

ERPHAN
Équipe de recherche paramédicale
sur le handicap neuromoteur

université
PARIS-SACLAY

GROUPE
HOSPITALIER
DU HAVRE



ÉVALUATION MUSCULAIRE PÉRIPHÉRIQUE PAR ÉCHOGRAPHIE

Margaux Machefert,
Kinésithérapeute, Groupe Hospitalier du Havre
Université Paris-Saclay, UR 20201

réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN



Liens d'intérêts potentiels



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

Je déclare les liens d'intérêt potentiel suivants : Asten Santé
SOS Oxygène

Aucun conflit d'intérêt en lien avec la présentation

1. POURQUOI L'ÉCHOGRAPHIE ?

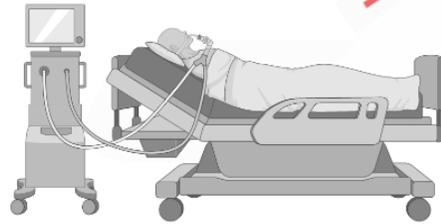
réanimation 2025

PARIS 11-13 JUIN

Pourquoi l'échographie ?



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN



~ 50% des patients
intubés en soins
critiques

Faiblesses musculaires acquises en réanimation

« Neuromyopathie acquise ou NMAR »
« ICU-acquired weakness ou ICU-AW »

“un syndrome de faiblesse généralisée
des membres qui se développe alors que
le patient est gravement malade et pour
lequel il n'y a pas d'autre explication que
la maladie grave elle-même”

Retard d'extubation
Séjours prolongés
Mortalité accrue en réanimation
Déficiences fonctionnelles à long terme

Pourquoi l'échographie ?



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

Risk Factors

Modifiable risk factors

- Hyperglycemia
- Parenteral nutrition
- Drugs
 - Vasoactive drugs
 - Neuromuscular blockers
 - Corticosteroids
 - Sedatives
 - Certain antibiotics (Aminoglycosides, vancomycin)
- Immobilization

Non-modifiable risk factors

- Severity of disease
- Sepsis and SIRS
- Multiple organ failure
- Prolonged mechanical ventilation
- High lactate level
- Female sex
- Older age
- Premorbid functional state

Mesures de prévention :

Contrôle glycémique
Mobilisation précoce
Limitation de la sédation, etc.

Pourquoi l'échographie ?



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

- **Diagnostic tardif**, nécessite l'éveil et la coopération du patient :

Vanhorebeek, *Int Care Med.* (2020)

Evaluation de la contraction musculaire (0 à 5)
Pour 6 groupes musculaires (3 MS et 3 MI)
Permettant un score /60

MRC < 48

Faiblesses « flasques »
Déficit bilatéral
Symétrique
Proximal

Abduction du bras	Absence de contraction visible	0	0
	Contraction visible sans mouvement du membre	1	1
	Mouvement insuffisant pour vaincre la pesanteur	2	2
	Mouvement permettant de vaincre la pesanteur	3	3
	Mouvement contre pesanteur et contre résistance	4	4
	Force musculaire normale	5	5
Flexion de l'avant-bras	Absence de contraction visible	0	0
	Contraction visible sans mouvement du membre	1	1
	Mouvement insuffisant pour vaincre la pesanteur	2	2
	Mouvement permettant de vaincre la pesanteur	3	3
	Mouvement contre pesanteur et contre résistance	4	4
	Force musculaire normale	5	5
Extension du poignet	Absence de contraction visible	0	0
	Contraction visible sans mouvement du membre	1	1
	Mouvement insuffisant pour vaincre la pesanteur	2	2
	Mouvement permettant de vaincre la pesanteur	3	3
	Mouvement contre pesanteur et contre résistance	4	4
	Force musculaire normale	5	5
Flexion de la cuisse	Absence de contraction visible	0	0
	Contraction visible sans mouvement du membre	1	1
	Mouvement insuffisant pour vaincre la pesanteur	2	2
	Mouvement permettant de vaincre la pesanteur	3	3
	Mouvement contre pesanteur et contre résistance	4	4
	Force musculaire normale	5	5
Extension de la Jambe	Absence de contraction visible	0	0
	Contraction visible sans mouvement du membre	1	1
	Mouvement insuffisant pour vaincre la pesanteur	2	2
	Mouvement permettant de vaincre la pesanteur	3	3
	Mouvement contre pesanteur et contre résistance	4	4
	Force musculaire normale	5	5
Flexion dorsale du pied	Absence de contraction visible	0	0
	Contraction visible sans mouvement du membre	1	1
	Mouvement insuffisant pour vaincre la pesanteur	2	2
	Mouvement permettant de vaincre la pesanteur	3	3
	Mouvement contre pesanteur et contre résistance	4	4
	Force musculaire normale	5	5
Totaux :			

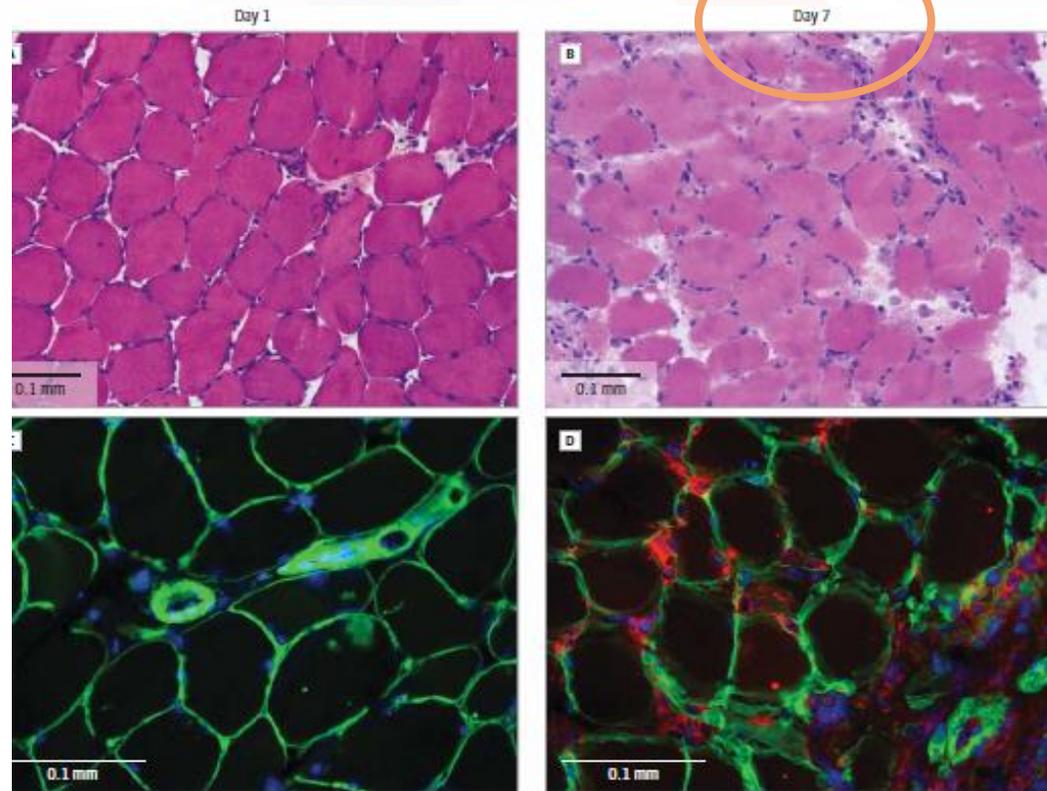
Score total = / 60

Pourquoi l'échographie ?



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

Puthuchery, *JAMA* (2013)



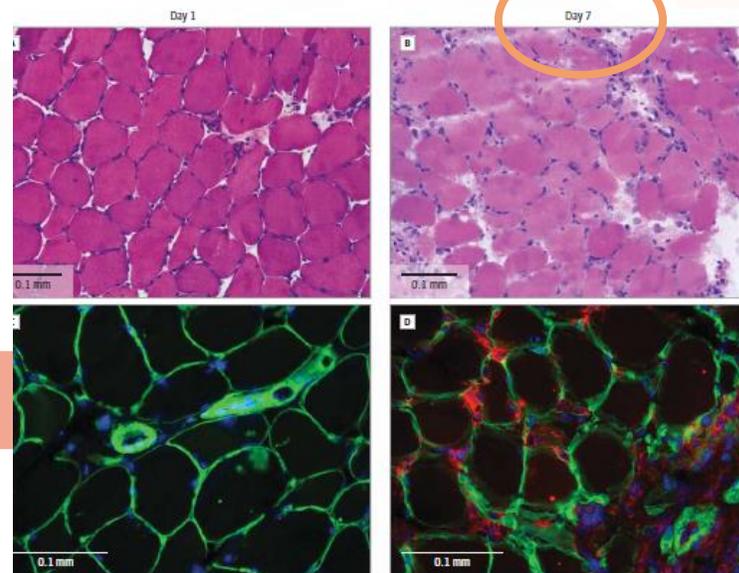
Pourquoi l'échographie ?



