

## MESURE DE LA RIGIDITÉ ARTÉRIELLE

La détermination de la rigidité aortique par la mesure de la vitesse de l'onde de pouls carotido-fémorale (VOPcf) a été inscrite dès 2007 sur la liste des mesures qui devraient être réalisées chez l'hypertendu pour détecter une atteinte des organes cibles. Les recommandations 2013<sup>1</sup> de la Société Européenne d'Hypertension (ESH) et de la Société Européenne de Cardiologie (ESC) positionnent la mesure de la VOPcf en classe IIa (« poids de l'évidence/opinion en faveur de l'efficacité/utilité ») avec un niveau de preuve « B ».

(<http://www.escardio.org/guidelines-surveys/esc-guidelines/Documents>)

La mesure de la VOPcf fait donc partie de l'évaluation du risque cardiovasculaire (CV) global, en permettant de détecter une atteinte du système artériel en tant qu'organe cible de l'HTA. La valeur de la VOPcf en tant que critère de substitution (i.e. la diminution de la VOPcf prédit la réduction des événements CV au cours du traitement) n'a pas encore été démontrée et fait l'objet de l'étude SPARTE, décrite plus loin.

### PARAMÈTRES DE RIGIDITÉ ARTÉRIELLE ET SIGNIFICATION PHYSIOLOGIQUE

La rigidité artérielle représente la capacité qu'ont les gros troncs artériels proximaux d'amortir la pulsativité artérielle qui existe au niveau de l'aorte ascendante et de la transformer en un débit continu au niveau des artérolas, de manière à protéger les organes cibles de l'hyperpulsativité. Les mesures de rigidité systémique, locale ou régionale, décrites plus loin, sont des mesures directes, tandis que les mesures de pression systolique ou pulsée carotidienne (PASC et PPC) ou aortique (PASA et PPA), et de l'index d'augmentation (Alx) ne sont que des estimations indirectes de la rigidité artérielle. L'avantage de ces dernières mesures est de renseigner sur la charge tensionnelle systolique ou pulsée qui s'exerce sur les organes cibles. L'index d'augmentation ( $Alx = \text{pression d'augmentation} / \text{pression pulsée} = P2 / (P1 - P3)$  sur la figure) renseigne sur l'amplitude des ondes de réflexion, qui dépend à la fois du niveau de vasoconstriction périphérique, du remodelage interne des petites artères et de la vitesse de propagation de l'onde de pouls.

### RIGIDITÉ ARTÉRIELLE SYSTÉMIQUE, LOCALE ET RÉGIONALE

La rigidité artérielle peut être mesurée de manière non-invasive à différents sites artériels et de diverses manières.

#### • Rigidité artérielle systémique ou locale

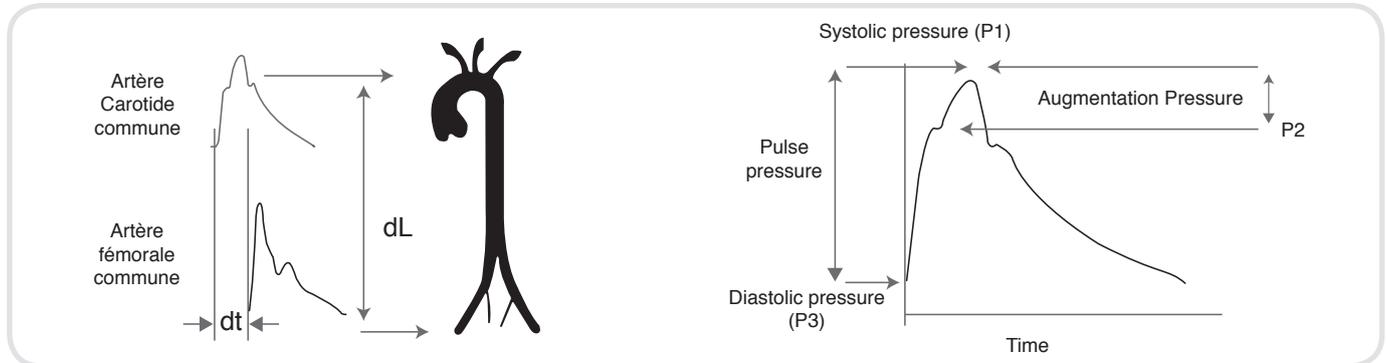
Les mesures systémiques font appel à des techniques élaborées (mesure simultanée du débit et de la pression aortiques) peu adaptées à la routine clinique. Les mesures locales reposent sur l'échographie de haute résolution et la tonométrie d'aplanation. Elles concernent l'artère carotide commune et l'artère fémorale commune. Il s'agit pour l'instant de méthodes de recherche clinique, en l'absence de démonstration de leur valeur prédictive pour les événements cardiovasculaires (CV).

