

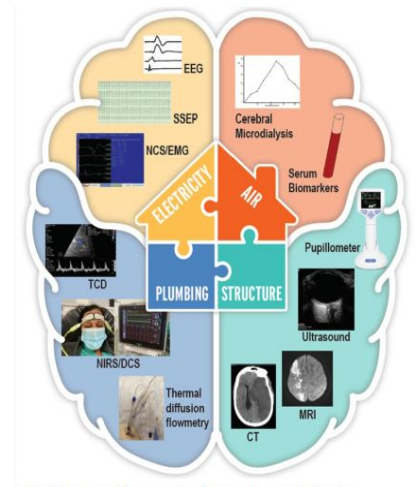


Neuromonitoring du coma chez l'enfant

Webinar GFRUP 14 octobre 2025

Dr Judith CHAREYRE

Réanimation pédiatrique Bordeaux

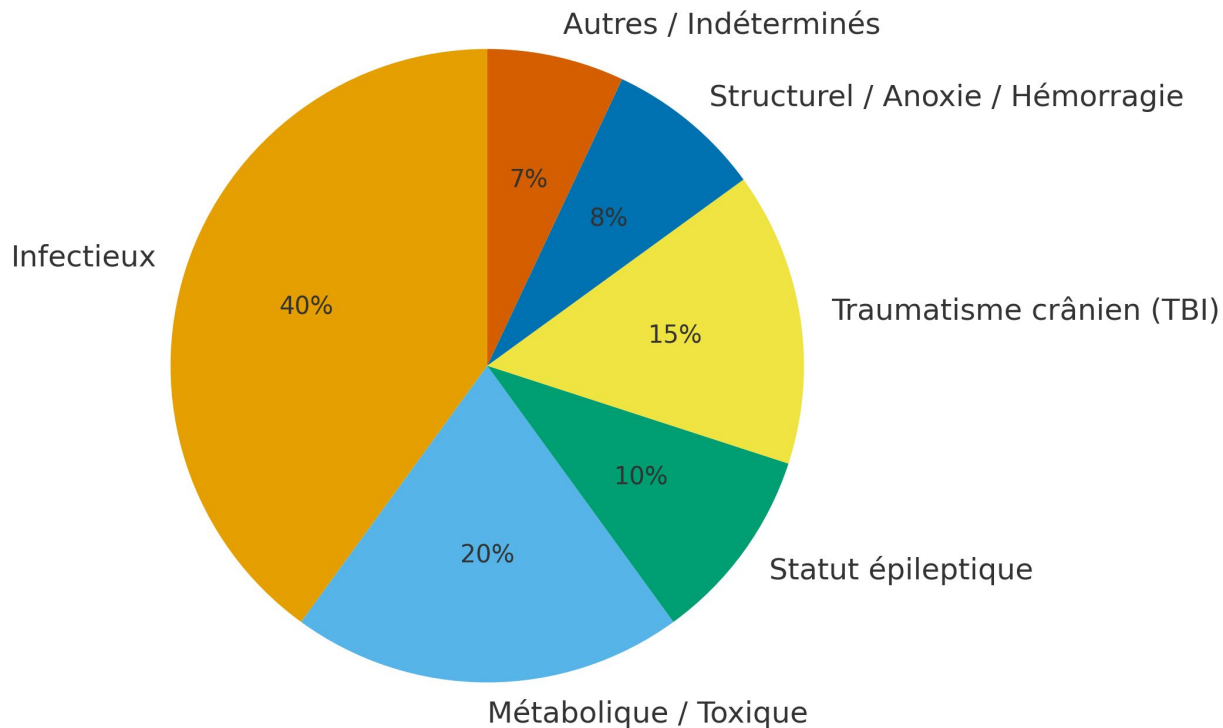


- Spécificités du coma chez l'enfant
- Quels outils de neuromonitoring ?
- Savoir interpréter les données

► EPIDÉMIOLOGIE

Lésions neuro :
16% admissions en réanimation pédiatrique

Finck et al PCCM 2017



*Ray et al, 2021
Duyu et al, 2021
Wong et al, 2001*



AGE

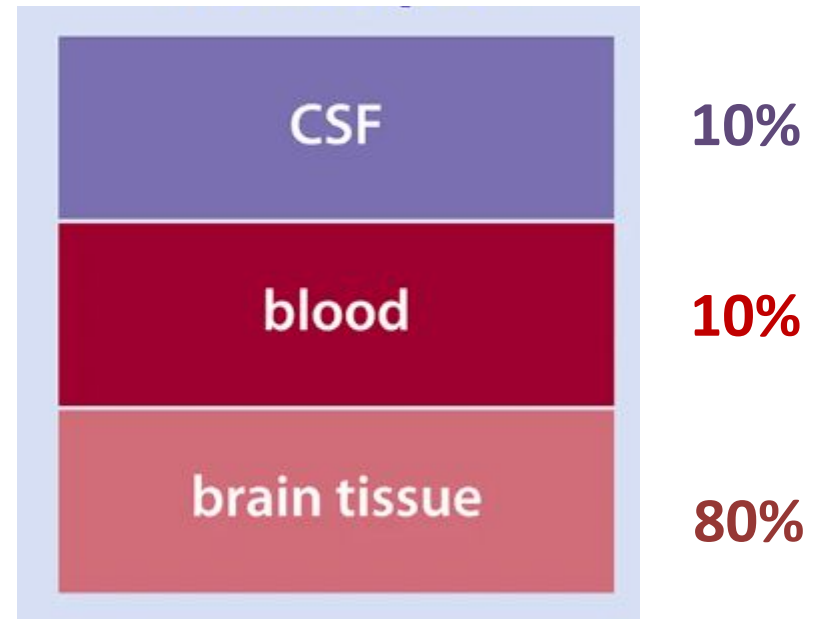
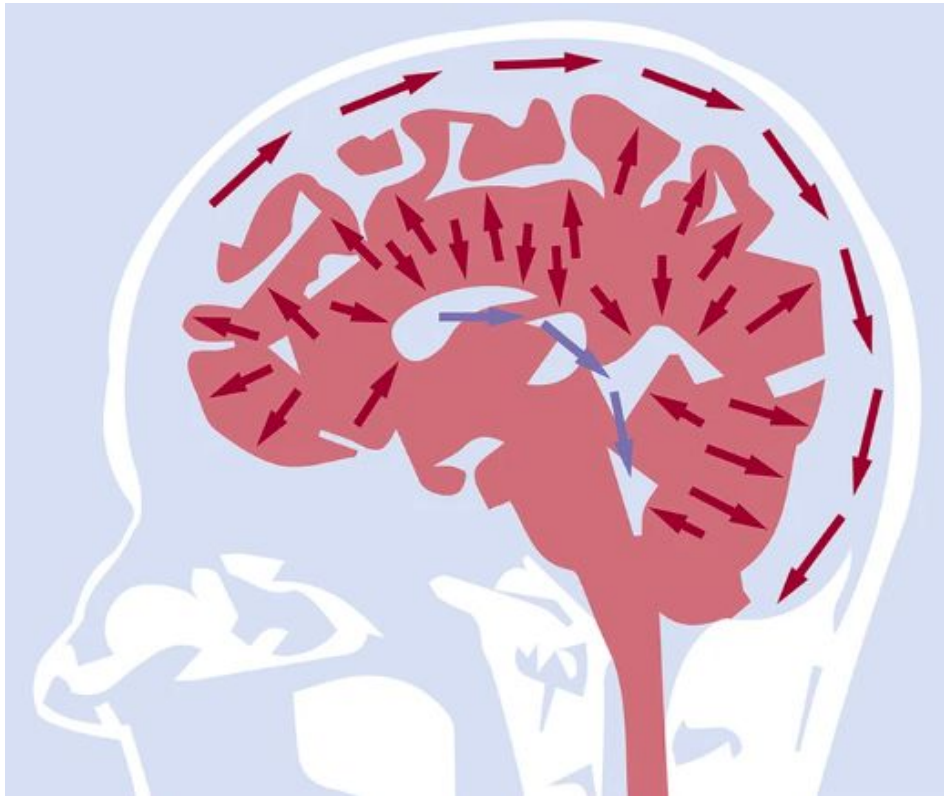
< 1 AN : INFECTION (> 50%)



