q11. Quel phénomène peut induire une erreur sur la mesure de la contrainte ?

## II.3 Circuit de conditionnement : pont de Wheatstone

Les 4 jauges semi-conductrices identiques, de résistance  $R_0$  à l'équilibre, sont fixées sur la membrane (voir figure 4). La déformation  $\frac{\delta \ell}{\ell}$  de la jauge placée en  $x$  vaut donc  $\varepsilon(x)$ .

La déformation des jauges conduit à une variation  $\Delta R_i$  ( $i = a, b, c$  ou  $d$ ) de leur résistance. Les 4 jauges sont branchées en pont de Wheatstone, alimenté sous une tension  $V_{alim} = 16$  V. Les bornes  $A$  et  $B$  sont branchées à un amplificateur de résistance d'entrée très grande.

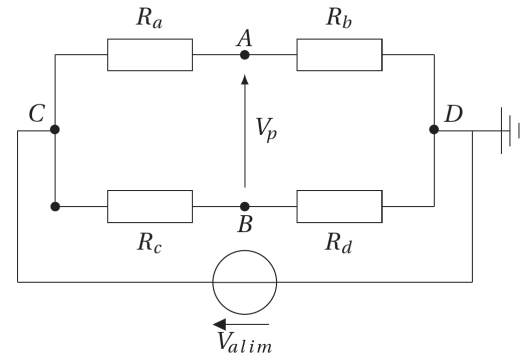


FIGURE 6 – Pont de Wheatstone.

Q12. Déterminer l'expression de la tension  $V_p$  en fonction des paramètres du pont.

À l'équilibre le pont est réglé de manière à avoir  $V_p = 0$ .

Q13. Déterminer la variation de tension  $\Delta V_p$  de  $V_p$  lorsque les résistances subissent des variations  $\Delta R_i$  en fonction des variations  $\Delta R_i, V_{alim}, R_0$ .

Q14. La jauge 1 correspond à la résistance  $R_b$ . Déterminer la position qu'il convient de donner aux autres jauges dans le pont de Wheatstone (autrement dit faire le lien entre les jauges 2, 3 et 4 avec les résistances  $R_a, R_c$ , et  $R_d$  du pont).

Q15. Exprimer la tension  $V_p$  en fonction de  $V_{alim}, \varepsilon_1$  et du facteur de jauge  $K$ .

On considère un capteur de pression constitué d'une membrane en silicium ayant les caractéristiques suivantes :

- surface  $S_m = 4 \text{ mm}^2$  ;
- longueur  $2L = 4 \text{ mm}$  ;
- épaisseur  $e = 0,1 \text{ mm}$  ;
- module d'Young  $E = 10^{11} \text{ Pa}$  ;
- moment d'inertie de la section  $I = 2 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^4$ .

Q16. Établir la relation entre la tension  $V_p$  et la pression  $P = \frac{F}{S_m}$ , puis définir et exprimer la sensibilité de ce capteur de pression en fonction de  $K, e, L, E, I, S_m$  et  $V_{alim}$ .

Q17. Quelle est la tension  $V_p$  obtenue pour une pression de 50 kPa ?

## III Traitement numérique des informations

Le capteur fournit une tension  $u(t)$  qui va subir un traitement informatique par une carte de commande. L'objectif de cette partie est de mettre en place les différents algorithmes permettant de déterminer les pressions diastolique et systolique ainsi que le pouls du patient après avoir filtré numériquement le signal. L'utilisation en milieu hospitalier nécessite la sauvegarde des différentes données dans une base de données afin de réaliser un meilleur suivi du patient.

Les algorithmes demandés au candidat peuvent être réalisés dans le langage Python ou dans le langage Scilab ; toutes les questions seront traitées dans le même langage.

Veillez à apporter les commentaires suffisants à la compréhension de votre programme et à utiliser des noms de variables explicites.

### III.1 Numérisation du signal

Le signal  $V_p(t)$  issu du conditionnement est amplifié pour donner la tension  $u(t)$  fournie par le capteur ; cette tension  $u(t)$  est numérisé par un convertisseur analogique-numérique.

La tension  $u(t)$  mesurée appartient à  $[0, 5 \text{ V}]$  pour une pression comprise entre  $[0, 1350 \text{ HPa}]$ .

La pression affichée est en mmHg, on rappelle que  $1013 \text{ HPa} = 750 \text{ mmHg}$ .

La résolution de l'affichage de la pression est de 1 mmHg, cependant la numérisation du signal nécessite une précision plus importante de l'ordre de 0,02 mmHg maximum.

