

UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG
Année 2021

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN
MÉDECINE

**Développement d'un indicateur de la QUALITÉ de la prise en charge des
TRAumatismes Crânio-cérébraux sévère de l'Enfant :
Projet iQUATRACE – (Étude de faisabilité)**

Présentée et soutenue publiquement le 18 octobre 2021 à 16h
au Pôle Formation

par **Gabriel MASSON**

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Benoit TAVERNIER

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Gilles LEBUFFE

Monsieur le Docteur Florent BAUDIN

Monsieur le Docteur Emmanuel VEGA

Directeur de thèse :

Monsieur le Professeur Guillaume EMERIAUD

Avertissement

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

Sigles

ACSOS	Agression Cérébrale Secondaire d'Origine Systémique
BDD	Base De Données
BDD SIP	Base De Données Soins Intensif Pédiatrique qui se dichotomise en deux entités : la BDD ICCA, la BDD HR
BDD HR	Base De Données Haute Résolution. Une partie de la BDD SIP ou sont stockés les signaux des appareils de monitoring continue
BDD ICCA	Base De Données native du logiciel métier <i>IntelliSpace Critical Care and Anesthesia (ICCA)</i>
DSC	Débit Sanguin Cérébral
GCS	<i>Glasgow Coma Scale</i>
HTIC	Hyper tension Intra Crânienne
HED	Hématome Extra Dural
ICCA	<i>IntelliSpace Critical Care and Anesthesia</i>
INR	International Normalised Ratio
iQUATRACE	Indicateur de la QUALité de la prise en charge des TRAumatismes Crânio-cérébraux sévère de l'Enfant
PAM	Pression Artérielle Moyenne
pGOS-E	<i>Pediatric Glasgow Outcome Scale Extended</i>
PEGASUS	<i>Pediatric Guidelines Adherence and Outcomes program</i>
PIC	Pression Intra Crânienne
PPC	Pression de Perfusion Cérébrale
SIP	Soins Intensifs Pédiatrique
TCC	Traumatisme Crânio-Cérébral
TCCG	Traumatisme Crânio-Cérébral Grave

Sommaire

Avertissement	3
Sigles	4
Sommaire	5
Introduction	7
1 Les Traumatismes Crânio-Cérébraux Graves de l'enfant	7
1.1 Définition des Traumatismes Crânio-Cérébraux Graves de l'enfant.....	7
1.2 Devenir des enfants après un Traumatisme Crânio-Cérébral Grave	8
1.3 Particularités des lésions cérébrales traumatiques chez l'enfant.....	9
1.3.1 Particularités anatomo-physiologiques de l'enfant	9
1.3.2 Lésions encéphaliques primaires	11
1.3.3 Lésions encéphaliques secondaires	13
2 Prise en Charge Thérapeutique.....	16
2.1 Les lignes directrices	16
2.2 Application pratique des lignes directrices	16
2.3 Association entre application des lignes directrices et le devenir neurologique	20
3 Processus d'amélioration de la qualité des soins	21
4 Base de données des Soins Intensifs du CHU Sainte Justine	22
5 Question de recherche et objectif.....	24
5.1 Question de recherche	24
5.2 Objectifs primaires.....	25
5.3 Objectifs secondaires	26
Matériel et Méthodes	27
1 Développement du système (objectif 1.a et 2.b).....	27
1.1 Sélection des indicateurs de qualité.....	27
1.2 Opérationnalisation des indicateurs sélectionnés.....	29
1.3 Extraction des données patient par variable.....	32
1.4 Programmation des indicateurs	33
2 Test du système (objectif 1.b et 2.a).....	35
2.1 Devis de l'étude clinique.....	35
2.2 Population étudiée.....	36
2.2.1 Critères d'inclusion	36
2.2.2 Critère d'exclusion	36
2.3 Autorisation éthique	36
2.4 Données cliniques collectées	36

2.5	Plan d'Analyses	39
2.5.1	Principes généraux	39
2.5.2	Objectifs Primaires.....	39
2.5.3	Objectifs Secondaires	39
2.5.4	Taille d'échantillon	40
	Résultats.....	41
1	Caractéristiques de la population	41
2	Développement des indicateurs du système iQUATRACE.....	44
3	Description du respect des lignes directrices au niveau de l'unité de soin.....	44
4	Description du respect des lignes directrices par patient	47
5	Analyse des facteurs de risques associés à une mauvaise adhérence.....	49
6	Analyse exploratoire de l'association entre l'adhérence et l'évolution des patients.....	51
	Discussion	53
1	Représentativité de notre population	53
2	Principaux résultats	56
3	Résultats sur l'indicateur d'adhérence globale.....	57
4	Résultats sur le respect des différents indicateurs	59
5	Facteurs de risques associés à la non-adhérence	63
6	Lien entre l'adhérence et le devenir des patients	64
7	Perspectives	65
	Conclusion.....	67
	Liste des tableaux	68
	Liste des figures	69
	Références	70
	Annexe 1	77
	Annexe 2	78
	Annexe 3	79

Introduction

1 Les Traumatismes Crânio-Cérébraux Graves de l'enfant

1.1 Définition des Traumatismes Crânio-Cérébraux Graves de l'enfant

Le traumatisme crânio-cérébral (TCC) se définit comme une atteinte traumatique de la boîte crânienne, le contenu, et/ou du parenchyme cérébral, le contenant. Cette lésion du parenchyme peut intéresser aussi bien les hémisphères cérébraux que le cervelet ou le tronc cérébral. La ou les lésions parenchymateuses vont être à l'origine d'une souffrance cérébrale entraînant un certain degré de gravité.

La classification du degré de gravité reconnue dans la littérature et utilisée dans les dernières recommandations internationales portant sur la prise en charge des TCC Grave (TCCG) est celle du Score de Coma de Glasgow (GCS) [1–3].

Le calcul de ce score allant de 3 à 15 doit être adapté à l'âge [4–6] (Figure 1) et comporte 3 catégories. Le seuil pour déterminer qu'un TCC est grave est un score ≤ 8 . Entre 9 et 12 le TCC est considéré comme modéré, et entre 13 et 15 il est considéré comme léger. Cette évaluation globale des fonctions cérébrales, bien qu'essentielle à l'orientation des patients et la priorisation de leur prise en charge, ne préjuge en rien des lésions sous-jacentes, qui sont bien souvent multiples et plurifactorielles.

Echelle de Glasgow standard (> 5 ans)	Echelle de Glasgow de 2 à 5 ans	Echelle de Glasgow de 0 à 2 ans
<p>Ouverture des yeux :</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 - spontanément 3 - aux stimuli verbaux 2 - aux stimuli douloureux 1 - aucune réponse 	<p>Ouverture des yeux :</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 - spontanément 3 - aux stimuli verbaux 2 - aux stimuli douloureux 1 - aucune réponse 	<p>Ouverture des yeux :</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 - spontanément 3 - aux stimuli verbaux 2 - aux stimuli douloureux 1 - aucune réponse
<p>Réponse verbale :</p> <ul style="list-style-type: none"> 5 - est orienté et parle 4 - est désorienté et parle 3 - paroles inappropriées 2 - sons incompréhensibles 1 - aucune réponse 	<p>Réponse verbale :</p> <ul style="list-style-type: none"> 5 - mots appropriés, sourit, fixe, suit du regard 4 - mots appropriés, pleure, est consolable 3 - hurle, est inconsolable 2 - gémit aux stimuli douloureux 1 - aucune réponse 	<p>Réponse verbale :</p> <ul style="list-style-type: none"> 5 - agit normalement 4 - pleure 3 - hurlements inappropriés 2 - gémissements (grunting) 1 - aucune réponse
<p>Réponse motrice :</p> <ul style="list-style-type: none"> 6 - répond aux demandes 5 - localise la douleur 4 - se retire à la douleur 3 - flexion à la douleur (décortication) 2 - extension à la douleur (décérébration) 1 - aucune réponse 	<p>Réponse motrice :</p> <ul style="list-style-type: none"> 6 - répond aux demandes 5 - localise la douleur 4 - se retire à la douleur 3 - flexion à la douleur (décortication) 2 - extension à la douleur (décérébration) 1 - aucune réponse 	<p>Réponse motrice :</p> <ul style="list-style-type: none"> 6 - mouvements spontanés intentionnels 5 - se retire au toucher 4 - se retire à la douleur 3 - flexion à la douleur (décortication) 2 - extension à la douleur (décérébration) 1 - aucune réponse

Score de Glasgow Pédiatrique en fonction de l'âge, d'après Jehlé E. & al 2015

Figure 1: Présentation du score de Glasgow pédiatrique en fonction de l'âge

1.2 Devenir des enfants après un Traumatisme Crânio-Cérébral Grave

Même si d'importants progrès ont été réalisés sur les 30 dernières années, les TCCG sont une cause majeure de décès et d'invalidité chez l'enfant et l'adulte jeune. Environ 37 000 enfants par an sont hospitalisés pour traumatisme crânien aux États Unis, et les TCCG sont responsables de presque 2700 décès d'enfants par an [7]. Dans les pays considérés comme « développés », on estime que les TCCG représentent la 3^{ème} cause de mortalité chez les enfants de moins de 1 an soit environ 15% des décès [8,9]. En présence d'un TCCG, la mortalité est accrue avant 2 ans pouvant aller jusqu'à 39% [10]. Dans près de la moitié des cas, le décès survient au moment de l'accident suite aux lésions crânio-cérébrales primaires. Ensuite on observe un pic de mortalité d'environ un tiers dans les premières heures, secondaire à la progression des lésions, éventuellement favorisé par une errance diagnostique ou une prise en charge inadaptée, d'où l'importance de filières de soins dédiées dès la prise en charge initiale [3,7,11]. A distance, entre 25 et 50% des survivants gardent des séquelles, qui peuvent être motrices, cognitives et comportementales, entraînant des retards de développement et des troubles majeurs de

socialisation [12,13]. La récupération après un TCCG est influencée par les caractéristiques initiales des lésions, leurs localisations, le caractère focal ou diffus, unique ou multiples, ainsi que la latéralité [14]. Les enfants qui ont subi des lésions étendues, diffuses, bilatérales présentent des performances cognitives moindres au décours du TCCG [15,16].

