

UNIVERSITÉ DE LILLE

UFR3S-MÉDECINE

Année : 2025

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Étude de la variation de l'indice de perfusion et du temps de
recoloration cutané lors d'une épreuve de lever de jambes pour la
prédiction de la précharge-dépendance chez les patients en
ventilation spontanée (VIP-TRC)**

Présentée et soutenue publiquement le 9 octobre 2025 à 14h00

au Pôle Recherche

par Paul LEROY-DUCARDONNOY

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Éric KIPNIS

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Sébastien PREAU

Monsieur le Docteur Quentin DELFORGE

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Côme BUREAU

AVERTISSEMENT

L'université n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

ABREVIATIONS

AUC Aire Sous la Courbe

CHU Centre Hospitalier Universitaire

CV Coefficient de Variation

DC Débit Cardiaque

DO² Apport en oxygène

ETT Échographie cardiaque Transthoracique

FC Fréquence Cardiaque

FiO₂ Fraction inspirée en oxygène

IC Index Cardiaque

IC 95 % Intervalle de Confiance à 95 %

IGS II Indice de Gravité Simplifié II

IMC Indice de Masse Corporelle

IP Indice de Perfusion

IQR Intervalle Interquartile

ITVsAo Intégrale Temps Vitesse sous Aortique

LJP Lever de jambes Passif

LSC Least Significant Change

OR Odds Ratio

PAD Pression Artérielle Diastolique

PAM Pression Artérielle Moyenne

PAS Pression Artérielle Systolique

PIV Pression intra-vésicale

PPG Photopléthysmographie

RR Rapport Relatif

RV Remplissage Vasculaire

Se Sensibilité

SOFA Sequential Organ Failure Assessment

Sp Spécificité

SpO₂ Saturation pulsée en Oxygène

TRC Temps de Recoloration Cutané

VES Volume d'éjection systolique

VO² Consommation en oxygène

VPN Valeur Prédictive Négative

VPP Valeur Prédictive Positive

VS Ventilation Spontanée

SOMMAIRE

AVERTISSEMENT	2
REMERCIEMENTS	3
ABREVIATIONS	3
SOMMAIRE	5
INTRODUCTION	8
1. RAPPELS PHYSIOLOGIQUES	8
2. ÉVALUATION DE LA PRECHARGE-DEPENDANCE	9
2.1. <i>Indices dynamiques</i>	10
2.2. <i>Échographie cardiaque transthoracique</i>	10
2.3. <i>Techniques invasives</i>	11
2.4. <i>Test de lever de jambe</i>	11
3. DISCORDANCE ENTRE MACROCIRCULATION ET MICROCIRCULATION	12
4. ÉVALUATION DE LA MICROCIRCULATION	12
4.1. <i>Marqueurs cliniques</i>	12
4.2. <i>Marqueurs paracliniques</i>	15
5. HYPOTHESE	16
MATERIEL ET METHODES	17
1. CONCEPTION DE L'ETUDE	17
1.1. <i>Critère de jugement principal</i>	17
1.2. <i>Critères de jugement secondaires</i>	17
2. PATIENTS ET DONNEES	18
2.1. <i>Population</i>	18

2.2.	<i>Données recueillies</i>	19
3.	PROTOCOLE DE L'ETUDE	20
3.1.	<i>Réalisation du test de lever de jambes passif</i>	20
3.2.	<i>Mesure de l'indice de perfusion</i>	21
3.3.	<i>Méthode de mesure du temps de recoloration cutané</i>	22
3.4.	<i>Évaluation de la réponse hémodynamique à l'épreuve de lever de jambes</i>	23
4.	ANALYSE STATISTIQUE	23
5.	CADRE REGLEMENTAIRE ET CONSENTEMENT	25
	RESULTATS	26
1.	DIAGRAMME DE FLUX	26
2.	DESCRIPTION DES PATIENTS A L'INCLUSION	27
3.	PARAMETRES MACROCIRCULATOIRES AU COURS DU LJP	29
4.	INDICE DE PERFUSION	30
4.1.	<i>Variation de l'IP au cours de LJP</i>	30
4.2.	<i>Performance de la variation d'IP pour prédire la précharge-dépendance</i>	31
4.3.	<i>Analyse en sous-groupe selon variabilité initiale de l'indice de perfusion</i>	35
4.4.	<i>Coefficient de variation et least significant change</i>	37
4.5.	<i>Analyses exploratoires</i>	37
5.	TEMPS DE RECOLORATION CUTANE	38
5.1.	<i>Variation TRC au cours du LJP</i>	38
5.2.	<i>Performance de la variation du TRC pour prédire la précharge-dépendance</i>	38

5.3. Coefficient de variation et least significant change	42
5.4. Analyse exploratoire : variation TRC chez les patients avec TRC > 3 s	42
DISCUSSION	43
1. RAPPEL DES PRINCIPAUX RESULTATS	43
2. IP, COMPARAISON AVEC LA LITTERATURE	43
3. TRC, COMPARAISON AVEC LA LITTERATURE	45
4. POINTS FORTS DE L'ETUDE	45
5. LIMITES DE L'ETUDE	46
6. OUVERTURE	47
CONCLUSION	49
LISTE DES TABLEAUX	50
LISTE DES FIGURES	51
BIBLIOGRAPHIE	52
ANNEXES	58

INTRODUCTION

1. Rappels physiologiques

Le monitoring de la perfusion tissulaire est aujourd'hui un élément essentiel de la prise en charge des états de choc en réanimation. La perfusion tissulaire se définit comme l'équilibre entre l'apport en oxygène (DO_2) et la consommation en oxygène (VO_2). Dans les états de choc, la VO_2 devient dépendante de la DO_2 lorsque la consommation excède l'apport, entraînant un métabolisme anaérobie et une hypoperfusion. L'hypoperfusion tissulaire aiguë entraînant un déséquilibre entre les besoins et les apports en oxygène définit l'état de choc (1,2).

La DO_2 dépend du débit cardiaque (DC) et du contenu artériel en oxygène, principalement lié à l'hémoglobine et la saturation artérielle en oxygène selon la formule suivante :

$$DO_2 \text{ (mL/min)} = CaO_2 \text{ (mL O}_2\text{/dL)} \times DC \text{ (L/min)} \times 10 = (1,34 \times Hb \times SaO_2 + 0,003 \times PaO_2) \times FC \times VES$$

(CaO₂ : Concentration artérielle en oxygène ; Hb : Hémoglobine ; SaO₂ : Saturation artérielle de l'hémoglobine en oxygène ; PaO₂ : Pression artérielle en oxygène ; FC : Fréquence cardiaque ; VES : Volume d'éjection systolique).

Le remplissage vasculaire (RV) constitue souvent le traitement de première intention des états de choc afin d'améliorer le DC, par l'augmentation de la précharge (3). Cependant, l'augmentation de la précharge n'entraîne pas systématiquement une élévation du DC et peut être délétère, en particulier dans le choc septique (4) et le syndrome de détresse respiratoire aiguë (5).

En effet, le myocarde possède des propriétés élastiques telles que la réponse contractile en systole est proportionnelle à l'étirement en diastole, selon les travaux de Frank et Starling (6). Ainsi, lors d'un état d'hypovolémie, les fibres élastiques étant peu étirées, elles ne répondent que par une faible contraction ventriculaire. Dans cette situation, l'augmentation de la précharge, par exemple par le remplissage vasculaire, va s'accompagner d'un étirement des fibres plus important et donc d'une augmentation de l'éjection ventriculaire, c'est dans cette situation qu'un patient est dit précharge-dépendant. Et lorsque les fibres myocardiques sont à leur étirement maximal, l'augmentation de précharge ne s'accompagne plus d'une contraction supplémentaire, on est alors dans le cas de la précharge-indépendance.

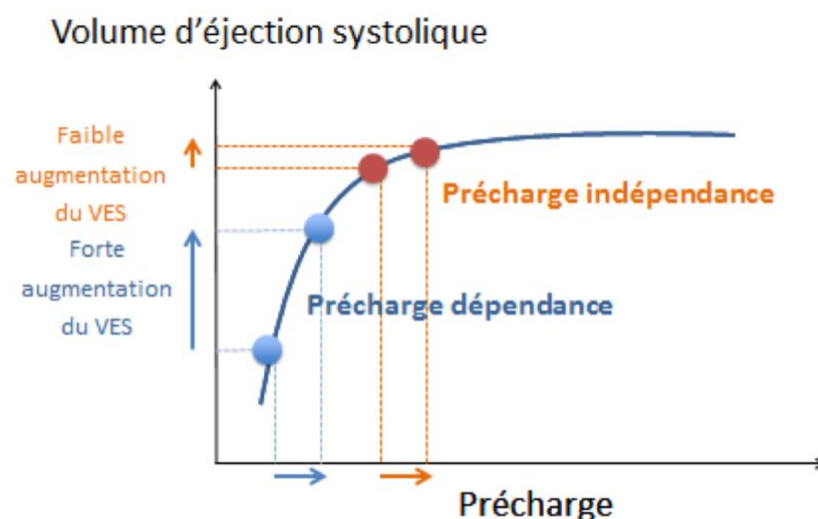


Figure 1 : Courbe de Frank-Starling avec réponse du VES à une augmentation de précharge

Ainsi, l'évaluation des patients précharge-dépendants est indispensable afin de guider notre stratégie de remplissage vasculaire.

2. Évaluation de la précharge-dépendance

Afin d'identifier les patients précharge-dépendants, plusieurs outils sont disponibles.

2.1. Indices dynamiques

Dans un premier temps, nous pouvons utiliser des outils dynamiques peu invasifs que sont la variation de pression pulsée et la variation de volume d'éjection systolique (VES) (7,8). Ces deux outils sont basés sur les interactions entre cœur et poumons. En ventilation mécanique, en pression positive, les contraintes sur le ventricule gauche (VG) diminuent entraînant la diminution du retour sanguin via l'interdépendance ventriculaire et réduisent la post-charge. Les contraintes augmentent sur le ventricule droit (VD), occasionnant la diminution du retour veineux au VD et l'augmentation de la post-charge. Cela conduit à une diminution du VES du VD lors de l'inspiration, puis à une baisse du VES du VG en expiration. Ainsi, la pression pulsée et le VES vont varier au cours du cycle respiratoire. Cependant pour être utilisés, ces indices nécessitent des conditions indispensables dont la première est une ventilation mécanique sans cycle respiratoire spontané et un rythme cardiaque sinusal régulier. Ainsi, chez le patient en VS, ces indices perdent fortement leur validité en raison de la variabilité et de l'intensité de l'effort inspiratoire (9–11)

2.2. Échographie cardiaque transthoracique

L'échographie cardiaque transthoracique (ETT) constitue quant à elle une des techniques de référence au lit du patient, pour estimer le DC sans recourir à un cathéter invasif. Elle combine la mesure du diamètre de la chambre de chasse du ventricule gauche et l'intégrale temps-vitesse du flux sous-aortique (ITVsAo) enregistrée en Doppler pulsé ; leur produit permet de calculer le VES, puis le DC en multipliant par la FC.

Lors d'un test de remplissage vasculaire, une augmentation de l'ITV d'au moins 10 % est généralement considérée comme significative (12,13) et confirme la précharge-dépendance, y compris chez les patients en VS.

2.3. Techniques invasives

Enfin, pour évaluer l'impact du RV sur le DC, on peut recourir au monitoring du DC par des méthodes invasives. Parmi ces méthodes invasives, on retrouve la thermodilution transpulmonaire (PiCCO2) (14) ainsi que le cathéter artériel pulmonaire de Swan-Ganz (15).

2.4. Test de lever de jambe

Pour évaluer le statut de précharge-dépendance, ces méthodes d'évaluation nécessitent la réalisation d'un test de remplissage vasculaire. Afin d'effectuer un remplissage vasculaire sans les effets délétères on peut recourir au test de lever de jambes passif (LJP) qui permet la réalisation d'un remplissage vasculaire « virtuel ». Cette manœuvre est applicable quel que soit le mode ventilatoire (3). Elle consiste à faire passer le patient de la position semi-allongée à une position dans laquelle le tronc est à l'horizontale et les membres inférieurs sont surélevés passivement à 45°, et de ce fait en déplaçant approximativement 300 mL de sang des membres inférieurs vers le cœur (16,17). Il augmente le retour veineux et, chez les sujets précharge-dépendants, le DC (3–5,16–18). Sa fiabilité a été confirmée par deux méta-analyses (19,20). Pourtant, les données spécifiques aux patients en ventilation spontanée (VS) demeurent limitées (9–11).

3. Discordance entre macrocirculation et microcirculation

L'optimisation du DC et des autres paramètres macrocirculatoires comme la pression artérielle ne se traduit pas toujours par une perfusion tissulaire adéquate (21). En théorie, l'optimisation de la macrocirculation conduit à l'amélioration de la microcirculation, on parle alors de cohérence hémodynamique (22).

Plusieurs études ont décrit des conditions dans lesquelles cette cohérence hémodynamique n'était pas respectée et où l'optimisation macrocirculatoire ne permettant pas une amélioration de la microcirculation (23,24). Cette situation de perte de cohérence hémodynamique est la plus souvent retrouvée dans les états de chocs septiques (25–27). Plusieurs mécanismes ont été proposés pour expliquer ce phénomène : l'obstruction capillaire, l'hémodilution, la vasoconstriction locale et enfin l'œdème tissulaire.

Plusieurs études ont montré l'intérêt d'identifier les patients avec une altération de la microcirculation indépendamment des paramètres macrocirculatoires, afin de mieux prédire la réponse au remplissage vasculaire (28,29).

4. Évaluation de la microcirculation

La microcirculation peut être appréhendée cliniquement par plusieurs paramètres cliniques et paracliniques.

4.1. Marqueurs cliniques

4.1.1. Temps de recoloration cutané

Le temps de recoloration cutané (TRC) est défini comme la durée nécessaire au retour de la couleur normale de la peau après une pression suffisante pour obtenir un

blanchiment capillaire. Il s'agit d'une mesure clinique non invasive, réalisable au lit du malade en quelques secondes.

Plusieurs travaux ont documenté l'association entre un TRC prolongé et la sévérité et le pronostic dans le choc septique (30) et l'arrêt cardio-respiratoire (31).

L'essai ANDROMEDA-SHOCK a comparé une stratégie de réanimation visant la normalisation du TRC avec un protocole standardisé et un seuil à 3 secondes, comparativement à une stratégie guidée par la lactatémie. La mortalité à J28 n'était pas significativement différente, tandis qu'une diminution plus rapide du SOFA à 72 h et une tendance à des volumes de remplissage plus faibles dans les premières heures ont été rapportées (32).

La mesure du TRC semble influencée par le site (doigt, sternum, genou), la température ambiante, l'éclairage, la force et durée d'appui, le mode de chronométrage et les facteurs cutanés locaux. Ces différents facteurs semblent expliquer une variabilité inter et intra-observateur et des seuils hétérogènes selon les études (33,34).

En ce qui concerne la technique de réalisation de la mesure, des approches instrumentées, notamment l'analyse vidéo avec pression contrôlée ou l'utilisation de capteurs permettant de suivre simultanément la pression appliquée et la recoloration, ont montré une réduction de la variabilité et un abaissement du least significant change (LSC) par rapport à la méthode strictement manuelle (35). Dans une étude locale, Mohammad et al., la répétition de mesures dans un protocole standardisé a permis d'estimer un LSC intra-observateur de l'ordre de 13-20 % et un LSC inter-observateur d'environ 27 %, ce qui appuie l'intérêt de la standardisation (36).

En ce qui concerne l'utilisation du TRC comme marqueur de précharge-dépendance, les résultats sont hétérogènes, parfois contradictoires et peu robustes (35).

Au-delà du TRC, d'autres signes périphériques simples renseignent sur la perfusion tissulaire comme la température cutanée et les marbrures.

4.1.2. Température cutanée

La température cutanée est la mieux estimée en utilisant la face dorsale de la main ou des doigts de l'examineur car ces parties sont les plus sensibles à la température. Les patients sont considérés comme ayant les extrémités froides si toutes les extrémités sont froides ou si seules les extrémités des membres inférieurs sont froides (37). Il a été démontré que des perceptions de variation de température cutanée correspondent à des mesures objectives de la perfusion périphérique (38,39).

4.1.3. Gradient température cutanée-température centrale

Il semble que les gradients de température reflètent mieux l'état de la microcirculation que la température brute (40,41). Lors des états de choc, la vasoconstriction diminue la température périphérique au bénéfice de la température centrale. Cela résulte en une augmentation du gradient température centrale – température périphérique, avec une valeur entre 3 et 7 °C considérée comme normale (23,42).

4.1.4. Marbrures

Les marbrures se manifestent usuellement au niveau des genoux (43). Elles résultent d'une vasoconstriction locale hétérogène, qui sont un signe précoce se manifestant en cas d'hypoperfusion périphérique (44). Un score de marbrures allant de zéro à cinq a été proposé et pourrait servir de critère subjectif afin d'estimer la sévérité de l'hypoperfusion périphérique et aurait par ailleurs une valeur pronostique (45–48).

