



L'ENFANT TRAUMATISE GRAVE EN REANIMATION PEDIATRIQUE

Mémoire présenté par :

Docteur Houcine BEN BASSOU

Né le 05/10/1993

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE SPECIALITE EN MEDECINE

Option : Anesthésie – Réanimation

Sous la Direction de Professeur : Mustapha Harandou

Session juin 2025

M. HARANDOU Mustapha
Chef de Service Réanimation
Hôpital Niere - Enfant
FAS

PLAN

I. Introduction	9
II. Objectifs	11
III. Type de l'étude	11
A. Période d'étude et lieu	11
B. Critères d'inclusion	11
C. Critères d'exclusion	11
IV. Matériel et Méthodes	12
1. Support de l'étude :	12
2. Données épidémiologiques	12
3. Données cliniques	12
4. Données paracliniques :	13
4.1. Données radiologiques :	13
4.2. Données biologiques :	13
4.3. Données thérapeutiques :	13
4.4. Données évolutives :	14
RESULTAT	15
I. Données épidémiologiques :	16
1. Age :	16
2. Sexe :	17
3. Fréquence selon les mois ;	18
4. Durée d'hospitalisation	19
5. Antécédents :	20
6. Mécanisme :	21
7. Mode de transport :	22
8. Délai de transport :	23

II. Données cliniques :	24
1. Score de Glasgow :	24
2. Score de Liège :	26
3. Etat des pupilles :	27
4. Déficit neurologique :	28
5. Tension artérielle à l'admission :	28
6. Fréquence cardiaque :	29
7. Hémorragie extériorisée :	30
8. Etat respiratoire :	31
III. Données paracliniques :	32
1. Imagerie et Doppler Trans crânien :	32
a. Étage crânio-faciale :	33
b. Étage cervicale :	39
c. Étage thoracique :	39
d. Étage abdomino-pelvien :	42
e. Appareil Locomoteur :	43
f. TDM cérébral de contrôle :	44
g. Doppler trans-crânien :	46
2. Biologie et Gaz du sang :	48
a. Hémoglobine :	48
b. Plaquettes :	48
c. Bilan de crase :	48
d. Natrémie :	48
e. Glycémie :	49
f. CPK:	49

g. Gaz du sang :.....	49
IV. Scores :.....	51
1. Pediatric Trauma Score (PTS) :	51
2. Injury Severity Score (ISS) :.....	51
V. Prise en charge thérapeutique :.....	51
1. Prise en charge pré-hospitalière :.....	51
2. Prise en charge au service des urgences :	52
3. Prise en charge au service de réanimation :	53
4. Réanimation hémodynamique :	53
a. Remplissage vasculaire :.....	53
b. Catécholamines :.....	53
c. Transfusion :.....	53
d. Abord veineux :.....	54
e. Monitoring de la pression artérielle :.....	54
5. Réanimation respiratoire :	55
a. Oxygénothérapie :.....	55
b. Intubation-ventilation :	55
c. Drainage thoracique :.....	55
6. Réanimation neurologique :	56
a. Sédation :.....	56
b. Osmothérapie :	56
c. Traitement anticonvulsivant :	56
d. Neuro-monitorage :	57
e. Mesures générales :	58
7. Neurochirurgie :.....	60

VI. Évolution–complications :	65
1. Hypertension intracrânienne (HTIC) :	65
2. Infection nosocomiale :	65
3. État de Choc :	66
4. État de mal épileptique :	66
5. Escarres :	66
6. Trachéotomie :	66
7. Décès :	67
8. Glasgow Outcome Scale (GOS) à la sortie de réanimation :	67
DISCUSSION	69
I. Physiopathologie du polytraumatisme chez l'enfant	70
1. Lésions de l'enfant polytraumatisé	70
2. Particularités de l'atteinte neurologique	71
3. Particularités de l'atteinte thoraco abdominale	75
4. Particularités de l'atteinte osseuse périphérique et vasculaire	78
II. EPIDEMIOLOGIE :	80
1. Incidence :	80
2. Age :	82
3. Sexe :	83
4. Mécanisme :	84
5. Délai de transport :	85
6. Mode de transport :	86
7. Fréquence selon les mois :	86
III. Évaluation de la gravité	88
1. Critères d'envoi d'un Service médical d'urgence régional (Smur)	88

2. Facteurs de gravité.....	90
3. Scores de gravité.....	91
IV. Évaluation des détresses vitales	96
1. Examen clinique et anamnèse	96
2. Évaluation de la détresse respiratoire	97
3. Évaluation de la détresse circulatoire	99
4. Évaluation de la détresse neurologique.....	104
5. Syndrome du compartiment abdominal	105
6. Évaluation de la coagulopathie du choc hémorragique traumatique..	106
V. Examens complémentaires	113
1. Bilan lésionnel immédiat à l'admission	113
2. Radiographies standards	115
3. Échographie focused assessment with sonography for trauma (FAST) et extended FAST (E-FAST)	117
4. Doppler transcrânien (DTC)	117
5. Tomodensitométrie (TDM).....	119
6. Artériographie en urgence.....	122
7. IRM.....	122
8. Examens biologiques	124
VI. Synthèse du bilan lésionnel.....	125
VII. Prise en charge des détresses vitales	126
1. Prise en charge de la détresse respiratoire.....	126
2. Prise en charge de la détresse circulatoire	128
3. Prise en charge initiale de la détresse circulatoire	128
4. Prise en charge de la détresse neurologique	137

5. Prise en charge des lésions :	141
6. EVOLUTION :	144
7. Mortalité :	145
CONCLUSION	148
Résumé	150
BIBLIOGRAPHIE	151

I. Introduction

Un patient est défini comme Traumatisé Grave dès qu'il a subi un traumatisme violent, et ce, indépendamment des lésions initialement apparentes ou supposées.

Le patient est défini comme Polytraumatisé, s'il présente au moins deux lésions traumatiques d'organes suspects ou avérées dont au moins une engageant son pronostic vital.

La traumatologie grave extrahospitalière est un problème de santé publique. Le blessé d'un traumatisme grave présente un tableau de choc hémorragique dans 50% des cas, ce qui entraîne le décès du patient dans l'heure suivant le traumatisme .

L'objectif de la prise en charge du polytraumatisé dans un centre de référence dit « Trauma Center » est le diagnostic rapide des lésions causées par le traumatisme, ainsi que sa prise en charge multidisciplinaire dans le but de diminuer la morbi-mortalité du patient.

Un Trauma Center est une structure hospitalière regroupant sur un même lieu un plateau technique et les différents médecins spécialistes dédiés à la prise en charge du patient traumatisé grave.

L'évaluation de la gravité des patients traumatisés est un élément fondamental de leur prise en charge initiale, puisqu'il détermine les moyens préhospitaliers et hospitaliers devant être mis en œuvre. Cependant, cette tâche n'est pas simple en raison de la grande variabilité des lésions, tant en termes de sévérité que de localisation anatomique, et impose des outils d'évaluation adaptés. C'est dans ce but que de nombreux scores et indices ont été développés (essentiellement d'origine américaine).

La plupart des scores ont été créés pour des populations adultes, et ne sont pas transposables à la population pédiatrique. Les paramètres physiologiques de triage chez l'adulte génèrent un taux de sous-triage important chez les enfants. Par exemple, la pression artérielle systolique est maintenue plus longtemps chez l'enfant .

Les critères hémodynamiques sont de mauvais prédicteurs de la gravité du traumatisme chez les enfants.

Il existe peu de littérature concernant l'enfant traumatisé grave du fait de sa moindre prévalence. Les principes de prise en charge de l'enfant traumatisé grave sont dérivés de la littérature des traumatisés graves adultes mais ne font l'objet d'aucune recommandation de haut grade. Ceci laisse un certain degré d'imprécision sur la prise en charge initiale du patient notamment dans la réalisation des examens complémentaires.

II. Objectifs

Ce travail a pour objectif de :

- Étudier les caractéristiques épidémiologiques, d'analyser la prise en charge diagnostique et la conduite thérapeutique, des patients ayant présenté un traumatisme grave et qui ont été hospitalisés au service de réanimation mère et enfant au CHU Hassan II de Fès.
- Faire une revue de la littérature récente.

III. Type de l'étude

A. Période d'étude et lieu

Il s'agit d'une étude rétrospective, portant sur une période allant de 01/01/2023 à 01/12/2024, qui concerne 52 cas patients qui ont été pris en charge pour traumatisme grave au sein du service de réanimation pédiatrique de l'hôpital mère et enfant au CHU Hassan II Fès.

B. Critères d'inclusion

- Tous les enfants admis au service de réanimation pédiatrique pour traumatisme grave, pendant la période d'étude ont été inclus.
- L'âge est compris entre 0 et 15 ans.

C. Critères d'exclusion

Ont été exclus de l'étude :

- Tous les patients dont l'âge était supérieur à 15 ans.
- Le traumatisé grave n'ayant pas bénéficié d'hospitalisation au service de réanimation pédiatrique mère et enfant.

IV. Matériel et Méthodes

1. Support de l'étude :

L'étude a intéressé les données collectées du logiciel HOSIX et les dossiers disponibles aux archives du service de réanimation mère et enfant au CHU Hassan II de Fès. Cette étude a été facilitée par une fiche d'exploitation, qui a permis le recueil des données sociodémographiques, cliniques, paracliniques, thérapeutiques et pronostiques.

Les données ont été traitées à l'aide de Microsoft office Excel 2018. Ainsi, afin de comparer nos résultats avec ceux de la littérature, nous avons procédé à une recherche bibliographique actualisée.

Au final, 52 patients victimes d'un traumatisme grave, remplissant les critères d'inclusion de ce travail, ont été inclus dans notre étude

2. Données épidémiologiques

Ces données concernent l'âge, le sexe, l'origine, le mécanisme et les circonstances de la chute.

3. Données cliniques

- Délai d'admission.
- L'état neurologique : trouble de la conscience (score de Glasgow), convulsion, déficit sensitivo moteur, état des pupilles.
- L'état hémodynamique : fréquence cardiaque, tension artérielle, TRC
- L'état respiratoire : fréquence respiratoire, cyanose, signe de détresse respiratoire, SpO2, gaz de sang.
- L'examen générale : écoulement orifficiel (otorragies, otorrhée, épistaxis, rhinorrhée), plaie de scalp, température.

- L'examen du rachis, abdominale, bassin et de l'appareil locomoteur.

4. Données paracliniques :

4.1. Données radiologiques :

- Scanne corps entier (Body scanne).
- La radiographie standard rachis cervicale, thorax, bassin, membres.
- Échographie abdominale.
- TDM cérébrale, thoracique, abdominale.

4.2. Données biologiques :

- L'hémogramme.
- Le bilan de crase : temps de Quick, temps de céphaline activée (TCA).
- L'ionogramme sanguin, glycémie, fonction rénale, bilan hépatique, troponine, CPK/CPK MB, lactatémie, lipasémie.
- Groupe sanguin.

4.3. Données thérapeutiques :

- Intubation, ventilation, sédation.
- Remplissage vasculaire.
- Trachéotomie.
- Amines vasoactives.
- Transfusion.
- Osmothérapie.
- Traitement anticonvulsivant.
- Antibiothérapie.
- Pansement gastrique.
- Nursing.
- Intervention chirurgicale.

4.4. Données évolutives :

- La durée d'hospitalisation.
- Les complications.
- La survie ou décès.

RESULTAT

I. Données épidémiologiques :

1. Age :

Durant la période de notre étude, du 1er janvier 2022 au 1er octobre 2023, le service de réanimation mère et enfant du CHU Hassan II a accueilli 52 cas de traumatisme grave.

La moyenne d'âge dans notre série était de 7,3 ans avec des extrêmes allant de 3 mois à 15 ans.

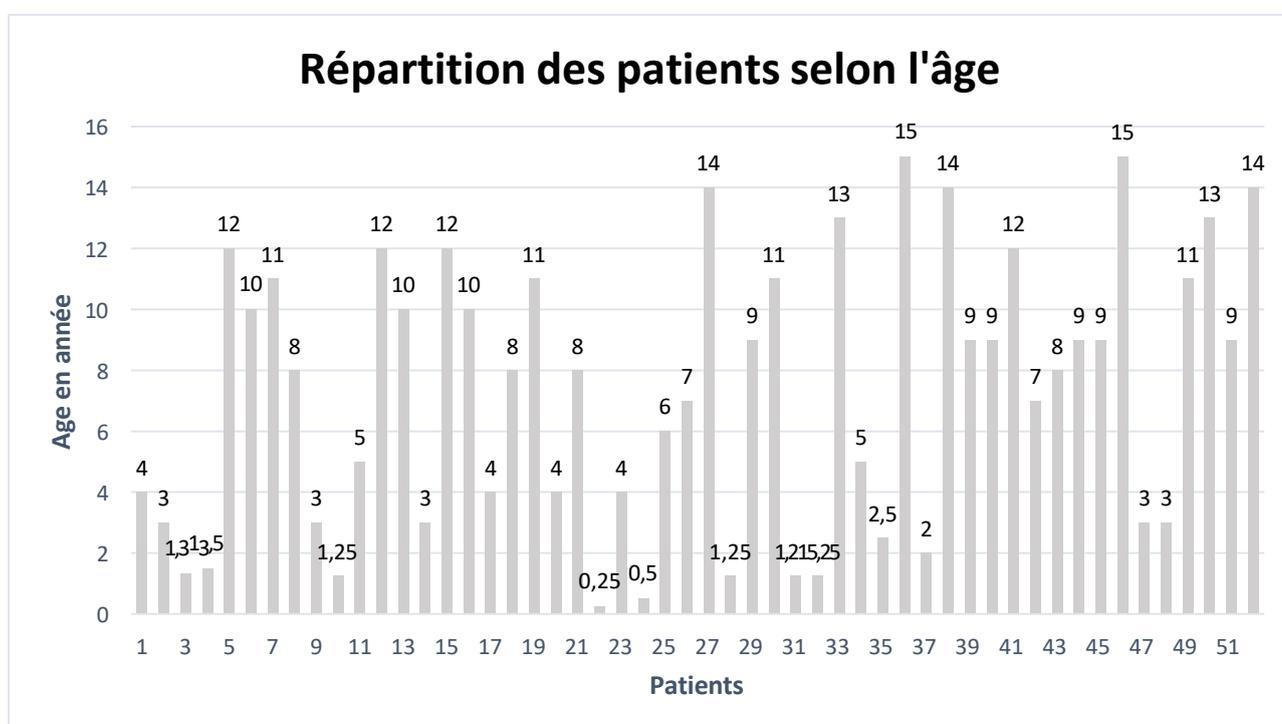


Figure 1 : Répartition des patients selon l'âge

2. Sexe :

32 de nos patients étaient de sexe masculin soit un pourcentage de 61,5%, tandis que 20 de nos patients étaient de sexe féminin soit 38,4% des cas, avec un sex-ratio garçon/fille de 1,6.

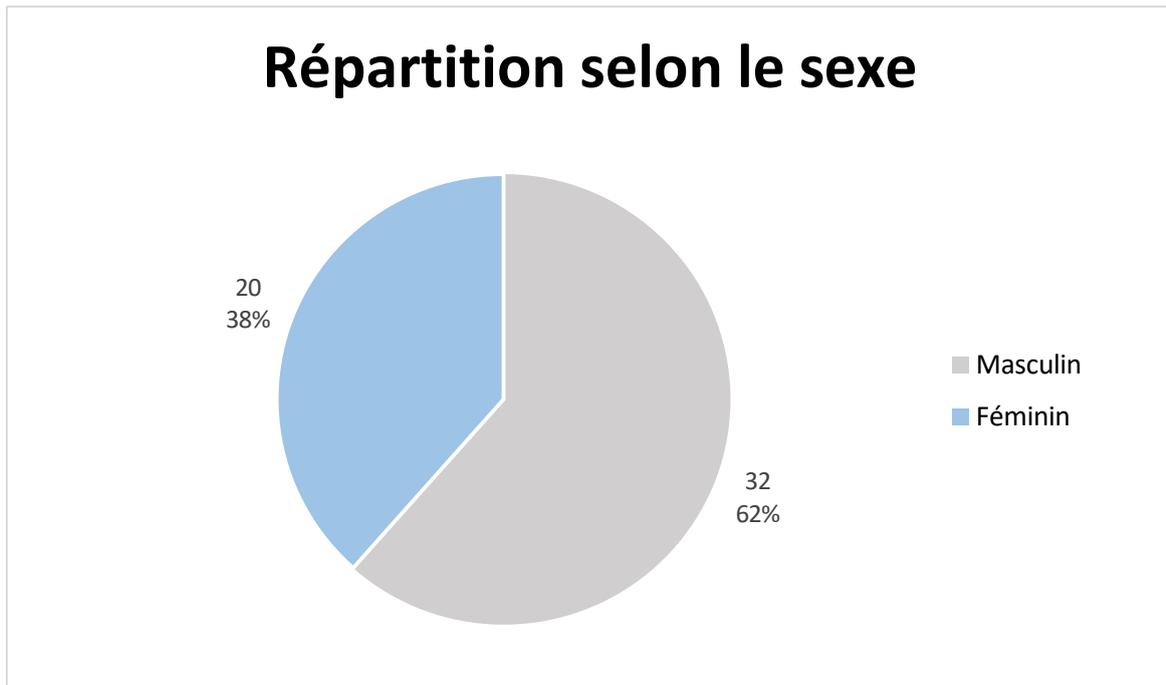


Figure 2 : Répartition des patients selon leur sexe

3. Fréquence selon les mois :

Dans notre étude, on a noté que la répartition des admissions selon les mois se caractérise par un pic au mois de Juillet avec un taux d'hospitalisation à 19% soit 10 patients.

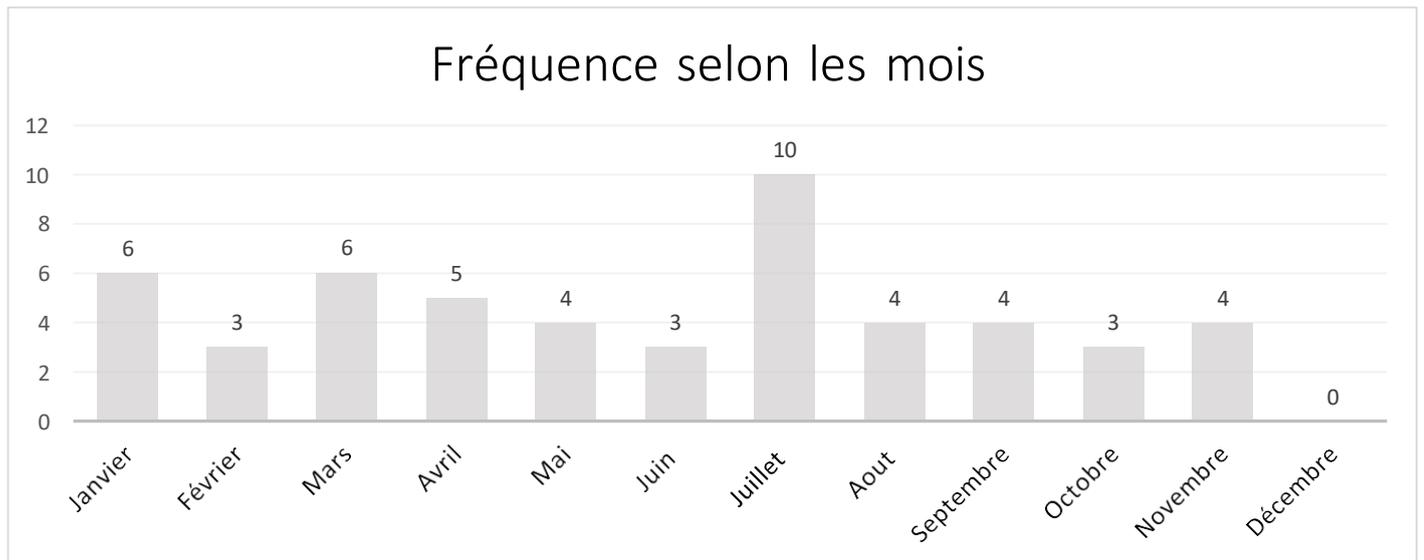


Figure 3 : Nombre de patients admis selon les mois de l'année

4. Durée d'hospitalisation

La durée d'hospitalisation moyenne en réanimation est de 12.13 jours avec des extrêmes allant de 3 heures à 77 jours.

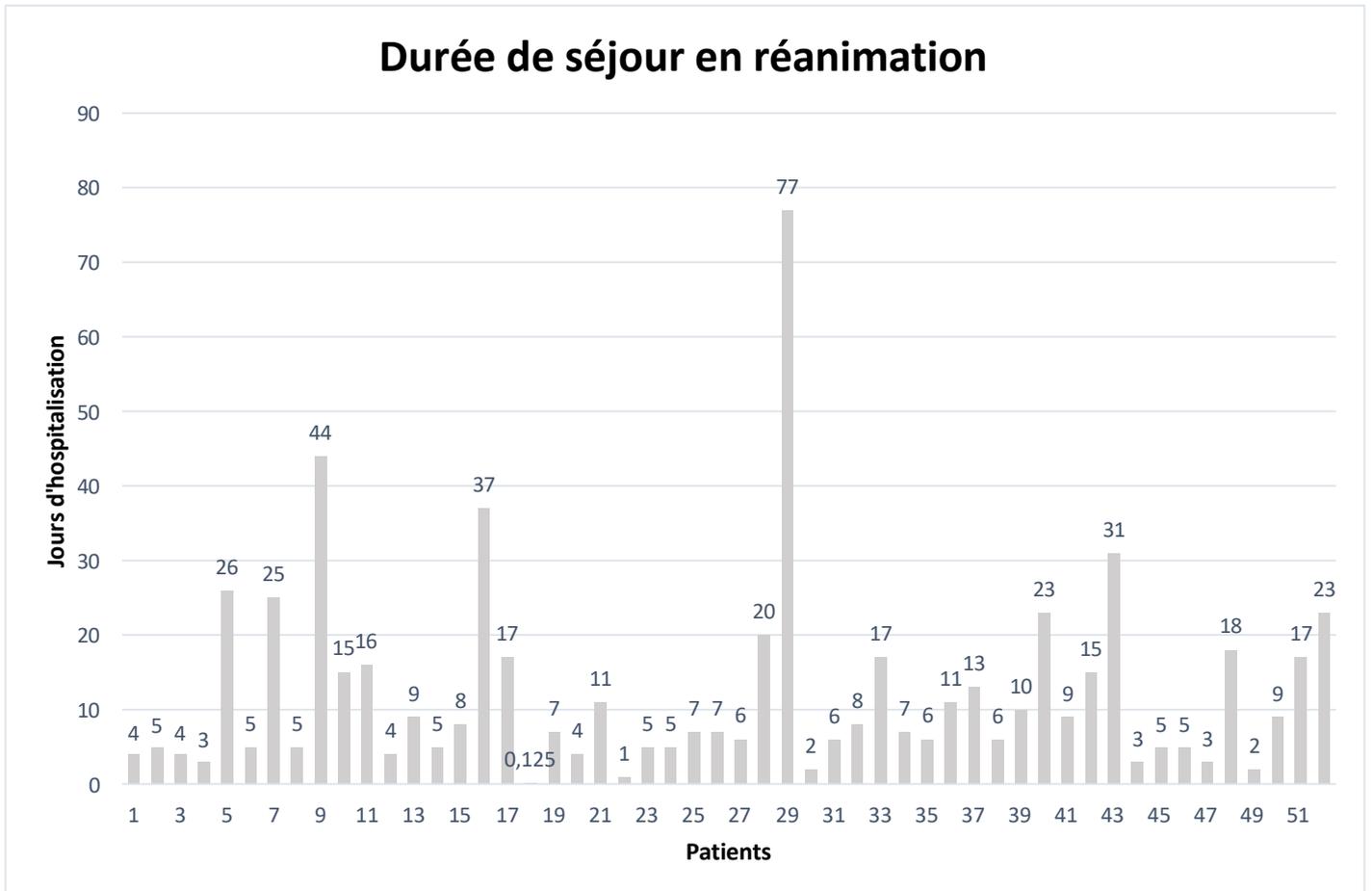


Figure 5 : Durée de séjour en réanimation par patient

5. Antécédents :

Quatre patients avaient des antécédents particuliers :

- La 1^{ère} était opérée pour une hernie de l'ovaire.
- Le 2^{ème} était Hémophile de type A.
- Le 3^{ème} était opéré pour un Kyste Dermoïde.
- Le 4^{ème} était opéré pour une ectopie testiculaire.

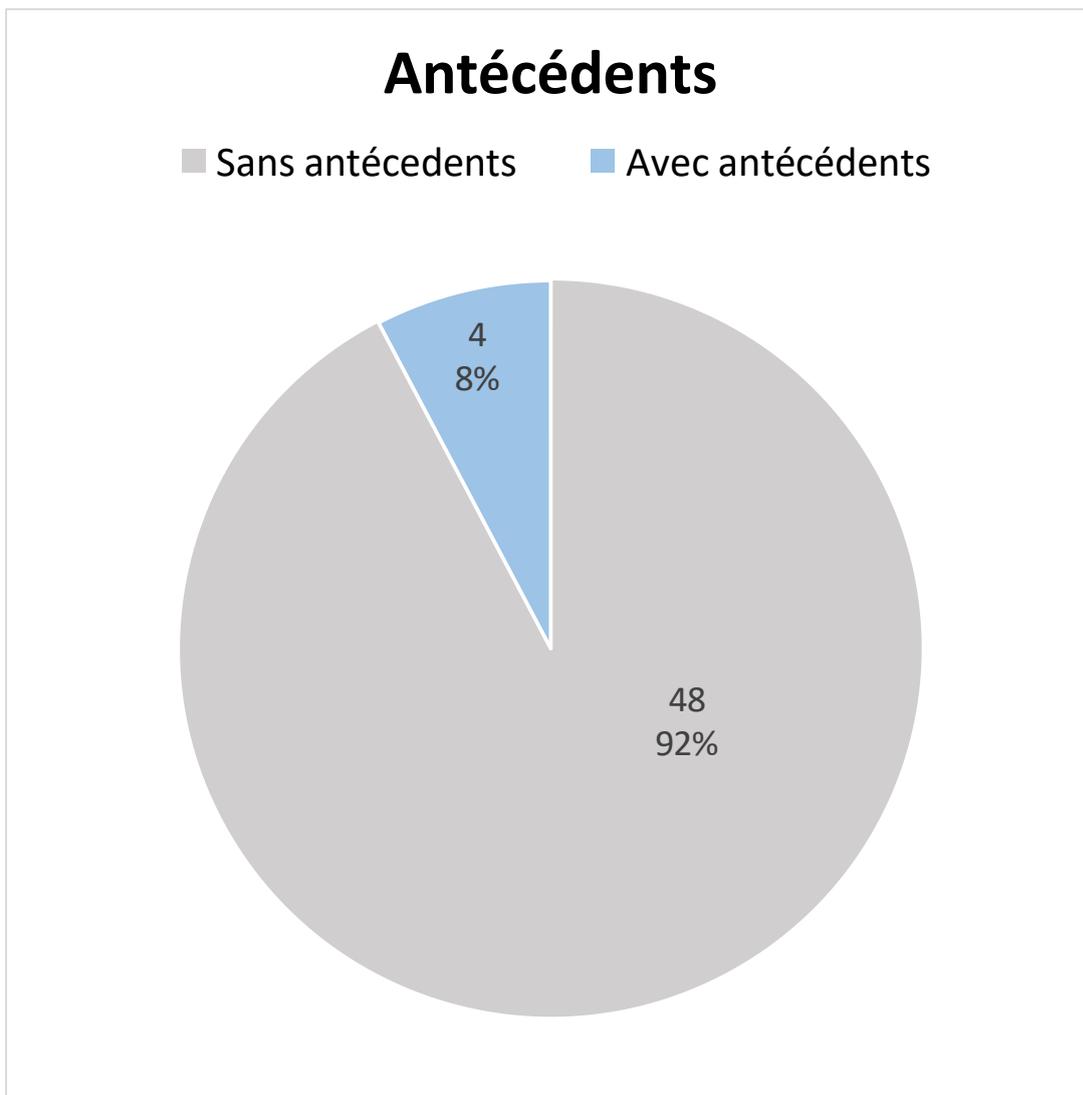


Figure 6 : Répartition des patients selon leurs antécédents

6. Mécanisme :

Les accidents de la voie publique occupent le premier rang avec 56% des cas, suivi des chutes avec 36% des cas et la dernière place est occupé par les agressions et les accidents domestique avec 4% chacun.

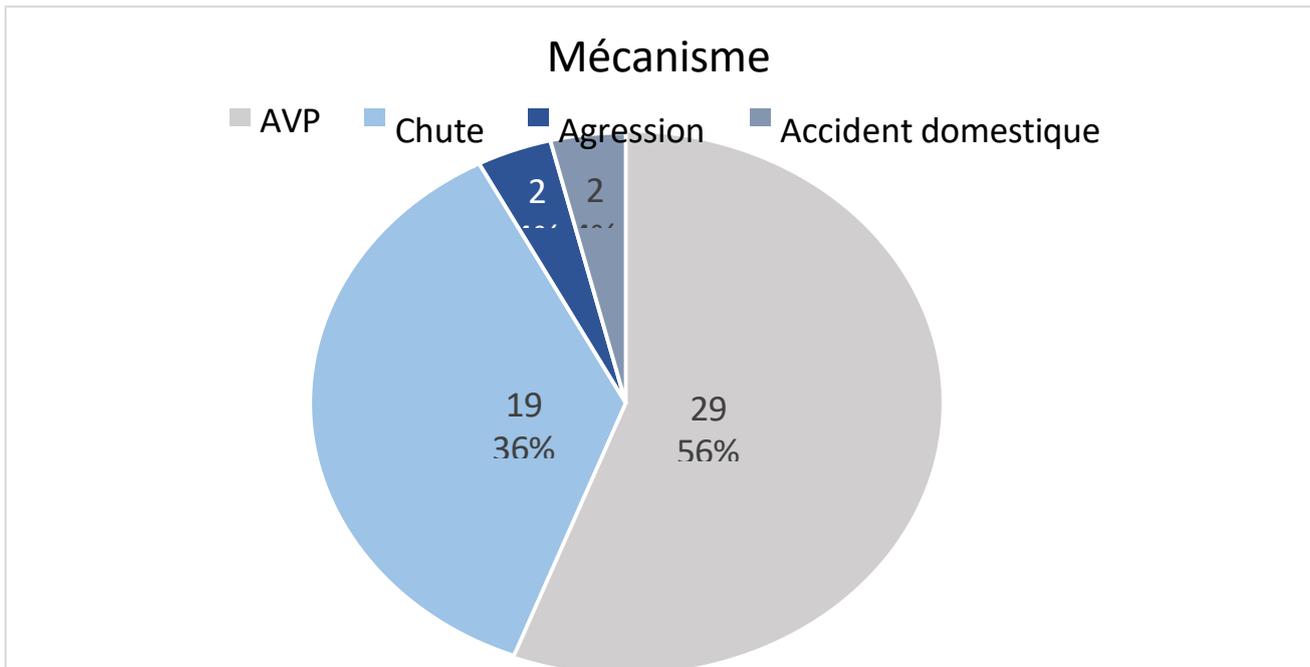


Figure 7 : Répartition des patients selon le mécanisme lésionnel

Tableau 2 : Résumé des différents mécanismes lésionnels observés dans notre étude

AVP	Piéton	22 cas	42%
	Motocycliste	2 cas	3.8%
	Voiture	5 cas	9.6%
Chute	<4m	11 cas	21%
	>4m	8 cas	15%
Agressions	Coup de bâton	1 cas	1.9%
	Coup de pierre	1 cas	1.9%
Accidents domestiques		2 cas	3.8%

7. Mode de transport :

Le transport était non médicalisé dans 67% des cas, alors qu'il était assuré par un personnel médical ou para-médical dans 33% des cas.

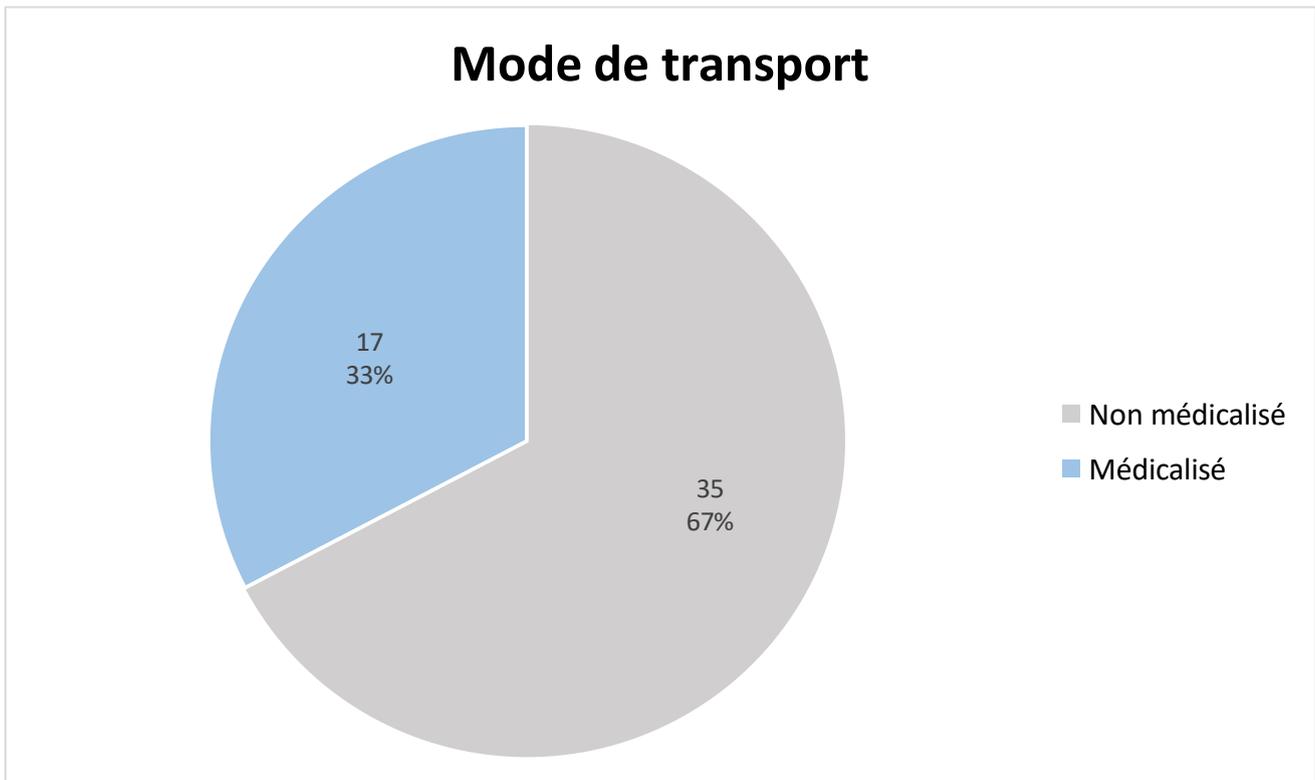


Figure 8 : Répartition des patients selon leur mode de transport à l'hôpital

8. Délai de transport :

Le délai de transport par rapport au traumatisme était <1H dans 11% des cas, entre 1H-6h dans 62% des cas, et enfin >6H dans 27% des cas.

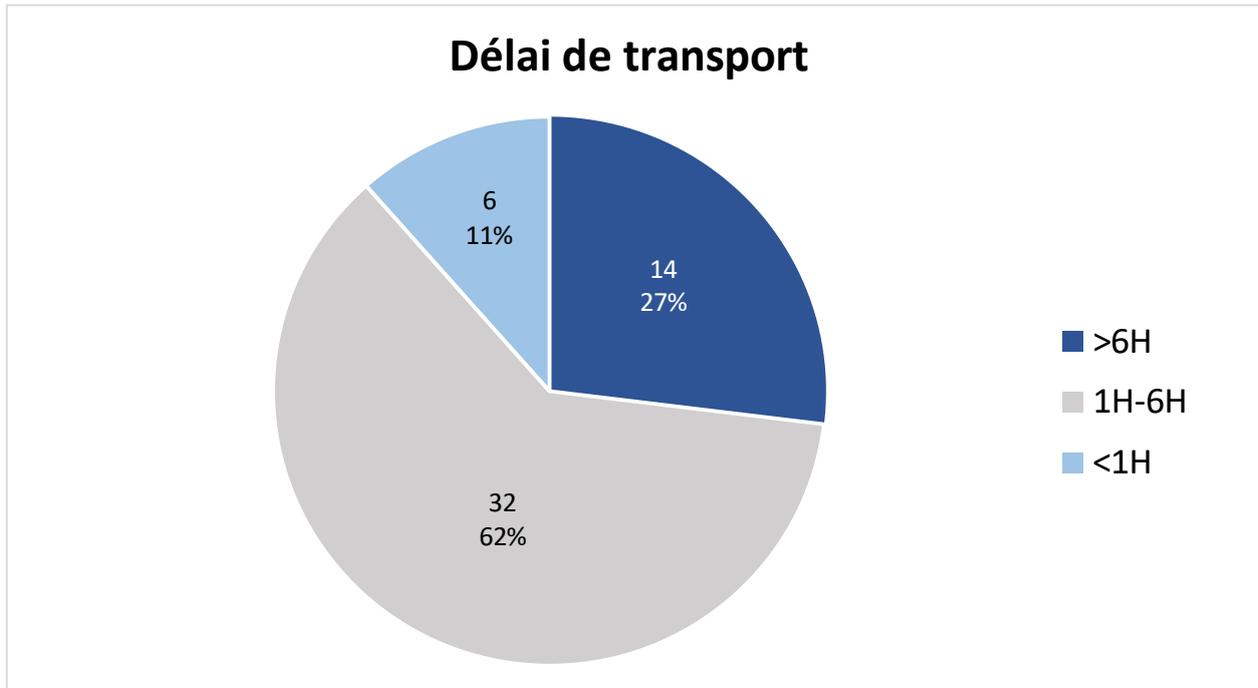


Figure 9 : Répartition des cas selon le délai de transport à l'hôpital

II. Données cliniques :

1. Score de Glasgow :

Le GCS initial des patients était coté entre 3 et 14.