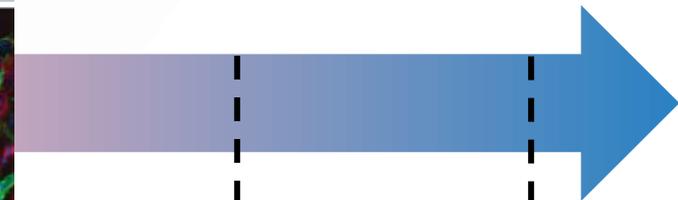
réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

- Quantifier la perte de masse musculaire en réanimation
- Evaluer l'efficacité des interventions nutritionnelles et de réhabilitation
- Repérer les patients à risque d'ICU-AW ++**

Puthucherry, *JAMA* (2013)



Score MRC



Admission

Intubation

Réveil

Extubation

2. COMMENT ?

réanimation 2025

PARIS 11-13 JUIN



REVIEW

Open Access



Methodologies and clinical applications of lower limb muscle ultrasound in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis

Roberto Venco^{1†}, Alessandro Artale^{1†}, Paolo Formenti², Cristian Deana³, Giovanni Mistraretti^{1,4} and Michele Umbrello^{4*}

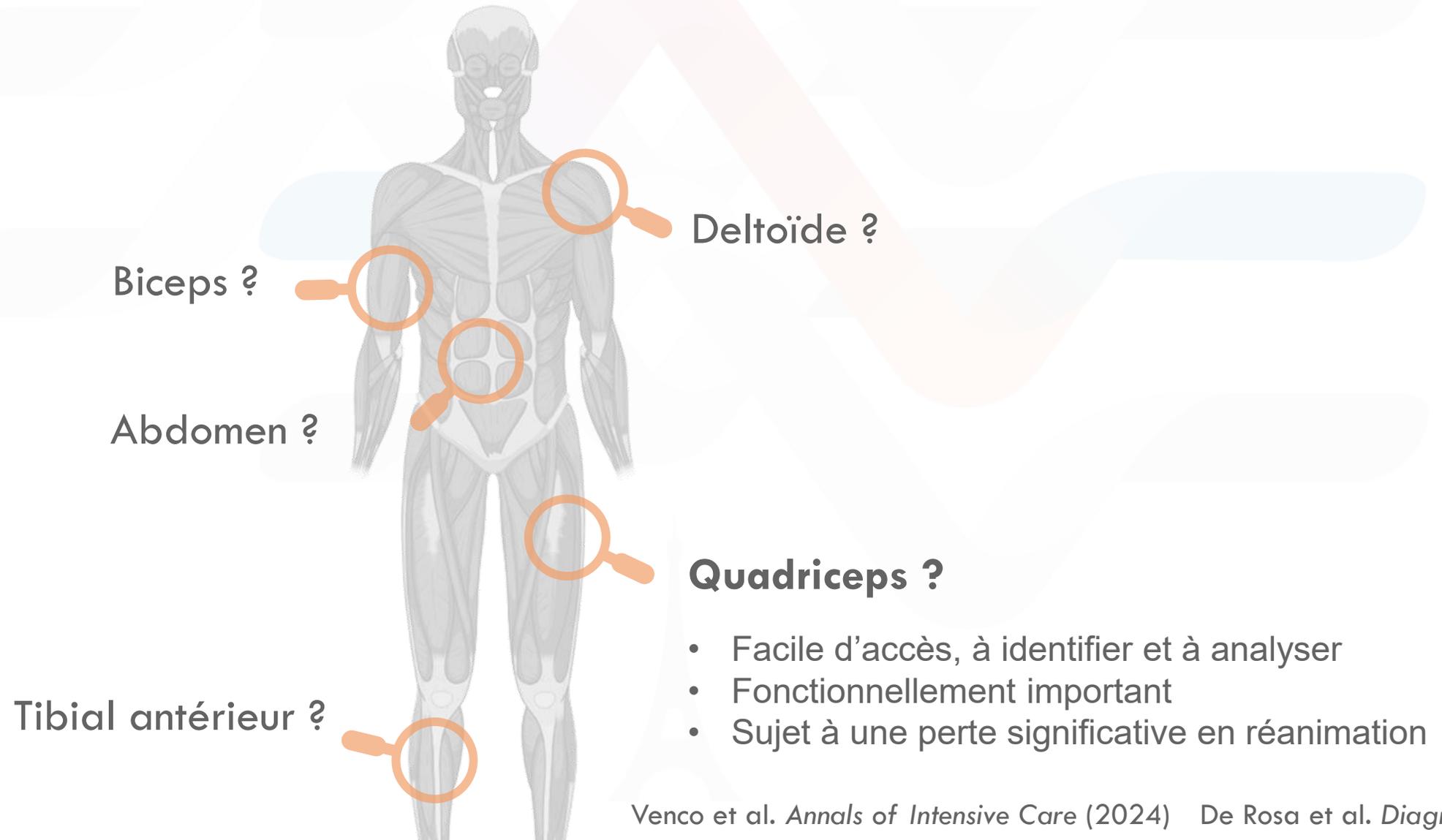
Biceps ?

Abdomen ?

Tibial antérieur ?

Deltoïde ?

Quadriceps ?



Position du patient

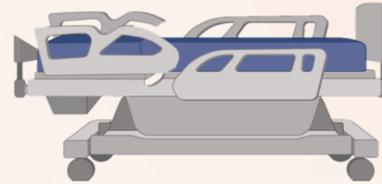
Choix de la sonde

Position de la sonde

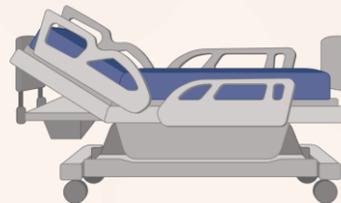
Gel conducteur

Pression appliquée

Nombre de mesures



Décubitus dorsal strict



(inclinaison 30-45°)