Ces signes cliniques se complètent par des marqueurs paracliniques avec notamment le lactate et l'indice de perfusion (IP).

4.2. Marqueurs paracliniques

4.2.1. Lactate

Lors d'une inadéquation entre les besoins et l'apport en oxygène aux cellules, le métabolisme cellulaire initialement aérobie devient anaérobie. Un des marqueurs de ce métabolisme anaérobie est le lactate (49), dont l'augmentation a été montrée comme associée à la mortalité dans le choc septique (50,51) et aussi comme facteur pronostic défavorable dans l'arrêt cardio-respiratoire (52).

4.2.2. Indice de perfusion

L'indice de perfusion est dérivé du signal photopléthysmographique (PPG) capté par les oxymètres de pouls. Le capteur émet deux longueurs d'onde (rouge ≈ 660 nm et infrarouge ≈ 940 nm) et mesure la quantité de lumière transmise ou réfléchiée par les tissus au niveau de la pulpe digitale. Le signal PPG comporte une composante continue liée à l'absorption fixe des tissus (peau, os, sang veineux) et une composante pulsatile correspondant aux variations cycliques du volume sanguin artériel durant chaque systole. L'IP est le rapport de la composante pulsatile sur la composante continue (souvent exprimé en pourcentage).

Il représente donc la part de sang artériel pulsatile par rapport au volume tissulaire non pulsatile (53). Quand la vasodilatation périphérique est présente, l'amplitude de

la composante pulsatile augmente et l'IP s'élève ; à l'inverse, la vasoconstriction (froid, catécholamines) ou l'hypovolémie font chuter l'IP (54,55).

Ses principaux atouts résident dans le caractère non invasif, continu, sa réactivité car sa valeur peut se modifier en quelques secondes et sa disponibilité sur la quasi-totalité des moniteurs.

En pratique, l'IP est renseigné sans unité, avec des valeurs considérées normales dans la majorité des études lorsque supérieures à 1,4 chez le sujet sain (53). Dans les situations d'hypoperfusion, il est associé à un pronostic défavorable quand inférieur à 0,3 (56–58). Toutefois, il reste influencé par la température, le site de mesure et présente une variabilité inter- et intra-individuelle élevée (59). Bien qu'il soit de plus en plus étudié pour évaluer la microcirculation, ses performances chez les patients en VS restent encore peu documentées.

Deux études suggèrent que sa variation durant le LJP pourrait prédire la précharge-dépendance (60,61), tandis que deux autres n'observent pas de changement significatif (62,63).

5. Hypothèse

Notre hypothèse est que chez les patients en VS en soins critiques, les variations de l'IP ou du TRC induites par le lever de jambes passif permettent de prédire la précharge-dépendance, définie par une augmentation significative de l'ITVsAo à l'ETT.

MATERIEL ET METHODES

1. Conception de l'étude

Cette étude est une étude ancillaire de l'étude c-VCI. Cette étude visait à étudier la collapsibilité de la veine cave inférieure lors d'une manœuvre inspiratoire standardisée simplifiée (via dispositif TRIFLO) dans le but de définir si cette collapsibilité permet de prédire la précharge-dépendance comparativement au GOLD standard qui est la variation d'ITVsAo de plus de 10 %.

L'étude c-VCI est une étude prospective, monocentrique, observationnelle, a été menée entre mars 2023 et juin 2024 dans les 8 unités du pôle de médecine intensive-réanimation (5 unités de réanimation, 2 unités de surveillance continue et 1 unité de déchoquage médical) de l'hôpital Roger Salengro, au centre hospitalo-universitaire de Lille, en France. Les inclusions se sont déroulées de mars 2023 à mai 2024.

1.1. Critère de jugement principal

Le critère de jugement principal est de montrer que la variation de l'IP au cours du LJP permet de prédire la précharge-dépendance, comparativement à l'échographie cardiaque transthoracique.

1.2. Critères de jugement secondaires

Les critères de jugement secondaires sont les suivants :

- Paramètres macrocirculatoires au cours du LJP selon statut précharge
- Variation du TRC au cours du LJP permet de prédire la précharge-dépendance
- Variabilité de ces deux marqueurs par l'analyse du coefficient de variabilité (CV) et le calcul du least significant change (LSC)

2. Patients et données

2.1. Population

Les critères d'inclusion sont les suivants :

- Adultes ≥ 18 ans,
- Hospitalisés en soins critiques (réanimation, USC, déchocage),
- Ayant une couverture sociale
- En VS avec oxygène nasal, sans détresse respiratoire aiguë
- Système TRIFLO prescrit dans le cadre de la kinésithérapie respiratoire
- Évaluation de la précharge-dépendance requise pour insuffisance circulatoire définie par ≥ 1 critère :
 - Marbrures $\geq$ grade I
 - TRC > 3 s
 - Oligurie $< 0,5$ mL/kg/h ≥ 1 h
 - Hypotension (PAM < 65 mmHg) ; tachycardie > 90 /min ; catécholamines en cours.

Les critères d'exclusion sont les suivants :

- Mineurs,
- Femmes enceintes,
- Non-assurés sociaux
- Assistance ventilatoire, trachéotomie ou intubation
- Absence de TRIFLO prescrite
- Refus de participer, incapacité légale à consentir, troubles de la vigilance
- Détresse respiratoire aiguë (signes de lutte, épuisement respiratoire, expiration abdominale active)

- Nécessité de modifier la thérapeutique hémodynamique pendant les mesures (remplissage, introduction/modification des catécholamines)
- Impossibilité de mesurer le critère de jugement (fenêtre ETT non exploitable/échogénicité insuffisante, insuffisance aortique de haut grade, PIV > 16 mmHg, Indice de masse corporelle (IMC) > 35 kg/m²)
- Contre-indication au LJP (hypertension intracrânienne, amputation d'un membre inférieur)

2.2. Données recueillies

Les données cliniques et démographiques suivantes ont été collectées pour chaque patient et sont reportées dans le **Tableau 1**.

Données démographiques	Données cliniques
- Âge (années)	- Fréquence cardiaque (bpm)
- Sexe	- PAS, PAM et PAD (mmHg)
- Poids (kg)	- Fréquence respiratoire (cycles/min)
- Taille (m)	- SpO ₂ (%)
- IMC (kg/m ²)	- IP
- Antécédents médicaux	- TRC (s)
- Antécédents chirurgicaux	- Dose de catécholamines (µg/kg/min)
- Motif d'admission (médical, chirurgical ou autre)	- Remplissage vasculaire dans les 24h précédant l'inclusion (ml),
- Délai entre admission et jour de la mesure (jour)	- Mode d'administration et quantité d'oxygène (L/min et FiO ₂)
	- Marbrures
	- Oligurie

Tableau 1 : Données démographiques et cliniques recueillies

SpO₂ = saturation pulsée en oxygène ; FiO₂ = fraction inspirée d'oxygène ; IMC = indice de masse corporelle ; PAM/PAS/PAD = pression artérielle moyenne/systolique/diastolique ; TRC = temps de recoloration cutané ; IP = indice de perfusion.

Les scores de gravité suivants ont aussi été calculés pour chaque patient :

- Score IGS II (64) (**annexe 1.1**)
- Charlson comorbidity index (65) (**annexe 1.2**)
- SOFA (Sequential Organ Failure Assessment score) (66) (**annexe 1.3**)

3. Protocole de l'étude

3.1. Réalisation du test de lever de jambes passif

Le LJP a été réalisé selon un protocole standardisé et selon les recommandations (18). Cette manœuvre est explicitée sur la **Figure 2**.

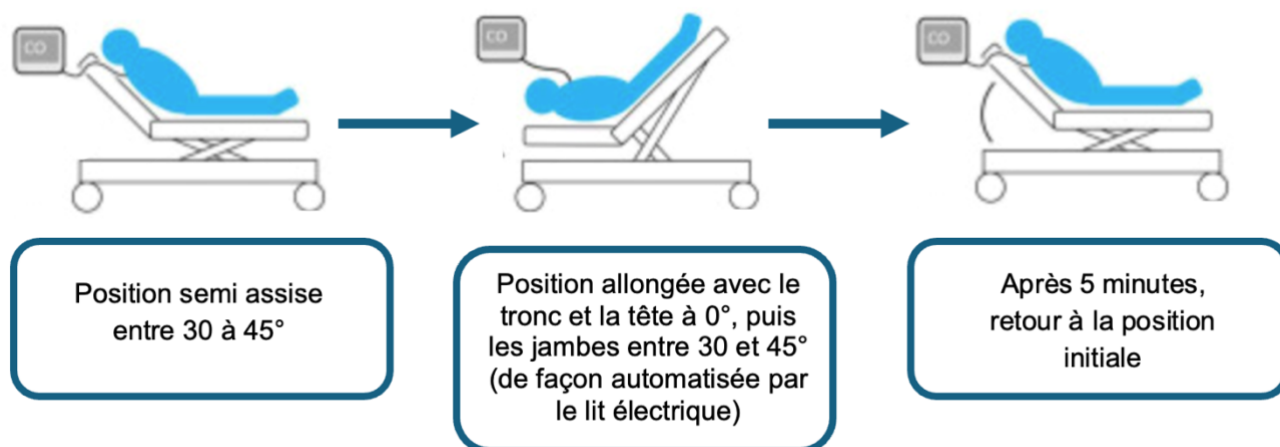


Figure 2 : Méthode de réalisation du test de lever de jambes passif

D'après Monnet X, Teboul JL. Prediction of fluid responsiveness in spontaneously breathing patients. Ann Transl Med. 2020 Jun;8(12):790. doi: 10.21037

Les paramètres hémodynamiques étaient recueillis avant le test de lever de jambes puis pendant, après au moins une minute d'attente.

3.2. Mesure de l'indice de perfusion

L'IP a été mesuré à l'aide d'un oxymètre de pouls Philips IntelliVue MX800®, placé sur le lobe de l'oreille ou sur le doigt du patient.

L'IP est reporté sur le moniteur patient comme montré sur la **Figure 3**.



Figure 3 : Localisation de la valeur d'IP sur le moniteur patient

Philips IntelliVue MX800® ; indice de perfusion

Entre trois et sept valeurs d'IP étaient récupérées avant le LJP et après le test, entre trois et cinq valeurs étaient reportées.

3.3. Méthode de mesure du temps de recoloration cutané

Le TRC a été mesuré en appliquant une pression sur la pulpe de l'index selon un procédé de vitropression avec une lame de microscope jusqu'à la vidange capillaire. Cette lame est ensuite relâchée après 5 secondes. Le temps nécessaire pour que la pulpe du doigt revienne à son état initial après relâchement de la pression a été mesuré à l'aide d'un chronomètre électronique actionné et interrompu par le biais d'une pédale, précis à 0,1 seconde, comme illustré par la **Figure 4**. Cette mesure a été réalisée 3 fois avant et 3 fois pendant le LJP.

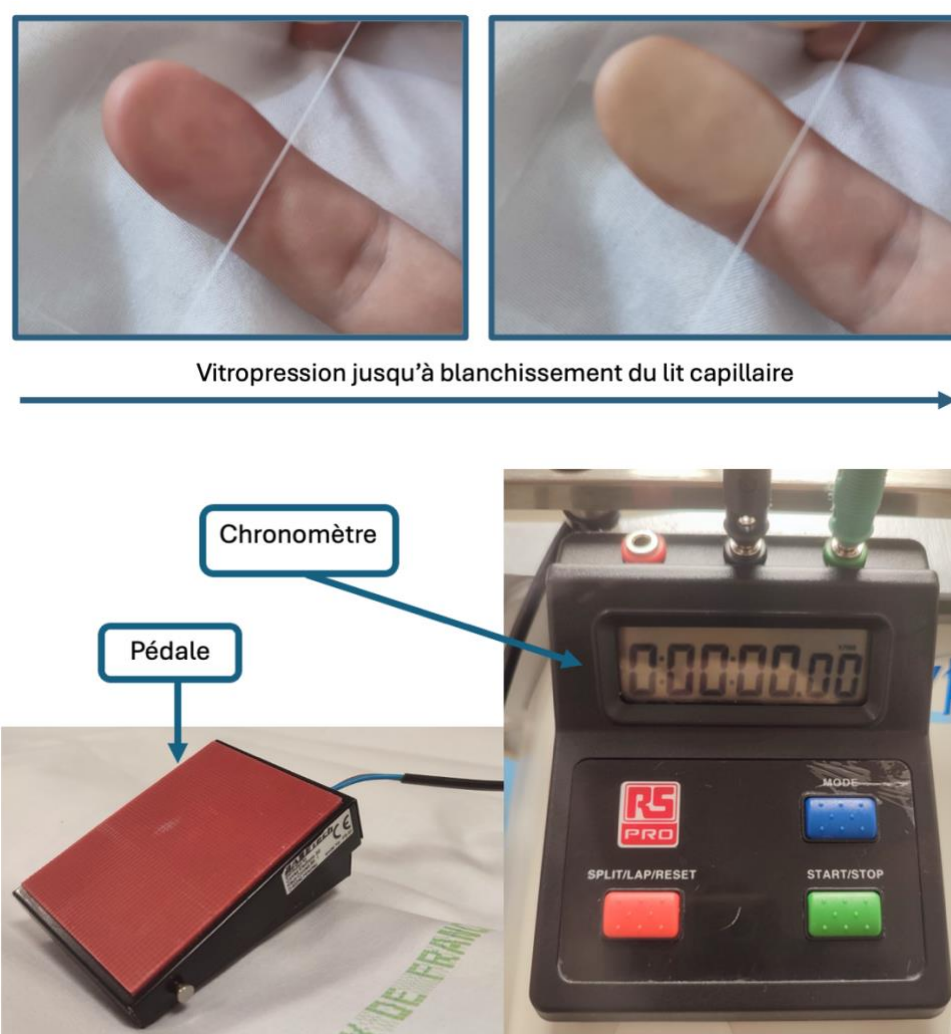


Figure 4 : Méthode de mesure du TRC
TRC : temps de recoloration cutané

3.4. Évaluation de la réponse hémodynamique à l'épreuve de lever de jambes

La réponse hémodynamique au LJP a été définie par une augmentation de l'ITVsAo supérieure ou égale à 10 % après la manœuvre, en utilisant le calcul suivant :

$$\text{(ITVsAo pendant LJP – ITVsAo avant LJP)} / \text{ITVsAo avant LJP}$$

Les mesures d'ITVsAo ont été mesurées par un échographe du modèle GE Vivid S70® (General Electric, Solingen, Germany) avec une sonde ETT à 2 MHz. Les mesures des ITVsAo ont été réalisées en mode Doppler pulsé avec 10 mesures au cours de 10 cycles cardiaques successifs et analysées par un opérateur de niveau 3 d'échographie cardiaque, les boucles ETT ayant été enregistrées au préalable.

Les patients ont alors été divisés en deux groupes selon leur réponse hémodynamique : ceux ayant une réponse positive, c'est-à-dire une augmentation de l'ITVsAo de plus de 10 % et ceux n'ayant pas de réponse significative.

4. Analyse statistique

Les données des patients ont été recueillies au cours des inclusions et reportées dans un CRF en ligne nommé REDCap, permettant un stockage sécurisé et anonyme. L'extraction des données était réalisée par le service de data management du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Lille par l'équipe de l'Unité Statistique, Évaluation Économique, Data-management (SEED), par M. LEROY.

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS (version 9.4 ou supérieure) et conduite à l'Unité Statistique, Évaluation Économique, Data-

management (SEED) du CHU de Lille sous la responsabilité de Hélène Béhal. Tous les tests statistiques ont été bilatéraux avec un risque de première espèce de 5%.

Les variables qualitatives ont été décrites par les effectifs et pourcentages. Les variables quantitatives ont été décrites par la moyenne et l'écart type en cas de distribution gaussienne, ou par la médiane et l'interquartile (i.e. 25ième et 75ième percentiles) dans le cas contraire. La normalité des distributions a été testée par un test de Shapiro-Wilk et vérifiée graphiquement par des histogrammes. La description a été réalisée sur l'ensemble de la population et suivant le statut de précharge-dépendant ou non du patient.

La variation de l'IP et du TRC (en valeurs absolues, en différences absolues et rapports relatifs) avant et après lever de jambe, a été comparée en fonction du statut précharge-dépendant par un test de Student.

Les performances relatives de l'IP et du TRC (en valeurs absolues, en différences absolues et en rapports relatifs) ont été évalués par le calcul de l'air sous la courbe ROC (AUC) accompagnée de son intervalle de confiance à 95 %. La sensibilité, la spécificité, la valeur prédictive positive (VPP) et négative (VPN) ainsi que l'indice de Youden ont été calculés.

Des analyses de sensibilité identiques ont été réalisés chez les patients dont la variabilité initiale de l'indice de perfusion était inférieure à 25% dans un premier temps et 10% dans un second temps.