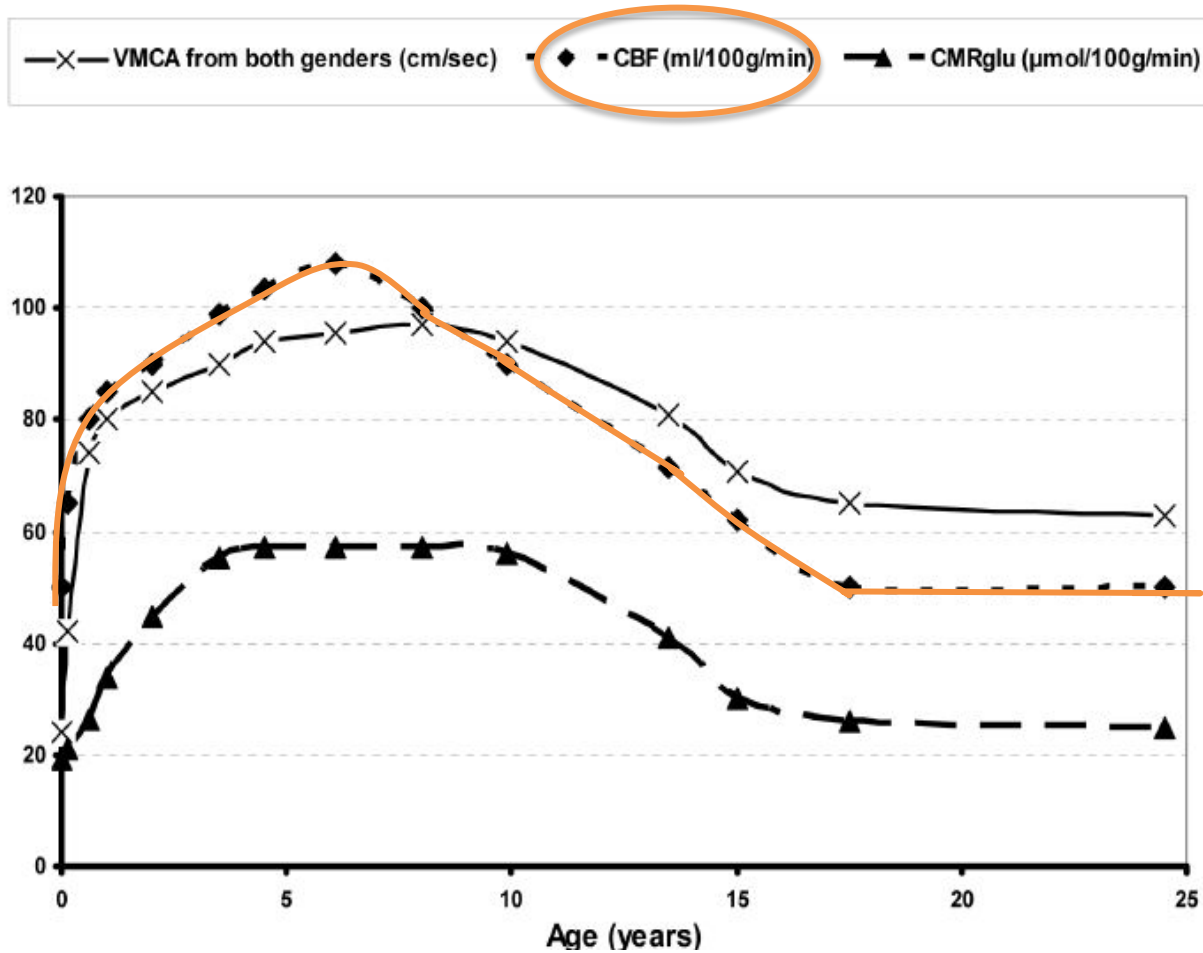
Infections
Mortalité

Mortalité globale
10-50%
Moindre que l'adulte

*Mazzola CA, CCM 2002
CDC 2004*



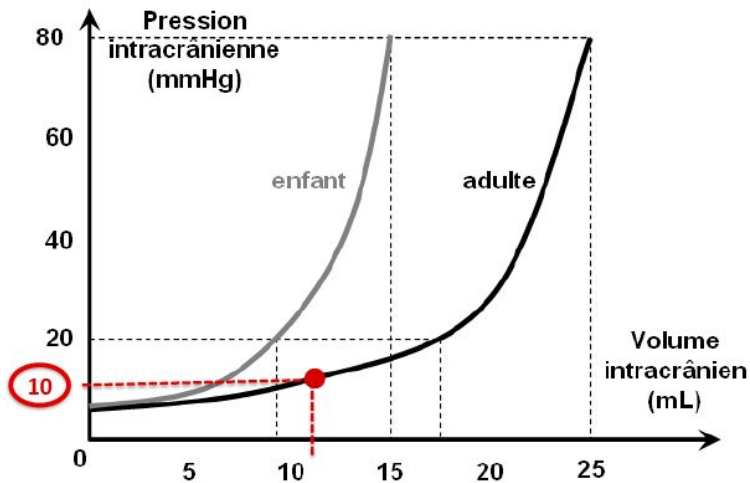
$\text{Vol Parenchyme} + \text{Vol LCS} + \text{VSC} = \text{CONSTANTE}$



Le DSC
dépend du
métabolisme

PARTICULARITÉS PÉDIATRIQUES

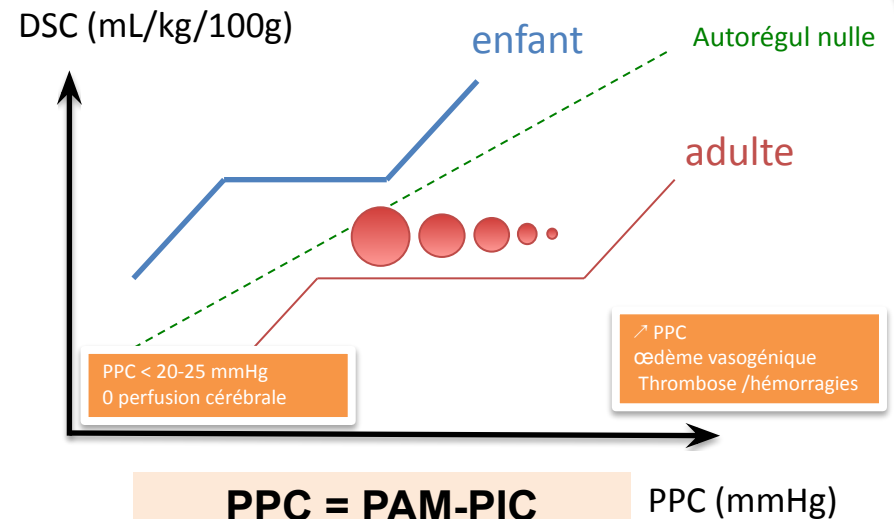
COMPLIANCE CÉRÉBRALE BASSE



Normes	PIC	PPC
Nné	1-4	> AG
NRS	2-6	40
2-6 ans	3-8	50-60
> 8 ans	10-15	60-70

Shapiro Ped Neurosurg 1989, Allen Crit Care 2014

AUTORÉGULATION CÉRÉBRALE ALTÉRÉE



Tasker Seminar Ped Neuro 2014 ; Figaji front Neurol 2017

PERMÉABILITÉ BARRIÈRE HÉMATO-ENCÉPHALIQUE

Moretti Front Neurosc 2015

Remerciements M. Vedrenne

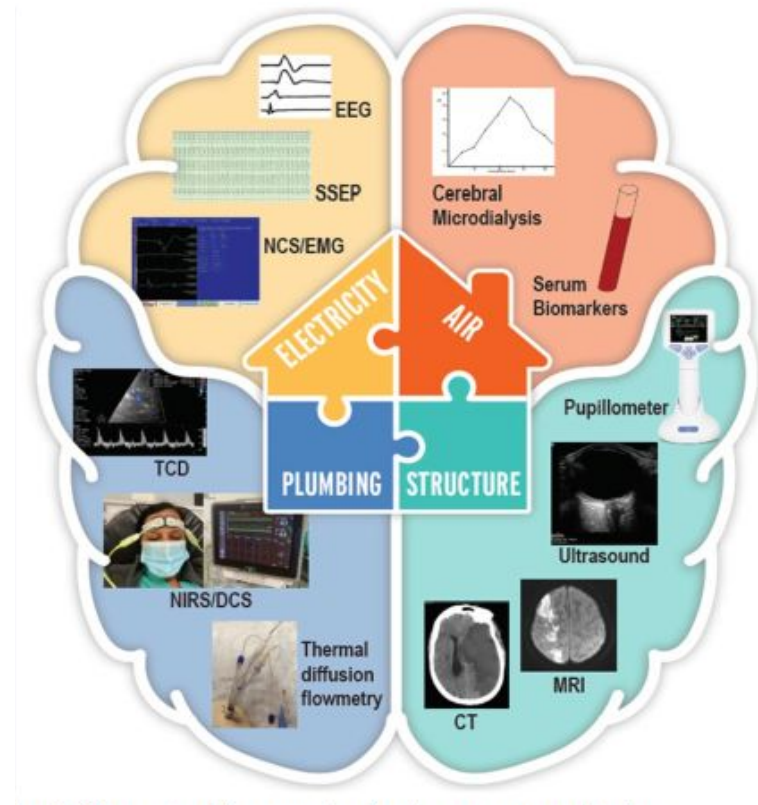
LA CLINIQUE



LA CLINIQUE



+



Moins d'outil, moins de PIC, des décisions importantes !

OBJECTIFS

CONTEXTE

PHYSIOPATH

COMMENT

EN PRATIQUE



EVALUATION CLINIQUE

A AIRWAYS
B BREATHING
C CIRCULATION

DEXTRO +++

COMA PROFOND ? PUPILLES ANORMALES ? HTIC AIGUË MENAÇANTE ?

HTA, BRADYCARDIE, RESPIRATION IRRÉGULIÈRE



Glasgow Pédiatrique

score	Y	V		M
		< 2ans	> 2ans	
6				normale
5		babille	orientée	localisée
4	spontanée	cri	confuse	flexion adaptée
3	au bruit	cri faible	inappropriée	flexion anormale
2	à la douleur	râles	incompréhensible	extension, enroule
1	absente	absente	absente	absente