Membres
inférieurs au
repos

Rotation de
hanche neutre

Position du patient

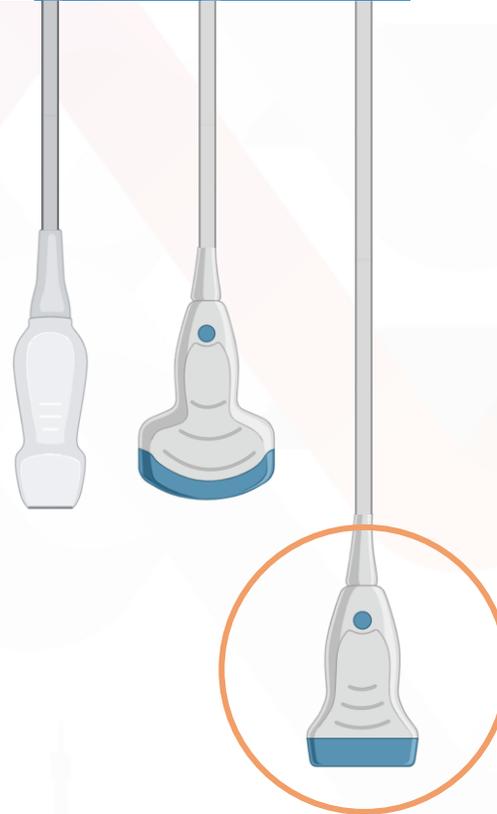
Choix de la sonde

Position de la sonde

Gel conducteur

Pression appliquée

Nombre de mesures



Sonde linéaire
2-20 MHz
Mode B

Position du patient

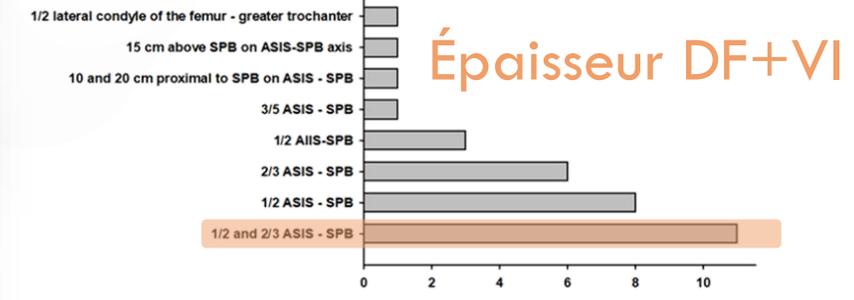
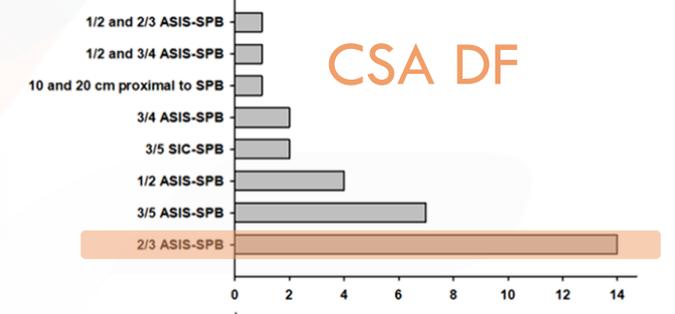
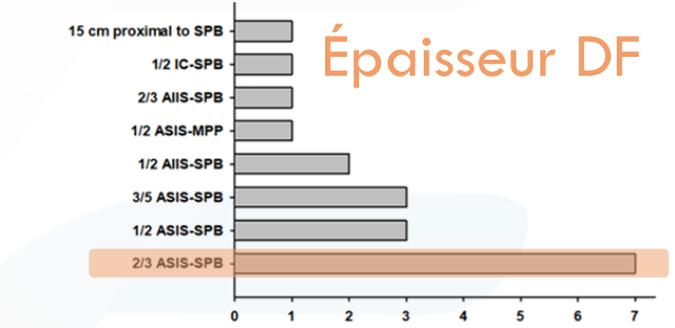
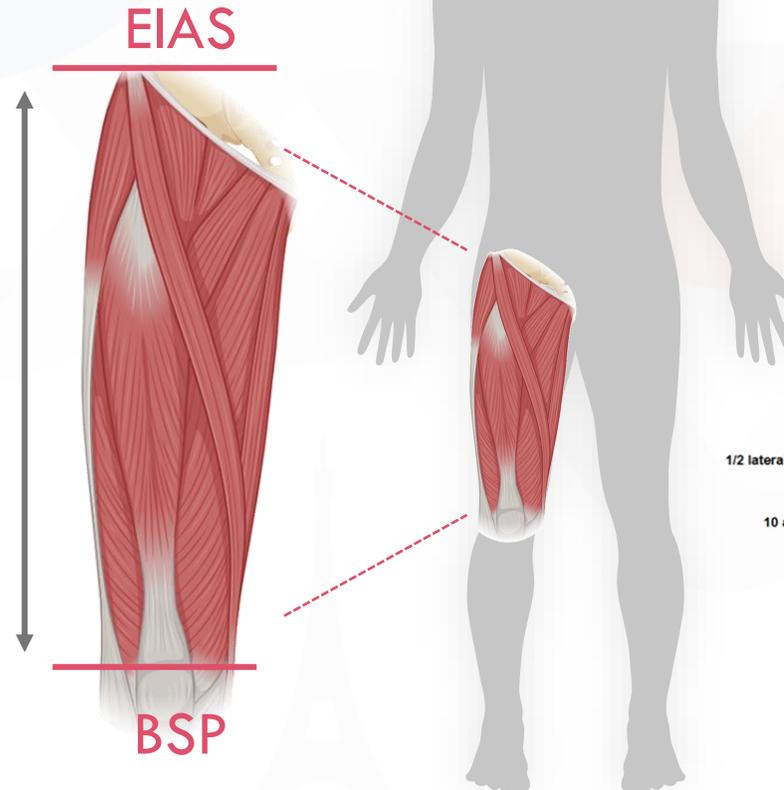
Choix de la sonde

