HAL
open science

LA CIRCULATION EXTRACORPORELLE PULSÉE PAR L'ASSOCIATION D'UNE POMPE SOLÉNOÏDE EN AVAL D'UNE POMPE A GALETS.

Richard Null Venet, T. Dupont, Philippe Leger, Alain Pavie

To cite this version:

Richard Null Venet, T. Dupont, Philippe Leger, Alain Pavie. LA CIRCULATION EXTRACORPORELLE PULSÉE PAR L'ASSOCIATION D'UNE POMPE SOLÉNOÏDE EN AVAL D'UNE POMPE A GALETS.. 2009. hal-00424310

HAL Id: hal-00424310

https://hal.science/hal-00424310

Preprint submitted on 15 Oct 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LA CIRCULATION EXTRACORPORELLE PULSÉE PAR L'ASSOCIATION D'UNE POMPE SOLÉNOÏDE EN AVAL D'UNE POMPE A GALETS.

R. VENET, T. DUPONT, P. LEGER, A. PAVIE.

Service de chirurgie cardiaque. Institut du cœur (Pr PAVIE). Hôpital Pitié-Salpêtrière 75013 Paris.

Mots clés. Débit pulsé, Circulation extracorporelle pulsée, pompe solénoïde

I. RÉSUMÉ.

Le but de ce travail est d'étudier l'hydraulique et l'hémodynamique d'une pompe originale inventée en 1798, permettant l'obtention d'un débit pulsé : la pompe solénoïde (PS). Les résultats hydrauliques nous ont amené à réaliser une association en série d'une pompe à galets qui règle le débit et la pompe solénoïde en aval qui modifie l'amplitude de la pression pulsée.

II. INTRODUCTION.

En 1966 Réménérias[1] proposait un nouveau type de pompe d'assistance circulatoire : la pompe solénoïde La théorie de cette pompe a été décrite par Bergeron[2] : il s'agit d'un tuyau enroulé autour d'un cylindre qui oscille sous l'action d'un système bielle manivelle. Ce mouvement engendre une pression sinusoïdale de grande amplitude. Nous avons construit une pompe de ce type, étudié ses performances hydrauliques et hémodynamiques sur l'animal de laboratoire.

III. MATÉRIELS ET MÉTHODES.

Théorie de la pompe solénoïde (figure 1). Un tuyau est enroulé autour d'un cylindre et les extrémités du tuyau sont ramenées dans l'axe du solénoïde **xy** ainsi formé dans des paliers A et B. Le tuyau d'aspiration Bα est muni d'un clapet C et le tuyau de refoulement se termine par un réservoir R. Le cylindre oscille autour de l'axe **xy** d'un angle Ω.

Soit **s** la section d'une spire perpendiculairement à l'axe et **n** le nombre de spires la pression H (charge) engendrée sera : $H = -\frac{2}{g} ns \frac{d\Omega}{dt} = +\frac{2}{g} ns\Omega_m \frac{2\pi}{T} \sin\frac{2\pi t}{T}$ équation 2.

L'oscillation de ce solénoïde engendre entre A et B une différence de pression proportionnelle :

1. au nombre de spires **n**
2. à la surface de la spire **s**
3. à la fréquence des oscillations $\frac{1}{T}$

4. à la vitesse angulaire maxima Ω_m avec $\Omega_m = \alpha \frac{2\pi}{T}$

Cette différence H de pression est sinusoïdale. Dès qu'elle dépasse la hauteur **h** entre les niveaux d'aspiration et de refoulement le clapet **C** s'ouvre et le débit commence à s'écouler. Bergeron a calculé que la pression maximum H_m est $H_m = \frac{2}{g} ns\Omega_m \frac{2\pi}{T}$

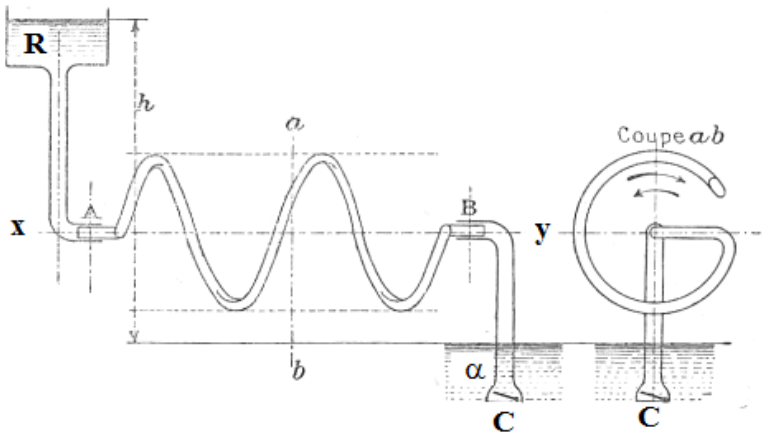


Figure 1. La pompe solénoïde[2].

