

## La précharge dépendance, de la physiopathologie à l'application

Marc-Olivier Fischer<sup>a</sup>, Vincent Bonnet<sup>a</sup>, Jean-Luc Hanouz<sup>a</sup>, Jean-Louis Gérard,<sup>a</sup>  
Emmanuel Lorne<sup>b,c</sup>, Benoît Tavernier<sup>d</sup>

<sup>a</sup> *Pôle Réanimations Anesthésie Samu/Smur, CHU de Caen, Avenue de la Côte de Nacre, CS 30001, F-14 000 Caen, France*

<sup>b</sup> *Anesthesiology and Critical Care Department, Amiens University Hospital, Place Victor Pauchet, F-80 054 Amiens, France*

<sup>c</sup> *Inserm ERI12, Jules Vernes University of Picardy, 12 rue des Louvels, F-80 000 Amiens, France*

<sup>d</sup> *Pôle d'Anesthésie Réanimation, CHU Lille, F-59000 Lille, France*

Aucun auteur ne présente de conflit d'intérêt avec ce travail.

\*Auteur correspondant: [marcolivierfischer@yahoo.fr](mailto:marcolivierfischer@yahoo.fr)

### Points essentiels

- La précharge dépendance se définit par le degré d'étirement des fibres myocardiques en télé-diastole.
- Il existe un certain niveau de précharge dépendance de façon physiologique, qui peut être accentué de façon importante chez le sujet anesthésié, pouvant alors conduire à une hypoperfusion tissulaire, puis à une défaillance d'organe.
- Ni les signes cliniques, ni les indices de pression ne peuvent estimer de façon fiable la précharge dépendance.
- Les indices utilisant les variations de précharge induites par la ventilation en pression positive sont dits indices dynamiques (VPP, PVI et VVES).
- Les conditions indispensables de validité des indices dynamiques sont une ventilation mécanique sans déclenchement du respirateur et un rythme cardiaque sinusal régulier.
- Des situations dites « confondantes » (à ne pas confondre avec les conditions indispensables de validité) peuvent modifier la valeur seuil de l'indice dynamique, soit

en la déplaçant vers le haut (dysfonction cardiaque droite, hyperpression intra-abdominale), soit vers le bas (volume courant < 8 ml/kg, compliance pulmonaire < 30 mL/cmH<sub>2</sub>O, rapport fréquence cardiaque/fréquence respiratoire < 3,6).

- Devant les nombreuses situations confondantes, la mesure de ces indices peuvent conduire à une erreur d'interprétation de la précharge-dépendance.
- Il semble préférable d'utiliser ces indices de façon dynamique, lors de manœuvre spécifiques (mini-épreuve de remplissage vasculaire, manœuvre de recrutement alvéolaire, variation de volume courant).

## Introduction

L'architecture myocardique est organisée de façon optimale pour remplir sa fonction contractile : les cellules myocardiques à propriété élastique sont organisées dans les trois plans de l'espace [1], tandis que les ventricules constituent eux-mêmes une bande myocardique ventriculaire hélicoïdale [2]. Ces propriétés élastiques permettent un étirement des fibres d'actine et de myosine en diastole, pour une restitution de leur énergie en systole, selon les travaux initiaux de Frank et Starling [3]. Ainsi, lorsque les fibres sont initialement peu étirées, notamment lors d'une hypovolémie, les fibres élastiques ne vont restituer qu'une faible partie de leur énergie, s'accompagnant d'une faible contraction ventriculaire. Dans cette situation, une augmentation de la précharge (par exemple par un remplissage vasculaire) va s'accompagner d'un étirement des fibres en diastole plus important, conduisant à une augmentation rapide de contraction et d'éjection ventriculaire (**Figure 1A**), il s'agit de la précharge-dépendance. En revanche, lorsque les fibres atteignent une zone d'étirement maximale, l'augmentation de la précharge ne pourra pas s'accompagner d'un étirement supplémentaire des fibres, ni de la contraction ventriculaire : on parle alors de précharge-indépendance (**Figure 1B**).

Physiologiquement, les ventricules sont modérément précharge-dépendants [4], sans pour autant nécessiter d'actions thérapeutiques itératives. A l'inverse, le sujet anesthésié présente une majoration de la précharge-dépendance du fait d'une hypovolémie vraie (pertes sanguines) et d'une hypovolémie relative (vasoplégie induite par les médicaments d'anesthésie et gêne au retour veineux secondaire à la ventilation en pression positive), alors même que l'organisme perd ses mécanismes de régulation [5]. Ceci conduit alors le patient

anesthésié à une situation d'hypovolémie (**Figure 2**) pouvant s'accompagner d'une hypoperfusion tissulaire puis d'une dysfonction d'organes, majorant alors les complications postopératoires et la durée d'hospitalisation [6].