Position de la sonde

Gel conducteur

Pression appliquée

Nombre de mesures



Echographie – kit de survie



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

Position du patient

Choix de la sonde

Position de la sonde

Gel conducteur

Pression appliquée

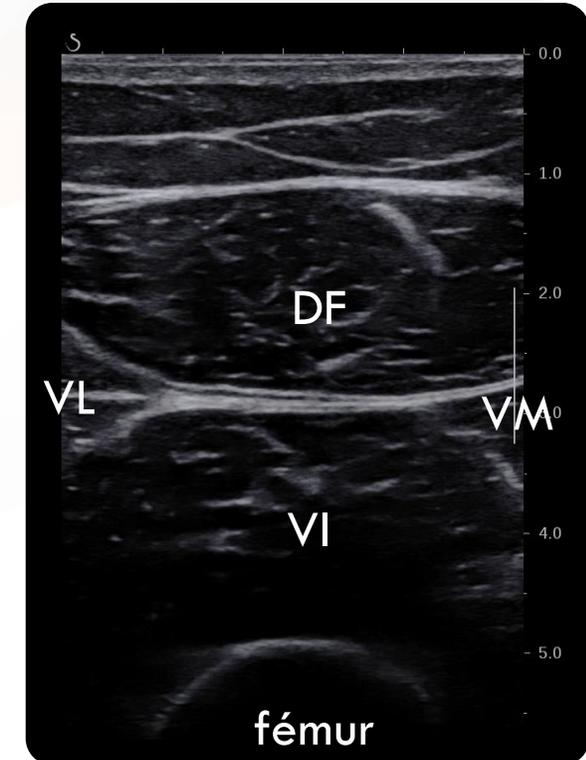
Nombre de mesures



longitudinal



transversal



Echographie – kit de survie



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

Position du patient

Choix de la sonde

Position de la sonde

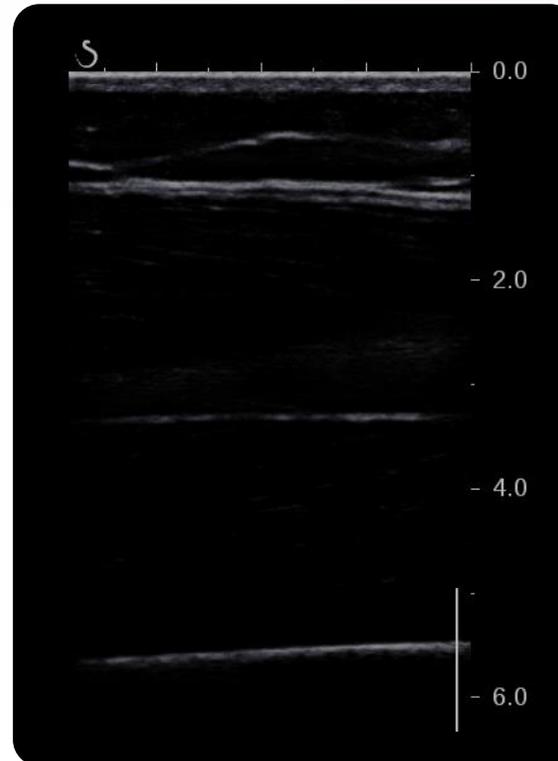
Gel conducteur

Pression appliquée

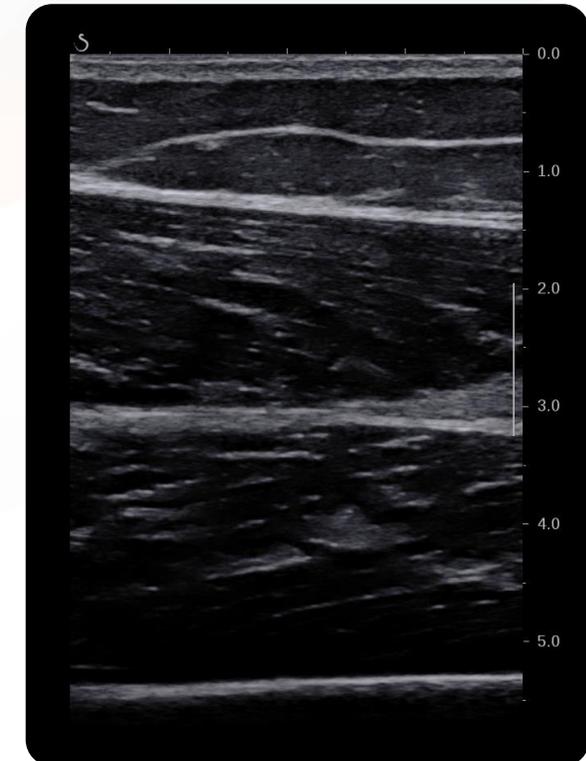
Nombre de mesures



sans gel



avec gel



Echographie – kit de survie



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

Position du patient

Choix de la sonde

Position de la sonde

Gel conducteur

Pression appliquée

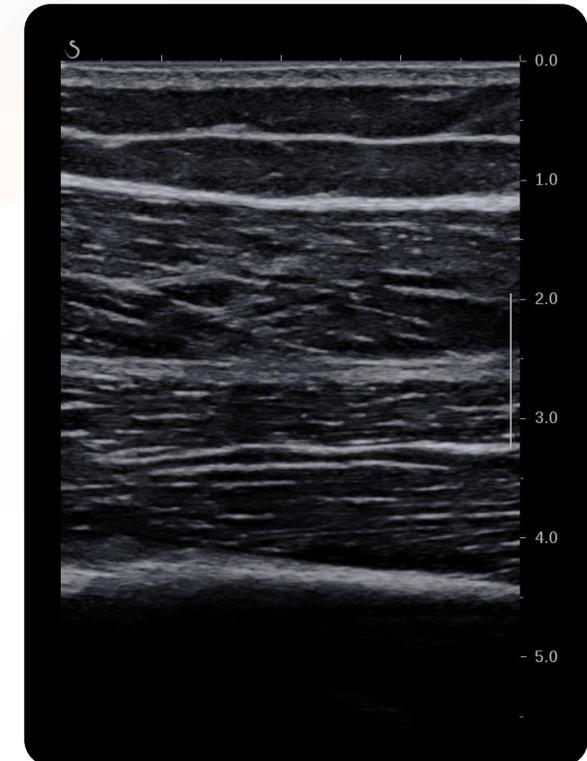
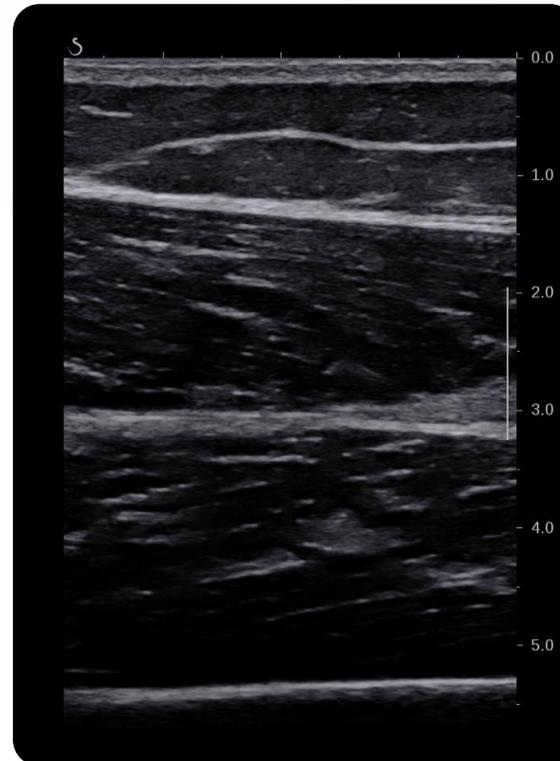
Nombre de mesures



sans pression



avec pression



Position du patient

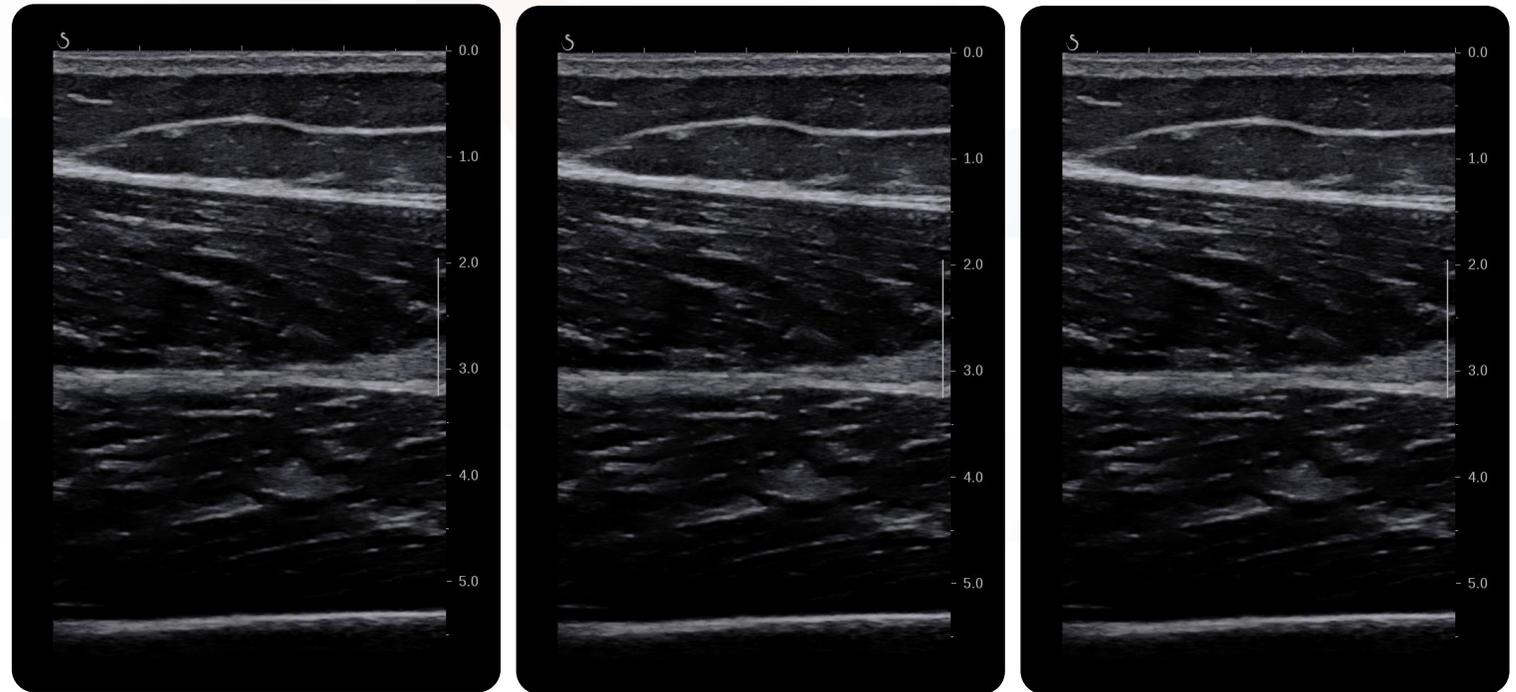
Choix de la sonde

Position de la sonde

Gel conducteur

Pression appliquée

Nombre de mesures



Faire la moyenne des valeurs
des paramètres mesurés

3. QUELS PARAMÈTRES ?

réanimation 2025

PARIS 11-13 JUIN

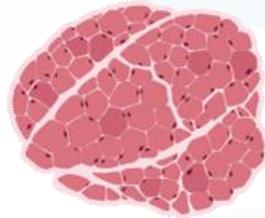


Echographie – quelles mesures ?



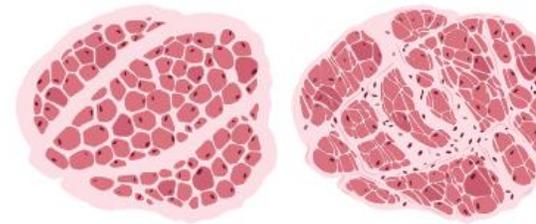
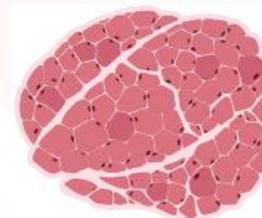
réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

- **Quantité** de tissu musculaire



Epaisseur
Surface de section (CSA)

- **Qualité** du tissu musculaire



Angle de pennation
Echogénicité
Rigidité tissulaire
Microcirculation

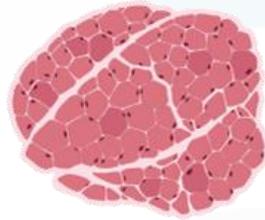


Echographie – quelles mesures ?



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

- **Quantité de tissu musculaire**



Epaisseur

Surface de section (CSA)



- Mesure de la surface de section musculaire :
 - Directement sur l'échographe, sur une image figée
- Prend en compte nombre et taille des fibres
→ Directement corrélée à la **force** et la **fonction**

Formenti et al., *Ann. Intensive Care* (2019)