- 54% des patients, soit 28 cas, avaient un GCS ≤ 8 .
- 30,7% des patients, soit 16 cas, avaient un GCS entre 9 et 12.
- 15,32% des patients, soit 8 cas, avaient un GCS ≥ 13 .

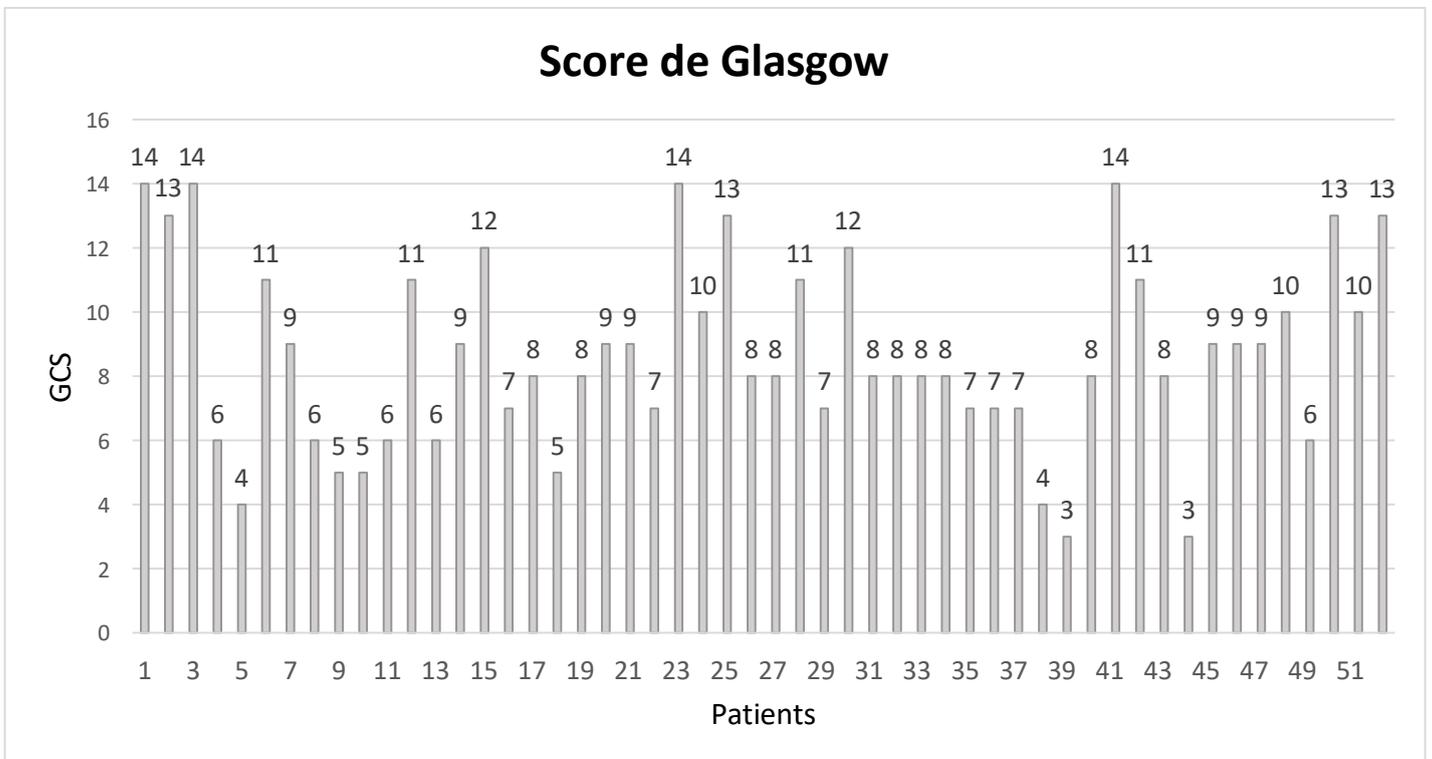


Figure 10 : Répartition des patients selon leur score de Glasgow à l'admission

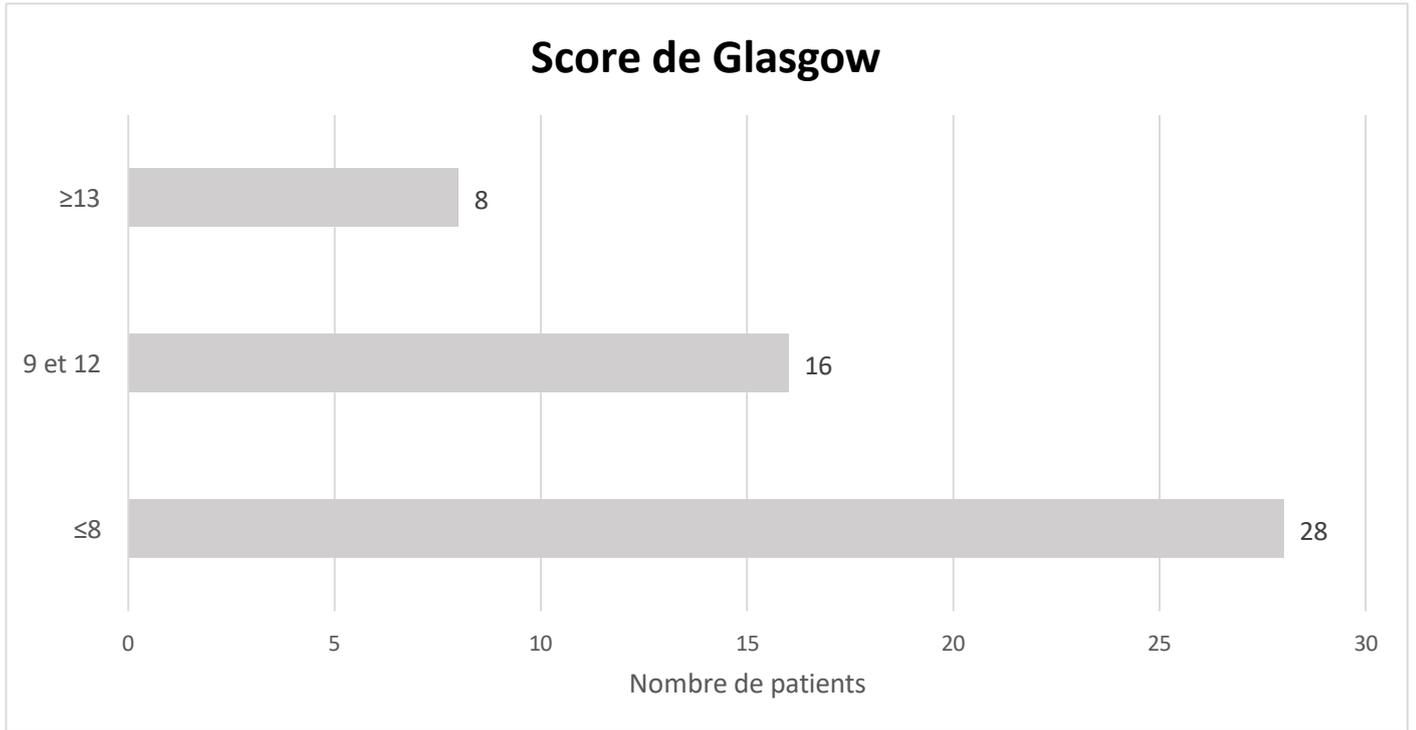


Figure 11 : Répartition des cas selon le score de Glasgow

2. Score de Liège :

Le score de Liège des patients étaient compris entre 0 et 5.

- 59,6% des patients, soit 31 cas avaient un score de Liège à 5.
- 3,8% des patients, soit 2 cas avaient un score de Liège à 4.
- 9,6% des patients, soit 5 cas avaient un score de Liège à 3.
- 13,4% des patients, soit 7 cas avaient un score de Liège à 2.
- 11,5% des patients, soit 6 cas avaient un score de Liège à 1.
- 1,9% des patients, soit 1 cas avait un score de Liège à 0.

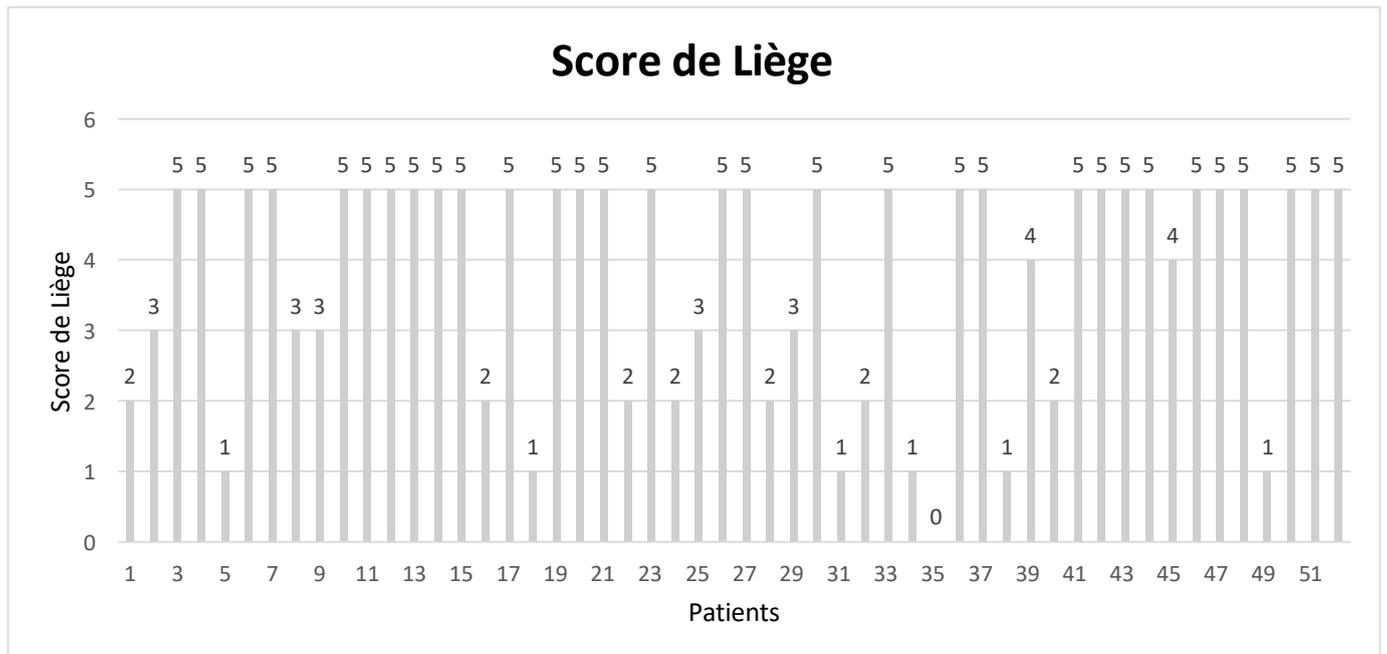


Figure 12 : Répartition des patients selon leur score de Liège à l'admission

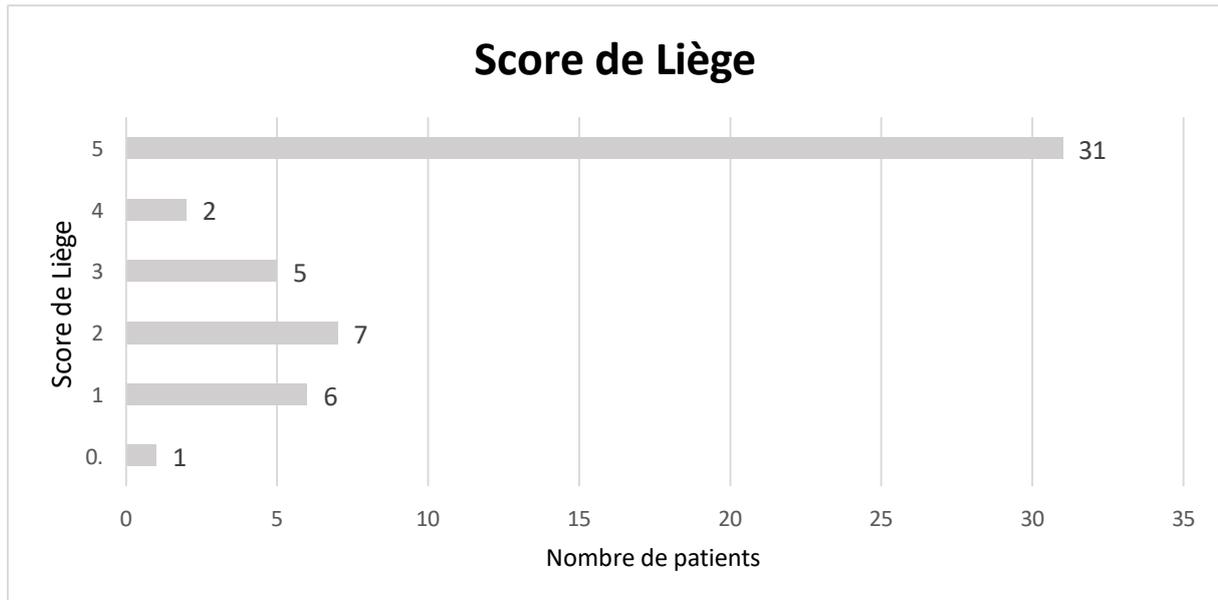


Figure 13 : Répartition des cas selon le score de Liège

3. Etat des pupilles :

Dans notre étude, 73% des patients avaient à leur admission des pupilles égales et réactives, 23% des cas avaient une anisocorie, alors que 4% se sont présentés en mydriase bilatérale aréactive.

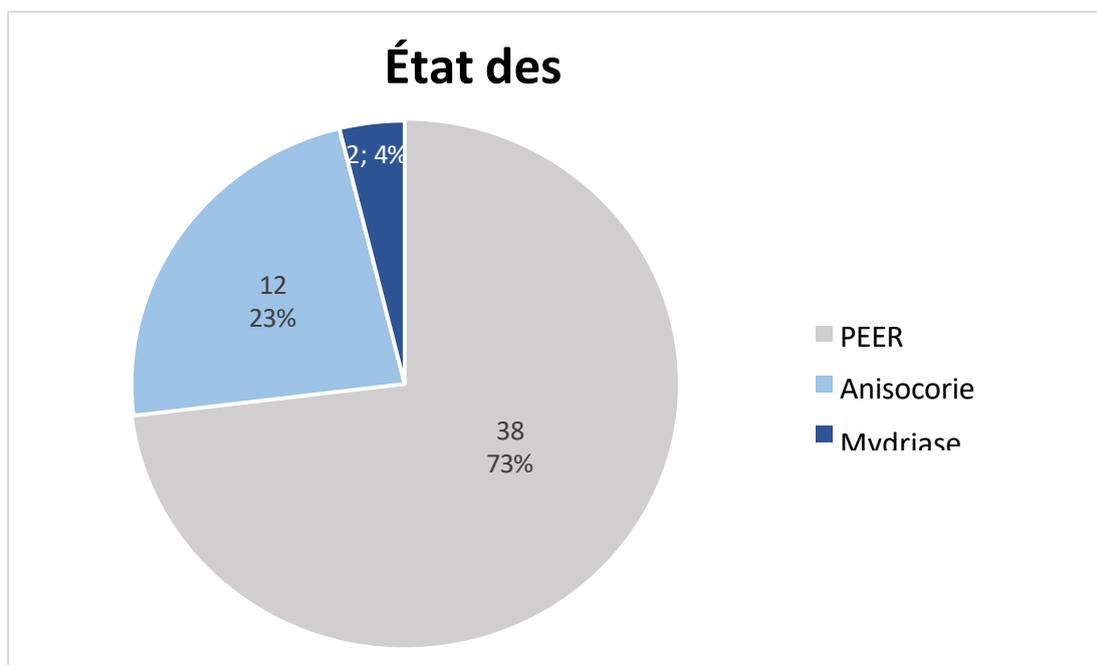


Figure 14 : Répartition des patients selon l'état des pupilles à l'admission

4. Déficit neurologique :

Dans notre série, 3,8% des cas soit 2 patients avaient un déficit neurologique à leur admission, tandis que 96,2% des cas soit 50 patients n'en présentaient pas.

5. Tension artérielle à l'admission :

Dans notre étude, 32,6% des cas soit 17 patients présentaient une hypotension artérielle à leur admission, tandis que 67,3% des cas soit 35 patients avaient une tension normale.

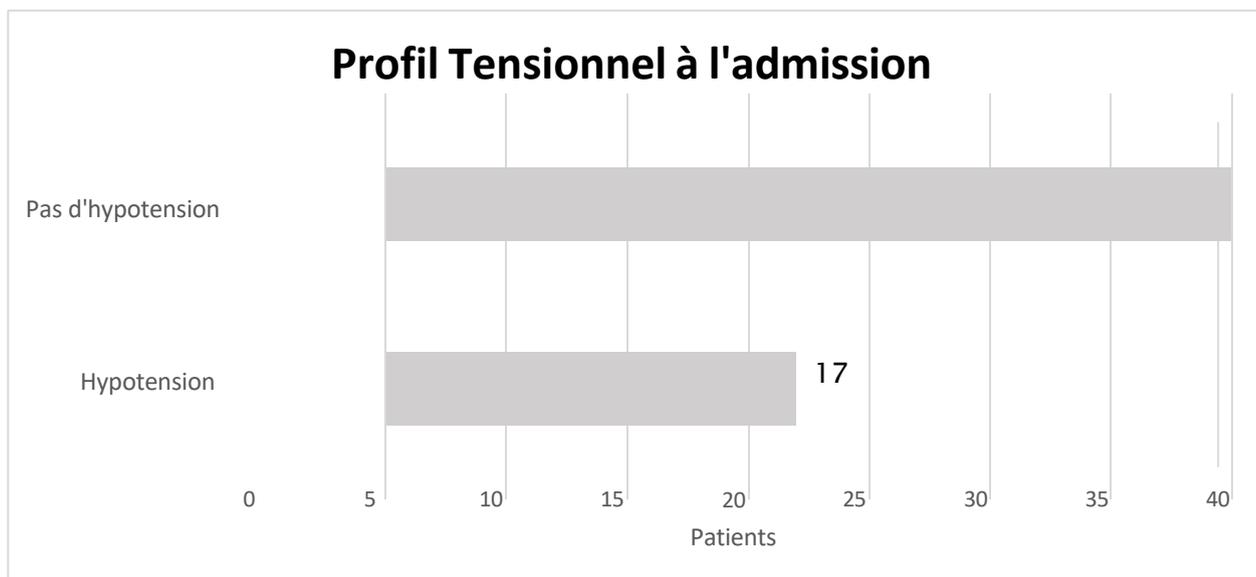


Figure 15 : Répartition des patients selon leur profil tensionnel à l'admission

6. Fréquence cardiaque :

Dans notre série :

- 55,7% des cas, soit 29 patients présentaient une tachycardie à leurs admissions.
- 36,5% des cas, soit 19 patients présentaient une fréquence cardiaque normale à leurs admissions.
- 7,6% des cas, soit 4 patients présentaient une bradycardie à leur admission.

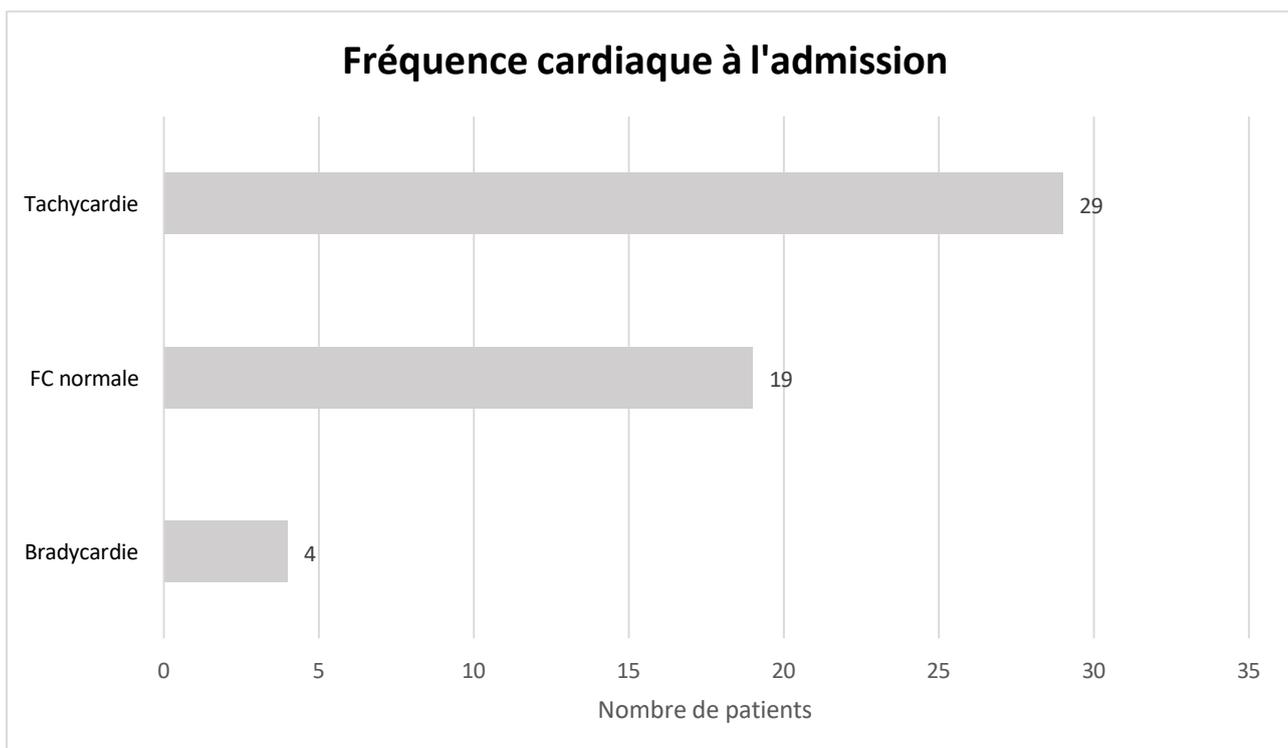


Figure 16 : Répartition des patients selon leur fréquence cardiaque à l'admission

7. Hémorragie extériorisée :

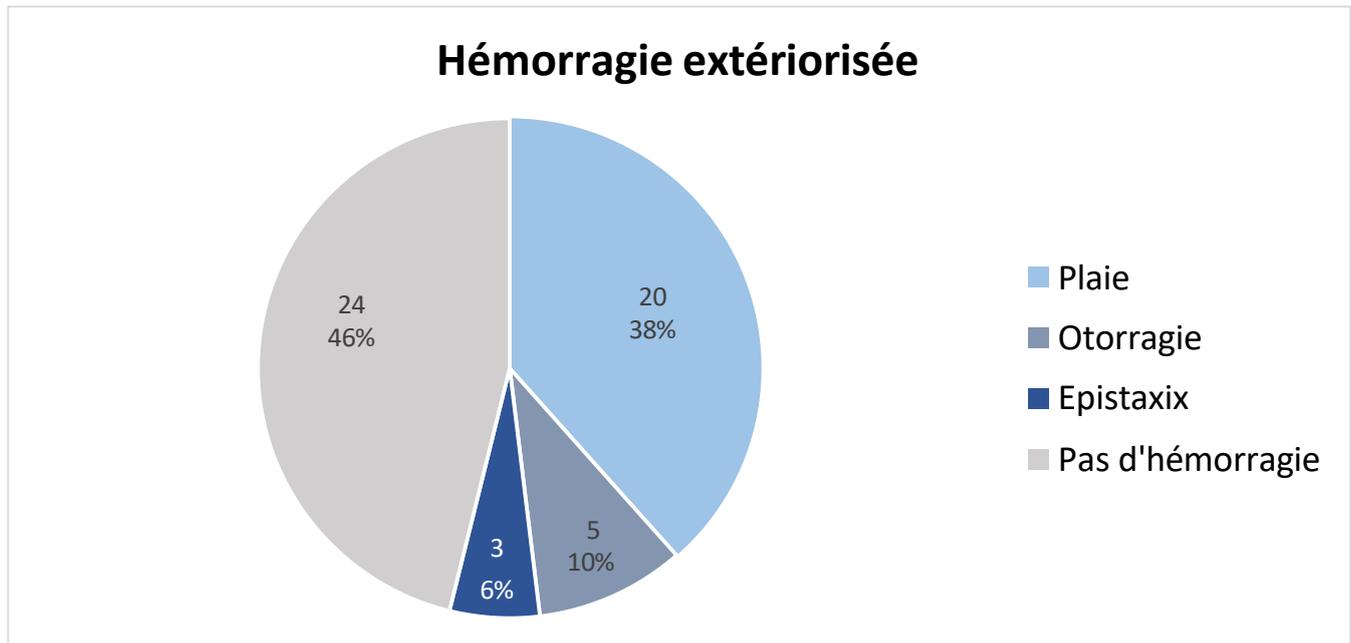


Figure 17 : Répartition des cas selon la présence d'une hémorragie extériorisée à l'admission

Dans notre étude :

- 38,46% des cas, soit 20 patients s'étaient présentés avec une plaie à leur admission, qui a été suturée.
- 15,6% des cas, soit 5 patients s'étaient présentés avec des otorragies.
- 5,7% des cas, soit 3 patients s'étaient présentés avec une épistaxis.
- Tandis que, 46,15% ; soit 24 patients des patients ne présentaient pas de saignement extériorisé à leur admission.

8. Etat respiratoire :

La fréquence respiratoire a été calculée chez tous les patients, elle a varié entre 16 et 42 cycle/min, avec une moyenne de 23,48 cycle/min,

10 patients soit 19,2% des cas avaient présenté un ou plusieurs signes de détresse respiratoire. La saturation en oxygène a été mesurée chez tous les patients, elle a varié entre 75 et 100% ; 11 patients avaient présenté une saturation $\leq 92\%$ soit 21,1% des cas.

III. Données paracliniques :

1. Imagerie et Doppler Trans crânien :

Un body scanner a été réalisé à l'admission dans 82,6% des cas, soit chez 43 patients, alors que dans 17,3% des cas une TDM cérébrale a été réalisée initialement.

Le délai de réalisation de l'imagerie initiale par rapport au traumatisme varie entre 1h et 48h, avec une moyenne de 5h34min.

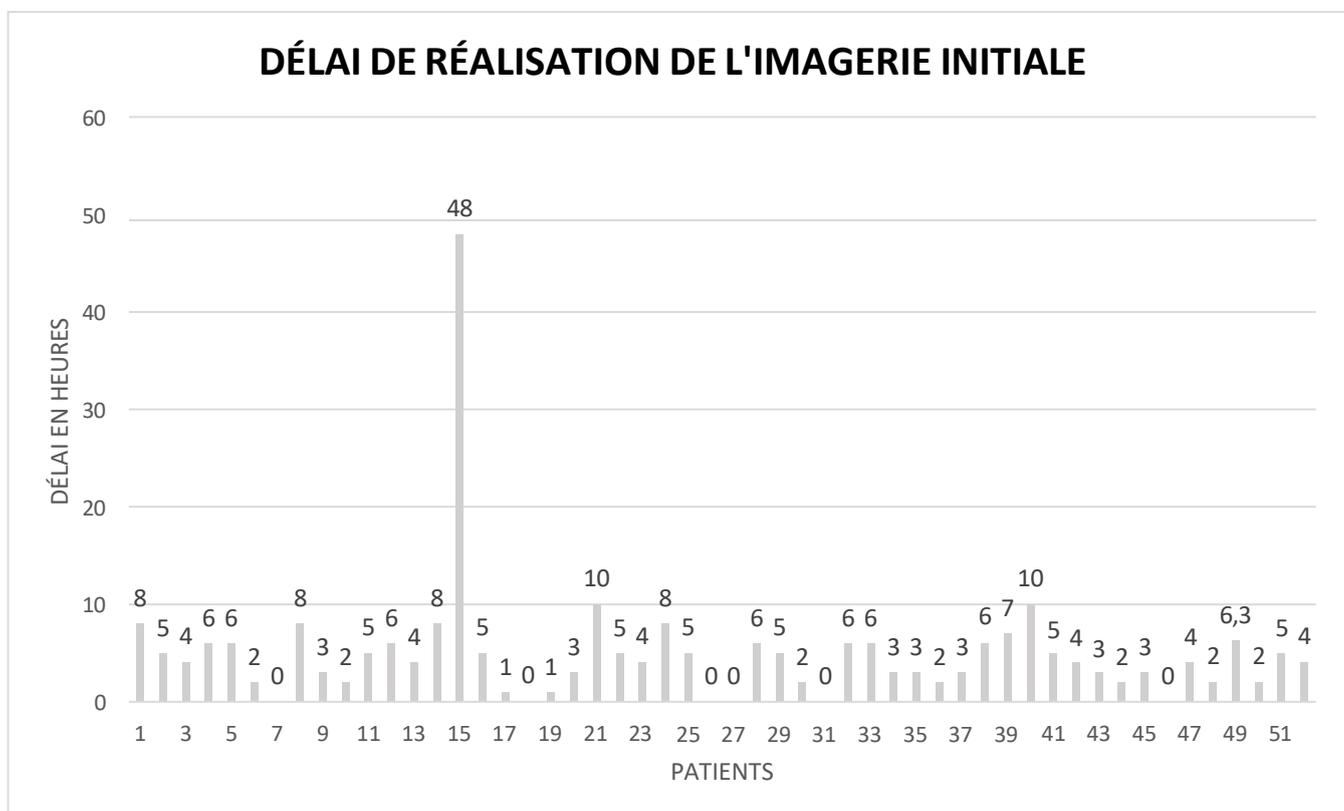


Figure 18 : Délai de réalisation de l'imagerie initiale pour chaque patient

a. Étage crânio-faciale :

A l'étage cranio-faciale 167 anomalies ont été retrouvés chez 51 patients, des 52 patients inclus dans l'étude à l'imagerie initiale :

- La TDM initiale était normale chez 1 patient, avec un pourcentage de 1,92%.
- 21 malades ont présenté un HED, avec un pourcentage de 40,38% ; chez 9 patients l'épaisseur maximal de l'hématome dépassait les 10mm, tandis que chez 12 patients l'épaisseur maximal ne dépassait pas les 10mm.
- 11 malades ont présenté un HSDA, avec un pourcentage de 21,15%, l'épaisseur maximal de l'HSDA variait entre 2 et 20mm, chez 2 patients l'épaisseur maximal dépassait les 10mm alors que chez les 9 autres patients l'épaisseur était inférieure à 10mm.
- 24 malades ont présenté des foyers de contusions, avec un pourcentage de 46,15%.
- 7 malades ont présenté un HIP, avec un pourcentage de 13,46%.
- 14 malades ont présenté une hémorragie méningée, avec un pourcentage de 26,9%.
- 7 malades ont présenté une hémorragie intraventriculaire, avec un pourcentage de 13,4%.
- 12 malades ont présenté un œdème cérébral à l'imagerie, avec un pourcentage de 23,07%.
- 15 malades ont présenté un engagement cérébral avec un pourcentage de 28,8%, chez ces patients on retrouve 11 cas

d'engagement sous factoriel, 3 cas d'engagement diencéphalique, et un seul cas d'engagement amygdalien.

- 19 malades ont présenté une fracture-embarrure, avec un pourcentage de 36,5%.
- 36 malades ont présenté un trait de fracture, avec un pourcentage de 69,2%, dont 6 cas de fractures de Rocher.

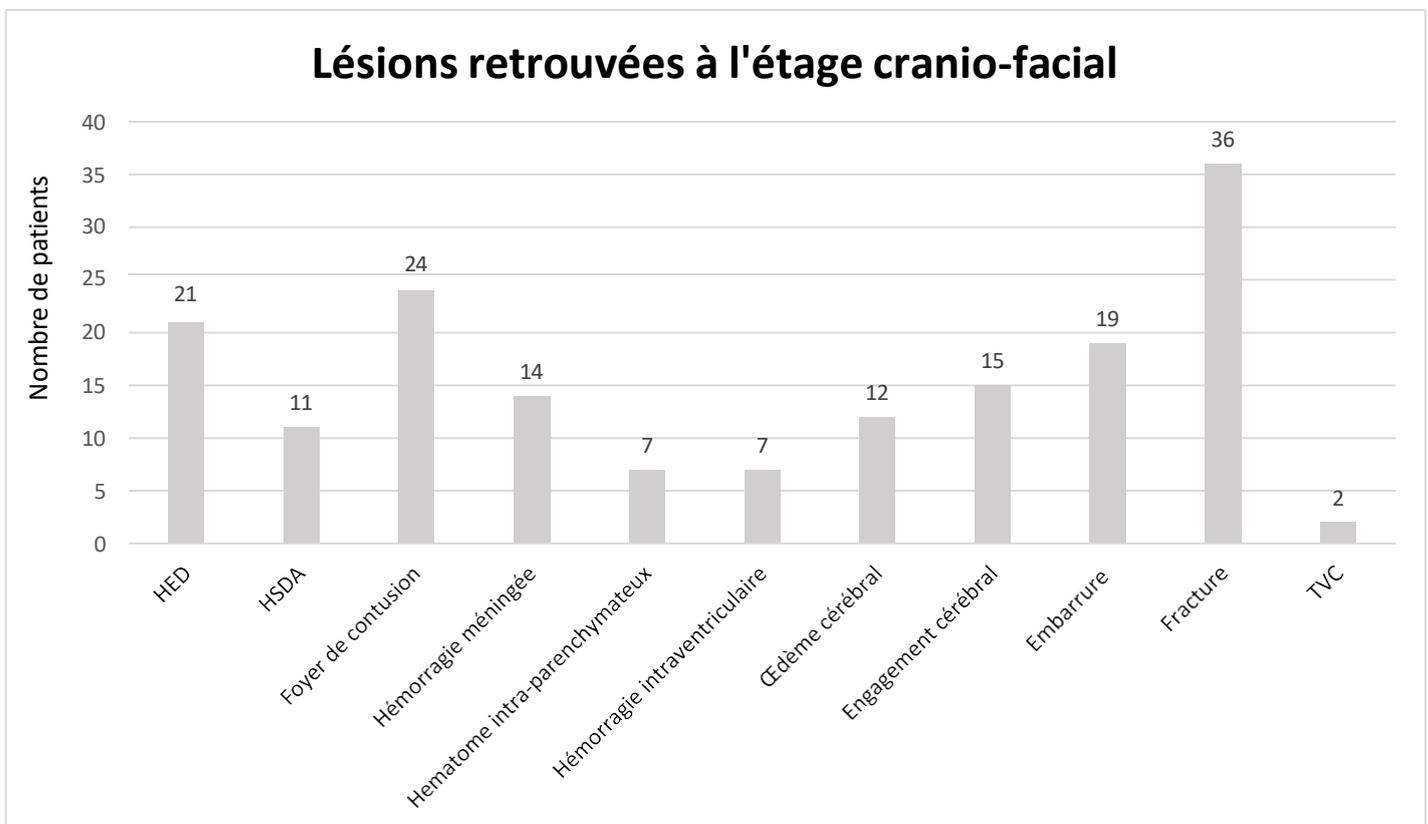


Figure 19 : Lésions retrouvées à l'étage cranio-faciale

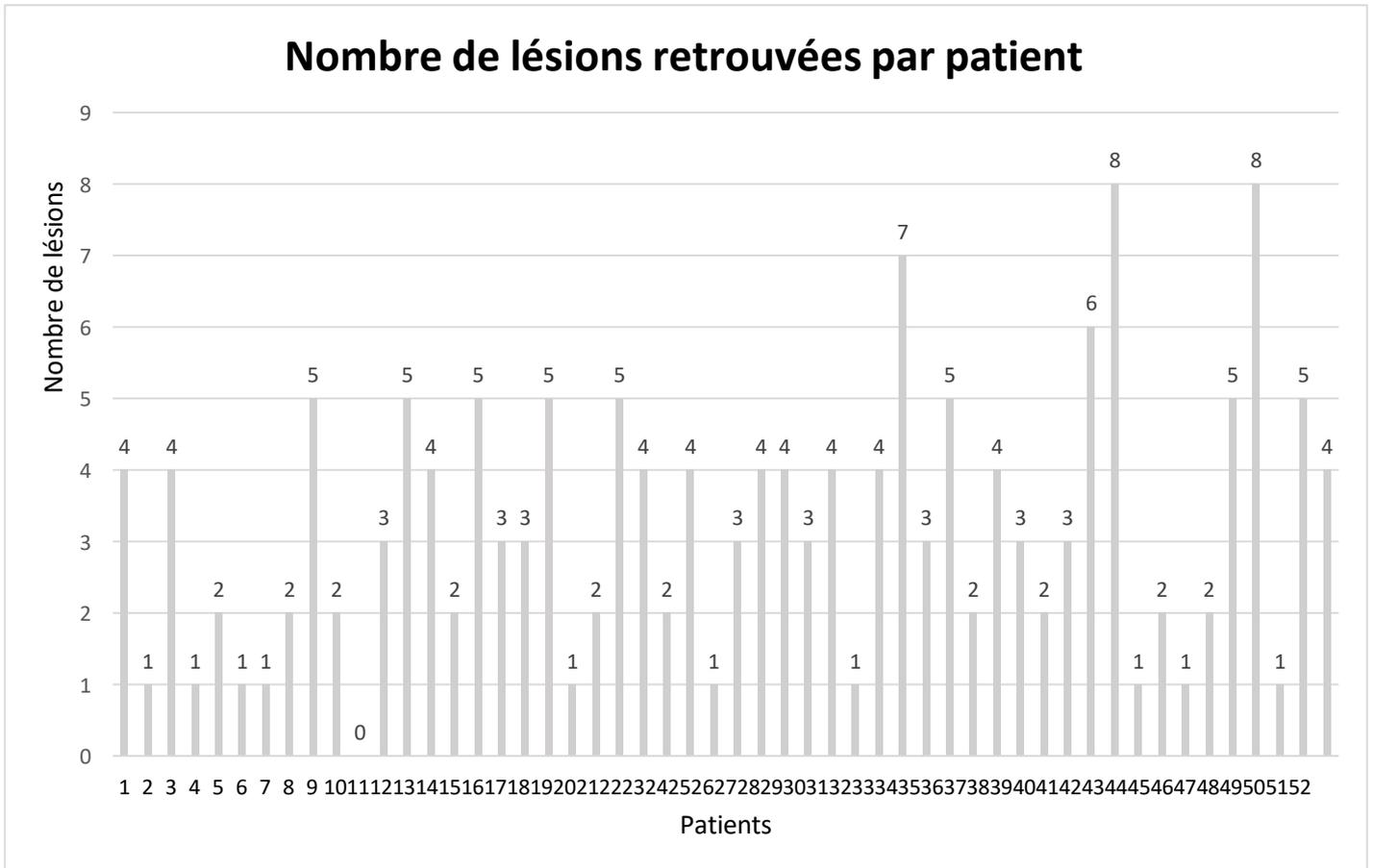


Figure 20 : Nombre de lésions retrouvées à l'étage cranio-faciale pour chaque patient

Service de radiologie Mère-enfant : CHU Hassan II Fès



Figure 21 : TDM cérébrale en coupe axiale objectivant un HED et HSDA fronto-pariétal droit responsable d'un effet de masse, d'un patient inclus dans notre série

Service de radiologie Mère-enfant : CHU Hassan II Fès

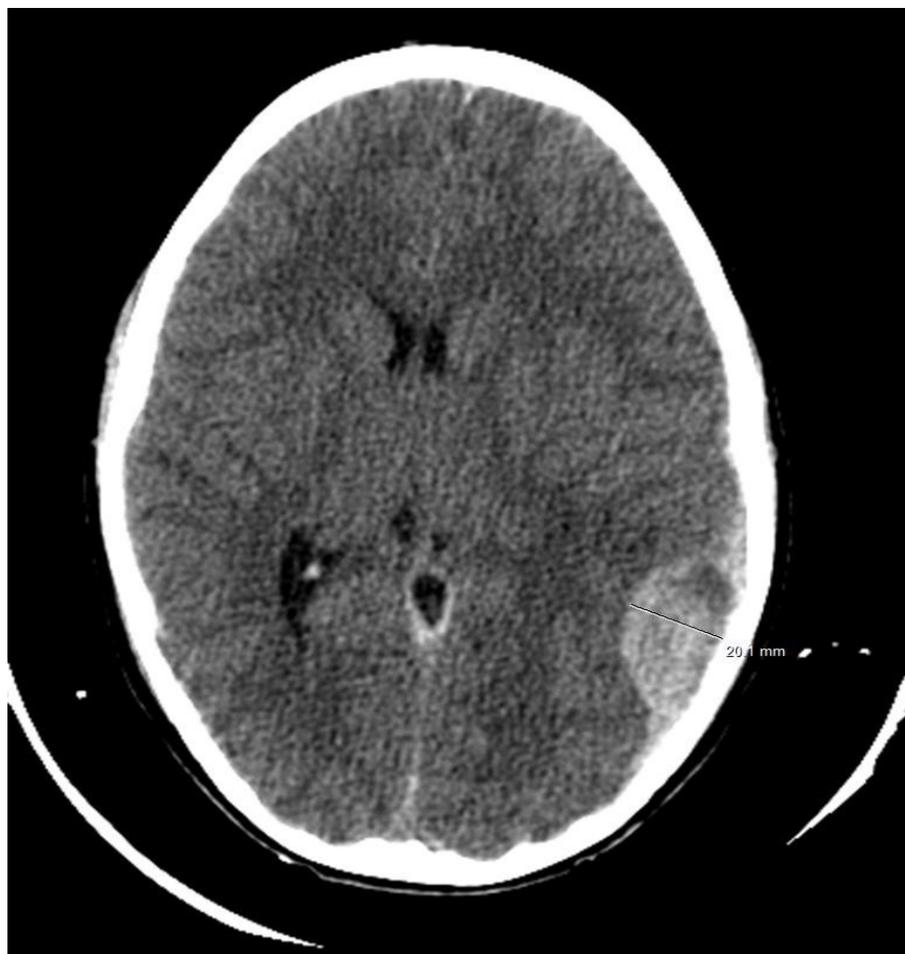


Figure 22 : TDM cérébrale en coupe axiale objectivant un HSDA tempo-pariéto-occipital gauche responsable d'un engagement sous falcoriel, d'un patient inclus dans notre étude

Service de radiologie Mère-enfant : CHU Hassan II Fès



Figure 23 : TDM cérébrale en coupe axiale objectivant un HIP frontal gauche en regard d'une fracture-embarrure frontale gauche

b. Étage cervicale :

Il était normal chez 51 patients avec un seul cas de dissection carotidienne post-traumatique.

c. Étage thoracique :

36 lésions ont été observés chez 26 patients des 52 patients inclus dans l'étude.

