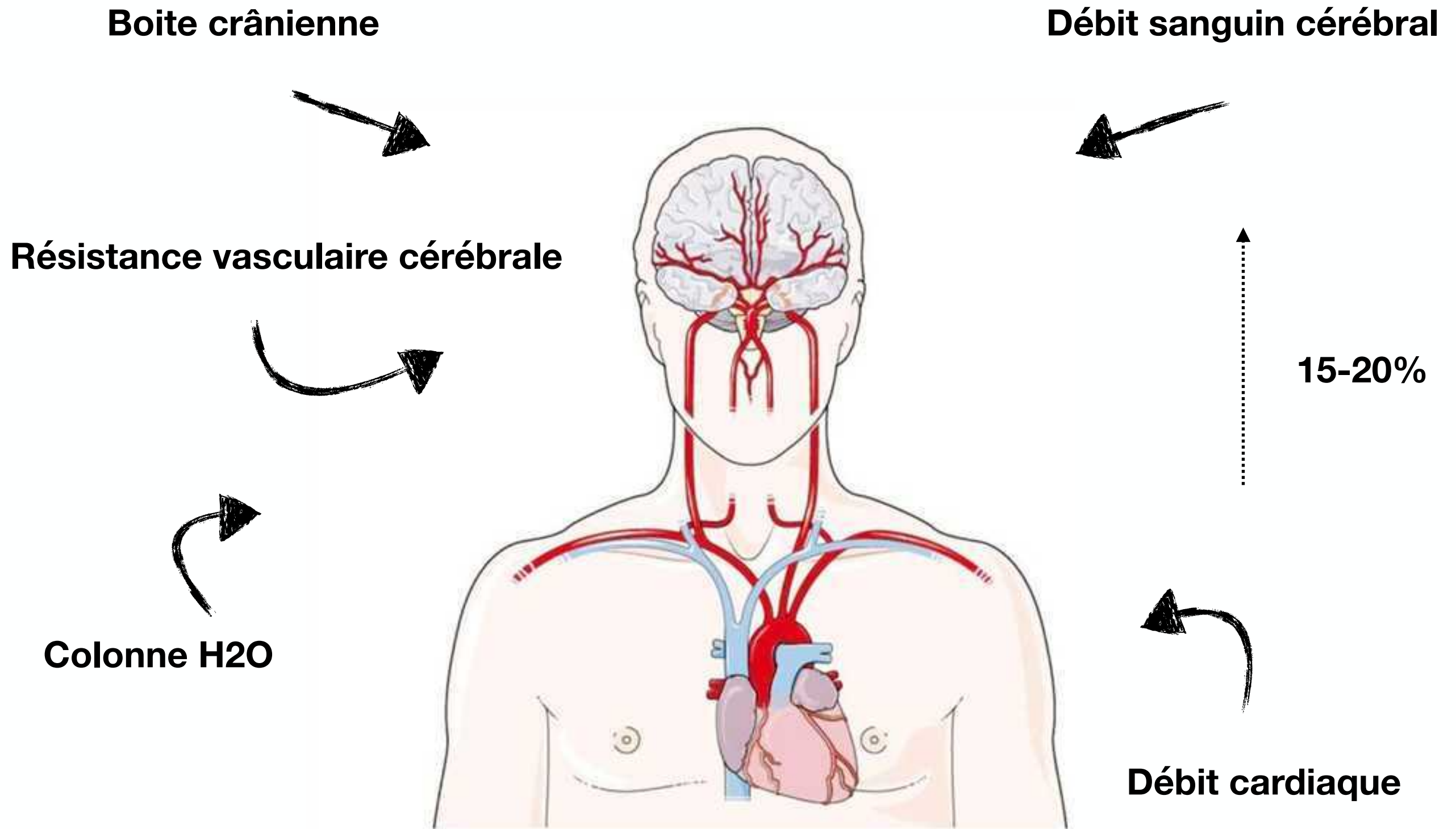


Physiologie humaine appliquée à la Réanimation

Tome 2 : Hémodynamique cérébrale

Introduction



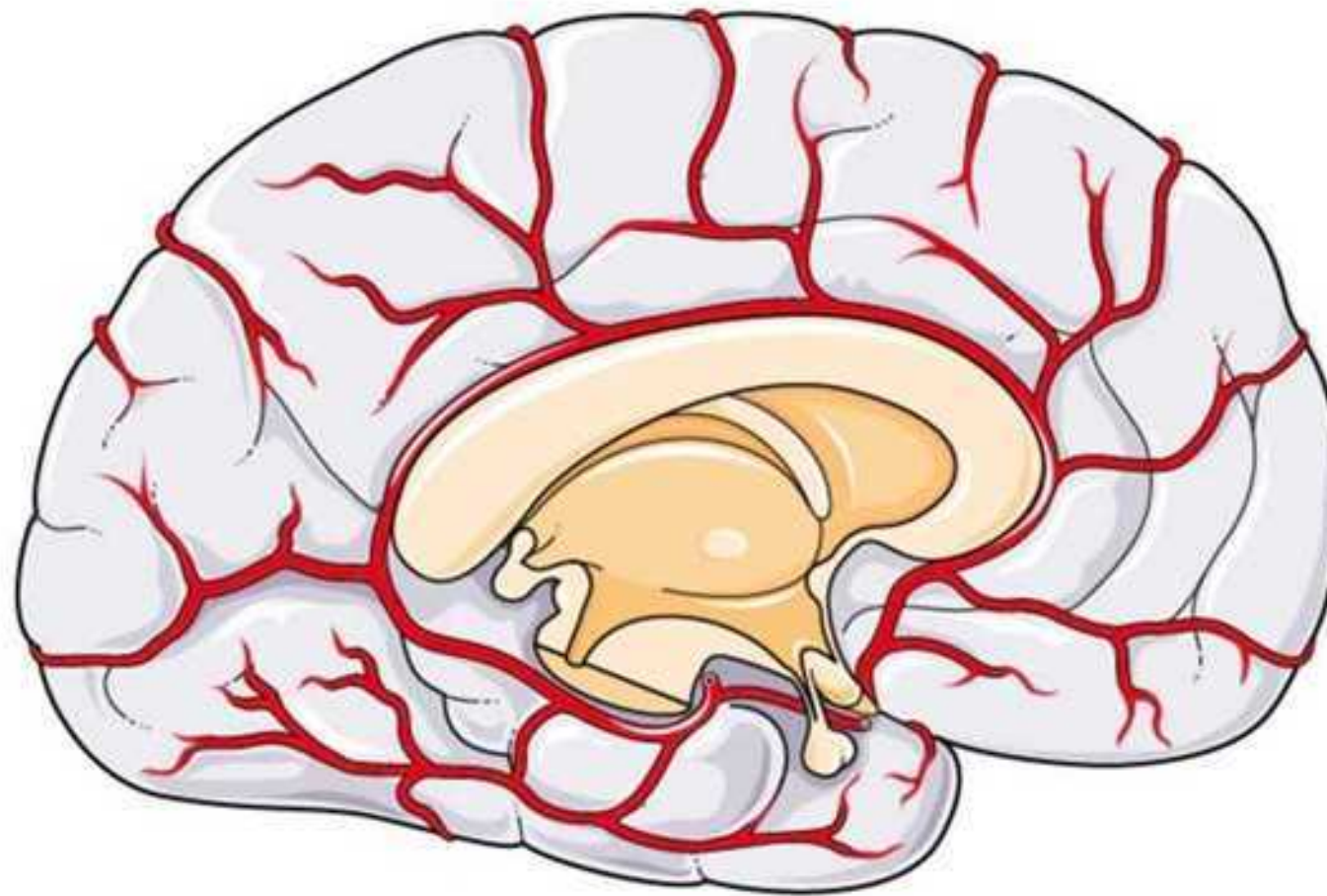
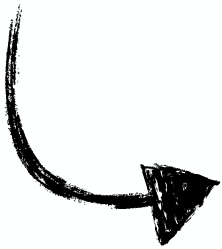
Introduction

2% du poids corporel

Proportions en pourcentage ?

Équation de Monroe-Kelly

Parenchyme



LCR



Vaisseaux



Introduction

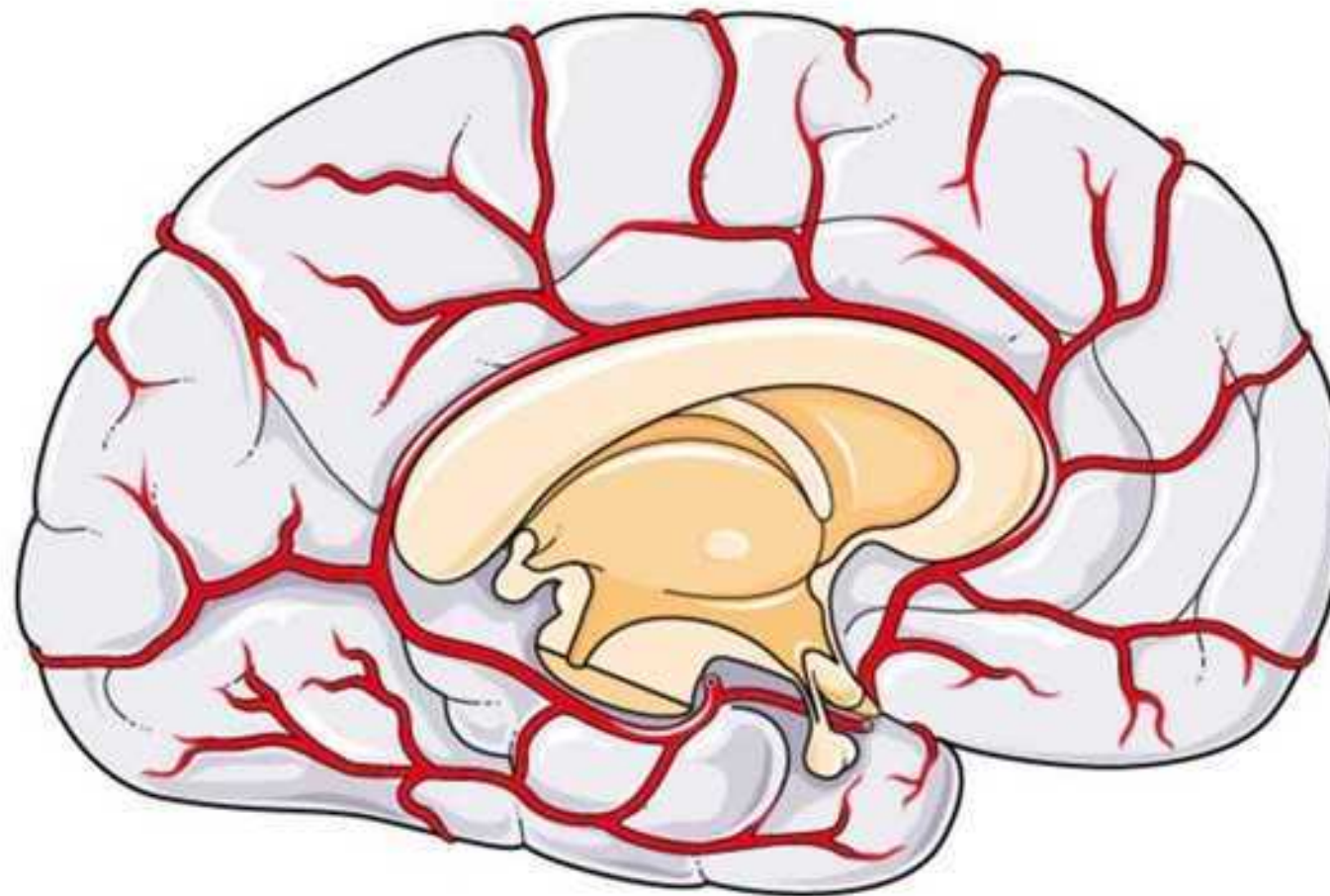
2% du poids corporel

Proportions en pourcentage ?

Équation de Monroe-Kelly

Parenchyme

80%



LCR

15%

Vaisseaux

5%

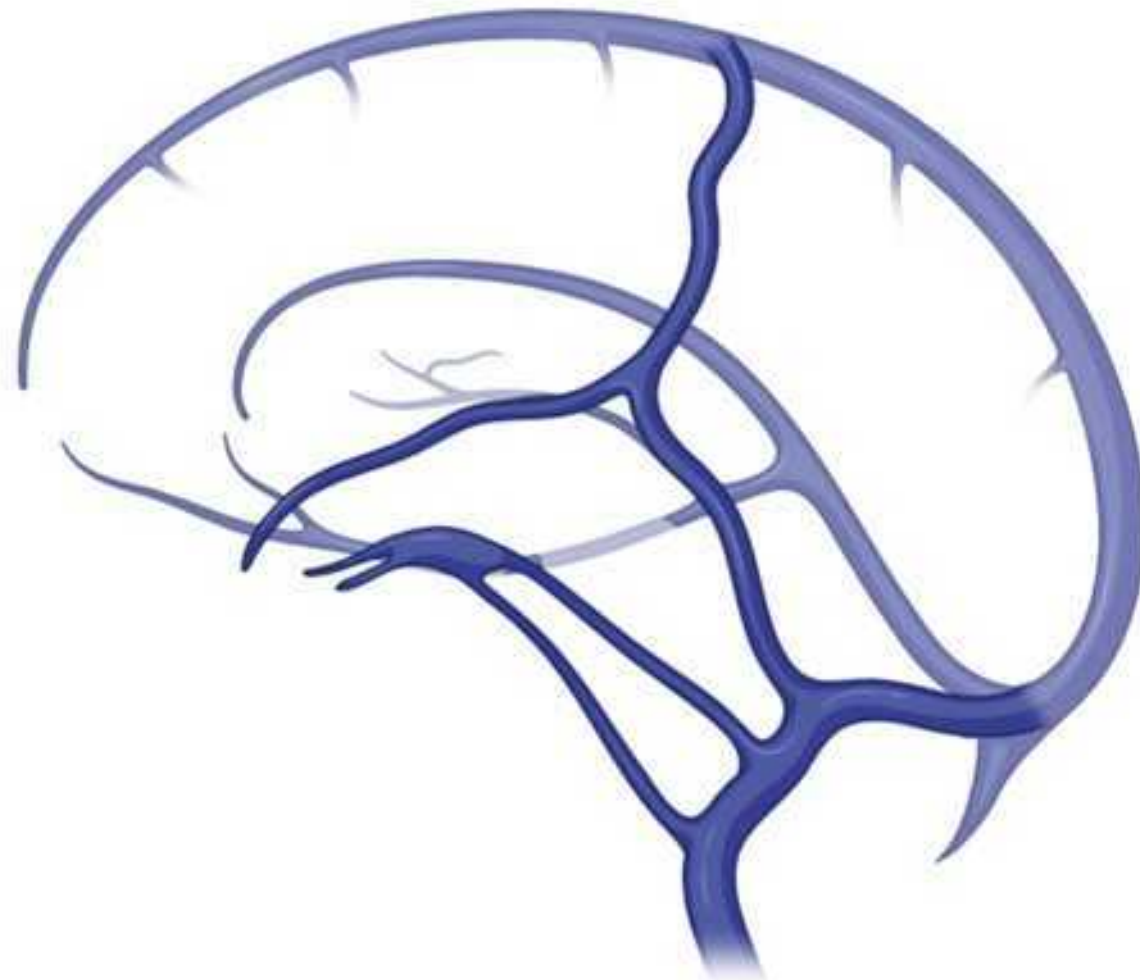


Veineux +++

Introduction

Système veineux cérébral

Peu vasoréactif



Capacitif



Libérer les jugulaires !!

Rappel d'anatomie

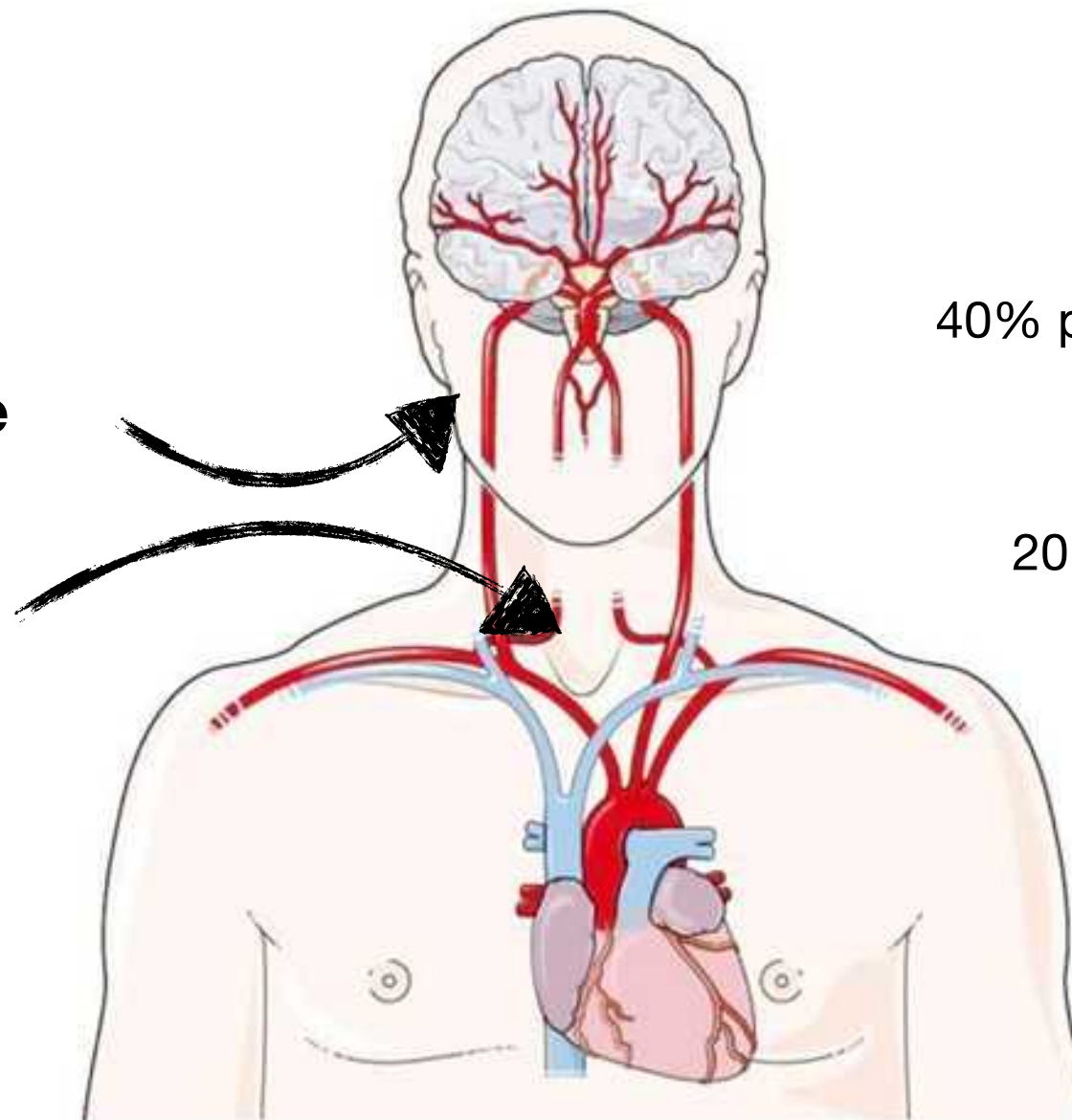
DSC :