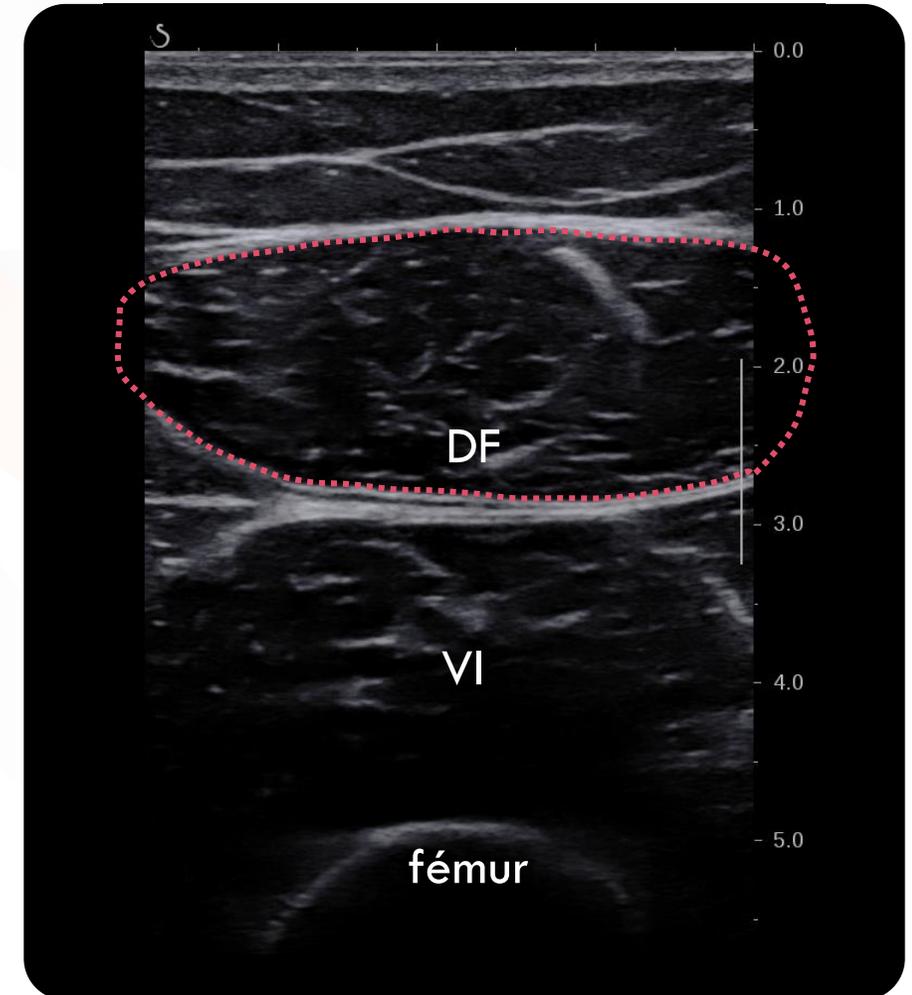


Perte de **10 %** de la CSA du DF dès 7 jours
Perte aggravée (**18%**) si défaillance multiviscérale

Puthuchery, *JAMA* (2013)

Sur la première semaine :
-2.10% (95% CI -3.17, -1.02) de la CSA du DF/jour

Fazzini et al., *Critical Care* (2023)



- Paramètre le plus étudié en réanimation
- Distance entre les fascias sup/inf :
 - Droit fémoral, vaste intermédiaire, (parfois les deux)
 - Se mesure directement sur l'échographe, sur une image figée
- Corrélée à la CSA, mais pas parfaitement
 - Sous-estime la fonte musculaire en réanimation
 - + facile à obtenir

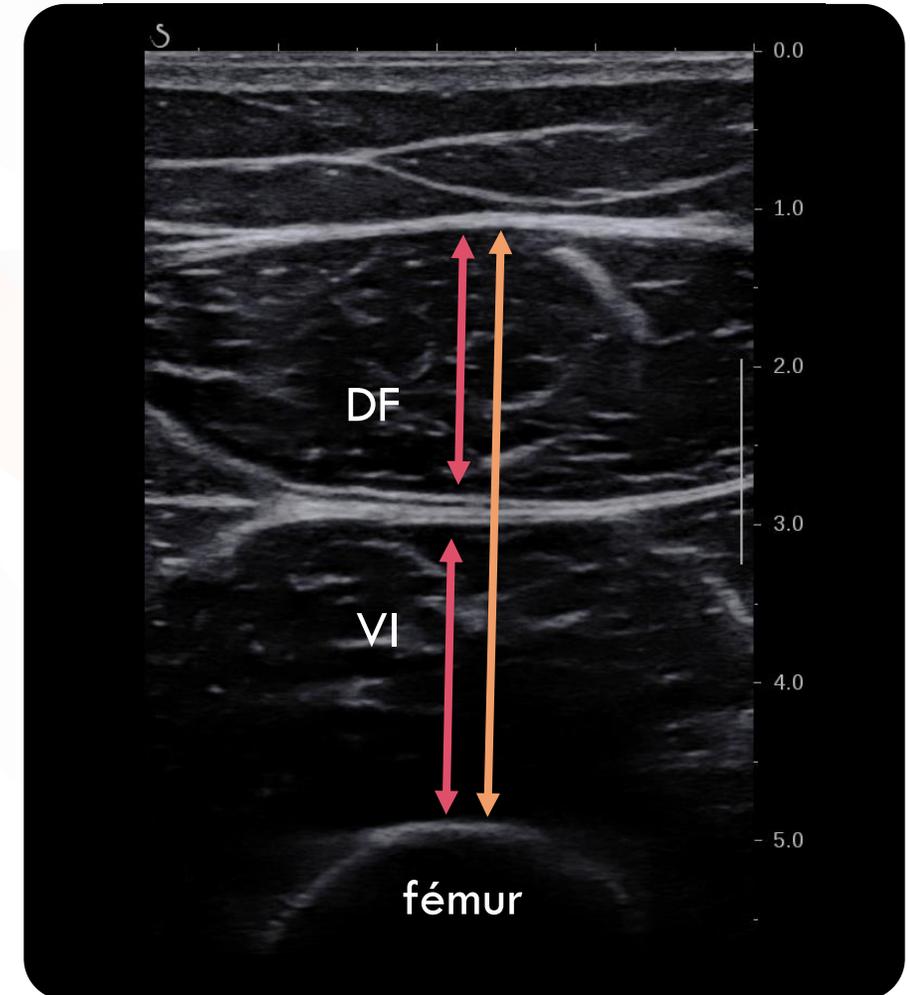


Sur la première semaine :

– 1.75% (95% CI –2.05, –1.45) de la TH du DF/jour

–1.82% (95% CI –2.97, –0.66) de la TH du quadriceps (DF+VI)/jour

Fazzini et al., Critical Care (2023)

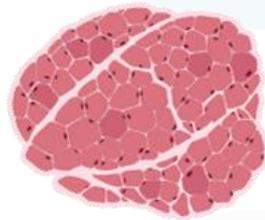


Echographie – quelles mesures ?



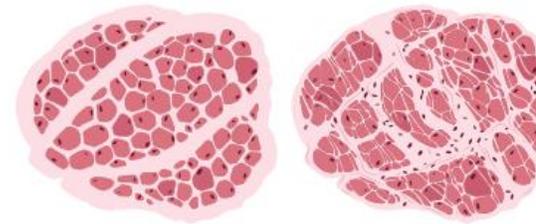
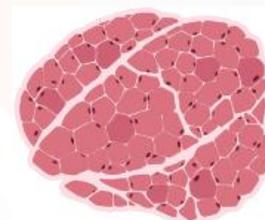
réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

- **Quantité de tissu musculaire**



Epaisseur
Surface de section (CSA)

- **Qualité du tissu musculaire**



Angle de pennation
Echogénicité
Rigidité tissulaire
Microcirculation

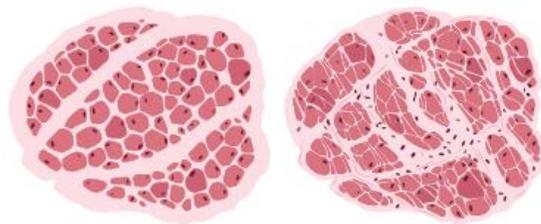
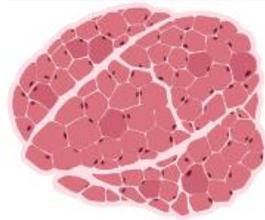


Echographie – quelles mesures ?



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

- **Qualité du tissu musculaire**



Angle de pennation

Echogénicité

Rigidité tissulaire

Microcirculation

Qualité – angle de pennation



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

- Mesure de l'angle entre :
 - Les fibres musculaires
 - L'aponévrose sous-jacente
- Capacité d'un muscle à générer de la force
 - + angle est grand, + matière contractile
 - Corrélié à la CSA

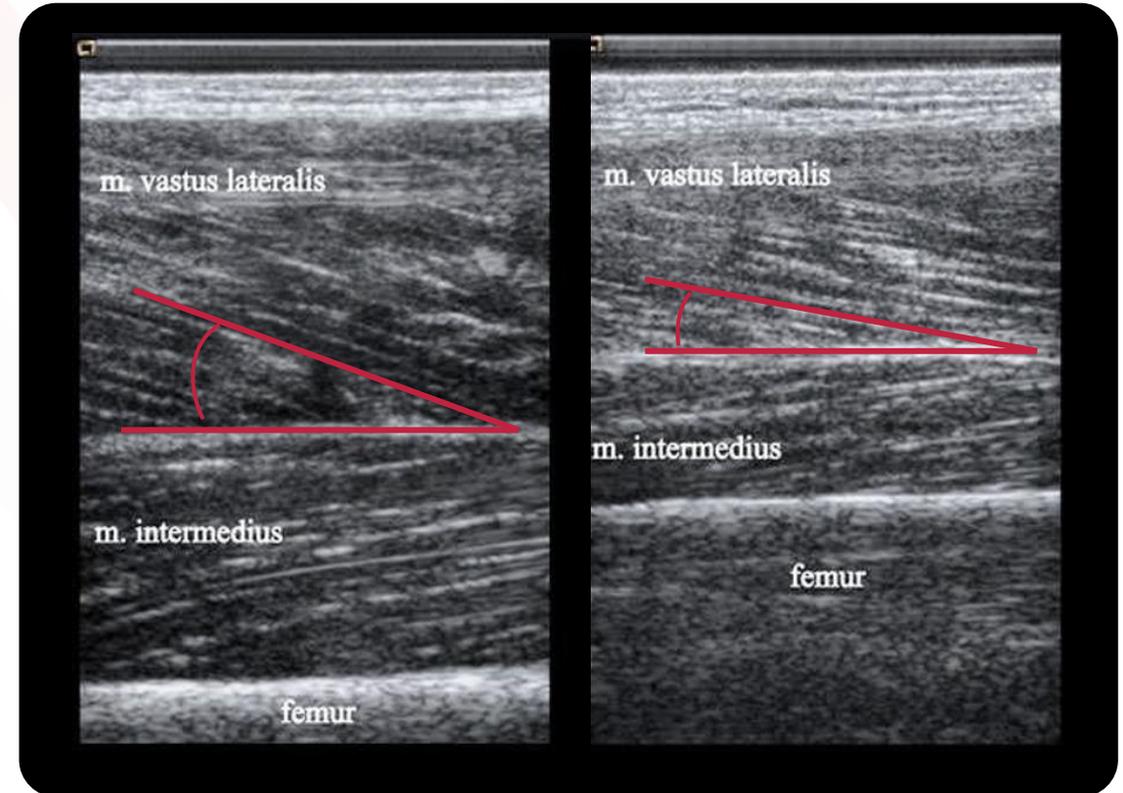
Rutherford, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* (1992)