Le parcours de réhabilitation suite à une hospitalisation en réanimation pour TCCG est long. Il peut prendre des mois, voire des années, en centre spécialisé, jusqu'à une réintégration progressive au domicile puis dans la vie active. Un facteur à prendre en compte dans le devenir de l'enfant est l'impact que les séquelles vont avoir sur l'organisation familiale, qui va s'en trouver durablement modifiée, de façon proportionnelle à l'importance des séquelles [17]. D'où l'importance d'intégrer la famille dans la prise en charge dès que possible [18].

1.3 Particularités des lésions cérébrales traumatiques chez l'enfant

Contrairement aux idées reçues, le pronostic du TCCG chez l'enfant n'est pas de meilleur pronostic que celui de chez l'adulte, bien au contraire. Une des particularités du TCCG de l'enfant est qu'il survient sur un cerveau en cours de développement, dont les réactions au traumatisme diffèrent de celles d'un cerveau adulte mature. L'épidémiologie, la physiopathologie et donc la prise en charge de ces TCCG ainsi que certaines spécificités lésionnelles méritent d'être développées.

1.3.1 Particularités anatomo-physiologiques de l'enfant

En ce qui concerne les mécanismes lésionnels, la cause principale de traumatisme crânien est la chute, même de faible hauteur. Plus l'enfant est jeune, plus la proportion des chutes est importante dans l'origine du traumatisme crânien : 80% avant 5 ans et 50% avant 14 ans. Les accidents de la voie publique sont la seconde cause en pédiatrie, mais ces derniers deviennent la première cause à l'adolescence (majoritairement piéton) [9,19,20].

Tout TCCG chez l'enfant doit faire considérer l'enfant comme un polytraumatisé jusqu'à preuve du contraire, puisque près de 45% des enfant présentant un TCCG sont polytraumatisés [10,21].

La compliance cérébrale de l'enfant est plus faible que celle de l'adulte, du fait du petit volume de la boîte crânienne. Bien que persistent des sutures crâniennes non ossifiées avant l'adolescence et des fontanelles jusqu'à 18 mois, la dure mère et le crâne ostéo-fibreux offrent un sac rigide peu compliant. En cas d'augmentation brutale de volume d'une des trois composantes du secteur intracrânien (le parenchyme, le sang et le liquide céphalorachidien), on observe une rapide augmentation des pressions intracrâniennes de façon exponentielle. Ceci est d'autant plus chez le jeune enfant compte tenu du fait que son volume intracrânien est plus faible comparé à l'adulte [22–24].

L'autorégulation cérébrale permet un maintien constant du Débit Sanguin Cérébral (DSC) suffisant pour apporter les substrats énergétiques essentiels au fonctionnement des cellules cérébrales. Jusqu'à l'âge de 6ans le DSC de l'enfant (100ml/100g/min) est deux fois plus élevé que celui de l'adulte (50ml/100g/min). Le seuil ischémique est situé vers 20ml/100g/min [25,26]. Chez l'enfant, les limites basse et haute du plateau d'autorégulation cérébrale sont inférieures à celles de l'adulte, et la plage de pression artérielle de perfusion cérébrale optimale est plus étroite, rendant plus difficile son optimisation. Pour rappel, la Pression de perfusion cérébrale (PPC) = Pression Artérielle Moyenne (PAM) – Pression Intra Crânienne (PIC). Par ailleurs, on observe chez près de 40% des patients une altération précoce de l'autorégulation après un TCCG, le DSC est alors directement dépendant de la PPC. De ce fait, en cas d'hypotension conduisant à une baisse de la PPC, l'enfant est particulièrement exposé au risque de réduction du DSC et une ischémie peut survenir précocement, en particulier avant 2 ans [27,28].

1.3.2 Lésions encéphaliques primaires

Les lésions primaires sont celles acquises au moment du TCC. On en distingue 3 types : les lésions osseuses, les lésions focales, et les lésions diffuses.

1.3.2.1 Les fractures des os composant la boîte crânienne

Les fractures surviennent lorsque le choc est suffisamment violent pour déformer l'os localement jusqu'à dépasser son élasticité. L'os crânien de l'enfant étant plus fin, l'incidence des fractures peut aller jusqu'à 20% pour des traumatismes minimes de moins d'un mètre[29], et jusqu'à 70% dans le TCC plus sévère [30].

Elles peuvent être simples avec un trait linéaire, ou complexes et multiples. Les fractures, lorsqu'elles présentent une encoche, peuvent venir en interne léser la dure mère voire le parenchyme, ce qui peut être responsable d'un saignement sous-jacent. Les traits de fractures même simples peuvent irradier vers d'autres structures, en particulier les sinus veineux latéraux pouvant secondairement favoriser des thromboses veineuses intracérébrales. On retrouve aussi les lésions ouvertes pénétrantes par un objet contondant ou un projectile, qui entraînent quasi systématiquement une fracture et une lésion parenchymateuse.

1.3.2.2 Les lésions cérébrales focales

1.3.2.2.1 Hématome extradural

L'hématome extradural (HED) est une complication qui survient dans environ 3% des TCC chez l'enfant [31]. Il correspond à une collection de sang entre la tablette interne de l'os et le feuillet externe de la dure mère. Ce saignement peut être secondaire à plusieurs types de lésions vasculaires. Une lésion de l'artère méningée moyenne ou de ses branches, directement depuis la dure mère arrachée de ses adhérences à la voûte crânienne, d'origine osseuse après une fracture, ou secondaire à une lésion d'un sinus veineux dural. Ce dernier mécanisme est plus fréquent chez l'enfant [32]. La manifestation classique est une perte de connaissance initiale, un

retour à une conscience normale, puis une dégradation neurologique après un intervalle libre correspondant au temps de formation de l'hématome. Cette phase correspond à la compression par l'hématome du parenchyme avec un risque d'engagement cérébral par HTIC localisée. Le traitement est alors une urgence chirurgicale.

1.3.2.2.2 Hématome sous dural

L'hématome sous-dural est retrouvé dans environ 10 % des TCCG pédiatriques. Il survient le plus souvent suite à une décélération brutale. Il en résulte l'arrachement d'une veine cortico-durale. L'autre mécanisme est un saignement dans l'espace sous-dural d'une contusion hémorragique. Il s'agit de mécanisme lésionnel à haute énergie, il est souvent associé à des contusions cérébrales et des lésions axonales diffuses [10,33]. On retrouve aussi ces lésions dans le cadre des traumatismes volontaires de l'enfant [34].

1.3.2.2.3 Contusions

Les contusions hémorragiques surviennent essentiellement suite au choc et à la déformation de l'encéphale contre la boîte crânienne principalement dans les régions basi-frontales et temporales, où les reliefs osseux sont les plus saillants. Elles apparaissent au niveau de l'impact, ou à son opposé par contrecoup. Elles apparaissent parfois dans une temporalité décalée et vont se compliquer d'un œdème réactionnel. Cet œdème va entraîner un effet de masse et des lésions parenchymateuses secondaires qui vont être maximales vers le 6^{ème} jour [35].

1.3.2.2.4 Hématome intra-parenchymateux

Concernant les hématomes intra-parenchymateux, intra-ventriculaires ou les hémorragies méningées traumatiques, il n'est pas noté de grandes différences en comparaison à la population adulte.

1.3.2.3 Les lésions cérébrales diffuses

Les lésions cérébrales diffuses sont très fréquentes chez l'enfant, particulièrement les lésions axonales diffuses associées à l'œdème cérébral.

Les lésions axonales diffuses surviennent dans au moins 40% des TCCG [36]. Elles sont la conséquence des forces de cisaillement qui s'exercent entre les tissus de densités différentes, en particulier dans les zones de jonction entre la substance grise et substance blanche, à l'occasion de mouvements d'accélération-décélération. L'enfant a un ratio tête sur corps plus important que l'adulte et une faible musculature cervicale, ce qui le rend particulièrement sensible à ce genre de mécanisme. Ces lésions sont la résultante de la violence du choc et varient d'un simple étirement résolutif à un cisaillement signant une lésion définitive. Les 4 zones privilégiées pour observer ces lésions sont la jonction entre substance grise corticale et substance blanche sous-corticale, la jonction entre la substance blanche et les noyaux gris centraux, au niveau du corps calleux et du tronc cérébral [14,37].

Si l'œdème cérébral aigu est fréquent dans le TCCG de l'enfant, ses mécanismes physiopathologiques sont encore débattus. L'hyperhémie correspondant à une élévation supra normale du DSC associée à une barrière hémato-encéphalique encore immature et de ce fait plus perméable ne sont pas les seuls facteurs comme on a pu le penser initialement [38]. Il peut être uni ou bilatéral, et associé à des zones de bas débit. Il peut s'y associer une augmentation du contenu en eau intracérébrale secondaire à un œdème cellulaire cytotoxique [39].

1.3.3 Lésions encéphaliques secondaires

La gravité des lésions primaires détermine la gravité initiale du TCC et le GCS. Cependant ces lésions primaires n'entraînent pas toujours à elle seule une évolution défavorable. Une part importante de la morbi-mortalité des TCCG est liée aux agressions secondaires qui surviennent dans les minutes, heures, jours suivant les lésions initiales.

Ces lésions parenchymateuses secondaires peuvent apparaître en conséquence de dysfonctionnements neuronaux faisant suite à des perturbations hémodynamiques et métaboliques. Les causes de ces agressions peuvent être locales de par l'évolution naturelle des lésions primaires ou par l'apparition de nouvelles lésions intracérébrales, ou d'origine extra-crânienne. On parle alors d'Agression Cérébrale Secondaire d'Origine Systémique (ACSOS) [40–43].