#### • Rigidité artérielle régionale

Les mesures régionales sont les plus utilisées en pratique clinique. Un document de consensus<sup>2</sup> établi en 2006, a défini la VOPcf comme l'étalon or de la mesure de la rigidité artérielle, car il s'agit d'une mesure non-invasive simple, robuste et répétable. Par ailleurs, un nombre important d'études épidémiologiques ont démontré sa valeur prédictive pour de nombreux événements incluant la mortalité totale, la mortalité CV, la survenue d'événements coronaires et d'accidents vasculaires cérébraux (AVC), la récupération fonctionnelle après AVC, la mise en hémodialyse, et la survenue d'une hypertension artérielle. Ces résultats ont été confirmés par deux méta-analyses sur données publiées<sup>3</sup> et sur données individuelles<sup>4</sup>. Pour ces raisons, cette fiche technique ne détaillera que la mesure de la VOP régionale.

## PRINCIPES DE MESURE DE LA VOP RÉGIONALE

La mesure de la VOPcf est basée sur le principe physique que la propagation d'une onde de pression dans un milieu solide est proportionnelle à sa rigidité. Ainsi, quand une onde de pression est mesurée sur deux sites artériels distants de (dL) avec un délai de (dt), la VOP = dL/dt. La méthode « pied-à-pied », la plus utilisée, consiste à calculer le (dt) entre les pieds des ondes de pression ou de vitesse sanguine, c'est-à-dire en télédiastole.



## APPAREILS DISPONIBLES

De nombreux appareils, utilisant diverses méthodologies (signal de pression, de diamètre, ou de vitesse sanguine) et divers axes artériels, sont actuellement disponibles pour mesurer la rigidité artérielle régionale (Tableau 1). La gamme de prix de ces appareils va de 5 000 à 20 000 Euros. Seule la moitié des appareils disponibles aujourd'hui ont démontré leur capacité à prédire la survenue des événements CV<sup>5</sup>. C'est seulement la démonstration d'une valeur prédictive pour la survenue des complications CV qui permettra de garantir que les nouveaux appareils de mesure de rigidité artérielle régionale sont valides.

Les appareils les plus anciens, validés, et couramment utilisés (Complior<sup>®</sup> et Sphygmocor<sup>®</sup>), emploient respectivement des capteurs haute-fidélité et un tonomètre d'aplanation pour enregistrer la forme de l'onde de pression, préciser le pied de l'onde, et calculer le délai (dt). Le Complior<sup>®</sup> enregistre les ondes de pression simultanément aux deux sites. Le Sphygmocor<sup>®</sup> les enregistre en immédiate succession, et calcule le (dt) par recalage des pieds d'onde sur l'onde R de l'ECG.

C'est la VOP carotido-fémorale qui est la plus populaire en France, et dans la majeure partie du monde. La VOP bras-cheville a été développée en Asie pour éviter d'exposer la région de l'aîne. La réalité anatomique du trajet parcouru par l'onde de pouls n'est toujours pas déterminée.