Cet angle diminue au cours d'un séjour en réanimation. En seulement 7 jours :

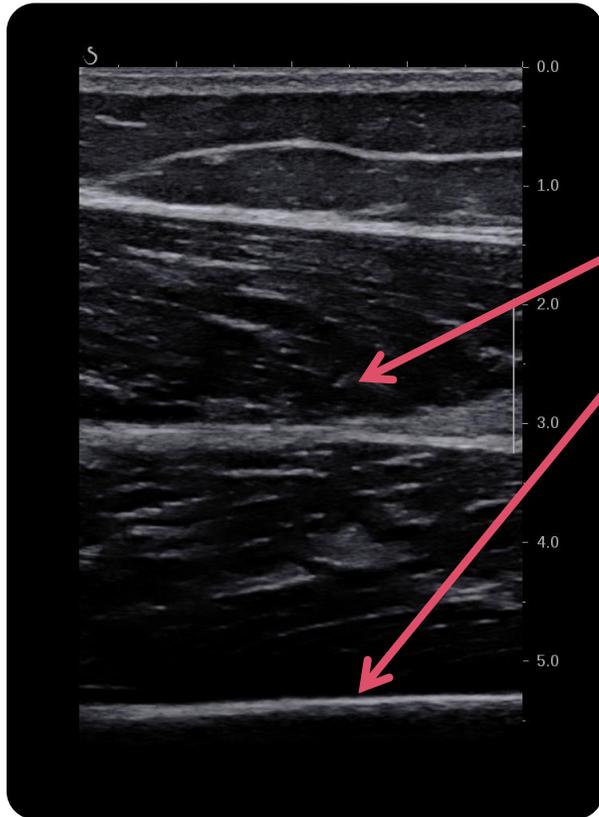
- 36.6 [-44.6; -24.4] % si ICU-Aw
- 14.7 [-22.5; -6.6] % si pas d'ICU-Aw

Formenti et al. *Journal of Critical Care* (2022)

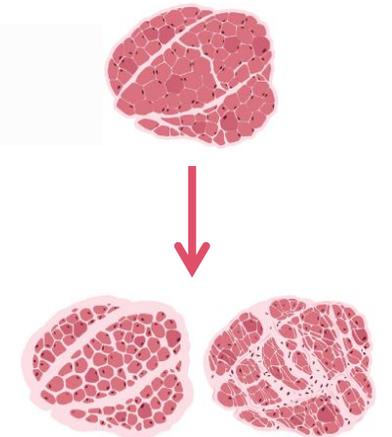


Se mesure :

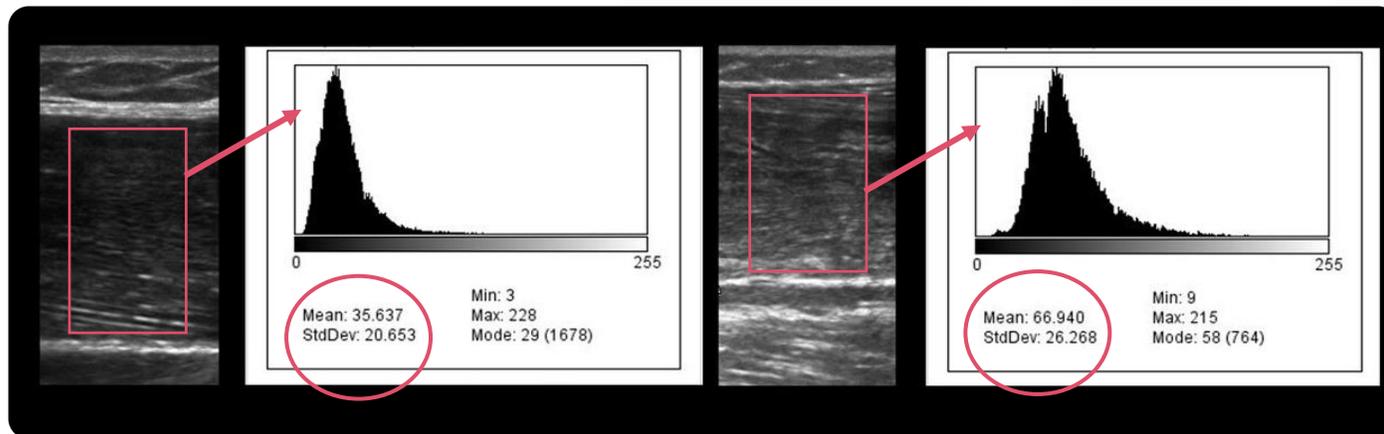
- Directement sur l'échographe (logiciel intégré)
- Après, avec un logiciel adapté (type Image J)



- Propriété d'un tissu ou d'une structure à réfléchir les US, par rapport aux tissus environnants :
 - Tissu hypoéchogène (gris sombre/noir) : muscle, liquide
 - Tissu hyperéchogène (blanc) : os, calcifications
- Donne des informations sur la composition musculaire (présence de tissu fibreux et de l'atrophie musculaire)
- Peut s'analyser de deux façons :
 - Quantitative
 - Semi-quantitative



- Analyse quantitative :
 - Logiciel adapté (type Image J)
 - Donne une valeur moyenne de gris :



- Analyse semi-quantitative :
 - Echelle de Heckmatt (4 niveaux) :

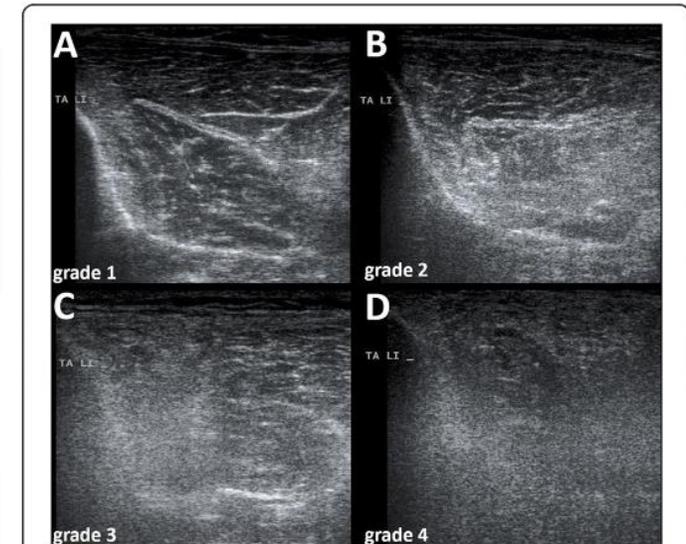
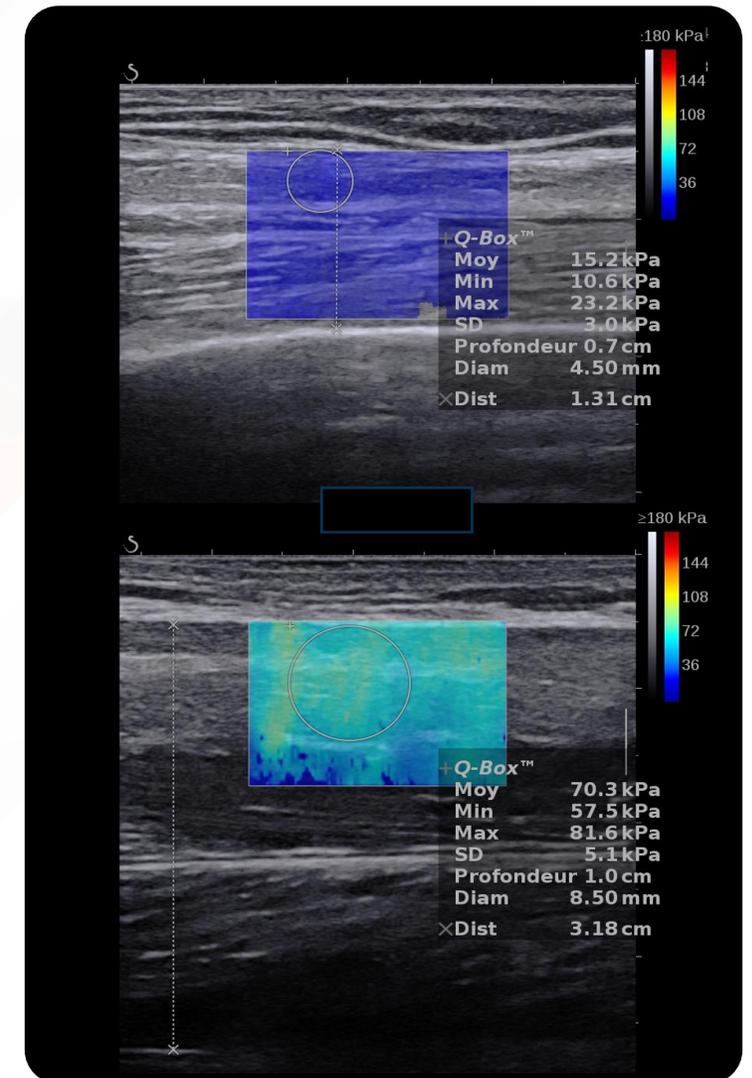