Le constructeur a, à sa disposition, des convertisseurs analogique-numérique (CAN) dotés d'une résolution de 10 bits, 12 bits et 16 bits.

**Q18.** Déterminer en justifiant votre réponse la résolution du (ou des) CAN permettant de respecter le critère de précision.

On cherche à déterminer la quantité de mémoire nécessaire pour stocker une mesure.

Une mesure peut durer jusqu'à 60 s. La fréquence d'échantillonnage est de 1000 Hz.

L'ensemble des valeurs de la mesure va être stocké dans un tableau.

**Q19.** Choisir un type de stockage pour les valeurs parmi les types suivants : entier relatif codé sur 8, 16, 32 ou 64 bits, entier non signé codé sur 8, 16, 32 ou 64 bits, réel codé sur 32 ou 64 bits. En déduire la quantité de mémoire nécessaire pour stocker le tableau, exprimée en octets (1 octet = 8 bits).

### III.2 Filtrage numérique du signal

La fréquence d'échantillonnage est notée  $f_e$ , la période d'échantillonnage est notée  $T_e$ . Le signal numérisé est stocké dans une liste de taille  $N$ , notée  $U_e$ , contenant l'ensemble des valeurs  $U_e(nT_e)$  accessible par la commande  $U_e[n]$  avec  $n \in \llbracket 0, N-1 \rrbracket$  en Python et par la commande  $U_e(n)$  avec  $n \in \llbracket 1, N \rrbracket$  en Scilab.

Pour simplifier les notations, toute fonction du temps  $U_g(t)$  évaluée au temps  $iT_e$  sera notée  $U_{g,i}$  au lieu de  $U_g(iT_e)$ .

Le signal numérisé est filtré pour supprimer les bruits de mesure et permet d'obtenir le signal filtré numérique  $U_f$  sous forme d'une nouvelle liste  $U_f$ .

Le filtre numérique retenu est un filtre du 2nd ordre modélisé par l'équation différentielle :

[le filtre retenu est un filtre analogique régi par l'équation différentielle suivante. On va simuler l'action de ce filtre analogique sur le signal.]

$$\frac{1}{\omega^2} \ddot{U}_f(t) + \frac{2z}{\omega} \dot{U}_f(t) + U_f(t) = U_e(t)$$

On choisit  $\omega = 20 \text{ rad/s}$  et  $z = 0,7$ .

**Q20.** Justifier succinctement le choix de ces valeurs sachant que la fréquence cardiaque est au maximum de 190 pulsations par minute.

Pour résoudre cette équation différentielle, on utilise le schéma numérique d'intégration de Newmark :

$$\begin{aligned} \dot{U}_{f,i+1} &= \dot{U}_{f,i} + (1 - \gamma)T_e \ddot{U}_{f,i} + \gamma T_e \ddot{U}_{f,i+1} \\ U_{f,i+1} &= U_{f,i} + T_e \dot{U}_{f,i} + T_e^2(1/2 - \beta) \ddot{U}_{f,i} + T_e^2 \beta \ddot{U}_{f,i+1} \end{aligned}$$

où  $\gamma$  et  $\beta$  sont des paramètres de la méthode.

**[Q20,5. (question supplémentaire)** Avec les notations du problème, écrire les relations correspondantes pour le schéma numérique de la méthode d'Euler. On revient pour les questions suivantes au schéma de Newmark.]

**Q21.** En introduisant les relations du schéma de Newmark dans l'équation différentielle exprimée au pas de temps  $(i+1)T_e$ , montrer que la relation de récurrence peut se mettre sous la forme suivante :

$$\ddot{U}_{f,i+1} = B_1 \left( U_{e,i+1} + B_2 \ddot{U}_{f,i} + B_3 \dot{U}_{f,i} + B_4 U_{f,i} \right) \text{ avec } B_1 = \frac{1}{1/\omega^2 + \frac{2z\gamma}{\omega} T_e + T_e^2 \beta}.$$

Vous exprimerez  $B_2$ ,  $B_3$  et  $B_4$  en fonction de  $z, \omega, \beta, \gamma$ .

Afin d'analyser les propriétés de la méthode de Newmark, on résout l'équation différentielle pour un second membre simple avec différents pas de temps, pour un réglage des paramètres  $\gamma$  et  $\beta$  fixé. Les résultats sont synthétisés sur la figure 7.