D'une certaine façon, le sujet anesthésié n'est donc pas protégé par l'anesthésie, mais bien au contraire en danger, et il convient d'apprécier au mieux sa précharge afin de réduire le risque de complications postopératoires. L'objectif de ce référentiel est de préciser les outils disponibles et fiables pour évaluer la précharge dépendance, et de spécifier leur utilisation en pratique clinique.

## **1. Les outils non utilisables pour évaluer la précharge dépendance**

### ***Les signes cliniques***

Les signes cliniques ont été très souvent utilisés dans les études cliniques pour poser l'indication d'un remplissage vasculaire, comme l'hypopression artérielle systémique, la tachycardie, l'oligurie, ou les marbrures cutanées. Considérant une réponse positive au remplissage vasculaire par une augmentation d'au moins 15 % du débit cardiaque, ces signes cliniques ne conduisent à une réponse positive que dans un cas sur deux [7]. Autrement dit, les signes cliniques conduisent à un remplissage vasculaire non utile sur le plan hémodynamique dans un cas sur deux, avec un risque de surcharge volémique et d'œdème interstitiel pouvant compliquer la période postopératoire. Certaines études ont notamment souligné le fait que les variations de pression artérielle systémique et de débit cardiaque pouvaient aller en sens inverse. Ainsi, sauf situation caricaturale, les signes cliniques ne devraient plus être utilisés seuls en pratique pour guider le remplissage vasculaire.

### ***Les indices de pression***

La pression veineuse centrale (PVC) et la pression artérielle pulmonaire d'occlusion (PAPO) ont été largement évaluées pour optimiser la volémie des patients d'anesthésie réanimation. Cependant, pour un même volume de précharge (ou pour un volume de remplissage identique), le volume d'éjection systolique varie selon l'élasticité des fibres myocardique des ventricules (**Figure 3A**) et selon la courbe de fonction cardiaque qui est propre à chaque patient (**Figure 3B**). Les volumes et les pressions ne sont donc pas liés par une relation linéaire, et il n'est pas possible d'évaluer une précharge dépendance à partir d'une valeur de PVC ou de PAPO.

## 2. Les outils utilisables pour évaluer la précharge-dépendance

### *Le principe des interactions cardiopulmonaires*

Chez un patient anesthésié et en ventilation mécanique, l'insufflation mécanique s'accompagne pour le ventricule gauche d'un effet chasse du sang veineux pulmonaire et d'une baisse de la contrainte pariétale, avec comme résultante une augmentation du volume d'éjection systolique (VES) et de la pression pulsée (PP). Dans le même temps, le retentissement de l'augmentation des pressions intra-thoraciques sera très différent pour le ventricule droit puisque l'augmentation des pressions artérielles pulmonaires et la diminution du retour veineux vont conduire à une diminution du VES du VD qui va retentir sur le VG après plusieurs battements cardiaques, du fait du temps de transit pulmonaire, classiquement en expiration. La PP va donc varier au cours du cycle ventilatoire. Or, cette PP dépend du VES et de la compliance artérielle. En estimant cette dernière constante au cours d'un cycle respiratoire, les variations de la pression pulsée sont donc proportionnelles aux variations du VES.

### *Les indices dynamiques de précharge-dépendance*

Initialement décrite à partir d'un calcul sur papier millimétré sur trois cycles respiratoires, les variations respiratoires de la pression pulsée (VPP) sont calculées en utilisant la formule suivante :

$$\text{VPP (\%)} = \text{PPmax} - \text{PPmin} / (\text{PPmax} + \text{PPmin})/2 \text{ [8]}.$$

Par la suite, le calcul de VPP a été automatisé sur une période flottante variable de 30 à 60 secondes sur différents types de moniteurs avec des résultats satisfaisant en termes de mesure de l'indice.

Utilisant les variations respiratoires de la courbe de pléthysmographie, donc totalement non invasifs, deux indices ont été évalués dans la littérature pour évaluer la précharge dépendance : le « delta POP » et le « Pleth Variability Index » (PVI). Seul le PVI est aujourd'hui commercialisé en utilisant la formule automatisée suivante :

$$\text{PVI (\%)} = (\text{IPmax} - \text{IPmin}) / \text{IPmax}, \text{ où IP est l'indice de perfusion [9].}$$

Les capteurs de PVI frontaux semblent plus fiables que les capteurs digitaux, car moins sensibles au tonus sympathique [20].