40% pour chaque A. carotidienne

20% pour le tronc basilaire

**A. carotide interne
x2**

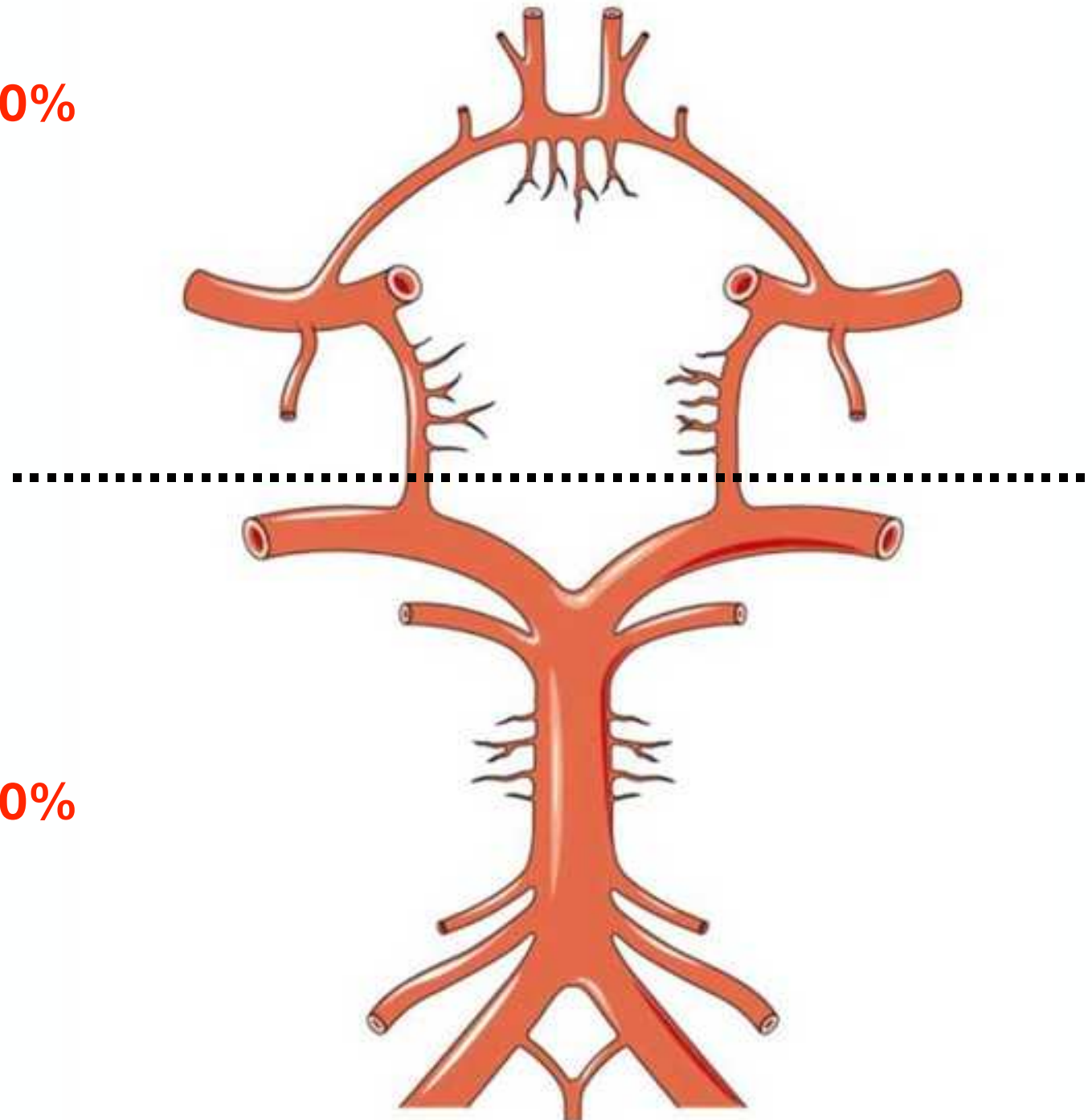
**A. vertébrale
x2**



Rappel d'anatomie

80%

Carotide

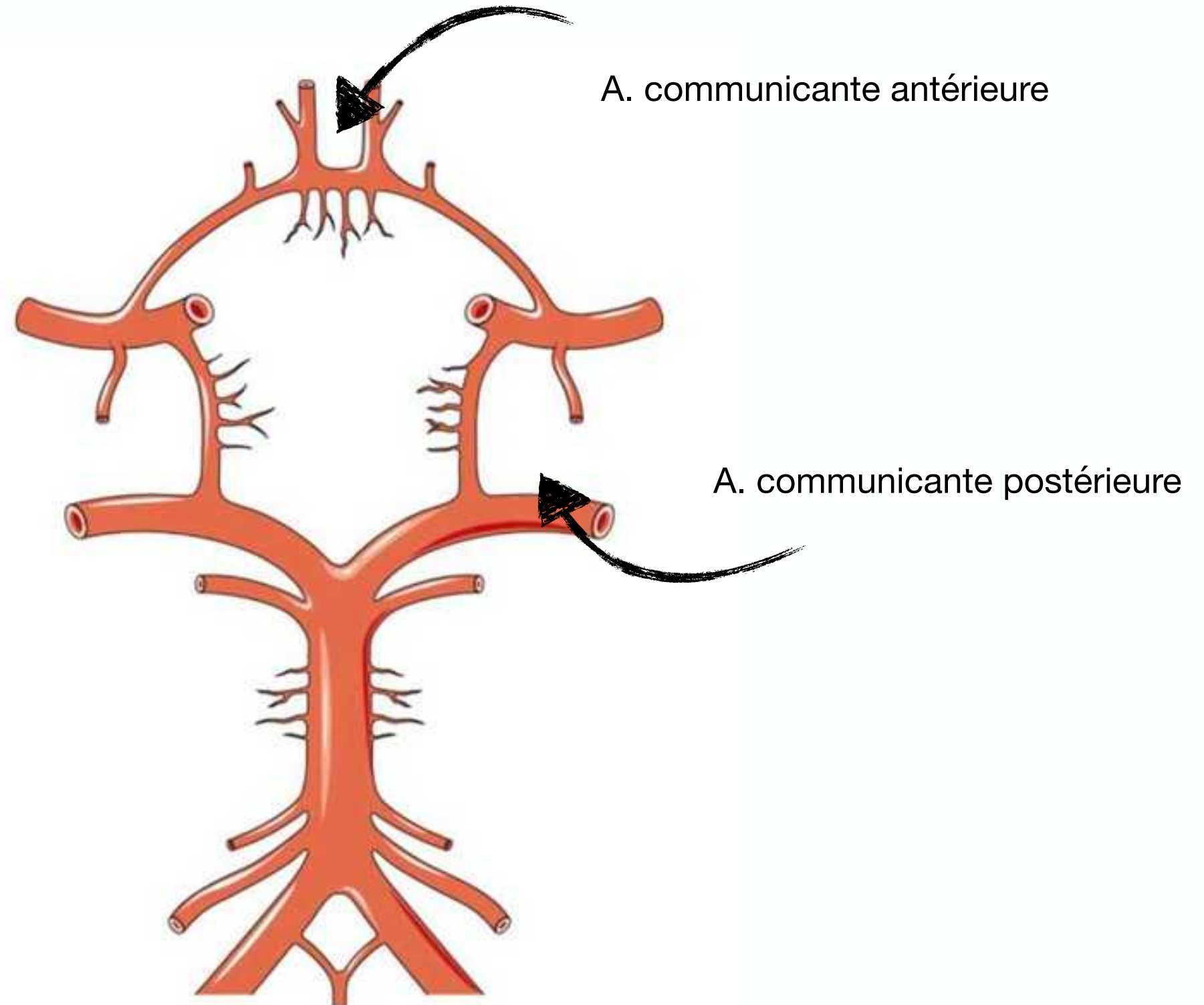


Vertébral

20%

Rappel d'anatomie

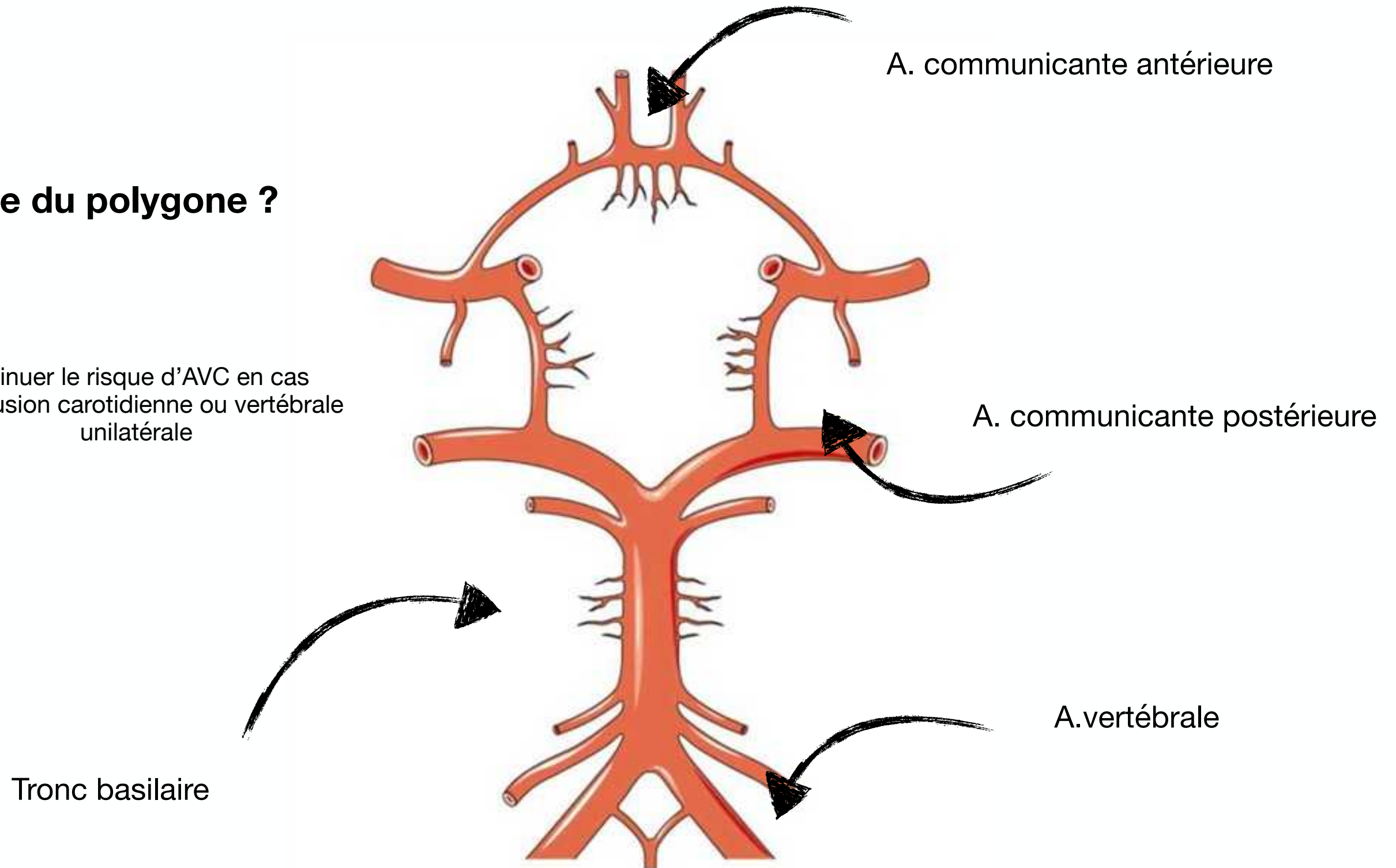
Rôle du polygone ?



Rappel d'anatomie

Rôle du polygone ?

Diminuer le risque d'AVC en cas
d'occlusion carotidienne ou vertébrale
unilatérale