Hypertension Intra Crânienne

Vomissements, Strabisme



Céphalées intenses,
Diplopie



Fontanelle, PC,
Coucher soleil

Respiration

Respiration Normale



Cheyne-Stokes



Hyperventilation Neurogène centrale



Respiration Apneustique



Respiration Ataxique

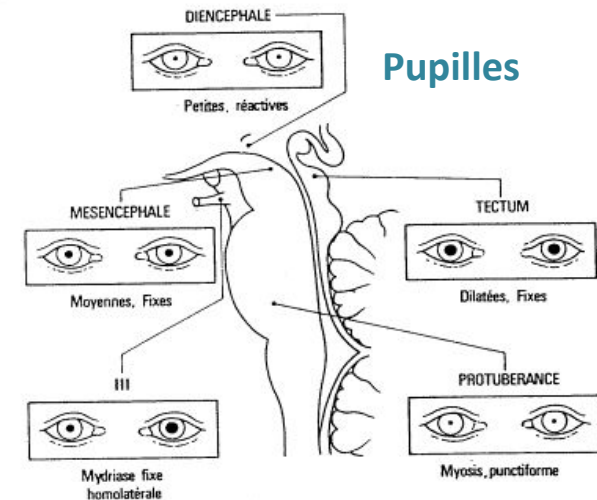


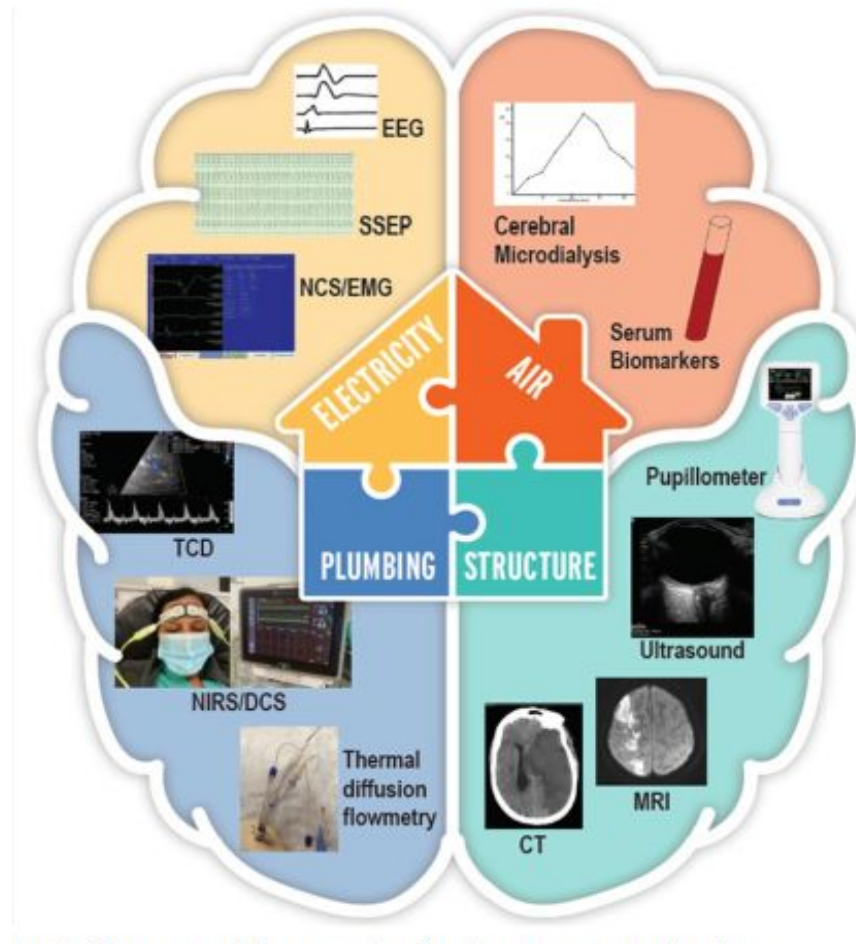
Signes de localisation

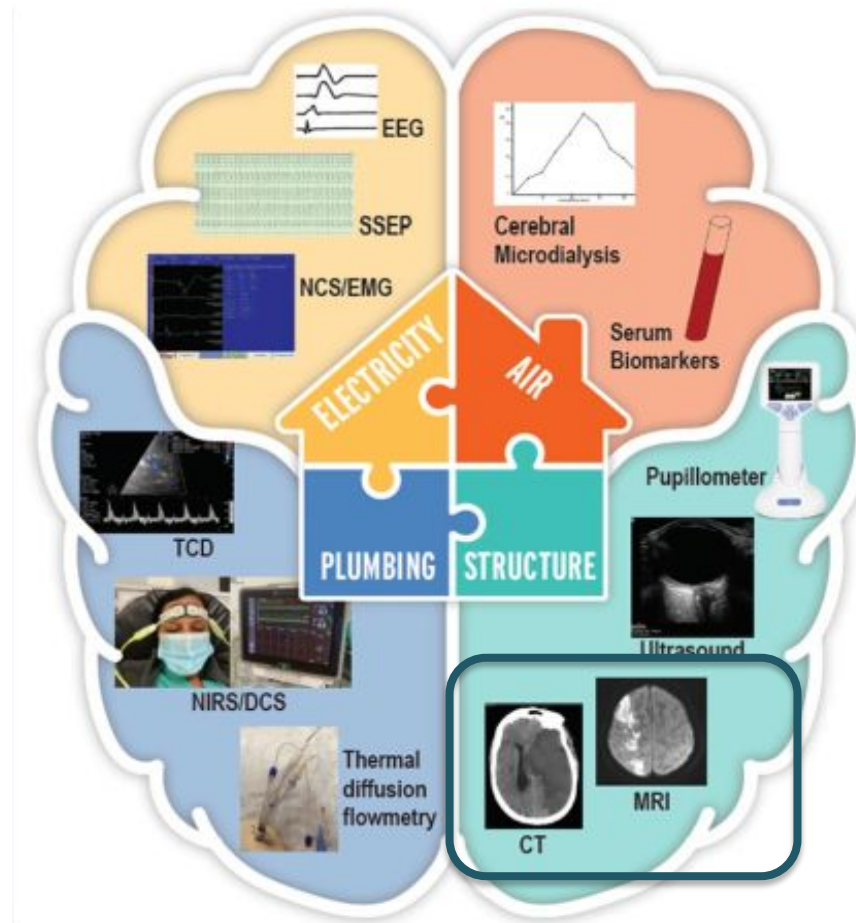
Syndrome méningé

Reflexes du tronc cérébral

Pupilles







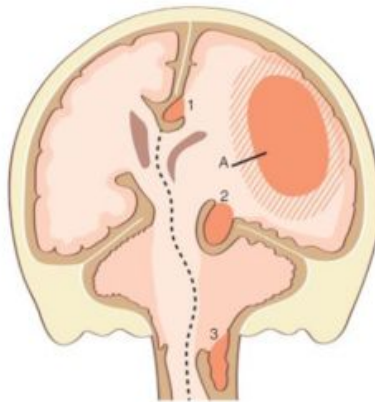
► **IMAGERIE CÉRÉBRALE: STRUCTURE / MÉCANISME / RETENTISSEMENT-PRONOSTIC**

TDM cérébrale

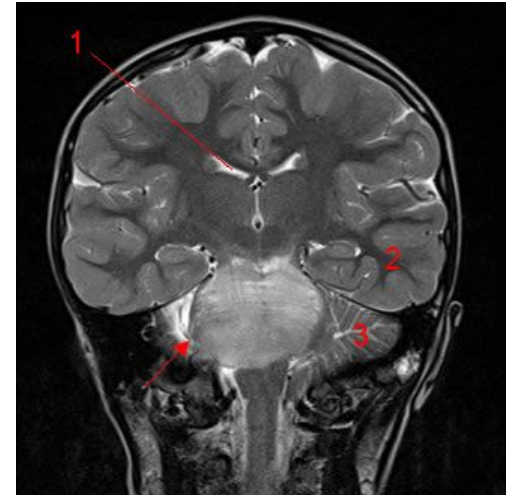


Accessible
Rapide
Irradiant

Engagement ?



IRM cérébrale



Précis, Cause/Conséquences
Non irradiant
Long ! (stabilité patient)



IMAGERIE CÉRÉBRALE: STRUCTURE / MÉCANISME / RETENTISSEMENT-PRONOSTIC

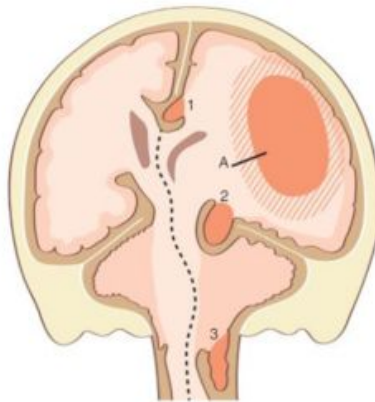
TDM cérébrale



Accessible
Rapide
Irradiant

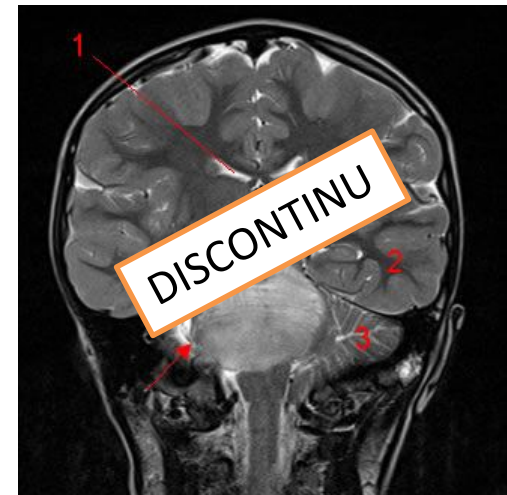
TDM normal n'exclue pas une HTIC
Ne remplace pas la PIC !

Engagement ?



Et pour l'HTIC ?