Enfin, les variations du VES induites par la ventilation mécanique (VVES) ont également été automatisées par les fabricants de monitoring du débit cardiaque selon la formule :

$$VVES (\%) = \frac{VES_{\max} - VES_{\min}}{(VES_{\max} + VES_{\min})/2}.$$

### ***Validation des indices dynamiques de précharge-dépendance pour la prédiction de la réponse au remplissage vasculaire***

Les conditions indispensables de validité des indices dynamiques sont une ventilation mécanique sans déclenchement du respirateur et un rythme cardiaque sinusal régulier. Initialement validés sur des populations sélectionnées de patients, ces indices dynamiques semblaient pouvoir prédire de façon fiable la réponse au remplissage vasculaire. Cependant, un certain nombre de situations rencontrées en pratique peuvent modifier la valeur seuil des indices dynamiques (habituellement autour de 13%). Ces situations, dites confondantes, peuvent déplacer vers le haut (>13%) la valeur seuil [notamment lors d'hyperpression intra-abdominale (lors d'une coeliochirurgie par exemple) ou d'une dysfonction cardiaque droite] ou vers le bas (<13%) la valeur seuil [volume courant < 8 ml/kg, compliance pulmonaire < 30 mL/cmH<sub>2</sub>O, rapport fréquence cardiaque/fréquence respiratoire < 3,6] (**Figure 4**) [11]. Ainsi, la valeur seuil pouvait être de 6% à 20% selon les études, ce qui montre la complexité de l'utilisation des indices dynamiques dans la « vraie vie » : une valeur d'indice dynamique de 14% peut prédire une réponse positive ou négative au remplissage vasculaire selon les situations cliniques rencontrées.

### ***Validation des indices dynamiques de précharge-dépendance pour l'amélioration du pronostic des patients***

La question fondamentale des indices dynamiques est de savoir s'ils permettent une stratégie d'optimisation hémodynamique efficace pour diminuer la morbidité des patients. En première lecture, une méta-analyse récente répond favorablement à cette question [12]. Cependant, un certain nombre de limites sont à souligner : une dizaine d'études ont été publiées, avec de faibles collectifs (27 à 120) de patients, toutes monocentriques, utilisant très souvent des algorithmes plus complexes qu'une simple utilisation isolée d'un indice dynamique, et avec un critère de jugement principal pouvant être critiquable. Des études randomisées multicentriques sont actuellement en cours pour évaluer l'intérêt des indices dynamiques sur la morbidité des patients.

### **3. Comment utiliser les indices dynamiques de précharge-dépendance ?**

#### ***La première question : l'anesthésie est-elle adéquate ?***

Le monitoring de la profondeur d'anesthésie est considéré par certains comme un monitoring hémodynamique. Lors de l'induction anesthésique, il permet de diminuer par trois les doses d'agents anesthésiants habituelles [13]. Lors d'une anesthésie prolongée, il permet également de diminuer ces posologies, conduisant à une meilleure hémodynamique, confirmée par une diminution des besoins en noradrénaline [14].

#### ***La seconde question : le remplissage vasculaire est-il cohérent ?***

La chute du VES induite par la sympatholyse de l'induction anesthésique ne doit pas conduire à un remplissage vasculaire, mais plutôt à l'utilisation d'un vasopresseur pour contrebalancer la vasoplégie, sachant que les patients (même après un jeûne) ne sont pas hypovolémiques en arrivant au bloc opératoire [4].

A l'inverse, une hémorragie aiguë peropératoire devra conduire à l'utilisation d'une manœuvre de Trendelenburg et à un remplissage vasculaire rapide.

Il convient donc de tenir compte du contexte pour poser l'indication d'un remplissage vasculaire.

#### **La troisième question : existe-t-il des variations des indices dynamiques ?**

Une façon de s'affranchir de l'interprétation de la valeur seuil, et de « gommer » les facteurs confondants des indices dynamiques, est d'utiliser leurs variations lors de manœuvres hémodynamiques. Trois situations ont ainsi été récemment décrites pour prédire de façon fiable la réponse au remplissage vasculaire, y compris lors de ventilation avec faibles volumes courants.