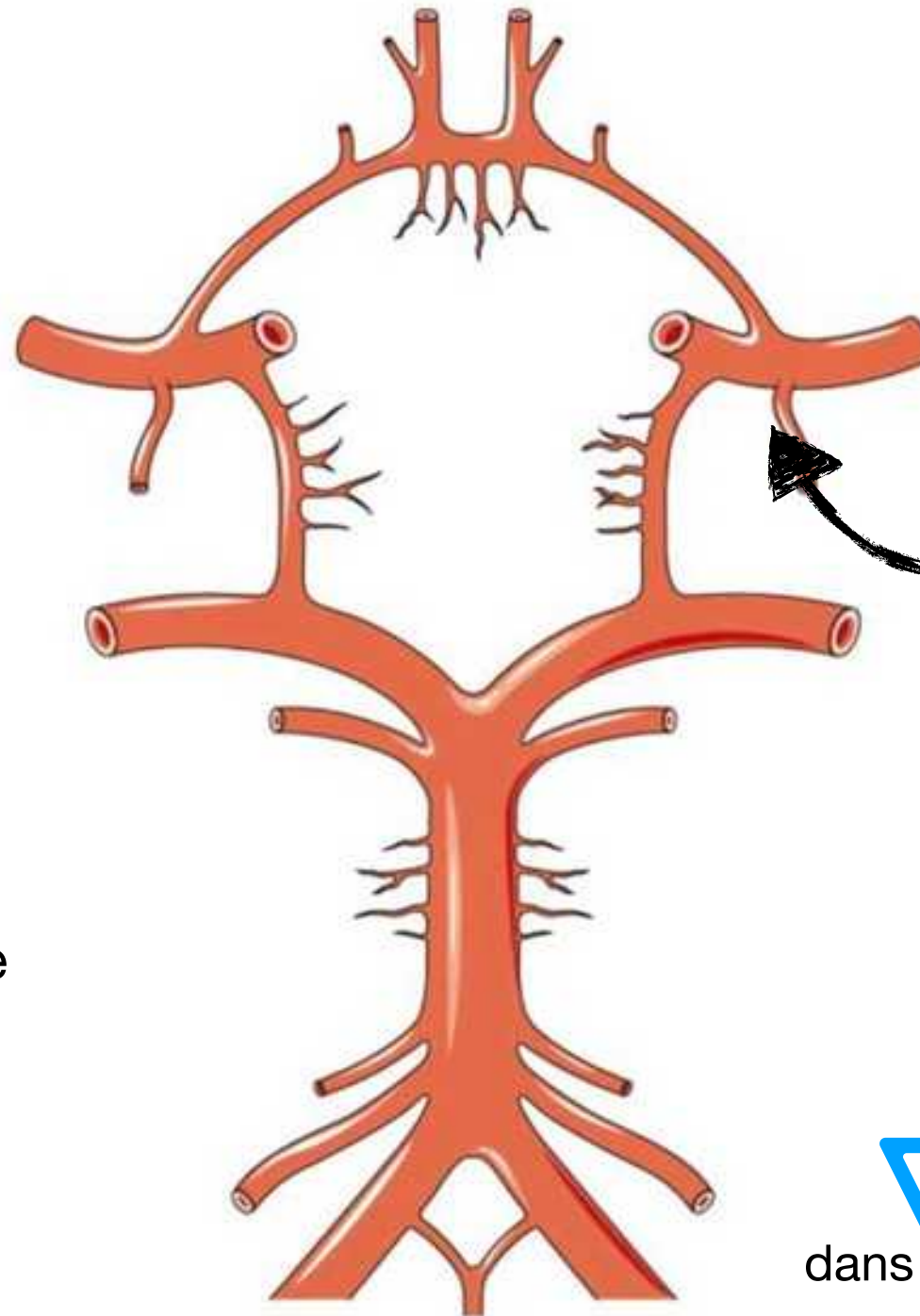


Rappel d'anatomie

Collatérales du Polygone
sont terminales



Au delà du polygone,
aucune suppléance vasculaire



A. Sylvienne

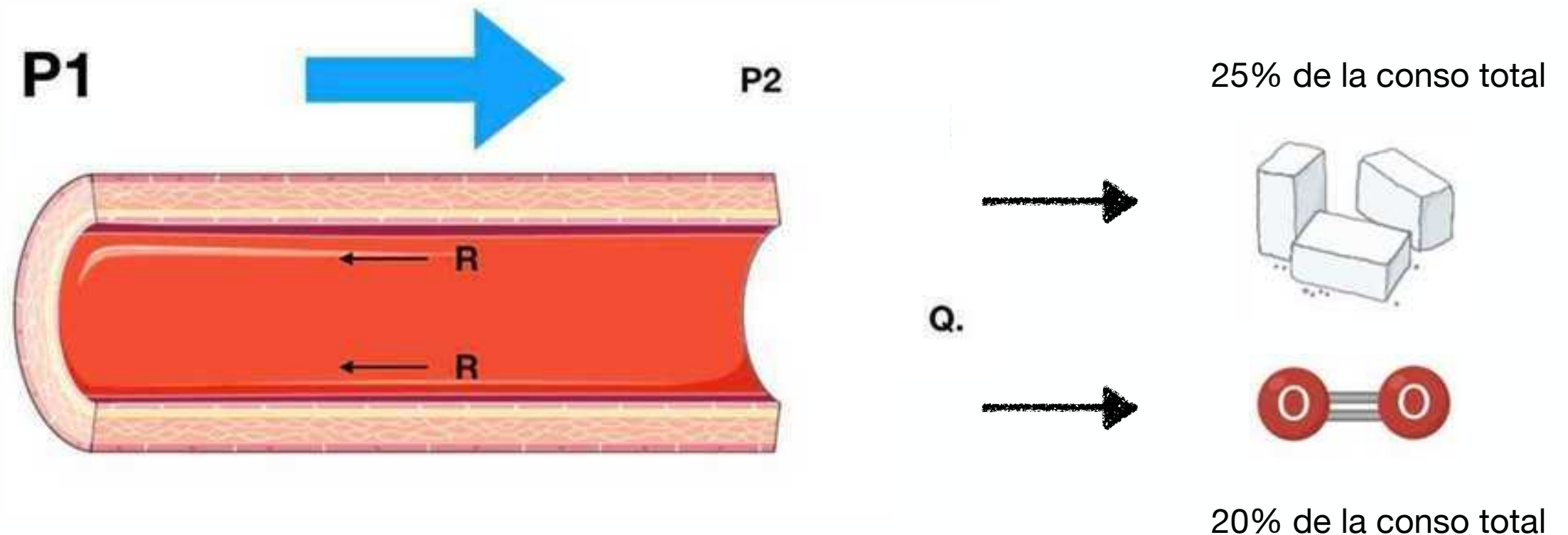
**70% du Débit
des ACI**



Fonctionnel et complet
dans 20-50% de la population générale

Débit sanguin cérébral

Définition



Loi d'Ohm



$$\text{DSC} = \Delta P / R_{VC\text{érébrale}}$$

DSC = 50-60 mL/min/100g parenchyme cérébral

Débit sanguin cérébral

Déterminants

PaCO₂

PaO₂

PPC

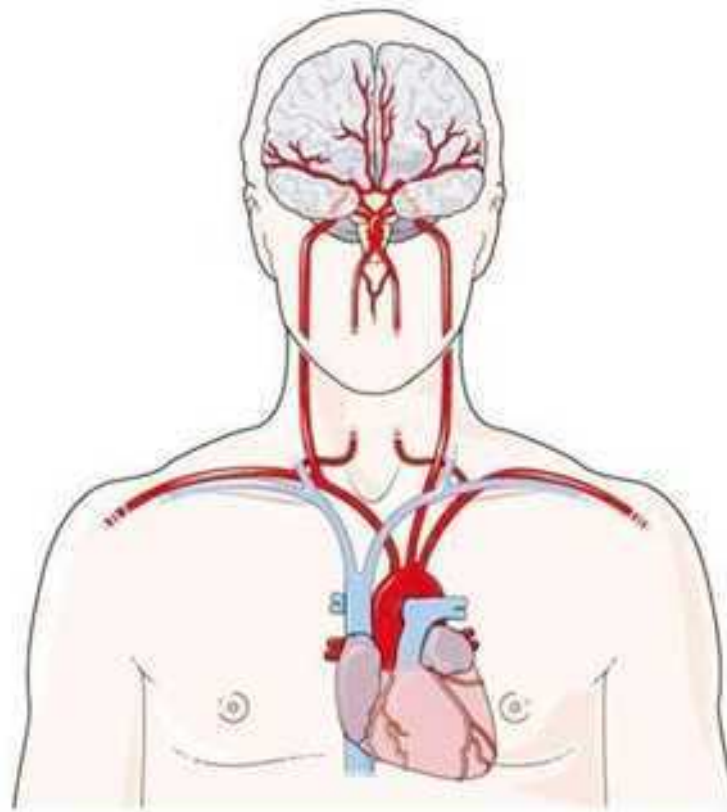
Couplage débit-métabolisme

Autorégulation cérébrale

Hématocrite

Résistances vx

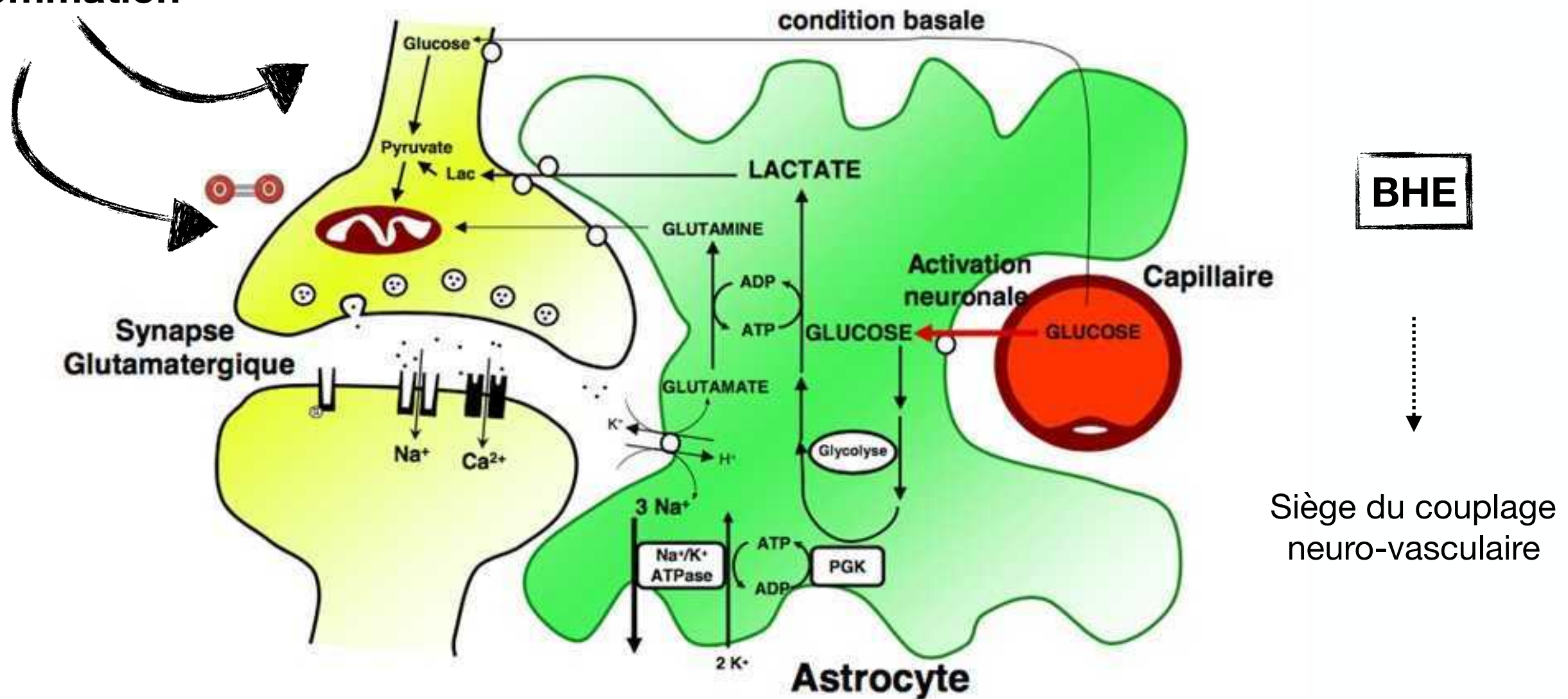
Température



Débit sanguin cérébral

Couplage débit-métabolisme

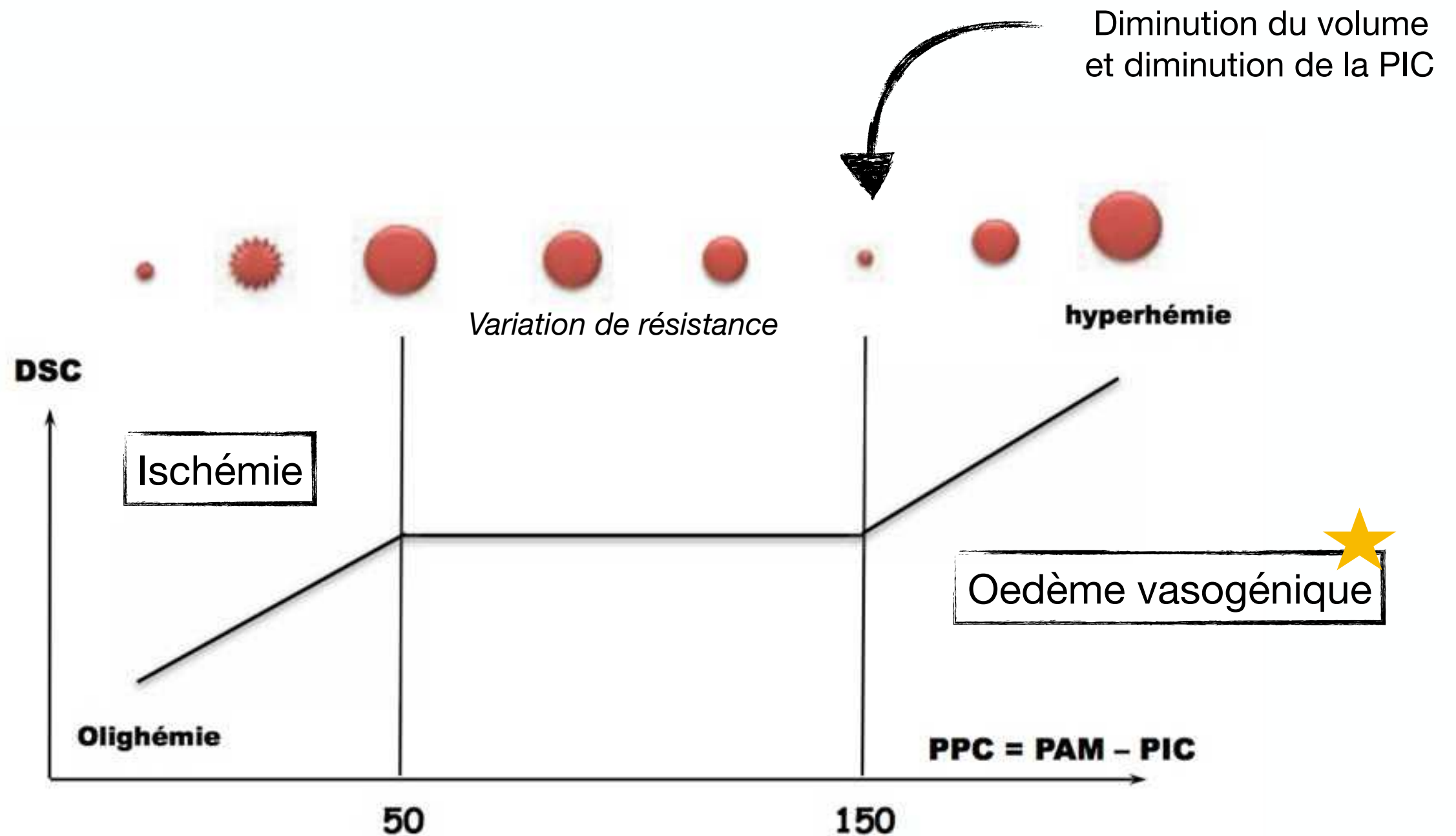
Métabolisme :
consommation



Quand le métabolisme (CMR02 ou CMRGlu) diminue, alors le DSC diminue

Débit sanguin cérébral

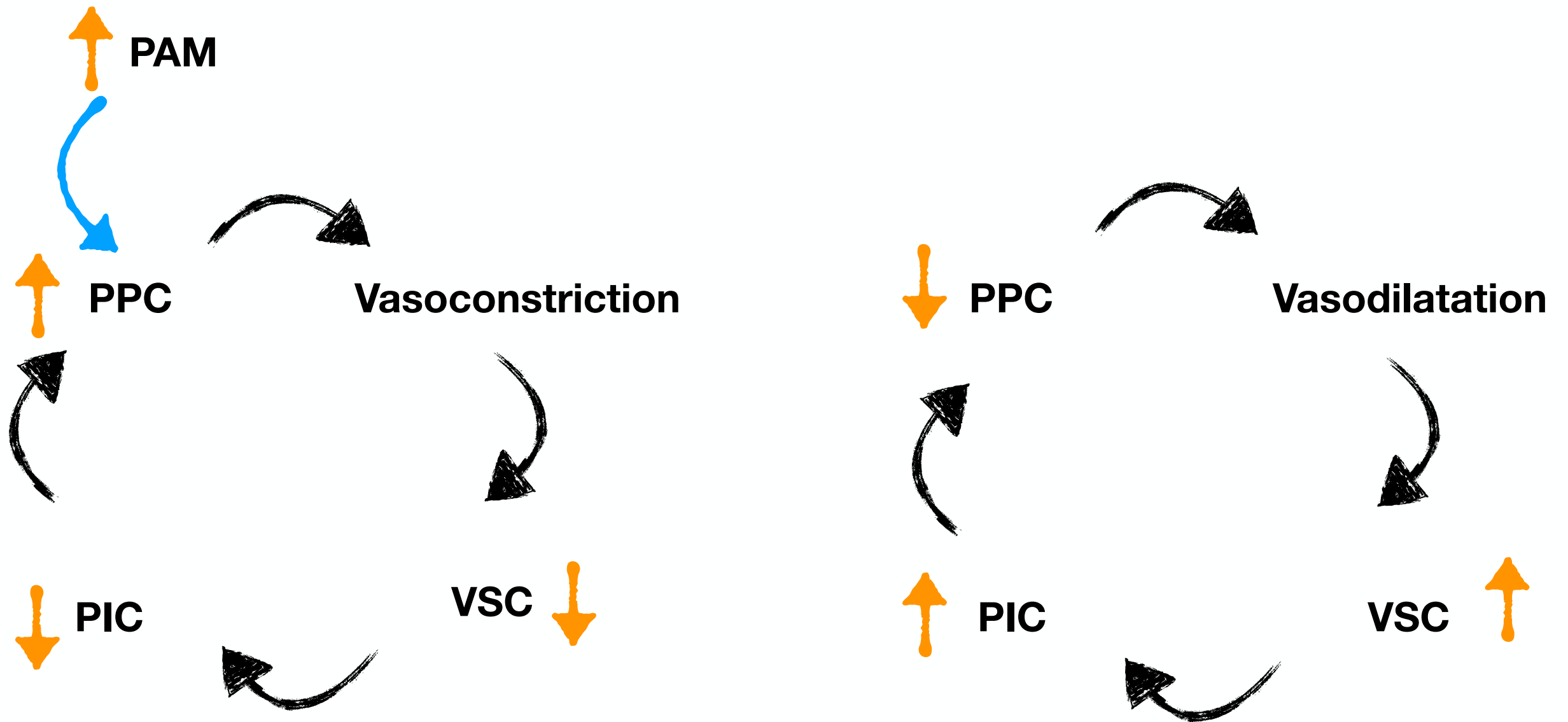
Autorégulation cérébrale



Doit se déterminer au lit du patient

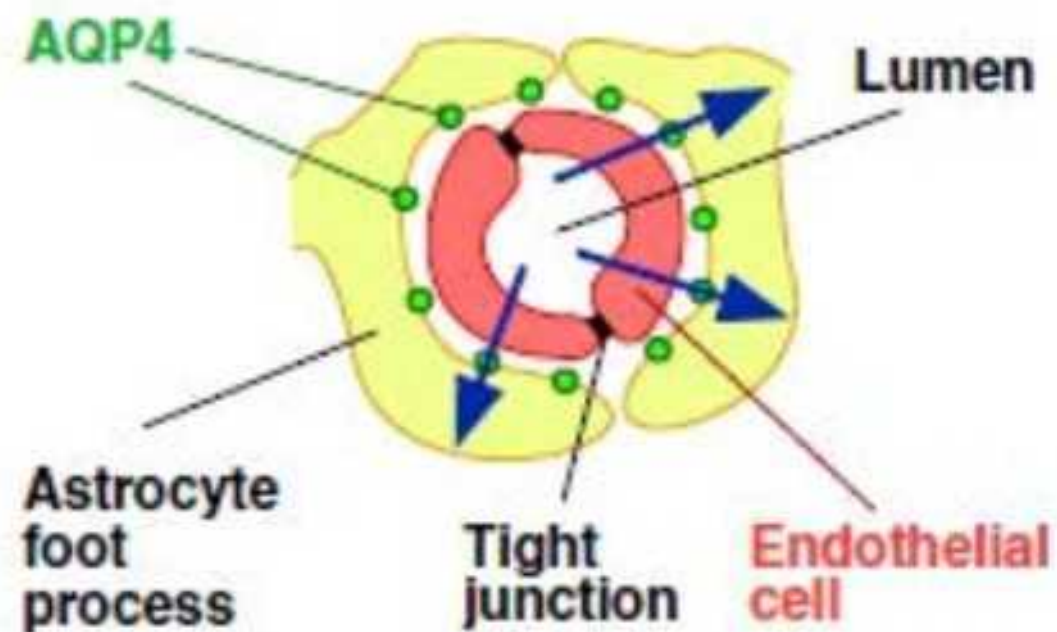
Relation débit/pression/volume

Cascade de Rosner

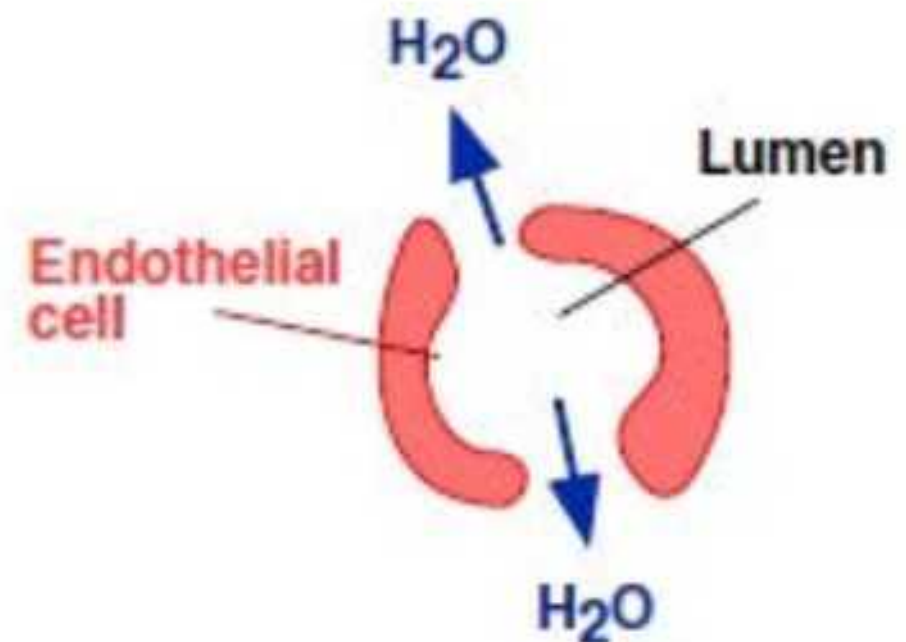


Oedème★

BHE intacte