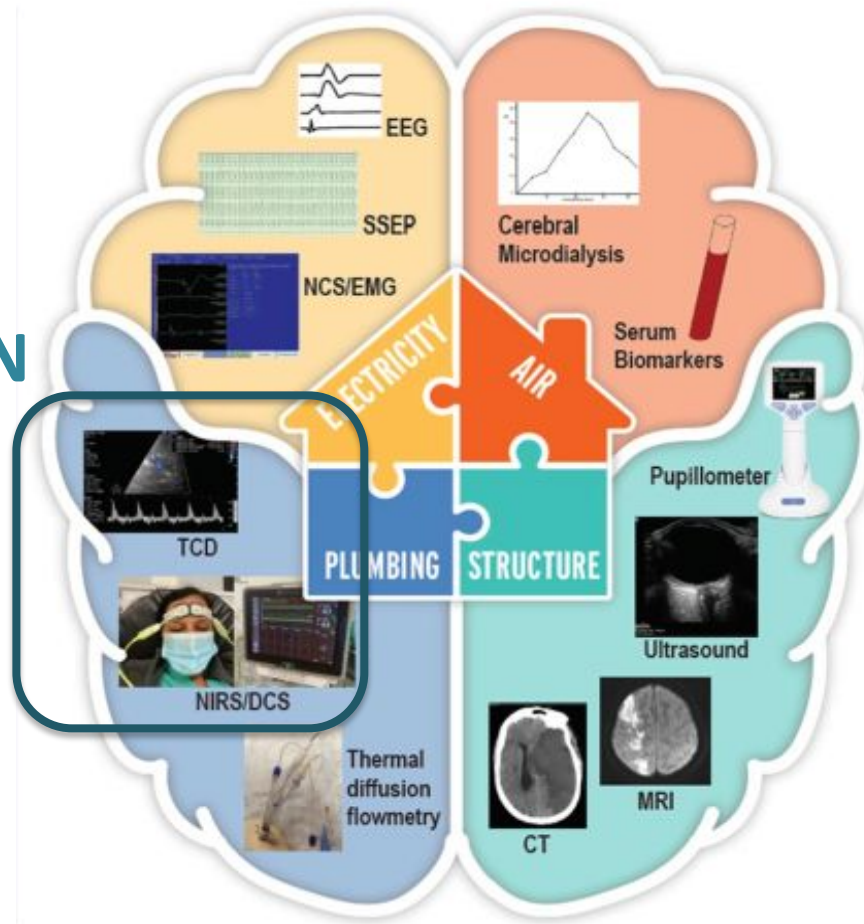
IRM cérébrale



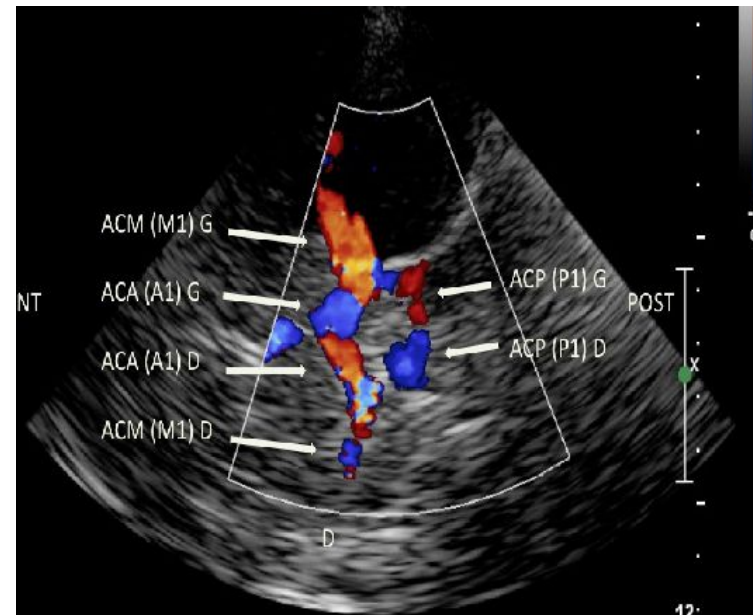
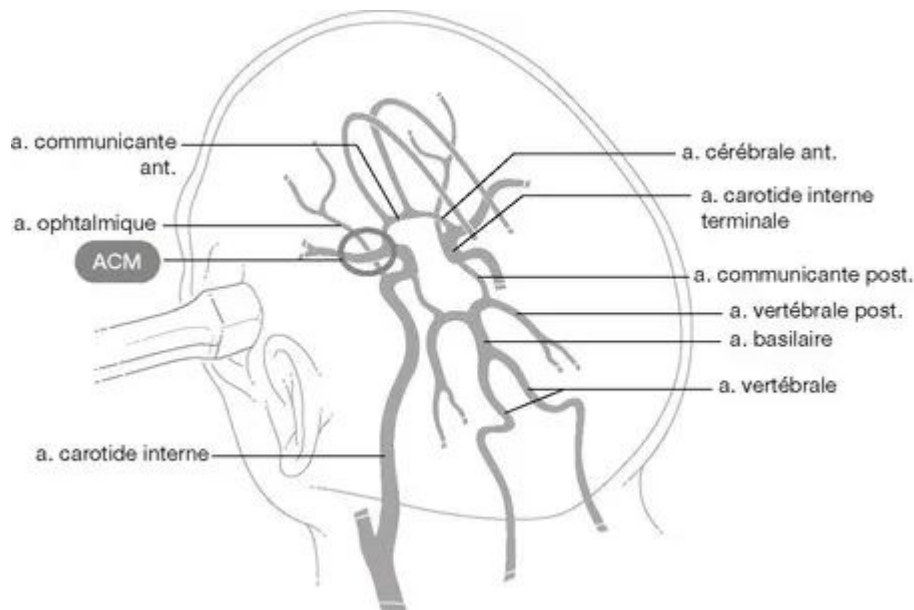
Précis, Cause/Conséquences
Non irradiant
Long ! (stabilité patient)

Signes indirects
Ne remplace pas la PIC !

DÉBIT PRESSIONS OXYGENATION



► DOPPLER TRANS CRÂNIEN



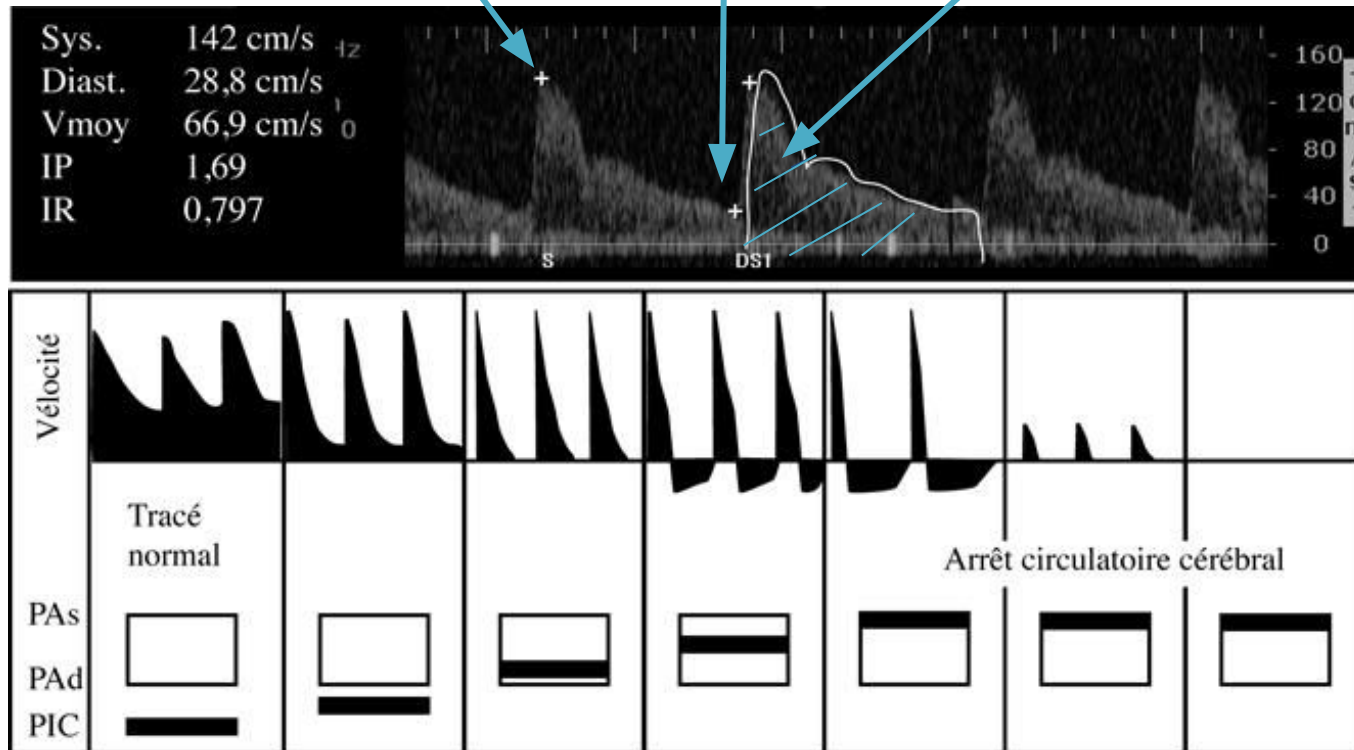
Sonde 3Hz (Doppler Pulsé PW)
Prof 4-5cm (2,5 à 3 si <1 an)
Attention angle !

Artère cérébrale moyenne :
70% du débit sanguin cérébral

Vit. Systolique (Vs)
dépend PA / Qc

Vit. Diastolique (Vd)
dépend des résistances d'aval
PIC/CO2

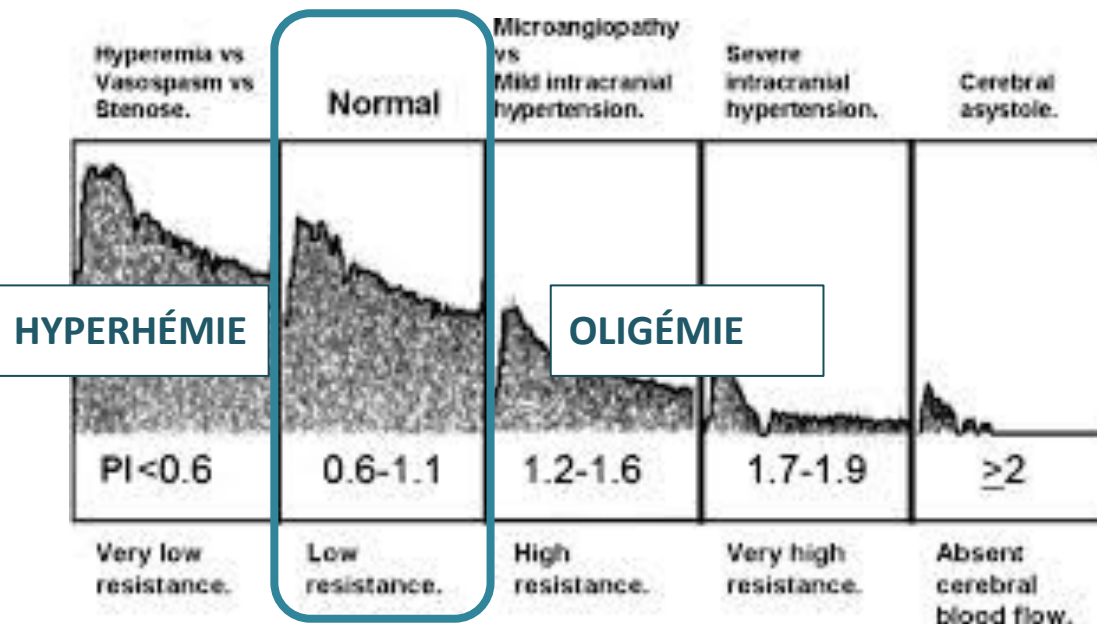
Vit Moyenne
 $V_m = (V_s + 2V_d)/3 \rightarrow$ reflet DSC



↑ Résistances vasculaires : ↑ IP et ↓ Vd

$$IP = (V_s - V_d) / V_d$$

$$IR = (V_s - V_d) / V_m$$



Resuscitation, 2009

	Vs (DS)	Vd (DS)	Vm (DS)	IP
0-10 jours	46 (10)	24 (7)	12 (7)	0.6-2.2
11-90 jours	75 (15)	42 (10)	24 (8)	
3-12 mois	114 (20)	74 (14)	46 (9)	0.7 - 1.7
1-3 ans	124 (10)	85 (10)	65 (11)	0.7 - 1.5
3-6 ans	147 (17)	94 (10)	65 (9)	0.6 - 1.5
6-10 ans	143 (13)	97 (9)	72 (9)	0.5 - 1.4
10-18 ans	129 (17)	81 (11)	60 (8)	0.6-1.3

O'Brien, 2015

Tontisirin, 2007

Rollet Cohen, 2021

EVALUATION DYNAMIQUE

Hypocapnie → Vasoconstriction → ↓ Vd
 Hypercapnie → Vasodilatation → ↑ Vd
 Fièvre → Vasodilatation → ↑ Vd

Bonne estimation de l'HTIC

IP > 1,3 et Vd < 25cm/s

O'Brien 2015; Trabold 2004

Bonne estimation de la PPC

PPC = PAM × Vd / Vm + 14

Abecasis, 2020

DTC Diagnostic ? ou POCUS ?