Le mini-test de remplissage peut être effectué en injectant 100ml d'un soluté de remplissage pendant 1 minute. Une diminution de 2% (en valeur absolue) de la VPP entre avant et après cette épreuve permettait de prédire la réponse au remplissage de façon très fiable [15].

Un second travail a récemment documenté qu'une augmentation relative > 55% de la VPP lors d'une manœuvre de recrutement alvéolaire (30 cmH<sub>2</sub>O pendant 10 secondes) permettait de prédire efficacement la réponse à un remplissage vasculaire [16].

Enfin, une augmentation > 3,5% (en valeur absolue) de la VPP lors d'une mini-épreuve de volume courant (augmentation du volume courant de 6 à 8 ml/Kg pendant une minute) permettait également de prédire correctement la réponse au remplissage vasculaire [17].

## Conclusion

L'optimisation hémodynamique en anesthésie réanimation permet de diminuer la morbidité postopératoire. En dehors du monitoring du VES, l'évaluation de la précharge dépendance est une stratégie utilisable. Les signes cliniques et les indices de pression ne permettent pas de prédire la réponse au remplissage vasculaire, à l'inverse des indices dynamiques, reposant sur les interactions cardio-pulmonaires. Des manœuvres hémodynamiques devraient être réalisées pour interpréter ces indices dynamiques de façon fiable. Le monitoring de la profondeur d'anesthésie et le contexte clinique devraient également être pris en compte par l'anesthésiste réanimateur.

## Références

1. Stephenson RS, Agger P, Lunkenheimer PP, et al. The functional architecture of skeletal compared to cardiac musculature: Myocyte orientation, lamellar unit morphology, and the helical ventricular myocardial band. *Clin Anat.* 2016;29:316-32.
2. Kocica MJ, Corno AF, Carreras-Costa F, et al. The helical ventricular myocardial band: global, three-dimensional, functional architecture of the ventricular myocardium. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2006;29 Suppl 1:S21-40
3. Patterson SW, Starling EH. On the mechanical factors which determine the output of the ventricles. *J Physiol.* 1914;48 :357-79.
4. Muller L, Brière M, Bastide S, et al. Preoperative fasting does not affect haemodynamic status: a prospective, non-inferiority, echocardiography study. *Br J Anaesth.* 2014;112 :835-41.
5. Vatner SF. Effects of anesthesia on cardiovascular control mechanisms. *Environ Health Perspect.* 1978;26:193-206.
6. Hamilton MA, Cecconi M, Rhodes A. A systematic review and meta-analysis on the use of preemptive haemodynamic intervention to improve postoperative outcomes in moderate and high-risk surgical patients. *Anesth Analg* 2011;112:1392-402.
7. Marik PE, Cavallazzi R. Does the central venous pressure predict fluid responsiveness? An updated meta-analysis and a plea for some common sense. *Crit Care Med.* 2013;41 :1774-81.

