

## Une étonnante découverte sur le pouls

Gabrielle Laloy-Borgna, Stefan Catheline

Laboratoire de thérapie et applications ultrasonores, (LabTAU), Inserm, centre Léon Bérard, université Lyon 1, Univ Lyon, Lyon, France.

[gabrielle.laloy-borgna@inserm.fr](mailto:gabrielle.laloy-borgna@inserm.fr)  
[stefan.catheline@inserm.fr](mailto:stefan.catheline@inserm.fr)

› L'onde de pouls, connue depuis l'Antiquité, est aujourd'hui couramment utilisée pour mesurer la fréquence cardiaque d'un sportif ou d'une personne inanimée, mais aussi pour évaluer l'état de santé des artères. En effet, lors de la systole ventriculaire, l'afflux de sang à l'entrée de l'aorte dilate localement cette artère, et est à l'origine d'une onde mécanique qui se propage le long de l'arbre artériel. Sa vitesse de propagation est directement reliée à l'élasticité des parois artérielles, permettant d'évaluer « l'âge des artères » et donc le risque d'accident cardio-vasculaire. Cependant, elle n'est pas encore utilisée en routine médicale, en partie à cause de la difficulté à la mesurer précisément.

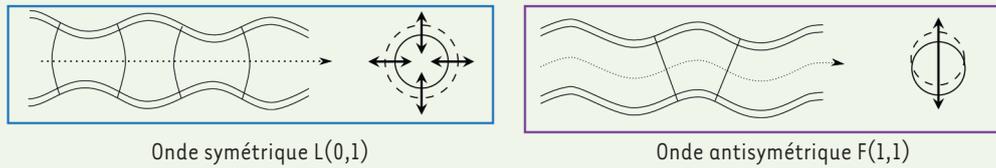
En essayant de mesurer la vitesse de l'onde de pouls avec un nouvel appareil censé détecter un pouls dans la rétine, nous avons fait cette découverte étonnante : l'existence d'un « second pouls ». L'objectif initial était de déterminer si cette méthode d'imagerie de haute résolution – l'holographie laser Doppler [1] – permettait de mesurer la vitesse de propagation de l'onde de pouls en enregistrant le mouvement de vaisseaux sanguins situés dans le fond de l'œil. Sur ces artères de très petit diamètre (environ 60 µm), nous n'avons pas réussi à détecter l'onde recherchée, mais nous avons en revanche découvert une deuxième onde de pouls se propageant à une vitesse de 1 à 10 millimètres par seconde, soit environ 1000 fois plus lentement que l'onde de pouls conventionnelle. Cette deuxième onde est également sensible à l'élasticité artérielle [2].

Mais quelle est alors la différence entre ces deux ondes de pouls, qui se propagent à des vitesses si différentes ? De même qu'il existe plusieurs manières de déformer un tube, auquel on peut assimiler l'artère, il existe deux types d'ondes mécaniques pouvant s'y propager [3-5]. L'onde de pouls conventionnelle correspond à une variation locale du diamètre du tube, tandis que la seconde onde de pouls, dite « onde de flexion », correspond à une translation du diamètre perpendiculairement à l'axe du tube<sup>1</sup> (Figure 1). Les équations issues de la mécanique des solides ont permis de confirmer à la fois la coexistence de ces deux ondes mécaniques de déformation de l'artère, mais également leur grande différence de vitesse de propagation.

Si cette déformation en flexion peut se propager le long des micro-artères de la rétine, elle se propage aussi le long d'autres artères du corps humain. En effet, en enregistrant les mouvements des parois de l'artère carotide dans le cou par échographie (Figure 2A), nous avons pu identifier une signature des deux types d'ondes : d'une part l'onde de pouls conventionnelle, axisymétrique, contemporaine de la systole cardiaque, et d'autre part, l'onde de flexion, identifiable entre les systoles (Figure 2B). En séparant ces deux ondes, nous avons pu mesurer indépendamment les vitesses de chacune, et constater que l'onde de flexion se propage à une vitesse au

moins dix fois inférieure à l'onde de pouls axisymétrique déjà connue. Depuis les travaux de Thomas Young (1808) [6], corrigés par Amé-Henri Resal (1876) et désormais connus sous le nom d'équation de Moens-Korteweg [7, 8], on sait que l'onde de pouls conventionnelle se propage à une vitesse reliée à la rigidité de la paroi artérielle. D'où son utilité en médecine comme indicateur du risque d'accident vasculaire : plus une artère vieillit, plus elle se rigidifie, et plus la vitesse de propagation de l'onde dans cette artère augmente [9]. Ce sera aussi probablement le cas de l'onde de flexion, mais avec un avantage considérable sur l'onde de pouls conventionnelle : l'onde de flexion se propageant beaucoup moins vite, il ne sera pas nécessaire de mesurer sa propagation sur de grandes longueurs de l'artère. En témoigne la détection de cette nouvelle onde sur de courts segments (environ 1 mm) des petites artères de la rétine. Toutefois, avant de pouvoir utiliser couramment la vitesse de propagation de l'onde de flexion comme un nouvel élément renseignant sur le vieillissement des artères, il reste à établir les équations de cette propagation afin de préciser sa relation avec l'élasticité des vaisseaux, notamment ceux de petit diamètre, et à confirmer l'intérêt médical de sa mesure par des essais cliniques. La possibilité d'enregistrer cette onde de flexion devrait également accroître notre connaissance du système veineux, puisque, contrairement à l'onde de pouls déjà connue, elle se propage également le long des veines. Sa découverte ouvre ainsi la voie à un nouveau champ de recherche : la caractérisation mécanique des veines.