Avantages / Applications

- Non invasif / bedside
- Traumatisme crânien grave
 - HTIC *O'Brien, 2015*
 - Controversé dans les guidelines *Kochanek, PCCM 2019*
 - PPC *Abecasis, 2020*
- Outil pronostic ?
 - post ACR *Lovet, 2018*
 - Trauma crânien *O'Brien, 2018*
 - Sepsis *Albegaly, 2020*
 - ECMO *Rilinger, 2017*

Limites

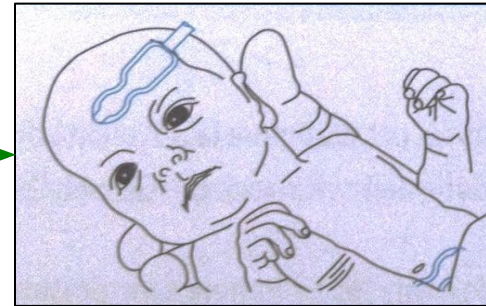
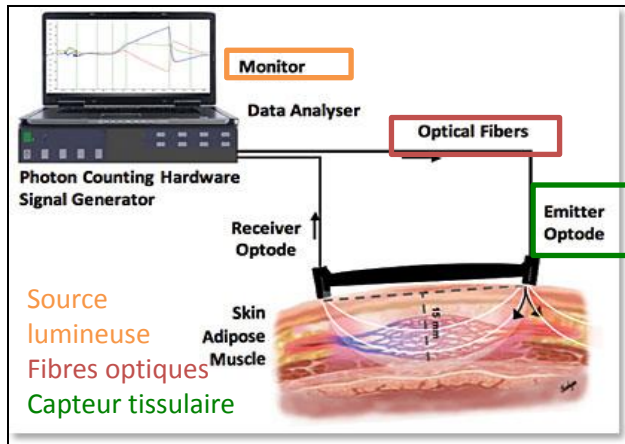
- Peu nombreuses !
- Mesure discontinue...
- Sous estimation vélocité en fonction de l'angle de tir doppler
- Fenêtres

Recommandations ?

- Infections du SNC
- HSA, ME
- ECMO

Millet, Child Nerv Syst 2021

► NIRS cérébrale



$$[rScO_2 = HbO_2/Hb]$$

$$FTOE \text{ (extraction } O_2) = [SpO_2 - rScO_2] / SpO_2$$

O₂ post extraction (veinule) ↔ ScvO₂

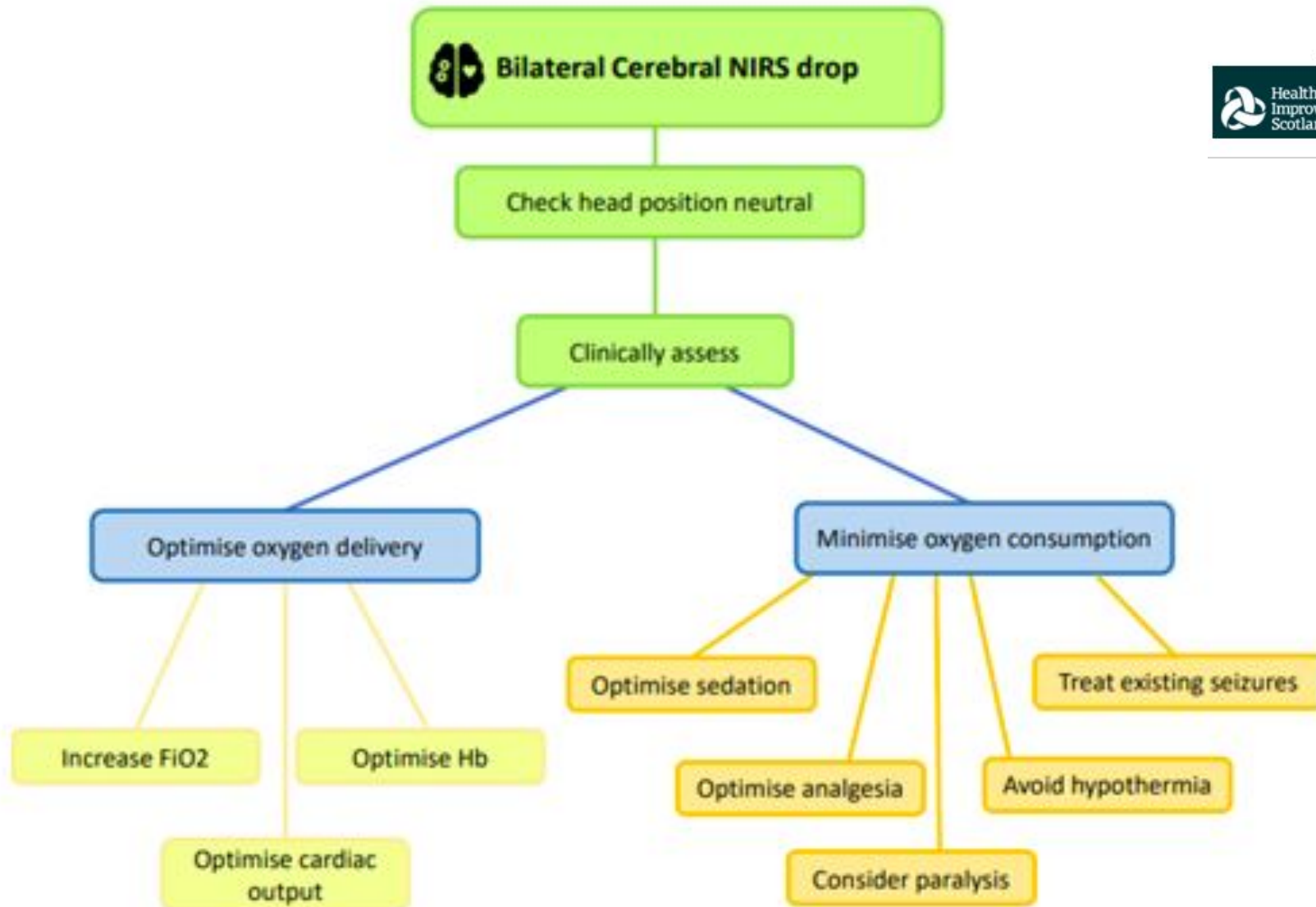
Reflet de l'adéquation apports/besoins en O₂

J. Appl Physiol 2002

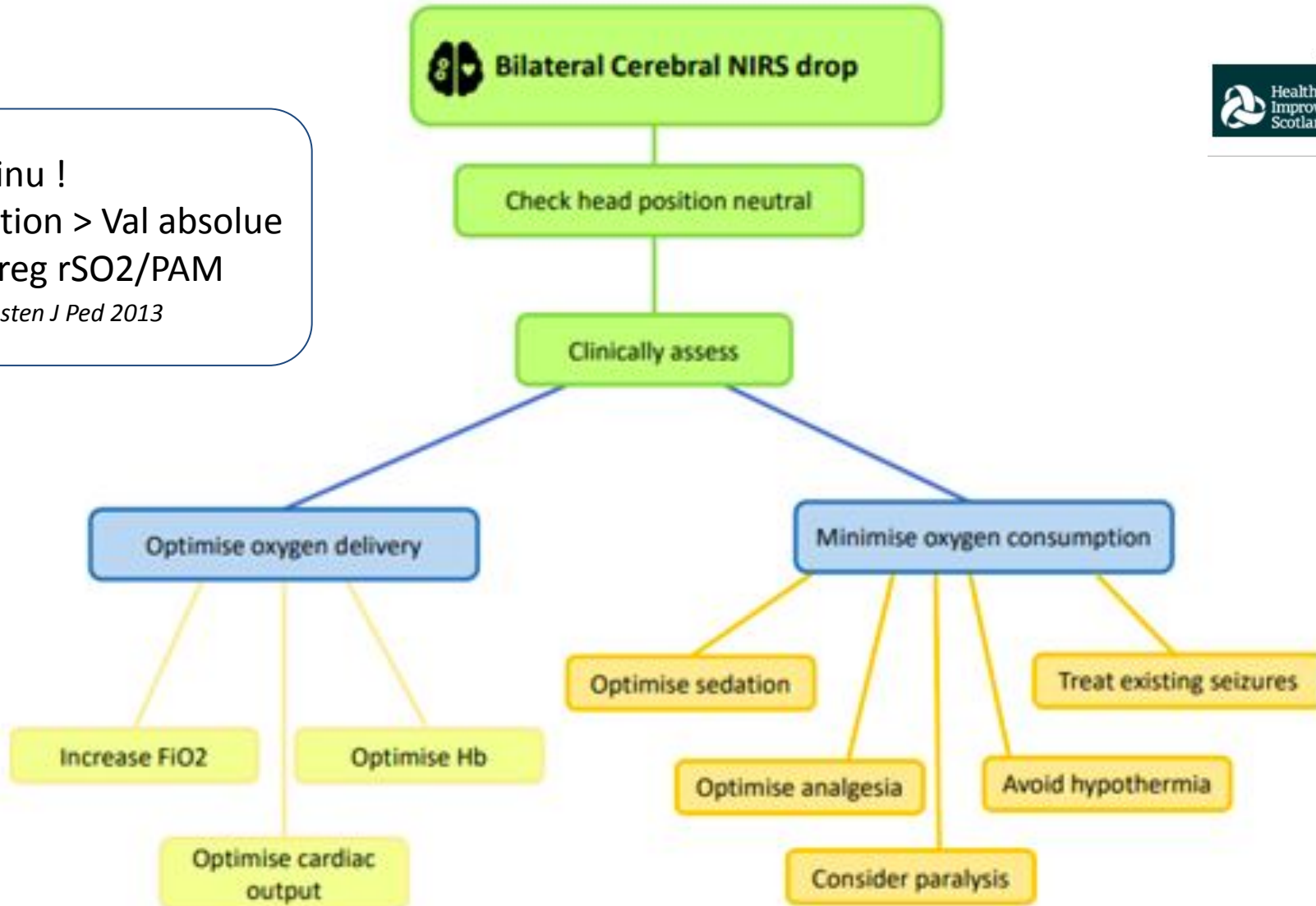
Jöbsis, Science 1977 ; Myers J Biomed Optic 2005