- La TDM thoracique était normale chez 26 patients, soit un pourcentage de 50%
- 13 malades ont présenté des foyers de contusions pulmonaire, avec un pourcentage de 25% des lésions.
- 7 malades ont présenté des foyers de condensation en rapport avec une pneumopathie d'inhalation, avec un pourcentage de 13,46%.
- 5 malades ont présenté un pneumothorax, avec un pourcentage de 9,61%, de grande abondance chez 2 patients, minime chez les 3 autres.
- 3 malades ont présenté une hémorragie alvéolaire, avec un pourcentage de 5,76%.
- 2 malades ont présenté une atélectasie, avec un pourcentage de 3,84%.
- 2 malades ont présenté une fracture de côtes, avec un pourcentage de 3,84%.
- 2 malades ont présenté une fracture claviculaire, avec un pourcentage de 3,84%.
- 2 malades ont présenté une fracture de l'omoplate, avec un

pourcentage de 3,84%.

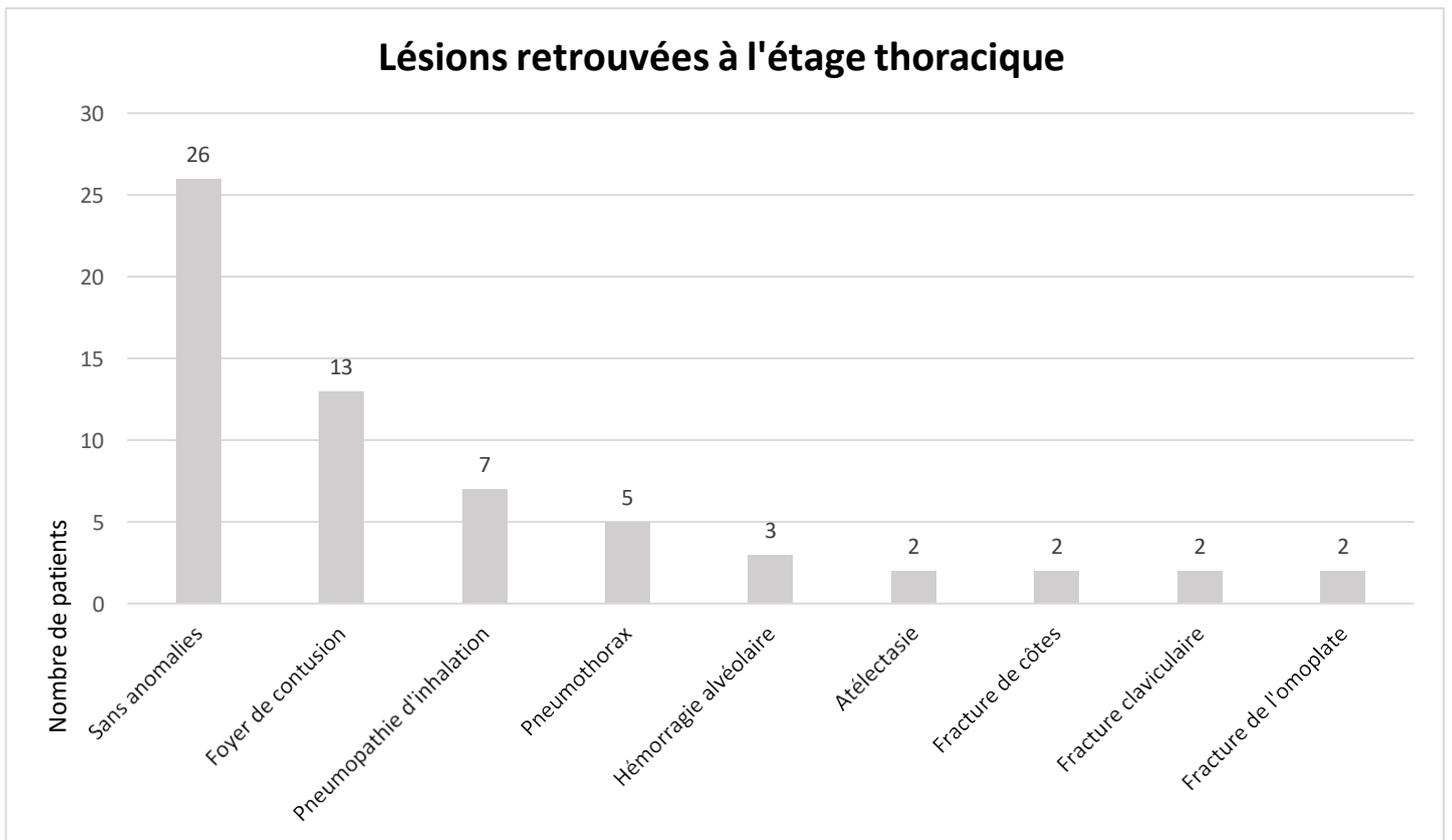


Figure 24 : Lésions retrouvées à l'étage thoracique

Service de radiologie Mère-enfant : CHU Hassan II Fès



Figure 25 : TDM thoracique en fenêtre parenchymateuse en coupe axiale objectivant un pneumothorax droit de grande abondance , d'un patient inclus dans notre étude

d. Étage abdomino-pelvien :

19 lésions ont été observés chez 10 patients, des 52 patients inclus dans l'étude.

- La TDM abdomino-pelvienne était normale chez 42 patients, avec un pourcentage de 80,76%
- 3 malades ont présenté une atteinte splénique, avec un pourcentage de 5,76%..
- 2 malades ont présenté une atteinte hépatique, avec un pourcentage de 3,84%.
- 2 malades ont présenté une atteinte rénale, avec un pourcentage de 3,84%.
- 1 malade a présenté une atteinte pancréatique, avec un pourcentage de 1,92%
- 7 malades ont présenté un épanchement intra-péritonéal, avec un pourcentage de 13,46%, chez 6 patients l'épanchement était de faible abondance, tandis que chez 1 patient l'épanchement était de grande abondance.
- 2 malades ont présenté une fracture du bassin, avec un pourcentage de 3,84%.
- 2 malades ont présenté d'autres types de lésions, avec un pourcentage de 3,84% ; à type d'hématome surrénalien et d'hématome coelio-mésentérique.

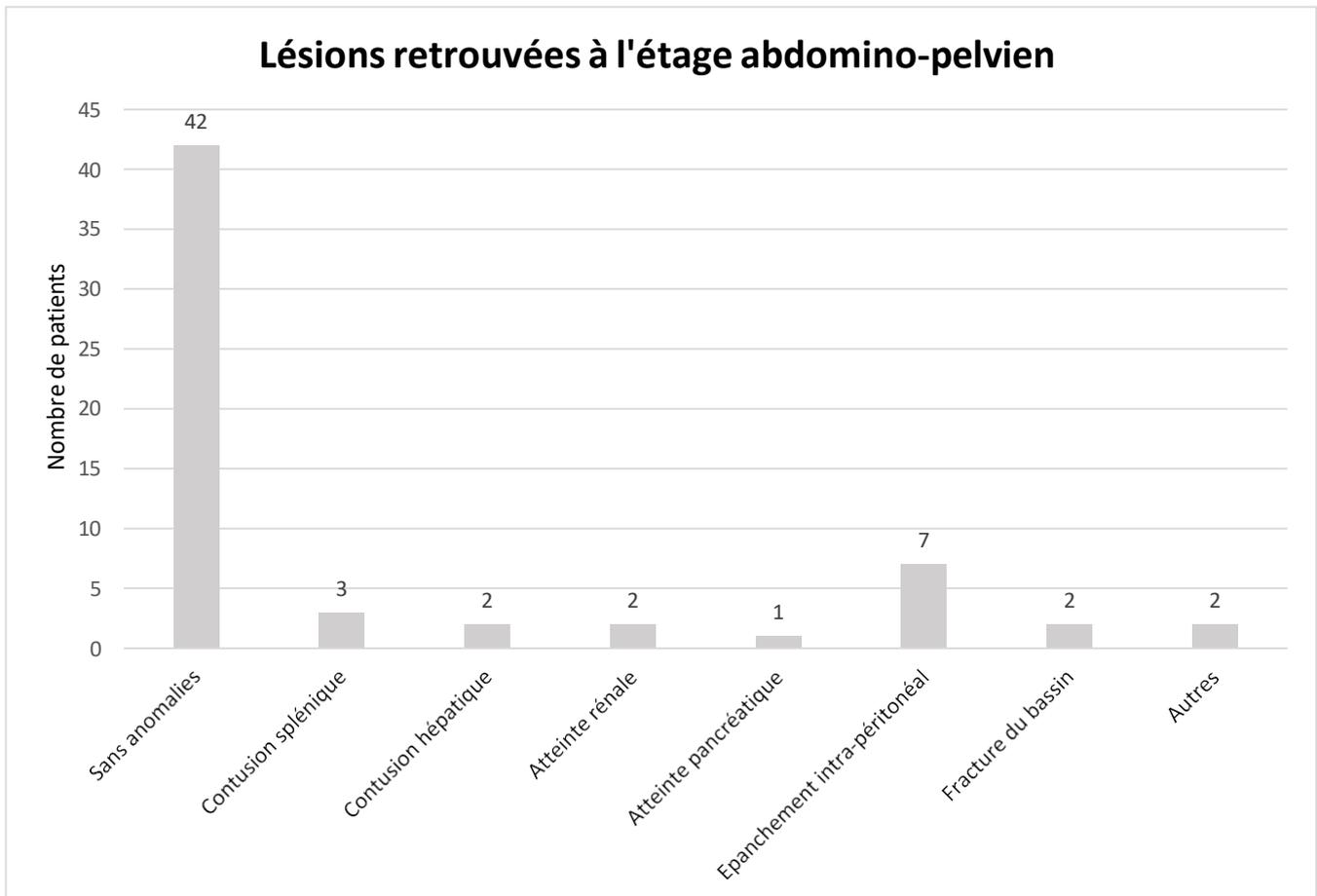


Figure 26 : Lésions retrouvées à l'étage abdomino-pelvien

e. Appareil Locomoteur :

L'appareil locomoteur était intact chez 46 patients avec un pourcentage de 88,4%, au moins une fracture de membre a été retrouvé chez 6 malades, avec un pourcentage de 11,5%.

f. TDM cérébral de contrôle :

47 patients ont bénéficié d'une TDM cérébrale de contrôle, avec un pourcentage de 90,3% un délai moyen par rapport au traumatisme de 24,4h a été observé, et des extrêmes allant de 6h à 72H par rapport au traumatisme.

- 13 malades ont présenté une amélioration des lésions à l'imagerie de contrôle par rapport à l'imagerie initiale, avec un pourcentage de 28%.
- 16 malades ont présenté une stabilité de l'imagerie, avec un pourcentage de 34%.
- 18 malades ont présenté une aggravation des lésions, avec un pourcentage de 38%.

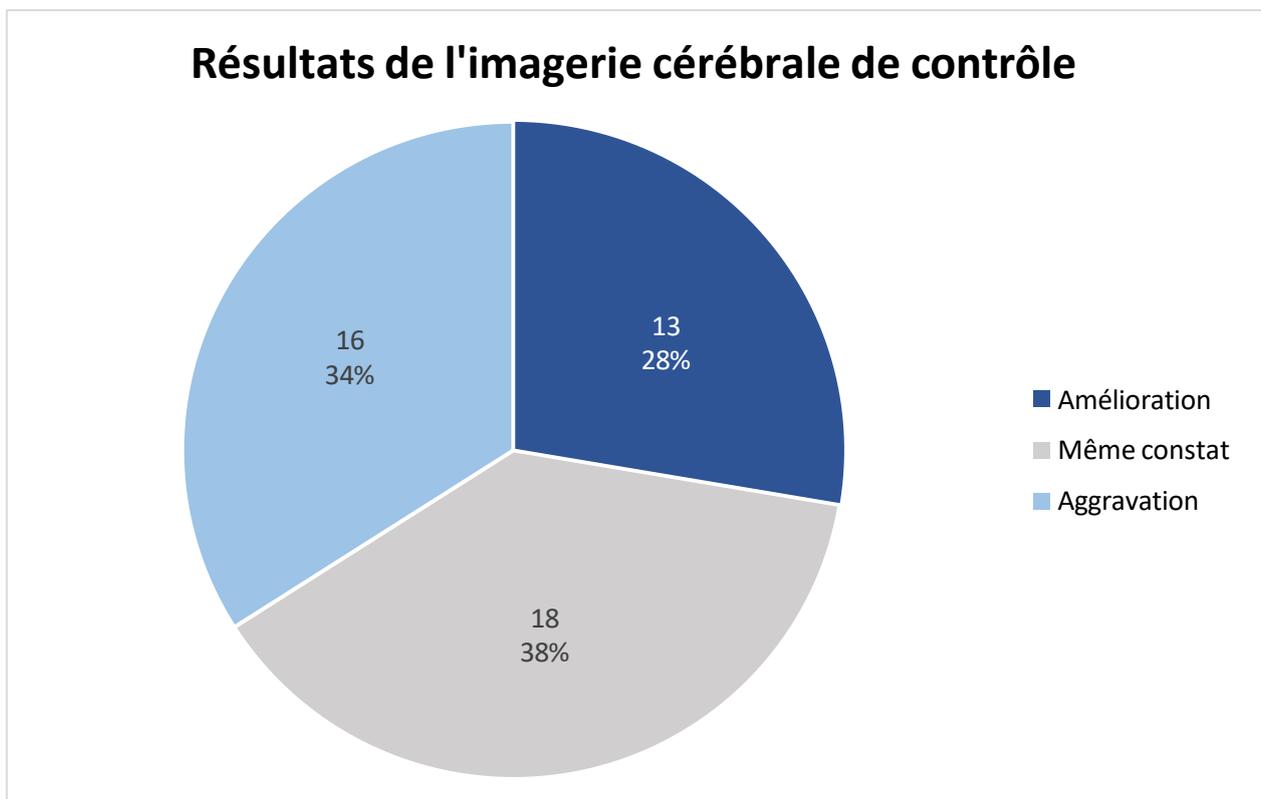


Figure 27 : Résultat de l'imagerie cérébrale de contrôle

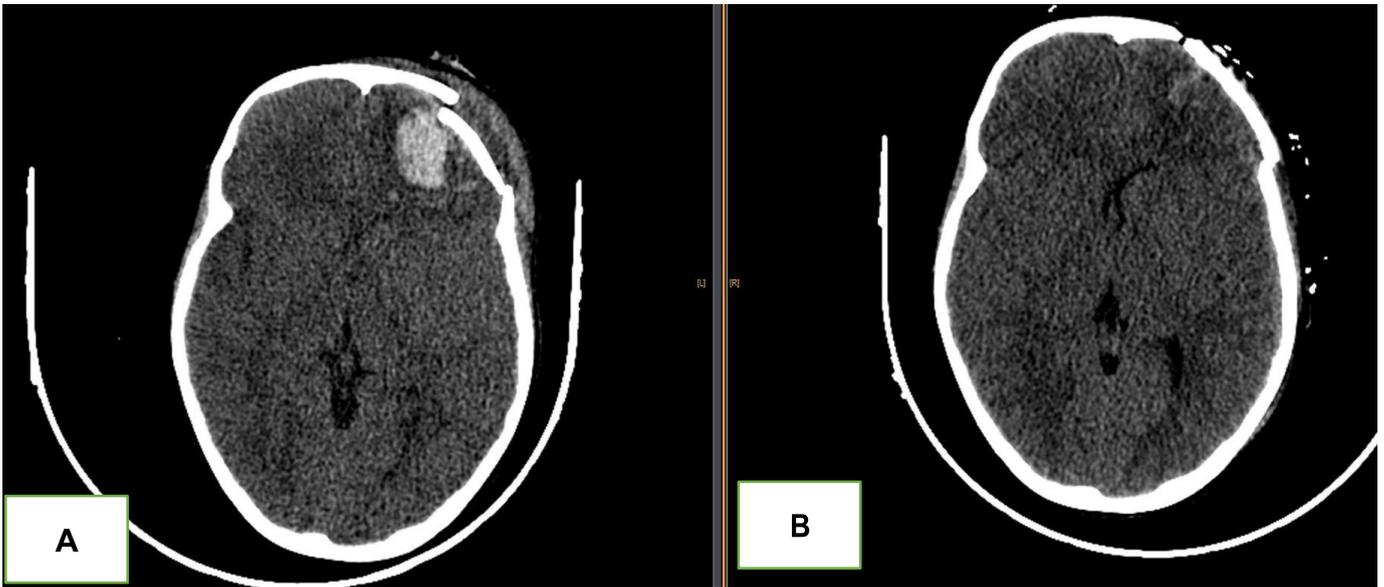


Figure : (A) TDM cérébrale en coupe axiale objectivant un HIP en regard d'une fracture- embarrure frontale gauche d'un patient inclus dans notre étude (B) TDM cérébrale de contrôle après évacuation de l'HIP et cure de l'embarrure

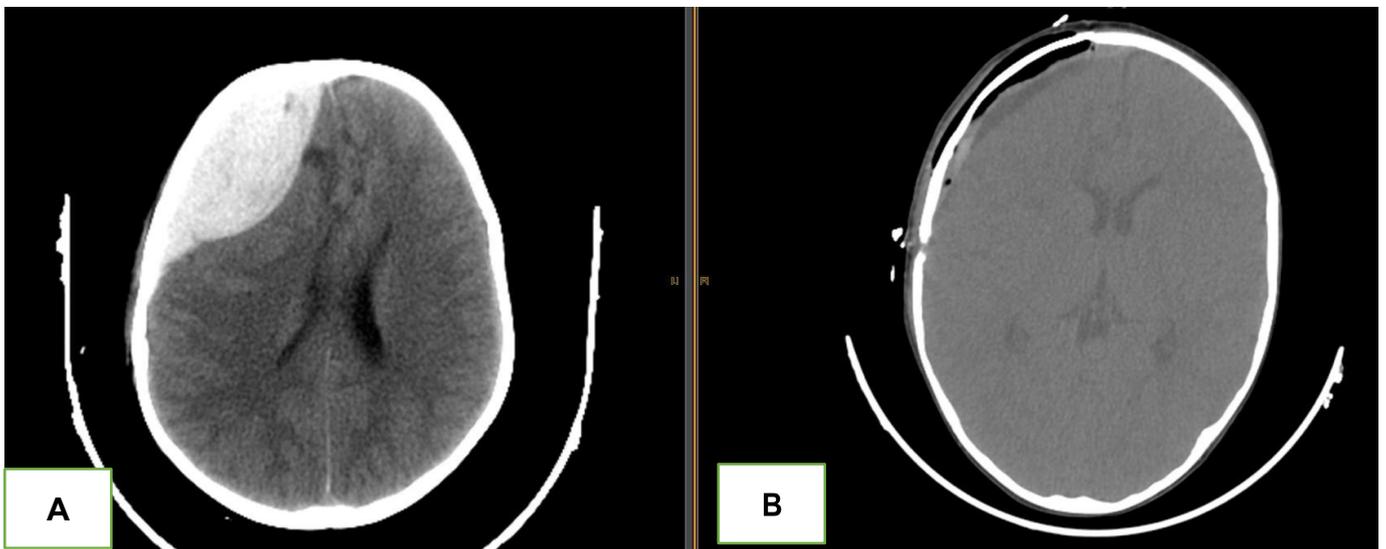


Figure 28 : (A) TDM cérébrale en coupe axiale objectivant un HED et un HSDA fronto- pariétal droit responsable d'un effet de masse (B) TDM cérébrale de contrôle après évacuation des hématomes avec regression de l'effet de masse

g. Doppler trans-crânien :

45 patients ont bénéficié d'un doppler transcrânien à leur admission avec un pourcentage de 86%. Parmi ces patients, 29 malades avaient un DTC normal soit un pourcentage de 55,7%, tandis que 16 malades avaient un DTC pathologique, soit un pourcentage de 30,7%.

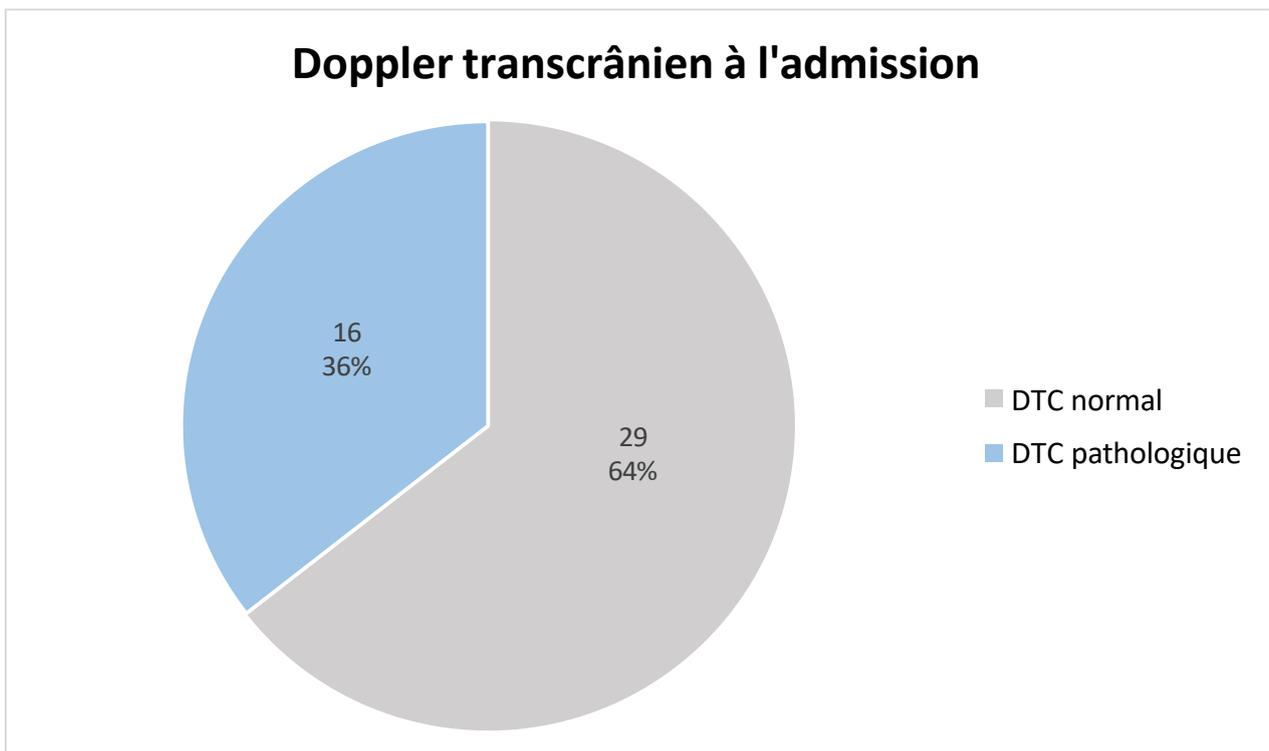


Figure 29 : Répartition des patients selon leur Doppler transcranien à l'admission

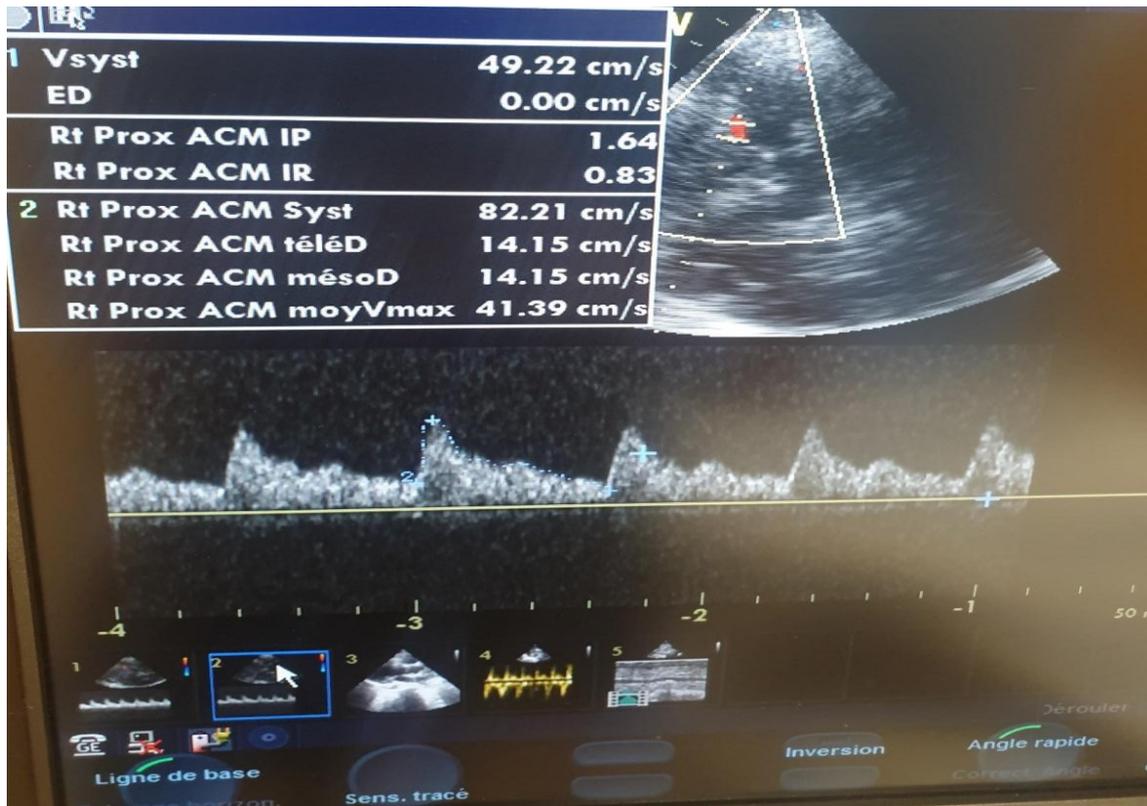


Figure 30 : DTC pathologique d'un cas inclus dans notre étude, service réanimation Mère- enfant CHU Hassan II Fès

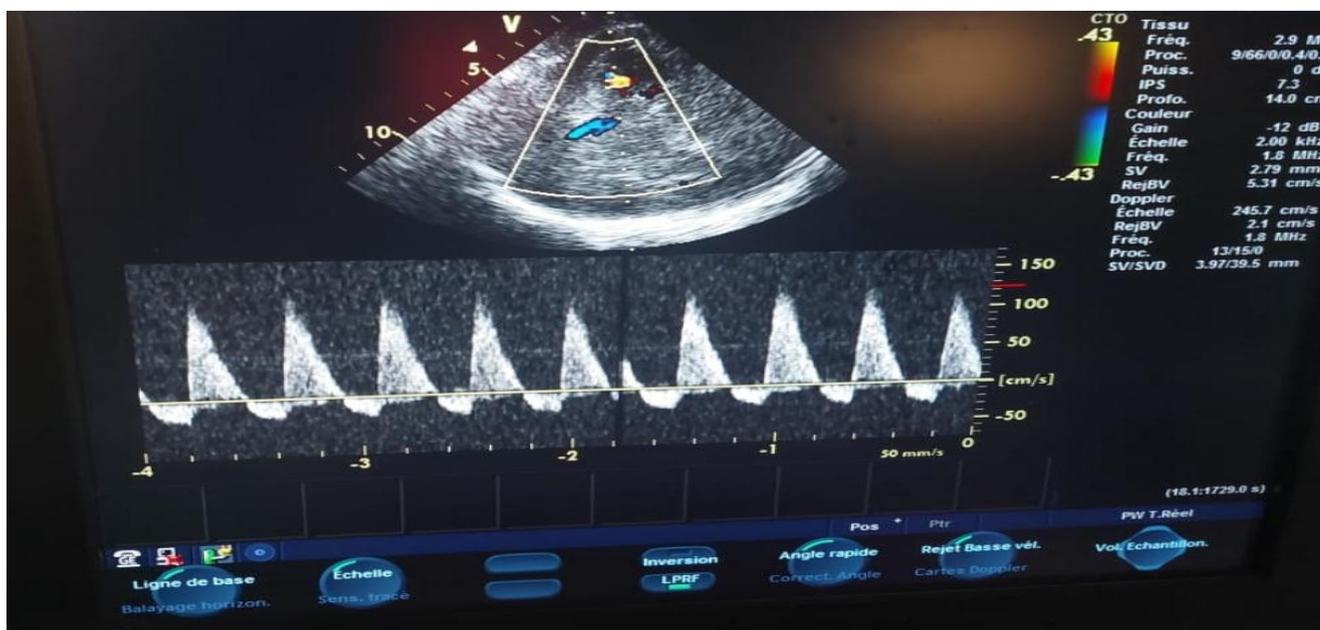


Figure 31 : Flux diastolique négatif chez un patient suspect de mort encéphalique confirmé par la suite par un angioscanner cérébral,

Réanimation Mère-enfant CHU Hassan II

2. Biologie et Gaz du sang :

51 patients ont bénéficié d'un bilan biologique complet fait de NFS, Ionogramme sanguin, bilan de crase, avec un pourcentage de 98,07%, le seul cas où le bilan n'a pas été demandé était décédé avant prélèvement :

52 D'autres bilans ont été demandé en fonction de la clinique et de l'imagerie.

a. Hémoglobine :

Le taux d'hémoglobine avait varié entre 5,1 et 13,6g/dL, avec une moyenne de 10,55 g/dl.

- 16 malades ont présenté une hémoglobine <10g/dl, avec un pourcentage de 30,7%.
- 35 malades ont présenté une hémoglobine >10g/dl, avec un pourcentage de 67,3%.

b. Plaquettes :

98,07% des patients soit 51 malades, avaient un taux de plaquette >100000elem/mm³ à l'admission.

c. Bilan de crase :

4 patients avaient un bilan de crase perturbé à l'admission, avec un pourcentage de 13,4% :

- Le taux de Prothrombine de ces malades était inférieur à 70%, chez 4 patients le TP était inférieur à 50%, avec un taux minimal de 38,8%
- L'INR de ces malades était supérieur à 1.2, chez 1 patient l'INR était supérieur à 1.6.

d. Natrémie :

La natrémie des patients à l'admission a varié entre 125 et 145 mmol/l, avec une moyenne de 137mmol/l.

- 6 patients ont présenté une hyponatrémie à l'admission, avec un pourcentage de 11,5%.
- 45 patients avaient une natrémie normale, avec un pourcentage de 86,5%.

e. Glycémie :

La glycémie des patients à l'admission a varié entre 0,6 et 1,68 g/l, avec une moyenne de 1,16 g/l

Aucun cas d'hypoglycémie n'a été enregistré à l'admission.

f. CPK:

Le bilan de rhabdomyolyse a été demandé chez 38 patients, avec un pourcentage de 73%.

Les CPK ont varié entre 73 et 3350 UI/l, avec une moyenne de 647,2 UI/l.

Une rhabdomyolyse a été retrouvée chez 8 patients, avec un pourcentage de 15,3%.

g. Gaz du sang :

47 patients ont bénéficié d'une Gazométrie artérielle à leur admission, avec un pourcentage de 90,3%.

- Le pH des patients a varié entre 7,14 et 7,67, avec une moyenne de 7,34 :
 - 27 malades ont présenté une acidose à l'admission, avec un pourcentage de 51,9%, 12 de ces patients ont présenté une acidose respiratoire, et 15 patients une acidose métabolique.
 - 11 malades ont présenté un pH normal à leur admission, avec un pourcentage de 23%.

- 9 malades ont présenté une alcalose à leur admission, avec un pourcentage de 17,3%, 3 de ces patients ont présenté une alcalose respiratoire, tandis que les 6 autres patients ont montré une alcalose métabolique.

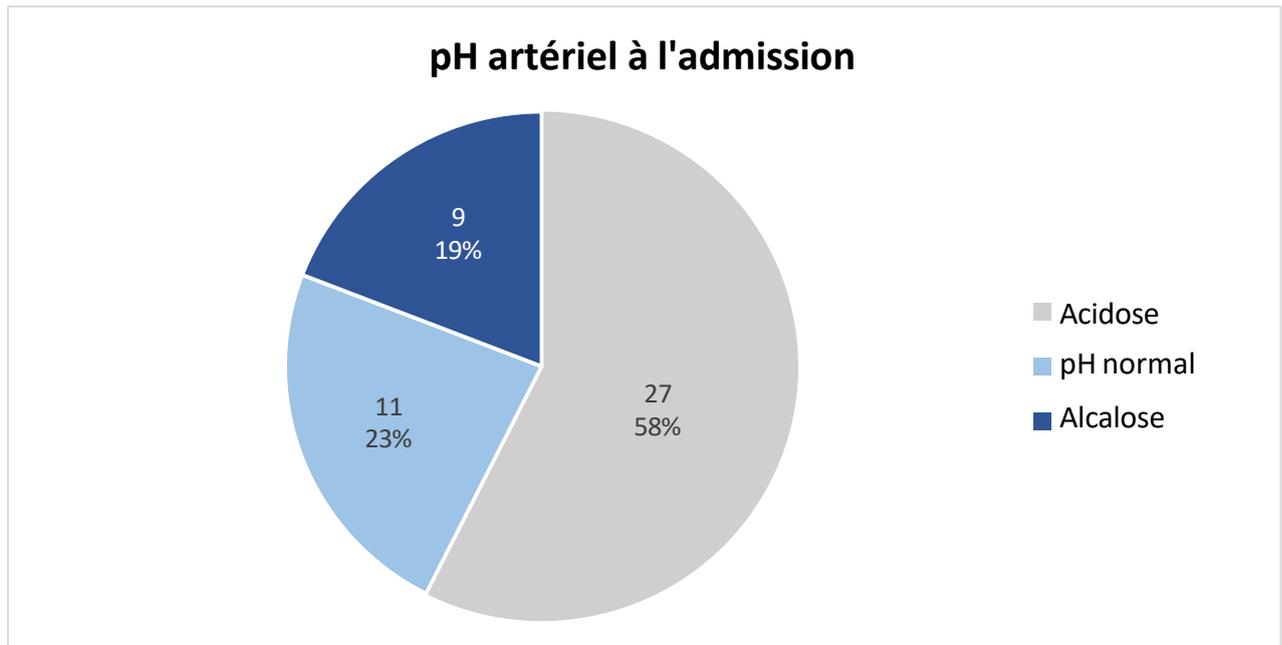


Figure 32 : Répartition des patients selon leur pH artériel à l'admission

- La PCO₂ des patients a varié entre 12,9 et 74,7mmHg, avec une moyenne de 43,52mmHg.
 - 15 malades ont présenté une hypercapnie à la gazométrie initiale avec un pourcentage de 28,84%.
 - 16 malades ont présenté une capnie normale, avec un pourcentage de 30,7%.
 - 16 malades ont présenté une hypocapnie, avec un pourcentage de 30,7%.