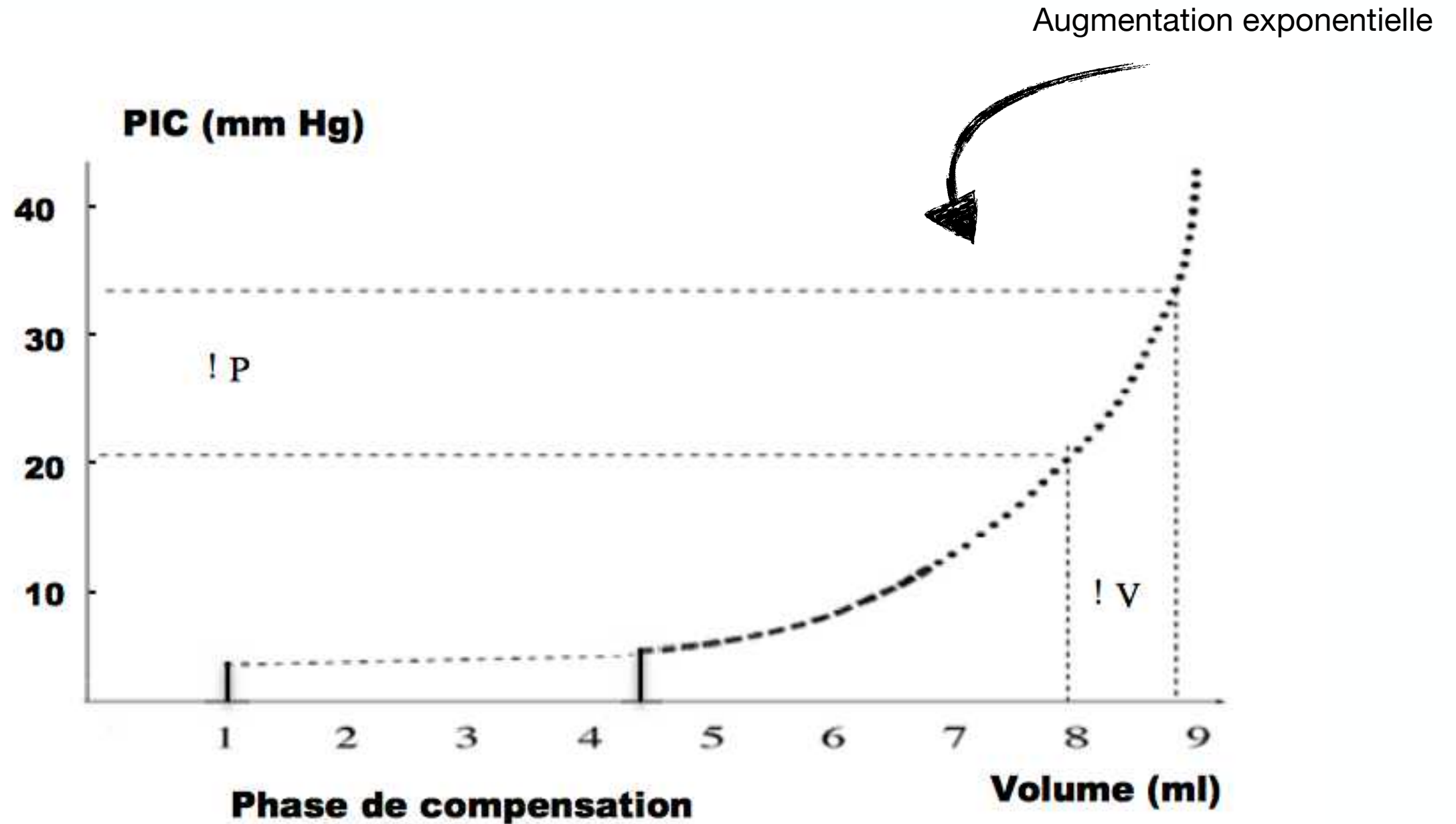
Cytotoxique



Vasogénique

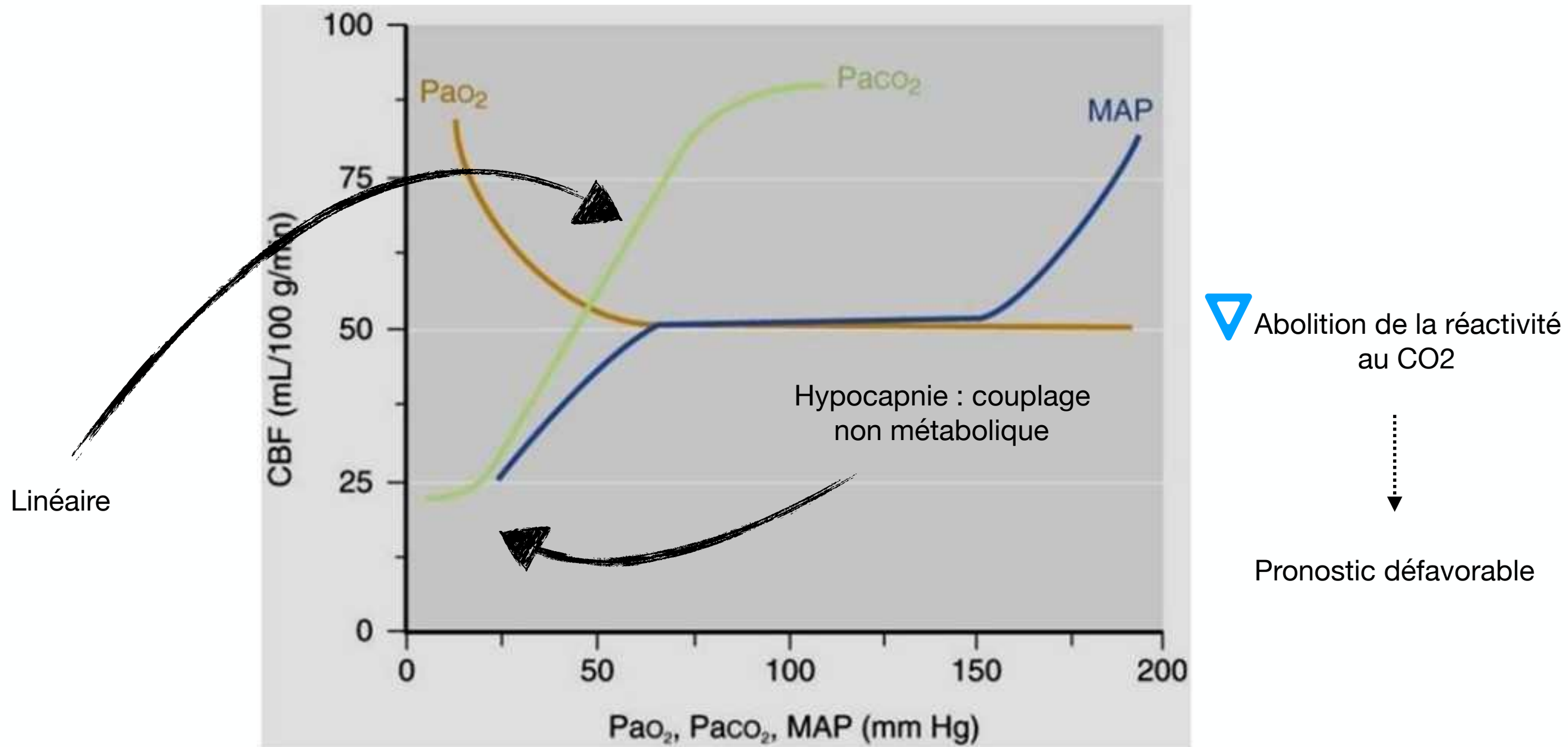
Conséquence de l'oedème★

Courbe de Langfitt



Débit sanguin cérébral

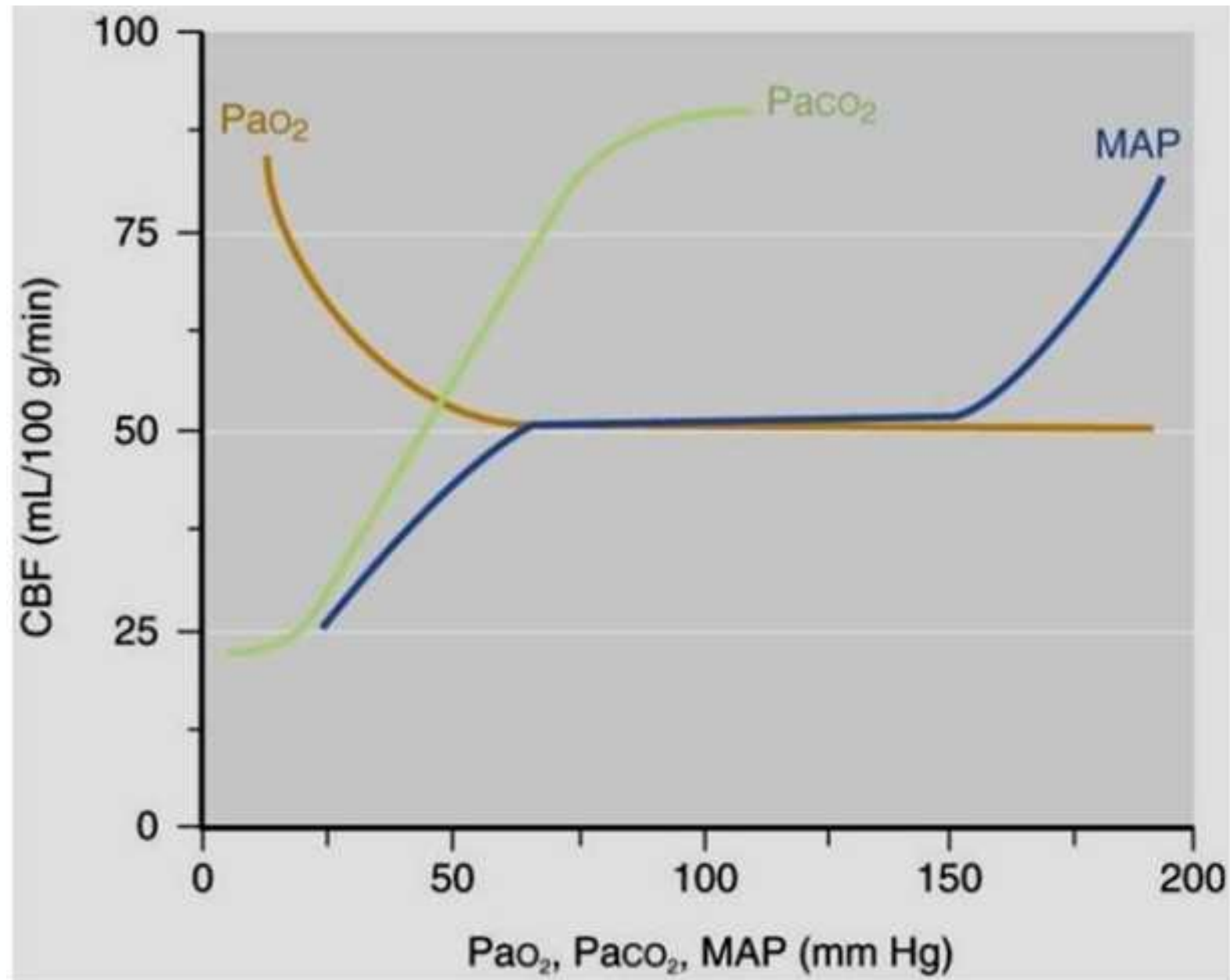
Vasoréactivité au CO₂



CO₂ raccourcit le plateau d'autorégulation

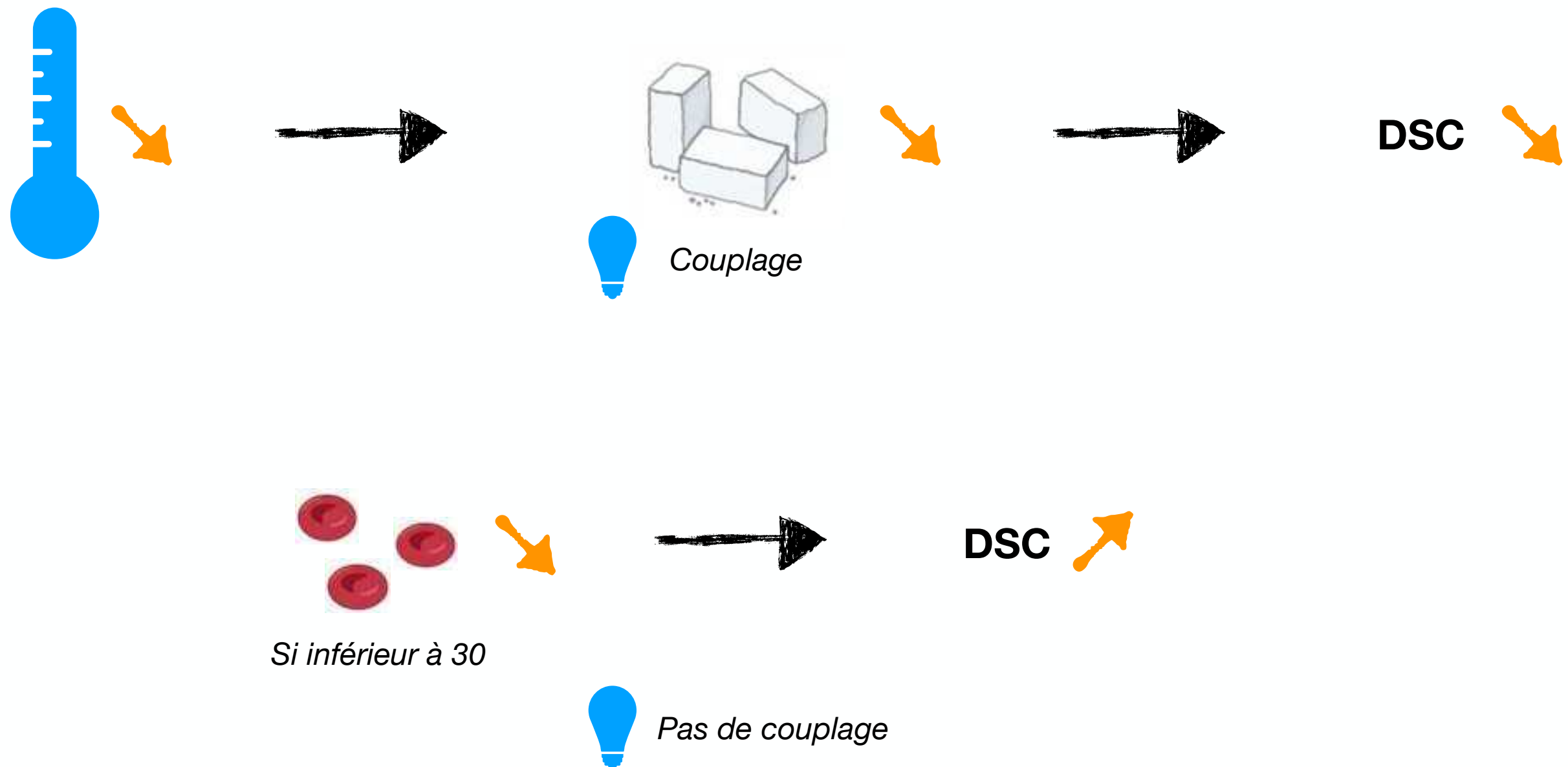
Débit sanguin cérébral

Rôle de la PaO₂



Débit sanguin cérébral

Rôle de la température - hématoците

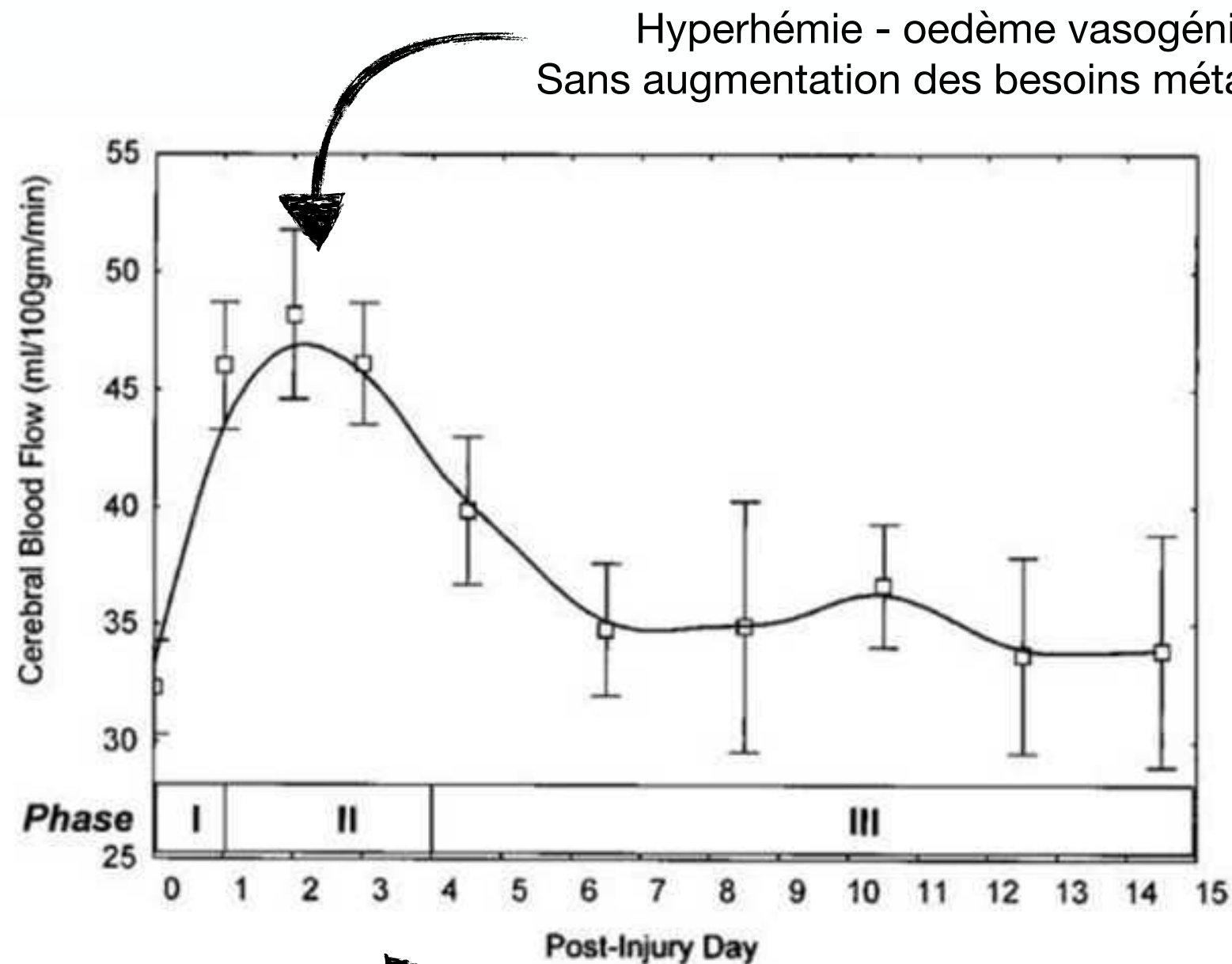


Si inférieur à 30

Pas de couplage

TC : seuil transfusionnel à 7g/dL

Débit sanguin cérébral au cours du TC

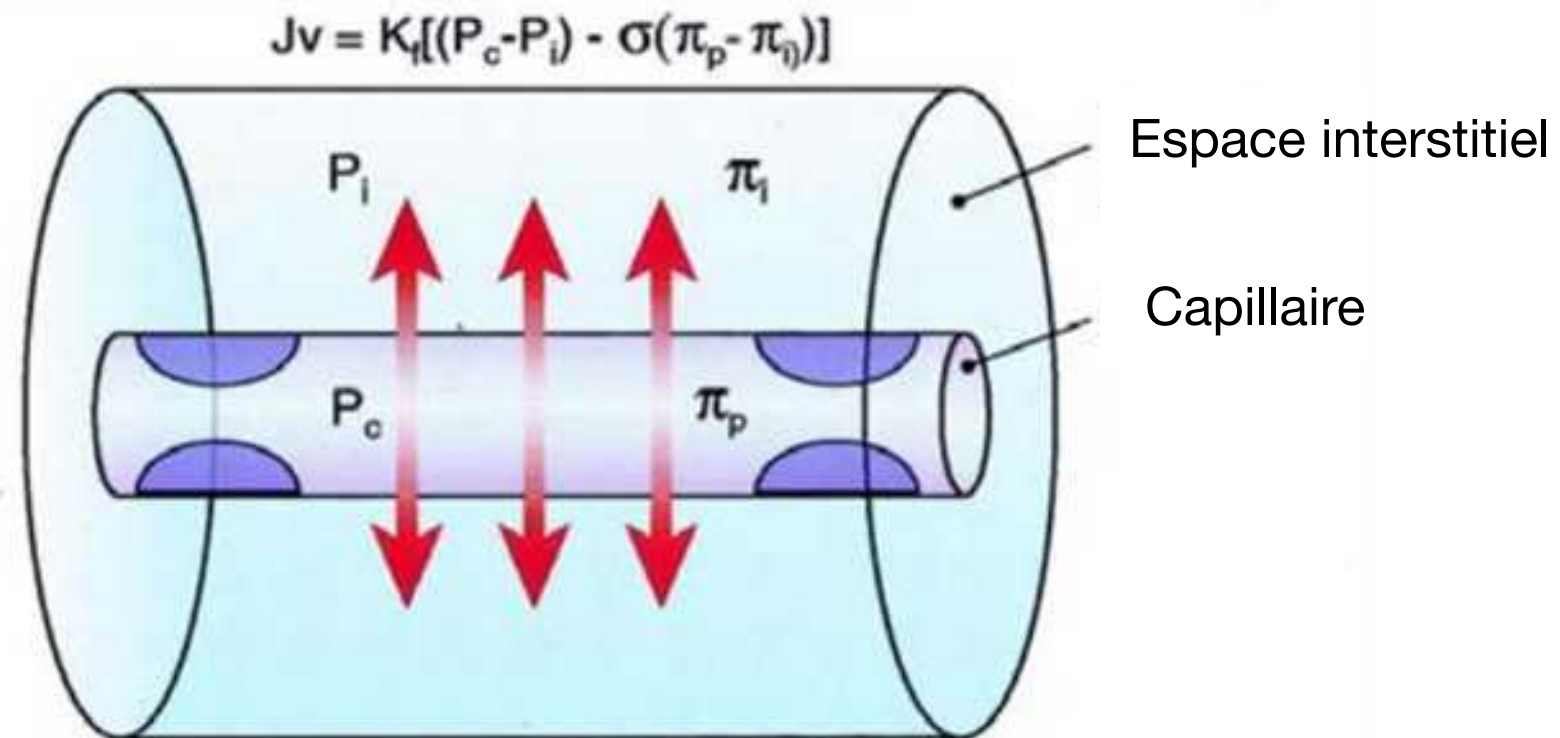


J3

Prévention de l'œdème post-TC

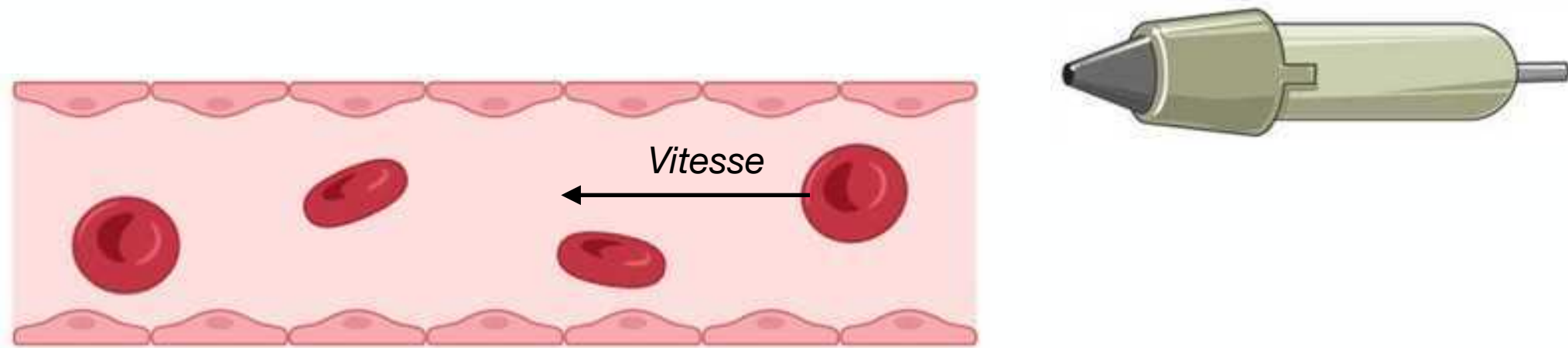
Concept de Lund

Rupture de la BHE
Perte de l'autorégulation



Remplissage déraisonnable est délétère pour le cerveau

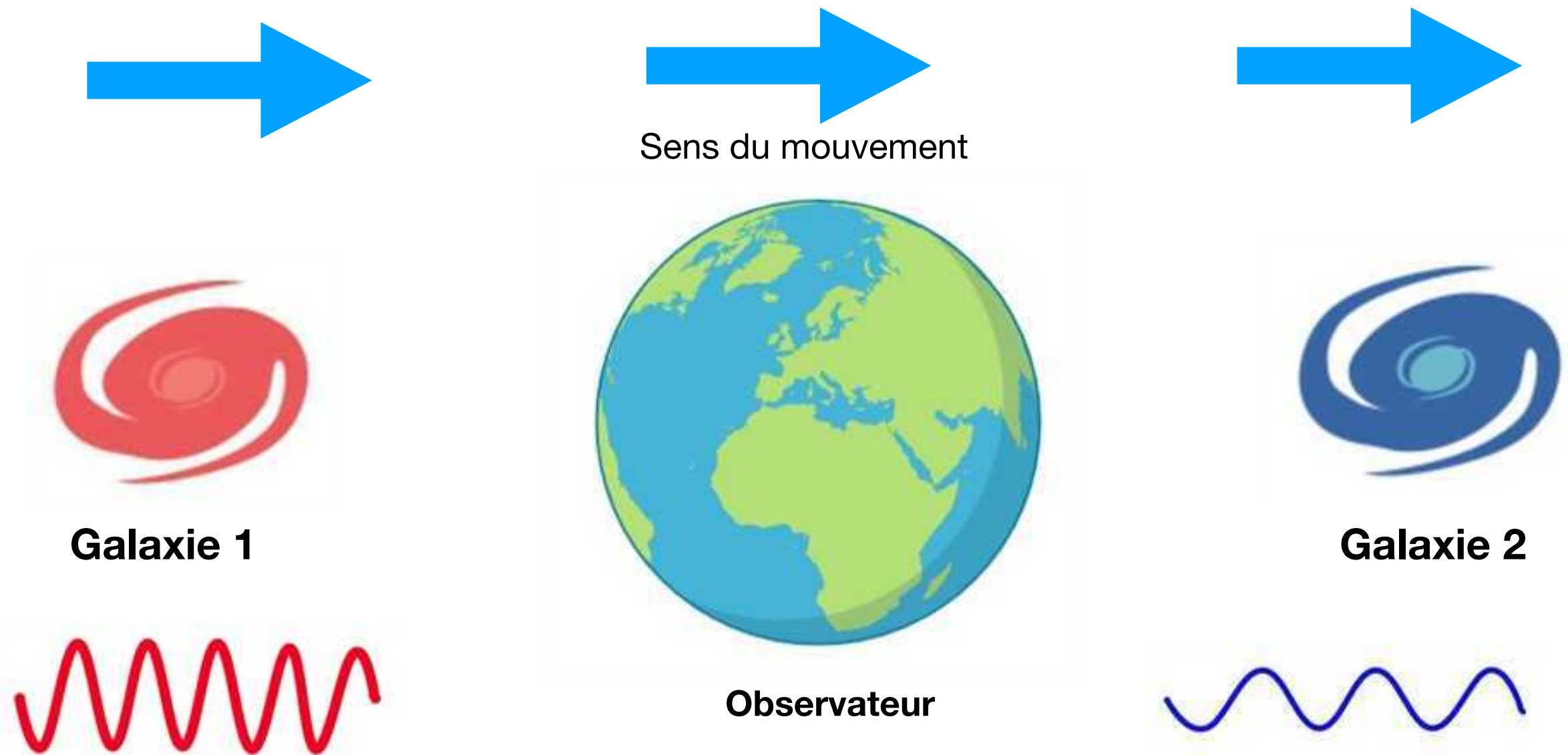
Apport du doppler trans-crânien dans le traumatisé crânien



➡ Indirectement le DSC

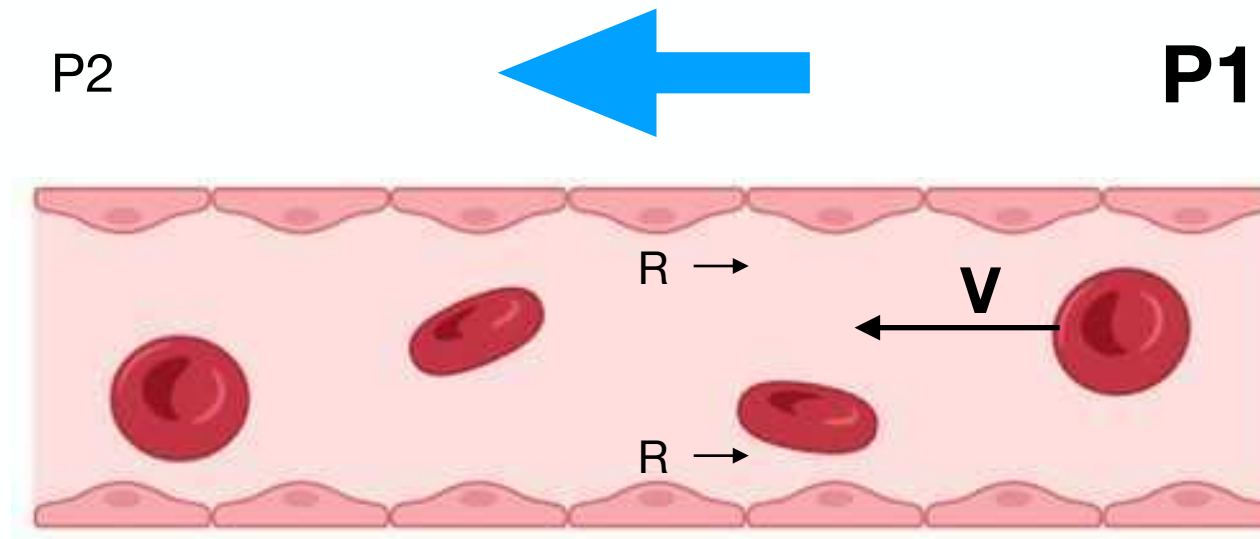
- ➡ Dans le TC, but d'identifier le bas débit cérébral
- ➡ Ou identifier le passage en EME
- ➡ Et au cours de la PEC, trouver la PPC optimale et réactivité hypercapnie