Tableau 1 : Appareils disponibles pour déterminer la rigidité artérielle régionale. Sont détaillés les trajets artériels et les valeurs prédictives pour les événements cardiovasculaires. (Adapté de ref 5)

Description de la méthode (année de première publication)	Appareil	Méthode	Trajet artériel	Valeur prédictive pour les événements CV (année de première publication)
1984*	Complior <sup>®</sup>	Capteur mécanique	Carotido-fémoral	Oui (1999)
1990	Sphygmocor <sup>®</sup>	Tonométrie	Carotido-fémoral	Oui (2010)
1994	QKD <sup>®</sup>	ECG + bruits de Korotkoff	Aorte + a. brachiale	Oui (2005)
1997*	Cardiov. Eng. Inc <sup>®</sup>	Tonométrie	Carotido-fémoral	Oui (2010)
2002*	Doppler probes	Doppler	Arche aortique + aorte descendante	Oui (2002)
2002	VP-1000 Omron <sup>®</sup>	Manchons gonflables au bras et à la cheville	Aorte + a. brachiale + membres inférieurs	Oui (2005)
2004	PulsePen <sup>®</sup>	Tonométrie	Carotido-fémoral	Non
2006	CAVI-VASERA <sup>®</sup>	ECG + Manchons gonflables au bras et à la cheville	Aorte + a. brachiale + membres inférieurs	Non
2008	Arteriograph <sup>®</sup>	Brassard gonflable avec capteur intégré	Aorte + a. brachiale	Non
2009	MRI-ArtFun <sup>®</sup>	IRM	Arche aortique	Non
2009	Vicorder <sup>®</sup>	Brassard gonflable avec capteur intégré	Carotido-fémoral	Non
2010	Mobil-O-Graph <sup>®</sup>	Brassard gonflable avec capteur intégré	Aorte	Non
2013	pOpmètre <sup>®</sup>	Capteur doigt et orteil	Mb sup, aorte et mb.inf	Non

\*Appareils utilisés lors des premières études épidémiologiques

## RÈGLES DE MESURE

**...du signal de pression** : dans le cas du Sphygmocor<sup>®</sup>, le tonomètre est placé perpendiculairement à l'artère carotide commune ou fémorale commune jusqu'à obtention d'un bon signal de pression sur plusieurs cycles cardiaques. La séquence n'est enregistrée que lorsqu'un signal correct est obtenu pendant un temps suffisamment long (en général, une succession d'ondes de pression visibles sur l'ensemble de la fenêtre d'enregistrement). Les mesures sont réalisées de préférence sur la carotide commune et la fémorale commune droites.

**...de la distance** : la distance (dL) entre les deux sites d'enregistrement de l'onde de pression doit être mesurée soigneusement, le plus souvent à l'aide d'un « ruban-centimètre de couturière ». C'est la distance directe carotido-fémorale qui sera retenue pour le calcul de la VOP. En présence d'un tour de taille et/ou de poitrine important, il est nécessaire d'utiliser le même trajet du ruban, si la mesure doit être répétée. Une toise pour bébé peut être utilisée dans les cas évidents de surestimation de la distance (obésité morbide).

## CALCUL DE LA VOPcf

Une fois mesurés le délai (dt, sec) et la distance directe (dL= distance directe carotido-fémorale, mètre), la VOP (m/sec) est calculée comme  $0,8 \times dL/dt$  selon un récent consensus international<sup>6</sup>. En effet, il est nécessaire d'appliquer un coefficient de correction de 0,8 à la distance car au moment où l'onde de pression atteint la carotide commune, elle a déjà atteint l'aorte thoracique ; ainsi, la distance carotido-fémorale directe surestime la distance effectivement parcourue. La valeur  $0,8 \times dL$  est très proche de la distance réelle mesurée en IRM.

### Conditions de mesure applicables à toutes les méthodes de mesure de la rigidité artérielle

Les mesures de rigidité artérielle doivent être réalisées

- dans une pièce calme à la température stabilisée (si possible 22-23°C)
- sur un sujet en décubitus dorsal, au repos depuis au moins 10 minutes
- à la même heure de la journée en cas de mesures répétées,
- au moins 3 heures après un repas, la prise de café, ou une cigarette,
- sur un sujet qui ne parle pas et ne dort pas,
- pendant une durée supérieure au cycle respiratoire (5-6 secondes).

La mesure de la rigidité artérielle ne devrait pas être réalisée en cas d'arythmie et d'instabilité hémodynamique. De nouveaux appareils revendiquent une mesure ambulatoire de la rigidité artérielle, mais le niveau de preuve les concernant est pour l'instant insuffisant.