**Q22.** Qualifier la stabilité du schéma d'intégration en fonction du pas de temps.

**[Q22. (autre version)** La figure 7 représente la réponse à un échelon de tension de 1V. Déterminer l'allure de la solution exacte de l'équation différentielle. Puis, commenter la figure 7.]

On définit l'erreur du schéma d'intégration par  $\eta = \max_{i \in \llbracket 0, N \rrbracket} |U_{f,i} - U_{f,exacte,i}|$ . Le tableau suivant donne l'évolution de l'erreur en fonction du pas de temps.

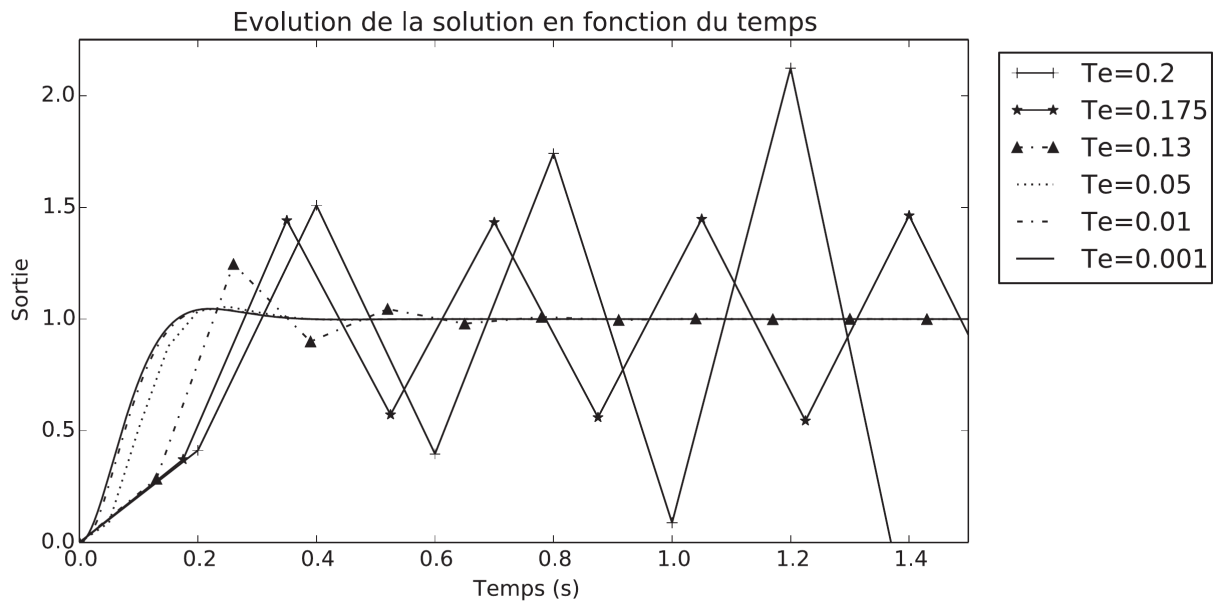


FIGURE 7 – Évolution de la solution en fonction de la valeur du pas de temps  $T_e$ .

$T_e$	0,01	0,001	0,0001
$\eta$	0,05	0,005	0,0005

**Q23.** Étant donné l'évolution de l'erreur, proposer un ordre de convergence associé à la méthode de Newmark dans la configuration donnée.

[**Q23. (autre version)** Proposer un ordre de grandeur de l'erreur  $\eta$  en fonction du pas de temps  $T_e$ .]

Dans le cadre de l'acquisition numérique, la période d'échantillonnage est fixée, donc le pas de temps d'intégration aussi. On rappelle que la fréquence d'échantillonnage est de 1000 Hz.

**Q24.** Conclure quant à la qualité du calcul du signal filtré.

**Q25.** Écrire une fonction `newmark(gamma, beta, omega, z, e, Te)` qui prend en argument les paramètres  $\gamma$  et  $\beta$  de la méthode, les paramètres  $\omega$  et  $z$  du filtre, le signal à filtrer  $e$  et la période d'échantillonnage  $T_e$ . Cette fonction retourne le signal filtré sous la forme d'une liste de même taille que la variable  $e$ . On supposera les conditions initiales nulles. On pourra utiliser directement les constantes  $B_1, B_2, B_3$  et  $B_4$  en les supposant définies comme variables globales.

**Q26.** Proposer une amélioration de la fonction `newmark` afin de minimiser la taille des variables intermédiaires, donner la nouvelle fonction. Si vous pensez avoir déjà un algorithme optimal, précisez-le sur votre copie en justifiant.