Principe de l'effet doppler - relativité restreinte



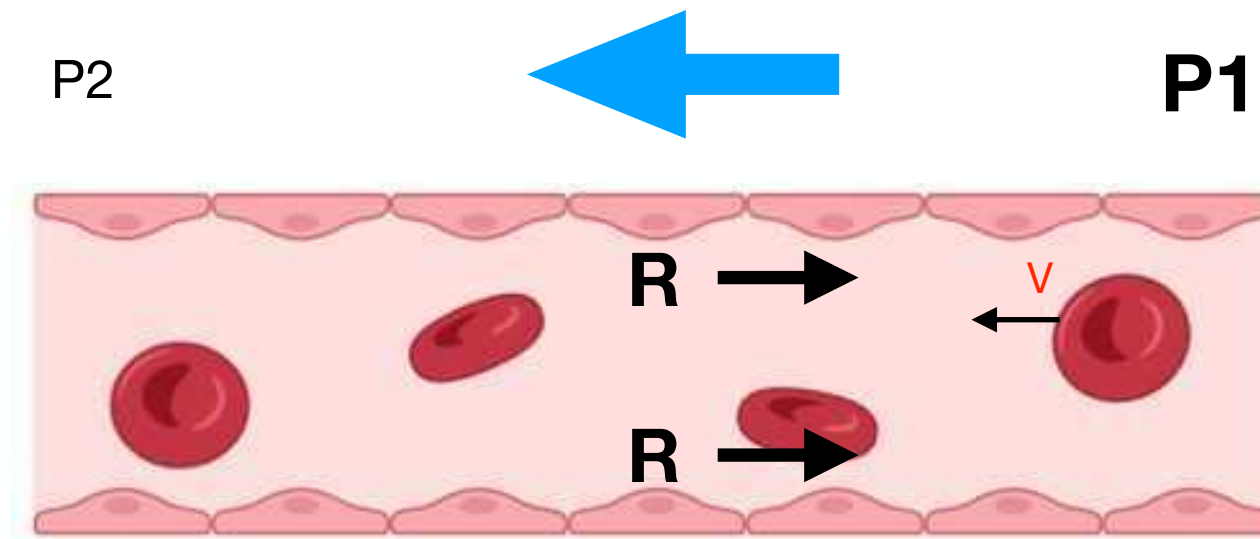
DTC et bas débit cérébral

Situation physiologique



$$\text{DSC} = \Delta P / \text{RVCérébrale}$$

Situation pathologique



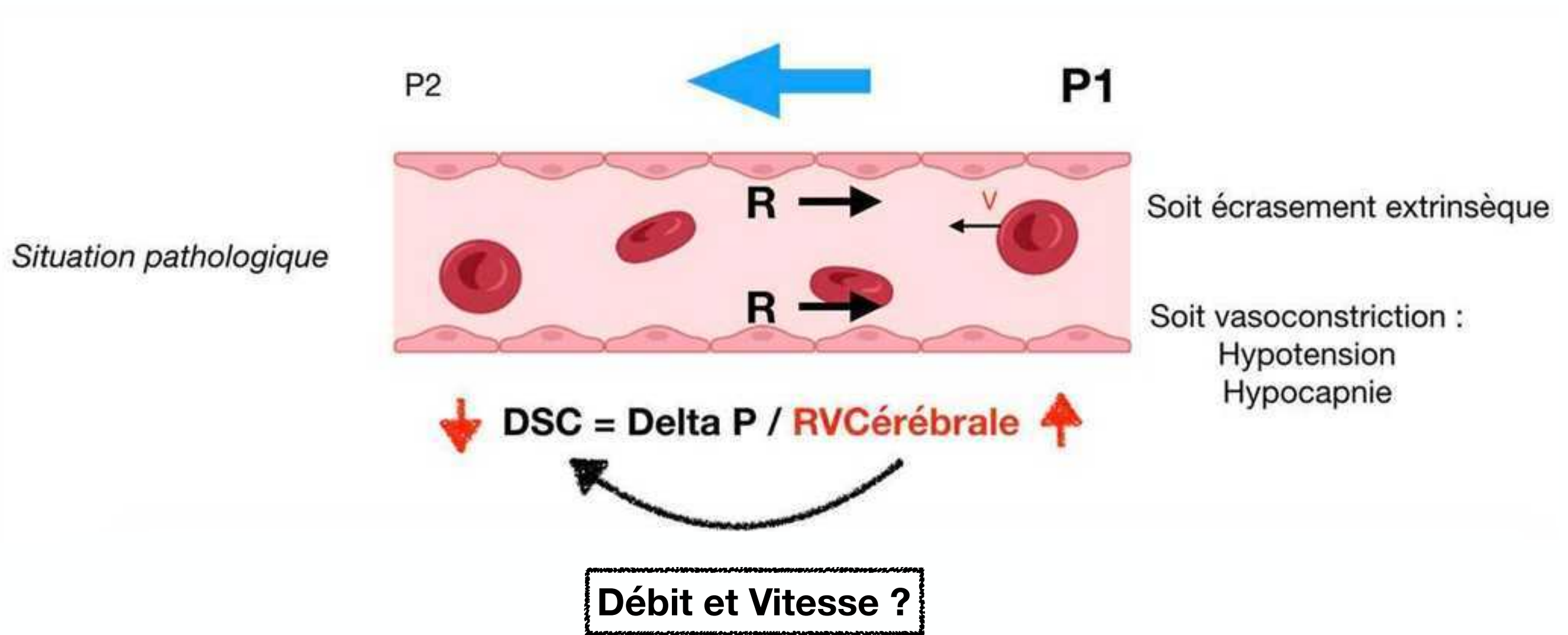
Soit écrasement extrinsèque

Soit vasoconstriction :
Hypotension
Hypocapnie

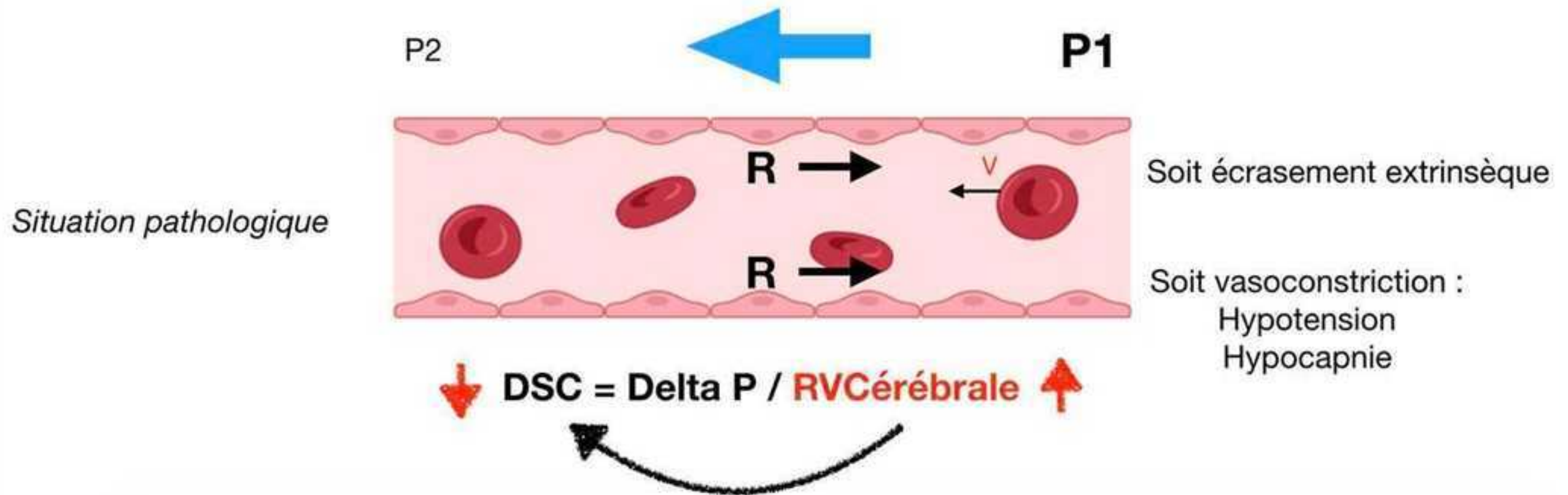
↓ $\text{DSC} = \Delta P / \text{RVCérébrale}$ ↑



DTC et bas débit cérébral



DTC et bas débit cérébral



Débit et Vitesse ?



Loi de Poiseuille

Dans un tube

$$v_{\max} = \frac{R^2}{4 \eta}$$

Rayon $\downarrow$

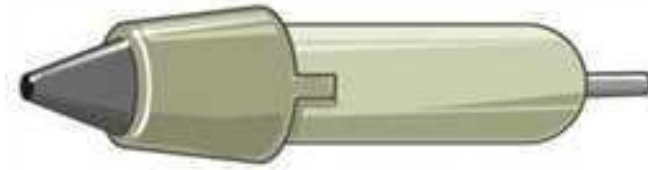
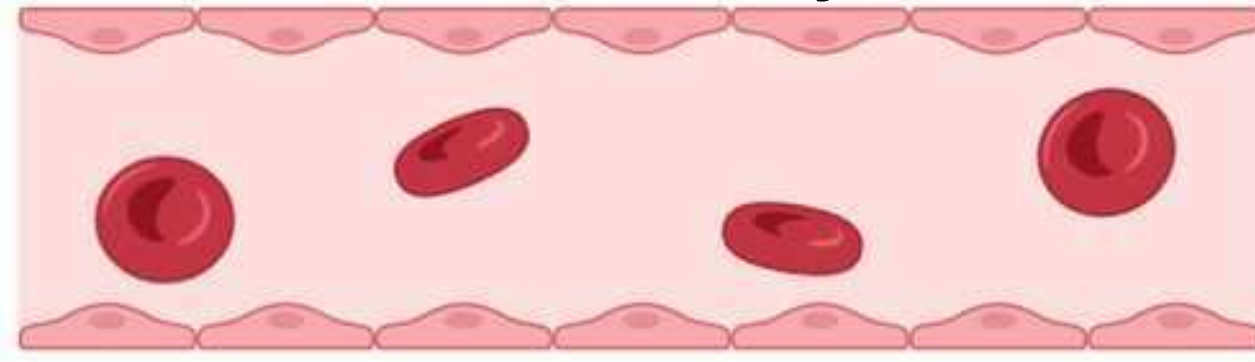
Viscosité

Ou plus simplement ; $Q = \text{Vitesse} \times \text{Surface de section}$

DTC et bas débit cérébral

Déchocage du traumatisé crânien en SSPI

A cérébrale moyenne



Angle d'insonation θ

0 à 1

$$V_{\text{mesurée}} = \cos \theta \times V_{\text{réelle}}$$

Angle proche de 0
Alors $\cos \theta = 1$

Vitesse systolique
Vitesse diastolique
Vitesse moyenne

Index de pulsativité

$$IP = \cancel{\cos \theta} \times (Vs - Vd) / \cancel{\cos \theta} \times Vm$$

Indépendant de l'angle d'insonation



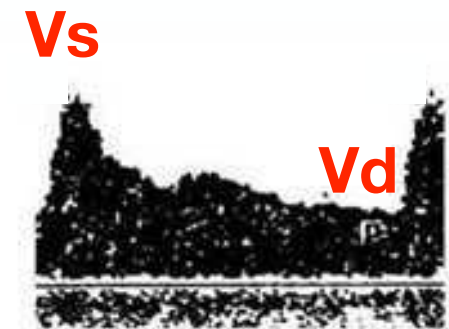
Jamais de sur-estimation
Uniquement des sous-estimations si angle ouvert

DTC et bas débit cérébral

Résultats

Mesurées

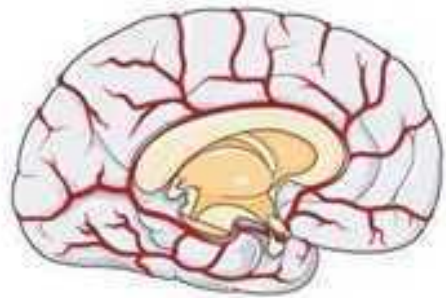
Vitesse systolique
Vitesse diastolique
Vitesse moyenne → **ASC**



Calculée

Index de pulsativité
Index de résistivité → *Quantification sténose artérielle*
Peu utile

Interprétation des résultats

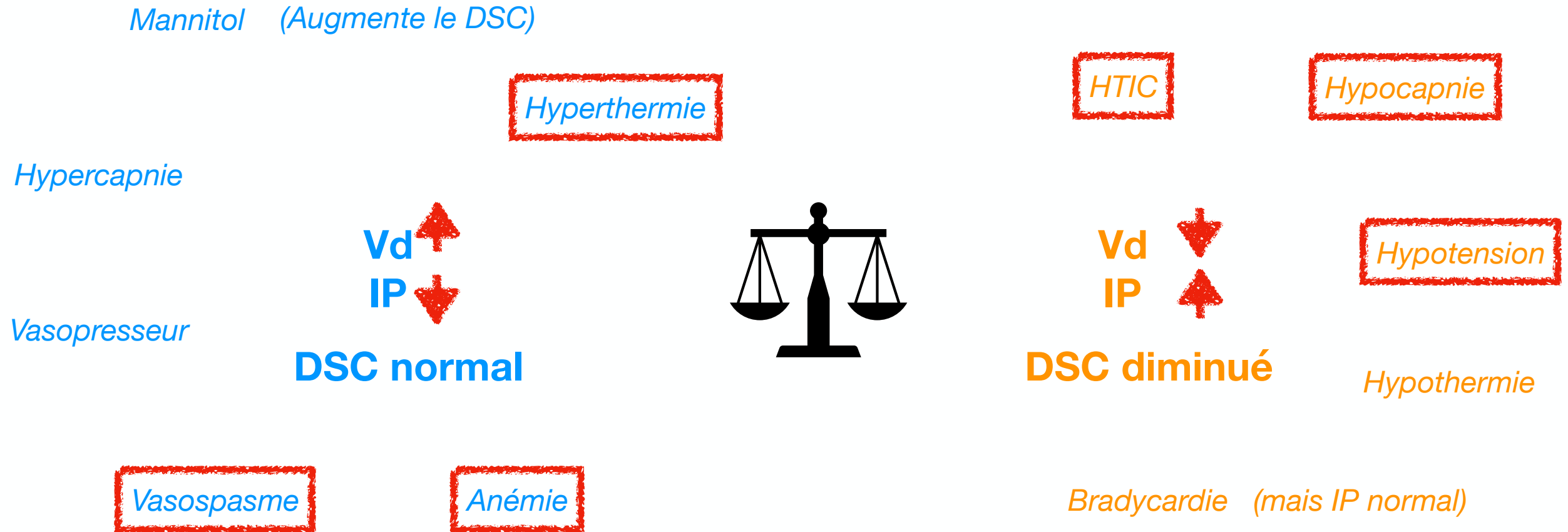


→ Résistance basse → Donc si la PIC ↑ → **Vd ↓ <20cm/sec**

Perfusé en systole et en diastole

+ Index de pulsativité > 1,4

DTC et limite de l'interprétation

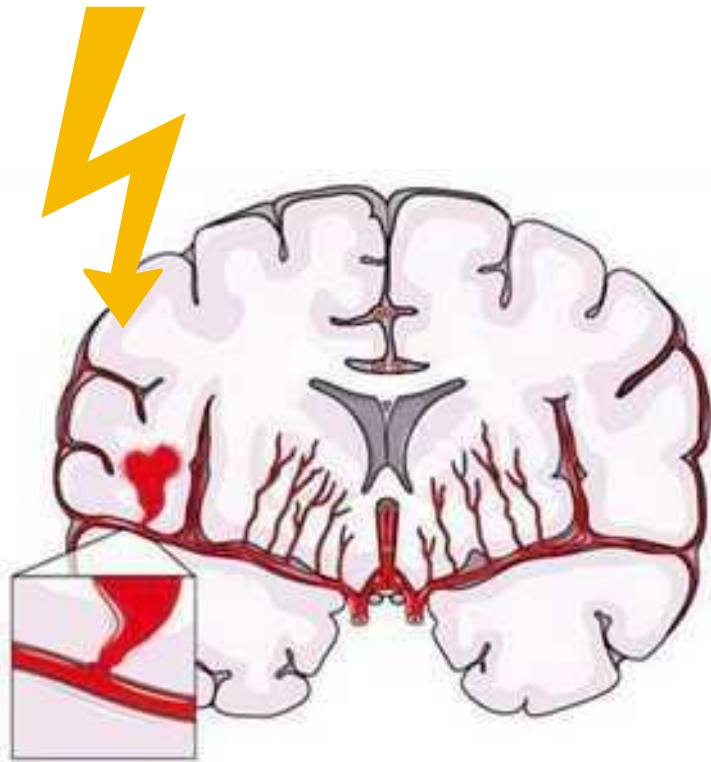


Valeurs à prendre en compte sur la feuille des DTC

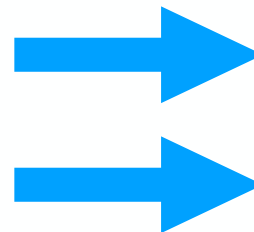
Situation à haut risque de déséquilibre entre apports et métabolisme

D'où l'intérêt d'un monitoring multimodal

DTC et vasospasme

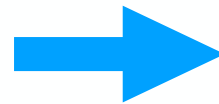
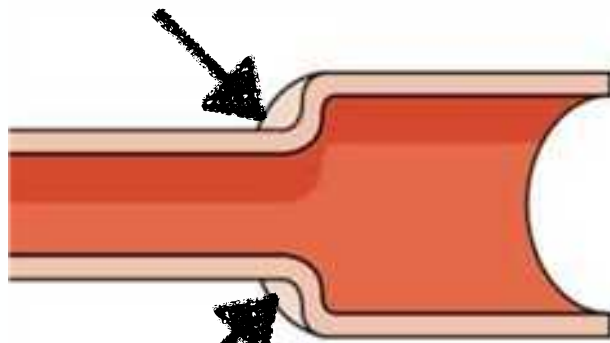