Construction d'un prototype (figure 2). Pour obtenir des pressions suffisantes nous avons construit empiriquement une pompe avec les caractéristiques suivantes :

- diamètre du cylindre 20 cm,
- n=8 spires de ligne artérielle de polyuréthane pour circulation extracorporelle de 0.9 cm de diamètre intérieur,
- Cette pompe nécessite à la sortie ou à l'entrée de la conduite la présence d'un clapet anti-retour.
- enfin angle $\Omega = 60$ °.

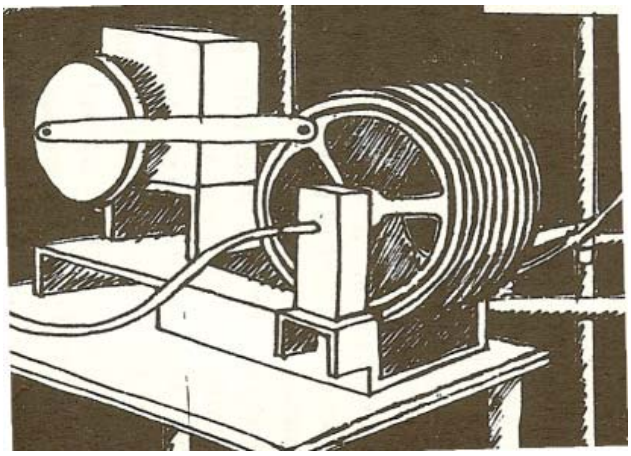


Figure 2. Notre prototype avec le système bielle-manivelle à l'origine de l'oscillation.

Les mesures. Les pressions et les débits sont mesurés à la sortie de la conduite aval. A l'aide d'une pince on augmente la résistance à l'écoulement de la conduite de sortie afin de déterminer la courbe caractéristique de la conduite.

L'index d'hémolyse calculé sur du sang de chien. C'est la quantité d'hémoglobine plasmatique mesurée pour 100 litres de sang pompé, dans notre cas pendant 3 heures.

Etude hémodynamique. Une circulation extracorporelle est réalisée sur l'animal de laboratoire. Les pressions sont mesurées au niveau de l'artère fémorale, le débit sanguin est mesuré sur l'artère fémorale controlatérale à l'aide d'un doppler pulsé.

IV. RÉSULTATS.

1) Résultats hydrauliques de la pompe seule.

La figure 3 représente la pression obtenue à la sortie de la conduite pour une fréquence donnée.

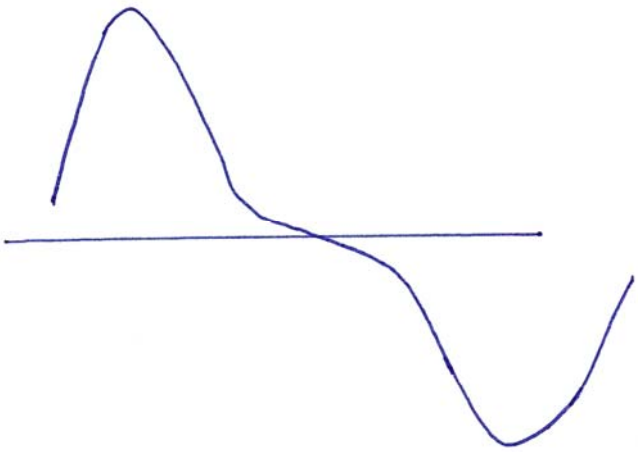


Figure 3. Courbe de la pression instantanée engendrée par le prototype de la figue 2.

Cette courbe est loin de la courbe théorique proposée par Bergeron[2] (figure 4).