L'association entre le rapport relatif de l'indice de perfusion (dichotomisé suivant le seuil de 10 : < 10 vs ≥ 10) et le statut précharge-dépendant a été évaluée par un modèle de régression logistique. L'hypothèse de log-linéarité a été évaluée à l'aide des fonctions splines cubiques restreintes. L'odds-ratio et son intervalle de confiance à 95 % ont été exprimés comme taille d'effet avec le groupe « < 10 » comme référence. Une analyse avec ajustement sur l'IGS II a été appliquée également.

5. Cadre réglementaire et consentement

Sur le plan éthique, le protocole de recherche était enregistré auprès de ClinicalTrials.gov sous le numéro NCT06921642. Conformément à la loi Jardé en vigueur, cette étude de catégorie 3 a également bénéficié de l'accord du Comité de Protection des Personnes Sud-Ouest et Outre-Mer II sous le numéro 23.00232.000175. Chaque jour, l'éligibilité des patients admis pour insuffisance circulatoire dans le pôle de médecine intensive réanimation du CHU de Lille était vérifiée. Lorsque le patient était éligible, une information loyale et éclairée lui était dispensée (ou à un proche le cas échéant) sur les modalités et l'objectif de la recherche. Après remise d'une note d'information et recueil de la non-opposition, le patient était inclus dans l'étude.

RESULTATS

1. Diagramme de flux

Sur la période de mai 2023 à mars 2024, 120 patients ont été éligibles aux critères d'inclusion. La principale cause d'exclusion a été un défaut d'échogénicité et concernait 22 des patients. Ainsi 74 patients ont été inclus dans le protocole d'étude et 2 exclus à posteriori car définis comme non analysables.

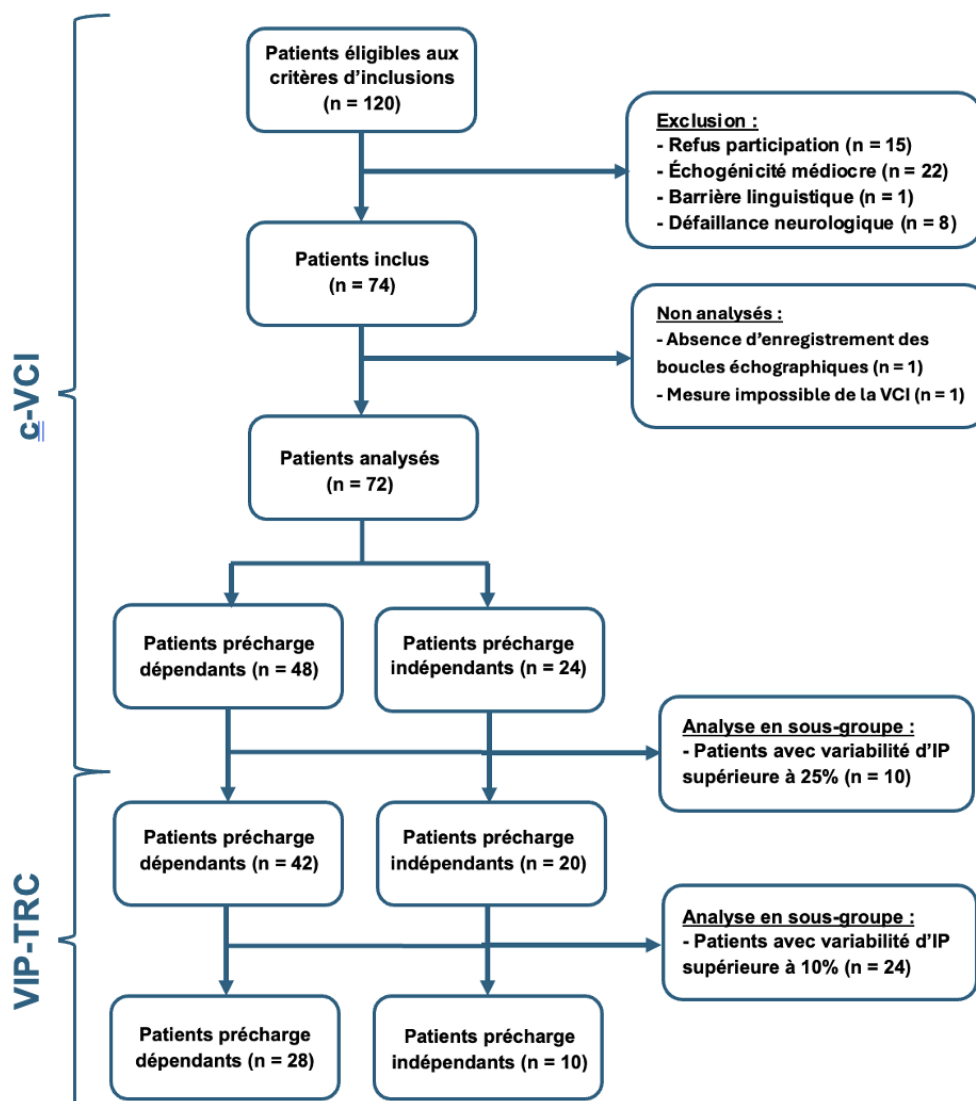


Figure 5 : Diagramme de flux des patients

D'après Clastres L. et al. (67) VCI : veine cave inférieure

2. Description des patients à l'inclusion

Les caractéristiques principales des patients sont répertoriées dans le **Tableau 2**.

Caractéristiques des patients	Précharge-dépendant (n=48)	Précharge indépendant (n=24)
Age (années)	55,7 ± 15,9	62,2 ± 19,6
Genre (homme, n (%))	28 (58)	14 (58)
Poids (kg)	77 ± 18	78 ± 20
Taille (cm)	170 ± 10	170 ± 10
IGS II	36 ± 13	37 ± 14
SOFA	3,5 ± 2,9	5,2 ± 3,1
Charlson	3,3 ± 2,7	4,3 ± 3,0
Nombre de jours d'hospitalisation à l'inclusion	2,7 ± 3,2	1,6 ± 1,3
Admission pour motif médical (n (%))	47 (98)	22 (92)
Admission pour motif chirurgical (n (%))	1 (2)	2 (8)
Antécédents médicaux		
Hypertension artérielle (n (%))	29 (60)	16 (67)
Insuffisance cardiaque gauche (n (%))	4 (8)	7 (29)
Insuffisance cardiaque droite (n (%))	1 (2)	3 (13)
Bronchopathie chronique obstructive (n (%))	10 (21)	2 (8)
Hypertension pulmonaire (n (%))	2 (4)	1 (4)
Embolie pulmonaire (n (%))	3 (6)	1 (4)
Artériopathie oblitérante des membres inférieurs (n (%))	4 (8)	2 (8)
Arythmie supra-ventriculaire (n (%))	9 (19)	6 (25)
Antécédents chirurgicaux		
Chirurgie cardiaque (n (%))	1 (2)	2 (8)
Chirurgie abdominale (n (%))	9 (19)	6 (25)
Chirurgie thoracique (n (%))	1 (2)	1 (4)
Signes d'insuffisance circulatoire		
Marbrures (n (%))	0 (0)	3 (13)
Oligurie (n (%))	5 (10)	1 (4)
Tachycardie (n (%))	39 (81)	14 (58)
Hypotension artérielle (n (%))	17 (35)	13 (54)
Paramètres hémodynamiques		
PAS (mmHg)	123 ± 24	120 ± 19
PAD (mmHg)	66 ± 14	64 ± 12
PAM (mmHg)	84 ± 16	80 ± 11
FC (bpm)	100 ± 20	100 ± 27
ITVsAo (cm)	19 ± 5,7	20 ± 11
VES (mL)	62 ± 20	63 ± 26
Remplissage vasculaire dans les dernières 24h (mL)	998 ± 1295	1527 ± 1998
Catécholamines		
Noradrénaline (n (%))	13 (27)	13 (54)
Dose de noradrénaline (µg/kg/min)	0,4 ± 1,1	2,2 ± 7,3
Dobutamine (n (%))	0 (0)	2 (8)
Dose de dobutamine (µg/kg/min)	0 ± 0	3,5 ± 1,5
Isoprénaline (n (%))	6 (13)	4 (17)
Dose d'isoprénaline (µg/kg/min)	0,5 ± 2,3	0,1 ± 0,3
Paramètres respiratoires		
Fréquence respiratoire (cycles/min)	21 ± 4,6	22 ± 5,5
SpO ₂ (%)	96 ± 2	96 ± 2
Oxygénothérapie		
Lunettes nasales (n (%))	32 (67)	22 (92)
Haut débit (n (%))	16 (33)	2 (8)

Tableau 2 : Caractéristiques des patients à l'inclusion

PAM/PAS/PAD = pression artérielle moyenne/systolique/diastolique ; ITVsAo = intervalle temps-vitesse sous aortique ; VES = volume d'éjection systolique ; SpO₂ = saturation pulsée en oxygène

La population finale compte soixante-douze patients, répartis en quarante-huit répondeurs (66 %) et vingt-quatre non-répondeurs (34 %), avec 58 % d'hommes dans les deux groupes. L'âge moyen est de 56 ans (intervalle interquartile (IQR) 48-67) chez les répondeurs contre 62 ans (IQR 55-74,5) chez les non-répondeurs sans différence significative. Le poids et la taille sont similaires.

Le score de gravité IGS II est de 36 ± 13 chez les répondeurs et 37 ± 14 chez les non-répondeurs. Le score SOFA est à $3,5 \pm 2,9$ vs $5,2 \pm 3,1$. Aucune de ces variations n'est statistiquement significative. Il en va de même pour les comorbidités évaluées par l'indice de Charlson à $3,3 \pm 2,7$ vs $4,3 \pm 3,0$.

En ce qui concerne les antécédents, la majorité des patients dans les deux groupes ont une hypertension artérielle (60 % chez les répondeurs et 67 % chez les non-répondeurs). On observe 8 % de patients avec une insuffisance cardiaque gauche dans le groupe répondeur et 29 % dans le groupe non-répondeur.

Sur le plan circulatoire, les deux groupes présentent une PAM comparable (80,1 mmHg chez les non-répondeurs versus 83,6 mmHg chez les répondeurs) et une FC moyenne identique d'environ 100 bpm.

Dans le groupe répondeur au LJP les patients ont reçu en moyenne 998 mL de remplissage vasculaire dans les 24h précédant l'inclusion, contre 1527 mL dans le groupe non-répondeur.

Les besoins en noradrénaline sont de 27 % dans le groupe des répondeurs avec une posologie moyenne à $0,4 \pm 1,1 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$, et de 54 % dans le groupe non-répondeur avec une posologie moyenne à $2,2 \pm 7,3 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$. On observe deux patients dans le groupe non-répondeur chez qui de la dobutamine est administrée. La

proportion de patients nécessitant de l'isoprénaline est comparable entre les deux groupes.

3. Paramètres macrocirculatoires au cours du LJP

Les variations des paramètres macrocirculatoires sont rapportées dans le [Tableau 3](#).

	Avant LJP	Après LJP
Fréquence cardiaque (battements/min)		
Test LJP positif (n=48)	100 ± 20	98 ± 21
Test LJP négatif (n=24)	100 ± 27	98 ± 32
Pression artérielle systolique (mmHg)		
Test LJP positif (n=48)	123 ± 24	123 ± 24
Test LJP négatif (n=24)	120 ± 19	121 ± 18
Pression artérielle diastolique (mmHg)		
Test LJP positif (n=48)	66 ± 14	67 ± 13
Test LJP négatif (n=24)	64 ± 12	65 ± 11
Pression artérielle moyenne (mmHg)		
Test LJP positif (n=48)	84 ± 16	85 ± 15
Test LJP négatif (n=24)	80 ± 11	82 ± 8,7
ITVsAo (cm)		
Test LJP positif (n=48)	19 ± 5,7	23 ± 6,9
Test LJP négatif (n=24)	20 ± 11	21 ± 11
VES (mL)		
Test LJP positif (n=48)	62 ± 20	76 ± 24
Test LJP négatif (n=24)	63 ± 26	65 ± 28

Tableau 3 : Variation des paramètres macrocirculatoires au cours du LJP

LJP = test de lever de jambes passif ; ITVsAo = intervalle temps-vitesse sous aortique ; VES = volume d'éjection systolique

Après manœuvre de LJP, la fréquence cardiaque diminue dans les deux groupes de 2 bpm. La pression artérielle ne varie pas de façon significative dans les deux groupes tant pour la PAS, que pour la PAD ou PAM. On observe dans le groupe répondeur

une augmentation du VES de 62 ± 20 mL à 76 ± 24 mL et de l'ITVsAo de $19 \pm 5,7$ cm à $23 \pm 6,9$ cm tandis que dans le groupe non-répondeurs ces deux paramètres ne varient pas.

Les posologies des vasopresseurs sont dans les deux groupes identiques avant et après le LJP. Les valeurs sont disponibles en annexe.

4. Indice de perfusion

4.1. Variation de l'IP au cours de LJP

Les données correspondant à la variation de l'IP au cours du LJP sont reportées dans le **Tableau 4**.

	<i>Avant LJP</i>	<i>Après LJP</i>	<i>Variation absolue</i>	<i>Variation relative (%)</i>
<i>Test LJP positif (n=48)</i>	$3,8 \pm 2,7$	$4,7 \pm 3,7$	$0,9 \pm 1,8$ $p = 0,001$	$25,7 \pm 38,1$ $p < 0,0001$
<i>Test LJP négatif (n=24)</i>	$3,8 \pm 3,7$	$4,3 \pm 4,0$	$0,5 \pm 0,8$ $p = 0,006$	$7,4 \pm 30,3$ $p = 0,24$
	$p = 0,98$	$p = 0,67$	$p = 0,19$	$p = 0,044$

Tableau 4 : Variation de l'IP au cours du LJP

IP : indice de perfusion ; LJP : test de lever de jambes passif

L'IP est identique à 3,8 en moyenne dans les deux groupes avant LJP.

La proportion de valeurs basses ($IP < 1$) est faible, soit 6 patients sur 72 au total - 4 répondeurs vs 2 non-répondeurs - et moins de 7 % des patients présentent un TRC supérieur à 3 s, avec une proportion équivalente dans chaque groupe.

Durant le LJP, l'IP augmente dans les deux groupes. Chez les répondeurs, cette augmentation est statistiquement significative autant pour la variation absolue avec

une valeur passant de 3,8 à 4,7, soit un gain absolu estimé à +0,90 (IC 95 % 0,39 – 1,41) autant que pour la variation relative qui est à +25,7 % (IC 95 % 14,9 – 36,5).

Chez les non-répondeurs, l'IP augmente de 3,8 à 4,3, soit avec un gain absolu de +0,50 (IC 95 % 0,18 – 0,82 ; $p=0,006$), et en variation relative de +7,4 % (IC 95 % - 4,7 – 19,5 ; $p=0,24$).

La différence de variation entre les groupes est significative pour la variation relative ($p = 0,044$) mais ne l'est pas pour la variation absolue ($p = 0,19$).

4.2. Performance de la variation d'IP pour prédire la précharge-dépendance

4.2.1. Courbe ROC

Les courbes ROC représentant la performance de la variation d'IP – en variation relative et en variation absolue – sont reportées sur la [Figure 6](#).

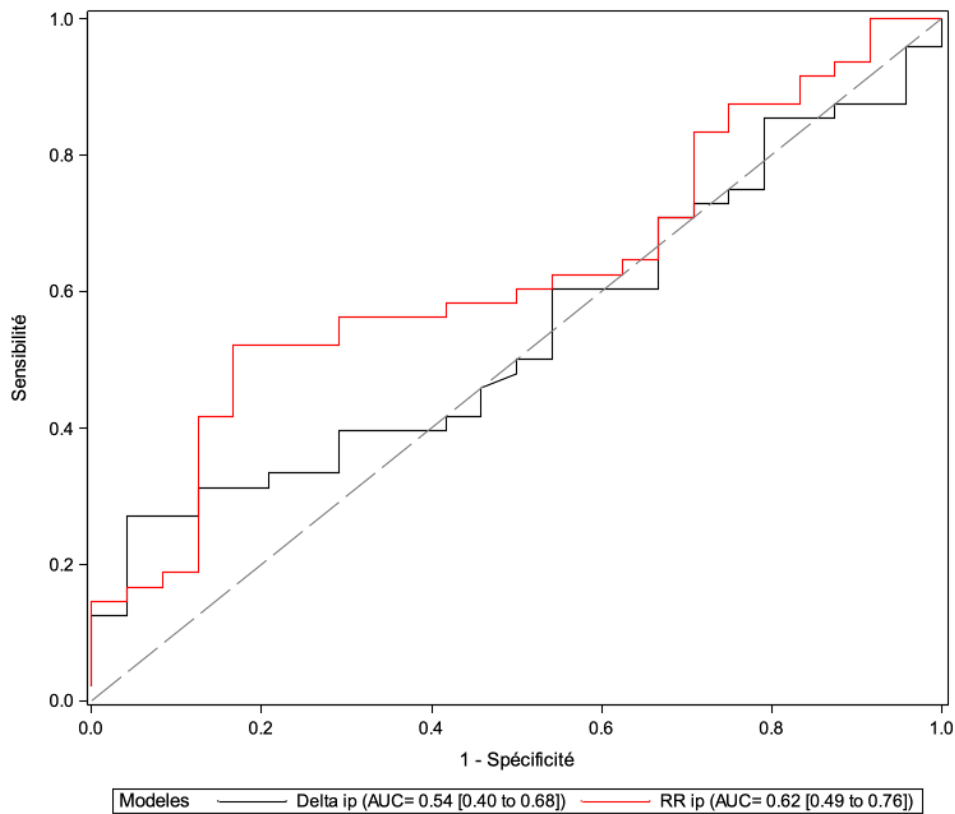


Figure 6 : Courbe ROC représentant la performance de la variation de l'IP pour prédire le statut de précharge-dépendance.