Vasospasme sur HSA traumatique : 1% des traumatisés crâniens



Évènement rare

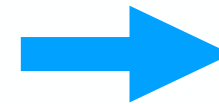
Mais fausse l'interprétation des DTC



Au DTC

Vd
Vs
Vm

IP n



Aval : risque de bas débit

↑ Vitesse = Débit / Surface de section ↓

>120 cm/sec

À J3, hyperhémie du TC★

Au DTC

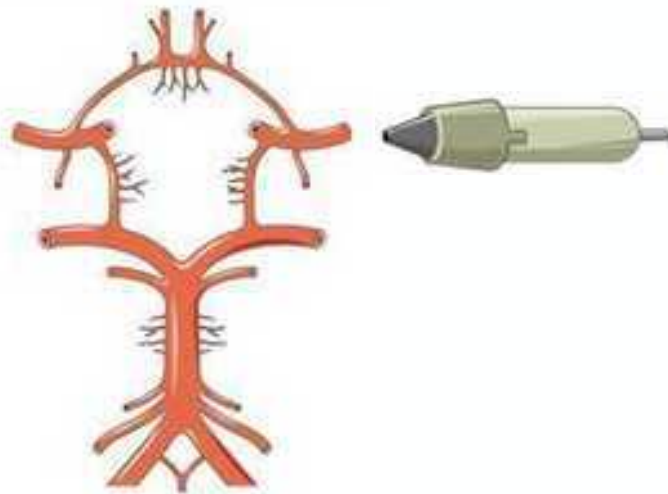
Vd ↑
Vs ↑
Vm ↑

IP n

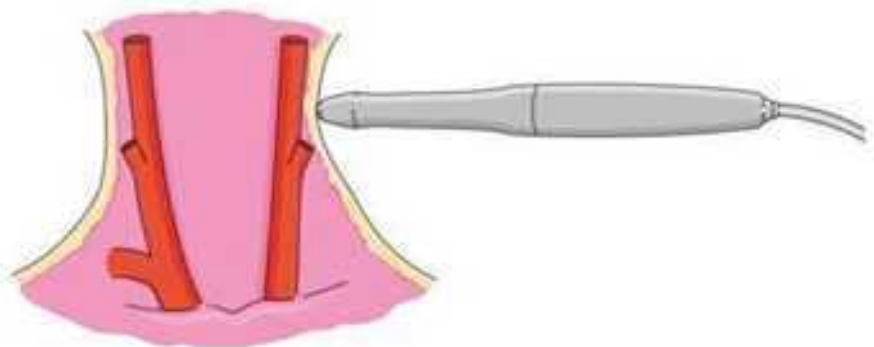


Vasospasme

Indice de Lindegaard



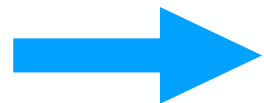
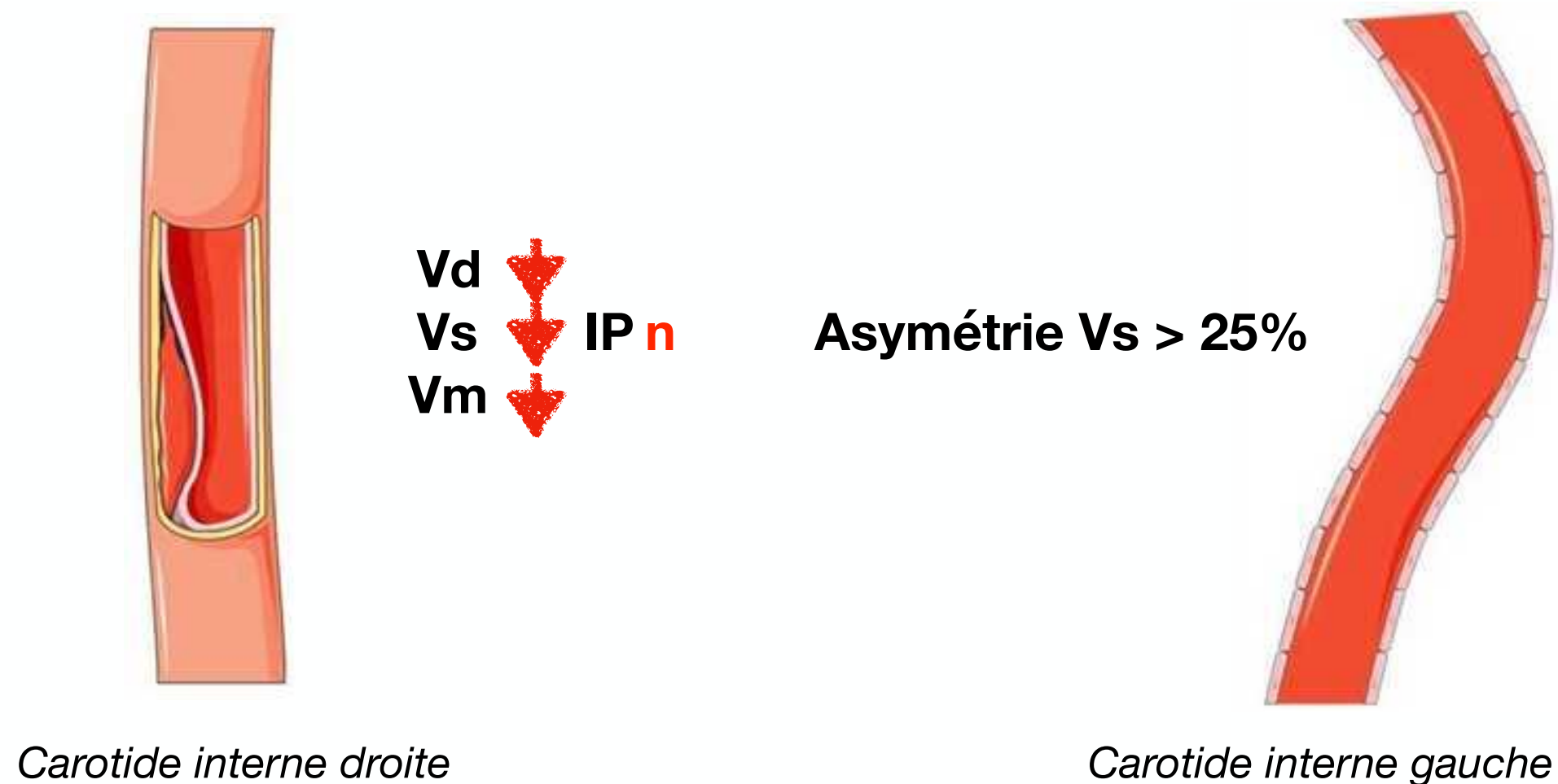
> 3 : Vasospasme



< 3 : Hyperhémie

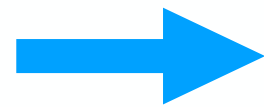
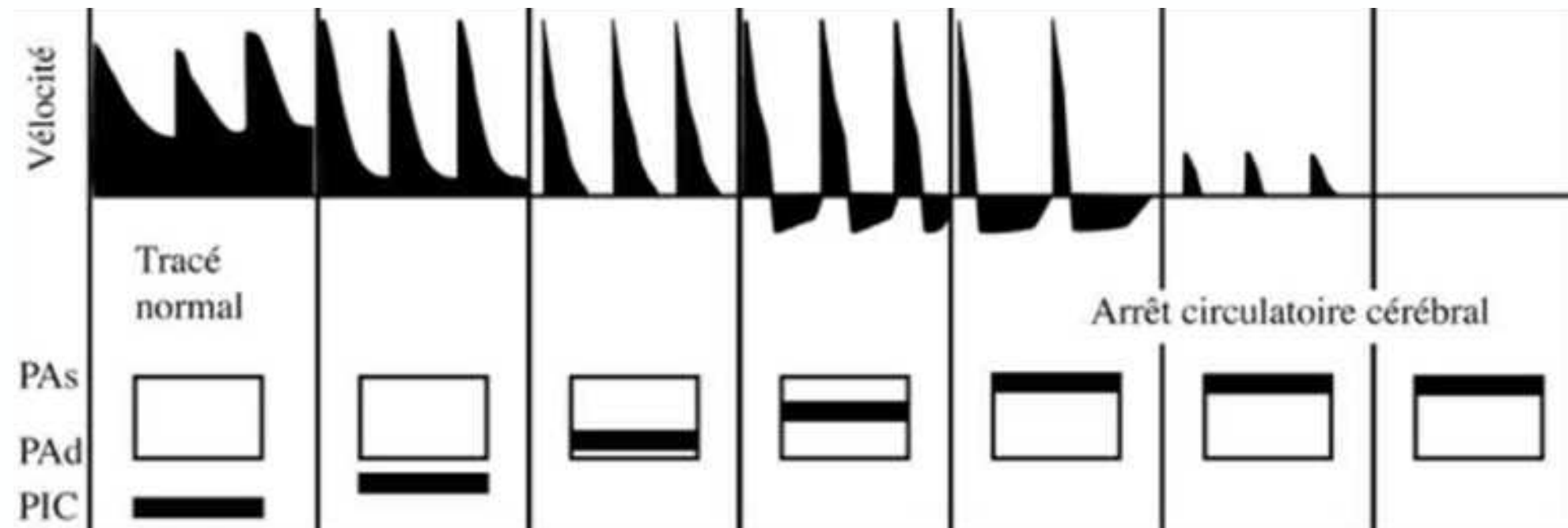
DTC et dissection carotidienne

DTC sur le flux en aval



Suspicion de dissection ; gold standard : AngioTDM

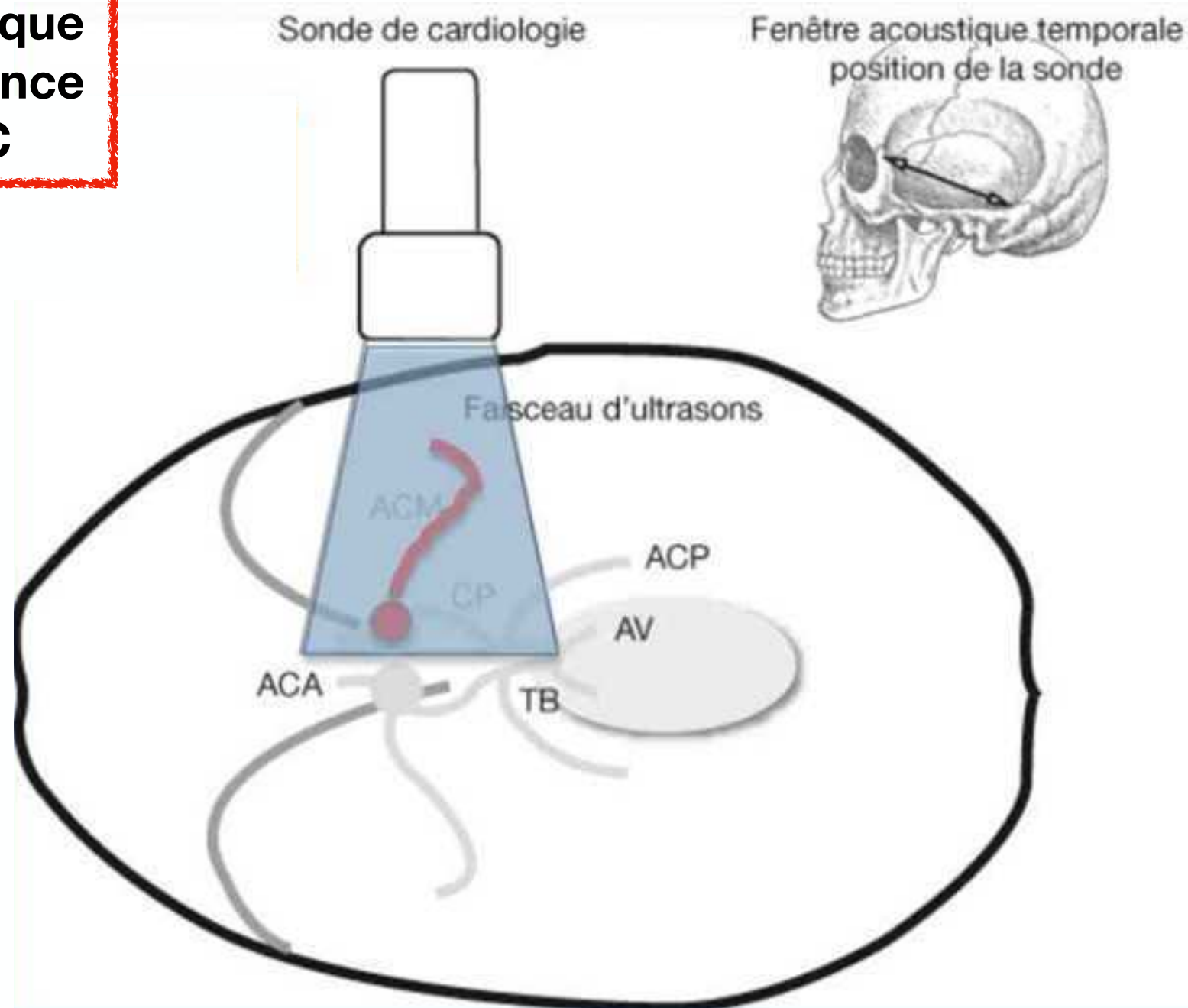
DTC et EME



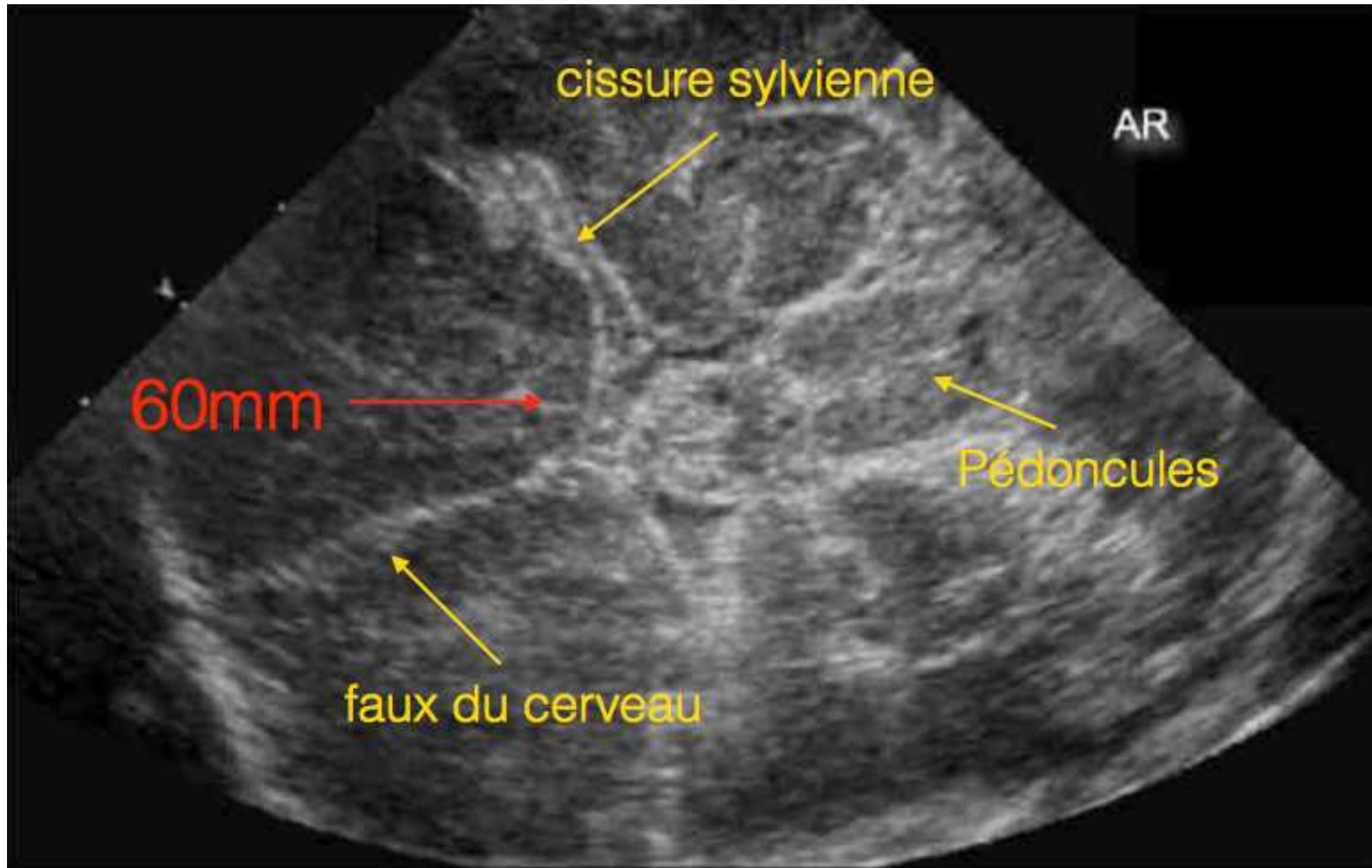
Aide au timing

En pratique,

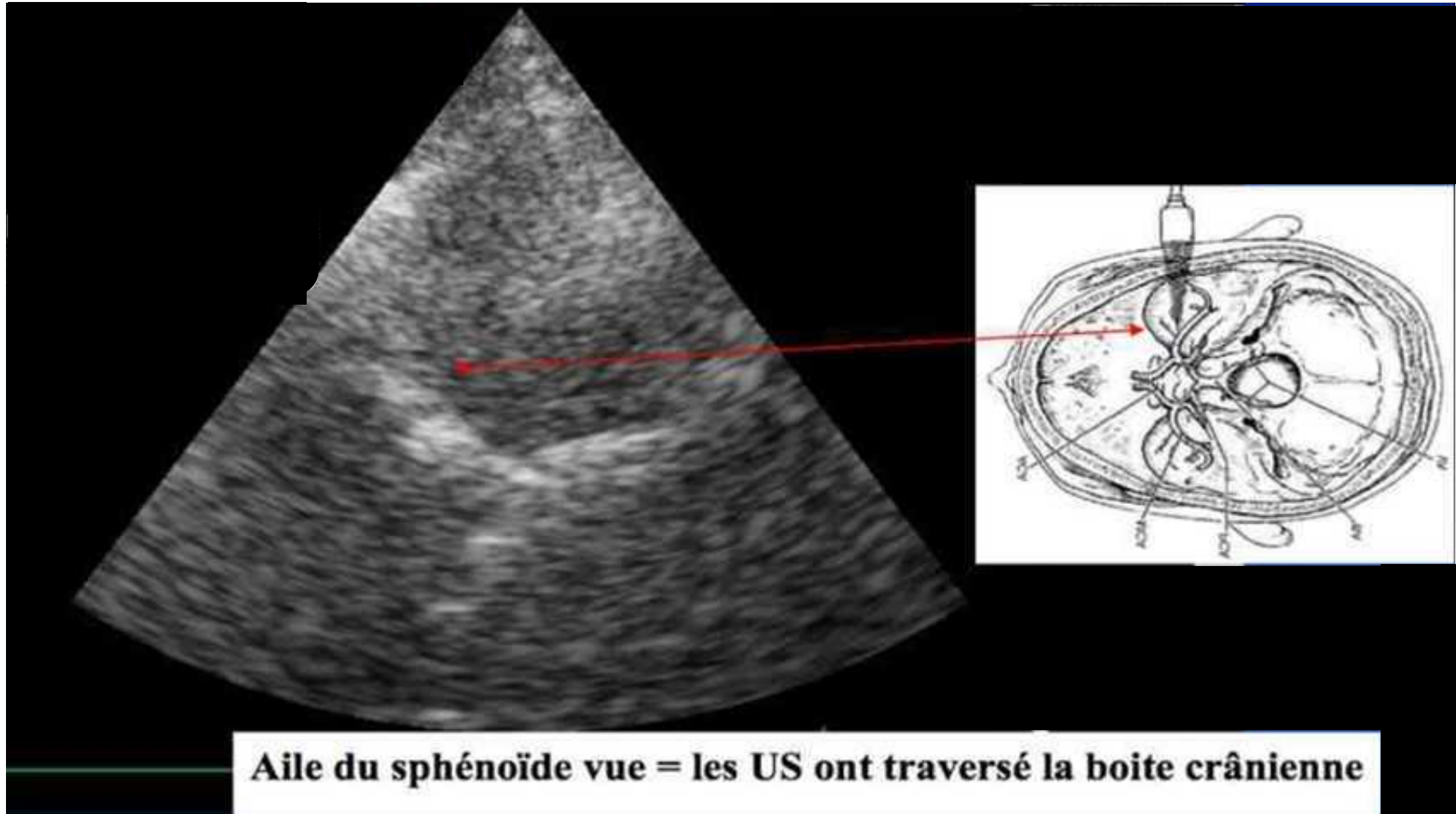
**Sonde cardiaque
Basse fréquence
Mode DTC**



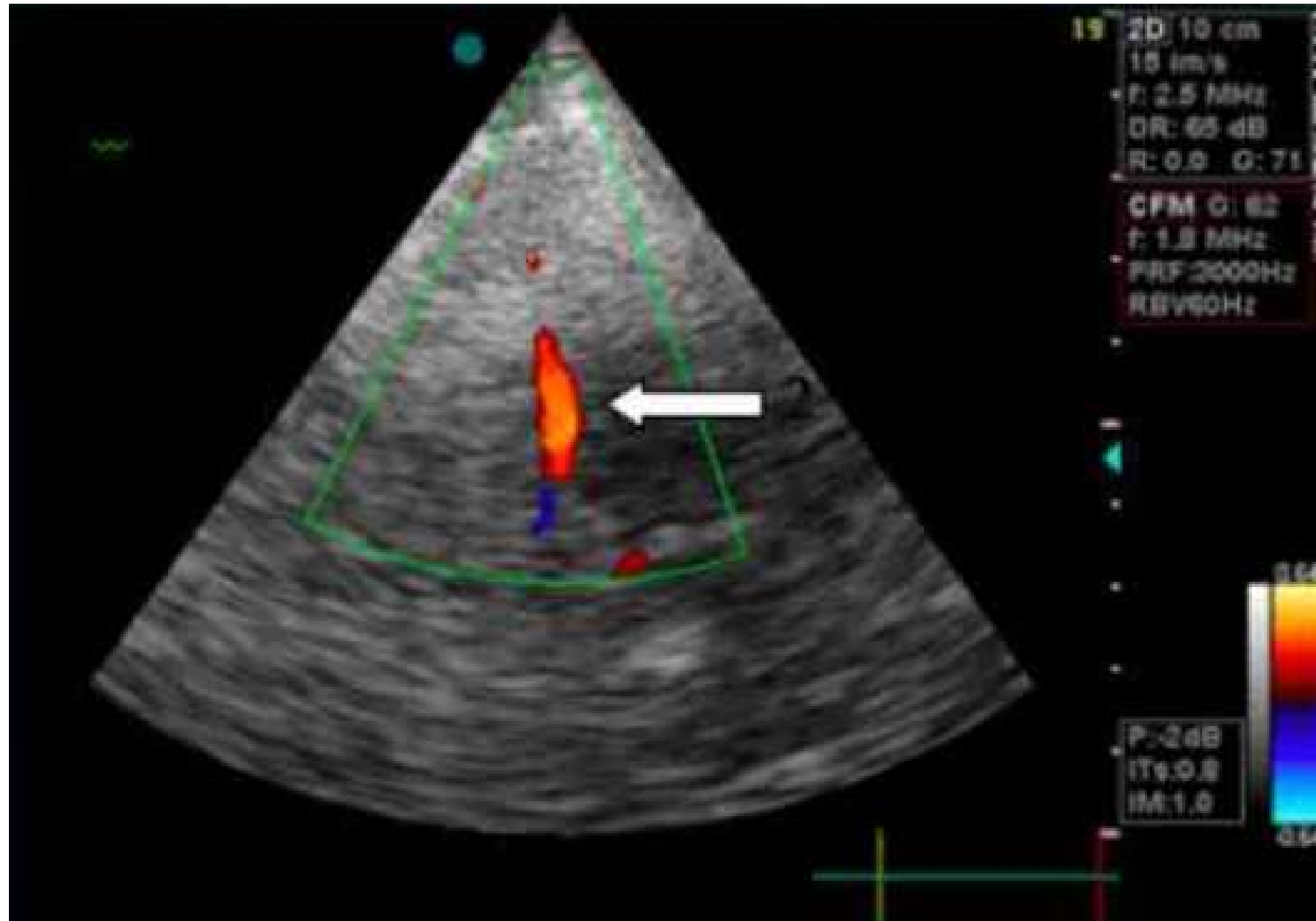
En pratique,



En pratique,



En pratique,



Prise en charge initiale du traumatisé crânien sévère Cas interactif

Présentation au SAMU 78

Dr BERNARD Charles

Réanimation chirurgicale- accueil des patients traumatisés

Hôpital Beaujon, APHP Nord Université de Paris, Clichy



Cas clinique

- Patient de 28 ans
- AVP trottinette vs VL, 50 km/h
- A l'arrivée du SMUR
- PA 165/82 Fc 132/min SpO2 99% en air ambiant, T° 36,2, Hémocue 12,3g/dL, Glycémie capillaire 7,8 mmol/L
- CGS 5 (Y1V1M3) pupilles anisocores G > Dt. Plaie hémorragique du scalp
- Bruits du cœur réguliers, sans souffle audible. Pas de signe d'hypoperfusion périphérique.
- Murmure vésiculaire symétrique et bilatéral et pas d'anomalie de l'ampliation thoracique.
- Bassin stable à la palpation.