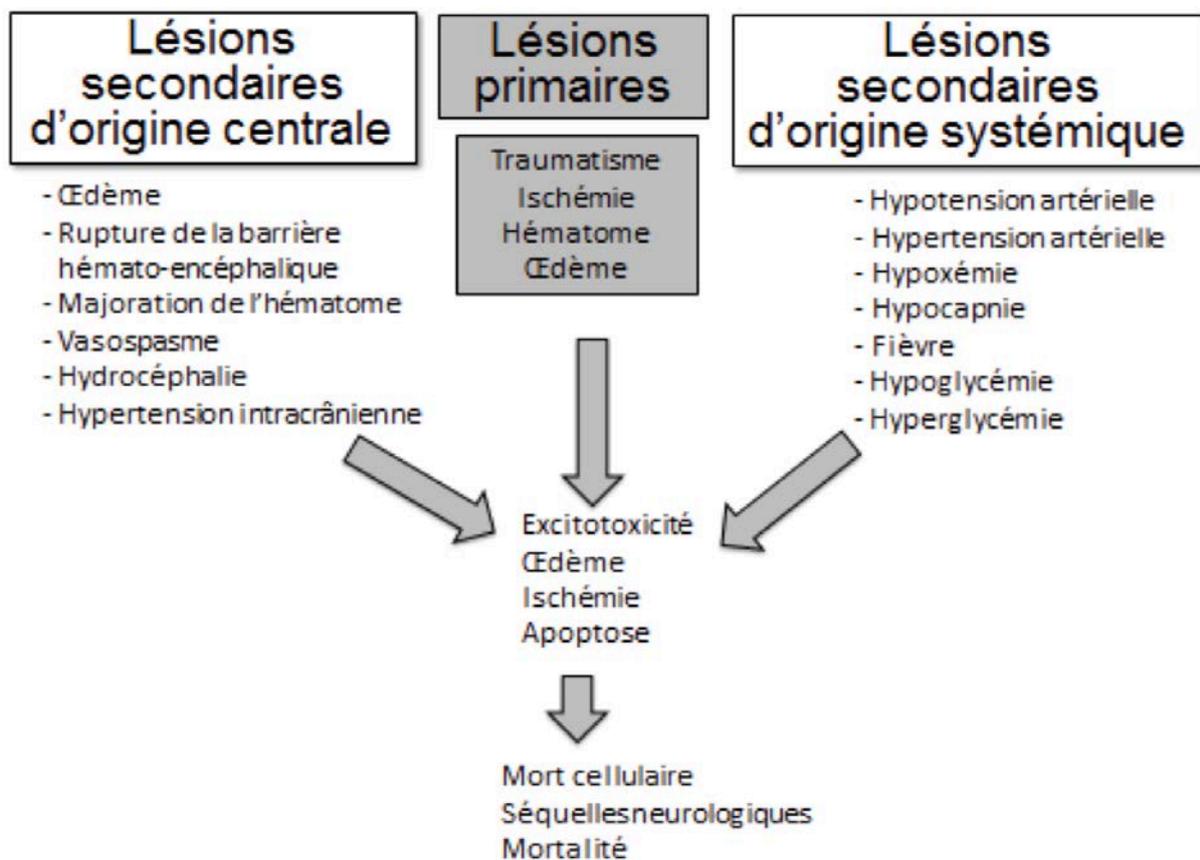
Les lésions sus-décrites vont apparaître préférentiellement au sein de zones dites « de pénombre ». Ces zones correspondent à du parenchyme cérébral sidéré et fragilisé par les lésions primaires mais toujours viables. Dès la prise en charge initiale, l'objectif majeur des thérapeutiques mises en place va être d'éviter l'apparition de ces lésions secondaires, afin d'empêcher que ces zones de pénombre ne se transforment en nouvelles zones lésées. Pour se faire des mesures de réanimation, et des interventions chirurgicales sont parfois nécessaires.

Schématiquement 3 mécanismes intriqués concourent à l'apparition de ces lésions :

- 1) un œdème cytotoxique par altération de la perméabilité membranaire cellulaire et apoptose dans les zones lésées. L'œdème altère le métabolisme et la perfusion des cellules au contact des lésions primaires qui s'étendent.
- 2) un œdème vasogénique par altération de la barrière hématoencéphalique d'origine inflammatoire et/ou par augmentation de la pression hydrostatique secondaire à l'hyperhémie
- 3) les perturbations du DSC, a fortiori en cas de perte de son autorégulation.

La résultante de ces phénomènes est un défaut de perfusion du tissu neuronal survivant, un défaut d'apport en oxygène et en nutriments associé à un défaut d'élimination des déchets métaboliques et des toxines. In fine, cela va entraîner de nouvelles morts cellulaires, ce qui va aggraver le processus pour aboutir à un œdème cérébral diffus. Le volume cérébral va augmenter

dans un espace intra crânien clos induisant une augmentation des pressions intracrâniennes, aboutissant à une hypertension intracrânienne (HTIC), responsable par réduction de la PPC de nouvelles lésions ischémiques focales ou, à distance avec l'engagement des structures cérébrales, éventuellement jusqu'à une compression du tronc cérébral. Si aucune action thérapeutique n'est réalisée, le risque est d'aboutir à une pression intracrânienne supérieure à la PPC. Dans ce cas, le DSC sera nul. Cette absence prolongée de flux sanguin dans les principaux axes artériels aboutit à un état de mort encéphalique. La Figure 2 présente une synthèse des différentes lésions retrouvées dans le TCCG.



Synthèse des différentes lésions retrouvées chez le traumatisé crânio-cérébral grave, d'après Mrozek Congrès SFAR 2016

Figure 2: Synthèse des différentes lésions retrouvées chez le traumatisé crânio-cérébral grave

2 Prise en Charge Thérapeutique

2.1 Les lignes directrices

Si les lésions primaires ne peuvent pas être évitées, l'enjeu de la prise en charge thérapeutique des premiers secours jusqu'à la réanimation est donc d'éviter l'apparition de lésions ischémiques secondaires, sans favoriser la formation de l'œdème cérébral. L'approche thérapeutique complexe se veut multimodale, et nécessite une structuration et une harmonisation des pratiques. C'est dans cette optique que les premières lignes directrices de 2003 sont proposées par la *Brain Trauma Foundation*. Elles représentaient les premières orientations interdisciplinaires sur les soins intensifs fondées sur des données probantes pour les nourrissons, les enfants, et les adolescents atteints de TCCG. Par la suite, des recommandations pour la prise en charge pré hospitalière et la prise en charge neurochirurgicale des TCCG ont été publiées. Une mise à jour des lignes directrices a été réalisée en 2012 [44], et les dernières (3^{èmes}) lignes directrices ont été publiées en 2019 [2]. Elles précisent certains seuils de surveillance et d'approche thérapeutique à mettre en place dans les unités de soins intensifs pédiatriques (SIP). Bien que d'autres recommandations régionales de bon niveau de preuve existent, aucune ne traite aussi spécifiquement du TCCG de l'enfant mis à part les recommandations françaises publiées en 2016, mais qui ne s'intéressent qu'aux 24 premières heures [3].

2.2 Application pratique des lignes directrices

2.2.1.1 Comment les lignes directrices sont-elles appliquées ?

Malgré la présence de ces lignes directrices depuis presque 20 ans, les études récentes montrent un taux d'adhérence non optimal et des variations de pratiques importantes entre les centres et au sein même des centres. Ces variations persistent au fil des années malgré les

recommandations successives [45–47]. Ce phénomène est aussi bien observé chez l'enfant que chez l'adulte concernant le TCCG, même si le fait d'être un enfant est retrouvé comme un facteur de plus grande adhésion aux lignes directrices [48,49].

Pour prendre l'exemple du monitoring de la PIC, en 2017 l'étude de Bennet et al. incluant 3084 enfants pris en charge pour TCCG dans 30 hôpitaux américains retrouvait que seulement 32% des enfants avaient bénéficié d'un monitoring de la PIC, avec des variations allant de 6% à 50% selon les centres [50]. Une étude ancillaire de l'étude européenne CENTER TBI s'intéressant aux pratiques chirurgicales retrouvait également des variations dans les indications neurochirurgicales entre centres et au sein d'un même centre pouvant aller jusqu'à 31% pour les indications de monitoring de la PIC [51].

2.2.1.2 Pourquoi les lignes directrices sont-elles peu appliquées ?

Plus de 90% des cliniciens interrogés pensent que les lignes directrices sont des aides utiles pour la prise en charge des patients, et que leur application peut conduire à un meilleur devenir des patients [52]. Parmi les principales raisons qui expliquent la non-adhérence aux recommandations, on retrouve : le manque de niveau de preuve scientifique, les facteurs liés aux contraintes organisationnelles et à l'environnement où le soin est réalisé, le manque de diffusion des lignes directrices, le manque de connaissance vis-à-vis des lignes directrices, le manque de clarté et d'applicabilité en routine des lignes directrices, l'absence de culture d'équipe pour l'utilisation des protocoles [52–54]. L'ensemble de ces facteurs peuvent expliquer les disparités retrouvées entre les centres et au sein du même centre.

Par ailleurs, des facteurs liés au patient lui-même peuvent expliquer une moins bonne adhésion. Un patient polytraumatisé aura une instabilité hémodynamique, respiratoire, et une coagulopathie, entraînant des difficultés supplémentaires dans la gestion neurologique. De même, un patient souffrant de traumatisme abdominal ne pourra pas être nourri dans les 72

premières heures comme le suggèrent les recommandations. Une étude réalisée dans le service du CHU de Sainte-Justine mettait en exergue le fait que les enfants très graves ou au contraire ceux qui s'améliorent rapidement n'avaient pas de monitoring de la PIC. Bien que cela donne une déviation vis-à-vis de l'adhérence aux recommandations, ce n'est donc pas forcément une erreur de prise en charge sauf pour une certaine proportion des enfants qui auraient pu bénéficier d'un monitoring [55].