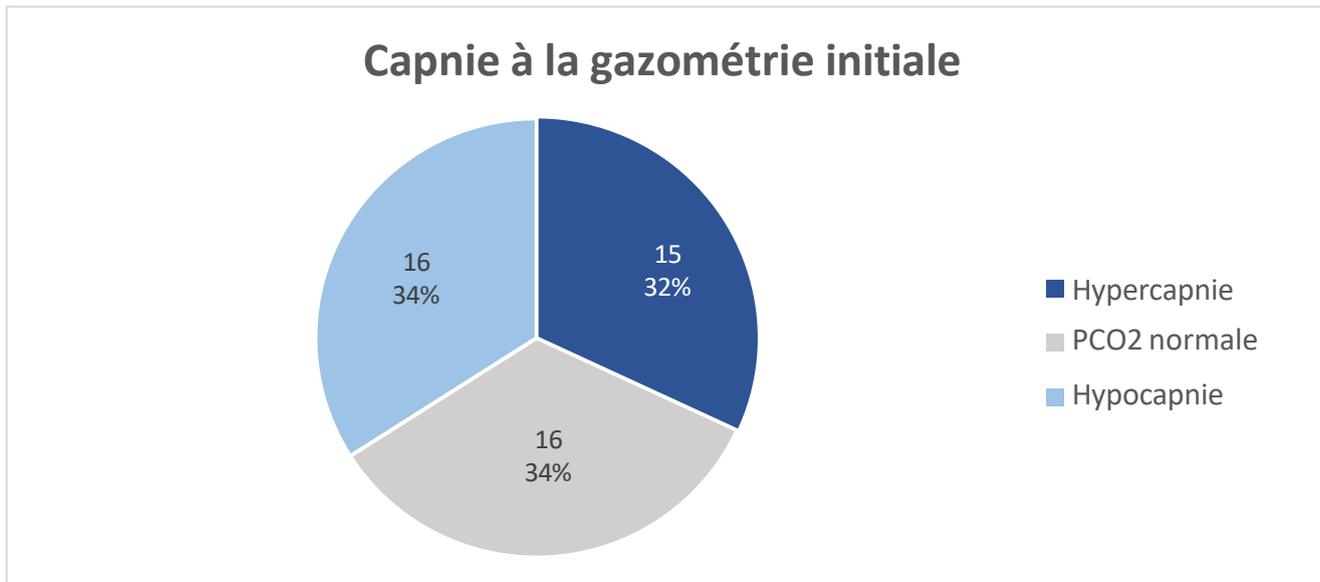


Figure 33 : Répartition des patients selon leur capnie à l'admission

IV. Scores :

1. Pediatric Trauma Score (PTS) :

Le PTS des patients a varié entre -2 et 11, avec une moyenne de 4,67; 43 malades ont présenté un PTS ≤ 8 avec un pourcentage de 82,69%.

2. Injury Severity Score (ISS) :

L'ISS des patients a varié entre 2 et 50, avec une moyenne de 20,8, 34 patients ont présenté un score supérieur à 15 avec un pourcentage de 65,3%.

V. Prise en charge thérapeutique :

1. Prise en charge pré-hospitalière :

Le transport des malades est assuré essentiellement par des ambulances non médicalisées de la protection civile ou les ambulances des hôpitaux de la région de provenance ou par la famille des patients, ainsi la prise en charge médicale ne débutait qu'au service des urgences.

2. Prise en charge au service des urgences :

A l'admission au service des urgences, nos patients ont bénéficié de :

- **Monitoring** : comprenant une surveillance électro-cardioscopique, la mesure de la pression artérielle non invasive et invasive en cas d'état de choc hypovolémique ou septique, la surveillance de la saturation pulsée en oxygène (Spo2) et une diurèse horaire.
- **Prise de deux VVP.**
- **Remplissage par du sérum salé 0,9%**
- **Stabilisation de rachis cervical** : par minerve.
- **Oxygénothérapie au masque à oxygène.**
- **Intubation des patients qui nécessitent une assistance ventilatoire selon des critères neurologiques et/ou respiratoires voir même hémodynamique.**
 - **Trouble sévère de la conscience GCS ≤ 8 ou baisse de 2 points.**
 - **Agitation extrême**
 - **Apnée prolongée.**
 - **Détresse respiratoire (bradypnée, tachypnée, tirage avec cyanose).**
 - **Pas de réponse à une oxygénothérapie haut débit**
 - **État de choc.**
- **Stabilisation de l'état hémodynamique et si nécessaire le recours aux drogues vaso-actives.**
- **Traitement des lésions associées** : suture d'une plaie de scalp hémorragique, stabilisation des lésions des membres.
- **Réalisation d'un bilan biologique et radiologique complémentaire.**

3. Prise en charge au service de réanimation :

Après un séjour au service des urgences de 9,37heures en moyenne, avec des extrêmes allant de 1 h à 58h, les patients ont été transférés au service de réanimation pour complément de prise en charge.

4. Réanimation hémodynamique :

a. Remplissage vasculaire :

100% des patients ont bénéficié d'un remplissage vasculaire, le soluté utilisé chez tous les patients était le sérum salé 0,9%.

b. Catécholamines :

50 patients ont nécessité durant leur séjour en réanimation ; le recours aux drogues vaso-actives, avec un pourcentage de 96,1%.

- La noradrénaline a été utilisé chez 50 patients, soit 96,1% des cas
- La Dobutamine a été utilisé 3 patients, avec un pourcentage de 5,76%.
- L'adrénaline a été utilisé chez 3 malades, avec un pourcentage de 5,76%.

c. Transfusion :

Transfusion : on a retenu les valeurs seuils suivantes comme objectif :

- $Hb \geq 10 \text{ g / dl}$.
- $PLQ \geq 100000 / \text{mm}^3$
- $TP \geq 50\%$.

Toute diminution de ces valeurs impose une transfusion respectivement soit par des culots globulaires (CG), culots plaquettaires (CP) ou du plasma frais congelé (PFC).

25 patients ont bénéficié durant leur prise en charge, d'une transfusion

de produit sanguin labile, avec un pourcentage de 48,07% :

- 46,15% des cas, soit 24 patients ont reçu une transfusion par des concentrés de globules rouges (CGR).
- 7,69% des cas transfusés, soit 4 patients ont reçu une transfusion par du plasma frais congelé (PFC).

d. Abord veineux :

La pose d'un cathéter veineux central fémoral, jugulaire interne ou sous-clavière a été effectuée chez 50 patients avec un pourcentage de 96,15%.

2 patients n'ont pas nécessité la pose d'une voie veineuse centrale.

e. Monitoring de la pression artérielle :

48 patients ont bénéficié d'un monitoring invasif de la pression artérielle par la pose d'un cathéter artériel soit fémoral ou radial avec un pourcentage de 92,3%.

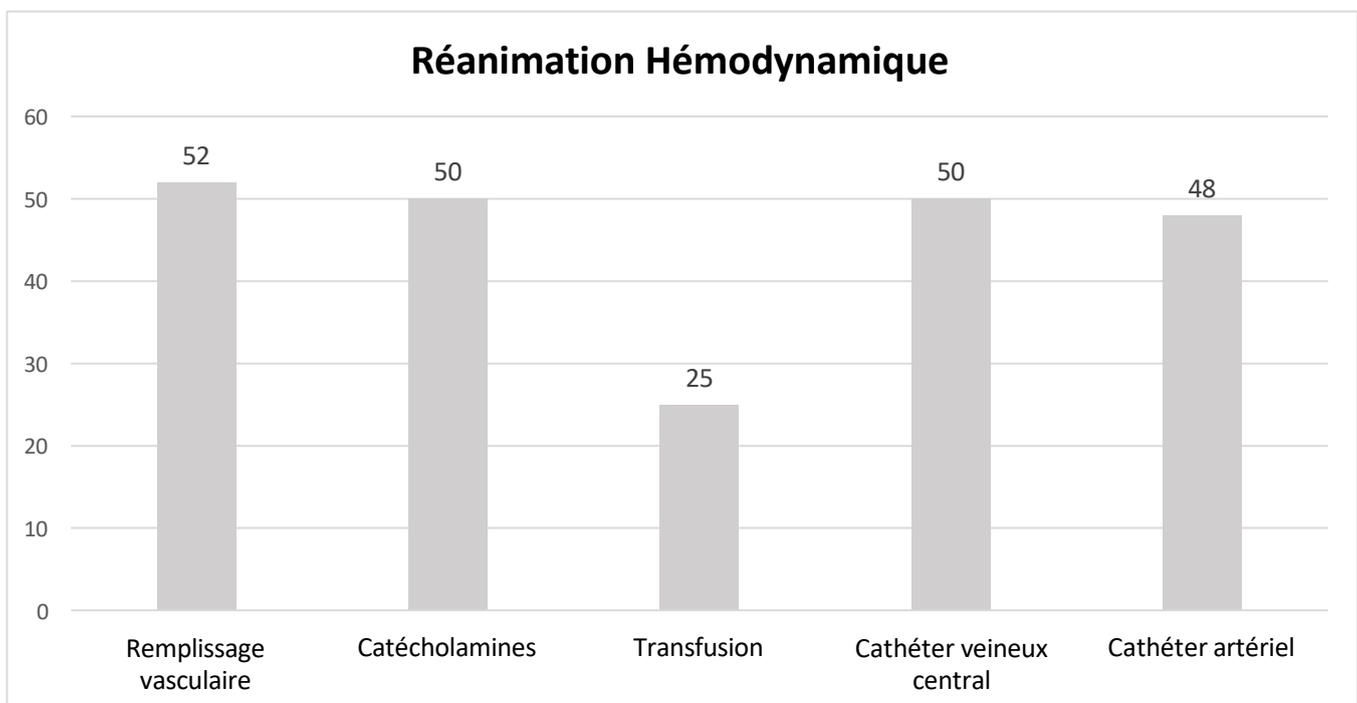


Figure 34 : Récapitulatif de la réanimation hémodynamique effectuée dans notre série

5. Réanimation respiratoire :

a. Oxygénothérapie :

51 patients ont bénéficié d'une oxygénothérapie avec un pourcentage de 100%.

b. Intubation-ventilation :

Les patients dans notre série, victime de traumatisme grave, sont intubés et ventilés le plus souvent au service des urgences du CHU, et sont ensuite transférés au service de réanimation pour complément de prise en charge.

51 patients ont été intubés avec un pourcentage de 98,07%, la durée moyenne de ventilation était de 9,6 jours avec des extrêmes allant de 1 jour à 78 jours.

c. Drainage thoracique :

2 patients ont bénéficié d'un drainage thoracique à la suite d'un PNO thorax de grande abondance au bilan lésionnel, avec un pourcentage de 3,8%.

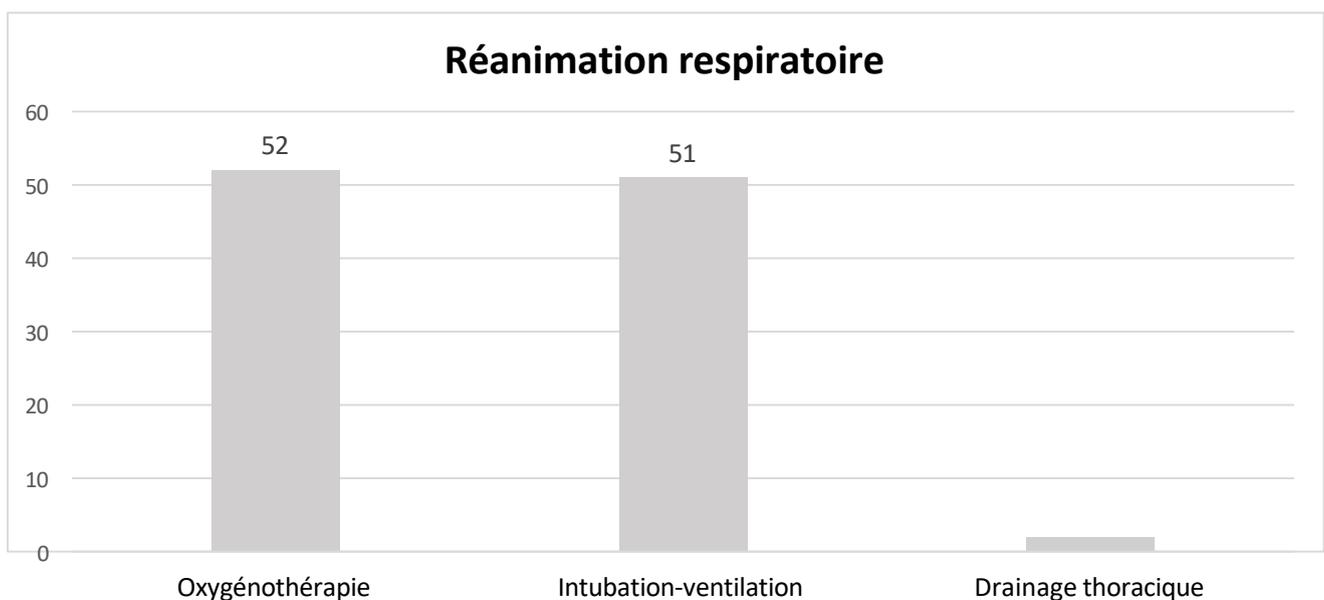


Figure 35 : Récapitulatif de la réanimation respiratoire effectuée dans notre série

6. Réanimation neurologique :

a. Sédation :

La sédation est systématique chez les patients présentant un traumatisme crânien grave, elle a été utilisée chez 51 patients avec un pourcentage de 98,07%, la durée moyenne de sédation était de 8,6 jours avec des extrêmes allant de 1 jour à 65jours.

- Midazolam–Fentanyl a été utilisé chez 51 malades, avec un pourcentage de 98,07%.
- Le Propofol a été utilisé chez 33 malades, avec un pourcentage de 63,46%.

b. Osmothérapie :

26 patients ont bénéficié d'une osmothérapie, soit un pourcentage de 50% :

- Le mannitol a été utilisé chez 26 patients avec un pourcentage de 50%.
- Le sérum salé hypertonique 3% (SSH 3%) a été utilisé chez 3 malades avec un pourcentage de 5,7%.

c. Traitement anticonvulsivant :

44 patients ont bénéficié d'un traitement anti comitiale, avec un pourcentage de 84,6%.

- Le valproate de sodium a été utilisé chez 44 patients, soit 84,6% des cas.
- Le phénobarbital a été utilisé chez 3 patients, soit 5,7% des cas.
- Le Clobazam a été utilisé chez 8 patients, avec un pourcentage de 15,38% des cas.

d. Neuro-monitorage :

Dans notre contexte, les techniques de neuro-monitorage sont limitées, le doppler transcranien quasi-seul outil disponible prend une place prépondérante dans la prise en charge des patients cérébro-lésés.

51 patients ont bénéficié d'un neuromonitorage soit 98,07% des patients :

- Le doppler Trans crânien a été utilisé chez 51 patients, avec un pourcentage de 98,07% des cas.
- L'électroencéphalogramme (EEG) a été réalisé chez 4 patients, avec un pourcentage de 7,69% des cas.
- Le monitoring de la PIC a été utilisé chez 1 patient ayant bénéficié d'une dérivation ventriculaire externe pour Hémorragie intraventriculaire avec un pourcentage de 1,92%.
- La spectroscopie proche infrarouge (NIRS) a été utilisé chez 2 patients, dans le cadre d'une étude clinique avec un pourcentage de 3,84%.

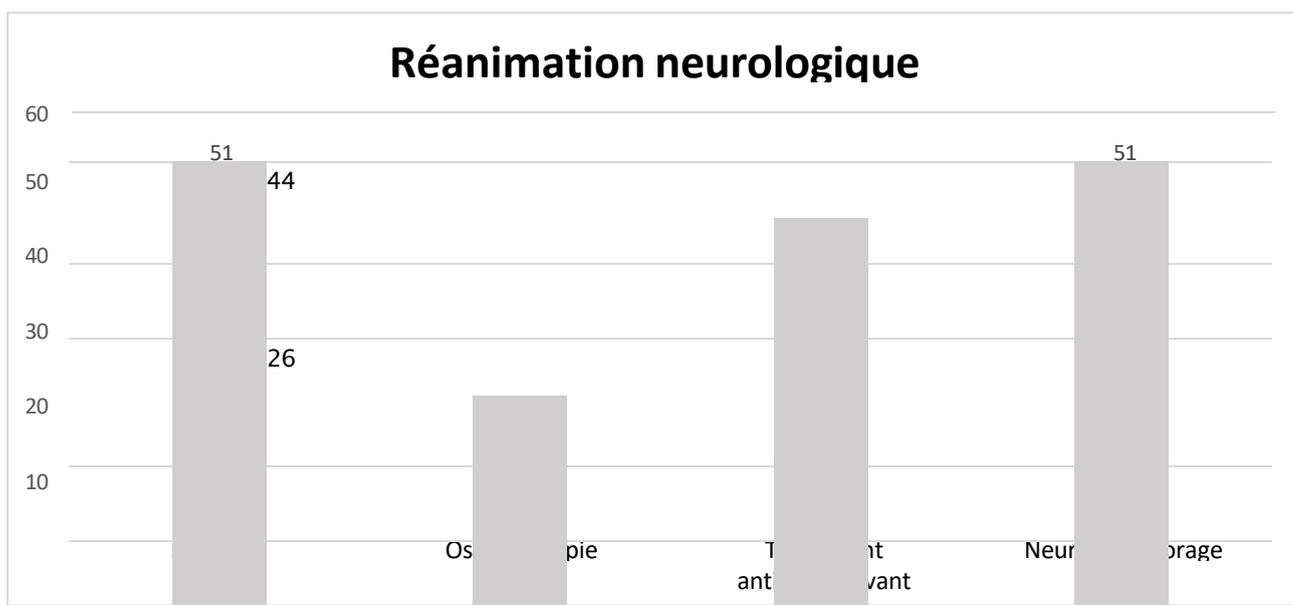


Figure 36 : Récapitulatif de la réanimation neurologique effectuée dans notre contexte

e. Mesures générales :

- Position de la tête : Surélévation de la tête du plan du lit sans dépasser 30° fait partie de la conduite thérapeutique dans notre service.
- Antalgiques : L'antalgique le plus utilisé dans notre série est le Paracétamol, les AINS sont rarement utilisés. 100 % de nos patients ont bénéficié d'un traitement antalgique. La morphine aussi a été utilisée pour la prise en charge de la douleur.
- Alimentation : Une ration de base à base de sérum glucosé 5% isotonique est systématiquement instaurée dès les premières 24h selon la formule 4-2-1, puis un relais par une alimentation entérale si pas de contre-indication à celle-ci est instaurée par sonde gastrique ; en cas de fracture de l'étage antérieur ; la sonde gastrique est introduite par la bouche : vu le risque infectieux et le risque de brèche dure-mérienne, avec possibilité de passage en intracrânien. En cas de contre-indication à la voie entérale, une alimentation parentérale est introduite par (Oliclinomel N4, Olimel N7) pour les supérieurs à 2ans. Les enfants âgés de moins 2 ans sont alimentés par voie parentérale par du Numetah G16E.
- SAT/VAT : la prophylaxie antitétanique est utilisée systématiquement chez les malades présentant une fracture ouverte, délabrement ou une PCC.
- Antibio prophylaxie : l'antibio prophylaxie a été systématique en cas d'intervention chirurgicale, plaie crânio-cérébrale, fracture ouverte ou pneumopathie d'inhalation.
- L'antibiothérapie curative est utilisée pour traiter les complications

infectieuses (méningite, pneumopathie, infection urinaire...).

- Anti-H2 : Utilisé chez tous les patients pour la prévention de l'ulcère de stress.
- L'anticoagulation préventive dans notre contexte est destinée aux patients âgés de plus de 11 ans, en absence de contre-indication à celle-ci.
- Tous nos patients ont bénéficié de Nursing :

C'est un élément crucial dans la prise en charge du traumatisé grave, il comporte :

- Les soins des yeux à base de collyre antiseptique,
- Les soins de la bouche à base d'héxomédine plusieurs fois par jour pour réduire les infections de la sphère ORL et les pneumopathies nosocomiales.
- Les aspirations trachéales de façon stérile associées aux aspirations buccales sont des moyens utilisés pour prévenir les pneumopathies acquises sous ventilation mécanique.
- Le changement de position une fois la phase aiguë du TCG dépassée, ainsi que l'utilisation de matelas pneumatiques sont des moyens utilisés pour prévenir l'apparition des escarres. La kinésithérapie motrice et respiratoire pour prévenir les complications respiratoires de décubitus et les raideurs articulaires.
- Autres : D'autres médicaments à visée symptomatique ont également été utilisés en cas de nécessité : Hemisuccinate d'hydrocortisone, multivitamines, myorelaxants, traitement martial, anti-vertigineux, antispasmodiques, pommades et

collyres oculaires.

7. Neurochirurgie :

23 patients ont bénéficié d'une intervention neurochirurgicale, avec un pourcentage de 44,2% en urgence (HED, HSDA, PCC ..) ou après l'installation d'une HTIC réfractaire au traitement médical avec indication à une craniectomie décompressive ; un délai moyen de 2 jours et 18 heures (66 heures) a été observé, avec des extrêmes allant de 1 heure à 7 jours.

Tableau 3 : Résumé des interventions neurochirurgicale réalisées dans notre étude

Les lésions post-traumatique Nombre de cas Intervention neurochirurgicale

Plaie cranio-cérébrale	4	Parage avec cure d'embarrure et antibioprophylaxie
Fracture embarrure	4	Craniotomie autour de l'embarrure, exploration des méninges, nettoyage et réparation plan par plan.
HSDA avec engagement	1	Évacuation avec craniectomie décompressive
Hématome extradural	11	Évacuation
Hémorragie intraventriculaire	1	Dérivation ventriculaire externe
Foyers de contusion avec HTIC réfractaire et engagement	8	Craniectomie décompressive

Service de radiologie Mère-enfant : CHU Hassan II Fès

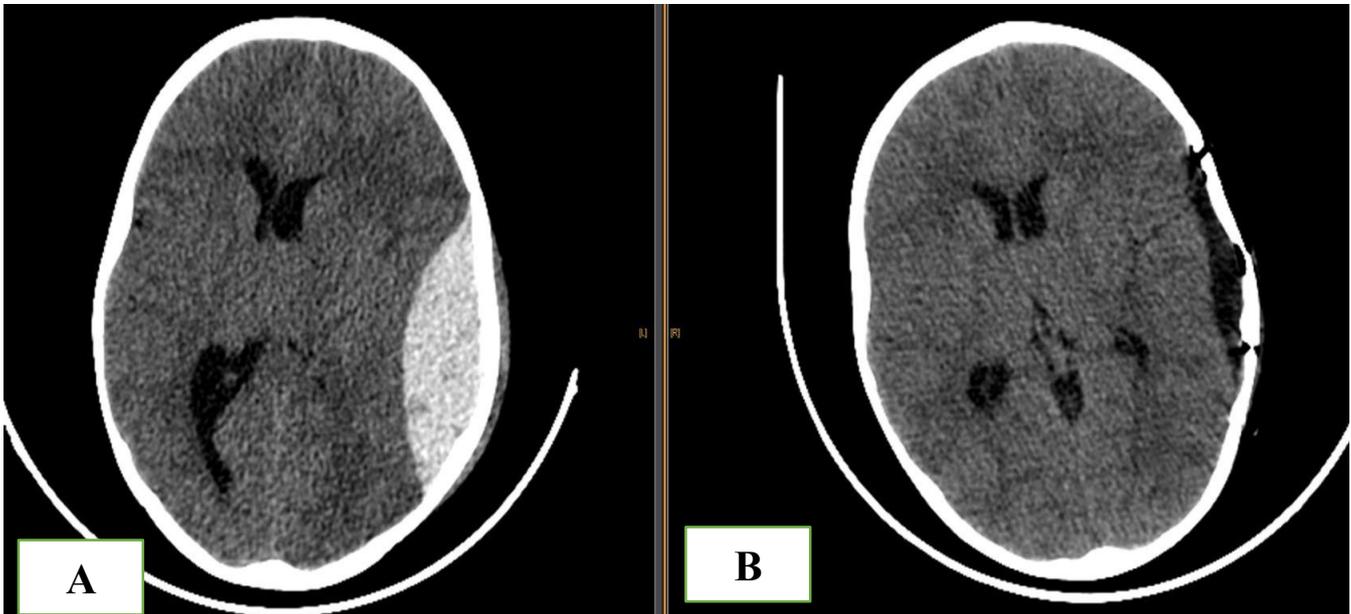


Figure 37 : (A) TDM cérébrale en coupe axiale d'un HED pariéto-temporal gauche responsable d'un effet de masse avec engagement sous falcoriel (B) TDM cérébrale de contrôle en post-opératoire immédiat après évacuation de l'HED avec régression de l'engagement

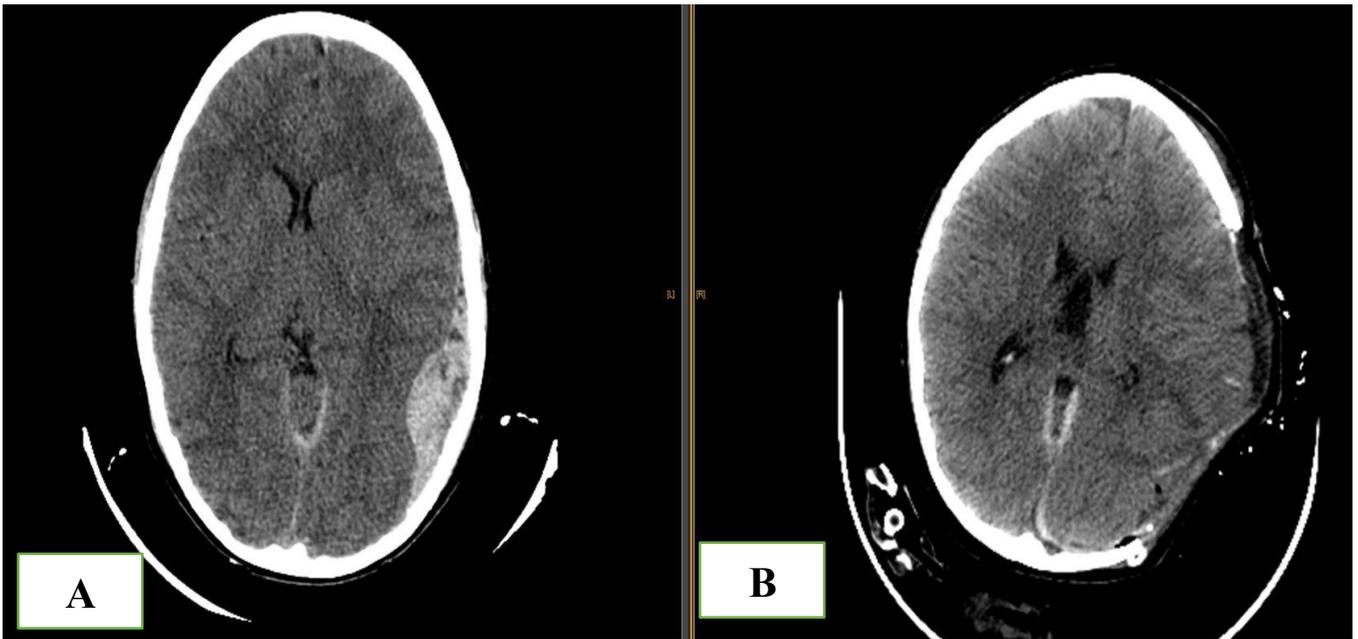
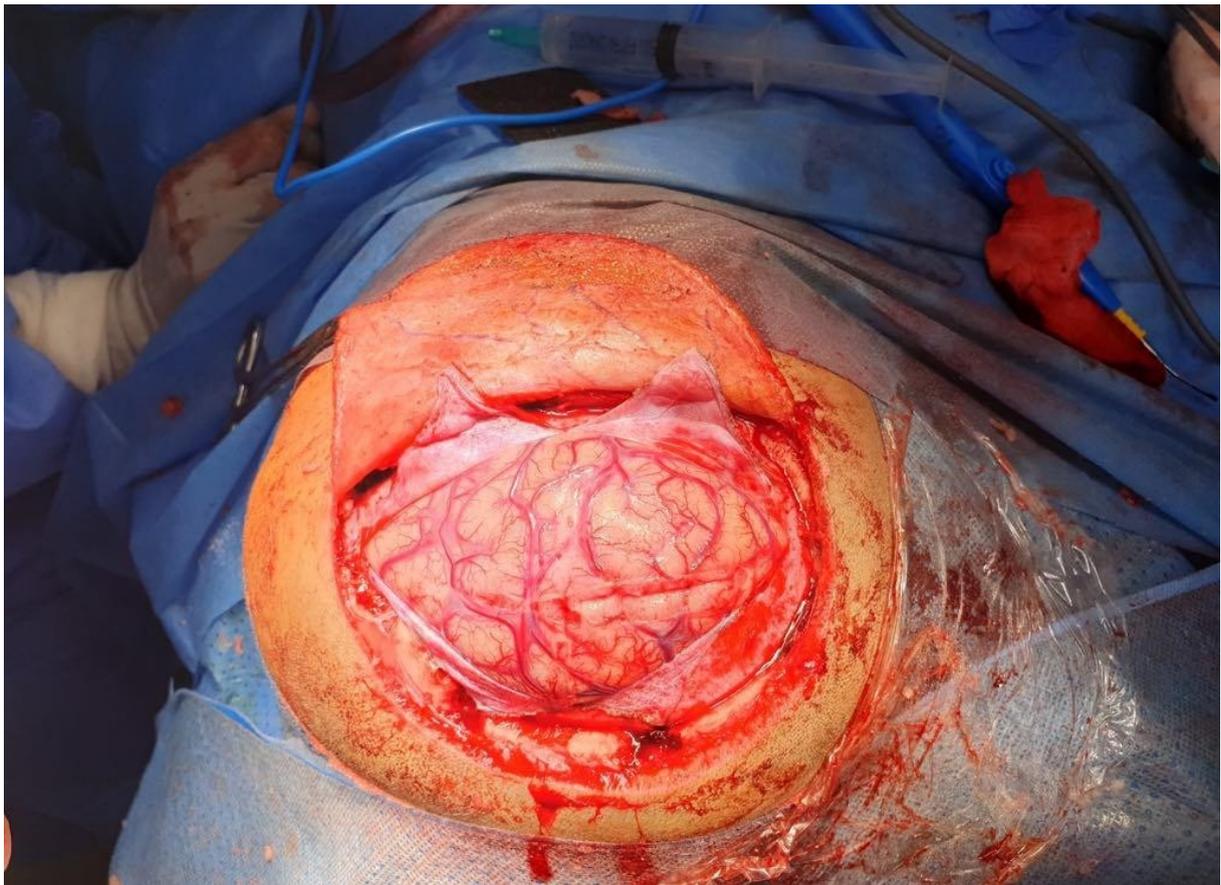


Figure 38 : (A) TDM cérébral en coupe axiale objectivant un HSDA temporo-pariété-occipital responsable d'un engagement sous factoriel
(B) TDM cérébrale réalisé en post-opératoire immédiat après évacuation de l'HSDA et réalisation d'une craniectomie décompressive



**Figure 39 : Image en per-opérateur d'une craniectomie décompressive d'un patient
inclus dans notre étude**



Figure 40 : Image en peropératoire de l'évacuation d'un HED chez un patient inclus dans notre étude

VI. Évolution-complications :

1. Hypertension intracrânienne (HTIC) :

18 patients ont présenté une HTIC durant leur séjour en réanimation avec un pourcentage de 34,6%, celle-ci fut détecté chez :

- 7 patients pas une modification pupillaire avec un pourcentage de 13,46%, dont 4 patients ont bénéficié d'un volet décompressif par la suite.
- 11 patients par un DTC pathologique, avec un pourcentage de 21,1%, dont 4 patients ont bénéficié d'un volet décompressif par la suite, alors que 1 patient a évolué vers une mort cérébral confirmé par un angioscanner cérébral.

10 des 18 patients ont bénéficié d'un scanner cérébral de contrôle après découverte d'une HTIC avec un pourcentage de 19,23%.

Tous les patients ont bénéficié d'un approfondissement de la sédation avec une osmothérapie.

2. Infection nosocomiale :

20 patients ont présenté durant leur séjour en réanimation une infection nosocomiale avec un pourcentage de 38,4% :

- Le site pulmonaire a été retrouvé chez 20 patients, avec comme germe : L'acinetobacter Baumanii chez 19 patients, Klebsiella Pneumoniae BLSE chez 1 patient.
- Une bactériémie a été retrouvé chez 3 patients, avec comme germe l'Acinetobacter Baumanii chez tous les patients.
- Une fongémie a été retrouvé chez 1 patient, avec comme germe un

Candida Albicans.

- Le site Neuro-méningée a été retrouvé chez 2 patients avec une ventriculite à Acinetobacter Baumannii chez 1 patient ayant bénéficié d'une DVE.

3. État de Choc :

10 malades ont présenté ou évolué vers un état de choc durant leur séjour en réanimation, avec un pourcentage de 55,5% :

- 7 patients ont évolué vers un état de choc septique avec un pourcentage de 13,46% des cas.
- 3 patients ont présenté un état de choc hémorragique, avec un pourcentage de 5,76% des cas.

4. État de mal épileptique :

5 patients ont présenté un état de mal épileptique clinique ou infra-clinique (découvert à l'EEG) avec un pourcentage de 9,6% des cas.

5. Escarres :

14 patients ont développé des escarres durant leur séjour en réanimation avec un pourcentage de 26,9%.

6. Trachéotomie :

2 patients ont bénéficié d'une trachéotomie avec un pourcentage de 3,8%, due à une difficulté de sevrage de respirateur, avec un délai moyen de 21 jours.

7. Décès

Dans notre série, 20 patients sont décédés à la suite du traumatisme avec un pourcentage de 38,4%, la cause de la mort :

- 6 patients sont décédés d'un état de choc septique réfractaire avec un pourcentage de 11,53% des cas.
- 10 patients sont décédés d'une HTIC réfractaire avec un pourcentage de 19,23% des cas.
- 3 patients ont présenté un arrêt hypoxique avec un pourcentage de 5,76%.
- Une autre cause de décès a été observé chez 1 patient avec un pourcentage de 1,9%.

8. Glasgow Outcome Scale (GOS) à la sortie de réanimation :

Dans notre série : La moyenne du GOS est de 3,15

- 20 patients sont décédés et ont donc eu un GOS à 1.
- 1 patient a présenté un GOS à 2 à la sortie de la réanimation.
- 4 patients ont présenté un GOS à 3 à la sortie de la réanimation.
- 5 patients ont présenté un GOS à 4 à la sortie de la réanimation.
- 22 patients ont présenté un GOS à 5 à la sortie de la réanimation.

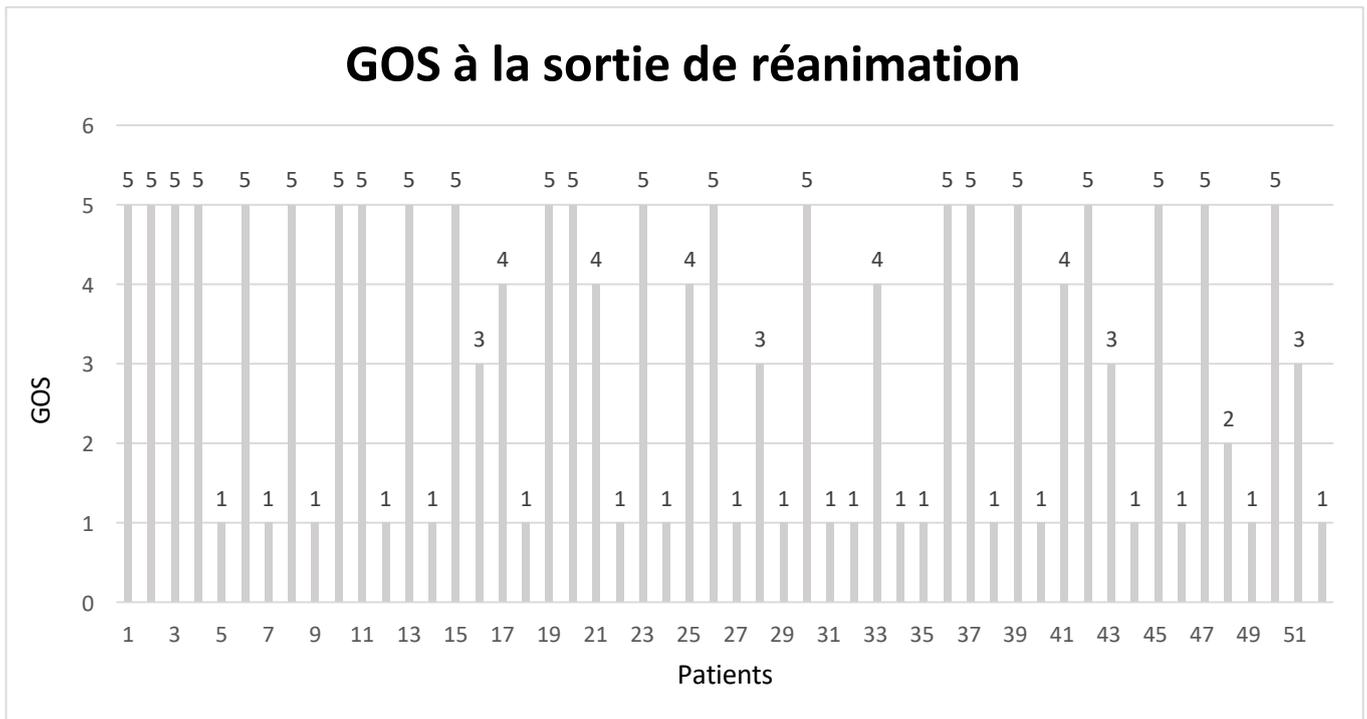


Figure 41 : Glasgow Outcome Scale des patients à la sortie de réanimation

DISCUSSION

I. Physiopathologie du polytraumatisme chez l'enfant

1. Lésions de l'enfant polytraumatisé

Chez l'enfant traumatisé grave, le TC est présent dans plus de 80 % des cas. Il est soit isolé, soit associé à d'autres lésions extracrâniennes. Les lésions du rachis cervical ont une incidence faible et sont retrouvées chez 2 à 4 % des polytraumatisés pédiatriques [1, 2]. Elles sont cependant associées à une mortalité élevée en raison des forces de cisaillement s'exerçant sur C2 et C3 et entraînant des lésions du tronc cérébral et des arrêts cardiorespiratoires [3].