### III.3 Détermination des pressions systolique, diastolique

Les courbes de la pression mesurée brute et filtrée sont données sur la figure 8. L'objectif de cette partie est d'analyser la courbe afin d'extraire les données recherchées. On dispose de deux tableaux : `data` contenant la pression mesurée filtrée et `t` contenant le temps associé à chaque mesure (les données sont rangées par temps croissant).

Pour déterminer la pression systolique, il faut parcourir la courbe ; celle-ci présente des successions de bosses et de creux qui seront respectivement nommés maximum local et minimum local. La pression systolique correspond à la valeur du maximum local où le critère

$$\frac{\text{maximum\_local} - \text{minimum\_local}}{\text{minimum\_local}} > 4 \times 10^{-5}$$
 est vérifié pour la première fois en parcourant les données par temps croissant.

**Q27.** Écrire une fonction `pression_systolique(data)` qui prend en argument les données mesurées filtrées et qui retourne la pression systolique. On supposera qu'il est toujours possible de trouver la pression systolique dans le tableau `data`.

La pression diastolique correspond à la valeur du maximum local où le critère

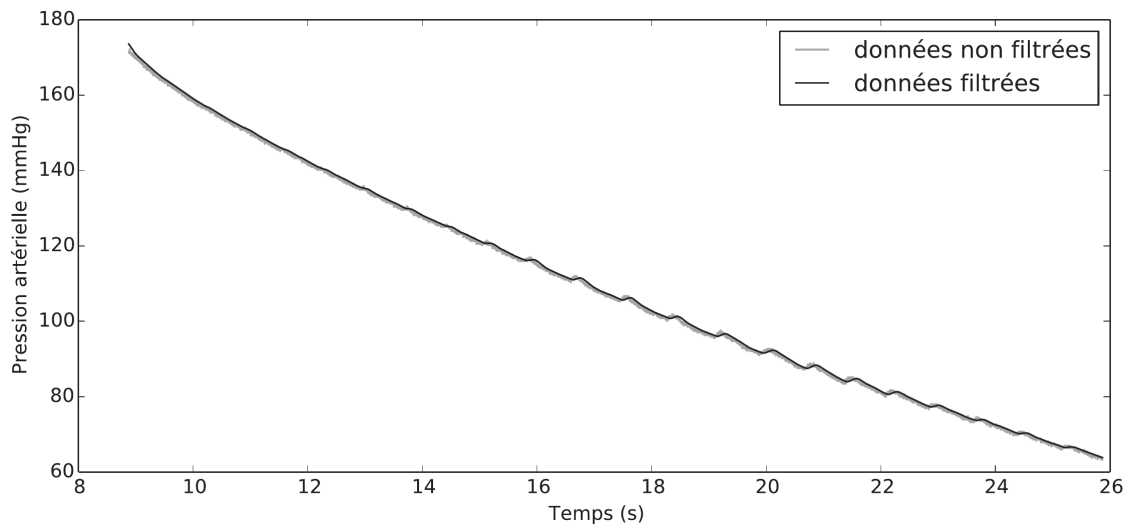


FIGURE 8 – Pression artérielle mesurée brute et filtrée.

$\frac{\text{maximum\_local} - \text{minimum\_local}}{\text{minimum\_local}} > 4 \times 10^{-3}$  est vérifié pour la dernière fois en parcourant les données par temps croissant et que le maximum local reste supérieur à 40 mmHg pour éviter de détecter un bruit numérique.

**Q28.** Écrire une fonction `pression_diastolique(data)` qui prend en argument les données mesurées filtrées et qui retourne la pression diastolique. On supposera qu'il est toujours possible de trouver la pression diastolique parmi dans le tableau `data`.

## IV Stockage et analyse des résultats

Le tensiomètre est utilisé dans le domaine hospitalier lors des visites régulières des infirmières dans les chambres des patients.

Le tensiomètre doit permettre d'enregistrer les différentes constantes pour chaque patient. Après utilisation, le tensiomètre est connecté au réseau de l'hôpital et synchronise ses mesures avec la base de données des patients.

La base de données est composée de plusieurs tables dont :

- patients avec les attributs :

- id : identifiant associé à un patient, clé primaire
- numero\_secu : le numéro de sécurité sociale du patient
- nom : le nom du patient
- prenom : le prénom (ou les prénoms) du patient
- adresse1 : adresse du patient
- adresse2 : complément d'adresse du patient
- code\_postal : code postal de la ville du patient
- ville : ville du patient
- date\_de\_naissance : date de naissance du patient
- telephone : numéro de téléphone
- ...