Normes chez l'enfant (NRS +++): rScO₂ entre 50 et 80%
Désaturation cérébrale: Δ20% par rapport à valeur de base >> 50%

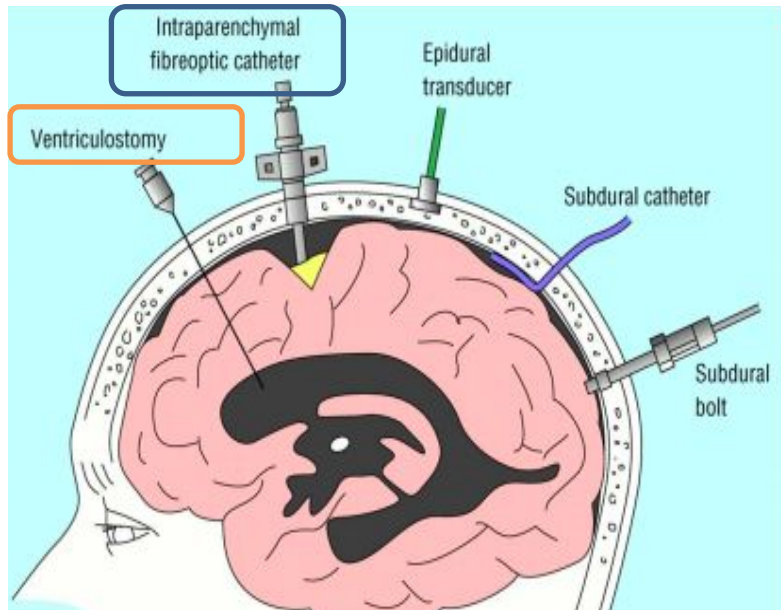
Michelet Ped Anesth 2015



Continu !
Variation > Val absolue
Autoreg rSO2/PAM
Alderliesten J Ped 2013



► MESURE DE PRESSION INTRA CRÂNIENNE



+

-

PIC

Facile, rapide
Peu d'EI
<2% infections

Pas de soustraction
Fiabilité (plus j)

PIV

Gold Std

Neurochir

=

Fiable

Infections (5%)

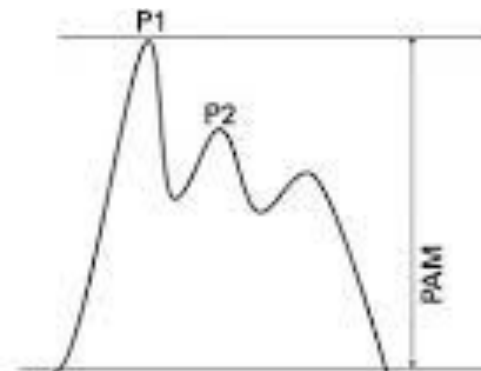
DVE

Soustraction

Hémorragies (5-15%)

Anderson et al, 2004; Yang et al 2020; Lang et al, 2023

Analyse de la courbe →



► MESURE DE PRESSION INTRA CRÂNIENNE

Age	PAM mmHg	PPC mmHg
0-5 ans	> 55 (1M-12M) > 60 (1-5A)	> 40
5-11 ans	> 70	> 50
11-17 ans	> 80	> 50-60
> 17 ans	> 80	> 60

Obj thérapeutique
Quelle PPC minimale ?

Kumar et al, 2014
Allen et al, 2014
Kochanek et al, 2019

PPC = PAM-PIC

DSC = PPC/RVC

→ **Recherche seuil optimal pour
obtenir le meilleur DSC**

► MESURE DE PRESSION INTRA CRÂNIENNE



Mesure continue

Prévenir poussées d'HTIC (aspirations, soins...)

→ éviter les complication ?

! Améliorerait le pronostic (survie / outcome) ? Controversé

Alkhoury et al 2024, El Hajj, Neuro CC 2024

Glimaker et al, 2014; Lang et al 2023; Agrawal 2024

Traumatisme crânien



TC grave Gsg<8

Algorithme
basé sur la PIC :
indispensable

Kochanek 2019

Infections SNC

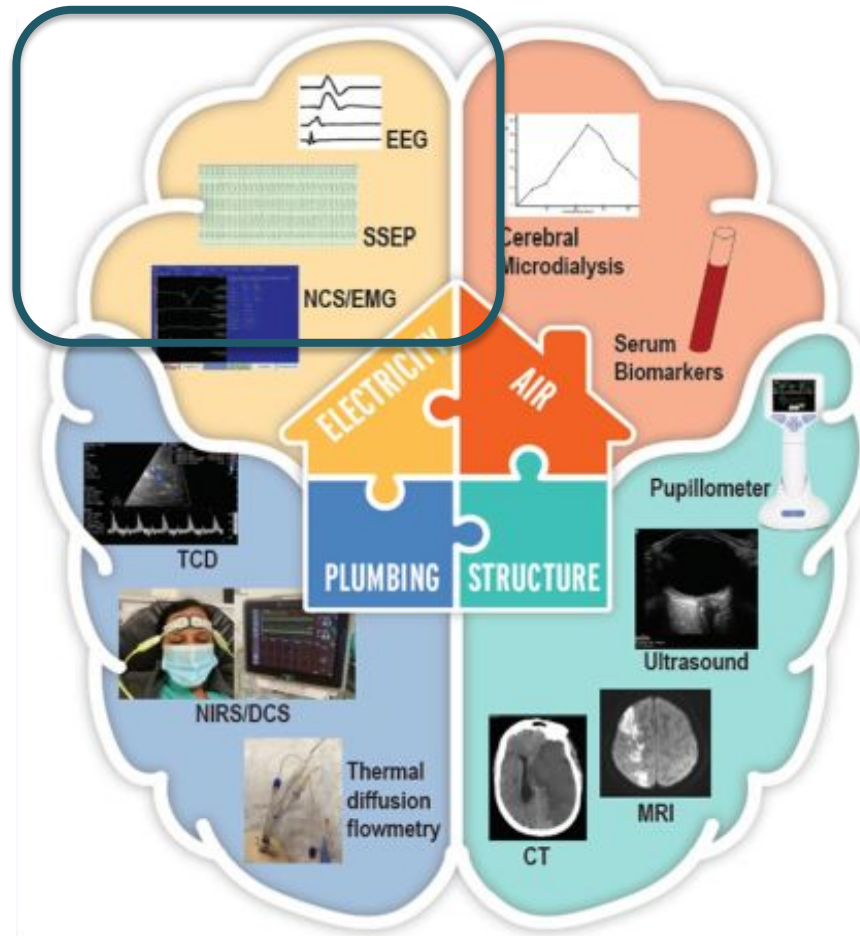
→ + d'intervention (PIC)

Tetens et al, 2024; Svedung et al, 2022

→ pronostic ?

Lang et al 2023; El Hajj, Neuro CC 2024

EEG



DIAGNOSTIC

Crises infracliniques
Encephalopathie
→ Coma inexpliqué



INDICATIONS

Larges ! Etio/prono
TC, coma métabolique,
Coma post anoxique
Infections

PRONOSTIC

Tracé de fond , Réactivité ?
Coma post anoxique

Attention :

- âge
- sédation-analgésie

Guérit Réanimation 2007

Tableau 1 Classification de Synek [11].

Stade	Description	Classification de Synek
0	Normal	
1	Prédominance du rythme alpha (associé à du thêta et du delta)	
2	Prédominance du rythme thêta (associé à de l'alpha et du delta)	+fuseaux de sommeil = patterns bénins
3	Prédominance du rythme thêta (associé à du delta uniquement)	Pattern de signification incertaine
4	Présence uniquement d'activité delta, éventuellement associée de courts intervalles isoélectriques, alpha-coma, tracé discontinu	
5	Tracé delta de faible amplitude ou isoélectrique	+burst suppression + thêta-coma = patterns malins

Modalités

Variables...

EEG d'amplitude

EEG standard

EEG continu → accessibilité

Kirschen, et al, Ped neurol 2022

Modalités

Variables...