*Ces courbes sont optimisées afin d'obtenir l'indice de Youden le plus élevé possible.
IP = indice de perfusion*

La courbe ROC retrouve que la variation relative de l'IP (Δ IP %) affiche la meilleure performance : son aire sous la courbe atteint 0,624 (IC 95 % 0,490 – 0,758). La valeur seuil optimisée, identifiée par l'indice de Youden, se situe à +22 % ; elle offre une spécificité élevée (83 %) mais une sensibilité modérée (52 %). La même variable exprimée en valeur absolue (delta IP) n'est pas discriminante avec une aire sous la courbe (AUC) à 0,54 (IC 95 % 0,40 – 0,68).

4.2.2. Analyse de sensibilité et spécificité

La sensibilité et la spécificité en fonction du seuil de variation de l'IP sont représentées par les **Figures 7 et 8**.

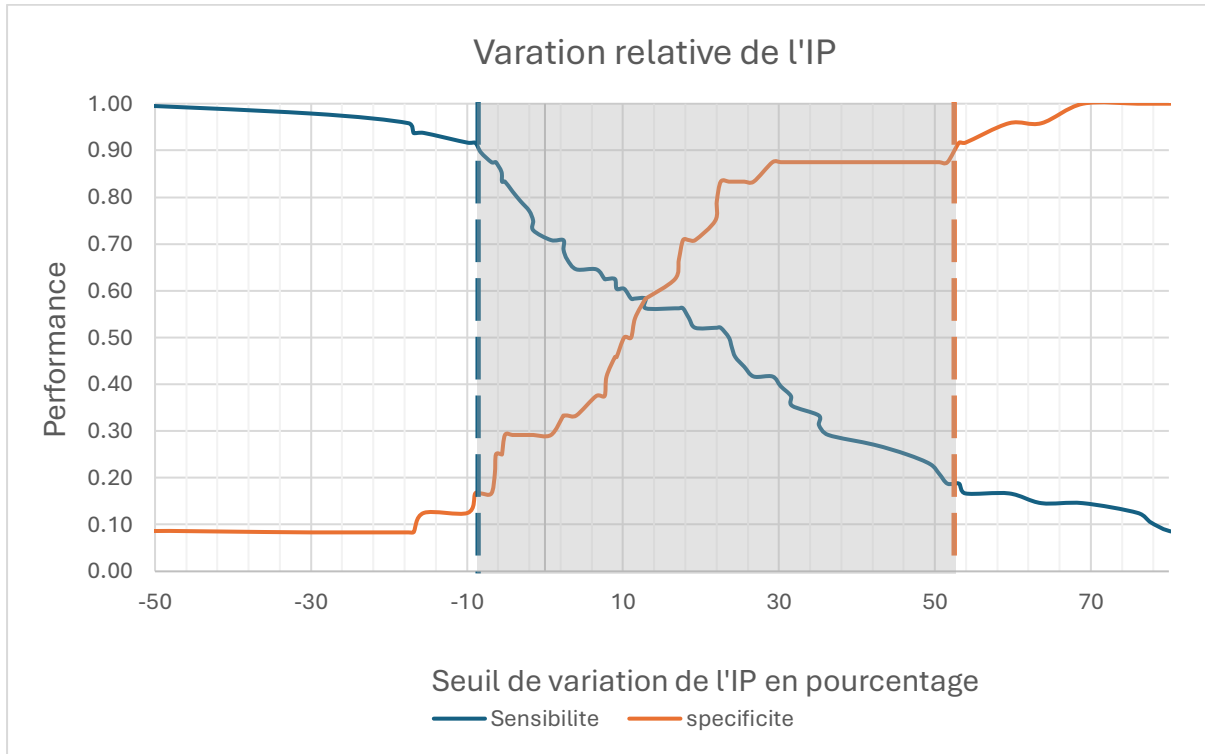


Figure 7 : Évolution de la sensibilité et spécificité de la variation d'IP en fonction du seuil de variation en rapport relatif

IP : indice de perfusion ; RR : rapport relatif

- - - seuil de sensibilité à 90 %

- - - seuil de spécificité à 90 %

■ zone grise

Pour le rapport relatif d'IP, le seuil de -8,94 % permet d'atteindre une sensibilité ≥ 90 % ($Se \approx 0,92$; $Sp \approx 0,17$) et le seuil de +53,10 % permet d'atteindre une spécificité ≥ 90 % ($Se \approx 0,19$; $Sp \approx 0,92$).

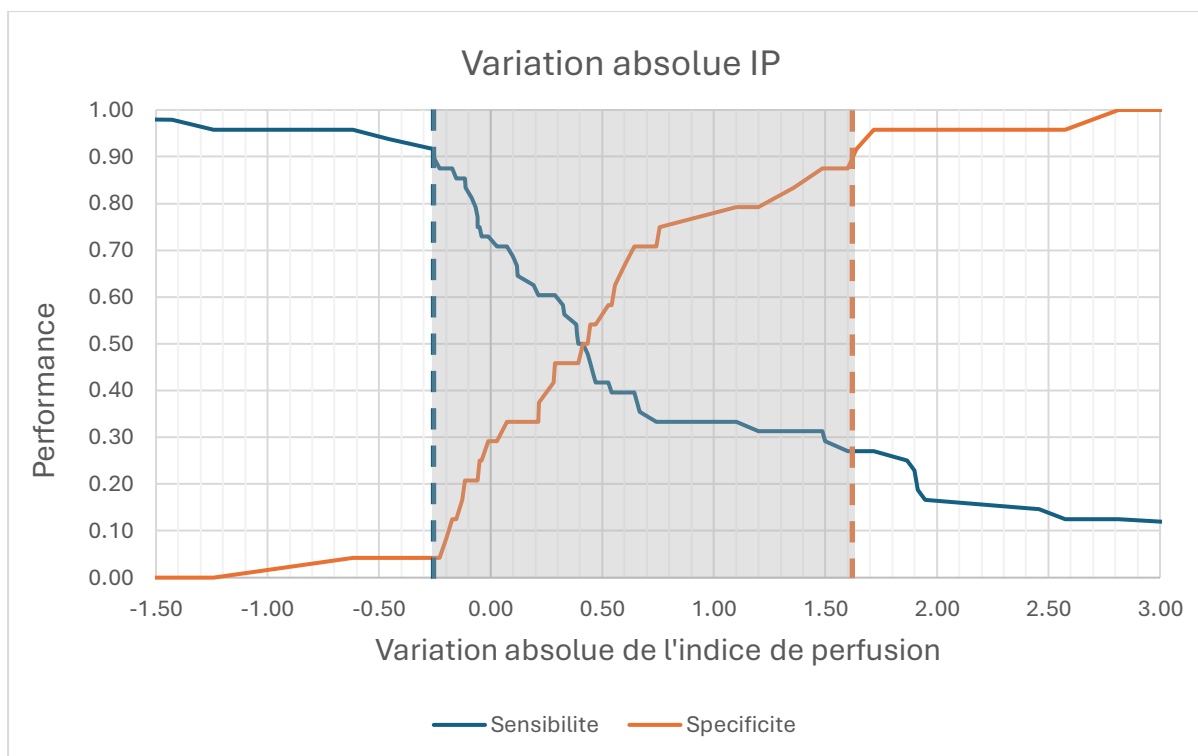


Figure 8 : Évolution de la sensibilité et spécificité de la variation d'IP en fonction du seuil de variation en variation absolue

IP : indice de perfusion ; RR : rapport relatif

- - - seuil de sensibilité à 90 %

- - - seuil de spécificité à 90 %

■ zone grise

Pour la variation absolue d'IP, les seuils correspondants sont respectivement de - 0,257 ($Se \approx 0,92$; $Sp \approx 0,04$) et +1,717 ($Se \approx 0,27$; $Sp \approx 0,96$).

Dans les deux cas, 73,6 % des patients se situent en zone grise, c'est-à-dire entre les seuils de 90 % de sensibilité et 90 % de spécificité.

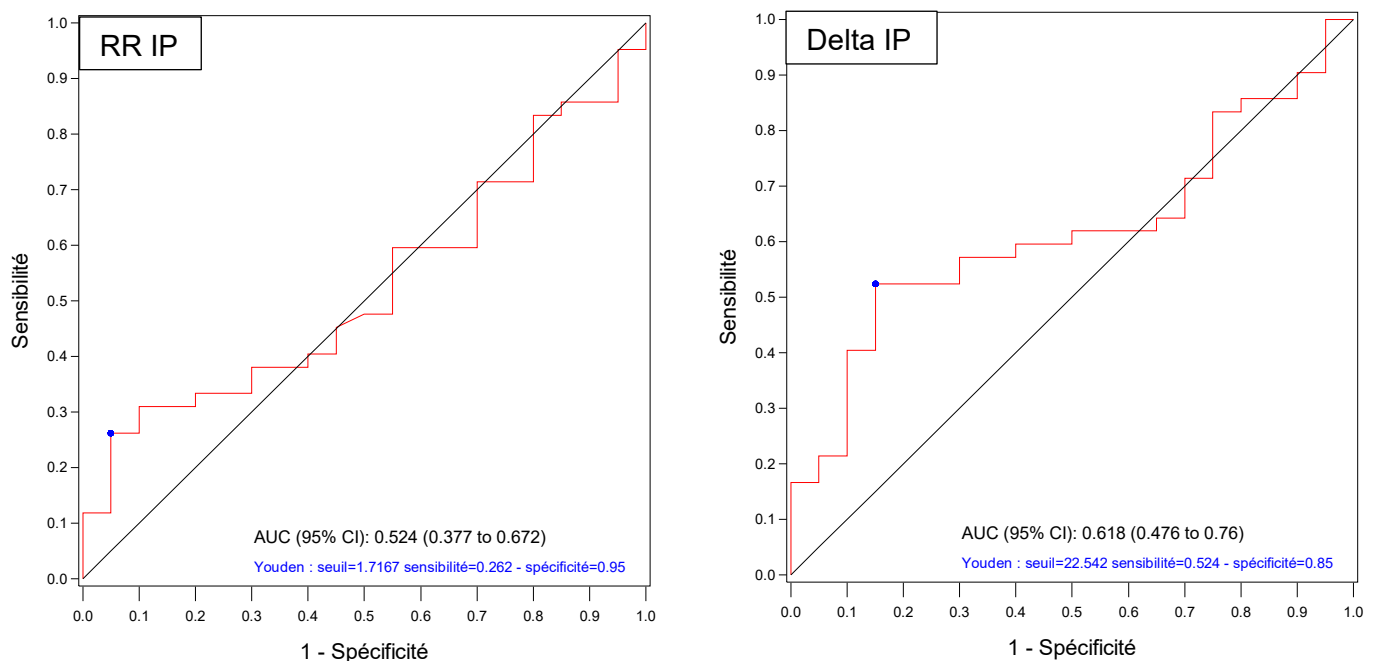
Les valeurs de spécificité et sensibilité pour chaque valeur de seuil sont rapportées en annexe.

4.3. Analyse en sous-groupe selon variabilité initiale de l'indice de perfusion

Les différentes analyses ont été à nouveau réalisées en excluant les patients dont la variabilité de l'IP excédait 25 % puis 10 %. Ces populations obtenues comprenaient respectivement 62 et 38 patients.

4.3.1. Variabilité inférieure à 25 %

Les courbes ROC représentant la performance de la variation d'IP pour prédire le statut de précharge-dépendance sont représentées par les **Figures 9 et 10** pour les patients dont la variabilité d'IP ne dépasse pas 25 %.



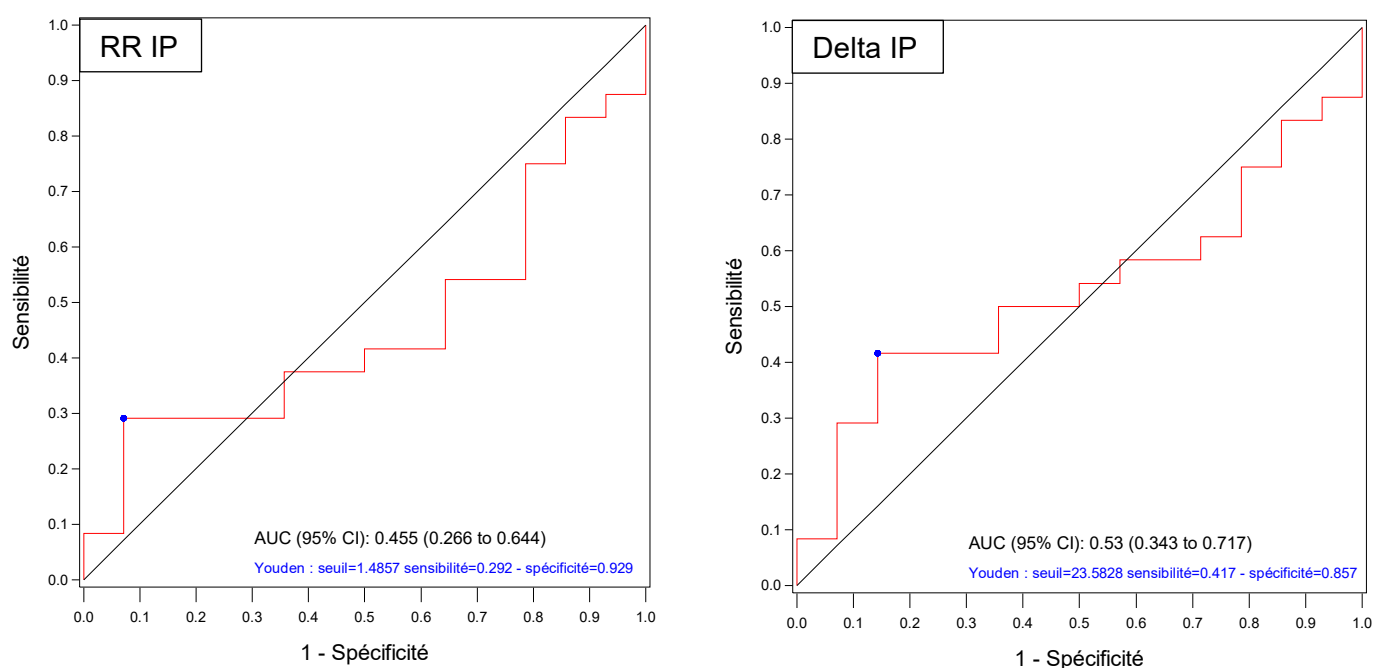
Figures 9 et 10 : Performance de la variation d'IP pour variabilité < 25 %

RR IP : variation relative d'IP ; delta IP : variation absolue d'IP

Dans la population avec une variabilité inférieure à 25 %, les AUC des courbes sont à 0,524 (IC 95 % 0,377 – 0,672) pour la variation absolue d'IP et 0,618 (IC 95 % 0,476 – 0,76) pour la variation relative d'IP.

4.3.2. Variabilité inférieure à 10 %

Les courbes ROC représentant la performance de la variation d'IP pour prédire le statut de précharge-dépendance sont représentées par les **Figures 11 et 12** pour les patients dont la variabilité d'IP ne dépasse pas 10 %.



Figures 11 et 12 : Performance de la variation d'IP pour variabilité < 10 %

RR IP : variation relative d'IP ; delta IP : variation absolue d'IP

Dans la population avec une variabilité d'IP inférieure à 10 %, elles sont à 0,455 (IC 95 % 0,266 – 0,644) pour la variation absolue d'IP et 0,53 (IC 95 % 0,343 – 0,717) pour la variation relative.

4.4. Coefficient de variation et least significant change

Les valeurs de CV et LSC sont reportées dans le **Tableau 5**.

	CV (%)	LSC (%)
Avant LJP	78,9	218,6
Après LJP	82,2	227,9

Tableau 5 : CV et LSC pour l'indice de perfusion avant et après LJP

LJP = test de lever de jambes passif ; CV = coefficient de variation ; LSC = least significant change

Pour l'IP, le CV est 79 % à l'état basal et augmente à 82 % une fois le LJP réalisé. Le LSC est quant à lui à 219 % avant LJP et à 228 % après le LJP.