Les traumatismes thoraciques sont une cause importante de morbidité et de mortalité chez l'enfant polytraumatisé [4]. Les enfants ont une cage thoracique plus souple que les adultes du fait d'une ossification incomplète et d'une plus grande laxité ligamentaire. Lors d'un impact, l'énergie cinétique n'est pas dissipée lors d'une fracture mais pénètre dans les poumons sous-jacents et le médiastin. Il existe une dissociation entre la gravité des lésions intrathoraciques et celle de la paroi thoracique [5]. Cela explique que les lésions le plus fréquemment retrouvées sont les contusions pulmonaires, les pneumothorax et les hémithorax [6].

Les traumatismes abdominaux sont plutôt moins fréquents que chez l'adulte. Les organes les plus souvent touchés sont le foie, la rate et les reins.

Cependant, comme chez les adultes, la présence de la marque de la ceinture de sécurité sur l'abdomen augmente significativement le risque de lésions intra-abdominales [7].

Les atteintes osseuses périphériques font partie des atteintes traumatiques les plus fréquentes chez le polytraumatisé pédiatrique.

Les spécificités anatomiques et physiologiques, telles que l'existence

d'un cartilage de croissance, une certaine élasticité osseuse, un périoste fin, différencient les fractures de l'enfant de celles de l'adulte.

2. Particularités de l'atteinte neurologique

▪ Lésions crâniennes

Les nourrissons et les enfants en bas âge (inférieur à 8 ans) ont une tête disproportionnée par rapport au reste de leur corps, ceci ajouté au fait que leur musculature cervicale est faible, explique la fréquence élevée du TC.

Par ailleurs, le TC grave est la principale cause de mortalité en traumatologie pédiatrique. Plusieurs raisons anatomophysiologiques peuvent l'expliquer. Les nourrissons ont un crâne incomplètement ossifié, avec des sutures crâniennes ouvertes et un cerveau moins myélinisé, ces éléments expliquent que le cerveau est moins bien protégé chez les petits enfants et que des traumatismes considérés comme légers peuvent entraîner des lésions cérébrales significatives [8].

De fait, les lésions cérébrales diffuses sont bien plus fréquentes chez l'enfant que chez l'adulte, en revanche chez les enfants âgés de plus de 2 ans, les hématomes sous- et extraduraux isolés sont peu fréquents (inférieurs à 10%). Associé à d'autres lésions traumatiques (fractures spiroïdes des os longs, des côtes, lésions cutanées notamment), l'hématome sous-dural doit faire suspecter un « syndrome du bébé secoué » et faire prendre les mesures conservatoires qui s'imposent.

En plus des lésions cérébrales primaires peuvent s'ajouter des lésions cérébrales secondaires: ce sont les fameuses agressions cérébrales secondaires d'origine systémique (ACSOS).

Le mécanisme physiopathologique de ces ACSOS ne diffère pas de celui

de l'adulte : l'hypotension artérielle et la détresse respiratoire avec hypoxémie sont les mécanismes les plus fréquents. Ainsi, chez l'enfant TC, l'hypotension artérielle non traitée triple l'incidence des décès [9]. De même, l'association d'une hypotension artérielle et d'une hypoxémie multiplie par quatre l'incidence des décès [16]. Enfin, une vasoréactivité cérébrale particulière de l'enfant explique la survenue fréquente de réactions hyperhémiques suivant un épisode ischémique : l'œdème cérébral (brain swelling) (Fig. 1) est à l'origine d'aggravation neurologique consécutive à une forte augmentation du débit sanguin cérébral avec pour corollaire une augmentation de la pression intracrânienne [10].

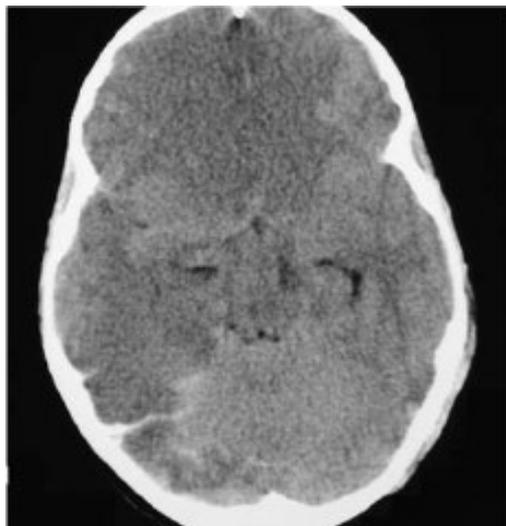


Figure 1. Scanner cérébrale montrant un aspect d'œdème cérébrale diffus.

Noter l'effacement des structures ventriculaires et des sillons corticaux.

▪ Lésions rachidiennes

Les lésions du rachis sont rares chez l'enfant, représentant moins de 5% de l'ensemble des traumatismes du rachis, mais leur pronostic est mauvais [11–12]. Chez l'enfant, pour des raisons anatomiques, 60% à 80% des atteintes traumatiques du rachis touchent le rachis cervical [13].

Les lésions constatées varient avec l'âge de l'enfant. Chez l'enfant de moins de 8 ans, les lésions observées sont plus volontiers des luxations cervicales hautes, alors que chez l'enfant de plus de 8 ans les lésions sont plutôt des fractures cervicales basses (Fig. 2,3). Les conséquences physiopathologiques de ces luxations sont liées au traumatisme de la moelle épinière, qui entraîne la disparition de l'activité sympathique, responsable d'une vasoplégie et donc d'une hypovolémie relative. Par ailleurs, il existe également une hypertonie relative du système nerveux parasympathique responsable de bradycardies parfois extrêmes, voire d'arrêt cardiorespiratoire, notamment lors de stimulations (aspirations bronchiques). À la différence des arrêts cardiorespiratoires survenant dans un contexte d'hypovolémie vraie (hémorragies graves), ceux consécutifs à une lésion cervicale haute semblent de meilleur pronostic, car ils sont plus sensibles à l'utilisation d'amines vasopressives. De fait, en l'absence d'hypovolémie vraie chez un enfant dans le coma, dont l'examen clinique est souvent pauvre, un arrêt cardiorespiratoire rapidement réversible après injection d'adrénaline est très évocateur d'une lésion cervicale haute [11].

Les jeunes enfants sont à risque accru de lésions de la moelle épinière sans anomalie radiographique (spinal cord injury without radiological abnormalities [SCIWORA]), notamment en raison de la souplesse des ligaments et du rachis, qui permet à la colonne cervicale de s'étirer plus loin que la moelle épinière ne peut le tolérer [12]. Une des particularités des traumatismes du rachis chez l'enfant consiste donc en l'existence de ces classiques SCIWORA, identifiées en 1982 par Pang et Wilberger [21](Fig. 2). Ainsi, 50% à 60% des enfants présentant une lésion médullaire n'ont pas d'anomalies radiologiques

associées (SCIWORA)(Fig. 2). Chez l'enfant, ces lésions rachidiennes prédominent habituellement en région cervicale haute (C1-C2), surtout chez le petit enfant, puis au rachis dorsal (D10). Même si ces lésions sont relativement rares chez l'enfant, leurs conséquences dramatiques lorsqu'elles sont méconnues impliquent qu'elles soient systématiquement suspectées chez tout enfant polytraumatisé, jusqu'à preuve définitive de l'intégrité du rachis, qui n'est parfois confirmée qu'au réveil, et imposent la mise en place d'une minerve cervicale.



Figure 2. Aspect en imagerie par résonance magnétique d'une atteinte médullaire sans anomalie radiologique (flèche).

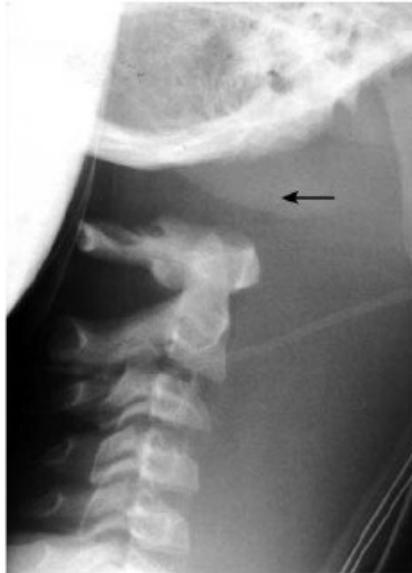


Figure 3. Radiographie du rachis cervical de profil montrant une luxation atlanto-occipitale chez un enfant de 8 ans. Il existe une rupture de l'alignement des vertèbres cervicales, avec une augmentation importante de l'espace atlanto-occipital (flèche).

3. Particularités de l'atteinte thoraco abdominale

▪ Lésions thoraciques

La généralisation des explorations scanographiques (TDM) du corps entier a permis de mettre en évidence la fréquence des atteintes thoraciques chez les enfants traumatisés graves. Ces traumatismes du thorax s'intègrent dans le cadre d'un polytraumatisme dans 82% des cas.

Si les fractures costales sont rares, et témoignent toujours d'un traumatisme particulièrement sévère, les contusions thoraciques diagnostiquées à la TDM sont-elles très fréquentes. Elles s'accompagnent de pneumothorax ou d'hémithorax dans environ 40% des cas. Ceux-ci peuvent prendre un caractère rapidement compressif en particulier chez les plus

petits[14].

Si le retentissement respiratoire de ces lésions est initialement majeur en présence d'un TC grave par l'hypoxie et l'hypercapnie qu'elles entraînent, leur évolution est le plus souvent favorable avec un taux de complications (ARDS, pneumopathies acquises) relativement faible.

Les lésions vasculaires sont exceptionnelles (moins de 0,1 %) chez les enfants survivants, et ne sont intégrées que dans le cadre de traumatismes thoraciques très sévères. Les contusions myocardiques n'entraînent le plus souvent aucune conséquence clinique, et ne sont le plus souvent objectivées que lors d'échographie systématique [15].

L'asphyxie traumatique est une entité particulière dont le retentissement est essentiellement vasculaire cérébral par hyperpression veineuse cervicocéphalique. Elle doit être évoquée devant tout masque facial ecchymotique chez un enfant victime d'une compression thoracique aiguë.

▪ Lésions abdominales

Intégrés dans un traumatisme grave, elles résultent de mécanismes complexes de distraction, et d'accélération linéaires et rotatoires, plus ou moins associés à un impact direct. Elles sont la première cause de choc hémorragique chez l'enfant polytraumatisé. Les lésions spléniques et hépatiques sont les lésions les plus fréquentes, constituant jusqu'à 75 % des lésions. On trouve ensuite les lésions rénales (15 %), et les lésions pancréatiques (3 à 5 %). Les lésions d'organes creux sont plus rares, mais peuvent se rencontrer chez près de 50 % des enfants victimes d'un accident de voiture à forte cinétique en étant incorrectement ceinturés [16].

Leur diagnostic précoce est difficile en l'absence d'aéro-péritoine massif

ou de signes péritonéaux. Un signe cutané de passage de la ceinture doit les faire rechercher activement. Les lésions hépatospléniques les plus fréquemment observées chez l'enfant sont parallèles à la segmentation anatomique, et comportent ainsi rarement des atteintes des gros vaisseaux segmentaires.

Dans la très grande majorité des cas, l'augmentation de la pression intra-abdominale liée à l'hémopéritoine (**Figure 4**) suffit, à elle seule, à assurer rapidement l'hémostase spontanée. Le traitement conservateur de ces lésions est de ce fait la règle. Seule la présence d'un blush vasculaire et d'une instabilité hémodynamique persistante peut faire poser une indication chirurgicale. L'expérience du traitement endovasculaire de ces lésions chez l'enfant reste anecdotique.



Figure 4. Contusion (fracture) hépatique avec hémopéritoine traité de façon conservatoire non opératoire, chez un enfant de 5 ans.

4. Particularités de l'atteinte osseuse périphérique et vasculaire

▪ Lésions orthopédiques

Les atteintes osseuses périphériques font partie des atteintes traumatiques les plus fréquentes lors des traumatismes graves. Elles sont retrouvées dans plus de 70 % des cas [17]. Les enfants ont des os immatures, qui sont plus flexibles et sujets aux fractures des cartilages de croissance.

La spoliation sanguine associée à une fracture isolée, y compris une fracture du fémur, est inférieure à celle observée chez l'adulte et n'entraîne pas d'instabilité hémodynamique lorsqu'elle est isolée [24, 18]. Dans le cas contraire, il faut rechercher une lésion hémorragique associée (thoracique ou abdominale), voire un hématome intracrânien chez le jeune nourrisson.

En dehors des fractures multiples qui peuvent entraîner une hypovolémie, elles posent surtout le problème des séquelles fonctionnelles car elles surviennent sur un os en croissance.

Un syndrome des loges peut compliquer ces fractures, notamment à l'avant-bras et à la jambe. Ce syndrome survient lorsque la pression dans une loge musculaire augmente, compromettant la microcirculation. La nécrose musculaire peut apparaître si la pression dans une loge musculaire dépasse 30 mmHg pendant plus de 8 heures. Sur un muscle sain, il est admis que l'ischémie survient dès que la pression dans la loge dépasse la pression artérielle diastolique de 10 mmHg [19]. Chez des enfants en état de choc, de faibles augmentations de la pression dans les loges musculo aponévrotiques peuvent induire une souffrance musculaire ou nerveuse. Le diagnostic de syndrome des loges est clinique. La douleur, la tension de la loge, les paresthésies, en sont des signes classiques. La disparition du pouls est un signe

tardif. Lorsque la clinique est peu contributive (TC, sédation, patient non coopérant), une mesure de la pression dans la loge peut être effectuée. Il n'existe pas de valeur-seuil validée chez l'enfant permettant d'affirmer le syndrome des loges. Différentes valeurs ont été proposées et des auteurs recommandent la fasciotomie quand la pression dans la loge dépasse : 30 mmHg [20], 45 mmHg [21], 20 mmHg en dessous de la pression artérielle diastolique [22] ou 30 mmHg en dessous de la pression artérielle moyenne (PAM)[23].

- Lésions vasculaires

Les atteintes vasculaires directes secondaires aux fractures osseuses sont peu fréquentes chez l'enfant. Il s'agit alors de fractures supra condyliennes de l'humérus, de l'extrémité distale du fémur, de dislocations du genou ou de fractures du bassin [25]. Le plus souvent, le pouls est absent; mais la présence d'un pouls n'exclut pas la lésion artérielle.

La mesure de la vélocité Doppler permet de suspecter une lésion artérielle.

II. EPIDEMIOLOGIE :

1. Incidence :

D'après l'École de Santé Publique de Harvard, environ 57 millions de personnes ont recherché des soins pour un traumatisme grave à un moment donné de leur vie, et au moins dix millions de ces cas ont été assez graves pour entraîner la mort ou nécessiter une hospitalisation[24]. Aux États-Unis, rien que les traumatismes crâniens pédiatriques sont estimés avoir causé environ 1 484 décès, 17 930 hospitalisations et 641 935 visites aux services des urgences en 2013[25].

Les traumatismes graves sont fréquents chez les enfants, avec environ trois millions de cas signalés chaque année dans le monde et 35 000 hospitalisations annuelles rien qu'au Royaume-Uni[26,27]. Une étude menée sur une cohorte néo-zélandaise à partir de 1977 a révélé que 151 personnes, soit environ 1 %, avaient été hospitalisées pour un traumatisme grave avant l'âge de 26 ans[28].

L'incidence des traumatismes graves pédiatriques varie à travers le monde. Dewan et al.[27] ont réalisé une revue qualitative des traumatismes graves pédiatriques à l'échelle mondiale, et les résultats de leur étude ont révélé que l'incidence variait, allant de 12 en Suède à 486 en Australie pour 100 000 enfants/an.

Aux États-Unis, les traumatismes graves touchent 475 000 enfants chaque année, entraînant plus de 2 600 décès liés aux traumatismes graves, 37 000 hospitalisations et 435 000 visites aux services des urgences. L'incidence des hospitalisations est de 70 cas pour 100 000 enfants/an aux États-Unis[29,30]. En Allemagne, Bruns et al. ont rapporté 10,2 millions

d'hospitalisations, 458 844 cas de traumatismes graves et une incidence de 687 cas pour 100 000 enfants/an entre 2014 et 2018, avec un taux de mortalité de 0,67 cas pour 100 000 enfants/an[31].

Dans notre série 52 patients ont présenté un traumatisme grave durant la période s'étalant entre le 1^{er} janvier 2022 et 1^{er} octobre 2023.

Tableau 4 : Comparaison de l'incidence des traumatismes crâniens dans la population pédiatrique selon les différentes séries de la littérature

Auteurs	Année	Localisation géographique	Traumatisme crânien	Incidence (Cas/100000)
Reid et al. [32]	2001	Minnesota	Grave	73,5/100000
Masson et al. [33]	2001	Sud-ouest de la France	Grave	8,4/100000
Ventsel et al.[34]	2008	Estonie	Grave	36/100000
Koepsell et al. [35]	2011	Washington	Grave	0,8/100000
Valdivia-Tangarife et al. [36]	2018	Ouest du Mexique	Modérée Grave	19,4/100000 5,1/100000
Olsen et al. [37]	2019	Oslo	Modérée Grave	2,4/100000 2,9/100000
de Souza et al. [38]	2023	Brésil	Tous traumatisme crânien	45,3/100000

2. Age :

Les traumatismes graves chez les enfants sont des événements dévastateurs qui peuvent avoir des conséquences profondes sur leur développement physique, cognitif, émotionnel et social.

Les enfants sont plus susceptibles de subir des traumatismes graves en raison de leur niveau d'activité, de leur immaturité cognitive, de leur possession d'une tête plus grande par rapport au reste du corps, et de leur développement incomplet du système nerveux central.

La moyenne d'âge dans notre série était de 7,3 ans avec des extrêmes allant de 3 mois à 15 ans.

Le tableau x montre que nos résultats sont proches de ceux retrouvés dans la littérature.

Tableau 5 : Comparaison de l'âge moyen de survenue du traumatisme dans notre étude aux différentes séries de la littérature

Auteur	Année	Pays	Moyenne d'âge en année
Ducrocq et al.[39]	2006	France	7+/_5
Chaintanya et al.[40]	2018	Inde	5,5
Jochems et al.[41]	2021	Pays-bas	10,4
Arango et al.[42]	2021	USA	7,7
		Colombie	6,6
Barcenas et al.[43]	2022	Tanzanie	10,12
Notre série	2024	Maroc	7,3

3. Sexe :

Les études épidémiologiques ont souvent rapporté une prépondérance des traumatismes graves chez les garçons par rapport aux filles. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à cette disparité.

Tout d'abord, les activités physiques et les comportements à risque peuvent différer entre les sexes. Les garçons sont parfois plus enclins à participer à des activités sportives et à des jeux qui comportent un risque accru de blessures. Les stéréotypes de genre peuvent encourager les garçons à adopter des comportements plus téméraires ou agressifs, ce qui peut augmenter leur exposition aux situations dangereuses et, par conséquent, aux traumatismes graves.

Ce qui rejoint les résultats retrouvés dans notre série où on observe une prédominance masculine avec un sex ratio garçon/fille à 1,6.

Tableau 6 : Comparaison du sex ratio de notre étude aux différentes séries de la littérature

Auteurs	Année	Pays	Sex Ratio Garçon/Fille
Ducrocq et al.[39]	2006	France	2,03
Ventsel et al.[34]	2008	Estonie	1,32
Arango et al.[42]	2021	USA	1,06
		Colombie	2,18
Barcenas et al.[43]	2022	Tanzanie	2,25
de Souza et al. [38]	2023	Brésil	2,3
Notre série	2024	Maroc	1,6

4. Mécanisme :

Les mécanismes accidentels les plus fréquents à l'origine des TC sont les chutes, les accidents de la voie publique (AVP), les agressions [7]. Les types de blessures subies par un enfant dépendent de son âge et de la gravité de l'incident. Les chutes et défenestrations prédominent chez les moins de 6 ans et représentent environ 30 % de la pathologie traumatique infantile. Les chutes de faible hauteur s'observent chez les nourrissons, alors que les AVP prédominent chez les plus de 6ans [6].

Dans l'étude menée par Arango et al.[42] Les accidents de la route étaient la principale cause de blessure dans les deux établissements (PCH « Phoenix Children's Hospital USA » 51,5 % et NUH « Neiva University Hospital, Colombia (NUH) » 68,6 %), ce qui rejoint l'étude menée par Barcenas et al.[43] où Le mécanisme de blessure le plus courant dans tous les groupes d'âge était l'accident de la route (RTI) à 64,4 %, suivi des chutes à 19,8%. Dans notre série, les résultats obtenues rejoignent la littérature, les accidents de la voie publique occupent le premier rang avec 56% des cas, suivi des chutes avec 36% des cas, avec enfin les agressions (4%) et les accidents domestiques (4%).

Tableau 7 : Comparaison des mécanismes lésionnels retrouvés dans notre étude aux différentes séries de la littérature Arango et al.[42]Olsen

Auteurs	Barcenas Al-		et al. [37]	et al.[43]	Busaidi et al.[44]	Notre série
	PCH (USA)	NUH (COLOMBIE)				
Mécanisme						
Accident de la voie Publique (AVP)	51,5%	68,6%	37%	64,2%	60,87%	56%
Chute	31,8%	17,1%	41%	19,6%	19,56%	36%
Agressions	9,1%	5,7%	4%	NP	NP	4%
Autres	7,5%	8,5%	18%	16,2%	19,56%	4%

5. Délai de transport :

Les premières heures post-traumatique sont les plus à risque d'ischémie cérébrale, d'où l'intérêt d'une prise en charge précoce et spécialisée. L'organisation logistique doit s'efforcer de transporter ces patients rapidement vers des structures pluridisciplinaires qui font encore défaut dans notre contexte.

Selon Arango et al.[42], la plupart des patients ont été transférés depuis le lieu de l'accident ou leur domicile vers PCH (68,0 %). Les transferts en provenance d'un autre hôpital étaient la source la plus courante pour les patients recevant des soins à NUH (80 %). En conséquence, le temps total écoulé entre la blessure et l'arrivée à l'hôpital traitant était significativement plus long à NUH (NUH 5 h et 31 min, PCH 1 h et 51 min, $p = 0,025$). Dans notre cas, le délai de transport par rapport au traumatisme était <1H dans 11% des cas, entre 1H-6h dans 62% des cas, et enfin >6H dans 27% des cas. La majorité des cas admis après 6h concernait des traumatismes négligés ou des transferts

inter-hospitalier par manque de prise en charge spécialisée ; ce qui rejoint les résultats observés de le NUH.

6. Mode de transport :

Une prise en charge médicalisée sur les lieux de l'accident semble réduire significativement la mortalité des adultes après TC grave comparativement à une prise en charge non médicalisée (31 versus 40 %), et cela pour des lésions cérébrales et une réanimation ultérieure comparables[45]. Ces résultats semblent extrapolables à l'enfant[46]. Les principaux objectifs de la prise en charge pré-hospitalière consistent à rechercher et traiter les détresses vitales immédiates: respiratoire, circulatoire et neuro- logique, ce qui contribue à éviter l'apparition et/ou à traiter les ACSOS [14,47].

Il faut en particulier lutter activement contre les deux facteurs majeurs de pronostic défavorable que sont l'hypotension artérielle et l'hypoxémie ($PaO_2 < 60-65$ mmHg ou une saturation inférieure à 90%), dont l'association multiplie par quatre le risque de mortalité[13]. Dans notre contexte, le transport était non médicalisé dans 67% des cas, alors qu'il était assuré par un personnel médical ou paramédical dans 33% des cas. La quasi-totalité des transports médicalisé concernait des transferts inter- hospitalier et était assuré par le service d'aide médicale urgente (SAMU), ou concernait des transferts en provenance de structure privé.

7. Fréquence selon les mois :

Dans l'étude mené par Koepsell et al. [35], les taux d'incidence des traumatismes graves variaient quelque peu selon le trimestre du calendrier ; généralement, des taux plus élevés étaient observés pendant les mois plus

chauds (d'avril à septembre) que pendant les mois plus froids (d'octobre à mars), mais ces différences n'atteignaient pas de signification statistique ($p > 0,3$; 5 degrés de liberté). Ceci peut être expliqué par l'augmentation des activités extérieures, des vacances scolaires qui changent les habitudes quotidiennes, de la pratique accrue de sports et de loisirs, de la circulation routière plus dense due aux déplacements familiaux en période estivale. Dans notre série, la répartition des admissions selon les mois se caractérise par un pic au mois de Juillet avec un taux d'hospitalisation à 19% soit 10 patients.

III. Évaluation de la gravité

1. Critères d'envoi d'un Service médical d'urgence régional (Smur)

Les éléments à rechercher sont ceux qui vont conduire à poser le diagnostic de traumatisme grave ou de polytraumatisme et reposent essentiellement sur les critères de Vittel [26, 27] (Tableau 1).

Paramètres physiologiques	GCS <13 PAS <90 mmHg SpO2 <90%
Réanimation préhospitalière	Ventillation mécanique Remplissage >1000 ml- Catécholamines - Transfusion Pantalon antichoc gonflé
Cinétique lésionnelle	Éjection du véhicule - Projection Passager décédé dans le même véhicule Chute >6m Projection/écrasement Blast Appréciation globale

<p>Lésions anatomiques</p>	<p>Trauma pénétrant au-dessus des genoux et/ou des coudes, de la tête, du cou du thorax et de l'abdomen Volet thoracique</p> <p>Brûlure >15% et/ou de la face et/ou des voies aériennes supérieurs</p> <p>Suspicion d'inhalation de fumée</p> <p>Hypothermie <32 °C</p> <p>Suspicion de fracture instable du bassin Suspicion d'atteinte médullaire</p> <p>Amputation au niveau du poignet, de la cheville ou au- dessus</p> <p>Ischémie aigue de membre</p>
<p>Terrain</p>	<p>Âge >65 ans ou <5 ans</p> <p>Insuffisance cardiaque ou coronaire Grossesse (2^e et 3^e trimestres) Trouble de la crase sanguine</p>

Tableau 1. Critères de Vittel utilisés pour définir la sévérité d'un traumatisme.

Plusieurs de ces critères ne sont pas adaptés à l'enfant ou ne sont plus d'actualité. Néanmoins, les recommandations américaines de 2011 sur le triage préhospitalier des traumatisés en sont très proches [28]. Ils incluent des éléments physiologiques, de cinétique, lésionnels, de réanimation préhospitalière et de terrain du patient. Bien qu'un bon nombre de ces éléments soient accessibles à l'interrogatoire téléphonique, ces critères sont surtout adaptés à une population adulte. Quoi qu'il en soit, il faut rechercher un mécanisme lésionnel de cinétique violente : éjection d'un véhicule, autre passager décédé dans le même véhicule, chute de plus de 6 mètres, victime projetée ou écrasée, une appréciation globale (déformation du véhicule, absence de port du casque ou de la ceinture de sécurité) ou un blast. Si un de ces éléments est présent, l'indication de l'envoi, dès l'appel, d'une équipe du Smur est posée. En cas de doute sur la présence d'un de ces éléments ou en l'absence d'information, l'envoi initial d'une équipe du Smur est à discuter au cas par cas [26].

Cependant, des travaux remettent en question la fiabilité du mécanisme lésionnel chez l'enfant en termes de valeur prédictive de gravité et insistent plus sur l'examen clinique initial [29].

2. Facteurs de gravité

Des critères de gravité simples permettent de reconnaître les patients à haut risque et d'effectuer un premier tri [30].

Ces facteurs concernent :

- L'âge, qui semble inversement corrélé à la gravité du pronostic, les enfants les plus jeunes ayant les moins bons pronostics [31, 32];
- La cinétique de l'accident : piéton renversé par un véhicule léger à

- plus de 40 km/h, chute de plus de 3m de hauteur, accident de voiture à grande vitesse, traumatisme pénétrant ou écrasement ;
- La nature des lésions traumatiques prédominantes : TC avec coma d'emblée, lésions multiples, lésion médullaire avec déficit neurologique, lésions vasculaires ;
 - Certains scores de gravité : GCS inférieur ou égal à 7 [37, 17] et Pediatric trauma score (PTS) inférieur ou égal à 4 [37];
 - L'hypotension artérielle (pression artérielle systolique [PAS] inférieure à $70 + [2 \times \text{âge en années}]$) et l'hypoxie (apnée supérieure à 20 secondes, saturation partielle en oxygène inférieure à 90 %, pression partielle en oxygène inférieure à 60–65 mmHg) chez un enfant TC grave [33, 34];
 - Anémie chez un enfant TC grave (hématocrite inférieur à 30 % ou taux d'hémoglobine inférieur à 8 g.dl^{-1})[35].

L'existence d'un ou plusieurs de ces facteurs doit déclencher une prise en charge par une équipe pré hospitalière médicalisée et faire transférer directement l'enfant vers un centre de traumatologie, idéalement pédiatrique. L'objectif est de pouvoir réaliser, après stabilisation du patient, une exploration et un traitement en un temps de l'ensemble des lésions [36].

3. Scores de gravité

Les scores de gravité sont des indices établis pour évaluer la gravité, décrire les lésions, réaliser un triage en cas d'afflux de victimes et tenter de prédire le pronostic. Ils permettent également de comparer a posteriori des patients dont les lésions sont de gravité équivalente, de façon à évaluer l'effet des différents traitements mis en œuvre.

D'une façon générale, on retrouve deux grands types de score, les premiers sont des outils de tri (par exemple GCS [échelle de coma de Glasgow] et PTS) et les seconds permettent de mesurer plus précisément la gravité du traumatisme (par exemple, injury severity score [ISS]).

Chez l'enfant, les trois scores le plus largement utilisés dans la littérature sont le GCS, le PTS et l'ISS. Un GCS inférieur ou égal à 8 définit un coma, et indique l'intubation trachéale et la ventilation mécanique. Le PTS est un score simple à calculer cliniquement (**Tableau 2**), qui permet d'identifier les enfants à risque immédiat de décès en l'absence de traitement approprié [38].

Critères	+2	+1	-1
Poids (kg)	>20	10 - 20	<10
Liberté des voies aériennes	Normale	Maintenue	Non maintenue
Pression artérielle systolique (mmHg)	>90	50 - 90	<50
État neurologique	Réveillé	Obnubilé	Comateux
Plaie	Aucune	Minime	Majeur
Fracture	Aucune	Fermée	Ouverte

Tableau 2. Pediatric trauma score.

Chaque item reçoit une cotation, dont la valeur va de -1 à +2. Le score total peut donc varier de -6 à +12. Un score inférieur ou égal à 7 indique un traumatisme potentiellement grave.

Parmi les scores de gravité anatomiques, l'ISS est le plus employé, chez l'enfant comme chez l'adulte (**Tableau 3**). Un ISS supérieur ou égal à 25, un GCS inférieur à 7 et un PTS inférieur à 4 sont des facteurs de risque

indépendants de mortalité chez l'enfant traumatisé grave [38]. Par ailleurs, l'ISS est également utilisé pour comparer la qualité de prise en charge des centres hospitaliers d'accueil des polytraumatisés. Il est un des deux scores (avec le revised trauma score [RTS]) utilisés par la méthodologie TRISS pour effectuer ces comparaisons [39]. Le TRISS aboutit au calcul d'une probabilité de survie, définie à partir du RTS, de l'ISS et de l'âge du patient. Cette méthodologie, validée chez l'adulte, est également utilisable chez l'enfant pour réaliser des audits de qualité [39].

Les 6 régions anatomiques de l'ISS	
Tête et cou (lésions cérébrales et fractures du crâne, lésions et fracture du rachis cervical)	
Face (lésions de la bouche, oreilles, yeux, nez et os de la face)	
Thorax (lésions de tous les organes intrathoraciques, du diaphragme, de la cage thoracique et de la colonne dorsale)	
Abdomen et contenu pelvien (lésions de tous les organes de ces cavités et du rachis lombaire)	
Membres, ceinture scapulaire et pelvienne (entorses, fractures, luxations, amputations)	
Externes : toute la surface cutanée (plaies, contusions, abrasions et brûlures)	
Score AIS	
Score	Gravité
1	Mineure
2	Modérée
3	Sérieuse
4	Sévère
5	Critique
6	Maximale

Exemple de calcul de l'ISS			
Régions corporelles	Lésions	AIS le plus élevé	AIS ²
Tête et cou	Contusion cérébrale Section complète de la carotide interne	4	16
Face	Plaie de l'oreille	1	
Thorax	Fracture des 3 ^e et 4 ^e côtes gauches	2	
Abdomen et contenu pelvien	Hématome rétropéritonéal	3	9
Membres, ceinture scapulaire et plevienne	Fracture du fémur	3	9
Externes	Abrasions multiples	1	ISS = 34

Tableau 3. Calcul de l' injury severity score

L'ISS est la somme des carrés des AIS (abbreviated injury score) les plus élevés des trois régions corporelles les plus atteintes. Les six régions corporelles de l'ISS sont présentées dans le tableau. Le catalogue des lésions AIS est disponible en français dans Santé publique France. Le calcul du score ISS est disponible sur le site internet de la Société française d'anesthésie et de réanimation [114].

Plus récemment, un nouveau score, le score BIG (base deficit, INR et score de Glasgow), établi à partir de facteurs de risque indépendants de décès d'enfants victimes de traumatologie de guerre, a été proposé pour prédire la mortalité [40]. Ce score est calculé à l'admission de la façon suivante : **BIG = [(base deficit) + (2,5 × INR) + (15 - score de Glasgow)]**. Il a été validé sur un effectif d'enfants victimes de traumatologie civile en Allemagne, avec une bonne valeur prédictive (aire sous la courbe ROC [receiver operating characteristic] de 0,89, intervalle de confiance [IC] à 95 % : 0,87-0,92). La probabilité de décès est ensuite calculée comme $1 / (1 + e^{-x})$ avec $x = 0,2 \times (\text{BIG score} - 5,208)$ [40]. À titre d'exemple, pour un patient ayant un score BIG de 26 (ex : base deficit : 10 ; INR : 3,6 ; GCS : 6), la mortalité prédite est de 50%, avec une valeur prédictive positive de 65 %, une valeur prédictive négative de 93 % et une spécificité de 99 % [40].

Un autre score clinique simple, le shock index (**SI = fréquence cardiaque / pression artérielle systolique**), semble également utile pour prédire le pronostic des patients traumatisés, ainsi que la probabilité de transfusion ou la nécessité d'admission en soins critiques chez l'adulte comme chez l'enfant [41, 42]. Chez l'adulte, le seuil de SI qui discrimine le mieux la gravité est de 1. Chez l'enfant, il faut prendre en compte la tranche d'âge du patient pour déterminer ce seuil. On parle alors de SIPA (shock index, Pediatric Age-Adjusted) , avec des seuils de 1,22, 1,0 et 0,9 pour les enfants âgés respectivement de 4-6 ans, 7-12 ans et 13-16 ans [42, 43, 44].

Tableau 9 : Comparaison des différents scores retrouvés dans la littérature

Auteurs	Moyenne PTS (intervalle)	Moyenne ISS (intervalle)
Orliaguet et al.[69]	7 (-4 à 12)	16 (3-75)
Ducrocq et al.[39]	3+/-3(-4 à 10)	28+/-12 (4 -75)
Jochems et al.[41]	Non précisé	11 (9-18.5)
	4(-2 à 11)	20(2-50)
Notre série		

IV. Évaluation des détresses vitales

1. Examen clinique et anamnèse

Une approche standardisée pour la prise en charge initiale des enfants polytraumatisés a été diffusée par l'American College of Surgeons par le programme advanced trauma life support(ATLS)[45]. On peut la résumer sous la forme d'objectifs initiaux de gestion de l'enfant traumatisé, qui incluent notamment d'évaluer rapidement les dommages, déterminer les priorités de gestion et procéder à des interventions critiques. La réalisation de ces objectifs nécessite une approche systématique et logique.

L'ordre de priorité dans l'évaluation initiale et le traitement, qu'on appelle « examen primaire» (primary survey), est le suivant :

- A,airway : maintien de la liberté des voies aériennes avec protection du rachis cervical;
- B,breathing : diagnostic et prise en charge de la détresse ventilatoire ;
- C,circulation : diagnostic et prise en charge de la détresse circulatoire avec contrôle de l'hémorragie ;
- D,disability : évaluation de l'état neurologique ;
- E,exposure : examen clinique complet et contrôle de

l'environnement (prévention de l'hypothermie notamment).

Des recommandations françaises, concernant la prise en charge des traumatisés graves à la phase précoce et le monitoring du patient traumatisé grave en pré hospitalier sont disponibles, et prennent en compte les particularités de l'enfant, constituant ainsi un parfait complément aux recommandations américaines [46, 47].

2. Évaluation de la détresse respiratoire

L'hypoxie est la cause la plus fréquente d'arrêt cardiaque chez l'enfant ; c'est également une des deux principales ACSOS chez l'enfant TC grave. Une oxygénation et une ventilation adéquates sont indispensables pour maintenir l'équilibre acidobasique [35].