Figure 1 Ultrasonic cross-sections through the tibialis anterior muscles showing different grades in echogenicity as defined by the Heckmatt score [23]. (A) Normal echo intensity with starry-night aspect with distinct bone echo in a healthy control. (B) Increased echo intensity with normal bone echo in a septic patient at day 4. (C) Increased echo intensity with reduced bone signal in a septic patient at day 14. (D) Increased echo intensity and loss of bone signal in a septic patient at day 14.

- Shear Wave Elastography (SWE)
 - Etudie la vitesse de propagation des ondes dans un tissu (m/s),
 - En déduit la rigidité/raideur tissulaire (en kPa) ou *stiffness*.
- Donne des informations sur les propriétés mécaniques
- Rigidité évolue en fonction de la structure tissulaire :
 - Chez les sujets âgés ?
 - Diminution de la rigidité tissulaire avec l'âge.
Alfuraih, *Aging Clin Exp Res* (2019)
 - Chez les sportifs ?
 - Diminution de la rigidité tissulaire pendant/après effort.
Andonian, *PLOS ONE* (2016)
 - Quid chez les patients en réanimation ?
 - Augmentation de la rigidité tissulaire VS *healthy peers*.
Flattres, *Critical Care* (2020)
 - Augmentation de la rigidité tissulaire no VS ICU-AW.
Hernández-Socorro, *Nutrients* (2021)

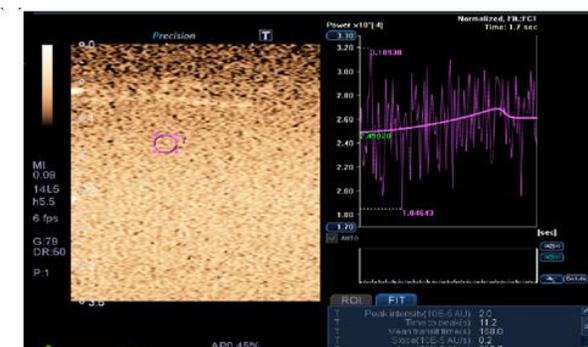
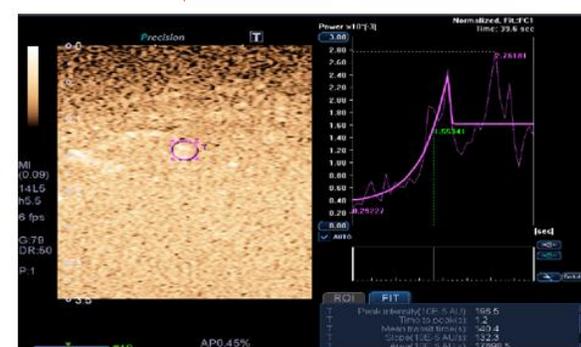
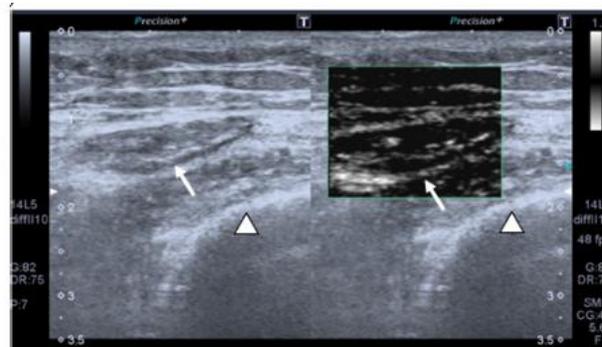
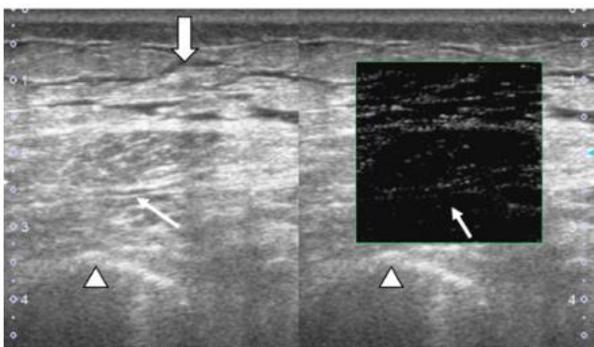


Autres mesures...



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

- Evaluation du tissu sous-cutané :
 - Epaisseur augmente si œdème
 - Echogénicité diminue si œdème
- Evaluation de la micro-vascularisation musculaire :
 - *Intravascular Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS)*
 - *Superb Microvascular Imaging (SMI)*



4. ET EN PRATIQUE ?

réanimation 2025

PARIS 11-13 JUIN



Et en pratique ?

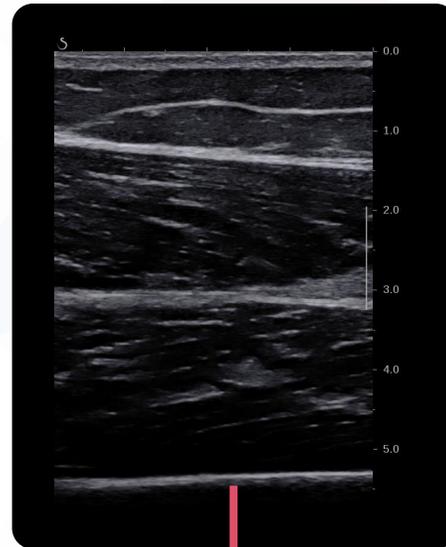


réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN



?

t1



t2



Et en pratique ?



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

Paramètre	Timing	Prédicteur	Outcome	Performance	Référence
CSA du RF	J3	Diminution >6,9% entre J0 et J3	Durée de séjour en réa Durée de VM	-	Yao et al., <i>Eur J Resp</i> , 2024
CSA du RF	J7	Diminution >10% entre J1 et J7	Séjour réa Séjour hospitalier Durée VM	-	Kemp et al. <i>J Cach Sarc Muscle</i> . 2020
Épaisseur Q (DF+VI)	J7	Diminution >10% entre J1 et J7	Ventilation prolongée	HR = 2,1	Dimopoulos et al. <i>World J Cardiol</i> . 2020
Épaisseur Q (DF+VI)	J7	Perte de 1%	Mortalité à 60j (+5%)	OR ajusté 0,95	Lee et al., <i>Clin Nutr</i> , 2021

- Perte musculaire globalement associée à des outcomes défavorables :
 - Durée de ventilation mécanique
 - Durée de séjour en réanimation
 - Mortalité

Et en pratique ?