## RÉPÉTABILITÉ ET NOMBRE DE MESURES

La répétabilité de la mesure de la VOPcf est bonne, avec un coefficient de variabilité d'environ 5 %. Ainsi, au moins deux mesures doivent être réalisées. Si l'écart entre ces deux mesures est inférieur à 0.5 m/s, on prendra la moyenne de ces deux mesures. Si l'écart est supérieur à 0.5 m/s, une troisième mesure sera réalisée et la valeur médiane sera retenue. La médiane a l'avantage sur la moyenne, par sa simplicité, d'éviter des erreurs de calcul et d'être moins influencée par les valeurs extrêmes.

## VALEURS NORMALES ET PATHOLOGIQUES

La valeur de VOPcf mesurée chez un patient ne doit pas être un chiffre abstrait, mais comporter une indication sur le risque CV.

**Seuil de risque** : les recommandations<sup>1</sup> ESH-ESC 2013 et le document de consensus<sup>6</sup> de 2012 définissent le seuil de 10 m/s au-delà duquel le risque CV est anormalement élevé. Cette valeur est l'adaptation du précédent seuil (12 m/s) issu des Recommandations 2007, ajusté par le facteur de correction de 0,8 vu plus haut.

**Valeurs par décade d'âge** : comme la rigidité artérielle augmente physiologiquement avec le vieillissement, le seuil de 10 m/s n'a pas la même valeur pronostique chez un sujet jeune ou âgé. Il a donc été proposé d'utiliser, comme référence, les valeurs normales de la population, c'est-à-dire mesurées chez des sujets sans aucun facteur de risque CV. Ces données<sup>7</sup> ont été publiées en 2010. Le tableau 2 ci-dessous donne les valeurs moyennes ( $\pm 2$  DS), les valeurs médianes, et les 10<sup>èmes</sup> et 90<sup>èmes</sup> percentiles de la VOPcf par décade d'âge, dans les deux sexes (pas de différence significative entre hommes et femmes). Ainsi, toute valeur supérieure au 90<sup>ème</sup> percentile est pathologique.

**Normalisation de la VOPcf** : la baisse prolongée de la PA est une condition nécessaire à la normalisation de la VOPcf, mais toutes les classes d'antihypertenseurs ne sont pas aussi efficaces pour réduire la VOPcf de la même manière malgré une réduction identique de la PA. A cet égard les bloqueurs du SRAA sont les plus efficaces<sup>8</sup>.

Tableau 2 :  
valeurs normales  
de la VOPcf chez  
le sujet normal<sup>7</sup>

Catégorie d'âge (années)	Moyenne ( $\pm 2$ DS)	Médiane (10°-90° percentile)
< 30	6.2 (4.7-7.6)	6.1 (5.3-7.1)
30-39	6.5 (3.8-9.2)	6.4 (5.2-8.0)
40-49	7.2 (4.6-9.8)	6.9 (5.9-8.6)
50-59	8.3 (4.5-12.1)	8.1 (6.3-10.0)
60-69	10.3 (5.5-15.0)	9.7 (7.9-13.1)
$\geq 70$	10.9 (5.5-16.3)	10.6 (8.0-14.6)

## QUELS CENTRES MESURENT LA RIGIDITÉ ARTÉRIELLE ?

La rigidité artérielle est mesurée dans plusieurs centres spécialisés.

Certains ont été labellisés « ESH Excellence Centers » (Centre d'Excellence de la Société Européenne d'Hypertension Artérielle (<http://www.eshonline.org/Communities/CentresList.aspx>) : Bobigny, Bordeaux, Dinard, Grenoble, Lille, Lyon, Marseille, Montpellier, Nancy, Nîmes, Paris-HEGP, Paris-Hôtel-Dieu, Paris-Salpêtrière, Poitiers, Rennes, Toulouse, Tours). La rigidité artérielle est aussi mesurée à Bondy, Créteil, Fleury-Mérogis, Limoges, Rouen, Paris-Broca et Toulon. Tous ces centres participent à l'étude SPARTE, qui a pour objectif de démontrer que la rigidité artérielle est un critère de substitution, c'est-à-dire qu'une stratégie thérapeutique basée sur la normalisation de la VOPcf est plus efficace pour prévenir les complications CV qu'une stratégie thérapeutique usuelle, reposant sur les recommandations ESH-ESC. L'étude SPARTE, soutenue par la Société Française d'Hypertension Artérielle (SFHTA), la Fondation de Recherche en Hypertension Artérielle (FRHTA) et le Ministère de la Santé, vise à inclure 3000 hypertendus et à les suivre pendant 4 ans.