Cas clinique

- Bilan lésionnel pré hospitalier ?

Cas clinique

- Quel grade ?

Grade



ABC GRADING SYSTEM FOR MAJOR TRAUMA VICTIMS (GITE CRITERIA)

GRADE A

UNSTABLE DESPITE RESUSCITATION

- Sustained hypoxemia ($SpO_2 < 93\%$) despite resuscitation
- Sustained arterial hypotension ($SBP < 100$ mmHg) despite resuscitation
- Use of vasopressors
- Severe traumatic brain injury ($GCS \leq 8$ or Glasgow motor response ≤ 5)

GRADE B

STABILIZED AFTER RESUSCITATION OR ANATOMIC CRITERIA

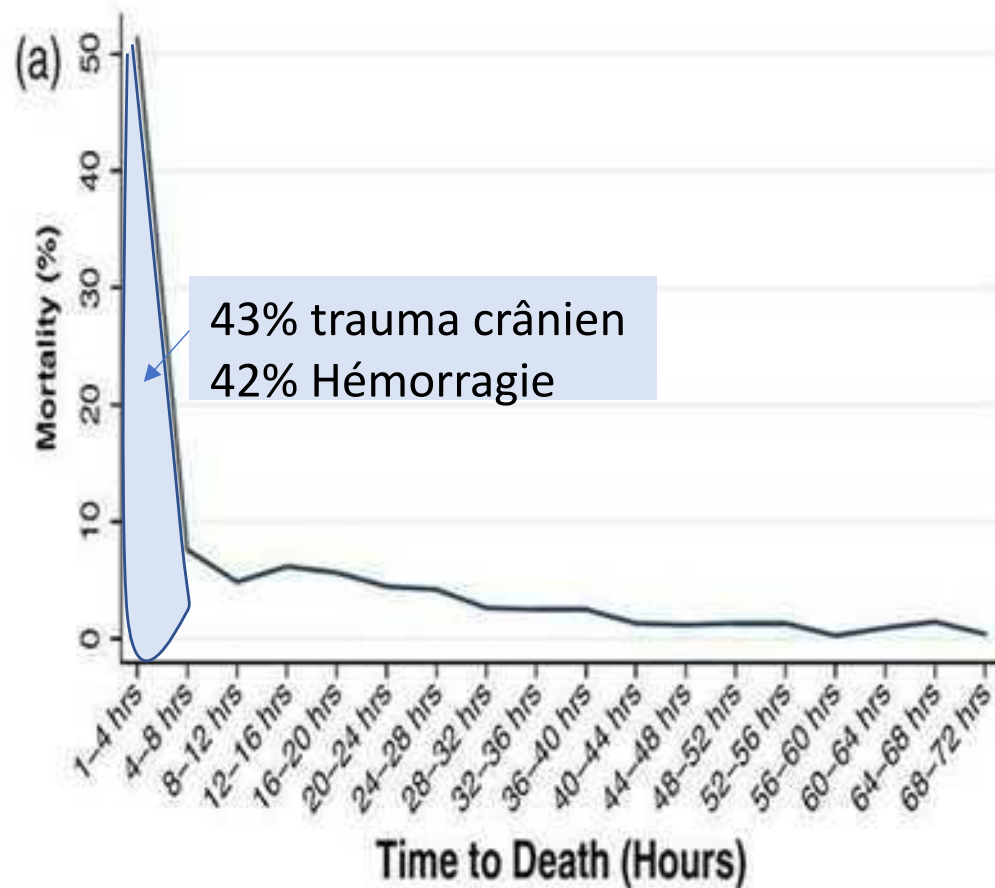
- Hypoxemia improved ($SpO_2 \geq 93\%$) after resuscitation
- Arterial hypotension improved ($SBP \geq 100$ mmHg) after resuscitation
- Traumatic brain injury $9 \leq GCS \leq 13$
- Penetrating trauma (head, neck, thorax, abdomen, limbs above knee/elbow)
- Severe thoracic trauma (flail chest, deformity)
- Spinal trauma with abnormal neurology (motor or sensory loss)
- Severe pelvic trauma (open fracture, unstable, deformity)
- Severe limb trauma (ischemia, bleeding requiring a tourniquet, major substance loss)
- Positive EFAST (haemoperitoneum, haemothorax, haemopericardium, pneumothorax)

GRADE C

STABLE WITH HIGH-KINETIC CIRCUMSTANCES OR MEDICAL HISTORY

- Falls (adults ≥ 6 meters, children ≥ 3 times height of the child)
- Ejected, blasted, crushed, projected victim
- Death in same passenger compartment
- 2 or more long bone closed fractures (humerus, femur)
- Open fracture to proximal limb
- Gestation > 23 weeks
- Anticoagulants (VKA, DOAC) or dual antiplatelet therapy
- Child ≤ 5 yo or adult ≥ 75 yo
- Major comorbidity

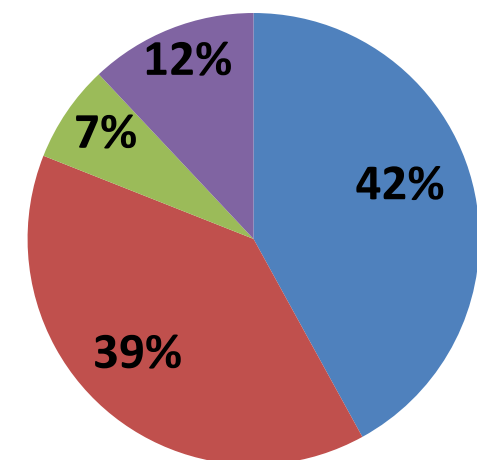
Mortalité évitable



En chiffres : 4,9-11,3%

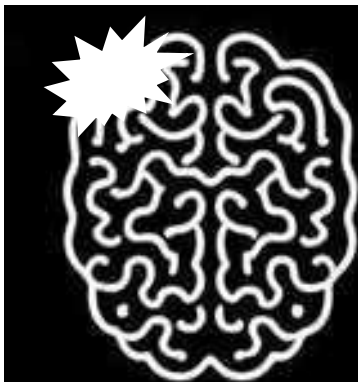
- Lésion du SNC
- Exsanguination
- Défaillance d'organe
- Autres

Cause du décès

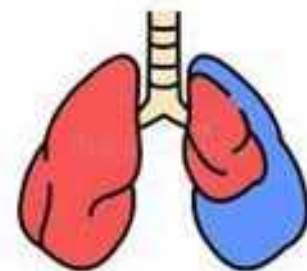


Spahn DR et al. *Critical Care* 2019
Shapiro MB et al. *J Trauma* 2000
Hamada SR et al. *PLoS One*. 2019

Objectif immédiat



TIME IS BRAIN



Décompression
thoracique



TIME IS BLOOD

Cas clinique

- Quelle prise en charge immédiate ?

Cas clinique

- Pose de VVP / intra-osseuse
- IOT
- Osmothérapie
- Suture plaie du scalp
- Immobilisation axe tête cou tronc
- Exacyl
- Optimisation hémodynamique

Recommandations

PREHOSPITAL EMERGENCY CARE
<https://doi.org/10.1080/10903127.2023.2187905>



BRAIN TRAUMA FOUNDATION TBI GUIDELINES

OPEN ACCESS [Check for updates](#)

Prehospital Guidelines for the Management of Traumatic Brain Injury – 3rd Edition

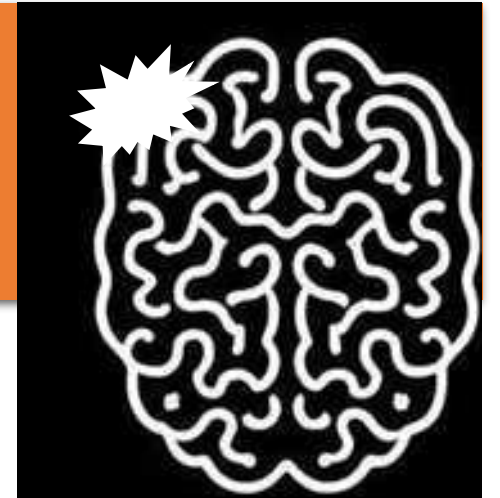
Al Lulla^a, Angela Lumba-Brown^b , Annette M. Totten^c, Patrick J. Maher^d, Neeraj Badjatia^e, Randy Bell^f, Christina T. J. Donayri^g, Mary E. Fallat^h, Gregory W. J. Hawrylukⁱ, Scott A. Goldberg^j, Halim M. A. Hennes^k, Steven P. Ignell^b, Jamshid Ghajar^l, Brian P. Krzyzaniak^m, E. Brooke Lernerⁿ , Daniel Nishijima^o, Charles Schleien^p, Stacy Shackelford^q, Erik Swartz^r, David W. Wright^s, Rachel Zhang^t, Andy Jagoda^d, and Bentley J. Bobrow^u



Prise en charge des traumatisés crâniens graves à la phase précoce (24 premières heures)*

Thomas Geeraerts¹, Lionel Velly², Lamine Abdenmour³, Karim Asehnoune⁴, Gérard Audibert⁵, Pierre Bouzat⁶, Nicolas Bruder², Romain Carrillon⁷, Vincent Cottenceau⁸, François Cotton⁹, Sonia Courtil-Teyssedre¹⁰, Claire Dahyot-Fizelier¹¹, Frédéric Dailler⁷, Jean-Stéphane David¹², Nicolas Engrand¹³, Dominique Fletcher¹⁴, Gilles Francony⁶, Laurent Gergelé¹⁵, Carole Ichai¹⁶, Étienne Javouhey¹⁰, Pierre-Etienne Leblanc¹⁷, Thomas Lieutaud¹⁸, Philippe Meyer¹⁹, Sébastien Mirek²⁰, Gilles Orliaguet¹⁹, François Proust²¹, Hervé Quintard¹⁶, Catherine Ract¹⁷, Mohamed Srairi¹, Karim Tazarourte²², Bernard Vigué¹⁷, Jean-François Payen⁶, Société française d'anesthésie et de réanimation, en collaboration avec les Sociétés : Association de neuro-anesthésie réanimation de langue française (Anarf), Société française de neurochirurgie (SFNC), Groupe francophone de réanimation et d'urgences pédiatriques (GFRUP), Association des anesthésistes-réanimateurs pédiatriques d'expression française (Adarpef), Société française de médecine d'urgence (SFMU)

Prise en charge précoce du TC



Objectifs

- Contrôle des ACSOS
- Diminution CMRO2 (Intubation / sédation)
- Assurer une pression de perfusion cérébrale
- Osmothérapie (Anomalie pupillaire +/- dégradation neurologique)
- Attention au patient agité
- Réévaluation fréquente
- Souvent facteur confondant mais toujours raisonner par le pire

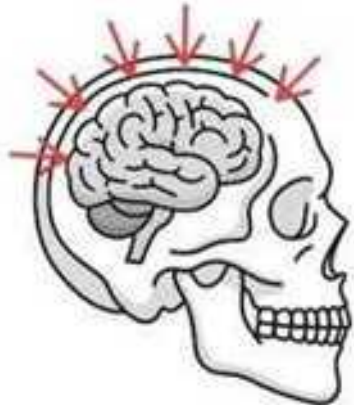
Evaluation : Glasgow Coma Scale

- Le seul score à évaluer après l'ABC
- Outil de communication
- Corrélation du score Moteur avec le pronostic neurologique à distance

Evaluation : Pupilles

- Son association avec le score de Glasgow augmente sa valeur pronostique

Augmentation de la PIC



Ou

Crise d'épilepsie



Hyperventilation
Majoration des sédations
Hyperosmolaire

ACSOS : Hypotension / Hypoxie

Secondary Insults	Number of Patients	% Total Patients	Outcome Percent		
			Good or Moderate	Severe or Vegetative	Dead
Total cases	717	100.0	43.0	20.2	36.8
Neither	308	43.0	53.9	19.2	26.9
Hypoxia	161	22.4	50.3	21.7	28.0
Hypotension	82	11.4	32.9	17.1	50.0
Both	166	23.2	20.5	22.3	57.2

Hypoxia = $Pao_2 < 60$ mm Hg, hypotension = $SBP < 90$ mm Hg. Reprinted with permission from Chesnut et al.¹⁰

ACSOS : PaCO2

Table 8 Effect of Hyperventilation on Outcome Using the Median Arrival pCO₂ Value of 33 mmHg as Threshold

	RSI patients with pCO ₂ <33 mmHg (n = 100)	RSI patients with pCO ₂ ≥33 mmHg (n = 101)
Mortality RSI cohort (%)	39.0	25.7

R2.3 - Il faut contrôler la ventilation des traumatisés crâniens graves par une intubation trachéale, une ventilation mécanique et une surveillance du CO₂ expiré dès la prise en charge pré-hospitalière.

(GRADE 1+) Accord FORT

[84-87]. Une valeur d'EtCO₂ autour de 30-35 mmHg est préconisée.

Davis et al. *J trauma* 2003

Recommandation Traumatisme crânien SFAR 2016

Score IMPACT

- Score pronostic

Prediction models for 6 month outcome after TBI

Admission Characteristics Value

Core

Age (14-99 years)

Motor Score

 ▼

Pupils

 ▼

Core+CT

Hypoxia

 ▼

Hypotension

 ▼

CT Classification

 ▼

tSAH on CT

 ▼

Epidural mass on CT

 ▼

Core+CT+Lab

Glucose (3-20 mmol/L)

 ▼

Hb (6-17 g/dL)

 ▼

Calculate

Reset

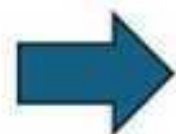
This model predicts outcome in the following patients:

Adults with head injury, Glasgow Coma Scale 12 or less.

-  • SpO2 > 90%
-  • PAS 100-150 mmHg toutes les 5-10 minutes
 - EtCO2 35-45 mmHg
 - Température 36-37°C



Un seul épisode est associé à la mortalité



Éviter les lésions cérébrales secondaires

Hyperventilation

BRAIN TRAUMA FOUNDATION TBI GUIDELINES

OPEN ACCESS  Check for updates

Prehospital Guidelines for the Management of Traumatic Brain Injury – 3rd Edition

- À éviter car dangereuse avec un risque d'ischémie cérébral
- Situations dans lesquelles elle est validée:
 1. Triade de Cushing: hypertension + bradycardie + respiration irrégulière
 2. Glasgow <9
 3. Dégradation neurologique
 4. Anomalie pupillaire
- Cible : 30-35 mmHg EtCO₂

Solutés

BRAIN TRAUMA FOUNDATION TBI GUIDELINES

OPEN ACCESS [Check for updates](#)

Prehospital Guidelines for the Management of Traumatic Brain Injury – 3rd Edition

- NaCl 0.9% en cas d'hypotension
- Limitez le remplissage excessif = Noradrénaline sur VVP
- En cas de $G < 8$, soluté hyperosmolaire

Cas clinique

- Quelle osmothérapie ?

Osmothérapie

- Traitement transitoire
- Délai d'action quelques minutes
- Durée d'action 4h environ
- Amélioration de l'état hémodynamique général et cérébral
- Diminution de la PIC et augmentation du débit cardiaque

Osmothérapie

- Mannitol 20%:
 - 0,25 à 0,5 g/kg soit 2,5 mL/kg
 - Effet rebond
 - Diurèse osmotique ++

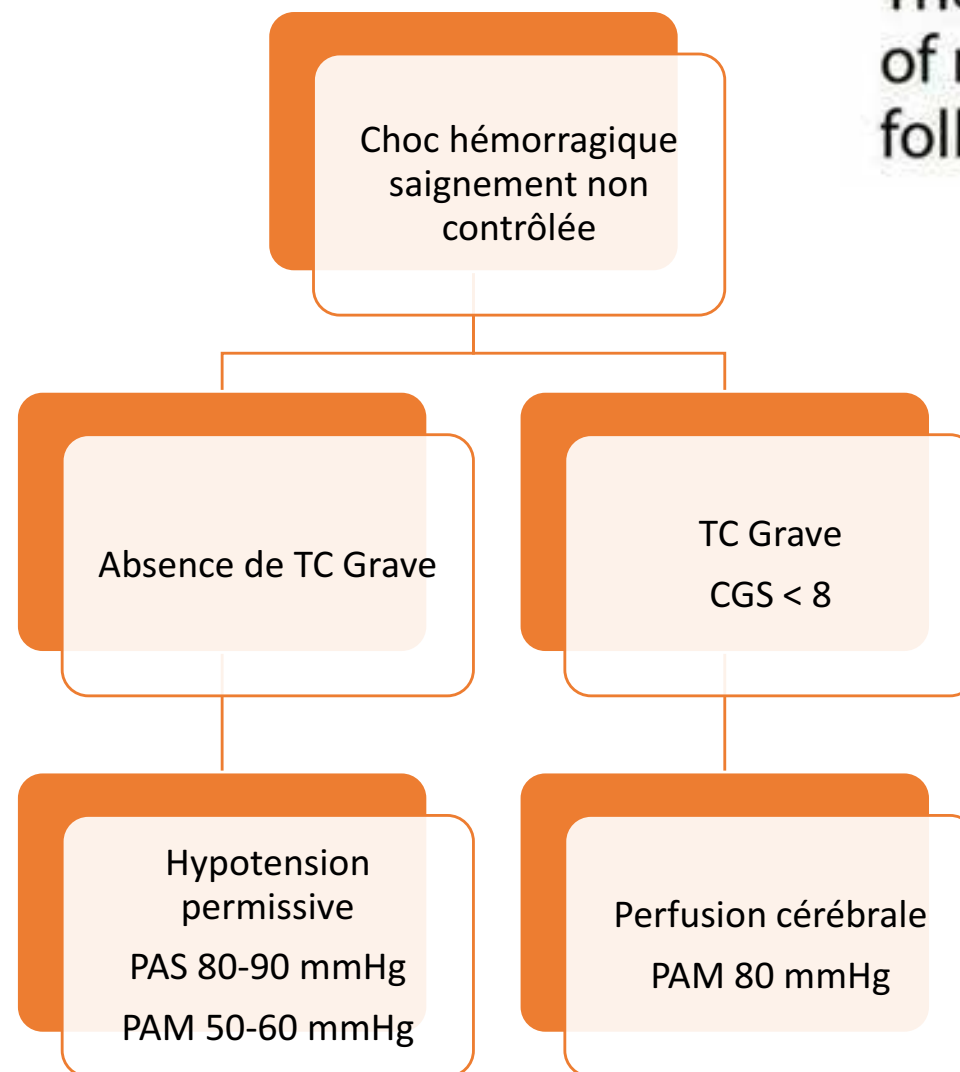
- SSH :
 - 8 g NaCl 20%
 - Acidose hyperchlorémique

Table 3 Multivariate predictors of ICU mortality in TBI patients presenting with mydriasis

ICU mortality	OR	95% CI	P-value
Osmotherapy by HSS	0.62	0.44–0.85	0.003

- Amélioration de la mortalité pour l'administration pré hospitalier en faveur du SSH

Objectif tensionnel



Rossaint et al. *Critical Care* (2023) 27:80
<https://doi.org/10.1186/s13054-023-04327-7>