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

Paramètre	Timing	Prédicteur	Outcome	Performance	Référence
CSA du RF	J3	Diminution >6,9% entre J0 et J3	ICU-AW	AUC = 0,91	Yao et al., <i>Eur J Resp</i> , 2024
CSA du RF	J7	Diminution >10% entre J0 et J7	ICU-AW	AUC = 0,912	Yao et al., <i>Eur J Resp</i> , 2024
CSA du RF	J7	Diminution 10-15% entre J0 et J7	ICU-AW	AUC = 0,89-0,91	Mayer et al. <i>Crit Care</i> . 2020
CSA du RF	?	Si <2,79cm ²	ICU-AW	AUC = 0,97	Hernández-Socorro et al. <i>Nutrients</i> , 2021
CSA du RF	J5	Diminution entre JA et J5	ICU-AW	AUC = 0,72	Chaves et al. <i>Journal of Ultrasound</i> , 2025
Epaisseur RF	J10	Perte de 15% entre J1 et J10	ICU-AW	AUC = 0,840	Zhang, <i>Scientific Reports</i> , 2021
Epaisseur RF	?	Diminution, et si <8,20 cm	ICU-AW	AUC = 0,95	Hernández-Socorro et al. <i>Nutrients</i> , 2021
Epaisseur RF+VI	J5	Diminution entre J1 et J5	ICU-AW	AUC = 0,82	Chaves et al. <i>Journal of Ultrasound</i> , 2025
Angle pennation RF	J7	Perte de 11% entre J1 et J7	ICU-AW	AUC = 0,88	S Yin et al. <i>Ultrasound in Med&Bio</i> , 2025
Angle pennation RF	J7	Diminution angle entre J1 et J7	ICU-AW	AUC = 0,91	Formenti et al. <i>J Crit Care</i> , 2022
Angle pennation VI	J7	Perte de 11% entre J1 et J7	ICU-AW	AUC = 0,79	S Yin et al. <i>Ultrasound in Med&Bio</i> , 2025
SWE du RF	J7	Perte de 22% entre J1 et J7	ICU-AW	AUC = 0,70	S Yin et al. <i>Ultrasound in Med&Bio</i> , 2025
SWE du VI	J7	Perte de 23% entre J1 et J7	ICU-AW	AUC = 0,79	S Yin et al. <i>Ultrasound in Med&Bio</i> , 2025
SWE du RF	?	Si >18.70 kPa	ICU-AW	AUC = 0,97	Hernández-Socorro et al. <i>Nutrients</i> , 2021



Référence

Yao et al., *Eur J Resp*, 2024

Yao et al., *Eur J Resp*, 2024

Mayer et al. *Crit Care*. 2020

Hernández-Socorro et al. *Nutrients*, 2021

Avances et al. *Journal of Ultrasound*, 2025

Zhang, *Scientific Reports*, 2021

Hernández-Socorro et al. *Nutrients*, 2021

Avances et al. *Journal of Ultrasound*, 2025

Yin et al. *Ultrasound in Med&Bio*, 2025

Formenti et al. *J Crit Care*, 2022

Yin et al. *Ultrasound in Med&Bio*, 2025

Yin et al. *Ultrasound in Med&Bio*, 2025

Yin et al. *Ultrasound in Med&Bio*, 2025

Hernández-Socorro et al. *Nutrients*, 2021

Outil de monitoring de la fonte musculaire

Accessible, reproductible, simple, non-irradiant...

Pas encore standardisé

Position, muscles, timing...

On a besoin de :

Protocoles d'évaluation standardisés

Avec un ou plusieurs paramètres musculaires

De les valider ++

→ Avant d'utiliser ces seuils en clinique

Et en pratique ?



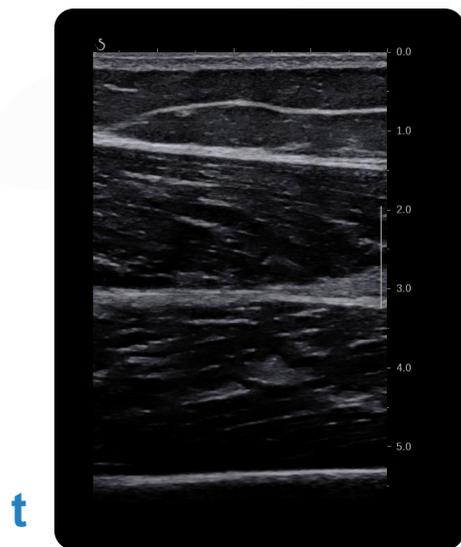
réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN

Paramètre	Timing	Prédicteur	Outcome	Performance	Référence
CSA du RF	J3	Diminution >6,9% entre J0 et J3	ICU-AW	AUC = 0,91	Yao et al., <i>Eur J Resp</i> , 2024
CSA du RF	J7	Diminution >10% entre J0 et J7	ICU-AW	AUC = 0,912	Yao et al., <i>Eur J Resp</i> , 2024
CSA du RF	J7	Diminution 10-15% entre J0 et J7	ICU-AW	AUC = 0,89-0,91	Mayer et al. <i>Crit Care</i> . 2020
CSA du RF	?	Si <2,79cm ²	ICU-AW	AUC = 0,97	Hernández-Socorro et al. <i>Nutrients</i> , 2021
CSA du RF	J5	Diminution entre JA et J5	ICU-AW	AUC = 0,72	Chaves et al. <i>Journal of Ultrasound</i> , 2025
Epaisseur RF	J10	Perte de 15% entre J1 et J10	ICU-AW	AUC = 0,840	Zhang, <i>Scientific Reports</i> , 2021
Epaisseur RF	?	Diminution, et si <8,20 cm	ICU-AW	AUC = 0,95	Hernández-Socorro et al. <i>Nutrients</i> , 2021
Epaisseur RF+VI	J5	Diminution entre J1 et J5	ICU-AW	AUC = 0,82	Chaves et al. <i>Journal of Ultrasound</i> , 2025
Angle pennation RF	J7	Perte de 11% entre J1 et J7	ICU-AW	AUC = 0,88	S Yin et al. <i>Ultrasound in Med&Bio</i> , 2025
Angle pennation RF	J7	Diminution angle entre J1 et J7	ICU-AW	AUC = 0,91	Formenti et al. <i>J Crit Care</i> , 2022
Angle pennation VI	J7	Perte de 11% entre J1 et J7	ICU-AW	AUC = 0,79	S Yin et al. <i>Ultrasound in Med&Bio</i> , 2025
SWE du RF	J7	Perte de 22% entre J1 et J7	ICU-AW	AUC = 0,70	S Yin et al. <i>Ultrasound in Med&Bio</i> , 2025
SWE du VI	J7	Perte de 23% entre J1 et J7	ICU-AW	AUC = 0,79	S Yin et al. <i>Ultrasound in Med&Bio</i> , 2025
SWE du RF	?	Si >18.70 kPa	ICU-AW	AUC = 0,97	Hernández-Socorro et al. <i>Nutrients</i> , 2021

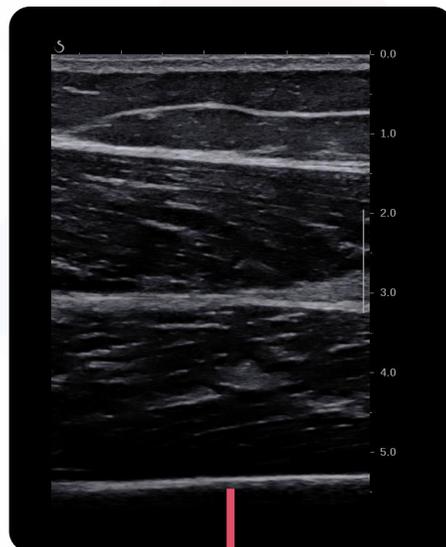
Et en pratique ?



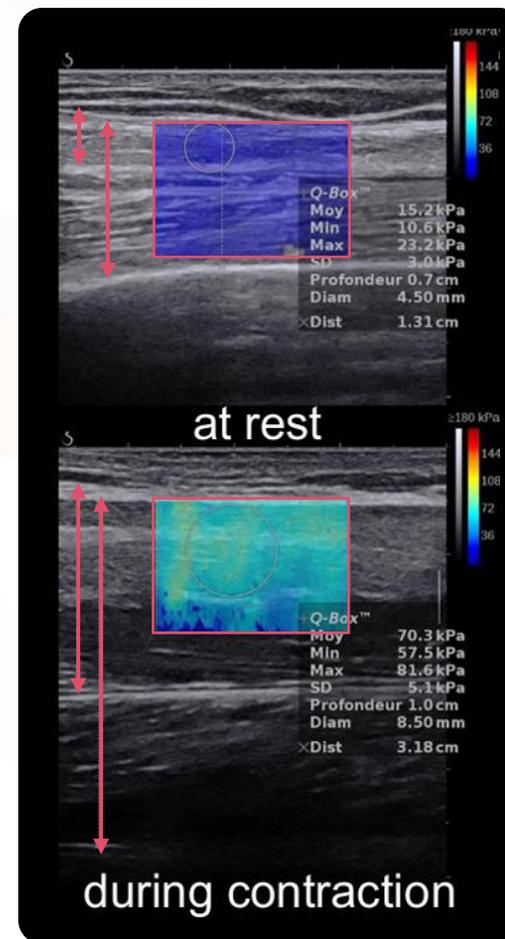
réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN



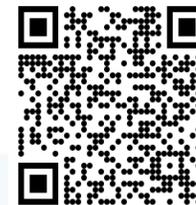
t1



t2



*Scannez ce QR code pour avoir
accès à la bibliothèque Zotero
associée à ce travail.*



Merci pour votre attention

margaux.machefert@hotmail.fr



réanimation 2025
PARIS 11-13 JUIN