- mesures avec les attributs :

- id : identifiant associé à une mesure, clé primaire
- type\_m : le type de mesure stockée : résultat d'analyse sanguine, pression artérielle, radio...
- dateheure : la date et l'heure de l'examen sous la forme '2016-01-01 00 :00 :00'
- pid : identifiant du patient associé à la mesure
- pdias : pression diastolique en mmHg.
- psyst : pression systolique en mmHg.
- pouls : pouls en pulsations par minute.
- ...

Remarque : Les tables contiennent bien d'autres attributs, la base de données d'autres tables, seuls les éléments nécessaires à la suite ont été mis en place.

**Q29.** Rappeler en quelques lignes l'utilité d'une clé primaire dans chacune des tables et dire si un autre attribut des tables aurait pu servir de clé primaire.

Pour le besoin du suivi médical des patients, les médecins doivent pouvoir avoir accès à l'évolution des constantes en fonction du temps lors d'une hospitalisation.

À l'aide d'une interface graphique non étudiée ici, le médecin peut sélectionner les données à extraire entre deux dates qui seront stockées dans les variables `time1` et `time2` stockées dans le format de `dateheure`. Il souhaite tracer les évolutions des pressions systolique, diastolique et le pouls entre ces deux dates.

**Q30.** Donner la requête SQL à envoyer au serveur de gestion de la base de données permettant de récupérer la valeur des champs `dateheure`, `pdias`, `psyst` et `pouls` entre les deux dates `time1` et `time2` (stockées dans le format de `dateheure`).

La requête précédente renvoie toutes les mesures sans distinction de type de mesures et sans que ce soit lié à un unique patient.

Le médecin a sélectionné un patient avec son identifiant unique `id`, cette valeur est stockée dans la variable `id_patient`.

**Q31.** Donner la requête SQL à envoyer au serveur de gestion de la base de données permettant de récupérer la valeur des champs précédents entre les deux mêmes dates, pour le patient `id_patient` et pour un type de mesures '`tension`'.

La requête est envoyée et traitée à l'aide d'une fonction `traitement_requete(requete)` qui retourne un tableau `resultat_requete` dont la première colonne est le champ `dateheure`, la deuxième le champ `psyst`, la troisième le champ `pdias` et la dernière `pouls`.

On supposera pour simplifier que la valeur de la colonne `dateheure` est comprise comme un entier par le langage de programmation retenu et qu'il peut être utilisé directement comme abscisse des graphiques à produire dans la question suivante.

**Q32.** Donner la séquence d'instructions permettant de tracer un graphique comportant l'évolution des pressions diastolique et systolique ainsi que le pouls en fonction du temps. Vous veillerez à mettre des titres et légendes sur le graphique.

Vous utiliserez des styles de lignes différents pour chaque ligne dont vous explicitez en commentaire le résultat visuel (couleur, type de trait : continu, pointillé...). Des éléments de documentation sont donnés en annexe.

À côté du graphique, le médecin souhaite avoir les valeurs minimale, maximale, moyenne et médiane de chacune des constantes.

**Q33.** Écrire une fonction `analyse(valeurs)` qui prend en argument une liste de valeurs et qui retourne le minimum, le maximum et la moyenne.

**[Q33. (autre version)** *Écrire une requête SQL qui renvoie le minimum, le maximum et la moyenne des valeurs précisées à la question Q31.*]

**Q34.** Déterminer la complexité de votre fonction `analyse(valeurs)` en fonction de la taille de la liste de valeurs notée  $n$  dans le meilleur et le pire des cas. Vous calculerez pour cela le nombre de comparaisons et d'opérations (addition, soustraction, division, multiplication) réalisées.

**Q35.** À l'aide d'une méthode de tri de votre choix que vous explicitez, écrire une fonction `mediane(valeurs)` qui prend en argument une liste de valeurs et qui renvoie la valeur de la médiane.

**Q36.** Déterminer la complexité de votre fonction dans le meilleur et dans le pire des cas en comptant le nombre de comparaisons effectuées. Votre méthode est-elle efficace ? Justifier.

Le médecin souhaite obtenir les nom, prénom et le numéro de téléphone des patients qui ont eu une pression systolique supérieure strictement à 160 mmHg, une pression diastolique supérieure strictement à 110 mmHg, avec un pouls compris strictement entre 100 et 150.

**Q37.** Écrire la requête SQL à envoyer au serveur de gestion de la base de données permettant de répondre à la demande du médecin.