Critical Care

GUIDELINES

Open Access

The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: sixth edition

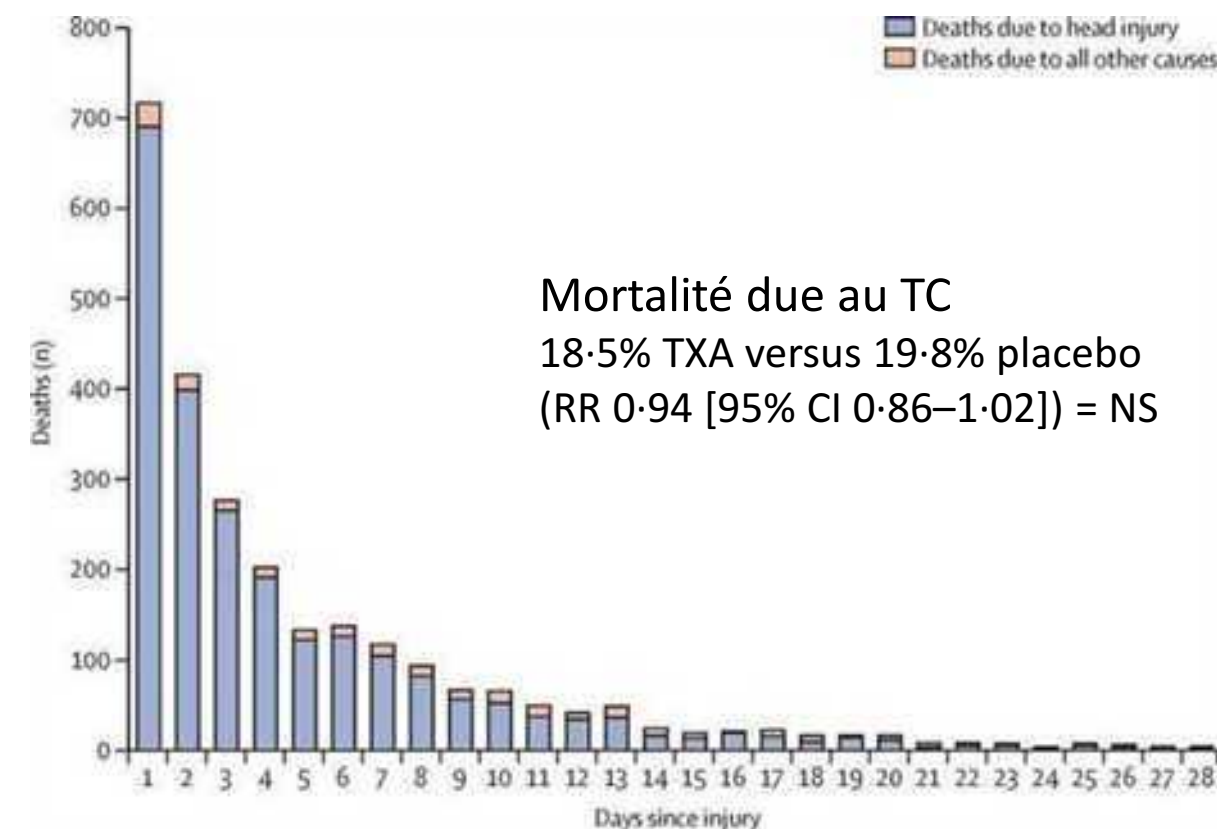
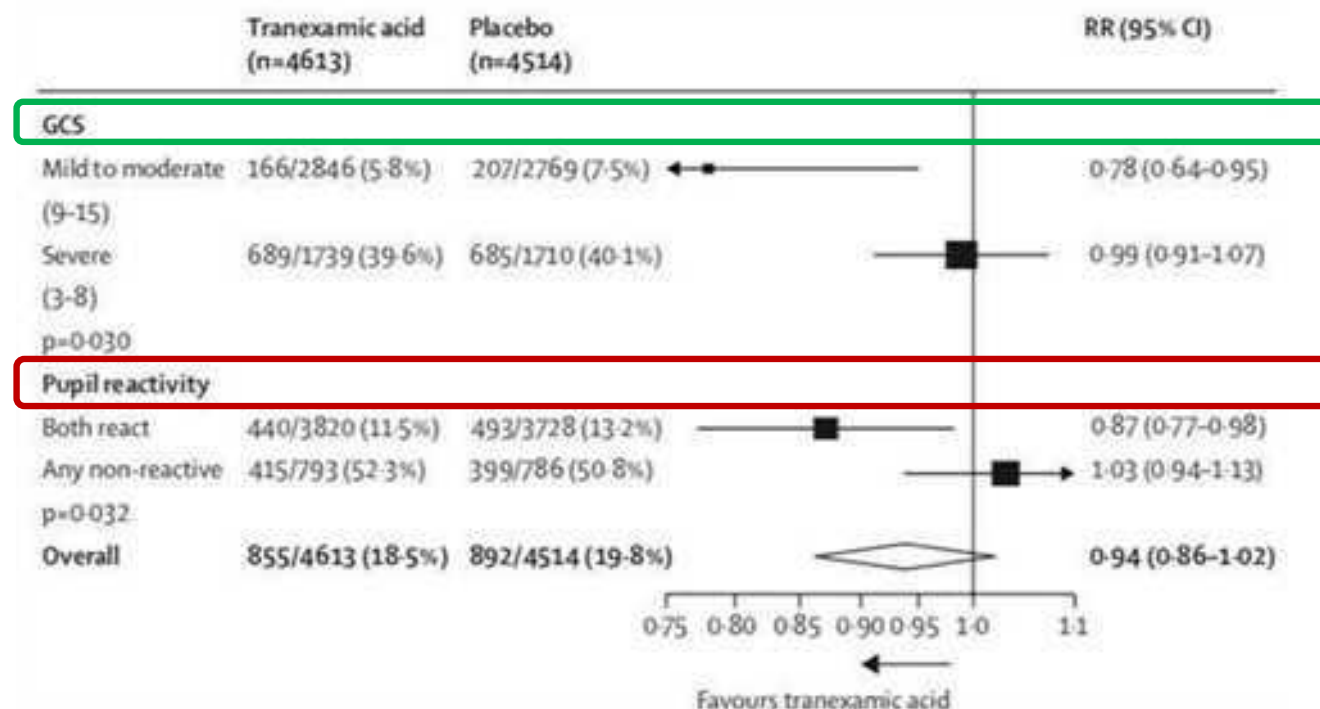


Acide tranexamique

Effects of tranexamic acid on death, disability, vascular occlusive events and other morbidities in patients with acute traumatic brain injury (CRASH-3): a randomised, placebo-controlled trial

Étude internationale multicentrique TXA vs placebo dans les 3h du trauma

- TC isolé GSC < 12 ou saignement intracrânien
- Exclusion des GCS3 et des anomalies pupillaires
- Évaluation de la mortalité à J28



Mortalité due au TC

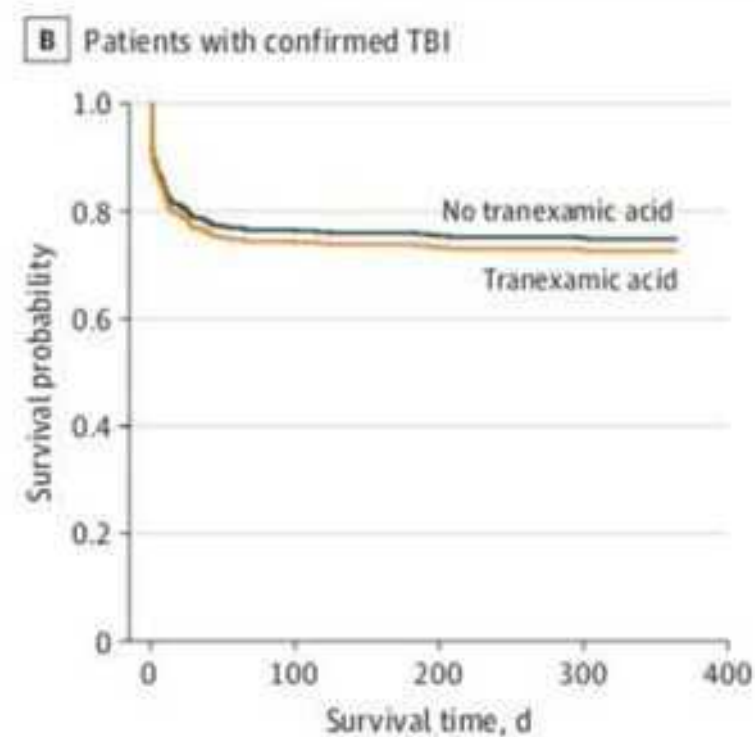
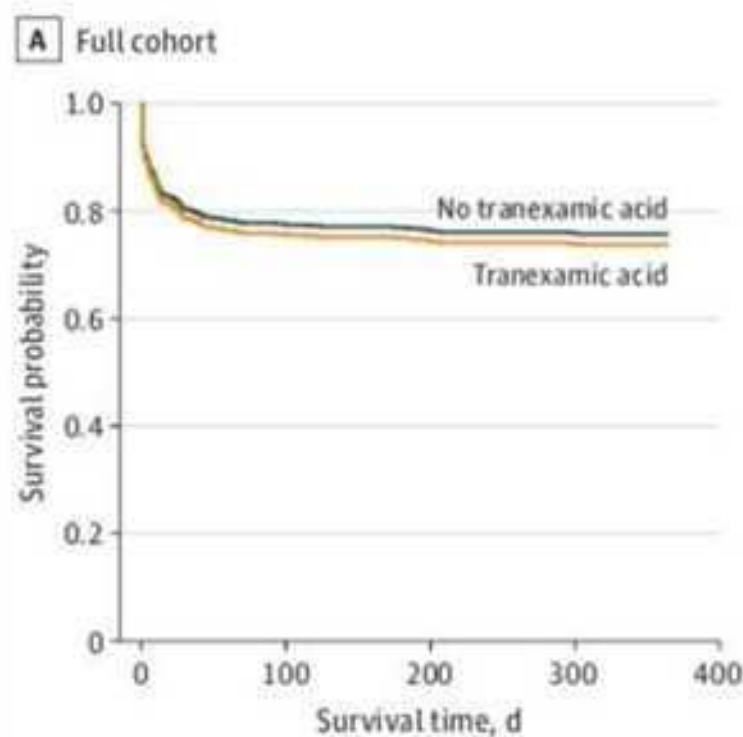
18.5% TXA versus 19.8% placebo
(RR 0.94 [95% CI 0.86–1.02]) = NS

Acide tranexamique

Association Between Prehospital Tranexamic Acid Administration and Outcomes of Severe Traumatic Brain Injury

JAMA Neurology | Original Investigation

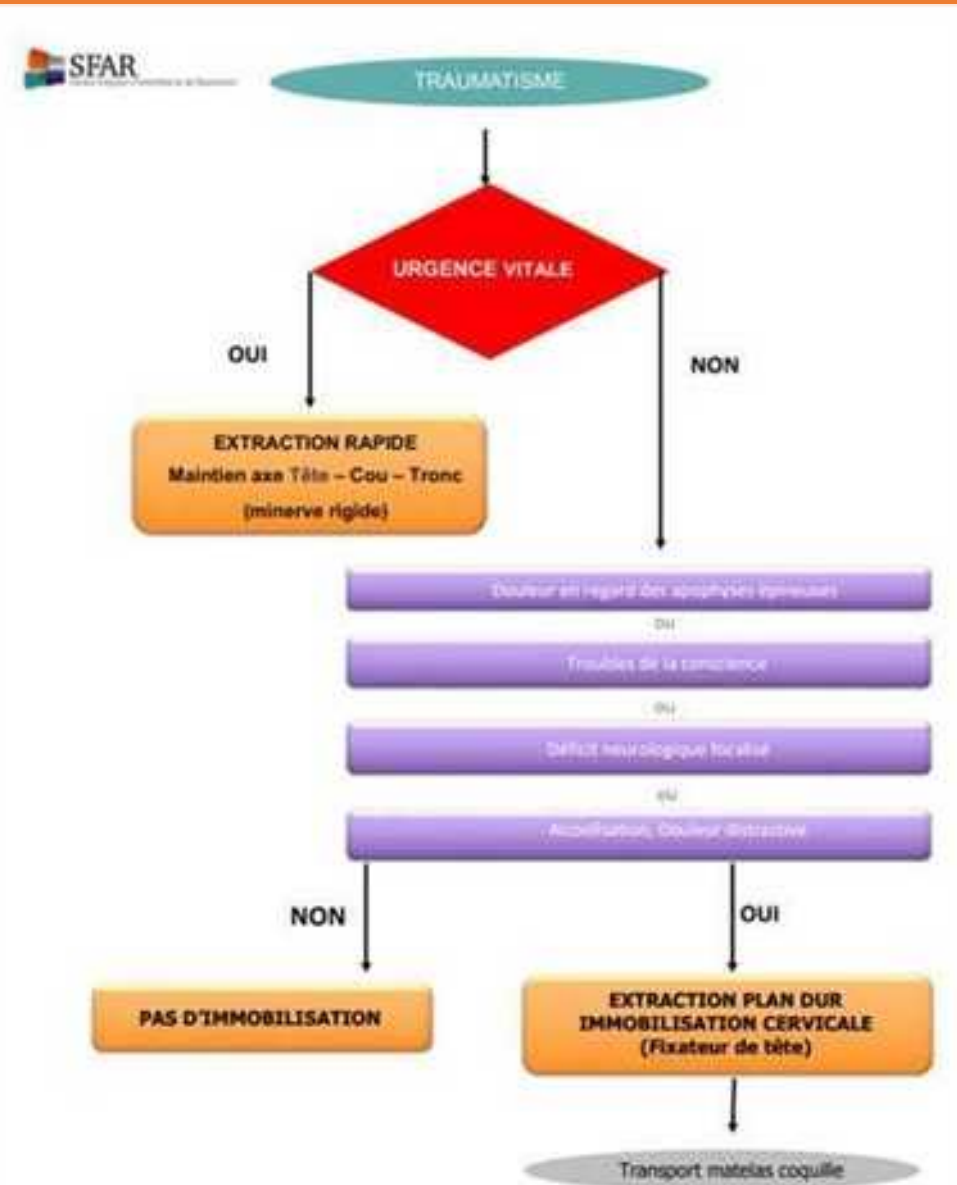
- Etude de cohorte prospective multicentrique (BRAIN-PROTECT) aux Pays Bas
- Evaluation de l'impact de **l'acide tranexamique** sur la **mortalité à J30 (CJP)** et à **un an (CJS)**
- **1827 patients** inclus: **993 TXA** et **1134 sans TXA**



NS

Immobilisation axe tête cou tronc

TC grave = Traumatisé du rachis
jusqu'à preuve du contraire

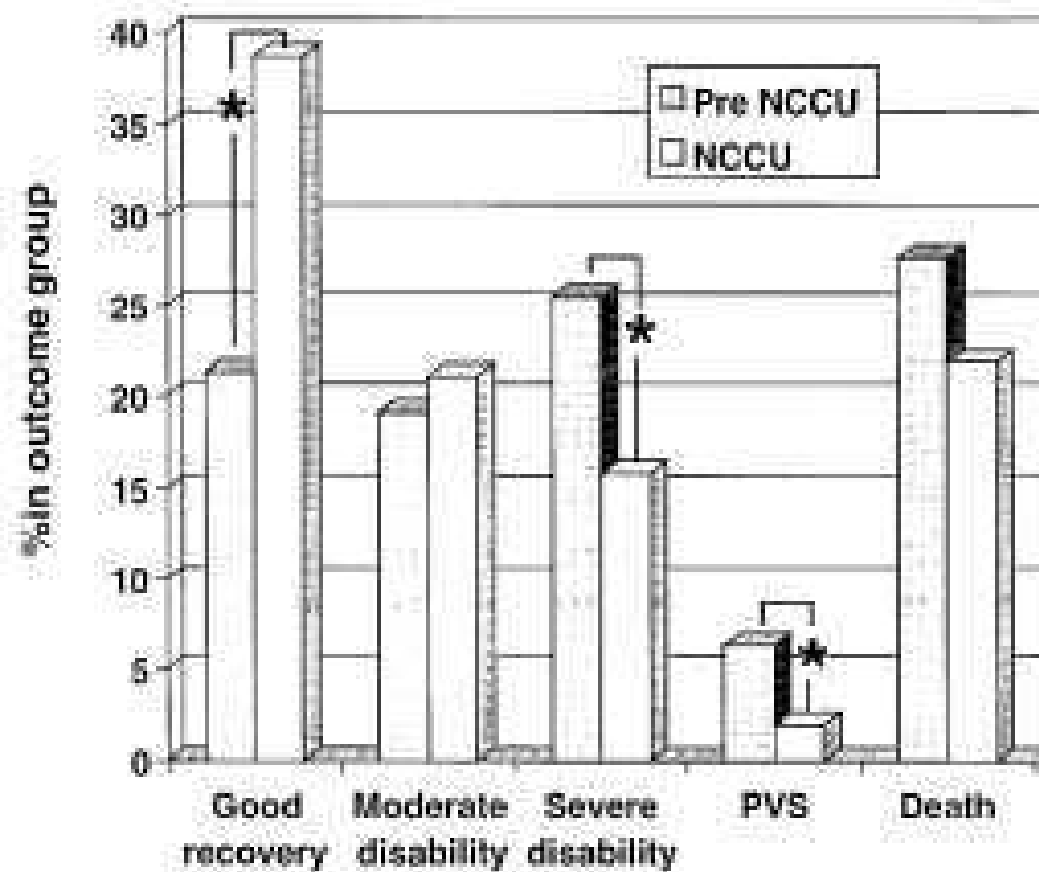


Bénéfice de l'admission en traumacenter

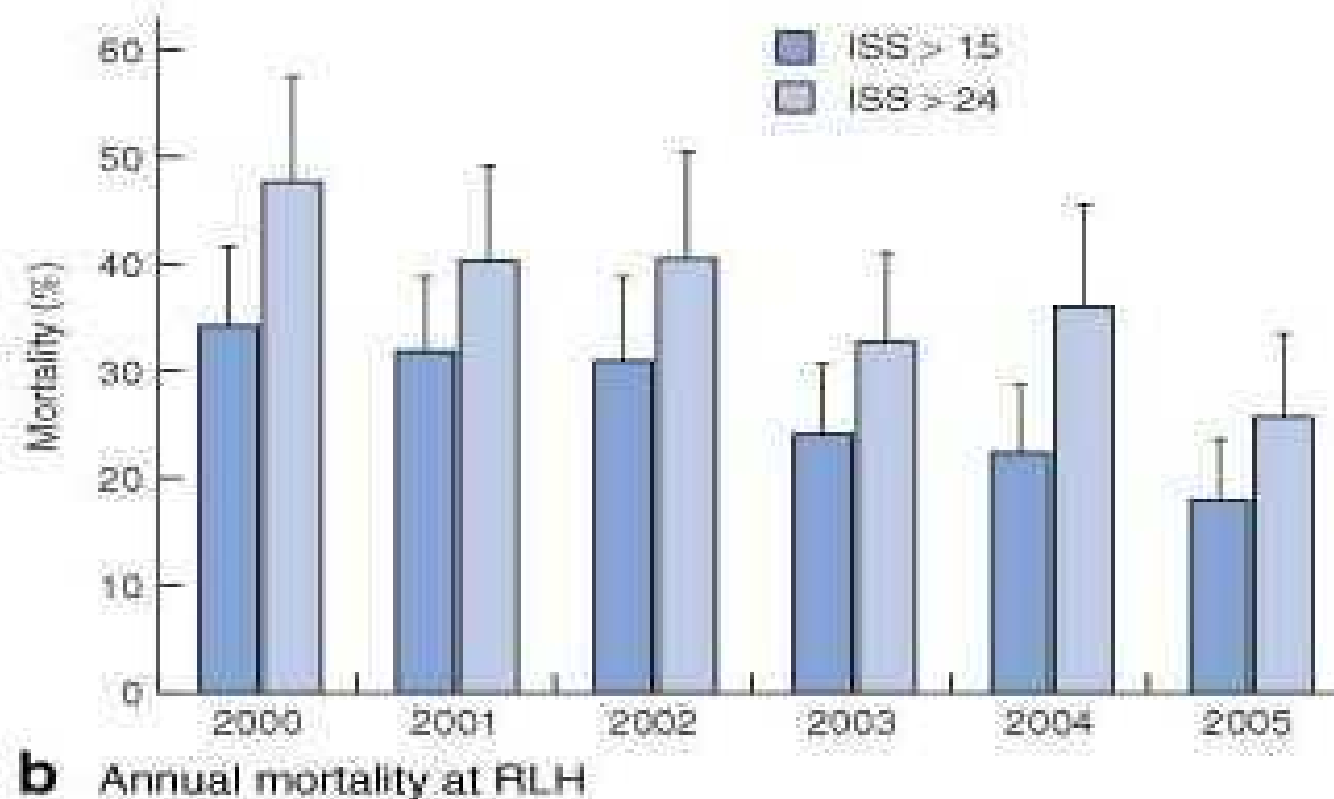
Variable	Weight No of patient	Death in hospital	Death within 30 days after injury	Death within 90 days after injury	Death within 365 Days of injury
Overall population	15009				
Trauma center (%)		7.6	7.6	8.7	10.4
Non-Trauma center(%)		9.5	10.0	11.4	13.8
Relative risk (95% CI)		0.8 (0.66-0.98)	0.76 (0.58-1.00)	0.77 (0.60-0.98)	0.75 (0.60-0.95)
Maximal AIS score 5-6	1969				
Trauma center (%)		30.2	29.4	31.4	31.8
Non-Trauma center(%)		43.2	43.9	44.4	44.4
Relative risk (95% CI)		0.7 (0.51-0.96)	0.67 (0.48-0.92)	0.71 (0.52-0.97)	0.72 (0.52-0.98)

McKenzie et al. NEJM.2006

Bénéfice de l'admission en traumacenter



Bénéfice de l'admission en traumacenter



Un trauma center c'est
un hôpital spécialisé
et non un hôpital de
spécialités

- **ISS >15**: 3.4 additional survivors per 100 trauma
- **ISS >24**: 11 additional survivors per 100 trauma

Délai pré hospitalier

Etude multicentrique incluant 10 216 patients
12,4% de patients en état de choc

	univariate	p	Multivariate	p
Overall Death	1.09 (1.07 – 1.11)	<0.001	1.04 (1.01 -1.07)	0.007
Death due to head injury	1.09 (1.06 – 1.11)	<0.001	1.03 (1.00 – 1.07)	0.153
Death due to bleeding	1.04 (1.01 – 1.09)	0.043	1.00 (0.99 – 1.02)	0.239

Augmentation de 4% de la mortalité ajustée par tranche de 10 minutes
supplémentaires de transport préhospitalier