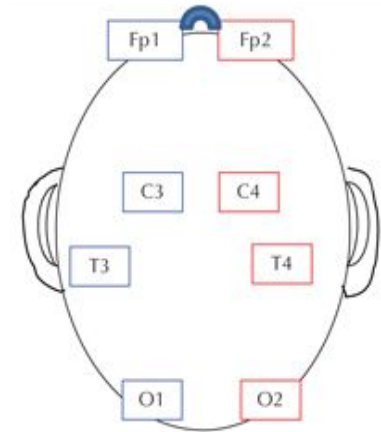
EEG d'amplitude

EEG standard

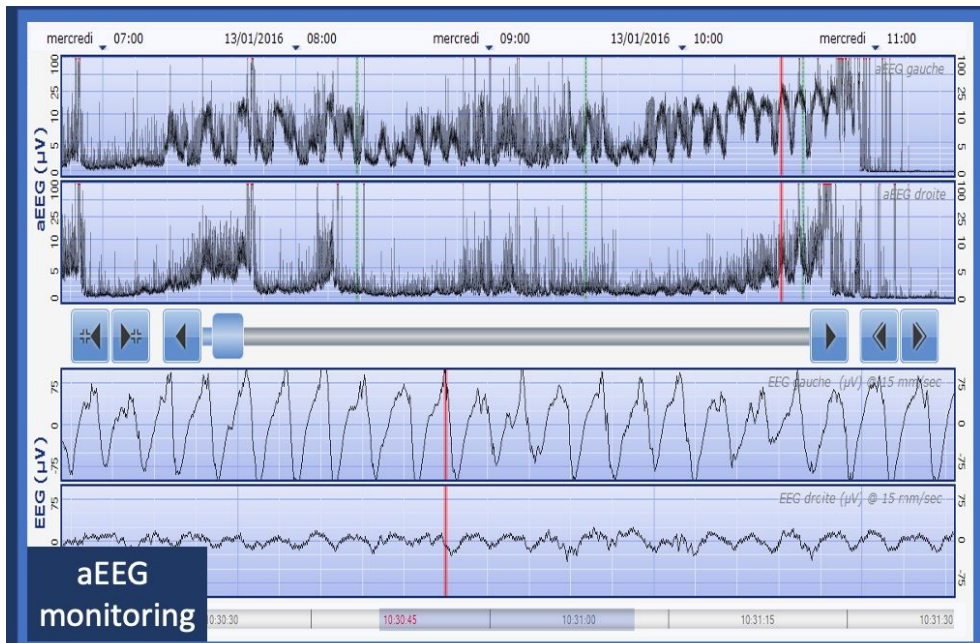
EEG continu → accessibilité

Facile d'utilisation
BedSide
Monit. continu

Bruns, et al, Front Ped 2019



Kirschen, et al, Ped neurol 2022



Tracé continu/discontinu
Symétrie ?
Synchrone ?
Modulé ?
Crises ?
Pronostic

Beck, et al, Children 2022

PERSPECTIVES ?

Différents outils

- Biomarqueurs
- Microdialyse
- Potentiels évoqués
- OSN
- Pupillarométrie

Barrit et al CC 2024

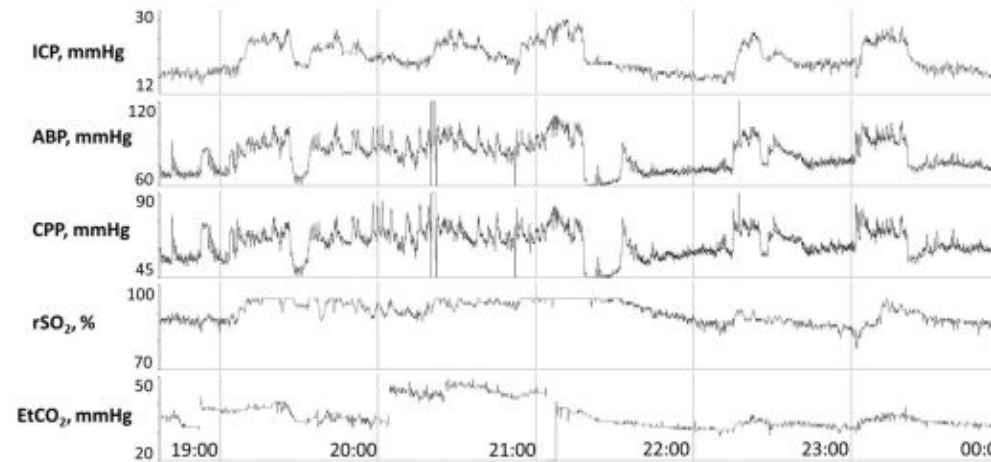
Agrawal NeuroCC 2024

Yang et al Biomed J 2020



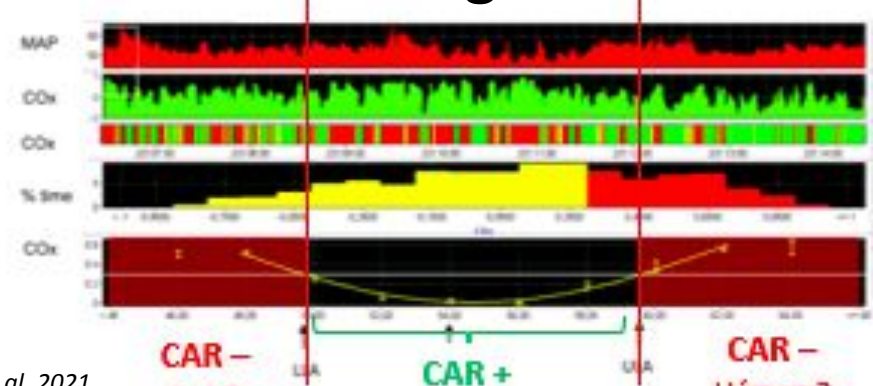
Dans quelques centres
Recherche clinique nécessaire

Neuromonito MULTIMODAL



Appavu et al NeuroCC2021

Autorégulation



Joram et al, 2021

OBJECTIFS

CONTEXTE

PHYSIOPATH

COMMENT

EN PRATIQUE

Gestion du patient ?

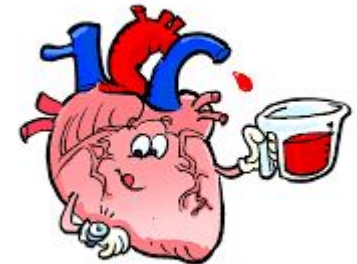
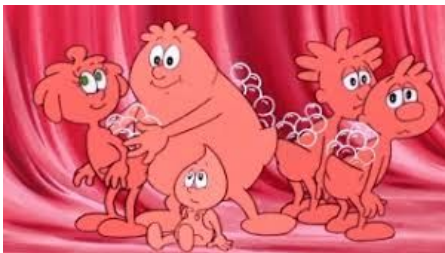
$$\text{CMRO}_2 = \text{DSC} \times 1,34 \times \text{Hb} \times (\text{SaO}_2 - \text{SvO}_2)$$

KTA !

Hb
SaO₂

Transport en O₂

Débit cardiaque



Métabolisme

PPC

PAM
PIC

RV/CO₂

EtCO₂

ACSOS: Normo-TOUT !

Capnie (VC°/VD°) Luyt AIC 2018 et ICM 2016

Thermie : contrôle ciblé T° centrale

Natrémie

Glycémie

Pression artérielle

Consommation Cér. O2

Ventilation mécanique

Sédation analgésie (!! variation PIC)

Thérapeutique

Osmothérapie

SSH 3% 2-5ml/kg puis IVSE

Obj Na 140-145mmol/L

Neurochirurgien : DVE/craniectomie

Exemples :

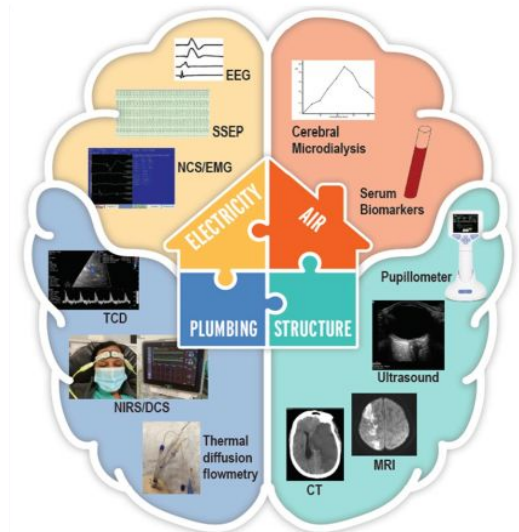
- Post TC : chute NIRS, Chute PPC sur augmentation de PIC, DTC résistifs :
 - > Osmothérapie
 - > Sédation
- Coma post anoxique : aEEG
convulsions bilatérales : tt état de mal



TAKE HOME MESSAGES

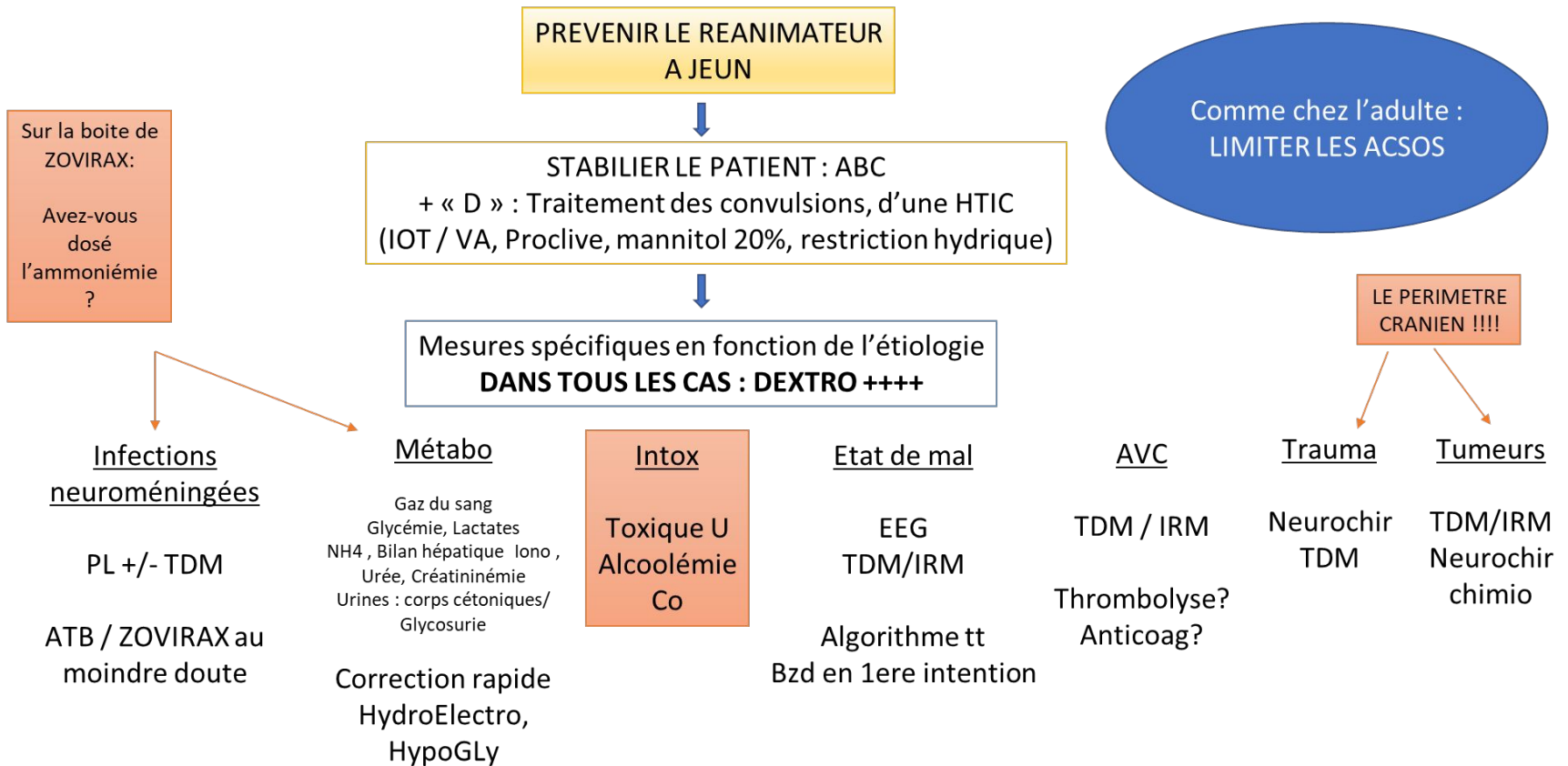
- MONITORAGE MULTIMODAL
- INTÉGRATION CLINIQUE
- COLLABORATION MED/IDE
- PRÉVENTION LÉSIONS
SECONDAIRES