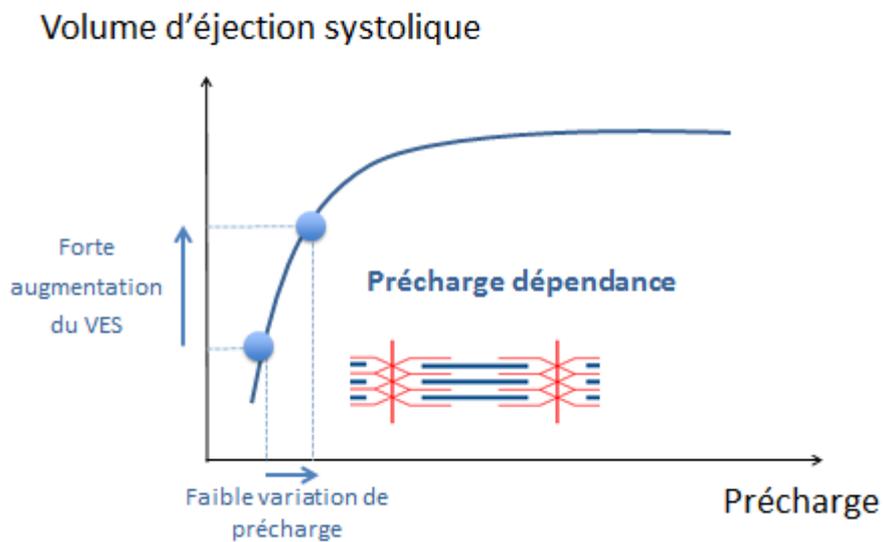
- 8.** Michard F, Boussat S, Chemla D, et al. Relation between respiratory changes in arterial pulse pressure and fluid responsiveness in septic patients with acute circulatory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;162:134-138.
- 9.** Cannesson M, Desebbe O, Rosamel P, et al. Pleth variability index to monitor the respiratory variations in the pulse oximeter plethysmographic waveform amplitude and predict fluid responsiveness in the operating theatre. *Br J Anaesth* 2008;101:200-6.
- 10.** Fischer MO, Pellissier A, Saplacan V, et al. Cephalic versus digital plethysmographic variability index measurement: a comparative pilot study in cardiac surgery patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2014;28:1510-5.
- 11.** Fischer MO, Guinot PG, Biais M, et al. A dynamic view of dynamic indices. *Minerva Anesthesiol.* 2016;82 :1115-1121.
- 12.** Benes J, Giglio M, Brienza N, et al. The effects of goal-directed fluid therapy based on dynamic parameters on post-surgical outcome: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Care.* 2014;18:584.
- 13.** Möller Petrun A1, Kamenik M. Bispectral index-guided induction of general anaesthesia in patients undergoing major abdominal surgery using propofol or etomidate: a double-blind, randomized, clinical trial. *Br J Anaesth.* 2013;110 :388-96.
- 14.** Nitzschke R, Wilgusch J, Kersten JF, et al. Bispectral index guided titration of sevoflurane in on-pump cardiac surgery reduces plasma sevoflurane concentration and vasopressor requirements: a prospective, controlled, sequential two-arm clinical study. *Eur J Anaesthesiol.* 2014;31:482-90.
- 15.** Mallat J, Meddour M, Durville E, et al. Decrease in pulse pressure and stroke volume variations after mini-fluid challenge accurately predicts fluid responsiveness. *Br J Anaesth.* 2015;115:449-56.
- 16.** Min JJ, Kim TK, Lee JH, et al. Evaluation of augmented pulse pressure variation using the Valsalva manoeuvre as a predictor of fluid responsiveness under open-chest conditions: A prospective observational study. *Eur J Anaesthesiol.* 2017;34 :254-261.

17. Myatra SN, Prabu NR, Divatia JV, et al. The Changes in Pulse Pressure Variation or Stroke Volume Variation After a "Tidal Volume Challenge" Reliably Predict Fluid Responsiveness During Low Tidal Volume Ventilation. Crit Care Med. 2017;45 :415-421.

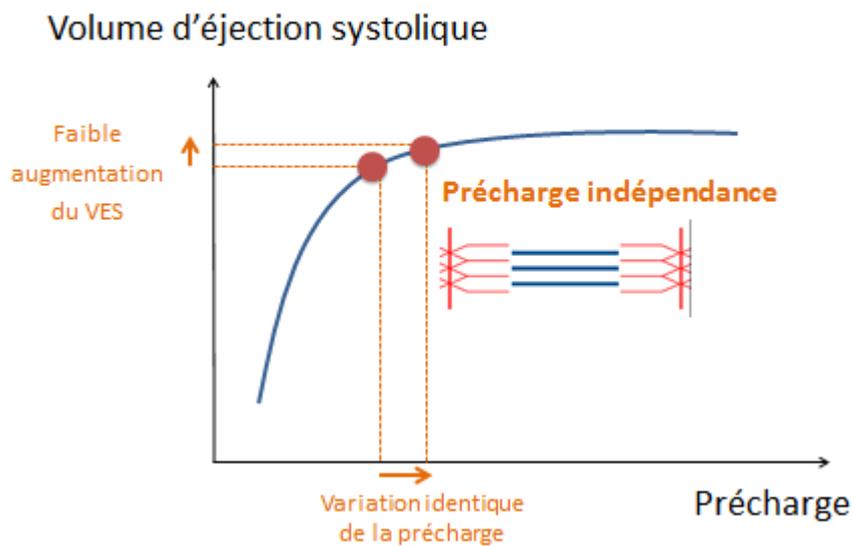
## Légende des figures

**Figure 1.** Faible étirement des fibres d'actine et myosine lors de la précharge dépendance (Figure 1A), à l'inverse de la précharge indépendance (Figure 1B).