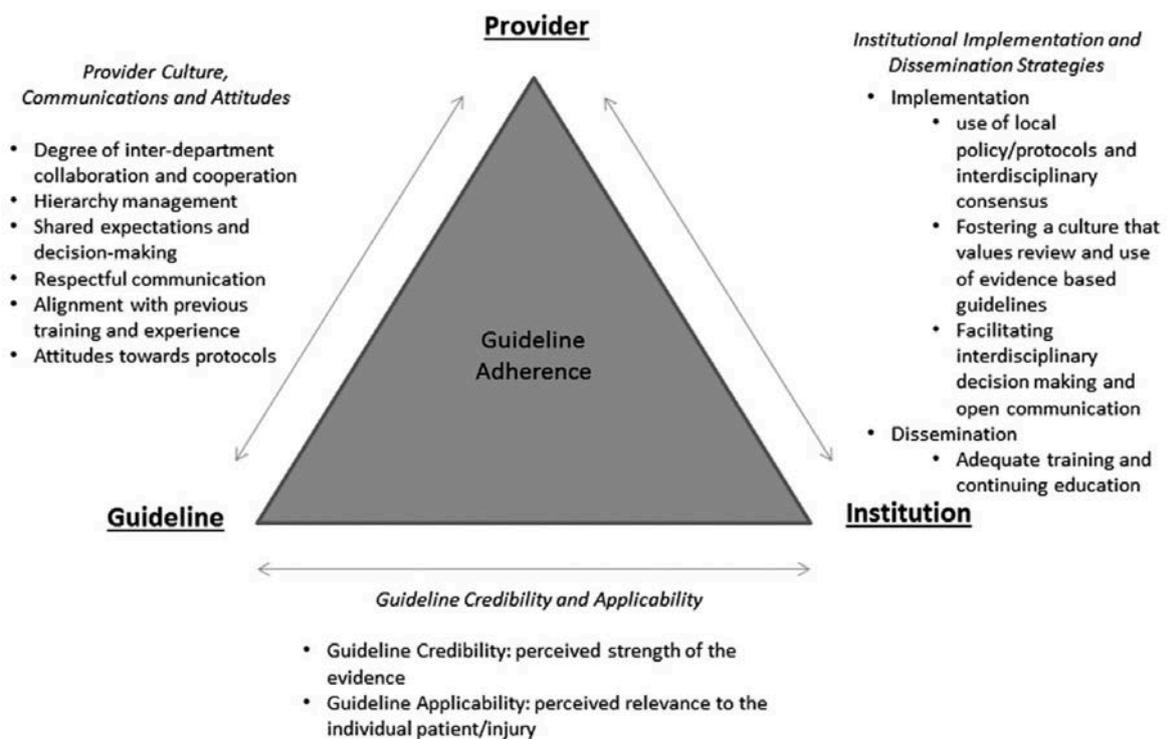
L'application partielle et différentielle entre les centres peut être une des raisons pour lesquelles de nombreuses d'études interventionnelles multicentriques n'arrivent pas à prouver l'efficacité des thérapeutiques spécifiques mises en place dans le TCCG. Ceci conduit à un moins bon niveau de preuves des études. Ainsi l'analyse et la compréhension des éléments interférant avec une bonne application des lignes directrices est un axe majeur de recherche pour améliorer l'adhérence [45].

2.2.1.3 Comment améliorer l'adhérence aux lignes directrices ?

Toutes les mesures mises en place pour corriger individuellement les facteurs de non adhérence sont importantes. Cependant pour être plus efficaces, ces mesures devraient s'inscrire dans un programme global au sein d'une équipe et d'un établissement. Ce programme serait mis en place dans une culture de consensus interdisciplinaire faisant intervenir les acteurs du soin, en concertation avec les acteurs institutionnels en charge de l'organisation des soins.

Dans une démarche de ce type, les équipes du centre hospitalier de Seattle, un centre expert en traumatologie pédiatrique, proposent un modèle d'amélioration de l'adhérence [54] (Figure 3) basé sur 3 axes : 1) l'évaluation de la crédibilité et de l'applicabilité des lignes directrices, 2) la mise en œuvre et la diffusion au niveau de l'établissement des lignes directrices, 3) la construction d'une culture, d'une communication et d'attitudes collaboratives au sein des équipes et entre les équipes. La simulation médicale est un des piliers de ce genre de

démarche. Ce d'autant plus qu'elle a déjà prouvé son intérêt dans l'amélioration de l'adhérence aux lignes directrices dans d'autres domaines [56–58]. Bien que l'on puisse penser que des moyens financiers importants soient nécessaires pour améliorer l'adhésion, une étude réalisée dans 5 centres de référence en traumatologie pédiatrique aux Etats-Unis suggère qu'une plus grande adhésion aux lignes directrices du TCCG n'était pas associée à un surcoût de soins [59].



Le triangle de l'adhérence aux lignes directrices dans le traumatisme crânio-cérébral grave de l'enfant, d'après Broliar & al.

Figure 3: Démarches pour une optimisation de l'adhérence aux recommandations

2.3 Association entre application des lignes directrices et le devenir neurologique

Ces 10 dernières années, en s'appuyant sur les lignes directrices, des études ont clairement établi qu'il y avait un lien entre un respect des différents axes de prises en charge proposés et le devenir des patients en terme de morbi-mortalité. Et ce, même si on ne mettait en application que certains axes de prise en charge [60–64]. Ces études ont en commun d'avoir créé et intégré un certain nombre d'indicateurs cliniques dont chacun représente l'adhérence vis-à-vis d'une des recommandations des lignes directrices antérieures à 2019. Elles ont aussi en commun le fait d'avoir intégré leurs démarches dans une approche coordonnée entre tous les soignants (urgentistes, anesthésistes, réanimateurs, neurochirurgiens, radiologues, infirmiers), associé à une phase d'implémentation du programme et de présentation des protocoles de prise en charge et des indicateurs issus des lignes directrices. Le programme PEGASUS (Pediatric Guidelines Adherence and Outcomes) à Seattle visait à comparer la qualité de leur prise en charge avant et après la mise en place de protocoles issus des lignes directrices, à l'échelle de l'hôpital. Ce programme a permis d'atteindre une meilleure adhésion aux recommandations, aboutissant à de meilleurs résultats à la sortie de l'hôpital [63]. On peut alors supposer que ces équipes habituées à suivre les lignes directrices sont plus performantes que des équipes moins formées, ceci expliquant une part de disparité concernant le devenir des patients [65]. Ces résultats suggèrent donc que l'amélioration de la qualité des soins est possible et souhaitable dans l'intérêt des patients. Cependant, il est difficile de disposer d'outils pour objectiver l'observance ou la non observance des différentes recommandations de façon simple et automatisée que ce soit rétrospectivement ou prospectivement. Ceci est donc une limite pour pouvoir suivre l'impact des programmes et des changements, et surtout confirmer le maintien dans le temps de ces impacts.

3 Processus d'amélioration de la qualité des soins

Selon l'organisation mondiale de la santé, l'évaluation de la qualité des soins est une démarche qui doit permettre de garantir à chaque patient les actes diagnostiques et thérapeutiques lui assurant le meilleur résultat en termes de santé. Ceci conformément à l'état actuel de la science médicale, au meilleur coût, au moindre risque iatrogénique et pour sa plus grande satisfaction en termes de procédure, de résultats et de contacts humains dans le système de soins.

Une des particularités de la réanimation et des soins intensifs est que les patients requièrent de très nombreux soins, très techniques, complexes, et urgents. Ceci implique des risques élevés d'erreur, pouvant être source de iatrogénie. Ces caractéristiques impliquent une rigueur toute particulière dans la qualité des soins et leur évaluation. Il faut noter que les patients sont monitorés de façon intensive et en continue. Ainsi, ces données monitorées peuvent ensuite être utilisées pour l'amélioration de la qualité des soins.

Dans ce contexte, le service des SIP de l'établissement de Sainte-Justine a mis en place un processus d'amélioration de la qualité de la prise en charge à la phase aiguë des enfants avec TCCG pour leur donner les plus grandes chances de guérison avec le moins de séquelles possibles. Cette démarche de qualité est soutenue par l'ensemble de l'unité et se base sur les principes suggérés par l'Institute for Healthcare Improvement [66]. Ces principes reposent sur une stratégie claire initiale (définir le but, la façon de mesurer les impacts, et les changements à initier) puis sur le cycle Plan/Do/Study/Act (Figure 4).

Le but est d'améliorer l'adhérence aux lignes directrices de prise en charge après TCCG au cours des prochaines années. Dans cette démarche d'amélioration continue, le développement d'outils permettant d'évaluer dans le temps la qualité de la prise en charge semble essentiel.

Le projet présenté ici vise à mettre en place une des pièces essentielles de cette démarche : développer des indicateurs automatisés pour mesurer de façon quantitative et en temps réel la qualité de la prise en charge après un TCCG. Ces indicateurs permettront d'identifier clairement les points sur lesquels agir pour initier les changements nécessaires, puis de suivre en continu l'évolution de la qualité de la prise en charge, et de mesurer l'impact des mesures prises.

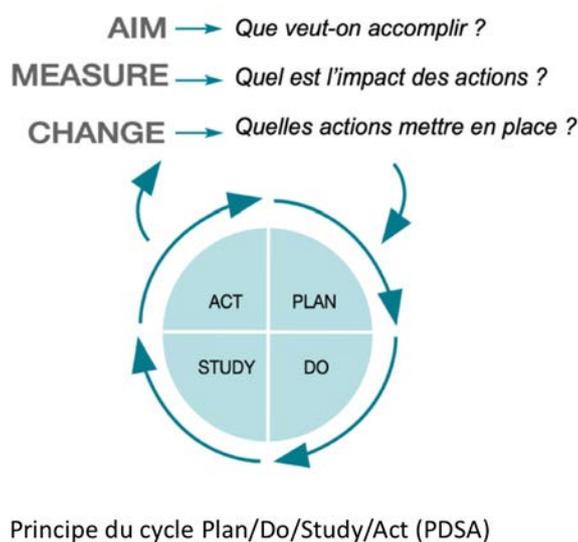


Figure 4: Présentation des principes de la démarche qualité

4 Base de données des Soins Intensifs du CHU Sainte Justine

L'unité des SIP du CHU Sainte Justine (Montréal, CANADA), comporte 32 lits, à orientation médico-chirurgicale. Il s'agit d'un hôpital tertiaire, centre de référence dans la prise en charge des pathologies de la femme et de l'enfant et centre de traumatologie pédiatrique. Depuis janvier 2013, le service bénéficie d'un dossier médical entièrement électronique spécifique aux SIP (IntelliSpace Critical Care and Anesthesia [ICCA] ; Koninklijke Philips Electronics, Amsterdam, Pays-Bas). Les données médicales de ce dossier sont contenues dans la base de données ICCA (BDD ICCA), incluant tous les patients admis en SIP, de l'admission à la sortie, et contenant