4.5. Analyses exploratoires

4.5.1. Variation IP chez les patients avec IP < 1

L'analyse en sous-groupe a été réalisée chez les patients avec un IP avant LJP inférieur à 1. Chez les six répondeurs concernés, la variation relative d'IP atteint +35 % (IC 95 % +5 %-+65 %). À l'inverse, les trois non-répondeurs affichent une baisse moyenne de -32 % (IC 95 % -69 % à +5 %).

4.5.2. Variation d'IP > 10 % comme facteur de risque de précharge-dépendance

Sans ajustement, l'odds ratio (OR) est de 1,53 (IC 95 % 0,57 – 4,10). Après ajustement sur l'IGS II, l'OR reste identique à 1,49 (IC 95 % 0,55 – 4,03 ; p = 0,44).

5. Temps de recoloration cutané

5.1. Variation TRC au cours du LJP

Les données correspondant à la variation du TRC au cours du LJP sont reportées dans le **Tableau 6**.

<i>TRC (s)</i>	<i>Avant LJP</i>	<i>Après LJP</i>	<i>Variation absolue</i>		<i>Variation relative (%)</i>	
<i>Test LJP positif (n=48)</i>	1,6 ± 1,0	1,7 ± 1,0	0,1 ± 0,6	<i>p</i> = 0,13	12,9 ± 33,9	<i>p</i> = 0,01
<i>Test LJP négatif (n=24)</i>	1,5 ± 1,2	1,7 ± 1,2	0,2 ± 0,6	<i>p</i> = 0,17	20,0 ± 38,7	<i>p</i> = 0,02
	<i>p</i> = 0,92	<i>p</i> = 0,95	<i>p</i> = 0,78		<i>p</i> = 0,43	

Tableau 6 : Variation du TRC au cours du LJP

TRC : temps de recoloration cutané ; LJP : test de lever de jambes passif

Les TRC avant LJP sont similaires à 1,5 s chez les répondeurs et 1,6 s en moyenne chez les non-répondeurs.

Lors du LJP il reste pratiquement inchangé. Chez les répondeurs, il passe de 1,6 s à 1,7 s, soit +0,14 s (IC 95 % -0,03 – 0,31) ou +12,9 % (IC 95 % 3,3 – 22,5). Chez les non-répondeurs, il passe de 1,5 s à 1,7 s, soit +0,18 s (IC 95 % -0,08 – 0,44) ou +20,0 % (IC 95 % 4,2 – 35,8). Aucune de ces variations n'est significative, malgré de légères variations intra-groupe

5.2. Performance de la variation du TRC pour prédire la précharge-dépendance

5.2.1. Courbe ROC

Les courbes ROC représentant la performance de la variation du TRC – en variation relative et en variation absolue – sont reportées sur la **Figure 13**.

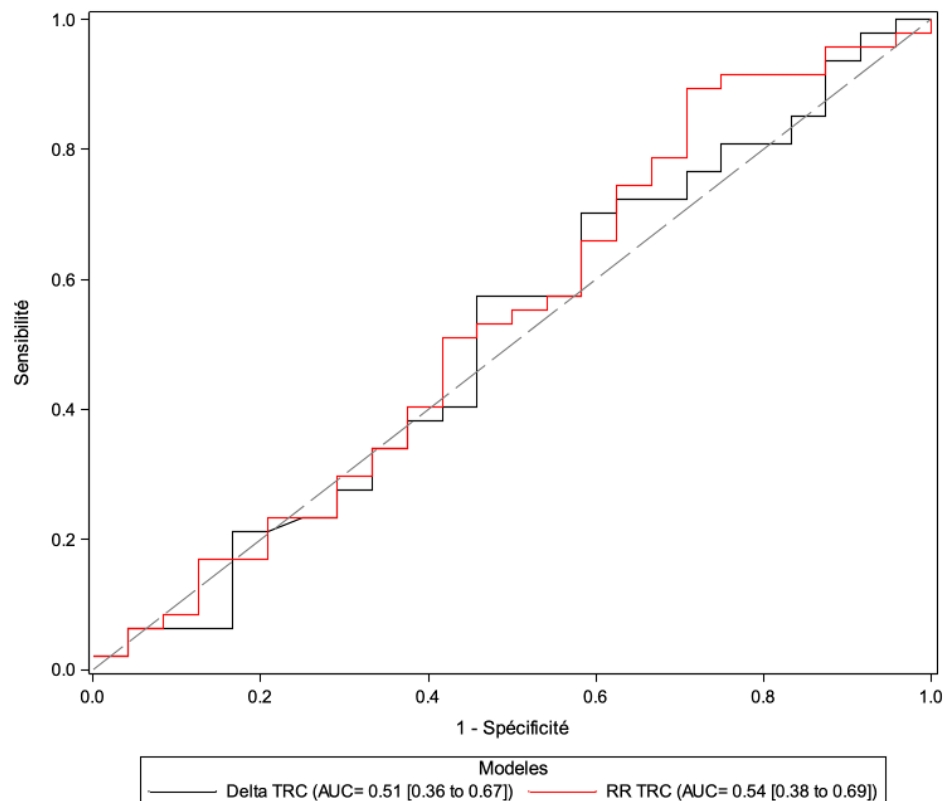


Figure 13 : Courbe ROC représentant la performance de la variation du TRC pour prédire le statut de précharge-dépendance.

Ces courbes sont optimisées afin d'obtenir l'indice de Youden le plus élevé possible.

Pour le TRC, qu'elle soit exprimée en pourcentage ou en valeur brute, sa variation ne permet de prédire la précharge-dépendance. La valeur d'AUC ne dépasse jamais le seuil du hasard. La variation relative du TRC a une AUC à 0,54 (IC 95 % 0,39 – 0,69) et la variation absolue du TRC montre un résultat comparable avec une AUC à 0,51 (IC 95 % 0,36 – 0,66).

5.2.2. Analyse de sensibilité et spécificité

La sensibilité et la spécificité en fonction du seuil de variation du TRC sont représentées par les **Figures 14 et 15**.

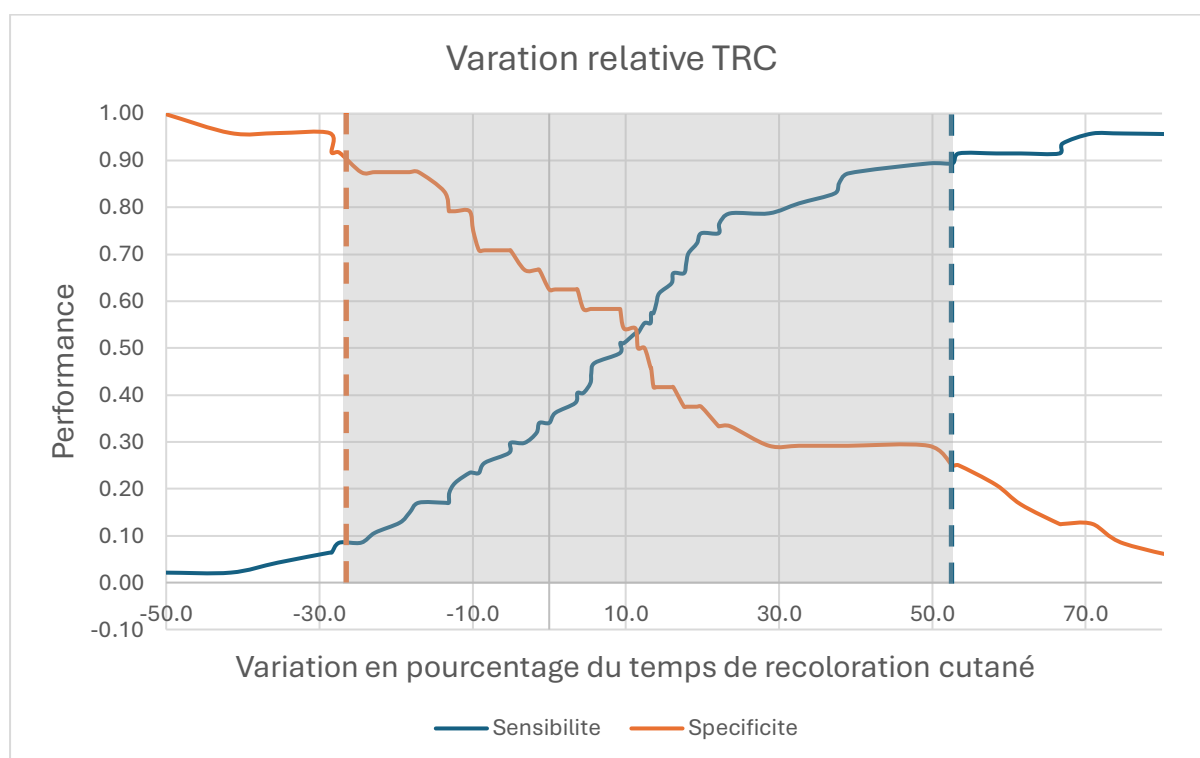


Figure 14 : Évolution de la sensibilité et spécificité de la variation relative du TRC en fonction du seuil de variation

TRC : temps de recoloration cutanée

- - - seuil de sensibilité à 90 %

- - - seuil de spécificité à 90 %

■ zone grise

Pour la variation relative du TRC, le seuil de +53,45 % permet d'atteindre une sensibilité ≥ 90 % et le seuil de -27,40 % permet d'atteindre une spécificité ≥ 90 %. La proportion de patients en zone grise est de 77,5 %.

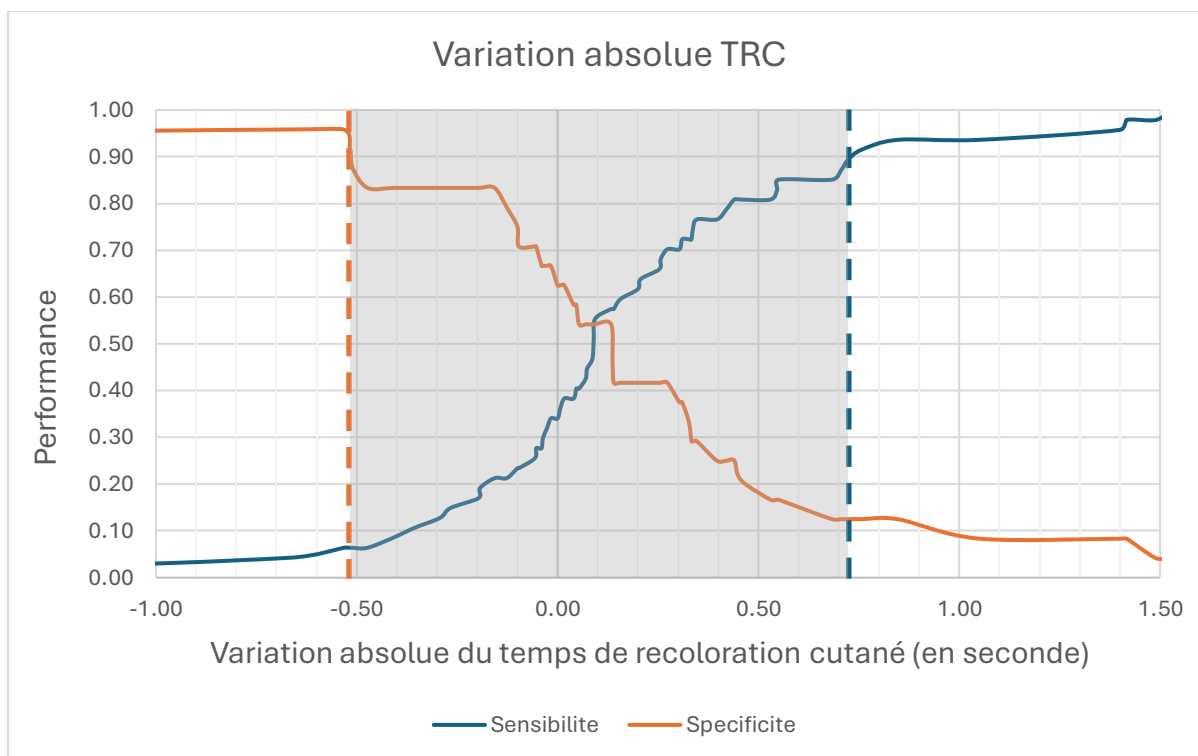


Figure 15 : Évolution de la sensibilité et spécificité de la variation absolue du TRC en fonction du seuil de variation

TRC : temps de recoloration cutanée

--- seuil de sensibilité à 90 %

--- seuil de spécificité à 90 %

■ zone grise

Pour la variation absolue du TRC (en secondes), le seuil de +0,757 s permet d'atteindre une sensibilité $\geq 90\%$ et le seuil de -0,533 s permet d'atteindre une spécificité $\geq 90\%$.

La proportion de patients en zone grise est de 84,5 %.

Les valeurs de spécificité et sensibilité pour chaque valeur de seuil est reportée en annexe.

5.3. Coefficient de variation et least significant change

Les valeurs de CV et LSC sont reportées dans le **Tableau 7**.

	CV (%)	LSC (%)
Avant LJP	67	186
Après LJP	62	173

Tableau 7 : CV et LSC pour le TRC avant et après LJP

LJP = test de lever de jambes passif ; CV = coefficient de variation ; LSC = least significant change

Pour le TRC, le CV est à 67 % avant le LJP et à 62 %, après la manœuvre. Le LSC est à 186 % avant LJP et à 173 % après.

5.4. Analyse exploratoire : variation TRC chez les patients avec TRC > 3 s

Une analyse en sous-groupe a été réalisée chez les patients avec TRC avant LJP > 3 s. La population est de 6 patients. Dans ce groupe, le TRC diminue en moyenne de 0,20 s chez les répondeurs et de 0,08 s chez les non-répondeurs, mais sans significativité statistique.

DISCUSSION

1. Rappel des principaux résultats

Dans notre population de 72 patients, nous avons constaté qu'avec un IP de base similaire avant test ($3,8 \pm 2,7$ vs $3,8 \pm 3,7$), après LJP, l'IP augmentait dans les deux groupes, avec une variation relative plus marquée chez les répondeurs. Cependant, l'analyse ROC montre une faible performance de la variation relative d'IP pour discriminer la précharge-dépendance avec un seuil de Youden optimisé à +22 %, permettant d'obtenir une spécificité à 83 % et sensibilité à 52 %.

Concernant le TRC, les valeurs de base étaient normales, c'est-à-dire inférieures à trois secondes dans la majorité des cas. Ces valeurs restaient peu modifiées par le LJP. Les différences entre répondeurs et non-répondeurs n'étaient pas significatives et les AUC du TRC (en variation relative et absolue) pour prédire la précharge-dépendance étaient proches du hasard.

Enfin, l'étude a documenté une variabilité élevée des deux mesures périphériques : le coefficient de variation de l'IP était de 79–82 % (avant/après LJP) avec un LSC > 200 % et pour le TRC un CV de 62–67 % et un LSC de 173–186 %. Ces valeurs nous laissent donc penser que ces paramètres sont extrêmement fluctuants et instables chez les patients en VS.

2. IP, comparaison avec la littérature

Dans l'étude de Beurton et coll. (60), qui comprenant 72 patients en réanimation, l'augmentation de l'IP de plus de 9 % pendant le LJP permettait de prédire une augmentation de l'index cardiaque (IC) d'au moins 10 %, avec une AUC à 0,89 (IC 95 % 0,80-0,95) et une sensibilité à 91 % et spécificité à 79 %.

Premièrement, 78 % des patients de cette étude étaient ventilés mécaniquement alors que tous les patients dans notre étude étaient en VS.

Deuxièmement, la méthode de recueil de l'IP était différente de notre étude. Bien que l'IP soit calculé automatiquement à partir du signal de PPG dans les deux cas, le site de mesure et la méthode d'échantillonnage était différente. Pour le site de mesure, là où le site de mesure pouvait être sur un doigt ou l'oreille de façon indifférente dans notre étude, leur site de mesure était le troisième ou quatrième doigt, en choisissant celui avec la plus haute valeur d'IP. Pour la technique d'échantillonnage, deux méthodes existent pour le calcul d'IP. Une avec un temps d'échantillonnage très faible qui donne des valeurs d'IP en quasi-temps réel et une méthode avec un temps d'échantillonnage long, qui moyenne la valeur d'IP sur environ 30 secondes. Beurton et coll. utilisaient un faible temps d'échantillonnage alors que la technique de mesure dans notre étude était non spécifiée. Ainsi, on y retrouvait un signal d'IP très stable avec LSC à 1,6 % dans leur étude, loin des valeurs observées dans la nôtre.

Troisièmement, la méthode de référence n'était pas l'ETT mais la thermodilution transpulmonaire (PiCCO2).