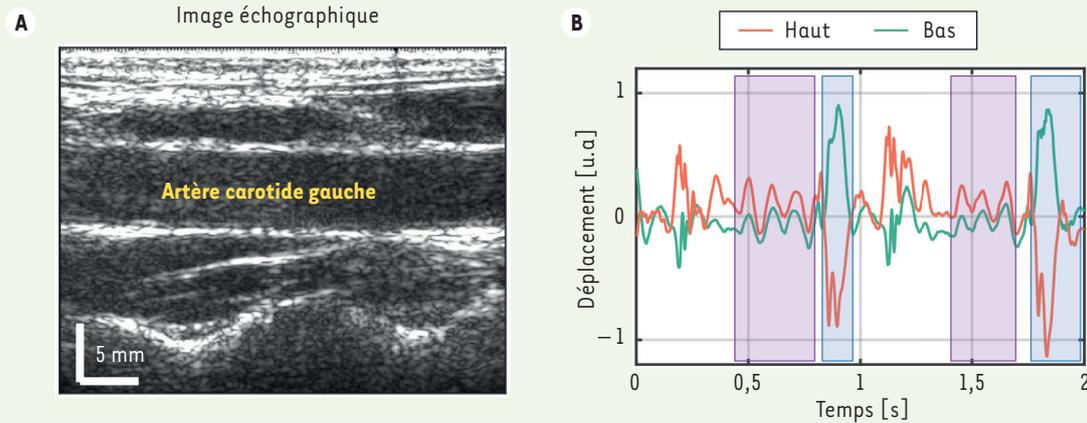
<sup>1</sup> Pour illustrer ces deux types de déformation d'un tube, on peut associer le pouls conventionnel à un serpent qui digère sa proie, tandis que le second pouls correspondrait à l'ondulation du serpent qui se déplace.



Onde symétrique L(0,1)

Onde antisymétrique F(1,1)

**Figure 1.** Représentation schématique de la déformation de l'artère lors du passage de l'onde de pouls « conventionnelle », axisymétrique et rapide (à gauche), et de la seconde onde de pouls, dite « onde de flexion », beaucoup plus lente (à droite).



**Figure 2.** Enregistrement sur l'artère carotide gauche humaine. **A.** Observation du déplacement des parois de l'artère carotide à l'aide d'un échographe (barre d'échelle: 5 mm). **B.** Signaux de déplacement des parois opposées, désignées par « haut » (en rouge) et « bas » (en vert), mettant en évidence des instants où l'onde de pouls est symétrique (zones colorées en bleu), et d'autres instants où elle est antisymétrique (zones colorées en violet). u.a. : unités arbitraires.

Il existe donc non pas une, mais deux ondes de pouls distinctes, correspondant à deux manières de déformer une artère, soit par la variation locale de son diamètre en conservant une symétrie cylindrique, soit par fléchissement de l'artère sans changer son diamètre local. Cette découverte résout certains désaccords entre les valeurs très différentes de la vitesse de propagation de l'onde de pouls mesurées précédemment par les équipes de chercheurs travaillant sur les vaisseaux rétinien.  $\diamond$

**A surprising discovery about the pulse**

#### LIENS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt concernant les données publiées dans cet article.

#### RÉFÉRENCES

1. Puyo L, Paques M, Fink M, et al. In vivo laser Doppler holography of the human retina. *Biomed Opt Express* 2018 ; 9 : 4113-29.
2. Laloy-Borgna G, Puyo L, Nishino H, et al. Observation of natural flexural pulse waves in retinal and carotid arteries for wall elasticity estimation. *Sci Adv* 2023 ; 9 : eadfl783.
3. Gazis DC. Three-dimensional investigation of the propagation of waves in hollow circular cylinders. I. Analytical foundation. *J Acoust Soc Am* 1959 ; 31 : 568-73.
4. Gazis DC. Three-dimensional investigation of the propagation of waves in hollow circular cylinders. II. Numerical results. *J Acoust Soc Am* 1959 ; 31 : 573-8.
5. Nishino H, Takashina S, Uchida F, et al. Modal analysis of hollow cylindrical guided waves and applications. *Jpn J Appl Phys* 2001 ; 40 : 364-70.
6. Young TI. The Croonian lecture. On the functions of the heart and arteries. *Phil Trans R Soc* 1809 ; 99 : 1-31.
7. Moens AI. Over de voortplantingssnelheid van den puls [Sur la propagation de l'onde de pouls]. 1877; Thèse de doctorat, Leiden (Pays-Bas).
8. Korteweg DJ. Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in elastischen Röhren [Sur la transmission du son par les fluides renfermés dans les tubes à parois élastiques]. *Annalen der Physik* 241 : 525-42. Publication originale en 1878.
9. Sutton-Tyrrell K, Najjar SS, Boudreau RM, et al. Elevated aortic pulse wave velocity, a marker of arterial stiffness, predicts cardiovascular events in well-functioning older adults. *Circulation* 2005 ; 111 : 3384-90.



Tarifs d'abonnement m/s - 2023

**Abonnez-vous**  
à **médecine/sciences**

> Grâce à m/s, vivez en direct les progrès  
des sciences biologiques et médicales

Bulletin d'abonnement page 984  
dans ce numéro de m/s