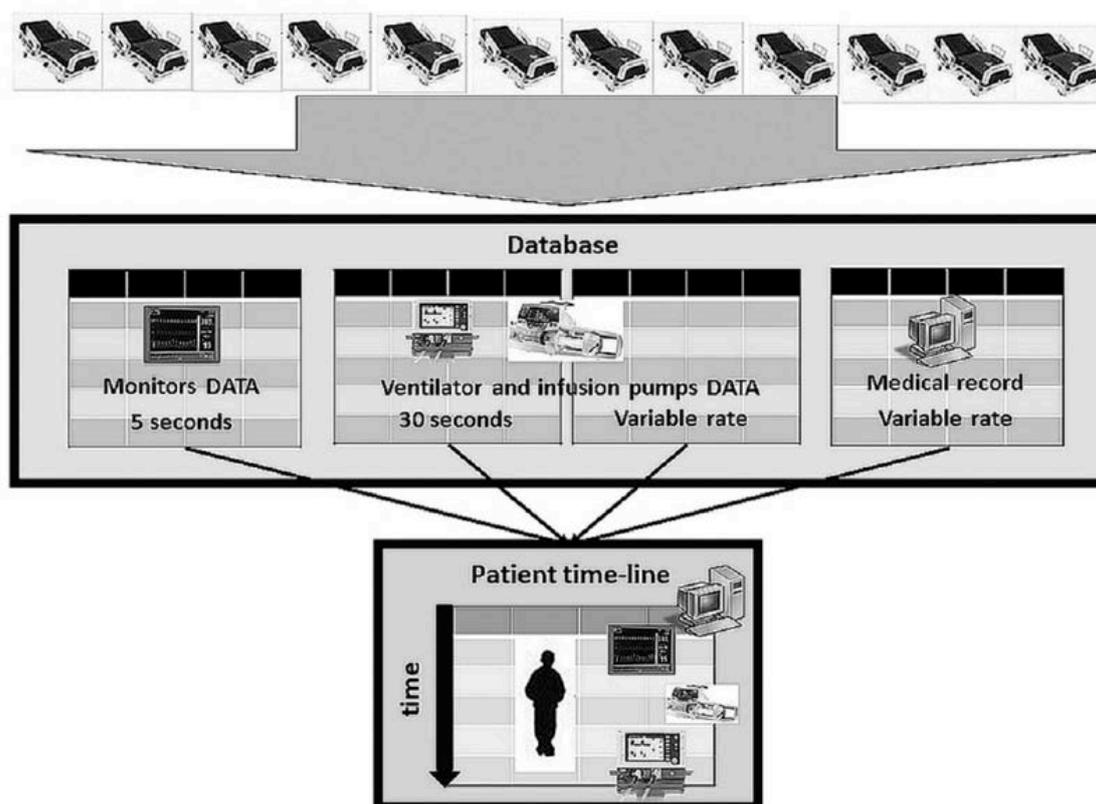
notamment toutes les données démographiques, physiologiques, médicales, et thérapeutiques, collectées de manière prospective (dossier clinique).

En parallèle, depuis le 21 mai 2015, une nouvelle base de données haute résolution (BDD HR) a été créée, validée et bénéficie d'une amélioration continue [67–69]. Cette BDD HR reprend toutes les données du dossier médical ICCA, et à cela s'ajoutent :

- Les signaux continus provenant des moniteurs connectés aux patients (pression artérielle, fréquence cardiaque, débit de dialysat, pression intra-crânienne...etc).
- Les variables respiratoires et ventilatoires provenant du ventilateur.
- Les données sur l'administration des médicaments provenant des pousses seringues électriques et des pompes à perfusion (débit de perfusion, introduction, et arrêt...etc).

La Figure 5 représente le processus de collecte des données.

A partir de cette BDD HR, un groupe de recherche clinique en SIP a été créé pour concevoir des systèmes informatisés d'aide à la décision clinique visant à aider les soignants dans la prise en charge des patients, obtenir des informations épidémiologiques, et développer des indicateurs de qualité des soins.



Processus de collecte des données de la base de données Haute Résolution d'après Brossier & al. 2016

Figure 5: Processus de collecte des données de la base de données haute résolution

5 Question de recherche et objectif

5.1 Question de recherche

En résumé, nous savons que le TCCG est une pathologie à forte morbi-mortalité, tout particulièrement chez l'enfant. Pour diminuer l'aggravation des lésions initiales, les premières heures de prises en charge sont décisives. Il existe des recommandations de prise en charge contenues dans les lignes directrices des sociétés savantes. Cependant ces lignes directrices sont faiblement appliquées en pratique courante, et la non-observance est associée à une mauvaise évolution. Cela laisse supposer que la mise en place d'un processus pour améliorer le suivi des lignes directrices permettrait d'améliorer aussi le devenir des patients après un TCCG.

Une des barrières à l'optimisation de notre adhésion aux recommandations est le manque de caractérisation de ce défaut d'adhésion. En réanimation, nous disposons du monitoring continu informatisé et d'une BDD avec toutes les données des patients.

Ce projet de recherche vise donc à répondre à la question : Est-il possible de fournir aux équipes cliniques un indicateur informatisé automatisé permettant de suivre en temps quasi-réel l'adhérence aux lignes directrices de prise en charge après un TCCG ?

Pour cela nous nous proposons de développer un outil d'évaluation de la qualité de notre prise en charge qui synthétiserait des indicateurs de bonne prise en charge basés sur les lignes directrices reconnues au niveau international.

Ces indicateurs serviraient au niveau d'un service et au niveau individuel à apprécier l'adhérence aux lignes directrices de façon rétrospective dans une démarche d'amélioration de la qualité des soins, mais aussi à terme dans une démarche prospective en temps réel comme outil d'aide à la décision médicale au chevet du malade.

Les objectifs spécifiques de ce travail sont :

5.2 Objectifs primaires

1.a : Développer des indicateurs automatisés d'aide à la décision clinique permettant de quantifier l'adhérence aux lignes directrices du TCCG au niveau individuel (patient) en temps réel, et au niveau de l'unité des soins intensifs pédiatriques (suivi de la qualité).

1.b : Décrire l'état actuel (sur les 6 dernières années) du respect des lignes directrices au cours des premières 96 heures après TC Grave pédiatrique au CHU Sainte Justine.

5.3 Objectifs secondaires

2.a : Évaluer l'association entre la quantification de l'adhérence durant les 96h de prise en charge et l'évolution des patients mesurés par le Pediatric Glasgow Outcome Scale Extended (pGOS-E) à 6 et 12 mois post TCCG (générer des données préliminaires).

2.b : Préparer l'adaptation de l'outil pour une utilisation multicentrique de l'indicateur de qualité.

Matériel et Méthodes

1 Développement du système (objectif 1.a et 2.b)

1.1 Sélection des indicateurs de qualité

Les critères qui ont été retenus pour générer les indicateurs ont été extraits de la 3^{ème} et dernière édition des lignes directrices internationales sur la prise en charge des TCCG pédiatriques publiée en mars 2019 par Kochanek *et al.* [2], et à partir de l'algorithme opérationnel publié en parallèle par le même consortium [41]. Ces recommandations ont été choisies car elles étaient basées sur un bon niveau de preuve, et acceptées internationalement. Ces éléments nous ont paru intéressants dans l'optique d'un usage de comparaison multicentrique par la suite.

Les recommandations quantifiables de niveau 1, 2, et 3 (1 étant le niveau de preuve maximum) ont été retenues. Ces critères tirés des sujets traités dans les lignes directrices sont présentés en ANNEXE 1 ont été complétés par les 9 critères correspondants aux soins de première ligne « Baseline Care » (ANNEXE 2) prérequis à la prise en charge de tout TCCG indépendamment de la présence ou non d'une HTIC, tels que décrits dans les recommandations de 2019 [2,41].

À partir des recommandations, 19 indicateurs de qualité ont été identifiés.

Cinq indicateurs reflétaient la qualité du monitoring clinique et physiologique :

- Surveillance de la Pupille Droite (Pupille D)
- Surveillance de la Pupille Gauche (Pupille G)
- Surveillance de la Pression Veineuse Centrale (PVC)
- Surveillance continue de la Pression Artérielle Moyenne (PAM)
- Surveillance continue du CO₂ expiré par le patient (EtCO₂)

Six indicateurs reflétaient la qualité du monitoring incluant le respect de cibles thérapeutiques :

- Surveillance et maintien dans les cibles de la Position de la Tête du lit (PdT)
- Surveillance et maintien dans les cibles de la Température corporelle centrale (T°C)
- Surveillance continue et maintien dans les cibles de la Pression Intra Crânienne (PIC)
- Surveillance continue et maintien dans les cibles de la Pression de Perfusion Cérébrale (PPC)
- Surveillance et maintien dans les cibles de la Pression Artérielle en CO₂ (PaCO₂)
- Surveillance continue et maintien dans les cibles de la Pression tissulaire cérébrale en Oxygène (PtiO₂)

Quatre indicateurs reflétaient le monitoring de données biologiques, incluant des cibles thérapeutiques :

- Surveillance des Plaquettes plasmatiques (Plaquettes)
- Surveillance de l'International Normalised Ratio (INR)
- Surveillance de l'Hémoglobine plasmatique (Hémoglobine)
- Surveillance de la Glycémie (Glycémie)

Quatre indicateurs reflétaient des interventions médicamenteuses :

- Administration de médicaments d'analgo-sédation (MedAS)
- Administration d'une Nutrition entérale (lait ou produit de gavage) (Nutrition)
- Administration d'une Immuno-Nutrition (ImmNut)
- Administration préventive d'un médicament anti épileptique (AntiEpi)

1.2 Opérationnalisation des indicateurs sélectionnés

Les recommandations telles qu'elles ont été écrites peuvent être vagues et laissent parfois place à des appréciations. Un premier travail de traduction pour les rendre opérationnelles d'un point de vue clinique a été nécessaire. Les critères objectifs issus des recommandations et servant à construire chaque indicateur ont été discutés et approuvés par le groupe de travail pluridisciplinaire menant ce projet, incluant des experts en SIP, en soins neuro-intensifs, en anesthésie, et en neurochirurgie pédiatrique. Chacun des indicateurs pouvait être composé d'une ou plusieurs variables. Chaque variable pouvait prendre une amplitude de valeurs prédéfinies, ces valeurs avaient également un délai d'apparition prédéfini.