Enfin, la sélection des patients était aussi différente, Beurton incluait une proportion non négligeable de patients avec des IP de base bas, c'est-à-dire ≤ 1 %, chez qui la marge d'augmentation d'IP semble plus grande. Dans notre cohorte, la part d'IP < 1 était faible (≈ 8 %).

Nos résultats sont aussi en contradiction avec l'étude de Narayanan *et al.* qui retrouve qu'une augmentation de 39 % de la valeur d'IP permet de prédire le statut de précharge-dépendance (68).

Seule l'étude de Lima (53) allait dans le sens de notre étude, c'est-à-dire qu'on ne retrouvait pas de corrélation entre variation d'IP et variation du DC.

3. TRC, comparaison avec la littérature

Fage et coll. (35) ont étudié les effets d'un RV (500 mL de Chlorure de Sodium 0,9 %) et d'une augmentation de la noradrénaline sur le TRC chez des patients en choc septique. Dans cette étude prospective de 69 patients, et dans le cas d'un remplissage vasculaire, les patients avec un TRC de base > 3 s et répondeurs en débit cardiaque sur PiCCO2, présentaient une diminution inconstante du TRC. Dans les autres cas, le TRC n'était pas modifié de façon significative. Les auteurs concluaient que le TRC se comporte davantage comme un marqueur de microcirculation que comme un reflet direct du DC.

Nos résultats rejoignent leurs résultats. Dans une population majoritairement à TRC normal au départ, le LJP modifie peu le TRC, et ne permet pas de discriminer entre répondeurs et non-répondeurs.

4. Points forts de l'étude

Notre étude est la première à étudier les variations de l'indice de perfusion et du TRC dans cette population spécifique que sont les patients en VS en soins critiques. Elle est donc novatrice en ce sens que les précédentes études ont été conduites chez des patients pour la plupart du temps en ventilation mécanique.

Les points forts de cette étude sont le caractère prospectif de l'étude, le caractère pragmatique avec des paramètres cliniques disponibles facilement et rapidement que sont le TRC et l'IP, et l'utilisation de l'ETT pour définir la réponse au LJP.

5. Limites de l'étude

5.1. Conception et taille de l'échantillon

Cette étude est d'abord une étude monocentrique avec un effectif relativement limité, ce qui a pu participer à l'incertitude sur nos résultats.

5.2. Référence hémodynamique

On peut aussi noter que notre évaluation de précharge-dépendance était faite par l'ETT qui est une mesure intermittente avec une variabilité inter-opérateur et intra-opérateur. Nous avons pris un seuil d'augmentation d'ITVsAo à 10 % pour définir la précharge-dépendance, cependant le LSC dans l'étude de Jozwiak et al. était de 11 % (69), ce qui peut avoir influencé l'estimation du statut « répondeur ».

5.3. Variabilité de mesure et standardisation

Malgré un protocole de mesure établi au préalable, on observe une très grande variabilité de mesure de l'IP et du TRC. L'absence d'outils instrumentés comme le TRC vidéo-contrôlé ou la pression standardisée, et l'hétérogénéité des sites pourraient expliquer une part de cette variabilité. Pour l'IP le temps de moyennage des différentes valeurs n'était pas connu.

5.4. Distribution des valeurs de base

La plupart des patients dans notre étude avaient un TRC normal, c'est-à-dire inférieur à 3 secondes et un IP supérieur à 1,4. Cela a pu influencer sur la marge d'amélioration de ces marqueurs

5.5. Facteurs confondants non contrôlés

Nous n'avons pas éliminé tous les facteurs confondants, par exemple la température cutanée, la douleur, l'anxiété, ni l'impact des catécholamines, susceptibles d'influencer IP et TRC.

6. Ouverture

Nos résultats apportent donc peu d'argument pour une utilisation de l'IP et du TRC comme substituts du DC pendant le LJP chez les patients en VS. Au regard des limites de l'étude, nous proposons plusieurs pistes d'amélioration.

6.1. Standardisation renforcée

Pour l'IP, il semble que l'utilisation d'un site de mesure unique pourrait améliorer la fiabilité des mesures, comme le montre l'étude de Basaranoglu *et al.* qui retrouve de meilleures valeurs de SpO₂ au niveau du 3^e doigt de la main droite et du pouce droit (70). Ainsi, on pourrait extrapoler à l'IP et définir un site unique, un temps de moyennage explicite, des critères d'exclusion de signal instable.

Pour le TRC, on pourrait utiliser une méthode vidéo avec pression standardisée avec plusieurs répétitions. La standardisation des données, des mesures et des protocoles d'évaluation semble essentielle pour obtenir des résultats fiables et comparables (71–73).

6.2. Population cible

Afin d'enrichir la cohorte, on pourrait recruter les patients avec TRC prolongé (≥ 3 s) et/ou IP bas ($< 1,4$), chez qui la marge de variation semble plus importante en cas de précharge-dépendance. Par ailleurs une étude récente comparant l'optimisation

hémodynamique basée sur la PAM versus normalisation de l'IP au-dessus de 1,4 montrait une réduction de la mortalité à 30 jours (74).

6.3. Référence pour la mesure du débit cardiaque

On pourrait aussi s'intéresser à la méthode de référence pour évaluer les variations de DC. Par exemple utiliser la thermodilution transpulmonaire afin d'obtenir une mesure continue et peu bruitée du DC.

6.4. Modèles multivariés

Enfin, pour l'IP, il pourrait être pertinent de ne pas se limiter à l'utilisation seule d'un seuil. On pourrait notamment se servir de modèles multivariés, fondés sur la pléthysmographie (amplitude, pente, composante, variabilité respiratoire) et intégrant les constantes du patient (température, PAM, fréquence respiratoire). Ces modèles multivariés pourraient alors fournir une probabilité individualisée de précharge-dépendance plutôt qu'une classification binaire (71,75).

Par ailleurs, plusieurs preuves de concept montrent déjà que des approches d'apprentissage automatique ou de machine learning appliquées à la pléthysmographie permettent d'estimer le DC ou, a minima, de classer un index cardiaque bas en contexte opératoire (76,77).

CONCLUSION

Chez des patients en VS, la variation de l'IP au cours d'un LJP s'élève davantage chez les répondeurs mais ne discrimine que modestement la précharge-dépendance, tandis que la variation du TRC est peu informative.

Les écarts observés avec Beurton et d'autres études dans la littérature semblent s'expliquer par des différences de population, et une très grande variabilité de nos mesures. L'accord avec Fage renforce l'idée que le TRC est un marqueur microcirculatoire souvent décorrélié des variations transitoires du DC.

En pratique, l'IP et le TRC ne semblent pas pouvoir se substituer aux méthodes habituelles d'évaluation du DC comme l'ETT pour guider le remplissage vasculaire chez le patient en VS.

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : DONNEES DEMOGRAPHIQUES ET CLINIQUES RECUEILLIES	19
TABLEAU 2 : CARACTERISTIQUES DES PATIENTS A L'INCLUSION	27
TABLEAU 3 : VARIATION DES PARAMETRES MACROCIRCULATOIRES AU COURS DU LJP	29
TABLEAU 4 : VARIATION DE L'IP AU COURS DU LJP	30
TABLEAU 5 : CV ET LSC POUR L'INDICE DE PERFUSION AVANT ET APRES LJP	37
TABLEAU 6 : VARIATION DU TRC AU COURS DU LJP	38
TABLEAU 7 : CV ET LSC POUR LE TRC AVANT ET APRES LJP	42

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : COURBE DE FRANK-STARLING AVEC REPONSE DU VES A UNE AUGMENTATION DE PRECHARGE	9
FIGURE 2 : METHODE DE REALISATION DU TEST DE LEVER DE JAMBES PASSIF	20
FIGURE 3 : LOCALISATION DE LA VALEUR D'IP SUR LE MONITEUR PATIENT	21
FIGURE 4 : METHODE DE MESURE DU TRC	22
FIGURE 5 : DIAGRAMME DE FLUX DES PATIENTS	26
FIGURE 6 : COURBE ROC REPRESENTANT LA PERFORMANCE DE LA VARIATION DE L'IP POUR PREDIRE LE STATUT DE PRECHARGE-DEPENDANCE.....	32
FIGURE 7 : ÉVOLUTION DE LA SENSIBILITE ET SPECIFICITE DE LA VARIATION D'IP EN FONCTION DU SEUIL DE VARIATION EN RAPPORT RELATIF	33
FIGURE 8 : ÉVOLUTION DE LA SENSIBILITE ET SPECIFICITE DE LA VARIATION D'IP EN FONCTION DU SEUIL DE VARIATION EN VARIATION ABSOLUE	34
FIGURES 9 ET 10 : PERFORMANCE DE LA VARIATION D'IP POUR VARIABILITE < 25 %.....	35
FIGURES 11 ET 12 : PERFORMANCE DE LA VARIATION D'IP POUR VARIABILITE < 10 %.....	36
FIGURE 13 : COURBE ROC REPRESENTANT LA PERFORMANCE DE LA VARIATION DU TRC POUR PREDIRE LE STATUT DE PRECHARGE-DEPENDANCE.	39
FIGURE 14 : ÉVOLUTION DE LA SENSIBILITE ET SPECIFICITE DE LA VARIATION RELATIVE DU TRC EN FONCTION DU SEUIL DE VARIATION	40
FIGURE 15 : ÉVOLUTION DE LA SENSIBILITE ET SPECIFICITE DE LA VARIATION ABSOLUE DU TRC EN FONCTION DU SEUIL DE VARIATION	41

BIBLIOGRAPHIE

1. van Genderen ME, Engels N, van der Valk RJP, Lima A, Klijn E, Bakker J, et al. Early Peripheral Perfusion-guided Fluid Therapy in Patients with Septic Shock. *Am J Respir Crit Care Med*. 2015 Feb 15;191(4):477–80.
2. Lighthall GK, Singh S. Perioperative Maintenance of Tissue Perfusion and Cardiac Output in Cardiac Surgery Patients. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*. 2014 June 1;18(2):117–36.
3. Monnet X, Marik PE, Teboul JL. Prediction of fluid responsiveness: an update. *Ann Intensive Care*. 2016 Dec;6(1):111.
4. Acheampong A, Vincent JL. A positive fluid balance is an independent prognostic factor in patients with sepsis. *Crit Care Lond Engl*. 2015 June 15;19(1):251.
5. Jozwiak M, Silva S, Persichini R, Anguel N, Osman D, Richard C, et al. Extravascular lung water is an independent prognostic factor in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med*. 2013 Feb;41(2):472–80.
6. Patterson SW, Starling EH. On the mechanical factors which determine the output of the ventricles. *J Physiol*. 1914 Sept 8;48(5):357–79.
7. Michard F, Boussat S, Chemla D, Anguel N, Mercat A, Lecarpentier Y, 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 July;162(1):134–8.
8. Michard F, Teboul JL. Using heart-lung interactions to assess fluid responsiveness during mechanical ventilation. *Crit Care Lond Engl*. 2000;4(5):282–9.
9. Chaves RC de F, Corrêa TD, Neto AS, Bravim B de A, Cordioli RL, Moreira FT, et al. Assessment of fluid responsiveness in spontaneously breathing patients: a systematic review of literature. *Ann Intensive Care*. 2018 Feb 9;8(1):21.
10. Cardozo Júnior LCM, Lemos GSD, Besen B a. MP. Fluid responsiveness assessment using inferior vena cava collapsibility among spontaneously breathing patients: Systematic review and meta-analysis. *Med Intensiva*. 2023 Feb;47(2):90–8.
11. Chen H, Liang M, He Y, Teboul JL, Sun Q, Xie J, et al. Inspiratory effort impacts the accuracy of pulse pressure variations for fluid responsiveness prediction in mechanically ventilated patients with spontaneous breathing activity: a prospective cohort study. *Ann Intensive Care*. 2023 Aug 17;13(1):72.
12. Lamia B, Ochagavia A, Monnet X, Chemla D, Richard C, Teboul JL. Echocardiographic prediction of volume responsiveness in critically ill patients with spontaneously breathing activity. *Intensive Care Med*. 2007 July;33(7):1125–32.
13. Muller L, Toumi M, Bousquet PJ, Riu-Poulenc B, Louart G, Candela D, et al. An increase in aortic blood flow after an infusion of 100 ml colloid over 1 minute can predict

- fluid responsiveness: the mini-fluid challenge study. *Anesthesiology*. 2011 Sept;115(3):541–7.
14. Monnet X, Teboul JL. Transpulmonary thermodilution: advantages and limits. *Crit Care Lond Engl*. 2017 June 19;21(1):147.
 15. Swan HJ, Ganz W, Forrester J, Marcus H, Diamond G, Chonette D. Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *N Engl J Med*. 1970 Aug 27;283(9):447–51.
 16. Monnet X, Teboul JL. Passive leg raising: five rules, not a drop of fluid! *Crit Care Lond Engl*. 2015 Jan 14;19(1):18.
 17. Guérin L, Teboul JL, Persichini R, Dres M, Richard C, Monnet X. Effects of passive leg raising and volume expansion on mean systemic pressure and venous return in shock in humans. *Crit Care Lond Engl*. 2015 Nov 23;19:411.
 18. Monnet X, Rienzo M, Osman D, Anguel N, Richard C, Pinsky MR, et al. Passive leg raising predicts fluid responsiveness in the critically ill. *Crit Care Med*. 2006 May;34(5):1402–7.
 19. Monnet X, Marik P, Teboul JL. Passive leg raising for predicting fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med*. 2016 Dec;42(12):1935–47.
 20. Cherpanath TGV, Hirsch A, Geerts BF, Lagrand WK, Leeftang MM, Schultz MJ, et al. Predicting Fluid Responsiveness by Passive Leg Raising: A Systematic Review and Meta-Analysis of 23 Clinical Trials. *Crit Care Med*. 2016 May;44(5):981–91.
 21. Vincent JL, Ince C, Bakker J. Clinical review: Circulatory shock--an update: a tribute to Professor Max Harry Weil. *Crit Care Lond Engl*. 2012 Nov 20;16(6):239.
 22. Ince C. Hemodynamic coherence and the rationale for monitoring the microcirculation. *Crit Care*. 2015 Dec 18;19(3):S8.
 23. Lima A, Jansen TC, van Bommel J, Ince C, Bakker J. The prognostic value of the subjective assessment of peripheral perfusion in critically ill patients. *Crit Care Med*. 2009 Mar;37(3):934–8.
 24. De Backer D, Donadello K, Sakr Y, Ospina-Tascon G, Salgado D, Scolletta S, et al. Microcirculatory alterations in patients with severe sepsis: impact of time of assessment and relationship with outcome. *Crit Care Med*. 2013 Mar;41(3):791–9.
 25. Edul VSK, Enrico C, Laviolle B, Vazquez AR, Ince C, Dubin A. Quantitative assessment of the microcirculation in healthy volunteers and in patients with septic shock. *Crit Care Med*. 2012 May;40(5):1443–8.
 26. Trzeciak S, McCoy JV, Phillip Dellinger R, Arnold RC, Rizzuto M, Abate NL, et al. Early increases in microcirculatory perfusion during protocol-directed resuscitation are associated with reduced multi-organ failure at 24 h in patients with sepsis. *Intensive Care Med*. 2008 Dec;34(12):2210–7.

27. Sakr Y, Dubois MJ, De Backer D, Creteur J, Vincent JL. Persistent microcirculatory alterations are associated with organ failure and death in patients with septic shock. *Crit Care Med*. 2004 Sept;32(9):1825–31.
28. Dubin A, Pozo MO, Casabella CA, Pálizas F, Murias G, Moseinco MC, et al. Increasing arterial blood pressure with norepinephrine does not improve microcirculatory blood flow: a prospective study. *Crit Care Lond Engl*. 2009;13(3):R92.
29. Pranskunas A, Koopmans M, Koetsier PM, Pilvinis V, Boerma EC. Microcirculatory blood flow as a tool to select ICU patients eligible for fluid therapy. *Intensive Care Med*. 2013 Apr;39(4):612–9.
30. Ait-Oufella H, Bige N, Boelle PY, Pichereau C, Alves M, Bertinchamp R, et al. Capillary refill time exploration during septic shock. *Intensive Care Med*. 2014 July;40(7):958–64.
31. van Genderen ME, Lima A, Akkerhuis M, Bakker J, van Bommel J. Persistent peripheral and microcirculatory perfusion alterations after out-of-hospital cardiac arrest are associated with poor survival. *Crit Care Med*. 2012 Aug;40(8):2287–94.
32. Hernández G, Ospina-Tascón GA, Damiani LP, Estenssoro E, Dubin A, Hurtado J, et al. Effect of a Resuscitation Strategy Targeting Peripheral Perfusion Status vs Serum Lactate Levels on 28-Day Mortality Among Patients With Septic Shock: The ANDROMEDA-SHOCK Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2019 Feb 19;321(7):654–64.
33. McGuire D, Gotlib A, King J. Capillary Refill Time. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [cited 2025 Sept 19]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557753/>
34. Kawaguchi R, Nakada TA, Oshima T, Shinozaki M, Nakaguchi T, Haneishi H, et al. Optimal pressing strength and time for capillary refilling time. *Crit Care Lond Engl*. 2019 Jan 8;23(1):4.
35. Fage N, Moretto F, Rosalba D, Shi R, Lai C, Teboul JL, et al. Effect on capillary refill time of volume expansion and increase of the norepinephrine dose in patients with septic shock. *Crit Care Lond Engl*. 2023 Nov 6;27(1):429.
36. Mohammad U. Étude prospective comparative de plusieurs méthodes d'évaluation du temps de recoloration cutanée et leur reproductibilité chez les patients admis en soins critiques pour la prise en charge d'une IRA de type 1 [Internet]. Université de Lille (2022-...); 2024 [cited 2025 Sept 14]. Available from: <https://pepite.univ-lille.fr/ori-oai-search/notice/view/univ-lille-44887>
37. De Backer D, Dubois MJ. Assessment of the microcirculatory flow in patients in the intensive care unit. *Curr Opin Crit Care*. 2001 June;7(3):200–3.
38. Lima A, Bakker J. Near-infrared spectroscopy for monitoring peripheral tissue perfusion in critically ill patients. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2011 Sept;23(3):341–51.
39. Joly HR, Weil MH. Temperature of the great toe as an indication of the severity of shock. *Circulation*. 1969 Jan;39(1):131–8.