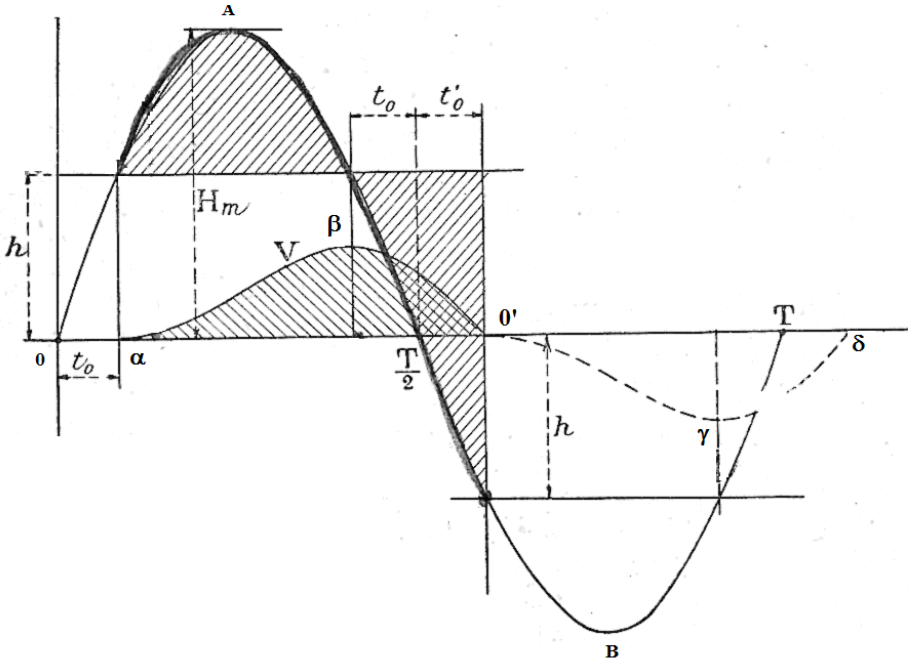


Figure 4. Courbes de la vitesse V (αβ0'γδ) d'écoulement à travers la pompe solénoïde débitant sur une hauteur constante **h** et de la pression instantanée 0ABC. Bergeron[2]

Les courbes caractéristiques (figure 5) de la pompe solénoïde sont des verticales, identiques en cela aux courbes caractéristiques des pompes à piston ou à la pompe à galets. Mais hélas si les pressions obtenues sont élevées les débits sont faibles, le débit maximum enregistré est de Q4 = 3 l/mn. **Ce résultat rend rédhibitoire l'application à la circulation extracorporelle.**

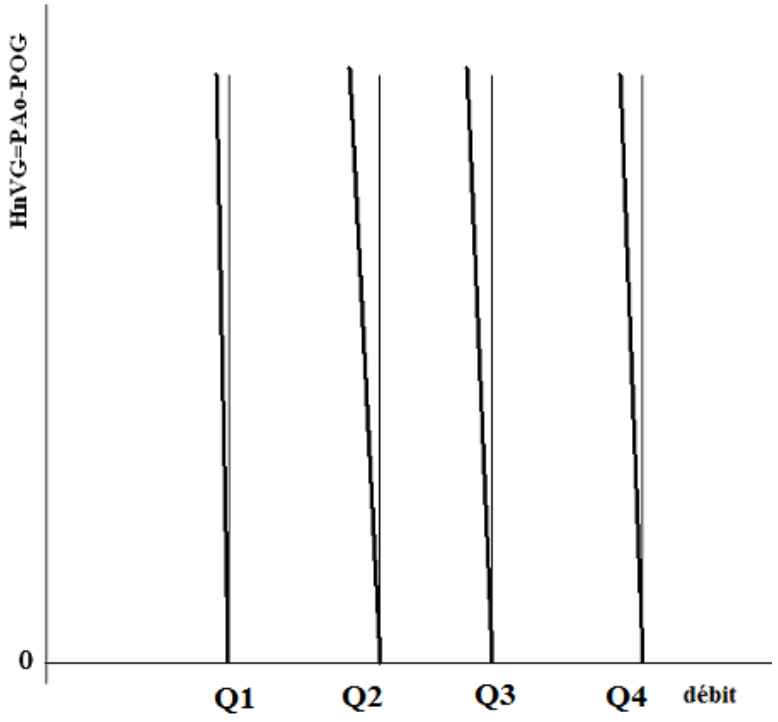


Figure 5. Courbes caractéristiques de la pompe solénoïde. Q4 = 3l/mn.