Si la recommandation laissait place à une interprétation laissée à l'appréciation du clinicien, alors un consensus a été trouvé pour déterminer les délais au-delà duquel l'absence de valeur pour une des variables de l'indicateur était considérée comme étant responsable d'une déviation des lignes directrices.

Ont été définis pour chaque indicateur : le délai maximal attendu entre l'admission du patient et l'apparition de la première valeur sur la BDD, et le délai maximal attendu entre la première valeur de l'indicateur et la valeur suivante attendue. Une absence de nouvelles valeurs, ou la présence d'une valeur non conforme à celle attendue était considérée comme une déviation.

Quatre indicateurs (PtiO₂, Hémoglobine, Glycémie, et administration préventive d'un médicament antiépileptique) n'ont pas été priorisés dans cette phase préliminaire de preuve de concept, du fait de difficultés spécifiques. L'indicateur administration d'une nutrition immunomodulatrice n'a pas été priorisé car son utilisation n'a pas cours dans le service. Mais les règles pour ces 5 indicateurs ont été écrites pour un développement en cours.

Les critères spécifiques de respect de chacun des 14 indicateurs retenus pour ce travail ont ensuite été décrits en détail. Ils sont présentés dans l'annexe 3. Les indicateurs ont été regroupés en 3 catégories : Monitoring, Cible thérapeutique, Intervention médicamenteuse.

Liste des Indicateurs pour lesquels les règles ont été écrites, mais non programmés dans ce travail de preuve de concept.

Surveillance continue et maintien dans les cibles de la Pression tissulaire cérébrale en Oxygène

(PtiO2) :

Type d'indicateur : Monitoring et Cible thérapeutique

Type d'entrée : Saisie automatique moniteur de PtiO2

Source : BDD HR

Règle pour conclure à déviation :

- Pas de données de PtiO2 en présence d'un signal de PIC
- Valeur de PtiO2 \leq à 10mmHg pendant plus de 5 minutes

Surveillance de l'hémoglobine plasmatique (Hémoglobine) :

Type d'indicateur : Monitoring et Cible thérapeutique

Type d'entrée : Saisie automatique depuis biologie

Source : BDD ICCA

Règle pour conclure à déviation :

- Pas de données d'hémoglobine plasmatique 3h après l'admission aux SIP
- Pas de données d'hémoglobine plasmatique 24h après la dernière valeur, ou d'hémoglobine plasmatique $<7g/dl$ et absence d'administration d'un culot globulaire dans les 3h suivant le résultat biologique.

Surveillance de la Glycémie (Glycémie) :

Type d'indicateur : Monitoring

Type d'entrée : Saisie manuelle par les soignants

Source : BDD ICCA

Règle pour conclure à déviation :

- Pas de données de glycémie capillaire dans les 3h après admission aux SIP
- Pas de données de glycémie capillaire dans les 6h suivant la dernière valeur, ou glycémie non comprise entre 1,4g/dl et 1,98g/dl.

Administration d'un médicament anti épileptique (AntiEpi) :

Type d'indicateur : Intervention médicamenteuse

Type d'entrée : Saisie manuelle par les soignants

Source : BDD ICCA

Règle pour conclure à déviation :

- Pas de données d'administration d'un anti épileptique dans les 12h après l'admission aux SIP.
- Pas de donnée d'administration d'un anti épileptique dans les 24h après la dernière administration saisie.

L'administration d'un médicament antiépileptique était considérée comme valide si :

- Administration de levotiracetam
- Administration de phénytoïne

Administration d'une Immuno-Nutrition (ImmNut) :

Type d'indicateur : Intervention médicamenteuse

Type d'entrée : Saisie manuelle par les soignants

Source : BDD ICCA

Règle pour conclure à déviation :

- Administration d'une immuno-nutrition dans les 96h après admission

1.3 Extraction des données patient par variable

L'ensemble du processus a été effectué au sein de l'infrastructure informatique du CHU Sainte Justine, sur un serveur de recherche dédié aux SIP, protégé par un pare-feu. Les données nécessaires à ce travail ont été extraites de façon rétrospective depuis la BDD SIP selon les règles de bonnes pratiques en vigueur au centre de recherche du CHU Sainte Justine.

Choix du début d'analyse : Chaque patient avait un temps T0 propre qui était défini par le premier signal recueilli dans la BDD, soit la première valeur pour une variable de monitoring. Ce T0 est la meilleure définition pour décrire l'heure d'admission aux SIP dans cette BDD, selon des travaux antérieurs de l'équipe. Les données étaient extraites de la base de données à partir de cet instant T0 pour les 96h suivantes. Pour chaque patient lors de l'extraction depuis la BDD SIP, les données brutes des différents indicateurs ont été codées afin qu'aucune information nominative n'apparaisse.

Les données issues de la BDD ICCA ont été importées avec une fréquence d'échantillonnage propre à chaque variable. L'échantillonnage correspondait à la saisie d'une nouvelle valeur pour la variable d'intérêt.

Les données issues de la BDD HR (EtC02, PAM, PIC, PPC) ont été importées avec une fréquence d'échantillonnage de 5 secondes. Cette extraction était possible pour les patients admis aux SIP à partir de Mai 2015, date de mise en place effective de la BDD HR.

Les données ainsi recueillies ont été extraites au format .csv afin de pouvoir utiliser les data frames sur le logiciel RStudio avec le langage R.

1.4 Programmation des indicateurs

Afin de réaliser la programmation des algorithmes vérifiant l'application des indicateurs ci-dessus prédéfinis, une nouvelle concertation a eu lieu entre les cliniciens et les ingénieurs en charge du traitement du signal.

La programmation a été réalisée par Benjamin Den Dekker, étudiant en MSc en Génie logiciel sous la supervision de Sally Al-Omar, ingénieure et PhD. De façon simplifiée, pour chaque indicateur, l'algorithme programmé (Figure 6) devait :

- Rechercher la présence de la ou des variables qui le composait,
- Rechercher la valeur de la ou des variables qui le composait,
- Rechercher le délai d'apparition de chaque variable qui le composait.

Algorithme d'évaluation d'une variable par rapport aux recommandations

Entrées :

- Tableau à deux dimensions des données d'un patient pour cette variable : D
- Date de la 1^{ère} valeur enregistrée dans la base de données pour ce patient : T0
- Intervalle de temps (en secondes) sur lequel on fait l'évaluation : I

Sortie : Proportion de données respectant les recommandations : P

```
1   Mettre à jour D en retirant les valeurs dont la date n'est pas dans l'intervalle [T0, T0+I]
2   Si D vide :
      P = NA (Non Applicable) et Terminer
3   Sinon :
4     Initialiser 1ère déviation Dev1 = 0
5     Vérifier la condition sur la 1ère ligne de D, si déviation : Dev1 = 1
6     Appliquer la fonction de vérification sur chacune des autres lignes de D
7     Générer la liste des résultats de la fonction de vérification : deviations
8      $P = 1 - (\text{somme}(\text{deviations}) + \text{Dev1}) / \text{nombre de lignes de D}$ 
9     Terminer
```

Figure 6: Présentation schématique des consignes générales qui ont été appliquées pour les algorithmes de chaque indicateur

La programmation a été réalisée sur le logiciel Rstudio en langage de codage R. Toutes les durées ont été exprimées en secondes dans le code. La période d'analyse de 96h correspondant à 345 600 secondes.

Pour chaque patient, on a appliqué les algorithmes propres à chaque indicateur sur une durée de 96h continue.

Pour chaque indicateur, à chaque instant T0+1, le résultat de l'algorithme était exprimé de la façon suivante :

- 1 il n'y a pas de déviation par rapport aux lignes directrices
- 0 il y a une déviation par rapport aux lignes directrices

En faisant la somme de toutes les valeurs mesurées, divisée par le nombre de valeurs mesurées sur la période étudiée de 96h, on obtenait une proportion entre 0 et 1. 1 correspondait à un parfait respect de l'algorithme sur les 96h (soit 100% du temps étudié sur la période) et 0 correspondait à la non-application de l'algorithme sur l'ensemble des 96h (soit 0% du temps sur la période).

Exemple de mesure de l'indicateur Surveillance du CO2 expiré pour un patient (EtC02) :

Consigne de l'algorithme pour identifier une déviation :

- Pas de données de EtC02 1h après l'admission aux SIP
- Pas de données de EtC02 5min après le dernier signal enregistré

Pour chaque patient, les données des 96h d'hospitalisation étaient extraites depuis la BBD et le jeu de données était donné à l'algorithme. La première mesure de vérification de la non déviation était réalisée à 1h (3600s) de l'admission aux SIP. Les mesures suivantes étaient réalisées toutes les 5 minutes (300s) sur les 95h restantes (342 000s). Au total, pour cet indicateur et pour chaque patient sur les 345 600s que comprennent les 96 premières heures, on avait 1 mesure (après une heure d'évaluation) puis 1140 autres mesures (sur les 95 heures restantes), soit 1141 mesures pour cet indicateur pouvant prendre la valeur 0 ou 1.

2 Test du système (objectif 1.b et 2.a)

2.1 Devis de l'étude clinique

Étude rétrospective uni-centrique des indicateurs sur une base de données collectées prospectivement aux SIP du CHU Sainte Justine.

2.2 Population étudiée

2.2.1 Critères d'inclusion

- Patients âgés de moins de 18 ans,
- Admis aux soins intensifs pédiatriques du CHU Sainte Justine entre Avril 2014 et septembre 2020
- Avec un TCCG défini par une échelle de coma de Glasgow ≤ 8 et/ou une indication clinique de monitoring de la PIC.

2.2.2 Critère d'exclusion

- Patient ayant séjourné moins de 24h aux SIP.
- Les patients avec TCCG transférés pour prélèvement multi-organe (PMO), ou chez qui une limitation des thérapeutiques était considérée rapidement à l'arrivée aux SIP.
- Les diagnostics erronés de TCCG après révision du dossier clinique.