Les nourrissons et les enfants deviennent hypoxémiques beaucoup plus rapidement que les adultes lorsque la ventilation est insuffisante, en raison de réserves en oxygène réduites. Les nourrissons et les jeunes enfants ont également de petits volumes courants et sont plus à risque de barotraumatisme en cas de ventilation artificielle trop agressive.

Il existe une hyperréactivité laryngée et de l'arbre trachéo bronchique chez l'enfant, pouvant être à l'origine de spasmes (laryngo - ou bronchospasme) lors de tentatives d'intubation chez un enfant insuffisamment sédaté. Enfin, des particularités anatomiques rendent l'obstruction des voies aériennes plus fréquente et la ventilation manuelle plus délicate que chez l'adulte. En effet, la langue est plus volumineuse et le larynx est plus haut situé. Le diamètre des voies aériennes est également plus faible. L'obstruction des voies aériennes et une ventilation inadéquate avec hypoxie sont les causes les plus fréquentes d'arrêt cardiorespiratoire post- traumatique chez l'enfant [48].

Il faut rapidement vérifier la perméabilité des voies aériennes, s'assurer de l'absence de corps étrangers dans la bouche ou le pharynx, et rechercher des fractures mandibulaires ou faciales, qui s'associent à un risque important d'obstruction des voies respiratoires. Un patient qui est capable de pleurer ou de parler normalement est peu susceptible d'avoir une obstruction des voies aériennes, mais doit être réévalué régulièrement [35].

En même temps qu'il évalue la détresse respiratoire et la traite, le clinicien doit immobiliser et protéger le rachis cervical. Puis, au cours de la prise en charge initiale, il faut s'efforcer d'éliminer une lésion du rachis cervical, en particulier si le patient présente des blessures à la tête ou au cou, ou s'il a une conscience altérée.

Chez la plupart des patients traumatisés, une insuffisance respiratoire aiguë signifie que le patient nécessite une intubation en séquence rapide afin de traiter ou prévenir l'hypoxie et l'hypercapnie.

Sécuriser les voies respiratoires, surtout chez les enfants de moins de 3 ans, peut être difficile en raison des spécificités anatomiques.

Les raisons conduisant habituellement à l'intubation trachéale des patients polytraumatisés incluent une détresse respiratoire aiguë, une contusion pulmonaire, une hypoxémie, un volet costal mobile avec respiration paradoxale (exceptionnelle chez l'enfant), un choc hémorragique, un PTS inférieur ou égal à 7 et un TC grave (GCS inférieur ou égal à 8)[35, 49].

L'évaluation de la respiration commence par l'inspection du cou et du thorax. Les principales constatations possibles sont une déviation de la trachée, des anomalies des mouvements ou de l'ampliation thoraciques, une mise en jeu des muscles respiratoires accessoires et des contusions ou des

lacérations du thorax ou du cou, un emphysème sous-cutané. En outre, le rythme et la profondeur de la respiration doivent être déterminés et les bruits respiratoires auscultés [35]. Certaines lésions potentiellement mortelles, pouvant compromettre la ventilation, sont volontiers diagnostiquées par un examen physique approfondi. Le pneumothorax peut se présenter avec une déviation de la trachée, des bruits respiratoires diminués ou absents de façon unilatérale, un tympanisme homolatéral à la percussion et une immobilité de l'hémi-thorax atteint à l'inspection. Lorsqu'il est compressif, il peut se présenter sous la forme d'une détresse circulatoire avec collapsus et signes d'insuffisance cardiaque droite aiguë. L'hémothorax est à l'origine d'une diminution homolatérale du murmure vésiculaire, associée à une matité à la percussion. Il s'associe volontiers, lorsqu'il est volumineux, à des signes de mauvaise tolérance hémodynamique. Enfin, il faut penser à la dilatation gastrique, favorisée par les pleurs et une éventuelle ventilation au masque de l'enfant, qui peut aggraver la détresse respiratoire, voire très rarement en être responsable. Le traitement en est simple et repose sur l'introduction d'une sonde orogastrique.

3. Évaluation de la détresse circulatoire

Une évaluation fiable de l'état cardiovasculaire de l'enfant repose sur une parfaite connaissance des valeurs normales de fréquence cardiaque et de pression artérielle en fonction de l'âge (**Tableau 4**).

En général, les fréquences cardiaque et respiratoire sont plus élevées que chez les adultes, et la pression artérielle est plus basse. La limite inférieure de PAS normale pour l'âge peut être approchée par la formule suivante pour les enfants de plus de 1 an : $PAS = 90 \text{ mmHg} + [2 \times (\text{âge en années})]$. On parle

d'hypotension artérielle si la PAS chute en dessous de $70 \text{ mmHg} + [2 \times (\text{âge en années})]$ ou si la PAS devient inférieure au cinquième percentile pour l'âge [33, 34].

La détresse circulatoire peut conduire à un état de choc. L'état de choc se définit comme une insuffisance durable de la microcirculation périphérique avec réduction de l'apport d'oxygène aux tissus. Il aboutit à une anoxie cellulaire, qui entraîne le métabolisme vers la voie anaérobie et la production de lactates. Cet état de choc peut évoluer vers une défaillance multiviscérale entraînant le décès, en dépit d'un traitement bien conduit.

Âge	FC (moyenne) (battements/min)	Limite inférieure de PAS (mmHg)	FR (cycles/min)
Naissance - 6 mois	80 - 180 (140)	60	30 - 60
6 mois - 1 an	70 - 170 (135)	70	30 - 50
1 - 3 ans	90 - 150 (120)	72 - 76	24 - 40
3 - 5 ans	65 - 135 (110)	76 - 80	22 - 34
5 - 12 ans	60 - 120 (85 - 100)	80 - 90	14 - 25
12 ans - adulte	60 - 100 (80 - 85)	90	12 - 20

Tableau 4. Signes vitaux normaux selon l'âge.

La principale cause de détresse circulatoire est le choc hémorragique. Les autres causes, plus rares (tamponnade, choc spinal, choc cardiogénique d'une contusion myocardique, anaphylaxie, etc.), méritent néanmoins d'être connues.

L'hypovolémie hémorragique est la cause la plus fréquente d'état de choc chez les enfants polytraumatisés [50], sa reconnaissance et son traitement précoces sont essentiels. On parle de choc compensé lorsqu'il y a eu une perte de sang importante, mais que la pression artérielle est maintenue par la tachycardie et la vasoconstriction [9]. Un choc non compensé se manifeste par une hypotension, en plus de la tachycardie (Tableau 5). La tachycardie est généralement le premier signe d'hypovolémie chez l'enfant. Par conséquent, l'enfant polytraumatisé qui est froid et tachycarde devrait être considéré comme en état de choc, jusqu'à preuve du contraire. D'autres signes de choc incluent notamment le pincement de la pression pulsée à moins de 20 mmHg, des marbrures cutanées, des extrémités froides, un allongement du temps de recoloration cutané au-delà de 3 secondes, une oligurie (diurèse inférieure à 0,5 ml/kg/h) voire une anurie, une diminution du niveau de conscience et une baisse de la réponse à la stimulation nociceptive [35]. Chez l'enfant, le volume sanguin circulant rapporté au poids est faible (70 à 80 ml/kg de poids, soit 700 à 800 ml pour 10 kg), mais l'efficacité des mécanismes de compensation d'une hémorragie est importante. Leur réserve physiologique accrue permet aux enfants de maintenir leur pression artérielle malgré une perte de 30 % à 40 % du volume sanguin total. Ainsi, l'état de choc non compensé avec hypotension artérielle est un signe tardif qui exige une prise en charge immédiate. Chez le nourrisson, un choc non compensé avec une hypotension est accompagné dans les premières étapes d'une tachycardie, qui évolue vers la bradycardie dite paradoxale si la perte de sang se poursuit [35,51]. Cette bradycardie précède de peu l'arrêt cardiaque par désamorçage, en l'absence de

remplissage vasculaire rapide.

	Classe I très léger	Classe II léger	Classe III modéré	Classe IV sévère
% perte sanguine	<15%	15% - 30%	30% - 40%	40%
Fréquence cardiaque	Normal	Tachycardie	Tachycardie	Tachy - voire bradycardie
Fréquence respiratoire	Normal	Polypnée légère	Polypnée modérée	Polypnée, bradypnée ou apnée
Pression artérielle	Normal ou hypertension	Normal ou hypotension	Hypotension	Hypotension
Pouls périphériques	Normaux	Normaux ou diminués	Faibles ou absents	Absents
Peau	Chaude et rose	Extrémités froides et moites	Extrémités froides et pâles	Extrémités froides, pâles cyanosées
Temps de recoloration capillaire	Normal	Prolongé	Très prolongé	Très prolongé
État mental	Légèrement anxieux	Légèrement anxieux Confus Combatif	Très anxieux Confus Léthargique	Très confus Léthargique Comateux
Diurèse	Normal	Oligurie modérée	Oligurie nette	Anurie

Tableau 5. Classification du choc hémorragique.

Le reste de l'évaluation doit mettre l'accent sur la recherche des sources de saignement et d'éventuelles autres causes d'instabilité hémodynamique :

- Un saignement extériorisé : plaie d'un gros vaisseau (par exemple, plaie du Scarpa avec lésion artérielle fémorale), amputation de membre, plaie du cuir chevelu (à suturer dès que possible), etc. ;
- Une douleur abdominale suggérant un hémopéritoine ou un hématome rétropéritonéal ;
- Un traumatisme thoracique avec pneumothorax sous tension, hémithorax ou tamponnade cardiaque ;
- Une lésion de la moelle épinière à l'origine d'un choc spinal ;
- Un choc anaphylactique ;
- Une fracture ouverte hémorragique ;
- Chez un nourrisson TC en état de choc hémorragique, il faut savoir évoquer l'hématome extradural, qui peut être responsable d'une spoliation sanguine importante à l'origine de cet état de choc.

Dans ce cas, la détresse circulatoire peut devancer la survenue de la détresse neurologique.

4. Évaluation de la détresse neurologique

L'évaluation de la détresse neurologique comprend la détermination du niveau de conscience [35] en utilisant le GCS ou le GCS pédiatrique, une échelle validée pour les enfants de 2 ans et moins (Tableau 6)[52].

Échelle adulte		Échelle pédiatrique	
<i>Ouverture des yeux</i>			
Spontanée	4	Comme chez l'adulte	
Au bruit	3		
À la demande	2		
Aucune	1		
<i>Meilleure réponse verbale</i>			
Orientée	5	Comportement social	5
Confuse	4	Pleurs consolables	4
Inappropriée	3	Cris incessants	3
Incompréhensible	2	Agitation, gémissements	2
Aucune	1	Aucune	1
<i>Meilleure réponse motrice</i>			
Obéit aux ordres	6	Comme chez l'adulte	
Localise la douleur	5		
Inadaptée	4		
Flexion à la douleur	3		
Extension à la douleur	2		
Aucune	1		

Tableau 6. Score de Glasgow et son adaptation pédiatrique.

Il faut au cours de l'examen clinique, rechercher les réflexes pupillaires et les réflexes du tronc cérébral. Des pupilles asymétriques (anisocorie) ou fixes et dilatées indiquent un engagement cérébral et la nécessité de prendre des mesures énergiques et immédiates pour lutter contre l'hypertension intracrânienne (HIC) menaçante. La présence de signes de localisation doit faire immédiatement évoquer la possibilité d'un hématome intracrânien. Il est à noter que, chez le nourrisson, un hématome intracrânien peut être responsable d'un choc hémorragique. Dans ce cas, les signes de détresse circulatoire peuvent être au premier plan et précéder l'apparition des signes de détresse neurologique. L'alternance de phases de somnolence et d'agitation doit faire suspecter un TC grave.

Alors que chez l'adulte le GCS est un indicateur pronostique reconnu, il ne permet pas toujours de prédire l'évolution chez l'enfant. Néanmoins, un GCS inférieur ou égal à 8 indique un TC grave et doit faire poser l'indication de l'intubation trachéale et de la ventilation mécanique.

5. Syndrome du compartiment abdominal

La présence d'un épanchement abdominal, quelle qu'en soit la cause ou la nature (primitif ou secondaire), peut induire une augmentation de la pression intra-abdominale (PIA) responsable d'un syndrome du compartiment abdominal (SCA)[53, 54].

Cette augmentation de la PIA peut avoir des conséquences respiratoires et hémodynamiques [55]. Les effets respiratoires comprennent la genèse d'atélectasies basales avec diminution de la capacité résiduelle fonctionnelle, pouvant aboutir à une détresse respiratoire aiguë. L'augmentation de la PIA peut également compromettre la perfusion des organes abdominaux. Parmi

ceux-ci, les reins sont particulièrement exposés, ce d'autant plus qu'il existe un état de choc associé. Le SCA peut donc induire ou aggraver une insuffisance rénale aiguë. Par ailleurs, l'augmentation de la PIA peut compromettre la circulation splanchnique, conduisant à une ischémie mésentérique. Enfin, une hyperpression abdominale, par la gêne au retour veineux qu'elle engendre, peut induire une baisse du débit cardiaque avec majoration de l'état de choc.

Le diagnostic de SCA fait appel à la mesure de la PIA par voie vésicale. Il n'existe pas de valeur seuil chez l'enfant permettant d'affirmer le SCA. Au-delà d'une PIA de 25 mmHg, certains ont suggéré qu'une laparotomie à visée décompressive pourrait être nécessaire[56].

6. Évaluation de la coagulopathie du choc hémorragique traumatique

Un des principaux défis dans le contexte d'hémorragie traumatique est la lutte contre la triade létale, qui associe hypothermie, acidose et coagulopathie [57, 58] :

- Dans le cadre du polytraumatisme, l'hypothermie est d'origine multifactorielle.

Les principaux facteurs qui l'induisent sont : la température ambiante, les lésions cutanées qui altèrent les capacités de la peau à maintenir l'homéostasie thermique, la perfusion de solutés à température ambiante et de produits sanguins labiles (PSL) non réchauffés, et enfin l'anesthésie générale qui altère les mécanismes de régulation de la température centrale. Enfin, l'état de choc lui-même entraîne une déplétion des stocks énergétiques en ATP (adénosine triphosphate) et une baisse de la thermogénèse. L'enfant est encore plus à risque d'hypothermie car il possède une surface cutanée proportionnellement

plus importante que l'adulte et des capacités de thermogénèse plus faibles que les adultes. Comme chez l'adulte, il existe chez l'enfant une relation directe entre la gravité de l'hypothermie à l'admission et le risque de décès [59] ;

- L'acidose est également d'origine multifactorielle chez le polytraumatisé.

Elle est souvent à trou anionique augmenté en rapport avec la production de lactates lors du choc, mais peut aussi être due à l'apport de solutés cristalloïdes (acidose hyperchlorémique) ou à la transfusion massive de concentrés de globules rouges (CGR) dont le pH peut descendre jusqu'à 6,6 [61]. Les effets délétères de l'acidose sur la coagulation ont été observés chez l'adulte et chez l'enfant [57, 58, 60, 62] ;

- La coagulopathie du polytraumatisé est elle aussi multifactorielle et complexe.

Elle est liée aux facteurs présentés précédemment, mais aussi à la perte d'une partie du pool de plaquettes et de facteurs de coagulation lors de l'hémorragie, ainsi qu'à la consommation des facteurs d'hémostase et à l'hémodilution liée aux volumes de cristalloïdes ou de colloïdes perfusé [63, 64]. Il existe également une surconsommation des facteurs de coagulation qui s'apparente à une coagulation intravasculaire disséminée (CIVD). Les autres facteurs pouvant jouer un rôle incluent l'anémie qui, avec l'hémodilution et la baisse de l'hématocrite, diminue la margination des plaquettes et leur capacité d'activation au contact de la lésion endothéliale,

ainsi que l'hypocalcémie qui survient soit à la suite de l'hémodilution, soit par chélation, par les citrates anticoagulants contenus dans les PSL lors d'une transfusion massive [65]. Un travail a montré une corrélation entre la mortalité des enfants polytraumatisés et la valeur d'INR (international normalized ratio) à l'admission, avec un odds ratio de risque de décès de 3,77 ($p < 0,001$) pour un INR supérieur ou égal à 1,3 [66].

Tableau 8 : Comparaison des résultats de l'examen clinique de notre série aux différentes séries de la littérature

Steyerberg et al.[55] (USI) Gao et al.[56] (USI) Barcenas et al.[43] Notre séri
AUTEURS

PARAMÈTRES

PARAMÈTRES		Steyerberg et al.[55] (USI)	Gao et al.[56] (USI)	Barcenas et al.[43]	Notre séri
CLINIQUE GCS	≤ 8	47,8%	42%	12,9%	54%
	9 et 12	16,3%	26%	11%	30,7%
	≥ 13	35,8%	32%	75,2%	15,32%
État des pupilles	Anisocorie	6,6%			23%
	Mydriase bilatérale	12,2%	21%	NP	4%
Hypotension artérielle		13,4%	3,3%	8,4%	32,6%
Hypoxie		13,4%	16%	8,8%	21,1%

Orientation hospitalière des enfants traumatisés

La prise en charge d'un enfant présentant un traumatisme grave nécessite une organisation préalable au sein d'une équipe multidisciplinaire, bien rodée, fonctionnant suivant des protocoles bien établis [67, 26] (Figure 5).

L'organisation médicale peut en effet contribuer à améliorer le pronostic des enfants traumatisés. Les principaux facteurs qui peuvent jouer un rôle sont la diffusion de protocoles pour le triage et le traitement, une réanimation préhospitalière immédiate, un système de centres de traumatologie spécialisés régionaux avec admission précoce et le développement d'unités de réanimation pédiatrique spécifiques [26].

La prise en charge des enfants victimes d'un traumatisme grave, en particulier des enfants victimes de TC grave, dans un centre spécialisé de traumatologie pédiatrique ou, à défaut, dans un centre de traumatologie pour adulte où les équipes possèdent des compétences pédiatriques, permet de réduire la morbidité [68, 29]. Deux travaux français confirment l'intérêt de la régionalisation et de la nécessité d'un transfert dans un service de traumatologie pédiatrique et vont donc dans le même sens [69, 70]. Ces résultats expliquent que les recommandations de la Société française d'anesthésie et de réanimation sur la prise en charge des TC graves à la phase précoce préconisent de prendre en charge l'enfant victime d'un TC grave dans un centre de traumatologie pédiatrique ou, à défaut, dans un service de traumatologie pour adultes avec des compétences pédiatriques [71].

Un travail d'analyse des risques de sous- et surtriage a été réalisé en adressant à des médecins urgentistes un questionnaire de prise en charge d'un enfant traumatisé, établi à partir d'un scénario présentant un enfant arrivé aux

urgences avec randomisation de la gravité en sévère ou non sévère [72]. Dans un cas, la sévérité du traumatisme nécessitait le transfert du patient vers un service spécialisé en traumatologie pédiatrique ; dans l'autre cas, la prise en charge aux urgences était indiquée. Le cas « non sévère » a été classé sévère dans 46 % des cas et une indication de transfert a été posée dans 34 % des cas, correspondant à un surtriage. Le cas sévère a été correctement identifié par 90 % des médecins, mais le transfert n'a été envisagé que dans 74 % des cas, reflétant un sous-triage de 26 %. Le système préhospitalier français, avec un médecin sur les lieux et une régulation médicale, doit permettre d'éviter ce type de « dystriage » et d'orienter le bon patient au bon endroit. Une collaboration territoriale entre les services spécialisés en traumatologie pédiatrique et les services d'urgence (intra- et extrahospitaliers) doit être réalisée afin d'améliorer la prise en charge de ces enfants [73].

De façon schématique, la sévérité du traumatisme peut être classée en trois niveaux :

- Le niveau 1 qui correspond aux patients en détresse extrême :
 - Détresse respiratoire avec pneumothorax suffocant, plaie trachéale ou SpO₂ (oxymétrie pulsée) inférieure à 90 % malgré la ventilation mécanique,
 - Détresse hémodynamique avec hypotension artérielle malgré un remplissage bien conduit ou nécessitant des catécholamines ou avec une hémorragie cliniquement active,
 - Détresse neurologique avec un score de Glasgow inférieur ou égal à 8 avec des signes d'hypertension intracrânienne,
 - Détresse globale avec un PTS inférieur ou égal à 8 ou présentant au

moins un critère de Vittel non cinétique ;

- Le niveau 2 qui correspond à un état précaire, stabilisé par une réanimation intensive et/ou un TC grave isolé avec un score de Glasgow inférieur ou égal à 8, mais sans signe d'hypertension intracrânienne. Un contact téléphonique est préconisé entre la structure où se trouve le patient et le centre de traumatologie de référence pour discuter de la prise en charge ;
- Le niveau 3 correspond à un patient stable.

Les enfants classés en niveau 1 ou 2, ou victimes d'un TC grave isolé, doivent être admis idéalement dans un centre de traumatologie pédiatrique ou, à défaut, dans un centre de traumatologie pour adultes avec compétences pédiatriques [73].

Les enfants classés niveau 3 doivent être adressés aux urgences. Dans ce cas, la réalisation d'une imagerie de type body-scanner, dans un centre de proximité, est laissée à l'appréciation du médecin régulateur et du médecin transporteur en fonction de l'activité préhospitalière et de l'état clinique de l'enfant.

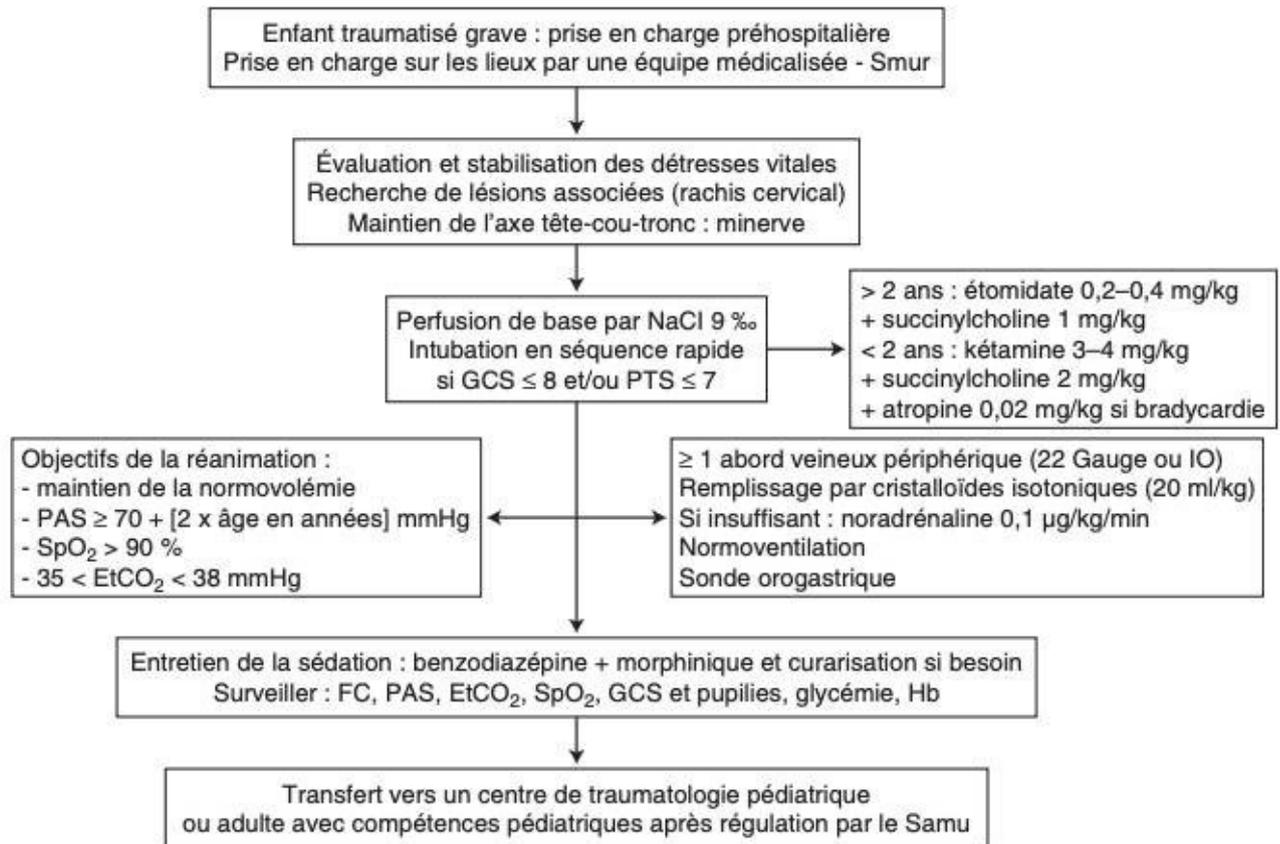


Figure 5. Arbre décisionnel. Prise en charge de l'enfant traumatisé grave à la phase préhospitalière.

Dans notre contexte, le transport des malades est assuré essentiellement par des ambulances non médicalisées de la protection civile ou les ambulances des hôpitaux de la région de provenance, voire par la famille des patients. Cela implique que la prise en charge médicale ne débute dans la majorité des cas qu'au service des urgences. Il est crucial de développer une prise en charge pré-hospitalière afin d'améliorer les soins et ainsi le pronostic dès les premiers instants de la prise en charge médicale.

V. Examens complémentaires

La stratégie de prescription des examens complémentaires chez l'enfant polytraumatisé est comparable à celle développée chez l'adulte. Les explorations visent à obtenir un bilan lésionnel aussi précis que possible sans retarder le traitement étiologique. Ce bilan, débuté en salle de déchoquage (ou salle des urgences vitales) pour ne pas retarder le conditionnement et le traitement du patient, comprend des examens systématiques réalisés même en l'absence de signe d'appel clinique, et des examens plus spécialisés prescrits en fonction de signes d'appel.

1. Bilan lésionnel immédiat à l'admission

Une fois les détresses vitales immédiates stabilisées, toutes les lésions doivent donc être identifiées par un examen clinique rapide et complet, associé à des investigations complémentaires afin de déterminer les principales priorités thérapeutiques (**Figure 6**).

A contrario, le bilan initial d'un patient à l'hémodynamique restant instable est réduit au minimum. Il comprend un groupe sanguin (mais la transfusion en O négatif peut débiter sans attendre le résultat), une radiographie du thorax de face et du bassin de face (réalisée avec la même plaque chez les petits enfants), ainsi qu'une échographie FAST et un Doppler transcrânien. Ce bilan « minima » est actuellement le plus souvent réalisé à l'arrivée d'un enfant polytraumatisé, sauf en cas d'indication immédiate d'une chirurgie d'hémostase de sauvetage, ce qui est rare en pédiatrie [74].

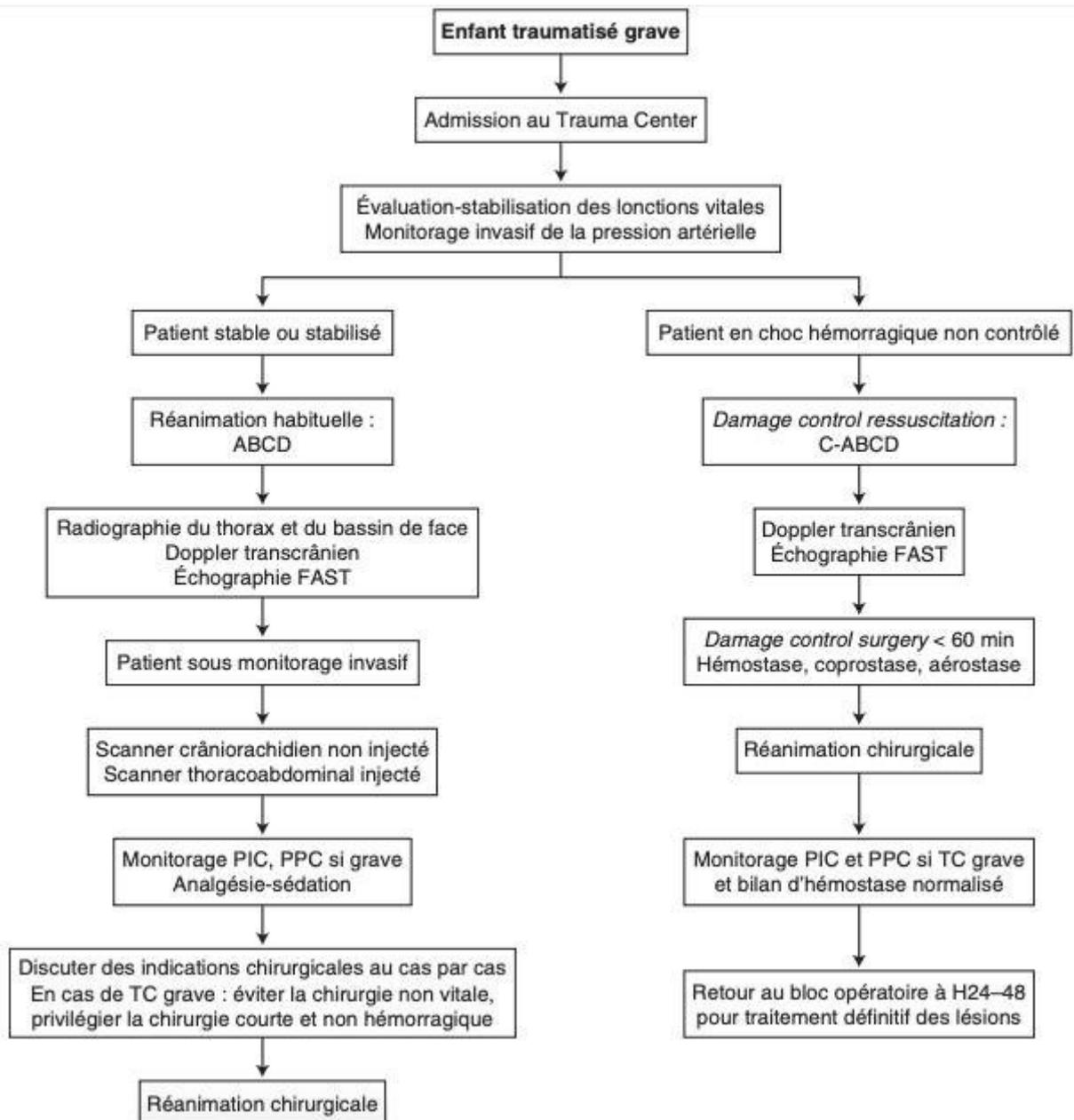


Figure 6. Arbre décisionnel. Prise en charge de l'enfant traumatisé grave à l'arrivée à l'hôpital.

2. Radiographies standards

La radiographie du thorax est réalisée, si possible, en inspiration, de face. La mise en place préalable d'une sonde gastrique permet une meilleure étude du médiastin.

La radiographie du thorax permet le diagnostic des épanchements pleuraux et des lésions pulmonaires, en particulier des lésions de contusion pulmonaire (**Figure 7**). Elle peut permettre le diagnostic de lésions pariétales ou diaphragmatiques (**Figure 8**). Chez le petit enfant, l'abdomen sans préparation est visualisé sur la même plaque. Il peut montrer des signes indirects d'hémopéritoine ou un pneumopéritoine. Néanmoins, l'abdomen sans préparation est moins performant que l'échographie pour le diagnostic d'épanchement liquidien et que la tomodensitométrie (TDM) pour le diagnostic de pneumopéritoine.

La radiographie du bassin peut mettre en évidence les fractures pelviennes [75]. Une fracture des branches ilio- ou ischiopubiennes contre-indique le sondage urinaire. Les lésions osseuses sont des lésions fréquentes, qui ne mettent que très rarement en jeu le pronostic vital, mais qui ne doivent pas être négligées à la phase aiguë pour ne pas compromettre le pronostic fonctionnel à distance. La qualité des images en TDM osseuses obtenues après reconstruction en 3D permet souvent de se passer de clichés standards complémentaires.



Figure 7. Radiographie du thorax de face montrant un pneumothorax bilatéral associé à un important emphysème sous-cutané.

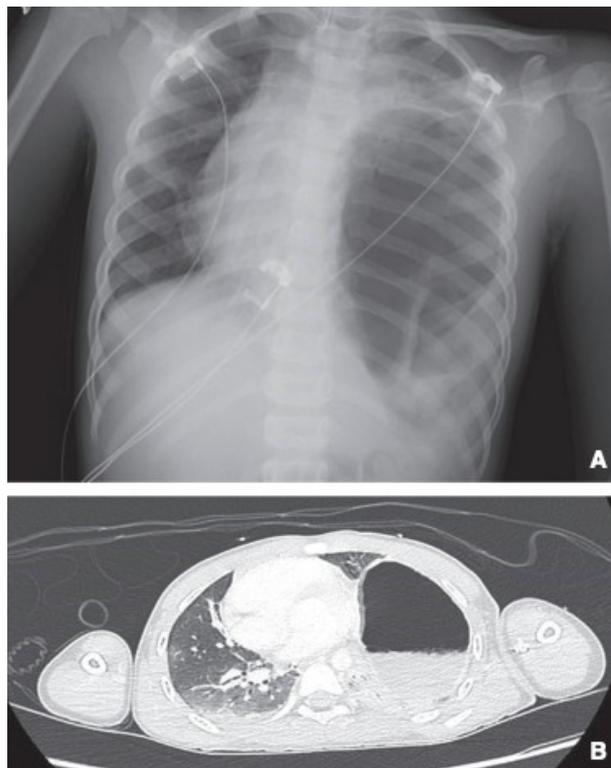


Figure 8. Radiographie du thorax de face chez un enfant au lit montrant une image aérique dans l'hémithorax gauche, faisant fortement suspecter le diagnostic de rupture de la coupole diaphragmatique gauche (A). Celle-ci est confirmée par le scanner thoracoabdominal (B).

3. Échographie focused assessment with sonography for trauma (FAST) et extended FAST (E-FAST)

Largement utilisée chez l'adulte pour rechercher la présence d'épanchements dans l'abdomen, le thorax, et autour du cœur, l'échographie FAST ou E-FAST présente l'avantage d'être non invasive, reproductible, réalisable au lit sans déplacer le patient [76, 77]. La sensibilité de ces explorations dépend de différents facteurs dont l'expérience de l'opérateur, le temps écoulé depuis l'accident et le volume de l'épanchement. Par ailleurs, un iléus réflexe ou un pneumopéritoine peuvent gêner, voire empêcher, la réalisation de l'examen. La FAST-écho n'a pas totalement fait la preuve de son intérêt chez l'enfant [78, 79], mais elle est cependant largement réalisée à l'accueil d'un enfant traumatisé grave [80].

4. Doppler transcrânien (DTC)

Le DTC est un outil non invasif, qui permet de mesurer les vitesses et les résistances vasculaires cérébrales [81]. Ces dernières peuvent être quantifiées par des index, comme l'indice de pulsatilité ($IP = \text{vélocité systolique} - \text{vélocité diastolique} / \text{vélocité moyenne}$) [81].

L'utilisation du DTC permet l'identification précoce des patients présentant une hypoperfusion cérébrale et donc à risque d'ischémie cérébrale. Une vitesse diastolique inférieure à 25 cm/s et/ou un IP supérieur à 1,31 à l'admission d'un enfant avec un TC traduisent cette hypoperfusion et s'associent à un mauvais pronostic [81].

Chez des patients adultes avec TC graves, un traitement orienté par le DTC précoce permet de restaurer une perfusion cérébrale adéquate et de réduire l'extension des lésions secondaires [82]. Chez l'enfant, le DTC peut

permettre une évaluation de la pression intracrânienne [83] et de la pression de perfusion cérébrale [84], et également de guider la prise en charge thérapeutique [85].

Le DTC est devenu l'exploration de routine pour évaluer la gravité initiale en cas de TC [71].

Dans notre série le monitoring par DTC a été réalisé chez tous les patients, chez 11 patients le doppler a conduit à un changement dans la prise en charge thérapeutique, aboutissant chez 4 patients à la réalisation d'un volet décompressif.

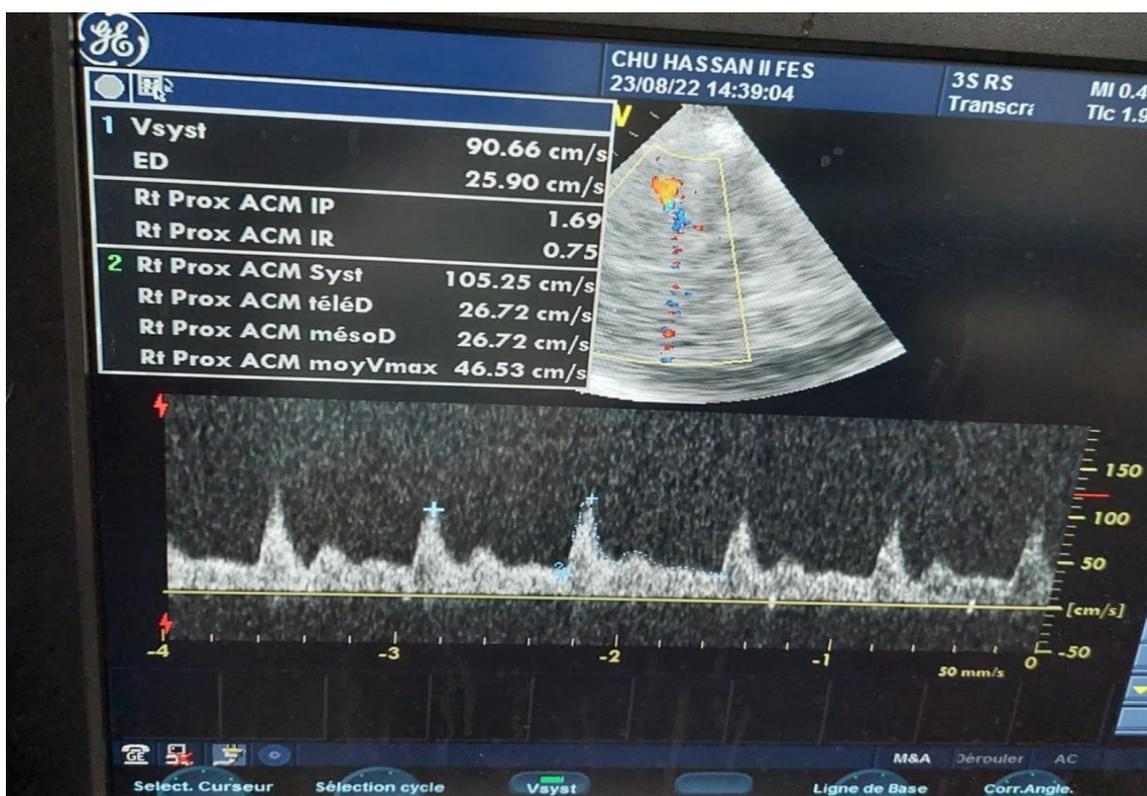


Figure 49 : DTC pathologique chez un patient inclus dans notre étude, service réanimation Mère-enfant CHU Hassan II, Fes

5. Tomodensitométrie (TDM)

La TDM est l'exploration de référence de l'enfant polytraumatisé [86]. Elle induit cependant une émission de relatives fortes doses de radiations qui pourraient augmenter ultérieurement le risque de tumeur maligne induite par les radiations [87].