**Figure 1A**

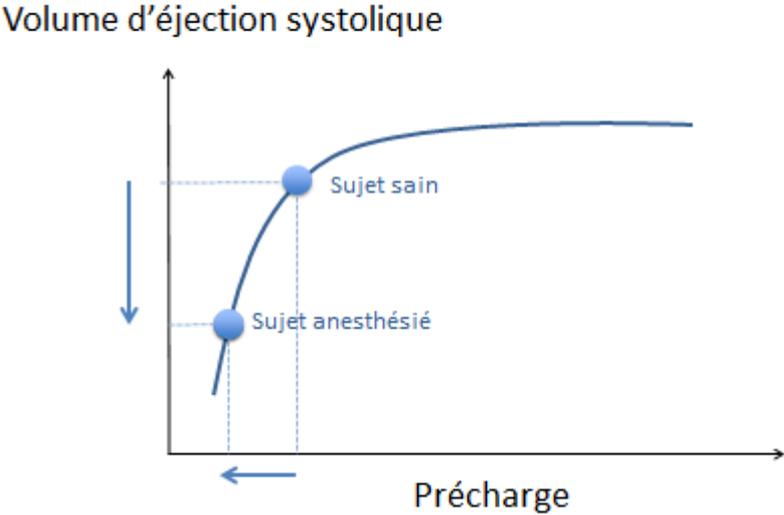


**Figure 1B**



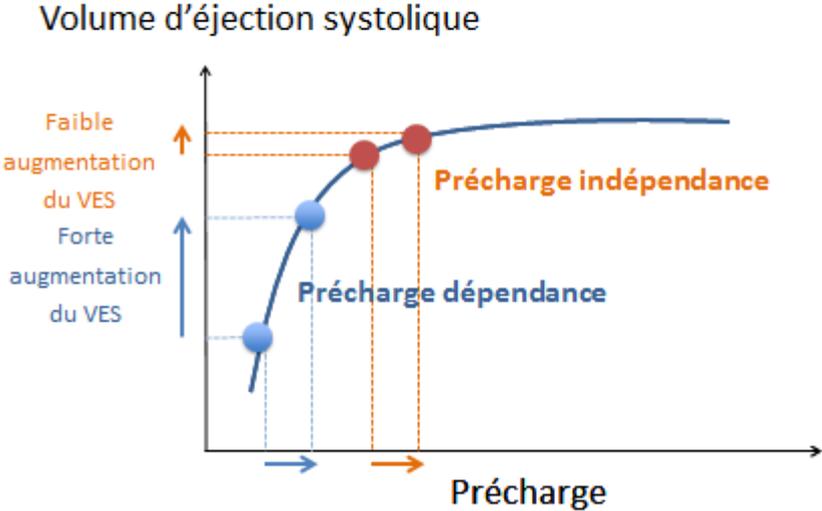
**Figure 2.** Le sujet anesthésié est par définition d'avantage en précharge dépendance que le sujet sain.

**Figure 2**

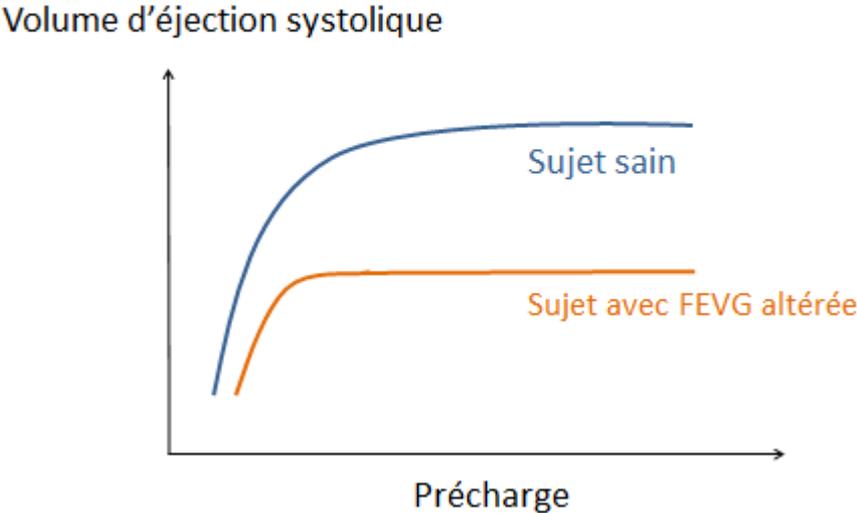


**Figure 3.** La courbe de fonction cardiaque est curviligne (Figure 3A) et dépend de la fonction contractile propre à chaque patient (Figure 3B).

**Figure 3A**



**Figure 3B**



**Figure 4.** La valeur seuil des indices dynamiques varie au cours de situations dites confondantes.

**Figure 4**

### **Valeur seuil et facteurs confondants**