2) Résultats de l'hémolyse. **L'index d'hémolyse de la pompe solénoïde seule, avec la présence d'un clapet anti-retour est très élevé rendant rédhibitoire son application chirurgicale**. Nous avons alors imaginé que la pompe solénoïde (PS) pouvait servir de pulsateur en aval d'une pompe à galets (PàG). L'avantage d'un tel montage est la disparition du clapet anti-retour et la possibilité d'agir sur le débit et la pression de manière indépendante. Le débit est réglé par la pompe à galets et la pression par la fréquence de l'oscillation. La figure 6 représente le montage que nous avons expérimenté sur banc hydraulique puis sur l'animal de laboratoire.

Dans ce nouveau montage expérimental l'index de l'hémolyse est celui de la pompe à galets, que la pompe solénoïde soit en mouvement ou non. Les courbes de la pression instantanée et du débit étaient identiques à celles enregistrées à cœur battant. Mais hélas le volume de liquide contenu dans la ligne artérielle diminuait considérablement l'hématocrite. En effet 8 spires sur un cylindre de 20 cm de diamètre correspondent à une longueur de la ligne artérielle de 5.30 m, soit un volume de 500 ml uniquement pour le solénoïde.

La pompe solénoïde reste donc une pompe de laboratoire permettant de simuler le débit et la pression pulsée le plus physiologiquement possible, mais dont l'application clinique est impossible.

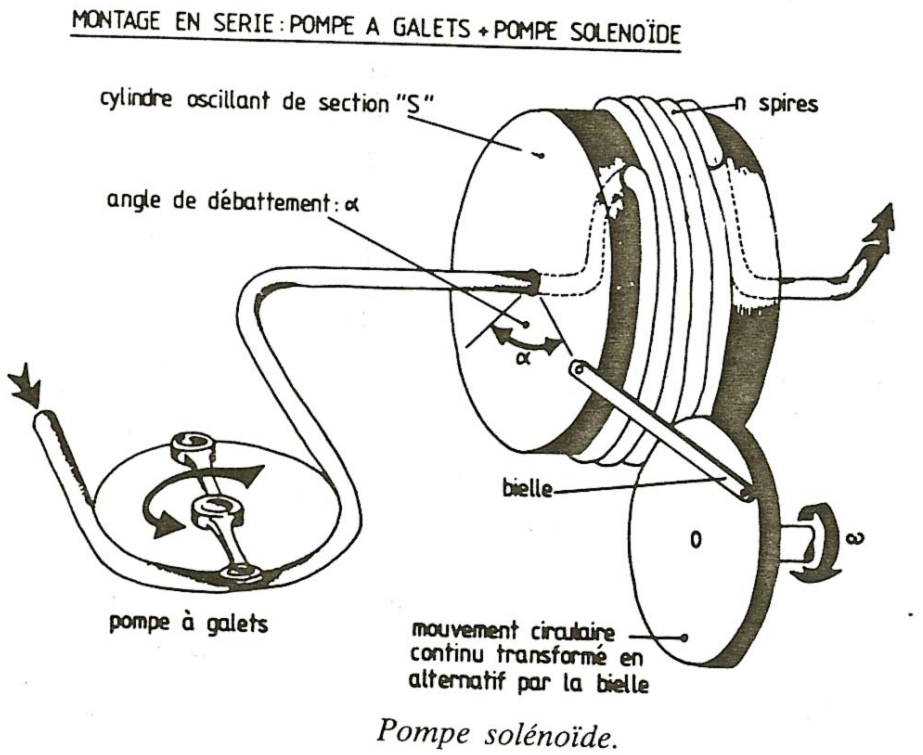


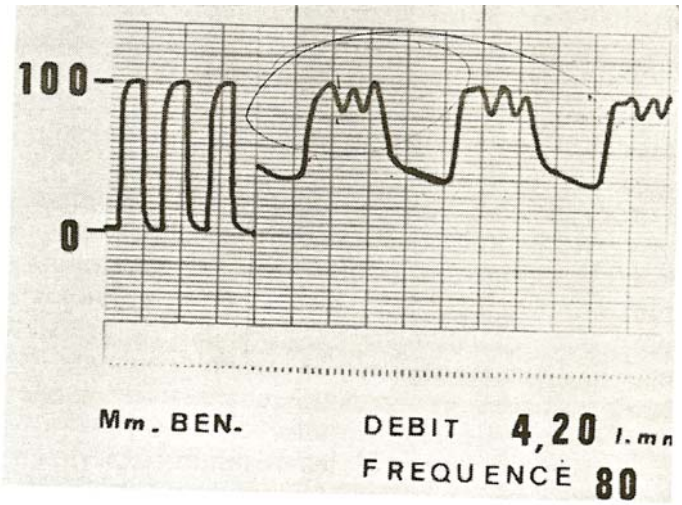
Figure 6. Montage de la pompe solénoïde en aval d'une pompe à galets pour réaliser une CEC pulsée. Le débit est réglé par la vitesse de rotation de la pompe à galets et la pression pulsée est donnée par la fréquence de la bielle-manivelle. (La CEC pulsée. État actuel et perspectives. A. PAVIE, F. BAUD, R. VENET, H. LASNIER, C. CABROL. *Cœur. XV, 1,41-45*)