2.3 Autorisation éthique

L'étude a été autorisée par le comité éthique du CHU Sainte Justine (#2021-3095) avec dispense de consentement.

2.4 Données cliniques collectées

Comme décrit précédemment, les données des 96h étaient extraites depuis la BDD SIP pour chaque variable afin d'alimenter l'indicateur automatisé.

La présence globale de ces mêmes variables a été collectée manuellement depuis les dossiers patients sur ICCA, permettant de réaliser une validation croisée entre les résultats des indicateurs et la réalité clinique.

Les données suivantes, permettant de caractériser la population initiale et sa sévérité, ont été collectées :

- Âge,
- Sexe,
- Motif d'admission,
- Mécanisme du traumatisme,
- Score de coma de Glasgow à la prise en charge initiale,
- Score de gravité PELOD2 à l'admission

Les actions réalisées avant l'admission aux SIP :

- Scanner cérébral initial,
- Une neurochirurgie pour le traitement d'un hématome
- Une neurochirurgie pour la pose d'une dérivation ventriculaire externe
- Une neurochirurgie pour la pose d'un monitoring de la pression intra crânienne
- Une neurochirurgie pour craniectomie décompressive

Les actions réalisées durant l'hospitalisation aux SIP :

- Score de gravité PELOD2 à 24h de l'admission
- Une imagerie cérébrale (scanner ou IRM cérébrale),
- Une neurochirurgie pour le traitement d'un hématome
- Une neurochirurgie pour la pose d'une dérivation ventriculaire externe
- Une neurochirurgie pour la pose d'un monitoring de la pression intra crânienne
- Une neurochirurgie pour craniectomie décompressive
- Le délai entre l'admission aux SIP et un acte neurochirurgicale secondaire

Les données de fin de séjour aux SIP :

- La durée totale de ventilation

- La durée de séjour aux SIP
- La mortalité aux SIP

Ces données ont été extraites depuis le dossier patient ICCA et le logiciel des archives médicales du CHUSJ CHARTMAX (MedPlus, USA).

Le score PELOD 2 est un score global de défaillance d'organe utilisé chez l'enfant. Il pouvait prendre toutes les valeurs discrètes entre 0 et 33. La valeur 33 étant le degré de gravité maximum [70]. Il était calculé automatiquement depuis la BDD ICCA [67].

La variable utilisée pour quantifier l'évolution neurologique des patients était le « Pediatric Glasgow Outcome Scale Extended» (pGOS-E) tel que décrit dans la publication de 2012 par Beer & al [71,72] (Figure 7). Ce score fait référence pour l'évaluation du devenir neurologique en population pédiatrique après traumatisme crânien [73]. La cotation va de 1 à 8, 1 étant la meilleure évolution possible avec un retour à une vie normale sans retentissement sur le quotidien, 7 correspondant à un état végétatif, et 8 au décès. Le score a été recueilli à 6 mois et à 12 mois. Il a été collecté de façon systématique dans cette population dans le cadre de 2 projets de recherche à partir de janvier 2020. Pour les patients hospitalisés antérieurement, le calcul du pGOS-E a été obtenu à partir des notes d'admissions et de suivi post SIP disponible sur le logiciel CHARTMAXX.

Score	Definition
1 Upper good recovery	Returned to completely to premorbid condition with no detectable sequelae from the head injury
2 Lower good recovery	Returned to premorbid condition with residual problems occasionally (less than weekly) affecting child
3 Upper moderate disability	Returned to premorbid condition with frequent non physical problems (more than weekly) affecting child
4 Lower moderate disability	Child is independent or behaves age appropriately outside home but suffers constant problems affecting individual
5 Upper severe disability	Dependent on caretaker more so than expected based on age but does not require caretaker to accomplish tasks a child of this age should be able to do
6 Lower severe disability	Dependent on caretaker more so than expected based on age and requires caretaker to accomplish tasks a child of this age should be able to do
7 Vegetative state	Inability to obey single commands, verbalise, act, react, or interact beyond reflexes
8 Death	

Glasgow Outcome Score—Extended Pediatric. Définition des catégories d'après Beers SR & al J Neurotrauma 2012

Figure 7: Pediatric Glasgow Outcome Scale Extended» (pGOS-E)

2.5 Plan d'Analyses

2.5.1 Principes généraux

Les différentes variables catégorielles ont été décrites sous la forme de nombre (pourcentage), et les variables continues sous forme de médianes (interquartiles), sauf lorsque mentionné différemment, dans le contexte d'une taille d'échantillon de 30 patients avec parfois des données manquantes. Les analyses ont été réalisées avec le logiciel SPSS statistics v 27.2.0.0. Une valeur $p < 0.05$ était considérée comme significative.

2.5.2 Objectifs Primaires

Les caractéristiques de la population étudiée, la complétion du développement des indicateurs et leur fonctionnalité ont été décrites.

Analyse des pratiques de l'unité :

- La proportion d'adhérence globale (score moyen pour l'ensemble des indicateurs) pour les 30 patients et par indicateurs durant les 96h post admission aux SIP a été décrite.
- L'évolution de la proportion d'adhérence au cours du temps au niveau de l'unité a été décrite et analysée par corrélation.

Analyse descriptive au niveau individuel de la proportion d'adhérence globale et par indicateur :

- La proportion d'adhérence par patient, globale et pour l'ensemble des indicateurs a été décrite pour les 96h de prise en charge initiale.

2.5.3 Objectifs Secondaires

Facteurs associés avec l'adhérence aux recommandations : L'association entre les caractéristiques initiales des patients et l'adhérence globale sur 96h a été étudiée par analyse de

régression linéaire (pour les variables quantitatives) et des tests de Mann-Whitney ou de Wilcoxon (pour les variables catégorielles). Une analyse de régression multivariée a ensuite été réalisée pour identifier les facteurs indépendamment associés à l'adhérence aux recommandations, en testant les variables étant associées ($p < 0.05$) avec l'adhérence lors de l'analyse univariée.

Association entre l'adhérence aux indicateurs durant les 96h et le pGOS-E : Comme le pGOS-E était disponible à 6 mois, 12 mois, et/ ou les 2 selon les patients, la dernière valeur disponible du pGOS-E pour chaque patient a été utilisée pour cette analyse. Le pGOS-E a ensuite été dichotomisé en évolution défavorable (score 5-8) ou favorable (score 1-4). Puis l'association entre l'adhérence aux indicateurs et l'évolution favorable ou défavorable a été évaluée par régression logistique uni-, puis multivariée avec ajustement pour un éventuel facteur de risque préalablement identifié comme associé à l'adhérence ($p < 0.05$). Une analyse de la corrélation entre le pourcentage d'adhérence aux recommandations et le pGOS-E (continu) a également été réalisée.

2.5.4 Taille d'échantillon

Pour cette étude préliminaire, nous avons estimé que l'inclusion des patients éligibles admis depuis la disponibilité de la base de données (2014) permettrait de recruter un échantillon de convenance de 30 à 40 patients consécutifs. Nous avons considéré ce nombre suffisant pour générer des données descriptives pertinentes pour un suivi de la qualité et pour réaliser une preuve de concept de l'innovation.

Résultats

1 Caractéristiques de la population

Entre avril 2014 et septembre 2020, 30 patients admis de façon consécutive aux SIP ont été inclus (Figure 8).

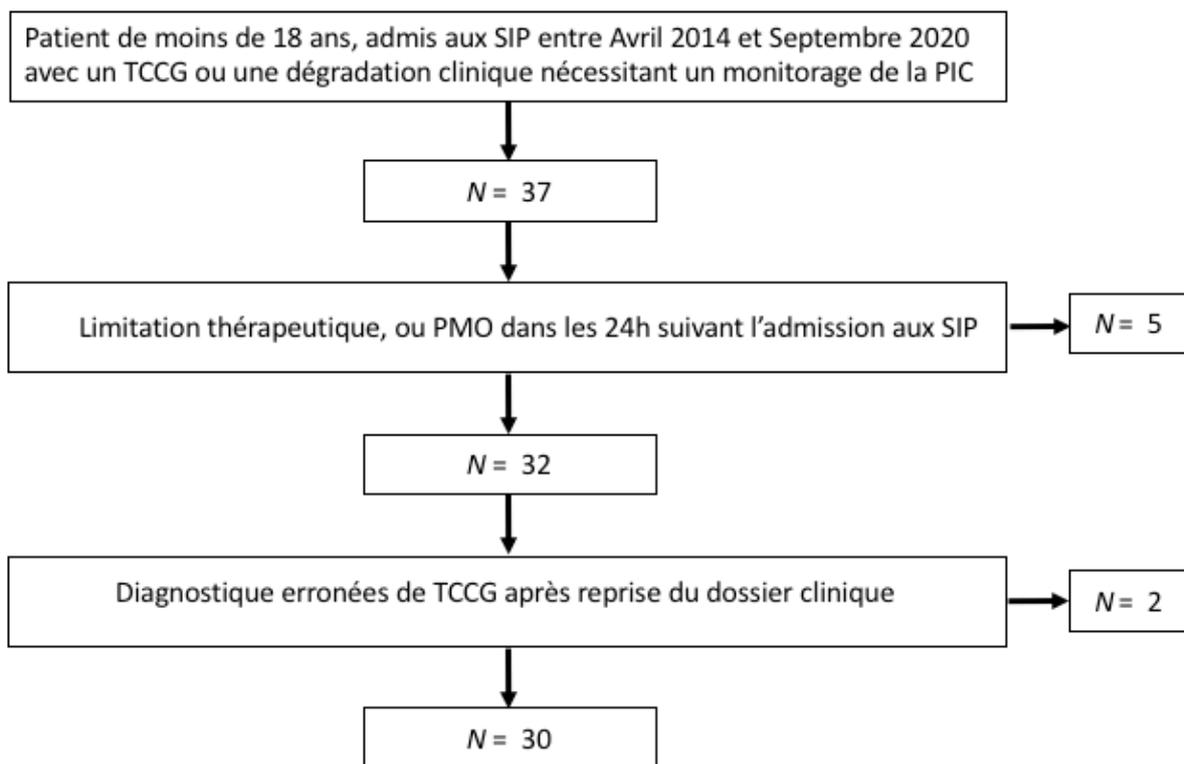


Diagramme de flux des patients inclus

Figure 8: Diagramme de flux

Description des patients non inclus :

- Cinq patients sont décédés dans les 24h suivant leur arrivée suite à une décision de limitation thérapeutique, ou ont été admis secondairement à un TCCG pour une procédure de prélèvement d'organes.
- Un patient avait un score de GCS à 10 à son arrivée aux urgences. Il a été intubé au bloc opératoire pour l'évacuation d'un HED, il a ensuite été admis aux SIP puis extubé dans les 24h suivant son admission aux SIP sans avoir été monitoré.
- Un patient avait un score de GCS 9 en post crise convulsive sur un HED. Il n'a pas été opéré ni monitoré. Il a été extubé à moins de 24h de son arrivés aux SIP.