40. Akata T, Kanna T, Yoshino J, Higashi M, Fukui K, Takahashi S. Reliability of fingertip skin-surface temperature and its related thermal measures as indices of peripheral perfusion in the clinical setting of the operating theatre. *Anaesth Intensive Care*. 2004 Aug;32(4):519–29.
41. Rubinstein EH, Sessler DI. Skin-surface temperature gradients correlate with fingertip blood flow in humans. *Anesthesiology*. 1990 Sept;73(3):541–5.
42. Kaplan LJ, McPartland K, Santora TA, Trooskin SZ. Start with a subjective assessment of skin temperature to identify hypoperfusion in intensive care unit patients. *J Trauma*. 2001 Apr;50(4):620–7; discussion 627-628.
43. Ait-Oufella H, Bakker J. Understanding clinical signs of poor tissue perfusion during septic shock. *Intensive Care Med*. 2016 Dec;42(12):2070–2.
44. Lima A, Takala J. Clinical significance of monitoring perfusion in non-vital organs. *Intensive Care Med*. 2014 July;40(7):1052–4.
45. Ait-Oufella H, Lemoine S, Boelle PY, Galbois A, Baudel JL, Lemant J, et al. Mottling score predicts survival in septic shock. *Intensive Care Med*. 2011 May;37(5):801–7.
46. Coudroy R, Jamet A, Frat JP, Veinstein A, Chatellier D, Goudet V, et al. Incidence and impact of skin mottling over the knee and its duration on outcome in critically ill patients. *Intensive Care Med*. 2015 Mar;41(3):452–9.
47. de Moura EB, Amorim FF, da Cruz Santana AN, Kanhouche G, de Souza Godoy LG, de Jesus Almeida L, et al. Skin mottling score as a predictor of 28-day mortality in patients with septic shock. *Intensive Care Med*. 2016 Mar;42(3):479–80.
48. Ait-Oufella H, Bourcier S, Alves M, Galbois A, Baudel JL, Margetis D, et al. Alteration of skin perfusion in mottling area during septic shock. *Ann Intensive Care*. 2013 Sept 16;3(1):31.
49. Fuller BM, Dellinger RP. Lactate as a hemodynamic marker in the critically ill. *Curr Opin Crit Care*. 2012 June;18(3):267–72.
50. Mikkelsen ME, Miltiades AN, Gaieski DF, Goyal M, Fuchs BD, Shah CV, et al. Serum lactate is associated with mortality in severe sepsis independent of organ failure and shock. *Crit Care Med*. 2009 May;37(5):1670–7.
51. Trzeciak S, Dellinger RP, Chansky ME, Arnold RC, Schorr C, Milcarek B, et al. Serum lactate as a predictor of mortality in patients with infection. *Intensive Care Med*. 2007 June;33(6):970–7.
52. Kliegel A, Losert H, Sterz F, Holzer M, Zeiner A, Havel C, et al. Serial lactate determinations for prediction of outcome after cardiac arrest. *Medicine (Baltimore)*. 2004 Sept;83(5):274–9.
53. Lima AP, Beelen P, Bakker J. Use of a peripheral perfusion index derived from the pulse oximetry signal as a noninvasive indicator of perfusion. *Crit Care Med*. 2002 June;30(6):1210–3.

54. Partridge BL. Use of pulse oximetry as a noninvasive indicator of intravascular volume status. *J Clin Monit.* 1987 Oct;3(4):263–8.
55. Murray WB, Foster PA. The peripheral pulse wave: information overlooked. *J Clin Monit.* 1996 Sept;12(5):365–77.
56. He H wu, Liu D wei, Long Y, Wang X ting. The peripheral perfusion index and transcutaneous oxygen challenge test are predictive of mortality in septic patients after resuscitation. *Crit Care Lond Engl.* 2013 June 20;17(3):R116.
57. Rasmy I, Mohamed H, Nabil N, Abdalah S, Hasanin A, Eladawy A, et al. Evaluation of Perfusion Index as a Predictor of Vasopressor Requirement in Patients with Severe Sepsis. *Shock Augusta Ga.* 2015 Dec;44(6):554–9.
58. He H, Long Y, Liu D, Wang X, Zhou X. Clinical classification of tissue perfusion based on the central venous oxygen saturation and the peripheral perfusion index. *Crit Care Lond Engl.* 2015 Sept 14;19(1):330.
59. Høiseth LØ, Hisdal J, Hoff IE, Hagen OA, Landsverk SA, Kirkebøen KA. Tissue oxygen saturation and finger perfusion index in central hypovolemia: influence of pain. *Crit Care Med.* 2015 Apr;43(4):747–56.
60. Beurton A, Teboul JL, Gavelli F, Gonzalez FA, Girotto V, Galarza L, et al. The effects of passive leg raising may be detected by the plethysmographic oxygen saturation signal in critically ill patients. *Crit Care Lond Engl.* 2019 Jan 18;23(1):19.
61. Beurton A, Gavelli F, Teboul JL, De Vita N, Monnet X. Changes in the Plethysmographic Perfusion Index During an End-Expiratory Occlusion Detect a Positive Passive Leg Raising Test. *Crit Care Med.* 2021 Feb 1;49(2):e151–60.
62. Broch O, Bein B, Gruenewald M, Höcker J, Schöttler J, Meybohm P, et al. Accuracy of the pleth variability index to predict fluid responsiveness depends on the perfusion index. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2011 July;55(6):686–93.
63. Cannesson M, Desebbe O, Rosamel P, Delannoy B, Robin J, Bastien O, 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 Aug;101(2):200–6.
64. Le Gall JR, Lemeshow S, Saulnier F. A new Simplified Acute Physiology Score (SAPS II) based on a European/North American multicenter study. *JAMA.* 1993 Dec 22;270(24):2957–63.
65. Charlson ME, Pompei P, Ales KL, MacKenzie CR. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *J Chronic Dis.* 1987;40(5):373–83.
66. Vincent JL, Moreno R, Takala J, Willatts S, De Mendonça A, Bruining H, et al. The SOFA (Sepsis-related Organ Failure Assessment) score to describe organ dysfunction/failure. On behalf of the Working Group on Sepsis-Related Problems of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med.* 1996 July;22(7):707–10.

67. Clastres L. Étude de la collapsibilité de la veine cave inférieure lors d'une manoeuvre inspiratoire standardisée simplifiée comme facteur prédictif de la précharge dépendance chez les patients de médecine intensive et réanimation en ventilation spontanée [Internet]. Université de Lille (2022-...); 2025 [cited 2025 Sept 14]. Available from: <https://pepite.univ-lille.fr/ori-oai-search/notice/view/univ-lille-46643>
68. Narayanan BJ, Rao SV, Kandasamy S. Peripheral Perfusion Index for Prediction of Fluid Responsiveness in Spontaneously Breathing Critically Ill Patients: A Prospective Observational Study. *Indian J Crit Care Med Peer-Rev Off Publ Indian Soc Crit Care Med*. 2025 Feb;29(2):151–4.
69. Jozwiak M, Mercado P, Teboul JL, Benmalek A, Gimenez J, Dépret F, et al. What is the lowest change in cardiac output that transthoracic echocardiography can detect? *Crit Care*. 2019 Apr 11;23(1):116.
70. Basaranoglu G, Bakan M, Umutoglu T, Zengin SU, Idin K, Salihoglu Z. Comparison of SpO₂ values from different fingers of the hands. *SpringerPlus*. 2015 Sept 29;4:561.
71. Charlton PH, Allen J, Bailón R, Baker S, Behar JA, Chen F, et al. The 2023 wearable photoplethysmography roadmap. *Physiol Meas*. 2023 Nov 29;44(11):111001.
72. González S, Hsieh WT, Chen TPC. A benchmark for machine-learning based non-invasive blood pressure estimation using photoplethysmogram. *Sci Data*. 2023 Mar 21;10(1):149.
73. Elgendi M, Haugg F, Fletcher RR, Allen J, Shin H, Alian A, et al. Recommendations for evaluating photoplethysmography-based algorithms for blood pressure assessment. *Commun Med*. 2024 July 12;4(1):140.
74. Ferhat Y, Serkan Y, Ulaş Öİ, Özgür DN, Elif Y, Gamze YK, et al. Peripheral PERFUSION vs standard management in SEPSIS/SEPTIC shock: A PROSPECTIVE RANDOMIZED ED study. *Am J Emerg Med* [Internet]. 2025 Sept 20 [cited 2025 Sept 26]; Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0735675725006357>
75. Park J, Seok HS, Kim SS, Shin H. Photoplethysmogram Analysis and Applications: An Integrative Review. *Front Physiol*. 2021;12:808451.
76. Xu X, Tang Q, Chen Z. Improved U-Net Model to Estimate Cardiac Output Based on Photoplethysmography and Arterial Pressure Waveform. *Sensors*. 2023 Jan;23(22):9057.
77. Callejas Pastor CA, Oh C, Hong B, Ku Y. Machine Learning-Based Cardiac Output Estimation Using Photoplethysmography in Off-Pump Coronary Artery Bypass Surgery. *J Clin Med*. 2024 Nov 26;13(23):7145.
78. Rapsang AG, Shyam DC. Scoring systems in the intensive care unit: A compendium. *Indian J Crit Care Med Peer-Rev Off Publ Indian Soc Crit Care Med*. 2014 Apr;18(4):220–8.
79. Charlson ME, Pompei P, Ales KL, MacKenzie CR. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: Development and validation. *J Chronic Dis*. 1987 Jan;40(5):373–83.

ANNEXES

1. Scores

1.1.IGS 2

Variables	Score																			
	26	13	12	11	9	7	6	5	4	3	2	0	1	2	3	4	6	7	9	10
HR (beats/min)				<40								40-69	70-119			120-159		≥160		
SBP (mmHg)		<70						70-99					100-199		≥200					
Temperature (°C)													<39		≥39					
PaO ₂ /FiO ₂ only if VENT or CPAP				<100	100-199	≥200														
Urine output (L/day)				<0.5					0.5-0.999				≥1							
Urea (g/L)												<0.6					0.6-1.7			>1.8
TLC			<1									1-19.9		≥20						
Potassium										<3		3-4.9		≥5						
Sodium								<125				125-144	≥145							
Bicarbonate								<15		15-19		>20								
Bilirubin (mg/dl)												<40				40-59.9			≥60	
GCS	<6	6-8				9-10		11-13				14-15								

Age	Score	Chronic disease	Score	Type of admission	Score
<40	0	Metastatic cancer	9	Scheduled surgical	0
40-59	7	Hematological malignancy	10	Medical	6
60-69	12	AIDS	17	Emergency surgical	8
70-74	15				
75-79	16				
>80	18				
SAPS II score	29	40	52	64	77
Mortality risk %	10	25	50	75	90

GCS: Glasgow coma score; HR: Heart rate; SBP: Systolic blood pressure; PaO₂ (mm Hg) arterial oxygen tension; FiO₂: Fractional concentration of inspired oxygen; VENT: Ventilator; CPAP: Continuous positive airway pressure; TLC: Total leukocyte count; AIDS: Acquired immunodeficiency syndrome. Probability of death, *P* may be calculated using the following equation: $P = (e^{L+0.95}) / (1 + e^{L+0.95})$; $\text{Logit} = -7.7631 + 0.0737 (\text{score}) + 0.9971 (\log [\text{score} + 1])$

D'après Rapsang AG, Shyam DC. Scoring systems in the intensive care unit: A compendium. Indian J Crit Care Med Peer-Rev Off Publ Indian Soc Crit Care Med. 2014 Apr;18(4):220–8 (78)

1.2. Charlson comorbidity index

Score de Charlson

Condition	Weight (points)
Myocardial infarction	1
Congestive heart failure	1
Peripheral vascular disease	1
Cerebrovascular disease	1
Dementia	1
Chronic pulmonary disease	1
Connective tissue disease	1
Peptic ulcer disease	1
Mild liver disease	1
Diabetes without complications	1
Hemiplegia	2
Moderate to severe renal disease	2
Diabetes with end organ damage	2
Any tumor	2
Leukemia	2
Lymphoma	2
Moderate to severe liver disease	3
Metastatic solid tumor	6
Acquired immunodeficiency Syndrome	6

1.3. SOFA (Sequential organ failure assessment) score

Biomarker	SOFA score (66)				
	0	1	2	3	4
Respiratory system PaO₂/FiO₂ (mmHg)	>400	<400	<300	<200 with respiratory support	<100 with respiratory support
Nervous system – Glasgow Coma Scale	15	13-15	10-12	6-9	<6
Cardiovascular system – Mean arterial pressure (MAP)	MAP > 70 mmHg	MAP < 70 mmHg	Dopamine ≤ 5µg/kg/min or dobutamine (any dose)	Dopamine ≥ 5µg/kg/min or epinephrine ≤ 0,1 µg/kg/min, or norepinephrine ≤ 0,1 µg/kg/min	Dopamine ≥ 15µg/kg/min or epinephrine ≥ 0,1 µg/kg/min, or norepinephrine ≥ 0,1 µg/kg/min
Liver – Bilirubin (mg/dl) (µmol/L)	<1,2 (<20)	1,2 – 1,9 (20-32)	2 – 5,9 (33 – 101)	6 – 11,9 (102 – 204)	>12 (> 204)
Coagulation – Platelets x 10³/ml	>150	<150	<100	<50	<20
Kidneys – Creatinine (mg/dl) (µmol/L); urine output	<1,2 (< 110)	1,2 – 1,9 (110 – 170)	2 – 3,4 (171 – 299)	3,5 – 4,9 (300 – 440) (or urine output < 500 ml/day)	>5 (> 440); urine output < 200 ml/day

Score ranges from 0 (best) to 24 (worst) points; PaO₂: Partial pressure of oxygen; FiO₂: Fraction of inspired oxygen; MAP: Mean arterial pressure;

2. Variation des besoins en catécholamines au cours du LJP

	<i>Avant LJP</i>	<i>Après LJP</i>
<i>Posologie noradrénaline ($\mu\text{g kg}^{-1} \text{min}^{-1}$)</i>		
<i>Test LJP positif (n=48)</i>	0,4 $\pm$ 1,1	0,4 $\pm$ 1,1
<i>Test LJP négatif (n=24)</i>	2,2 $\pm$ 7,3	2,2 $\pm$ 7,3
<i>Posologie dobutamine ($\mu\text{g kg}^{-1} \text{min}^{-1}$)</i>		
<i>Test LJP positif (n=48)</i>	0,0 $\pm$ 0,0	0,0 $\pm$ 0,0
<i>Test LJP négatif (n=24)</i>	0,3 $\pm$ 1,1	0,3 $\pm$ 1,1
<i>Posologie isoprénaline ($\mu\text{g kg}^{-1} \text{min}^{-1}$)</i>		
<i>Test LJP positif (n=48)</i>	0,5 $\pm$ 2,3	0,5 $\pm$ 2,3
<i>Test LJP négatif (n=24)</i>	0,1 $\pm$ 0,3	0,1 $\pm$ 0,3