V. DISCUSSION.

Historiquement la pompe solénoïde a été inventée par L.M. Viallon[3] en 1798. La figure 7 est extraite du Journal de Physique 21 du Messidor an V, elle représente une pompe à double effet. L'intérêt de cette pompe était pour son inventeur d'élever une eau avec des sédiments d'une grande hauteur en utilisant comme seule force la force musculaire. Viallon envisageait l'utilisation de son invention sur les bateaux pour écoper l'eau des soutes. Le point de départ de son invention dérive du bélier hydraulique inventé par les frères Montgolfier en 1798.

Parmi les pompes simples, seule la pompe solénoïde est capable de simuler une pression de type physiologique. D'autres pompes ont été utilisées pour la circulation extracorporelle (CEC). Nous avons étudié l'hémodynamique d'une CEC pulsée par l'intermédiaire d'une pompe Cobe-Stockert chez un patient bénéficiant d'un pontage coronarien. La pression artérielle est enregistrée au niveau de l'artère radiale droite (figure 7). Nous avons enregistré

le débit de l'artère carotide primitive droite par Doppler pulsé[4]. A partir du signal du débit de la carotide nous avons calculé la différence de pression ΔP à l'origine du débit en utilisant l'algorithme de Womersley.



Exemple de gradient systolo-aortique obtenu à l'aide d'une pompe de type « Cobe Stockert ».

Figure 7. Enregistrement de la pression artérielle au niveau de l'artère radiale droite[4].

La figure 8 représente le débit au niveau de l'artère carotide primitive droite en fonction du temps. On remarque une succession de trains d'ondes trapézoïdales principales de durée T créant une période T'. C'est à partir de cette période T' que l'on calcule la fréquence $N = \frac{1}{T'}$ de la pompe de CEC. On remarque cependant que les plateaux des ondes trapézoïdales sont eux-mêmes marqués par des ondelettes **v** de fréquence élevée **f1.**

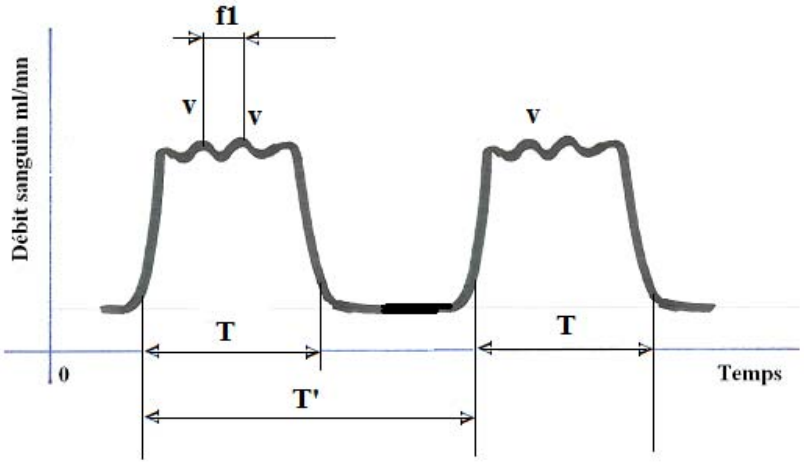


Figure 8. Débit enregistré au niveau de l'artère carotide primitive droite[4].

Analysons maintenant la figure 9 qui est déterminée par l'analyse du signal de la figure 9 selon l'algorithme de Womersley[5, 6, 7, 8]. On remarque que les plateaux de chaque onde principale de période T' sont marqués par des ondes α de grande amplitude et de fréquence élevée.