Document établi par Stéphane Laurent et Pierre Boutouyrie.

## GROUPE DE RELECTURE

Michel Azizi, Jean-Philippe Baguet, Jacques Blacher, Giampiero Bricca, Bernard Chamontin, Thierry Denolle, Jean-Michel Halimi, Olivier Hanon, Gérard London.

## RÉFÉRENCES

1. Mancia G, Fagard R, Narkiewicz K, Redón J, Zanchetti A, Böhm M, Christiaens T, Cifkova R, DeBacker G, Dominiczak A, Galderisi M, Grobbee DE, Jaarsma T, Kirchhof P, Kjeldsen SE, Laurent S, Manolis AJ, Nilsson PM, Ruilope LM, Schmieder RE, Sirnes PA, Sleight P, Viigimaa M, Waeber B, Zannad F. 2013 ESH/ESC Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2013 ; 34:2159-2219
2. Laurent S, Cockcroft J, Van Bortel L, Boutouyrie P, Giannattasio C, Hayoz D, Pannier B, Vlachopoulos C, Wilkinson I, Struijker-Boudier H; European Network for Non-invasive Investigation of Large Arteries. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications. *Eur Heart J*. 2006 ; 27:2588-605
3. Vlachopoulos C, Aznaouridis K, Stefanadis C. Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with arterial stiffness: a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2010 ; 55:1318-1327
4. Ben-Shlomo Y, Spears M, Boustred C, May M, Anderson SG, Benjamin EJ, Boutouyrie P, Cameron J, Chen CH, Cruickshank JK, Hwang SJ, Lakatta EG, Laurent S, Maldonado J, Mitchell GF, Najjar SS, Newman AB, Ohishi M, Pannier B, Pereira T, Vasan RS, Shokawa T, Sutton-Tyrell K, Verbeke F, Wang KL, Webb DJ, Hansen TW, Zoungas S, McEniery CM, Cockcroft JR, Wilkinson IB. Aortic pulse wave velocity improves cardiovascular event prediction: an individual participant meta-analysis of prospective observational data from 17,635 subjects. *J Am Coll Cardiol*. 2013 Nov 4. doi:pii: S0735-1097(13)05974-3. 10.1016/j.jacc.2013.09.063
5. Laurent S, Mousseaux E, Boutouyrie P. Arterial stiffness as an imaging biomarker: are all pathways equal? *Hypertension* 2013, 62:10-12
6. Van Bortel LM, Laurent S, Boutouyrie P, Chowienczyk P, Cruickshank JK, De Backer T, Filipovsky J, Huybrechts S, Mattace-Raso FU, Protogerou AD, Schillaci G, Segers P, Vermeersch S, Weber T; on behalf of the Artery Society, the European Society of Hypertension Working Group on Vascular Structure and Function and the European Network for Noninvasive Investigation of Large Arteries. Expert consensus document on the measurement of aortic stiffness in daily practice using carotid-femoral pulse wave velocity. *J Hypertens*. 2012 ; 30:445-448
7. Boutouyrie P, Vermeersch S, and the Reference Values for Arterial Stiffness' Collaboration. Reference Values for Carotid-Femoral Pulse Wave Velocity in the Reference Values for Arterial Stiffness' Collaboration Database. *Eur Heart J* 2010 ; 31:2338-50
8. Boutouyrie P, Lacolley P, Briet M, Regnault V, Stanton A, Laurent S, Mahmud A. Pharmacological modulation of arterial stiffness. *Drugs* 2011 ; 71:1689-1701.