En pratique, une TDM corps entier (body-scanner) est néanmoins réalisée en routine chez l'enfant polytraumatisé, comme d'ailleurs chez l'enfant avec un TCG (traumatisme crânien grave). Chez les patients hémodynamiquement stables, le body-scanner est l'exploration radiologique la plus immédiatement disponible, qui permet une évaluation rapide de la majorité des régions anatomiques, réduisant ainsi le nombre de lésions mineures pouvant autrement passer inaperçues dans un premier temps [86].

Ainsi, des lésions pulmonaires plus ou moins sévères, en particulier de contusion pulmonaire, sont fréquemment retrouvées chez les enfants avec un TCG, dont la plupart non diagnostiquées ou sous-estimées par la radiographie de thorax. À l'étage thoracique, la TDM permet en outre de préciser la topographie des épanchements pleuraux ou médiastinaux, même minimes, ainsi que de mettre en évidence une atteinte cardiaque ou des gros vaisseaux, rare chez l'enfant.

La TDM cérébrale initiale permet le diagnostic des lésions cérébrales et précise l'indication d'un éventuel acte chirurgical, assez rare dans ce contexte chez l'enfant (évacuation d'hématome intracrânien ou dérivation du liquide cébrospinal notamment). En cas de polytraumatisme ou de TCG, il est recommandé de réaliser sans délai une TDM cérébrale et du rachis cervical (sans injection). La TDM permet en effet l'exploration plus fine des charnières

occipitocervicale et cervicothoracique, mal explorées par les radiographies conventionnelles. Si, pour une lésion rachidienne, la TDM explore bien les lésions osseuses, l'exploration en imagerie par résonance magnétique (IRM) est irremplaçable lorsqu'il existe des signes neurologiques en l'absence de lésion osseuse visible. Dans ce cas, elle doit être réalisée en urgence et peut mettre en évidence les classiques SCIWORA, c'est-à-dire des lésions médullaires sans lésion osseuse visible [2, 88].

La TDM reste l'examen de référence au niveau abdominopelvien [87, 80].

L'injection de produit de contraste permet en plus de vérifier l'intégrité des organes pleins (**Figure 9**), et fournit un bilan morphologique et fonctionnel des reins et des voies urinaires (**Figure 10**).

Les lésions osseuses sont des lésions fréquentes chez l'enfant polytraumatisé. Elles ne mettent que très rarement en jeu le pronostic vital, mais ne doivent pas être négligées à la phase aiguë pour ne pas compromettre le pronostic fonctionnel à distance. La qualité des images en TDM osseuses obtenues après reconstruction en 3D permet souvent de se passer de clichés standards complémentaires.

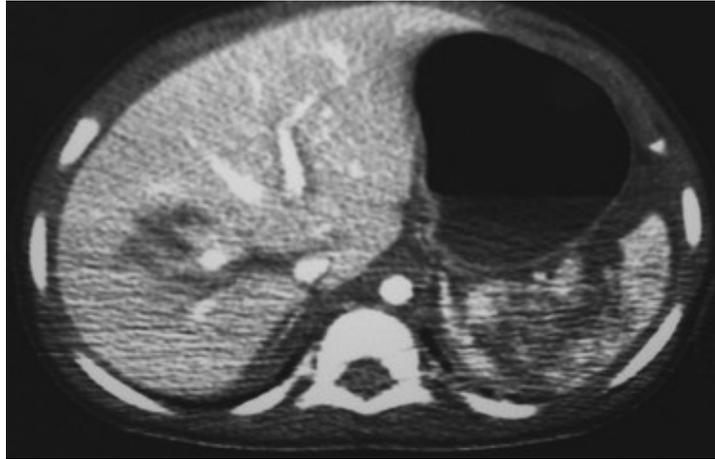


Figure 9. Tomodensitométrie abdominale montrant des lésions de contusion hépatique, une rupture splénique et un hémopéritoine.

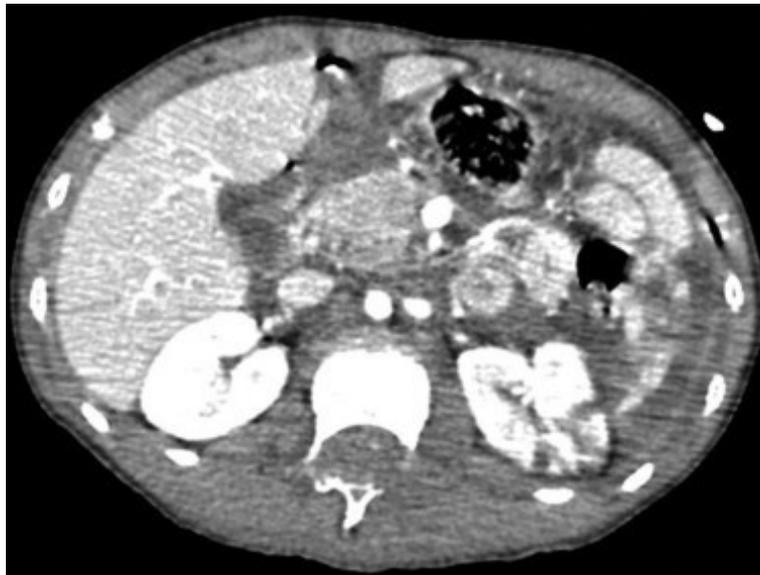


Figure 10. Tomodensitométrie abdominale montrant un épanchement liquidien intrapéritonéal, une fracture du rein gauche et une lacération stade 3 de la rate

6. Artériographie en urgence

Les indications de l'artériographie en urgence sont rares chez l'enfant, essentiellement en présence d'un rein muet à la néphrographie ou d'une fracture complexe du bassin avec hématome rétropéritonéal mal toléré. Son intérêt est double, permettant de réaliser un diagnostic et un geste thérapeutique par embolisation [89].

7. IRM

L'IRM est difficilement accessible en urgence et nécessite un patient à l'hémodynamique stable. Une de ses seules indications en urgence concerne les SCIWORA.

En revanche, l'IRM cérébrale reste systématiquement indiquée à distance du traumatisme pour faire un bilan lésionnel précis [90].

**Tableau 10 : Comparaison des différents lésions retrouvés à l'imagerie avec
les diverses séries retrouvées dans la littérature**

T	Thomal et al.[85]	et al.[86]	PCH (USA)	NUH (Colombie)	Al busaidi et al.[44]	Notre serie
HSD/HED	17,6%	4,7%	55%	11%	17,39%	11,5%
Foyers de contusion	33,3%	Non précisé	51%	26%	Non précisé	46,15%
Œdème cérébral	Non précisé	9,44%	41%	11%	Non précisé	21,15%
Fracture-embarrure	Non précisé	Non précisé	Non précisé	Non précisé	Non précisé	36,5%
Fracture des os du crâne	56,6%	30,7%	65%	74%	19,56%	69,2%
Contusion pulmonaire	4,90	Non précisé	1,40	1,80	7%	25%
Pneumotohrax	1,10	0,70	Non précisé	Non précisé	6,40	9,61%
Fracture de côtes	9,30	1,10	0,50	0,50	Non précisé	3,84
Lésion rénale	31%	1%	0,30%	1,10	Non précisé	3,84
Lésion hépatique	18%	1,10%	1,20	4,70	1%	3,84
Lésions splénique	13%	2,10	1%	2,90	Non précisé	5,76
Lésions des membres	45,3%	11,8	66%	34%	16,5%	11,5%

8. Examens biologiques

Les examens biologiques ne présentent pas de particularité par rapport à l'adulte. On peut néanmoins signaler qu'un taux de lactates sanguins supérieur à 2,94 mmol/l (odds ratio

: 2,4 ; IC à 95 % : 1,3-4,6) et qu'un base déficit supérieur à 5 mEq/l (odds ratio : 2,5 ; IC 95 % : 1,1-5,5) sont des facteurs de risque indépendants de décès, à l'admission d'enfants traumatisés graves [91].

Par ailleurs, en cas d'hémorragie active, outre la numération sanguine, la détermination du groupe sanguin et des RAI (recherche d'agglutinines irrégulières), un bilan d'hémostase s'impose à la recherche d'une coagulopathie. La définition biologique de la coagulopathie n'est pas consensuelle. Néanmoins, lorsque cette coagulopathie est définie par des examens standards d'hémostase, le meilleur critère est certainement un ratio de temps de Quick malade/témoin supérieur à 1,2 [92]. D'autres auteurs définissent la coagulopathie traumatique de l'enfant traumatisé en utilisant une valeur d'INR supérieure à 1,3 [66].

VI. Synthèse du bilan lésionnel

À l'issue du bilan lésionnel, le plus complet possible, toutes les lésions doivent avoir été diagnostiquées et il est possible de hiérarchiser la stratégie thérapeutique. On peut ainsi observer trois grands types de situation :

- Des lésions avec un retentissement vital imminent et qui nécessitent un traitement immédiat (chirurgie d'hémostase, embolisation, etc.), sans lequel le blessé va décéder à court terme malgré une réanimation bien conduite ;
- Des lésions non vitales qui nécessitent un traitement en urgence, car s'il est différé leur morbidité sera plus importante ; ces lésions sont traitées en urgence, mais après les lésions de retentissement vital ;
- Enfin des lésions sans retentissement vital et de traitement secondaire. Ces lésions peuvent être diagnostiquées en urgence ou nécessiter des examens complémentaires à réaliser à distance, mais ne nécessitent pas de traitement en urgence.

Dans tous les cas, l'enfant polytraumatisé est, après traitement (chirurgical ou radio-interventionnel) des lésions d'extrême urgence, hospitalisé en réanimation pédiatrique. Il y bénéficie d'une surveillance intensive des paramètres vitaux et de la réanimation symptomatique débutée après le traitement étiologique.

VII. Prise en charge des détresses vitales

L'objectif est de stabiliser les détresses vitales, respiratoires, circulatoires et neurologiques, dans cet ordre.

1. Prise en charge de la détresse respiratoire

En cas de désaturation, un apport en oxygène doit rapidement être administré au masque à haute concentration.

Les indications de l'intubation orotrachéale sont larges chez l'enfant polytraumatisé. Elles incluent notamment les situations dans lesquelles l'enfant est incapable de maintenir une ventilation efficace, est en cas d'état de choc ou de coma avec un score de Glasgow inférieur ou égal à 8. L'intubation en séquence rapide (ISR) est réalisée par injection d'étomidate (0,3- 0,4 mg/kg) chez l'enfant de plus de 2 ans ou de kétamine (3-4 mg/kg) chez l'enfant plus jeune, en association au suxaméthonium (2 mg/kg chez l'enfant de moins de 2 ans et 1 mg/kg chez l'enfant plus âgé) [93].

Le type de sonde d'intubation trachéale (SIT) utilisée est une SIT à ballonnet, dont la taille est calculée selon la formule suivant : **diamètre interne de la sonde = (âge / 4 + 3,5)** chez l'enfant de moins de 1 an [94]. La pression du ballonnet doit être inférieure à 20 cmH₂O. La distance théorique de profondeur de la SIT est approximée par la formule : **longueur = (âge / 2) + 12**.

Il faut vérifier la bonne situation trachéale de la sonde. Les éléments permettant de confirmer le bon positionnement sont :

- La visualisation du passage de la sonde au-delà des cordes vocales lors de la laryngoscopie ;
- La courbe de capnographie après cinq insufflations ;

- L'ampliation thoracique avec auscultation pulmonaire symétrique ;
- L'absence de distension gastrique ou encore la présence de glissement pleural dans les quatre champs pulmonaires à l'échographie.

En cas d'intubation difficile prévisible, si l'équipe n'a pas l'expérience de cette situation et que l'enfant est ventilable, le transport est possible sous ventilation au BAVU (ballon autoremplisseur à valve unidirectionnelle). Une sonde orogastrique doit systématiquement être mise en place chez un enfant intubé et ventilé.

En cas d'intubation difficile ou impossible en préhospitalier, les techniques habituellement recommandées en intrahospitalier restent valables, mais peuvent être difficiles à mettre en œuvre. Elles visent prioritairement à assurer une oxygénation à défaut d'assurer une ventilation efficace. Dans ce contexte, la ventilation au masque, la pose d'un masque laryngé (ou d'un Fas-trach® chez l'enfant de plus de 30 kg), voire la ponction percutanée de la membrane intercricothyroïdienne à l'aiguille (type aiguille de Ravussin®) permettent d'assurer l'oxygénation, sans garantir de protection efficace des voies aériennes supérieures [95]. La cricothyroïdotomie, qui peut être intéressante chez l'adulte, est difficilement réalisable en raison de l'étroitesse du larynx chez l'enfant et de la possibilité de séquelles lourdes à distance. Elle n'est d'ailleurs habituellement pas recommandée chez le nourrisson.

En cas de pneumothorax suffocant, une décompression à l'aiguille est entreprise (ligne médioclaviculaire, 2e espace intercostal, aiguille de 20 G). La pose d'un drain thoracique, dirigé en antérosupérieur (ligne médioaxillaire, 4e et 5e espaces intercostaux), n'est envisagée en préhospitalier qu'en cas de reconstitution d'un pneumothorax après exsufflation ou d'hémithorax

abondant, mais cela reste exceptionnel en préhospitalier. Devant une plaie thoracique pénétrante et soufflante, la pose d'un pansement sur trois bords permet à l'air de s'échapper à l'expiration et l'empêche d'entrer à l'inspiration.

2. Prise en charge de la détresse circulatoire

Dans un contexte de polytraumatisé pédiatrique, chez lequel un TC est au premier plan, la prise en charge de la détresse circulatoire est essentielle, avec idéalement la prévention ou au minimum le traitement de tout épisode hypotensif.

En effet, l'hypotension artérielle représente la principale agression cérébrale secondaire d'origine systémique (ACSOS) chez l'enfant. Chez ces patients, les autres ACSOS, notamment l'hypoxie et tous les déséquilibres de l'homéostasie (par exemple hyponatrémie, hypo- et hyperthermie, hypo- et hyperglycémie) doivent être évitées.

3. Prise en charge initiale de la détresse circulatoire

Le traitement du choc hémorragique passe d'abord par le contrôle des hémorragies extériorisées. Il faut y associer un remplissage vasculaire rapide, débuté dès la mise en place d'au moins un abord veineux périphérique de bon calibre. Chez le petit enfant, des cathéters de 22 à 20 G suffisent en général. La perfusion intraosseuse est une alternative intéressante, préconisée en urgence en cas d'échec des autres voies d'abord ou d'emblée lorsque le patient est en situation critique (collapsus, voire arrêt cardiaque). Elle permet aussi bien le remplissage que l'administration des médicaments (vasopresseurs, antibiotiques, antalgiques) ou la transfusion sanguine.

En France, le choix du soluté de remplissage à utiliser en première intention

dans la réanimation du choc hémorragique se porte volontiers sur les cristalloïdes isotoniques [96]. Parmi les cristalloïdes, le chlorure de sodium à 9 ‰ reste le soluté de remplissage de référence dans ce contexte, même si plusieurs auteurs s'intéressent désormais aux solutés salés équilibrés ou balancés, y compris chez l'enfant traumatisé [97]. Le Ringer® lactate, hypotonique au plasma, est en effet contre-indiqué dans les traumatismes crâniens et médullaires. De même, les solutés glucosés sont contre indiqués en cas de TC. En cas de difficulté pour rétablir rapidement un état hémodynamique stable, il devient nécessaire de recourir aux vasopresseurs. L'adrénaline (10 ug/kg en bolus intraveineux, éventuellement suivi d'une perfusion de 0,1 à 1 ug/kg/min à la seringue électrique) ou la noradrénaline (0,01 à 0,25 g/kg/min) sont intéressantes pour passer un cap difficile et restaurer rapidement une pression artérielle.

La transfusion sanguine peut être associée si besoin, bien qu'il soit difficile de préciser le seuil d'hémoglobine à partir duquel il faut commencer à transfuser. Des recommandations de bonnes pratiques de la Haute Autorité de santé rappellent que la notion de seuil transfusionnel correspond au taux d'hémoglobine en dessous duquel il est recommandé de ne pas descendre, mais que d'autres facteurs doivent être pris en compte, comme la tolérance clinique de l'anémie et la cinétique de l'installation de l'anémie [98].

Les seuils transfusionnels suivants sont généralement recommandés :

- 10 g/dl chez les enfants non stabilisés en réanimation ;
- 8 g/dl chez les enfants stabilisés en réanimation ne souffrant pas de cardiopathie ;
- 7 g/dl chez les enfants anémiques sans signe clinique

avec un taux de réticulocytes inférieur à 100 G/l.

Lorsque l'hémorragie se poursuit et/ou en cas de choc hémorragique avéré, une stratégie de type damage control doit être initiée.

- Damage control ressuscitation (Figure 11)

À l'origine développé dans la marine, le concept de damage control a ensuite été appliqué à la chirurgie (damage control surgery), puis à la réanimation (damage control ressuscitation) de patients adultes en choc hémorragique d'origine traumatique [99]. Il a ensuite été adapté aux polytraumatisés pédiatriques en prenant en compte leurs particularités physiopathologiques [73, 100].

Les principes du damage control s'appliquent dès la phase préhospitalière (damage control ground zero) et associent trois grands principes :

Contrôle des hémorragies extériorisées, stabilisation hémodynamique et lutte contre l'hypothermie [101].

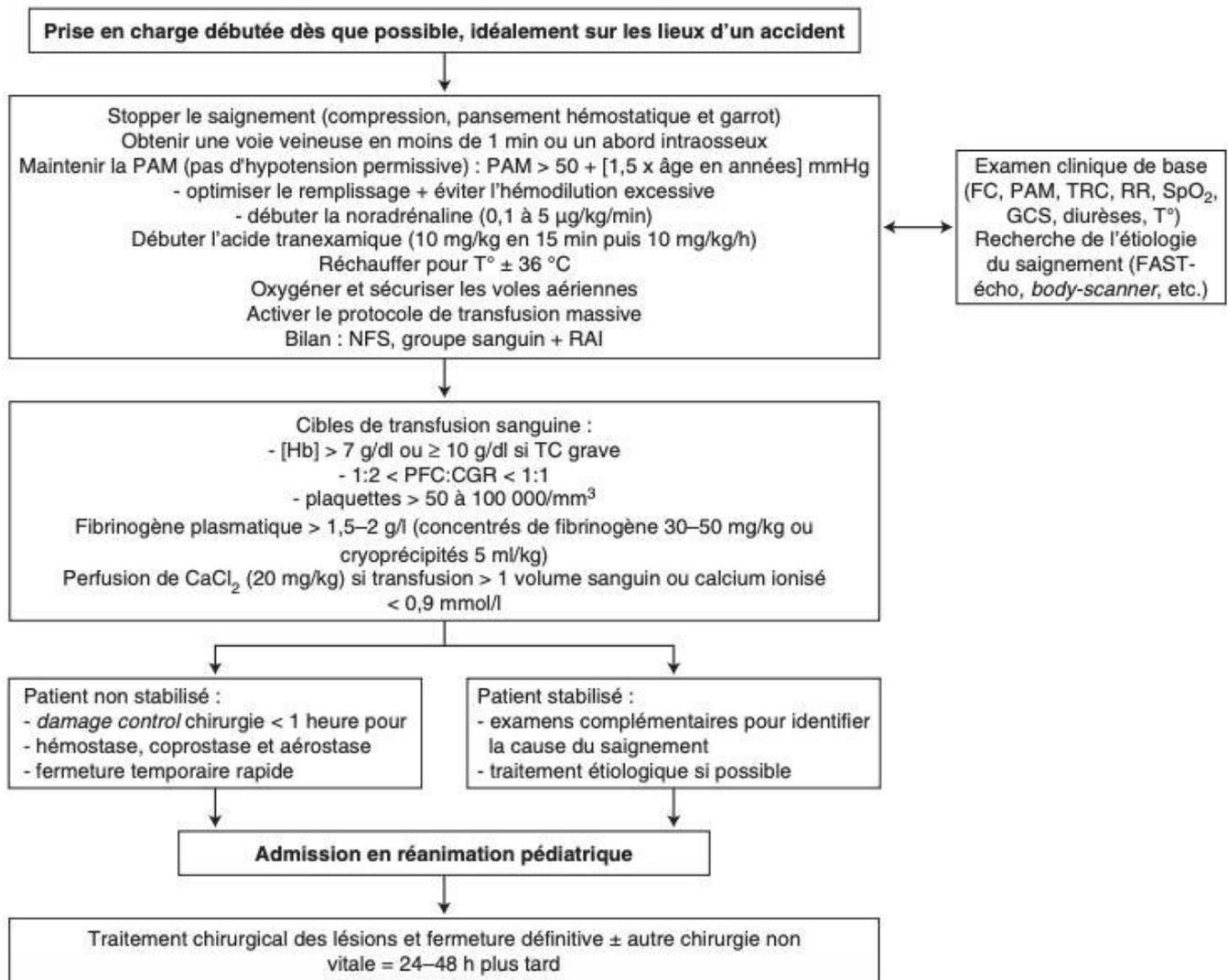


Figure 11. Arbre décisionnel. Prise en charge du choc hémorragique chez l'enfant traumatisé. Réanimation de type damage control.

Durant cette phase et la suivante, les recommandations actuelles [65] vont vers un apport précoce de facteurs de coagulation et de plaquettes, selon des ratios se rapprochant toujours plus de 1/1/1, associé à l'administration d'agents hémostatiques comme l'acide tranexamique (TXA) [102] et le fibrinogène ; l'ensemble de ces mesures définissant le damage control hemostatic. On dispose de peu de données en traumatologie pédiatrique concernant le TXA. Une seule étude rétrospective, réalisée chez des enfants

victimes de traumatisme de guerre, et utilisant les posologies adultes (1 g en bolus, puis 1 g en perfusion pendant 8 h) quel que soit l'âge et le poids de l'enfant, a montré que l'administration de TXA était associée à une réduction de morbidité [103]. Bien qu'aucune complication n'ait été rapportée, les posologies utilisées semblent trop importantes. Pour simplifier, Duracher et al. proposent : 10 mg/kg pendant 10 minutes puis 10 mg/kg/h chez l'enfant de moins de 10 ans et le schéma adulte chez l'enfant de plus de 10 ans [73].

La phase de damage control ground zero est particulièrement complexe puisque le but est de stabiliser l'enfant en limitant les saignements, en prenant en charge les autres détresses vitales (neurologique, respiratoire) et en prévenant l'aggravation secondaire. Toute cette phase doit en plus être effectuée en limitant au minimum les pertes de temps, pour orienter le plus rapidement l'enfant vers un centre de traumatologie, idéalement pédiatrique.

La lutte contre l'hypothermie repose essentiellement sur l'utilisation de couverture de survie et de couverture à air pulsé, le réchauffement de l'environnement mais aussi le réchauffement des perfusions par l'utilisation de réchauffeurs

Le contrôle des hémorragies extériorisées est un impératif d'autant plus important que l'enfant est jeune, car il est rapidement exposé à un risque d'exsanguination de par sa faible volémie. Les techniques les plus utilisées pour contrôler les hémorragies sont les compressions externes et la pose de garrot pédiatrique en cas de plaies vasculaires ou d'amputation de membre [104].

Des réserves en oxygène réduites et une consommation d'oxygène de base proportionnellement élevée exposent l'enfant à un risque d'hypoxie

d'apparition rapide. Après libération des voies aériennes supérieures, il faut administrer immédiatement de l'oxygène au masque à haute concentration, avec un objectif de SpO₂ supérieur à 95 %. Dans la mesure du possible, il faut éviter la ventilation mécanique, qui peut être mal tolérée sur le plan hémodynamique. Si toutefois celle-ci s'avère indispensable, il faut absolument limiter le retentissement hémodynamique de l'induction en séquence rapide, en réduisant les doses d'hypnotique après avoir débuté un remplissage vasculaire et l'administration de catécholamines, ainsi que celui de la ventilation en pression positive en ventilant en pression contrôlée sans pression expiratoire positive.

L'optimisation de la perfusion tissulaire passe par un remplissage vasculaire raisonné et titré. La limitation du volume de soluté perfusé est à la base du concept de réanimation à faible volume [65], en associant précocement un agent vasopresseur, comme la noradrénaline (débutée à une posologie de 0,1 ug/kg/min, puis ensuite titrée en fonction des objectifs tensionnels).

L'enfant polytraumatisé étant majoritairement un traumatisé crânien, les techniques dites d'hypotension permissive sont contre-indiquées [105, 106]. Dans ces circonstances, il est impératif de restaurer une pression artérielle moyenne (PAM) normale, garantissant une pression de perfusion cérébrale suffisante. Les niveaux de preuve pour proposer des objectifs de pression artérielle chez l'enfant sont faibles ; on peut cependant proposer [73] :

- En l'absence de traumatisme crânien ou médullaire grave, des objectifs de PAM supérieurs ou égaux à 45 mmHg chez l'enfant de moins de 2 ans et supérieurs ou égaux à 55 mmHg chez l'enfant de plus de 2

ans ;

- En présence d'un traumatisme crânien ou médullaire grave, des objectifs de PAM majorés supérieurs ou égaux à 55 mmHg chez l'enfant de 2 ans ou moins et supérieurs ou égaux à 65 mmHg chez l'enfant de plus de 2 ans.

En pédiatrie, la définition de la transfusion massive n'est pas totalement consensuelle. De nombreux auteurs s'accordent sur un volume supérieur à 40 ml/kg de CGR, mais le point de discordance concerne la période de temps considéré : pour certains quatre heures et pour d'autres 24 heures [107, 108].

En ce qui concerne les protocoles de transfusion massive, les recommandations formalisées d'experts sur la réanimation du choc hémorragique vont dans le sens d'un ratio de PSL se rapprochant de 1/1/1 [96]. Elles indiquent également qu'il est capital qu'« une procédure locale de gestion de l'hémorragie massive soit élaborée dans chaque structure médicochirurgicale avec une approche multidisciplinaire » [96]. À titre exemple, l'on propose de créer des « pack de PSL » composés d'environ 300 ml de CGR, environ 200 ml de PFC et de deux unités plaquettaires pour répondre aux besoins d'un enfant évalué à 10 kg [73]. Ensuite, en fonction du poids effectif de l'enfant, un nombre de pack adapté au poids est délivré à chaque commande de CGR.

Les concentrations seuils souhaitables de fibrinogène sont mal connues mais l'objectif de fibrinogénémie est habituellement fixé à au moins 1 g/l. Actuellement, l'administration de concentrés de fibrinogène (Clottafact® : 1,5 g dans 100 ml, 4 ml/kg ou 20-30 mg/kg), est probablement indiquée en cas de fibrinogénémie inférieure ou égale à 1,5 g/l ou de transfusion massive

après le premier pack de PSL [96].

Dans notre étude :

- 100% des patients ont bénéficié d'un remplissage vasculaire par du sérum salé isotonique.
- 96,1% des cas ont nécessité le recours aux drogues vasoactives.
- 46,15% des cas ont bénéficié d'une transfusion par CGR.
- 7,69% des cas ont bénéficié d'une transfusion par PFC.
- 96,15% des cas ont bénéficié de la pose d'un cathéter veineux central.
- 92,3% des cas ont bénéficié de la pose d'un cathéter artériel.

Enfin, le damage control chirurgical comporte deux étapes :

- La première étape chirurgicale vise à une restauration physiologique, sans rechercher la restauration anatomique ad integrum. Ces gestes, qui visent essentiellement à réaliser l'hémostase, l'aérostase et la coprostase, doivent être effectués rapidement, idéalement sans dépasser 60 minutes. Les exemples typiques incluent la mise en place d'un packing hépatique et/ou pelvien sous-péritonéal, sans chercher à refermer la cavité abdominale, ou encore la pose de fixateurs externes.
- Le second temps chirurgical est réalisé sur un patient stabilisé, habituellement 12 à 48 heures plus tard, et vise à réaliser les gestes de réparation définitive.

▪ Surveillance

Outre les paramètres cliniques usuels (pression artérielle, fréquence cardiaque, signes cliniques de choc), l'évaluation de l'efficacité de la réanimation est fondée sur un monitoring invasif, nécessaire chez tout enfant polytraumatisé.

L'insertion d'un cathéter artériel permet une surveillance continue de la pression artérielle et la possibilité de prélèvements biologiques répétés.

La mesure de la pression veineuse centrale (PVC) par un cathéter veineux central ne permet pas de guider le remplissage vasculaire (enfant comme adulte), mais conserve cependant un intérêt en cas de valeurs extrêmes (PVC inférieures négatives ou > 10 cmH₂O) ou pour suivre l'évolution sous remplissage [109].

De toutes façons, l'obtention d'un abord vasculaire fiable est indispensable pour conduire la réanimation de ces patients [100].

Par ailleurs, d'autres moyens de surveillance peuvent être mis en œuvre pour guider le remplissage vasculaire chez l'enfant et évaluer l'état hémodynamique [109]. Le plus complet (et complexe) est l'échocardiographie [110].

Le suivi d'autres paramètres, notamment ceux reflétant l'oxygénation tissulaire comme la ScVO₂ (saturation en O₂ du sang de la veine cave supérieure) [111], la NIRS (near infrared spectroscopy) cérébrale [112] ou encore la lactatémie [113] peuvent être très informatifs.

4. Prise en charge de la détresse neurologique

Les objectifs de prise en charge ventilatoire de la détresse neurologique sont le maintien d'une normoxie et d'une normocapnie [40].

Parmi les autres grands principes de prise en charge de la détresse neurologique, le maintien d'une pression artérielle suffisante pour obtenir une pression de perfusion cérébrale (PPC [pression de perfusion cérébrale], PAM, PIC [pression intracrânienne]) satisfaisante est primordial.

En pratique, en l'absence de monitoring invasif de la PIC, on s'efforce de maintenir une PAS supérieure à $(70 + 2 \times [\text{âge en années}])$ mmHg. Le recours au monitoring continu de la PPC est néanmoins systématique chez l'enfant dont le GCS est inférieur ou égal à 8, a fortiori s'il doit subir une intervention chirurgicale longue et/ou hémorragique. Il n'existe pas de valeur seuil de PPC en deçà de laquelle le traitement d'une hypertension intracrânienne (HTIC) est indiqué. Néanmoins, afin de prévenir le risque d'ischémie cérébrale, il est raisonnable de maintenir la PPC supérieure à 50 mmHg pour les enfants de 1 à 4 ans, supérieure à 60 mmHg pour ceux âgés de 5 à 8 ans et au-delà de 70 mmHg pour les plus de 8 ans ; la PIC devant être maintenue en dessous de 20 mmHg [71].

Les principes de traitement d'une poussée d'HTIC sont comparables à ceux de l'adulte et incluent des mesures générales (analgésie-sédation, vérification de l'absence de compression jugulaire, traitement de l'hyperthermie et d'éventuelles crises convulsives), le drainage du liquide cérébrospinal, l'osmothérapie ; l'hyperventilation est rarement indiquée sauf devant une poussée brutale et non contrôlée d'HTIC [71] (Figure 8).

En effet, en l'absence d'élévation patente de la PIC, l'objectif est la normoventilation. L'hyperventilation modérée ($30 < \text{PaCO}_2 < 35$ mmHg) peut être une option en cas d'HTIC patente, mais nécessite un monitoring cérébral précis en plus de la PPC, incluant le plus souvent le DTC et une évaluation de l'oxygénation cérébrale, car le risque ischémique est réel.

Le mannitol, administré en bolus de 0,5–1 g/kg/6 h, abaisse la PIC et améliore la PPC. Il est déconseillé en cas d'hypovolémie ou lorsque l'osmolarité sanguine est supérieure à 320 mOsm/l.

Il semble bien que le maintien d'une hypernatrémie (environ 150–155 mmol/l) avec une hyperosmolarité plasmatique (environ 310–315 mOsm/l) soit l'objectif thérapeutique.

En cas d'hypovolémie ou d'hypotension artérielle associée à l'HTIC, le sérum salé hypertonique (SSH-3 ou 7,5 %) est intéressant (bolus initial de 2 ml/kg suivi d'une perfusion continue de 0,1 à 1 ml/kg/h). On administre en fait le SSH en recherchant la dose minimale efficace pour obtenir une PIC inférieure à 20 mmHg sans dépasser une osmolalité plasmatique de 360 mOsm/l.

Dans notre série :

- Le mannitol a été utilisé chez 26 patients avec un pourcentage de 50%.

- Le sérum salé hypertonique 3% (SSH 3%) a été utilisé chez 3 malades avec un pourcentage de 5,7%.

Comme chez l'adulte, l'utilisation des barbituriques ne se conçoit que dans le cadre d'une HTIC réfractaire avec une dose d'entretien adaptée à l'enregistrement électroencéphalographique (épisodes intermittents de silence électrique ou burst suppression) ou à son dosage plasmatique (maximum 50 g/ml chez l'enfant). L'utilisation de barbituriques doit également tenir compte de la tolérance hémodynamique. En effet, la survenue d'une hypotension artérielle sous barbiturique est fréquente chez l'enfant et nécessite souvent l'introduction de vasopresseurs.

Le dépistage et le traitement des crises comitiales est indispensable. Néanmoins, le recours à la sédation, associant un morphinique et surtout une benzodiazépine (midazolam), contribue à la prévention des convulsions, en plus de jouer un rôle important pour adapter parfaitement l'enfant à son respirateur.

Le principe de titration doit être appliqué afin de limiter le retentissement hémodynamique tout en obtenant le niveau d'analgésie-sédation recherché. Ce dernier doit être suivi sur des échelles d'analgésie et de sédation adaptées à l'enfant (par exemple, échelle COMFORT B).

Les principes de prise en charge d'un traumatisme médullaire sont comparables à ceux d'un TC ; la prévention et le traitement d'une hypoxémie ou d'une hypotension artérielle sont fondamentaux.

Dans notre série :

- La sédation par Midazolam-Fentanyl a été utilisé chez 98,07% des cas.
- Le propofol a été utilisé comme sédatif chez 63,46% des cas. La durée

moyenne de la sédation était de 8,6 jours.

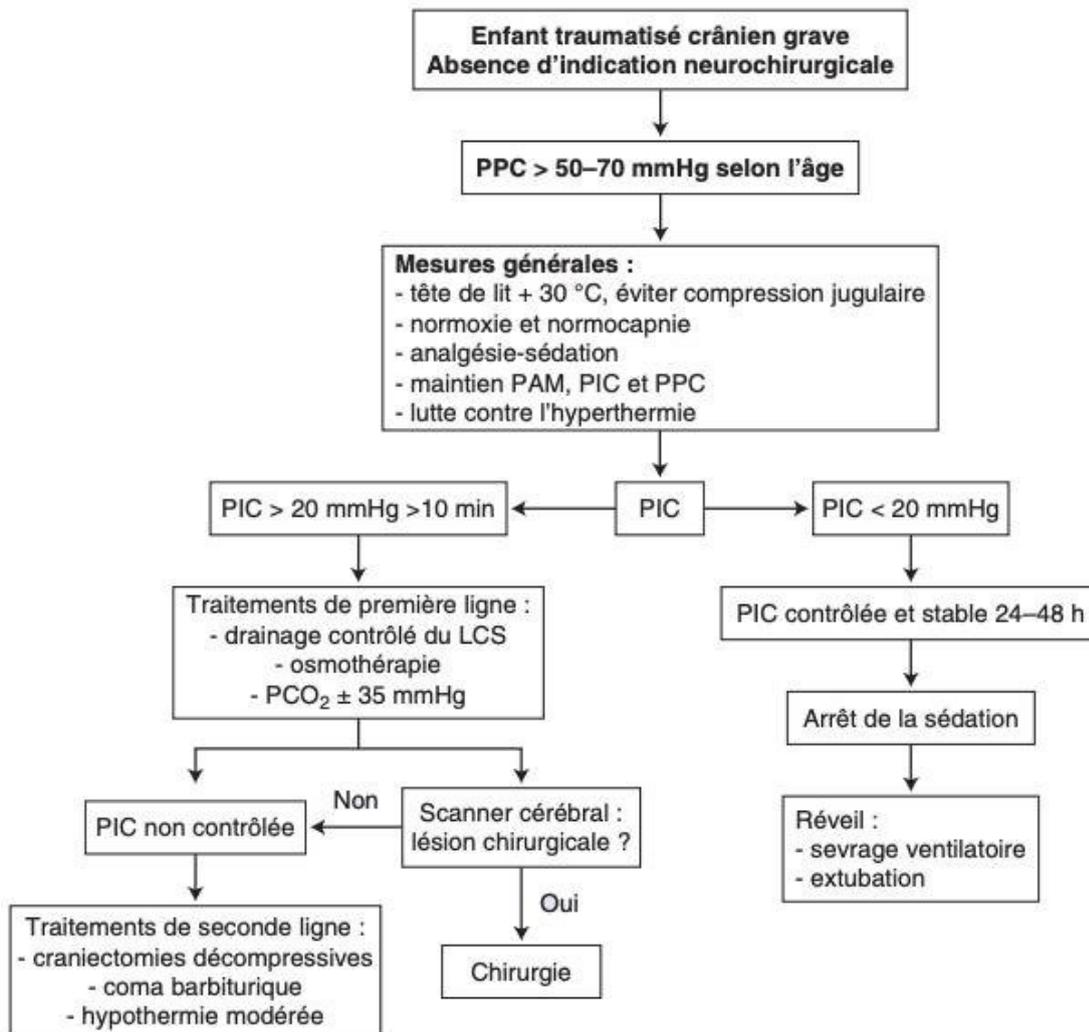


Figure 12. Arbre décisionnel. Prise en charge du traumatisme crânien grave de l'enfant, sans indication neurochirurgicale initiale.