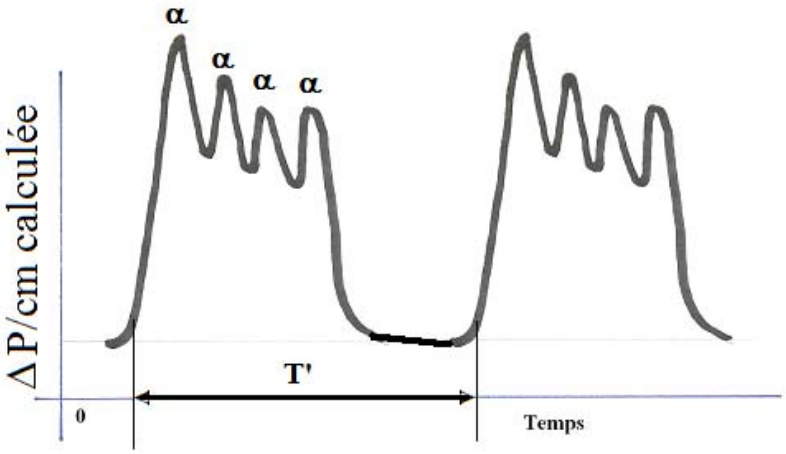


Figure 9. C.E.C. pulsée par pompe COBE STOCKERT pulsée. Détermination de la DP à partir du signal du débit sanguin enregistré au niveau de l'artère carotide primitive droite par Doppler pulsé de la figure 9.

Ces ondelettes α sont le témoin des passages rapides des galets de la pompe de CEC. Il ne s'agit donc pas d'une similitude physiologique du débit pulsé du cœur natif. On voit toute la puissance du calcul de l'algorithme de Womersley [5, 6, 7, 8]. Cette comparaison entre le débit pulsé par la pompe solénoïde et le débit pulsé engendré par la pompe à galets modifiée de type Cobe montre l'avantage de la PS au détriment de la pompe à galets, cette dernière créant un pseudo-pulsé. Mais hélas la PS n'est pas applicable à l'homme.

VI. CONCLUSION.

L'association d'une pompe solénoïde en aval permet d'obtenir un débit pulsé physiologique. Mais le volume de dilution imposée par les spires rend son application difficile. Cependant ce travail permet de mettre en doute la réalité du débit pulsé par une simple pompe à galets modifiée pour accélérer puis arrêter le débit créant un débit rapide en créneau, loin de la réalité physiologique.

Bibliographie :

1. DEVIN R. et all. Assistance circulatoire par prothèse ventriculaire gauche. La houille blanche. Numéro spécial : l'hydraulique du point de vue médical. 1966. 2. p 180
2. BERGERON L. Pompe solénoïde. In machines hydrauliques. Dunod. Paris. 1928. p 533-544
3. VIALLON L.M. Journal de Physique. Paris. Tome III. 1798 (21 Messidor an V). p 688-697 (erreurs de pagination : 688, 289, 690 etc…)
4. A. PAVIE, F. BAUD, R. VENET, H. LASNIER, C. CABROL. La CEC pulsée. État actuel et perspectives. *Cœur. XV, 1,41-45*
5. R. VENET, P. LEGER, A. PAVIE : Débit sanguin pulsé. Relation pression-débit en régime pulsé. Algorithme de Womersley. http://fr.calameo.com/books/000018760d3f33cbfc395
6. R. VENET, P. LEGER, A. PAVIE : Evolution dans le temps du profil de la vitesse du sang dans une artère fémorale de chien. http://fr.calameo.com/books/000018760376cffd5885b
7. R. VENET, P. LEGER, A. PAVIE : Profil de la vitesse du sang dans une artère fémorale de chien. http://fr.calameo.com/books/0000187605bba9d51a379

8. R. VENET, P. LEGER, A. PAVIE : Profil des vitesses dans une artère en régime oscillatoire. http://fr.calameo.com/books/000018760cead10f1cb80

JOURNAL
DE PHYSIQUE, DE CHIMIE, D'HISTOIRE NATURELLE ET DES ARTS,

AVEC DES PLANCHES EN TAILLE-DOUCE;

PAR J.-CL. DELAMÉTHERIE.

NIVOSE, an 6. (JANVIER 1798 *v. st.*).

TOME TROISIÈME.

Tome 46

A PARIS,

Chez DUGOUR, Libraire, rue & maison Serpente.

AN 6 DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.