Questions ?



Complément

Démarche étiologique et de prise en charge du coma



Un mot sur l'EEG

Pronostication de l'encéphalopathie post-anoxique (adulte)

Tableau 1 Classification de Synek [11].

Stade	Description	Classification de Synek
0	Normal	
1	Prédominance du rythme alpha (associé à du thêta et du delta)	+fuseaux de sommeil = patterns bénins
2	Prédominance du rythme thêta (associé à de l'alpha et du delta)	
3	Prédominance du rythme thêta (associé à du delta uniquement)	Pattern de signification incertaine
4	Présence uniquement d'activité delta, éventuellement associée de courts intervalles isoélectriques, alpha-coma, tracé discontinu	+ <i>burst suppression</i> + thêta-coma = patterns malins
5	Tracé delta de faible amplitude ou isoélectrique	

Guérit Réanimation 2007

Tableau 3 Signes EEG de pronostic relativement favorable ou défavorable (d'après [5]).

Signes de pronostic relativement favorable	Signes de pronostic relativement défavorable
Tracés peu altérés, persistance de signes veille-sommeil, présence de fuseaux, réactivité aux stimulations simples	Tracés monomorphes monotones sans modification significative des rythmes en cours d'enregistrement (ex. alpha-coma)
Coexistence de patterns électriques différents, témoins de variations probables de vigilance	Tracés périodiques ou pseudopériodiques, <i>burst suppression</i> , tracés particulièrement pauvres ou isoélectriques en l'absence de troubles métaboliques majeurs ou de sédation importante
Réactivité franche avec modification instantanée de l'activité EEG de base	Tracés non réactifs à l'ensemble des stimulations externes, même vigoureuses, à condition que l'on exclue toute pathologie sensorielle susceptible d'interférer avec la stimulation

► MÉCANISME



Atteinte généralisée des fonctions cérébrales

- Réponses anormales aux stimuli afférents normaux



Lésion majeure du tronc cérébral

- Prive hémisphères cérébraux de leur stimuli afférents normaux



Lésion cérébrale unilatérale responsable d'un engagement de la partie médiale du lobe temporal

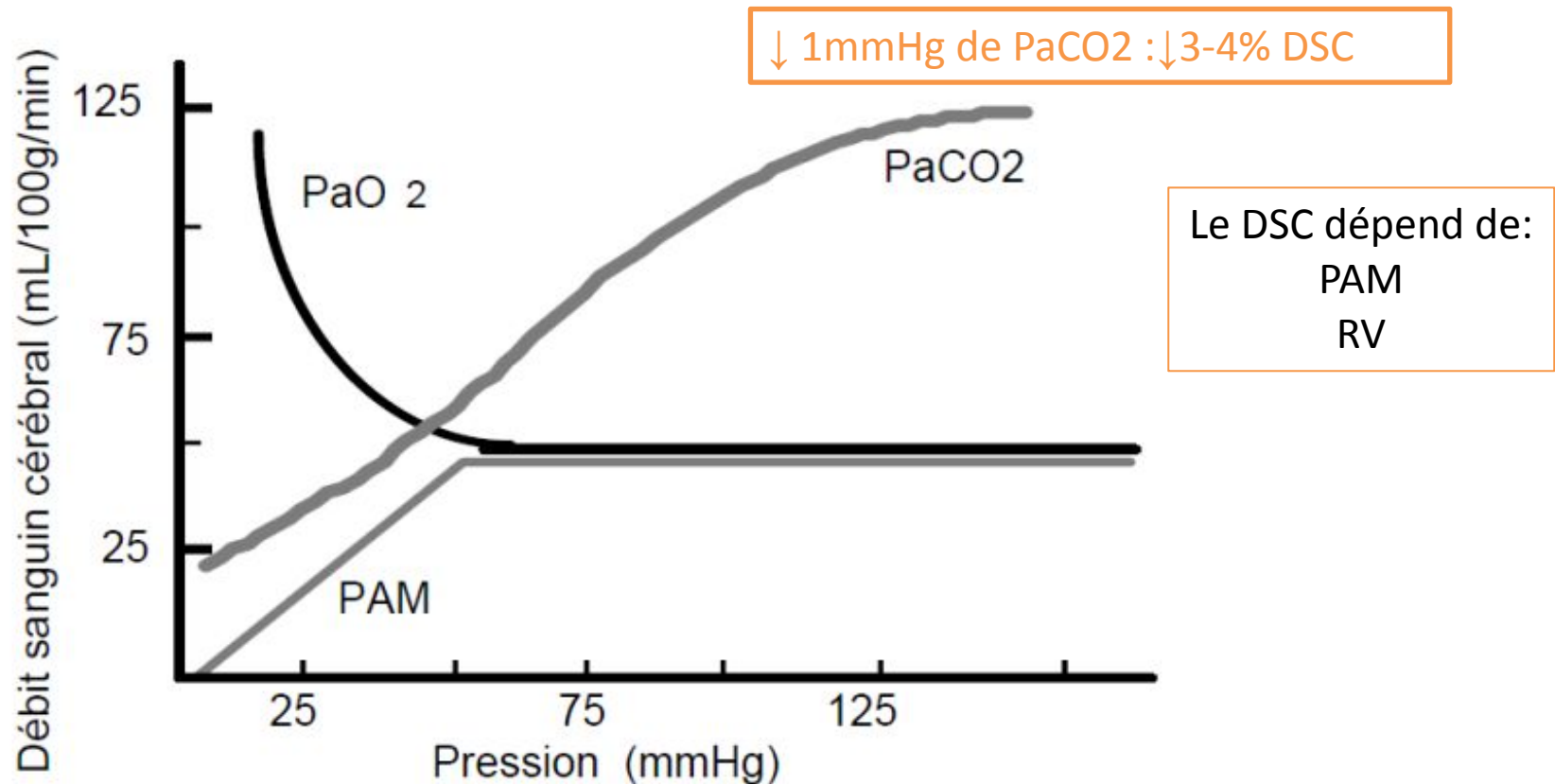
- **Atteinte secondaire du tronc cérébral** par compression



Œdème cérébral

- **Atteinte de l'ensemble des fonctions cérébrales**
Apparition d'un engagement temporal bilatéral puis central
- **Atteinte secondaire du tronc cérébral**

3 DÉTERMINANTS DU CONTRÔLE INTRINSÈQUE DSC



EEG d'amplitude : aEEG

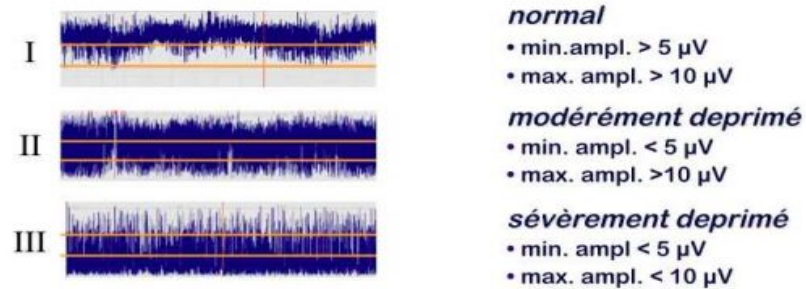


Figure 6: Classification de al Naqeeb

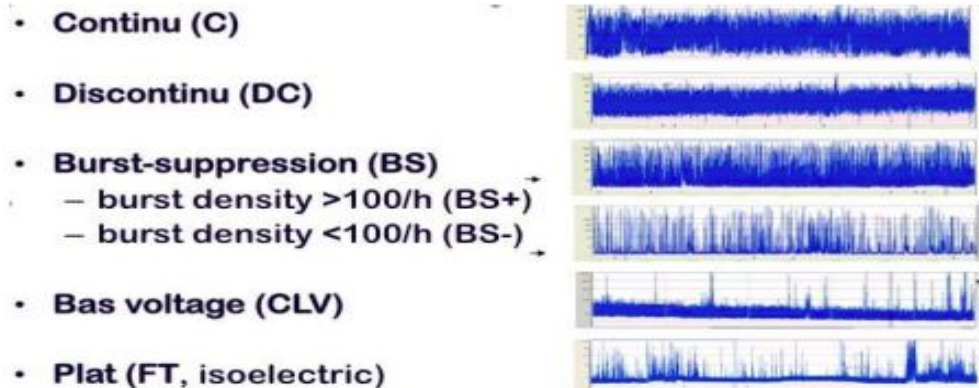


Figure 7: Classification de Hellström-Westas et Rosén