5. Prise en charge des lésions :

a) Lésions crânio-cérébrales :

L'indication chirurgicale est urgente même en milieu non chirurgical .

Il existe 3 techniques opératoires :

- ❖ Trou de TREPAN au niveau du trait de fracture suivi d'une hémostase correcte et d'un drainage efficace. Ses indications sont les HED et les HSD volumineux.
 - ❖ Volet crânienne : technique réservée aux centres spécialisés.
 - ❖ Esquillectomie et parage pour les traumatismes crânio-cérébraux ouverts notamment les embarrures et les plaies crâniocérébrales [72].
- ✓ Dans notre série, le traitement neurochirurgical a concerné 44,2% de nos patients,

b) Lésions thoraciques :

Le traitement de la majorité des lésions thoraciques repose sur l'intubation, la ventilation assistée et le drainage des épanchements liquidiens ou gazeux ; ce qui règle 90% des problèmes des traumatismes thoraciques [59]

Selon James, la majorité des lésions thoraciques chez l'enfant peuvent bénéficier d'un traitement conservateur. 2 patients ont bénéficié d'un drainage thoracique à la suite d'un PNO thorax de grande abondance au bilan lésionnel, avec un pourcentage de 3,8%. [59]

Les contusions pulmonaires ont un pronostic habituellement bon.

Une guérison étant obtenue en 3 à 4 jours par un traitement symptomatique : simple oxygénothérapie ou ventilation mécanique.

- ✓ Dans notre série, les contusions pulmonaires ont nécessité une intubation – ventilation assistée avec antibiothérapie.

c) **Lésions abdominales :**

❖ **Lésions spléniques :**

Le traitement s'efforce d'être conservateur [61], le taux de laparotomie est passé de 100% dans les années 1960 à moins de 20% aujourd'hui. Le taux de splénectomie qui était de 70% se situe actuellement aux alentours de 4% [59,66].

Dans l'étude de PAUT, le traitement a été conservateur dans près de 90% des cas et a consisté en une splénectomie partielle [73].

- ✓ Dans notre série, les enfants présentant des lésions spléniques ont bénéficié d'un traitement conservateur consistant en une transfusion sanguine suivie d'une stabilité hémodynamique sans recours à la chirurgie.

❖ **Lésions hépatiques :**

Elles sont mortelles dans 5 à 13% des cas, et sont alors au-dessus de toute ressource thérapeutique, responsables de décès précoces. Les lésions hépatiques graves peuvent bénéficier d'un traitement conservateur car l'hépatectomie partielle en urgence comporte un risque vital important [74].

Dans une série de 328 enfants présentant des lésions hépatiques, la chirurgie a été performante dans 13% des cas incluant la réparation des lésions des vaisseaux hépatiques majeurs (34%), lobectomies (27%) et réparation biliaire (4%) [59].

- ✓ Dans notre série, le traitement des lésions hépatiques était conservateur. Nous avons eu recours à la transfusion sanguine dans

2.6% des cas (une moyenne de 2,36 culots globulaires) avec surveillance clinique et échographique régulière.

d) Lésions rachidiennes :

Chez l'enfant, la présence d'un grand nombre de points de croissance et surtout l'intégrité préalable de l'appareil discoligamentaire autorisent un traitement orthopédique par ligamentopexie en traction. La chirurgie est indiquée seulement lors d'atteinte neurologique nécessitant une décompression.

La majorité des lésions thoracolombaires sont stables et ne nécessitent pas un traitement chirurgical, les fractures–dislocations déplacées et les lésions neurologiques incomplètes doivent être réduites et stabilisées par un halo ou une minerve.

e) Les lésions osseuses :

Les attitudes habituelles face aux fractures des membres de l'enfant se sont modifiées en raison de plusieurs facteurs [75] :

- Difficulté du nursing
- Prévenir les complications de décubitus
- Difficulté de surveillance des immobilisations plâtrées avec risque du syndrome de loge.
- Fréquence des lésions multiples, étagées, homolatérales.

Toutes ces raisons amènent à pratiquer des ostéosynthèses avec des indications beaucoup plus larges que dans les traumatismes isolés et sans limite inférieure d'âge. Les méthodes utilisées sont :

- L'embrochage centromédullaire élastique stable (ECMES) qui représente la technique de choix, rapide, non hémorragique et

s'adresse à tous les segments de membre [67,68,76]

- Les fixateurs externes : représentent une solution rapide et ont tout leur intérêt dans les fractures multiples, ouvertes avec perte de substance et certaines fractures du bassin [77].
- Le traitement orthopédique n'est concevable que si le remodelage possible de cette fracture est important, si la fracture est isolée, si le plâtre est peu encombrant et si le risque de survenue de syndrome de loge est faible.
- Les fractures ouvertes nécessitent un traitement antibiotique de première intention. L'immobilisation par fixateur externe peut faciliter les soins quotidiens et le nursing. Les tractions sur attelle de Bopp ou auzénith, permettent un traitement d'attente, notamment lorsque d'autres lésions sont associées, abdominales ou neurologiques [59].

Les fractures pelviennes : Leur prise en charge est identique à celle de l'adulte surtout chez les enfants ayant un état hémodynamique instable.

Dans une étude de Dietrich [78], parmi 41 enfants ayant des fractures pelviennes, un patient présentant une hypotension est décédé suite à l'association fracture pelviennes – hémorragie. L'indication du fixateur externe avec angiographie ou embolisation se discute pour les enfants qui présentent un saignement continu après avoir éliminé d'autres lésions viscérales pouvant en être responsables.

- ✓ Dans notre série Les interventions traumatologiques ont concernés 11.2% de nos patients.

6. EVOLUTION :

a) Durée moyen d'hospitalisation :

La durée moyenne d'hospitalisation de nos patients était 5.2 jours. Les autres auteurs retrouvent dans leurs séries :

- 13.4 j pour LALLIER [49]
- 4.2 j pour WANG [31]
- 24 h pour OUBEJA [33]

auteurs	Durée moyen d'hospitalisation
LALLIER	13.4 j
WANG	4.2 j
Bulut	5.3
OUBEJA	24 h
Notre série	5.2 j

BARLOW [30] a rapporté un pourcentage de 77%, WANG [31] un pourcentage de 98.4%, THELAUT a rapporté un pourcentage de 90%, on a noté un pourcentage de 98.3% pour KAFADAR [32].

7. Mortalité :

La mortalité par traumatismes graves chez l'enfant est estimée de 14 à 25% [95–96], il semble cependant que ce taux est plus faible par rapport à l'adulte.

Les décès liés aux traumatismes graves sont de trois types [79].

- 1) 50% de décès initiaux surviennent sur les lieux de l'accident le plus souvent avant l'arrivée des équipes médicalisées, ils sont souvent secondaires à des atteintes cérébro-cervicales ou cardio-

thoracique majeures.

- 2) 30% de décès précoces survenant dans les premières heures de l'accident secondaires à des lésions cérébrales et ou hémorragiques et comporte les décès qualifiés d' « évitables ».
- 3) 20% de décès secondaire survenant au cours de l'hospitalisation, et sont la conséquence de sepsis et de complications.
 - ❖ Dans notre série la mortalité globale était de 9,6%, ce résultat concorde avec le taux de mortalité dans l'étude de Thélot [7], qui était de 10%.
 - ❖ Les traumatismes crâniens constituent la première cause de décès chez l'enfant polytraumatisé, et s'associent à une mortalité allant de 15 à 30% selon les études [7-8].
 - ❖ Tous les enfants décédés ont présentés un traumatisme crânien dans notre étude.

L'évaluation de la morbidité des traumatismes graves reste difficile à faire, liée à l'existence d'un traumatisme crânien [73,80].

- Dans notre étude le pourcentage de décès est de 38.4%.
- THELAUT [7] a rapporté un pourcentage de 10%.
- Alors que BARLOW [30] le pourcentage était de 23%.
- Dans la série britannique, Keogh S [69] a trouvé un pourcentage de 7 %.
- Pour KAFADAR [32] un pourcentage de décès estimé à 1.7%.
- Tandis que dans la série WANG [31] le pourcentage était de 1,5%.

Tableau XXXVII. Pourcentage de décès entre les différentes séries.

Auteurs	Mortalité
BARLOW [30] Etat-unis (New york)	23%
Keogh.S[67]Angleterre (London)	7%
Lallier [22] Canada	2%
WANG [31] Etat-unis (los Anglos)	1.5%
Bulut [2006] turkey	3.6%
THELAUT [7] France	10%
KAFADAR [32] Turkey	1.7%
Notre série	38.4%

CONCLUSION

La prise en charge de l'enfant traumatisé grave repose sur une stratégie dont les grands principes sont maintenant bien définis : reconnaître et traiter les détresses vitales immédiates, déterminer les principales priorités thérapeutiques, adapter le traitement à l'évolution de ces priorités au cours du temps grâce à un monitoring multimodal des grandes fonctions vitales.

Le but de cette prise en charge est de participer à la réduction du nombre des décès évitables, et donc indus, et des séquelles liées à un traitement trop tardif.

La spécificité des lésions rencontrées chez l'enfant traumatisé grave (prédominance des traumatismes fermés, des TC) plaide en faveur d'une prise en charge précoce par une équipe spécialisée et multidisciplinaire, disposant d'un plateau technique adapté à l'enfant fonctionnant 24 heures sur 24 et 365 jours par an. Néanmoins, cette prise en charge précoce ne peut s'intégrer que dans une politique plus globale, incluant un suivi en rééducation fonctionnelle à distance du traumatisme.

En effet, les possibilités importantes de récupération de l'enfant en croissance imposent une prise en charge dans un centre de rééducation pédiatrique spécialisé, dont le rôle est d'évaluer les éventuelles séquelles post traumatiques et de proposer une rééducation personnalisée afin de favoriser une réinsertion familiale et scolaire la plus rapide possible.

Résumé

Les traumatismes graves de l'enfant représentent le tiers de la mortalité infantile et la première cause de décès après l'âge de 1 an. Un traumatisme crânien grave est retrouvé chez 80 à 90 % des enfants traumatisés graves ; il est responsable de 50 % des décès. Les premières heures suivant l'accident sont primordiales : les meilleures chances de survie sont obtenues lorsque ces patients bénéficient de soins optimaux rapidement après le traumatisme.

La prise en charge d'un enfant polytraumatisé comprend aussi bien l'évaluation que le traitement des détresses vitales immédiates. La détresse ventilatoire est fréquente et l'intubation oro-trachéale a des indications larges. Le choc hémorragique est la principale cause de détresse circulatoire et peut aboutir à la triade létale associant hypothermie, acidose et coagulopathie. Son traitement passe par la mise en oeuvre d'une stratégie de type damage control, incluant le contrôle des hémorragies extériorisées, la lutte contre l'hypothermie, un remplissage vasculaire raisonné limitant l'hémodilution avec un recours précoce aux vasoconstricteurs pour maintenir les pressions de perfusion (l'hypotension permissive est contre-indiquée chez l'enfant) et l'administration d'acide tranexamique. Enfin, la prise en charge de la détresse neurologique associe au minimum le maintien d'une normoxie, d'une normocapnie et d'une pression de perfusion cérébrale suffisante pour l'âge.

En plus du bilan biologique, les explorations à l'admission incluent un Doppler transcrânien et une échographie FAST (focused assessment with sonography for trauma), puis un body-scanner dès que le patient est stable. Ces explorations visent à obtenir un bilan lésionnel aussi précis que possible afin d'adapter au mieux la prise en charge (chirurgicale ou non), avant une admission en réanimation pédiatrique.

Les meilleurs résultats en termes de morbidité sont obtenus lorsque ces enfants bénéficient d'une prise en charge multidisciplinaire dans un centre spécialisé, de type Trauma Center pédiatrique ou à compétences pédiatriques, avec des protocoles de soins validés.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Hofbauer M, Jaindl M, Hochtll LL, Ostermann RC, Kdolsky R, Aldrian S. Spine injuries in polytraumatized pediatric patients : characteristics and experience from a Level I trauma center over two decades. *J Trauma Acute Care Surgery* 2012;73:156–61.
- [2] Kim C, Vassilyadi M, Forbes JK, Moroz NW, Camacho A, Moroz PJ. Traumatic spinal injuries in children at a single level 1 pediatric trauma centre : report of a 23–year experience. *Can J Surg J* 2016;59:205–12.
- [3] Meyer PG, Meyer F, Orliaguet G, Blanot S, Renier D, Carli P. Combined high cervical spine and brain stem injuries : a complex and devastating injury in children. *J Pediatr Surg* 2005;40:1637–42.
- [4] Medar SS, Villacres S, Kaushik S, Eisenberg R, Stone Jr ME. Pediatric acute respiratory distress syndrome (PARDS) in children with pulmonary contusion. *J Intensive Care Med* 2019, 885066619887666.
- [5] Cooper A, Barlow B, DiScala C, String D. Mortality and truncal injury : the pediatric perspective. *J Pediatr Surg* 1994;29:33–8.
- [6] Goedeke J, Boehm R, Dietz HG. Multiply trauma in children: pulmonary contusion does not necessarily lead to a worsening of the treatment success. *Eur J Pediatr Surg* 2014;24:508–13.
- [7] Eberhardt CS, Zand T, Ceroni D, Wildhaber BE, La Scala G. The seatbelt syndrome—do we have a chance: A report of 3 cases with review of literature. *Pediatr Emerg Care* 2016;32:318– 22.
- [8] Rutland–Brown W, Langlois JA, Thomas KE, Xi YL. Incidence of traumatic brain injury in the United States, 2003. *J Head Trauma Rehabil* 2006;21:544–8.

- [9] Bittigau P, Sifringer M, Pohl D, Stadthaus D, Ishimaru M, Shimizu H, et al. Apoptotic neurodegeneration following trauma is markedly enhanced in the immature brain. *Ann Neurol* 1999;45:724–35.
- [10] Aldrich EF, Eisenberg HM, Saydjari C, Luerssen TG, Foulkes MA, Jane JA, et al. Diffuse brain swelling in severely head-injured children. A report from the NIH Traumatic Coma Data Bank. *J Neurosurg* 1992;76:450–4.
- [11] Trabold F, Orliaguet G, Meyer P, Carli P. Arrêt cardiocirculatoire chez l'enfant traumatisé: une cause rare, la luxation atlanto-occipitale. *Ann Fr Anesth Reanim* 2002;21:42–5.
- [12] Hadley MN, Zabramski JM, Browner CM, Rekate H, Sonntag VK. Pediatric spinal trauma. Review of 122 cases of spinal cord and vertebral column injuries. *J Neurosurg* 1988;68:18–24.
- [13] Osenbach RK, Menezes AH. Pediatric spinal cord and vertebral column injury. *Neurosurgery* 1992;30:385–90.
- [14] Peclet MH, Newman KD, Eichelberger MR, Gotschall CS, Garcia VF, Bowman LM. Thoracic trauma in children: an indicator of increased mortality. *J Pediatr Surg* 1990 ; 25 : 961–5.
- [15] 20 Dowd MD, Krug S. Pediatric blunt cardiac injury: epidemiology, clinical features, and diagnosis. Pediatric Emergency Medicine Collaborative Research Committee: Working Group on Blunt Cardiac Injury. *J Trauma*. 1996 Jan; 40: 61– 7
- [16] 21 Meyer P, Baugnon T, Rousseau V. Traumatismes abdominaux de l'enfant. *EMC Pédiatrie–Maladies infectieuses* 2007 ; 4–019–A–15
- [17] Cantais E, Paut O, Giorgi R, Viard L, Camboulives J. Evaluating the prognosis of multiple, severely traumatized children in the

intensivecare unit. Intensive Care Med 2001;27:1511–7.

- [18] Jaffe D, Wesson D. Emergency management of blunt trauma in children. N Engl J Med 1991;324:1477–82.
- [19] Heckman MM, Whitesides Jr. TE, Grewe SR, Judd RL, Miller M, Lawrence 3rd JH. Histologic determination of the ischemic threshold of muscle in the canine compartment syndrome model. J Orthop Trauma 1993;7:199–210.
- [20] Blick SS, Brumback RJ, Poka A, Burgess AR, Ebraheim NA. Compartment syndrome in open tibial fractures. J Bone Joint Surg Am 1986;68:1348–53.
- [21] Matsen 3rd FA, Winkquist RA, Krugmire Jr. RB. Diagnosis and management of compartmental syndromes. J Bone Joint Surg Am 1980;62:286–91.
- [22] Whitesides TE, Heckman MM. Acute compartment syndrome: update on diagnosis and treatment. J Am Acad Orthop Surg 1996;4:209–18.
- [23] McQueen MM, Court-Brown CM. Compartment monitoring in tibial fractures. The pressure threshold for decompression. J Bone Joint Surg Br 1996;78:99–104.
- [24] Rutland-Brown W, Langlois JA, Thomas KE, Xi YL. Incidence of traumatic brain injury in the United States, 2003. J Head Trauma Rehabil 2006;21:544–8.
- [25] Shaker IJ, White JJ, Signer RD, Golladay ES, Haller Jr. JA. Special problems of vascular injuries in children. J Trauma 1976;16:863–7.
- [26] Reuter PG, Duracher C, Joasson C, Meyer P, Orliaguet G. Prise en charge pré-hospitalière et hospitalière des enfants victimes de traumatisme

- sévère. Atelier 5. Les traumatismes graves de l'enfant. In: Desmettre T, editor. La mère et l'enfant, Journées thématiques interactives de la Société française de médecine d'urgence. Bordeaux 2017. Paris: Lavoisier; 2018. p. 185-217.
- [27] Riou B, Thicoïpé M, Atain-Kouadio P, et al. Comment évaluer la gravité ? In: Samu de France, editor. Actualités en réanimation préhospitalière : le traumatisé grave. Paris: SFEM Éditions; 2002. p. 115-28.
- [28] McCoy CE, Chakravarthy B, Lotfipour S. Guidelines for field triage of injured patients: in conjunction with the morbidity and mortality weekly report published by the Center for disease control and prevention. West J Emerg Med 2013;14:69-76.
- [29] Sathya C, Alali AS, Wales PW, Scales DC, Karanicolas PJ, Burd RS, et al. Mortality among injured children treated at different trauma center types. JAMA Surgery 2015;150:874-81.
- [30] Meyer P. Principe de réanimation en neurotraumatologie pédiatrique. JEUR 1994;4:193-8.
- [31] Ducrocq SC, Meyer PG, Orliaguet GA, Blanot S, Laurent-Vannier A, Renier D, et al. Epidemiology and early predictive factors of mortality and outcome in children with traumatic severe brain injury: experience of a French pediatric trauma center. Pediatr Crit Care Med 2006;7:461-7.
- [32] Javouhey E, Guerin AC, Amoros E, Haddak M, Ndiaye A, Floret D, et al. Severe outcome of children following trauma resulting from road accidents. Eur J Pediatr 2006;165:519-25.
- [33] Zebrack M, Dandoy C, Hansen K, Scaife E, Mann NC, Bratton SL. Early resuscitation of children with moderate-to-severe traumatic

- braininjury. *Pediatrics* 2009;124:56–64.
- [34] Coates BM, Vavilala MS, Mack CD, Muangman S, Suz P, Sharar SR, et al. Influence of definition and location of hypotension on outcome following severe pediatric traumatic brain injury. *Crit Care Med* 2005;33:2645–50.
- [35] Marescal C, Adnet P, Bello N, Halle I, Forget AP, Boittiaux P. Secondary cerebral stress of systemic origin in children with severe craniocerebral injuries. *Ann Fr Anesth Reanim* 1998;17:234–9.
- [36] Johnson DL, Krishnamurthy S. Send severely head-injured children to a pediatric trauma center. *Pediatr Neurosurg* 1996;25:309–14.
- [37] Orliaguet GA, Meyer PG, Blanot S, Jarreau MM, Charron B, Buisson C, et al. Predictive factors of outcome in severely traumatized children. *Anesth Analg* 1998;87:537–42.
- [38] Orliaguet GA, Meyer PG, Blanot S, Jarreau MM, Charron B, Buisson C, et al. Predictive factors of outcome in severely traumatized children. *Anesth Analg* 1998;87:537–42.
- [39] Orliaguet G, Meyer P, Blanot S, Schmautz E, Charron B, Riou B, et al. Validity of applying TRISS analysis to paediatric blunt trauma patients managed in a French paediatric level I trauma centre. *Intensive Care Med* 2001;27:743–50.
- [40] Borgman MA, Maegele M, Wade CE, Blackbourne LH, Spinella PC. Pediatric trauma BIG score: predicting mortality in children after military and civilian trauma. *Pediatrics* 2011;127:e892–7.
- [41] Wang IJ, Bae BK, Park SW, Cho YM, Lee DS, Min MK, et al. Pre-hospital modified shock index for prediction of massive transfusion and

- mortality in trauma patients. *Am J Emerg Med* 2020;38:187–90.
- [42] Vandewalle R, Peceny JK, Dolejs SC, Raymond JL, Rouse TM. Trends in pediatric adjusted shock index predict morbidity and mortality in children with severe blunt injuries. *J Pediatr Surg* 2018;53:362–6.
- [43] Gandhi G, Claiborne MK, Gross T, Sussman BL, Davenport K, Ostlie D, et al. Predictive value of the shock index (si) compared to the age-adjusted pediatric shock index (SIPA) for identifying children that needed the highest-level trauma activation based on the presence of consensus criteria. *J Pediatr Surg* 2020;55(9):1761–5.
- [44] Phillips R, Acker S, Shahi N, Shirek G, Meier M, Goldsmith A, et al. The shock index, pediatric age-adjusted (SIPA) enhanced: Prehospital and emergency department SIPA values forecast transfusion needs for blunt solid organ injured children. *Surgery* 2020;168(4):690–4.
- [45] American College of Surgeons. Committee on Trauma. Chicago: Advanced Trauma Life Support for Doctors; 2008.
- [46] Ricard-Hibon A, Smail N, Adnet F, Baqué S, Carli P, de La Coussaye JE, et al. Monitoring of the severely traumatized patient in prehospital. Conference of Experts, Short text. Société française d'Anesthésie et de Réanimation, Samu de France, Société Francophone de Médecine d'Urgence, Société de Réanimation de Langue Française.
- [47] La Société de Réanimation de Langue Française, La Société Française de Neurochirurgie, La Société Française d'Anesthésie et de Réanimation, La Société Française de Neuroradiologie, L'Association de Neuroanesthésie et de Réanimation de Langue Française, La Société Française de Pédiatrie, et al. Prise en charge des traumatisés

crâniens graves à la phase précoce. Recommandations pour la Pratique Clinique. *Ann Fr Anesth Reanim* 1999;18:15–22

[47] Stafford PW, Blinman TA, Nance ML. Practical points in evaluation and resuscitation of the injured child. *Surg Clin North Am* 2002;82:273–301.

[49] Cantor RM, Leaming JM. Evaluation and management of pediatric major trauma. *Emerg Med Clin North Am* 1998;16:229–56.

[50] Schafermeyer R. Pediatric trauma. *Emerg Med Clin North Am* 1993;11:187–205.

[51] Boyd CR, Tolson MA, Copes WS. Evaluating trauma care: the TRISS method. Trauma Score and the Injury Severity Score. *J Trauma* 1987;27:370–8.

[52] Holmes JF, Palchak MJ, MacFarlane T, Kuppermann N. Performance of the pediatric Glasgow coma scale in children with blunt head trauma. *Acad Emerg Med* 2005;12:814–9

[53] Morken J, West MA. Abdominal compartment syndrome in the intensive care unit. *Curr Opin Crit Care* 2001;7:268–74.

[54] Hollingsed TC, Saffle JR, Barton RG, Craft WB, Morris SE. Etiology and consequences of respiratory failure in thermally injured patients. *Am J Surg* 1993;166:592–6.

[55] DeCou JM, Abrams RS, Miller RS, Gauderer MW. Abdominal compartment syndrome in children: experience with three cases. *J Pediatr Surg* 2000;35:840–2.

[56] Tremblay LN, Feliciano DV, Schmidt J, Cava RA, Tchorz KM, Ingram WL, et al. Skin only or silo closure in the critically ill patient with an open abdomen. *Am J Surg* 2001;182:670–5.

- [57]erecht R. The lethal triad. Hypothermia, acidosis & coagulopathy create a deadly cycle for trauma patients. *JEMS* 2014;39:56–60.
- [58] De Robertis E, Kozek–Langenecker SA, Tufano R, Romano GM, Piazza O, Zito Marinosci G. Coagulopathy induced by acidosis, hypothermia and hypocalcaemia in severe bleeding. *Minerva Anesthesiol* 2015;81: 65–75.
- [59] Waibel BH, Durham CA, Newell MA, Schlitzkus LL, Sagraves SG, Rotondo MF. Impact of hypothermia in the rural, pediatric trauma patient. *Pediatr Crit Care Med* 2010;11:199–204.
- [60] Lacroix J, Tucci M. Impact clinique de la durée de conservation des globules rouges avant transfusion (Clinical impact of length of storage before red blood cell transfusion). *Transfus Clin Biol* 2011;18:97–105.
- [61] Mitrophanov AY, Szlam F, Sniecinski RM, Levy JH, Reifman J. Controlled multifactorial coagulopathy: effects of dilution, hypothermia, and acidosis on thrombin generation in vitro. *Anesth Analg* 2020;130:1063–76.
- [62] Smith SA, Livingston MH, Merritt NH. Early coagulopathy and metabolic acidosis predict transfusion of packed red blood cells in pediatric trauma patients. *J Pediatr Surg* 2016;51:848– 52.
- [63] Polites SF, Nygaard RM, Reddy PN, Zielinski MD, Richardson CJ, Elsbernd TA, et al. Multicenter study of crystalloid boluses and transfusion in pediatric trauma–When to go to blood? *J Trauma Acute Care Surg* 2018;85:108–12.
- [64] Patregnani JT, Borgman MA, Maegele M, Wade CE, Blackbourne LH, Spinella PC. Coagulopathy and shock on admission is associated with mortality for children with traumatic injuries at combatsupport

- hospitals. *Pediatr Crit Care Med* 2012;13:273-7.
- [65] Spahn DR, Bouillon B, Cerny V, Duranteau J, Filipescu D, Hunt BJ, et al. The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: fifth edition. *Crit Care* 2019;23: 98.
- [66] Leeper CM, Kutcher M, Nasr I, McKenna C, Billiar T, Neal M, et al. Acute traumatic coagulopathy in a critically injured pediatric population: Definition, trend over time, and outcomes. *J Trauma Acute Care Surg* 2016;81:34-41.
- [67] Uhrig L, Orliaguet G. *Enfant traumatisé grave*. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Médecine d'urgence, 25-140-K-10, 2011.
- [68] Oyetunji TA, Haider AH, Downing SR, Bolorunduro OB, Efron DT, Haut ER, et al. Treatment outcomes of injured children at adult level 1 trauma centers : are there benefits from added specialized care? *Am J Surg* 2011;201:445-9.
- [69] avouhey E, Guerin AC, Martin JL, Floret D, Chiron M. Management of severely injured children in road accidents in France : impact of the acute care organization on the outcome. *Pediatr Crit Care Med* 2009;10:472-8.
- [70] Orliaguet G, Meyer P, Blanot S, Schmautz E, Charron B, Riou B, et al. Validity of applying TRISS analysis to paediatric blunt trauma patients managed in a French paediatric level I trauma centre. *Intensive Care Med* 2001;27:743-50.
- [71] Geeraerts T, Velly L, Abdennour L, Asehnoune K, Audibert G, Bouzat P, et al. Prise en charge des traumatisés crâniens graves à la phase précoce (24 premières heures). *Anesth Reanim* 2016;2:431-53.

- [72] Beaudin M, Daugherty M, Geis G, Moody S, Brown RL, Garcia VF, et al. Assessment of factors associated with the delayed transfer of pediatric trauma patients: An emergency physician survey. *Pediatr Emerg Care* 2012;28:758-63.
- [73] Duracher C, Vergnaud E, Meyer P, Vivien B, Orliaguet G. Damage control appliqué à la pédiatrie. *Anesth Reanim* 2016;2:247-53.
- [74] Jouffroy R, Bourdaud N, Cuttaree H, Sauvat F, Carli P, Orliaguet G. Haemorrhagic shock after severe abdominal trauma in children: knowing when to change from conservative to surgical management. *Ann Fr Anesth Reanim* 2010;29:387-90.
- [75] Haasz M, Simone LA, Wales PW, Stimec J, Stephens D, Beno S, et al. Which pediatric blunt trauma patients do not require pelvic imaging? *J Trauma Acute Care Surgery* 2015;79:828-32.
- [76] Wilkerson RG, Stone MB. Sensitivity of bedside ultrasound and supine anteroposterior chest radiographs for the identification of pneumothorax after blunt trauma. *Acad Emerg Med* 2010;17:11-7.
- [77] Montoya J, Stawicki SP, Evans DC, Bahner DP, Sparks S, Sharpe RP, et al. From FAST to E-FAST: An overview of the evolution of ultrasound based traumatic injury assessment. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2016;42: 119-26.
- [78] Kessler DO. Abdominal ultrasound for pediatric blunt trauma: FAST is not always better. *JAMA* 2017;317:2283-5.
- [79] Holmes JF, Kelley KM, Wootton-Gorges SL, Utter GH, Abramson LP, Rose JS, et al. Effect of abdominal ultrasound on clinical care, outcomes, and

- resource use among children with blunt torso trauma: A randomized clinical trial. *JAMA* 2017;317:2290-6.
- [80] Stengel D, Rademacher G, Ekkernkamp A, Guthoff C, Mutze S. Emergency ultrasound- based algorithms for diagnosing blunt abdominal trauma. *Cochrane Database Syst Rev* 2015:CD004446.
- [81] Trabold F, Meyer PG, Blanot S, Carli PA, Orliaguet GA. The prognostic value of transcranial Doppler studies in children with moderate and severe head injury. *Intensive Care Med* 2004;30:108-12.
- [82] Ract C, Le Moigno S, Bruder N, Vigue B. Transcranial Doppler ultrasound goal-directed therapy for the early management of severe traumatic brain injury. *Intensive Care Med* 2007;33:645-51.
- [83] Melo JR, Di Rocco F, Blanot S, Cuttaree H, Sainte-Rose C, Oliveira Filho J, et al. Transcranial Doppler can predict intracranial hypertension in children with severe traumatic brain injuries. *Childs Nerv Syst* 2011;27:979-84.
- [84] O'Brien NF, Lovett ME, Chung M, Maa T. Non-invasive estimation of cerebral perfusion pressure using transcranial Doppler ultrasonography in children with severe traumatic brain injury. *Childs Nerv Syst* 2020;36:2063-71.
- [85] Meyer PG, Ducrocq S, Rackelbom T, Orliaguet G, Renier D, Carli P. Surgical evacuation of acute subdural hematoma improves cerebral hemodynamics in children: a transcranial Doppler evaluation. *Childs Nerv Syst* 2005;21:133-7.
- [86] Miele V, Di Giampietro I, Ianniello S, Pinto F, Trinci M. Diagnostic imaging in pediatric polytrauma management. *Radiol Med* 2015;120: 33-49.

- [87] Kauffman JD, Litz CN, Thiel SA, Nguyen ATH, Carey A, Danielson PD, et al. To scan or not to scan: overutilization of computed tomography for minor head injury at a Pediatric Trauma Center. *J Surg Res* 2018;232:164-70.
- [88] Boese CK, Oppermann J, Siewe J, Eysel P, Scheyerer MJ, Lechler P. Spinal cord injury without radiologic abnormality in children: a systematic review and meta-analysis. *J Trauma Acute Care Surg* 2015;78: 874-82.
- [89] Gonzalez KW, DaltonBG, Kerisey MC, Aguayo P, Juang D. Pelvic angiography for trauma in children: A rare but useful adjunct. *Eur J Pediatr Surg* 2017;27:196-9.
- [90] Chapman SB, Culhane KA, Levin HS, Harward H, Mendelsohn D, Ewing-Cobbs L, et al. Narrative discourse after closed head injury in children and adolescents. *Brain Lang* 1992;43:42-65.
- [91] Hindy-Francois C, Meyer P, Blanot S, Marque S, Sabourdin N, Carli P, et al. Admission base deficit as a long-term prognostic factor in severe pediatric trauma patients. *J Trauma* 2009;67:1272-7.
- [92] Frith D, Goslings JC, Gaarder C, Maegele M, Cohen MJ, Allard S, et al. Definition and drivers of acute traumatic coagulopathy: clinical and experimental investigations. *J Thromb Haemost* 2010;8:1919-25.
- [93] Diependaele JF, groupe d'experts Sfar-SFMU. Sédation et analgésie en structure d'urgence. *Pédiatrie : quelle sédation et analgésie chez l'enfant intubé et ventilé ? (Sedation and analgesia in emergency structure. Paediatrics: Which sedation and analgesia for the intubated child under mechanical ventilation?)*. *Ann Fr Anesth Reanim* 2012;31:384-6.

- [94] Duracher C, Schmutz E, Martinon C, Faivre J, Carli P, Orliaguet G. Evaluation of cuffed tracheal tube size predicted using the Khine formula in children. *Paediatr Anaesth* 2008;18:113–8.
- [95] Langeron O, Bourgain JL, Laccoureye O, Legras A, Orliaguet G. Stratégies et algorithmes de prise en charge d'une difficulté de contrôle des voies aériennes: question 5. *Ann Fr Anesth Reanim* 2008;27:41–5
- [96] Duranteau J, Asehnoune K, Pierre S, Ozier Y, Leone M, Lefrant JY, et al. Recommandations sur la réanimation du choc hémorragique. Recommandations formalisées d'experts. *Anesth Fr Anesth Reanim* 2015;1:62–74.
- [97] Kua JP, Ong GY, Ng KC. Physiologically-guided balanced resuscitation: An evidence-based approach for acute fluid management in paediatric major trauma. *Ann Acad Med Singapore* 2014;43:595–604.
- [98] Haute Autorité de santé, ANSM. Transfusion de globules rouges homologues : produits, indications alternatives. Recommandations pour la pratique clinique. Novembre 2014. 2014.
- [99] Lamb CM, MacGoey P, Navarro AP, Brooks AJ. Damage control surgery in the era of damage control resuscitation. *Br J Anaesth* 2014;113:242–9.
- [100] Orliaguet G, Vergnaud E, Duracher C, Meyer P. Choc hémorragique chez l'enfant (Hemorrhagic Shock in Children). *Med Intensive Rea* 2016;25:619–27
- [101] Tourtier JP, Palmier B, Tazarourte K, Raux M, Meaudre E, Ausset S, et al. The concept of damage control: extending the paradigm in the prehospital setting. *Ann Fr Anesth Reanim* 2013;32:520–6.

- [102] CRASH-3 trial collaborators. 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. *Lancet* 2019;394:1713-23.
- [103] Eckert MJ, Wertin TM, Tyner SD, Nelson DW, Izenberg S, Martin MJ. Tranexamic acid administration to pediatric trauma patients in a combat setting: the pediatric trauma and tranexamic acid study (PED-TRAX). *J Trauma Acute Care Surg* 2014;77:852-8, discussion 8.
- [104] Paul S, Debien B. Le garrot en médecine d'urgence et militaire (Tourniquet use in civil and military medicines). *Ann Fr Anesth Reanim* 2014;33:248-55.
- [105] Gilley M, Beno S. Damage control resuscitation in pediatric trauma. *Curr Opin Pediatr* 2018;30:338-43.
- [106] Hughes NT, Burd RS, Teach SJ. Damage control resuscitation: permissive hypotension and massive transfusion protocols. *Pediatr Emerg Care* 2014;30:651-6, quiz 7-8.
- [107] Rosenfeld EH, Lau P, Cunningham ME, Zhang W, Russell RT, NaikMathuria B, et al. Defining massive transfusion in civilian pediatric trauma with traumatic brain injury. *J Surg Res* 2019;236:44-50.
- [108] Rosenfeld E, Lau P, Zhang W, Russell RT, Shah SR, Naik-Mathuria B, et al. Defining massive transfusion in civilian pediatric trauma. *J Pediatr Surg* 2019;54:975-9.
- [109] Vallet B, Blanloeil Y, Cholley B, Orliaguet G, Pierre S, Tavernier B. Stratégie du remplissage vasculaire périopératoire (Guidelines for perioperative haemodynamic optimization. Société française

d'anesthésie et de réanimation). Ann Fr Anesth Reanim 2013;32:454-62.

[110] Brissaud O, Guichoux J, Villega F, Orliaguet G. Quelle évaluation hémodynamique non invasive en réanimation pédiatrique en 2009 ? (What non invasive haemodynamic assessment in paediatric intensive care unit in 2009?). Ann Fr Anesth Reanim 2010;29:233-41.

[111] Piehl MD, Manning JE, McCurdy SL, Rhue TS, Kocis KC, Cairns CB, et al. Pulse contour cardiac output analysis in a piglet model of severe hemorrhagic shock. Crit Care Med 2008;36:1189-95.

[112] Hilly J, Pailleret C, Fromentin M, Skhiri A, Bonnard A, Nivoche Y, et al. Use of near-infrared spectroscopy in predicting response to intravenous fluid load in anaesthetized infants. Anaesth Crit Care Pain Med 2015;34:265-70.

[113] Gale SC, Kocik JF, Creath R, Crystal JS, Dombrovskiy VY. A comparison of initial lactate and initial base deficit as predictors of mortality after severe blunt trauma. J Surg Res 2016;205:446-55.

[114] Santé publique France. Description et gravité des lésions traumatiques selon les classifications AIS 1998 et IIS 1994, 2004.

<https://www.santepubliquefrance.fr/docs/description-et-gravite-des-lesions-traumatiques-selon-les-classifications-ais-1998-et-iis-1994.-traduit-de-l-anglais-the-abbreviated-injury-scale>.