3. Sensibilité et spécificité selon seuil de variation de l'IP (variation relative)

Seuil variation	Sensibilité	Spécificité	VPN	VPP
140,674	0,021	1,000	0,338	1,000
119,122	0,042	1,000	0,343	1,000
104,878	0,063	1,000	0,348	1,000
81,041	0,083	1,000	0,353	1,000
77,741	0,104	1,000	0,358	1,000
76,000	0,125	1,000	0,364	1,000
68,974	0,146	1,000	0,369	1,000
63,663	0,146	0,958	0,359	0,875
59,514	0,167	0,958	0,365	0,889
53,912	0,167	0,917	0,355	0,800
53,103	0,188	0,917	0,361	0,818
51,613	0,188	0,875	0,350	0,750
50,562	0,208	0,875	0,356	0,769
49,409	0,229	0,875	0,362	0,786
46,407	0,250	0,875	0,368	0,800
42,184	0,271	0,875	0,375	0,813
36,332	0,292	0,875	0,382	0,824
35,135	0,313	0,875	0,389	0,833
35,110	0,333	0,875	0,396	0,842
31,678	0,354	0,875	0,404	0,850
31,536	0,375	0,875	0,412	0,857
30,233	0,396	0,875	0,420	0,864
29,178	0,417	0,875	0,429	0,870
26,761	0,417	0,833	0,417	0,833
25,556	0,438	0,833	0,426	0,840
24,407	0,458	0,833	0,435	0,846
23,958	0,479	0,833	0,444	0,852
23,583	0,500	0,833	0,455	0,857
22,542	0,521	0,833	0,465	0,862
22,034	0,521	0,792	0,452	0,833
21,839	0,521	0,750	0,439	0,806
19,266	0,521	0,708	0,425	0,781
18,457	0,542	0,708	0,436	0,788
17,702	0,563	0,708	0,447	0,794
17,172	0,563	0,667	0,432	0,771
16,667	0,563	0,625	0,417	0,750
12,914	0,563	0,583	0,400	0,730

12,892	0,583	0,583	0,412	0,737
11,556	0,583	0,542	0,394	0,718
11,044	0,583	0,500	0,375	0,700
10,158	0,604	0,500	0,387	0,707
9,190	0,604	0,458	0,367	0,690
8,978	0,625	0,458	0,379	0,698
7,895	0,625	0,417	0,357	0,682
7,647	0,625	0,375	0,333	0,667
6,576	0,646	0,375	0,346	0,674
4,024	0,646	0,333	0,320	0,660
2,857	0,667	0,333	0,333	0,667
2,381	0,688	0,333	0,348	0,673
2,358	0,708	0,333	0,364	0,680
0,778	0,708	0,292	0,333	0,667
-1,493	0,729	0,292	0,350	0,673
-1,519	0,750	0,292	0,368	0,679
-2,020	0,771	0,292	0,389	0,685
-3,141	0,792	0,292	0,412	0,691
-4,167	0,813	0,292	0,438	0,696
-5,128	0,833	0,292	0,467	0,702
-5,505	0,833	0,250	0,429	0,690
-5,574	0,854	0,250	0,462	0,695
-6,287	0,875	0,250	0,500	0,700
-6,429	0,875	0,208	0,455	0,689
-6,867	0,875	0,167	0,400	0,677
-8,215	0,896	0,167	0,444	0,683
-8,941	0,917	0,167	0,500	0,688
-9,917	0,917	0,125	0,429	0,677
-15,532	0,938	0,125	0,500	0,682
-16,860	0,938	0,083	0,400	0,672
-17,500	0,958	0,083	0,500	0,676
-30,120	0,979	0,083	0,667	0,681
-57,432	1,000	0,083	1,000	0,686
-63,467	1,000	0,042	1,000	0,676
-70,455	1,000	0,000	1,000	0,667

4. Sensibilité et spécificité selon seuil de variation de l'IP (variation absolue)

Seuil variation	Sensibilité	Spécificité	VPN	VPP
5,429	0,021	1,000	0,338	1,000
5,167	0,042	1,000	0,343	1,000
4,900	0,063	1,000	0,348	1,000
4,483	0,083	1,000	0,353	1,000
3,586	0,104	1,000	0,358	1,000
2,814	0,125	1,000	0,364	1,000
2,574	0,125	0,958	0,354	0,857
2,457	0,146	0,958	0,359	0,875
1,948	0,167	0,958	0,365	0,889
1,914	0,188	0,958	0,371	0,900
1,900	0,229	0,958	0,383	0,917
1,867	0,250	0,958	0,390	0,923
1,717	0,271	0,958	0,397	0,929
1,640	0,271	0,917	0,386	0,867
1,600	0,271	0,875	0,375	0,813
1,500	0,292	0,875	0,382	0,824
1,486	0,313	0,875	0,389	0,833
1,357	0,313	0,833	0,377	0,789
1,200	0,313	0,792	0,365	0,750
1,100	0,333	0,792	0,373	0,762
0,757	0,333	0,750	0,360	0,727
0,743	0,333	0,708	0,347	0,696
0,669	0,354	0,708	0,354	0,708
0,643	0,396	0,708	0,370	0,731
0,600	0,396	0,667	0,356	0,704
0,557	0,396	0,625	0,341	0,679
0,543	0,396	0,583	0,326	0,655
0,529	0,417	0,583	0,333	0,667
0,469	0,417	0,542	0,317	0,645
0,460	0,438	0,542	0,325	0,656
0,448	0,458	0,542	0,333	0,667
0,433	0,479	0,500	0,324	0,657
0,414	0,500	0,500	0,333	0,667
0,393	0,500	0,458	0,314	0,649
0,387	0,521	0,458	0,324	0,658
0,383	0,542	0,458	0,333	0,667
0,329	0,563	0,458	0,344	0,675
0,325	0,583	0,458	0,355	0,683

0,289	0,604	0,458	0,367	0,690
0,283	0,604	0,417	0,345	0,674
0,217	0,604	0,375	0,321	0,659
0,214	0,604	0,333	0,296	0,644
0,191	0,625	0,333	0,308	0,652
0,120	0,646	0,333	0,320	0,660
0,117	0,667	0,333	0,333	0,667
0,100	0,688	0,333	0,348	0,673
0,071	0,708	0,333	0,364	0,680
0,029	0,708	0,292	0,333	0,667
-0,011	0,729	0,292	0,350	0,673
-0,040	0,729	0,250	0,316	0,660
-0,048	0,750	0,250	0,333	0,667
-0,058	0,750	0,208	0,294	0,655
-0,060	0,771	0,208	0,313	0,661
-0,067	0,792	0,208	0,333	0,667
-0,086	0,813	0,208	0,357	0,672
-0,113	0,833	0,208	0,385	0,678
-0,117	0,854	0,208	0,417	0,683
-0,129	0,854	0,167	0,364	0,672
-0,155	0,854	0,125	0,300	0,661
-0,171	0,875	0,125	0,333	0,667
-0,200	0,875	0,083	0,250	0,656
-0,229	0,875	0,042	0,143	0,646
-0,253	0,896	0,042	0,167	0,652
-0,257	0,917	0,042	0,200	0,657
-0,457	0,938	0,042	0,250	0,662
-0,619	0,958	0,042	0,333	0,667
-1,242	0,958	0,000	0,000	0,657
-1,429	0,979	0,000	0,000	0,662
-4,857	1,000	0,000	0,000	0,667

5. Sensibilité et spécificité selon seuil de variation du TRC (variation relative)

Seuil variation	Sensibilité	Spécificité	VPN	VPP
-50,327	0,021	1,000	0,343	1,000
-41,577	0,021	0,958	0,333	0,500
-35,430	0,043	0,958	0,338	0,667
-28,671	0,064	0,958	0,343	0,750
-28,400	0,064	0,917	0,333	0,600
-27,397	0,085	0,917	0,338	0,667
-24,559	0,085	0,875	0,328	0,571
-22,739	0,106	0,875	0,333	0,625
-19,512	0,128	0,875	0,339	0,667
-18,239	0,149	0,875	0,344	0,700
-17,052	0,170	0,875	0,350	0,727
-13,679	0,170	0,833	0,339	0,667
-13,100	0,170	0,792	0,328	0,615
-13,043	0,191	0,792	0,333	0,643
-12,272	0,213	0,792	0,339	0,667
-10,390	0,234	0,792	0,345	0,688
-9,922	0,234	0,750	0,333	0,647
-9,161	0,234	0,708	0,321	0,611
-8,421	0,255	0,708	0,327	0,632
-5,229	0,277	0,708	0,333	0,650
-5,046	0,298	0,708	0,340	0,667
-3,217	0,298	0,667	0,327	0,636
-1,660	0,319	0,667	0,333	0,652
-1,289	0,340	0,667	0,340	0,667
0,000	0,340	0,625	0,326	0,640
0,784	0,362	0,625	0,333	0,654
3,401	0,383	0,625	0,341	0,667
3,679	0,404	0,625	0,349	0,679
4,457	0,404	0,583	0,333	0,655
5,385	0,426	0,583	0,341	0,667
5,497	0,447	0,583	0,350	0,677
5,915	0,468	0,583	0,359	0,688
9,234	0,489	0,583	0,368	0,697
9,272	0,511	0,583	0,378	0,706
9,756	0,511	0,542	0,361	0,686
11,273	0,532	0,542	0,371	0,694
11,584	0,532	0,500	0,353	0,676
12,444	0,553	0,500	0,364	0,684

13,226	0,553	0,458	0,344	0,667
13,300	0,574	0,458	0,355	0,675
13,623	0,574	0,417	0,333	0,659
13,990	0,596	0,417	0,345	0,667
14,373	0,617	0,417	0,357	0,674
15,975	0,638	0,417	0,370	0,682
16,199	0,660	0,417	0,385	0,689
17,597	0,660	0,375	0,360	0,674
17,886	0,681	0,375	0,375	0,681
18,182	0,702	0,375	0,391	0,688
19,289	0,723	0,375	0,409	0,694
19,843	0,745	0,375	0,429	0,700
22,105	0,745	0,333	0,400	0,686
22,222	0,766	0,333	0,421	0,692
23,631	0,787	0,333	0,444	0,698
28,700	0,787	0,292	0,412	0,685
32,615	0,809	0,292	0,438	0,691
37,278	0,830	0,292	0,467	0,696
37,838	0,851	0,292	0,500	0,702
39,048	0,872	0,292	0,538	0,707
49,533	0,894	0,292	0,583	0,712
52,632	0,894	0,250	0,545	0,700
53,448	0,915	0,250	0,600	0,705
58,333	0,915	0,208	0,556	0,694
61,562	0,915	0,167	0,500	0,683
66,617	0,915	0,125	0,429	0,672
67,018	0,936	0,125	0,500	0,677
70,915	0,957	0,125	0,600	0,682
75,000	0,957	0,083	0,500	0,672
86,164	0,957	0,042	0,333	0,662
90,426	0,979	0,042	0,500	0,667
103,268	0,979	0,000	1,000	0,657
143,750	1,000	0,000	1,000	0,662

6. Sensibilité et spécificité selon seuil de variation du TRC (variation absolue)

Seuil variation	Sensibilité	Spécificité	VPN	VPP
-2,567	0,021	1	0,343	1
-1,423	0,021	0,958	0,333	0,5
-0,667	0,043	0,958	0,338	0,667
-0,533	0,064	0,958	0,343	0,75
-0,517	0,064	0,917	0,333	0,6
-0,51	0,064	0,875	0,323	0,5
-0,473	0,064	0,833	0,313	0,429
-0,41	0,085	0,833	0,317	0,5
-0,357	0,106	0,833	0,323	0,556
-0,293	0,128	0,833	0,328	0,6
-0,267	0,149	0,833	0,333	0,636
-0,197	0,17	0,833	0,339	0,667
-0,193	0,191	0,833	0,345	0,692
-0,157	0,213	0,833	0,351	0,714
-0,127	0,213	0,792	0,339	0,667
-0,1	0,234	0,75	0,333	0,647
-0,097	0,234	0,708	0,321	0,611
-0,057	0,255	0,708	0,327	0,632
-0,053	0,277	0,708	0,333	0,65
-0,04	0,277	0,667	0,32	0,619
-0,037	0,298	0,667	0,327	0,636
-0,027	0,319	0,667	0,333	0,652
-0,017	0,34	0,667	0,34	0,667
0	0,34	0,625	0,326	0,64
0,007	0,362	0,625	0,333	0,654
0,017	0,383	0,625	0,341	0,667
0,04	0,383	0,583	0,326	0,643
0,047	0,404	0,583	0,333	0,655
0,053	0,404	0,542	0,317	0,633
0,07	0,426	0,542	0,325	0,645
0,073	0,447	0,542	0,333	0,656
0,087	0,468	0,542	0,342	0,667
0,09	0,511	0,542	0,361	0,686
0,093	0,553	0,542	0,382	0,703
0,133	0,574	0,542	0,394	0,711
0,137	0,574	0,458	0,355	0,675
0,14	0,574	0,417	0,333	0,659

0,157	0,596	0,417	0,345	0,667
0,2	0,617	0,417	0,357	0,674
0,207	0,638	0,417	0,37	0,682
0,253	0,66	0,417	0,385	0,689
0,257	0,681	0,417	0,4	0,696
0,273	0,702	0,417	0,417	0,702
0,303	0,702	0,375	0,391	0,688
0,31	0,723	0,375	0,409	0,694
0,327	0,723	0,333	0,381	0,68
0,333	0,723	0,292	0,35	0,667
0,337	0,745	0,292	0,368	0,673
0,347	0,766	0,292	0,389	0,679
0,397	0,766	0,25	0,353	0,667
0,42	0,787	0,25	0,375	0,673
0,44	0,809	0,25	0,4	0,679
0,457	0,809	0,208	0,357	0,667
0,53	0,809	0,167	0,308	0,655
0,547	0,83	0,167	0,333	0,661
0,55	0,851	0,167	0,364	0,667
0,683	0,851	0,125	0,3	0,656
0,707	0,872	0,125	0,333	0,661
0,723	0,894	0,125	0,375	0,667
0,757	0,915	0,125	0,429	0,672
0,847	0,936	0,125	0,5	0,677
1,05	0,936	0,083	0,4	0,667
1,4	0,957	0,083	0,5	0,672
1,417	0,979	0,083	0,667	0,676
1,49	0,979	0,042	0,5	0,667
1,533	1	0,042	1	0,671
1,58	1	0	1	0,662

AUTEUR : Nom : LEROY-DUCARDONNOY **Prénom :** Paul

Date de Soutenance : 09/10/2025

Titre de la Thèse : Étude de la variation de l'indice de perfusion et du temps de recoloration cutané lors d'une épreuve de lever de jambes pour la prédiction de la précharge-dépendance chez les patients en ventilation spontanée

Thèse - Médecine - Lille 2025

Cadre de classement : Anesthésie-Réanimation et Médecine Péri-Opératoire

DES : Anesthésie-Réanimation et Médecine Péri-Opératoire

Mots-clés : Indice de perfusion, précharge-dépendance, hémodynamique, temps de recoloration cutané, soins critiques, lever de jambes passif, ventilation spontanée

Résumé :

Contexte : Chez les patients de soins critiques en ventilation spontanée (VS), la décision de remplissage est difficile car les indices dynamiques classiques perdent en performance. Nous avons conduit une étude visant à évaluer si des variations de marqueurs périphériques simples et non invasifs au lit du malade — l'indice de perfusion (IP) et le temps de recoloration cutanée (TRC) — pendant un lever de jambes passif (LJP) permettent d'identifier la précharge-dépendance. Celle-ci était définie par une augmentation $\geq 10\%$ de l'intégrale temps-vitesse sous-aortique (ITVsAo) en échographie cardiaque transthoracique (ETT).

Matériel et Méthodes : Étude monocentrique, prospective. Des patients adultes en VS ont bénéficié de mesures d'IP et de TRC avant et pendant un LJP standardisé, en parallèle d'une évaluation ETT de l'ITVsAo. Le critère principal était la performance diagnostique (AUC de la courbe ROC) des variations relatives d'IP et de TRC pour prédire la réponse au remplissage (ITV +10 %). Analyses de sensibilité/spécificité selon les seuils et analyses en sous-groupes selon la variabilité initiale de l'IP.

Résultats : Parmi 72 patients inclus, seule la variation de l'IP augmentait significativement dans le groupe précharge-dépendant (+25,7 % vs +7,4 %, $p = 0,044$). La variation de l'IP pendant le LJP a montré une faible discrimination (AUC $\approx 0,62$; IC 95 % 0,48–0,76), sans amélioration dans les sous-groupes avec une variabilité initiale plus faible (<10% et <25%). À un seuil optimal de +22 %, la spécificité atteignait $\approx 83\%$ pour une sensibilité $\approx 52\%$. Le TRC n'était pas discriminant (AUC $\approx 0,54$; IC 95 % 0,38–0,69). Les mesures périphériques (IP, TRC) présentaient une variabilité (CV et LSC) importante, limitant l'interprétation individuelle.

Conclusion : Chez des patients en VS, les variations d'IP lors du LJP ne permettent pas de prédire la précharge-dépendance efficacement tandis que le TRC n'apporte pas d'information discriminante sur le statut de précharge.

Composition du Jury :

Président : Monsieur le Professeur Éric KIPNIS

Assesseurs : Monsieur le Professeur Sébastien PREAU
Monsieur le Docteur Quentin DELFORGE

Directeur : Monsieur le Docteur Côme BUREAU