Les caractéristiques des 30 patients inclus dans l'étude sont présentées dans le Tableau 1.

Seuls 2 patients (4%) ont eu un monitoring de la PIC intermittent via un capteur de pression branché sur la tubulure de la dérivation ventriculaire externe, les 28 autres patients (96%) ayant eu un monitoring de type Camino. Quatre patients avaient un score de GCS initial supérieur à 8 mais ont présenté une dégradation neurologique secondaire ou ont été intubés en raison de la nécessité du transport vers les SIP, ou d'un acte neurochirurgical. Les caractéristiques de ces patients n'ont pas différé de ceux des 26 autres. Ces 4 patients ont bénéficié de la pose d'un monitoring de la PIC et il a été nécessaire d'avoir recours à une craniectomie décompressive pour 2 d'entre eux.

Tableau 1: Caractéristiques des patients

	Tous patients, N= 30
Année d'admission : n (%)	
2014 - 2015	5 (16,7)
2016 - 2017	9 (30)
2018 - 2019	8 (26,7)
2020	8 (26,7)
Caractéristique avant admission :	
Age (mois), med [Q1-Q3]	103 [64 – 174]
Patient < 24 mois, n (%)	4 (13,3)
Sexe féminin, n (%)	7 (23,3)
Poids, (kg), med [Q1-Q3]	27 [18 – 57]
Motif d'admission, n (%)	
TCCG isolé	14 (46,7)
Polytraumatisme	16 (53,3)
Mécanisme du TCCG, n (%)	
Accident auto-piéton	9 (30)
Accident auto-auto	3 (10)
Accident de sport	2 (6,7)
Chute défenestration	2 (6,7)
Suspicion de maltraitance	3 (10)
Autres*	11 (36,6)
Score GCS pré SIP, med [Q1-Q3]	6 [5 – 7]
Score PELOD2 à l'admission, med [Q1-Q3]	10 [9 – 13]
Intubation avant admission SIP	30 (100)
Imagerie cérébrale avant admission SIP	30 (100)
Geste neurochirurgical avant admission, n (%)	
Évacuation d'hématome intracrânien	10 (33,3)
Dérivation ventriculaire externe	7 (23,3)
Craniectomie décompressive	8 (26,7)
Monitoring de la PIC	18 (60)
Aux SIP durant les 96h	
Score PELOD2 à 24h med [Q1-Q3]	9 [8 – 10]
Imagerie cérébrale de contrôle n (%)	24 (80)
Évacuation d'hématome intracrânien	8 (26,7)
Dérivation ventriculaire externe	5 (16,7)
Craniectomie décompressive	5 (16,7)
Monitoring de la PIC	12 (40)
Délais avant nouveau geste chirurgical (heure), med [Q1-Q3] (min-max)	5,3 [3,3 – 8,4] (1-21)
Durée de ventilation mécanique (jour) med [Q1-Q3]	7,5 [6 – 13,5]
Durée de séjour	12 [9 – 16]
Décès n (%)	1 (3,3)
GOSE Pédiatrique à 6 mois med [Q1-Q3]	5 [3 – 6]
GOSE Pédiatrique à 12 mois	3 [2 – 5]

*Autres : véhicule tout terrain, moyen de déplacement loisir, chute ou projection d'objet ; SIP : Soins Intensifs pédiatrique ; GCS : Glasgow Coma Score ; Score PELOD2 : Pediatric Logistic Organ Dysfonction 2 ; med [Q1-Q3]: médiane [Interquartile]

2 Développement des indicateurs du système iQUATRACE

Sur les 14 indicateurs prévus, 14 ont pu être développés.

A raison de 14 indicateurs, appliqués à 30 patients, cela représentait un total de 420 indicateurs mesurés pour les analyses par 96h. Le Tableau 2 présente le succès des mesures par indicateurs qui ont été obtenues. Une différence a été faite entre les patients inclus avant et après mai 2015, cette date correspondant à la mise en service effective de la BDD HR aux SIP. Les données utilisées pour alimenter les algorithmes des indicateurs EtCO₂, PAM, PIC, PPC ont été extraites exclusivement depuis la BDD HR et sont donc indisponibles pour les 5 premiers patients. L'extraction des données n'ayant pas été réalisée, les algorithmes tels que développés étaient alors non applicable (NA) pour ses indicateurs. Après vérification, les données de monitorages étaient bien présentes sur ICCA pour ces 5 patients concernant ces 4 indicateurs mais avec des données par heure. Après mai 2015, 6 patients n'ont eu que 13 mesures d'indicateurs sur les 14 prévus. La durée nécessaire au calcul des 14 indicateurs sur 96h pour un patient était de 8min en moyenne, avec un maximum 30min pour les patients ayant un monitoring de PIC dès l'arrivée aux SIP soit 96h.

3 Description du respect des lignes directrices au niveau de l'unité de soin

Les résultats obtenus sur 6 ans par indicateur au niveau de l'unité de soin pour les 30 patients sont présentés dans le Tableau 3. La Figure 9 présente l'évolution des résultats d'adhérence globale par période entre 2014 et 2020 pour les 14 indicateurs.

La présentation du respect des indicateurs au niveau de l'unité est proposée sur un diagramme en étoile tel que présenté dans la Figure 10.

Tableau 2: Nombre de patients pour lesquels l'indicateur est correctement mesuré sur 96h

	Tous patients, N= 30 Avril 2014 – Septembre 2020 n (%)	Sous-groupe, N= 25 Mai 2015 – Septembre 2020 n (%)
<u>Monitoring</u>		
PupilleD	30 (100)	25 (100)
PupilleG	30 (100)	25 (100)
PVC	30 (100)	25 (100)
PAM*	22 (73,3)	22 (88)
EtCO2*	24 (80)	24 (96)
<u>Monitoring et Cible thérapeutique</u>		
PdT	30 (100)	25 (100)
T°C	29 (97)	24 (96)
PIC*	25 (83,3)	25 (100)
PPC*	25 (83,3)	25 (100)
PaCO2	29 (97)	24 (96)
Plaquettes	30 (100)	25 (100)
INR	30 (100)	25 (100)
<u>Intervention médicamenteuse</u>		
MedAS	30 (100)	25 (100)
Nutrition	30 (100)	25 (100)
Nombre de patients pour lesquels l'ensemble des 14 indicateurs a été mesuré	18 (60)	19 (76)

*Indicateurs dont les variables sont extraites de la BDD HR et pour lesquelles l'algorithme est non utilisable avant mai 2015.

Tableau 3: Proportion d'adhérence sur 96h par indicateur pour les 30 patients sur 6ans

	Médiane	Q1 – Q3
<u>Monitoring</u>		
PupilleD	0,996	0,991 – 0,997
PupilleG	0,996	0,993 – 0,997
PVC	0,994	0,985 – 0,997
PAM	0,999	0,999 – 0,999
EtCO2	0,999	0,998 – 0,999
<u>Monitoring et Cible thérapeutique</u>		
PdT	0,367	0,236 – 0,516
T°C	0,963	0,895 – 0,988
PIC	0,999	0,994 – 0,999
PPC	0,894	0,736 – 0,924
PaCO2	0,714	0,600 – 0,926
Plaquettes	1	0,909 – 1
INR	0,979	0,970 – 0,998
<u>Intervention médicamenteuse</u>		
MedAS	0,578	0,340 – 0,725
Nutrition	1	1 - 1
Résultat global 14 indicateurs	0,853	0,777 – 0,890

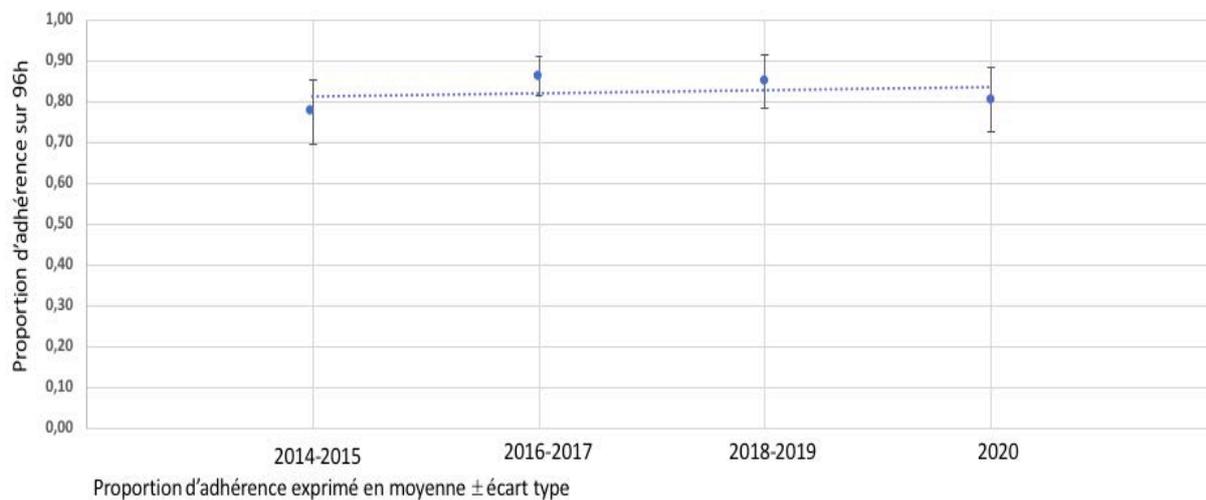


Figure 9: Évolution dans le temps de la proportion d'adhérence globale dans l'unité

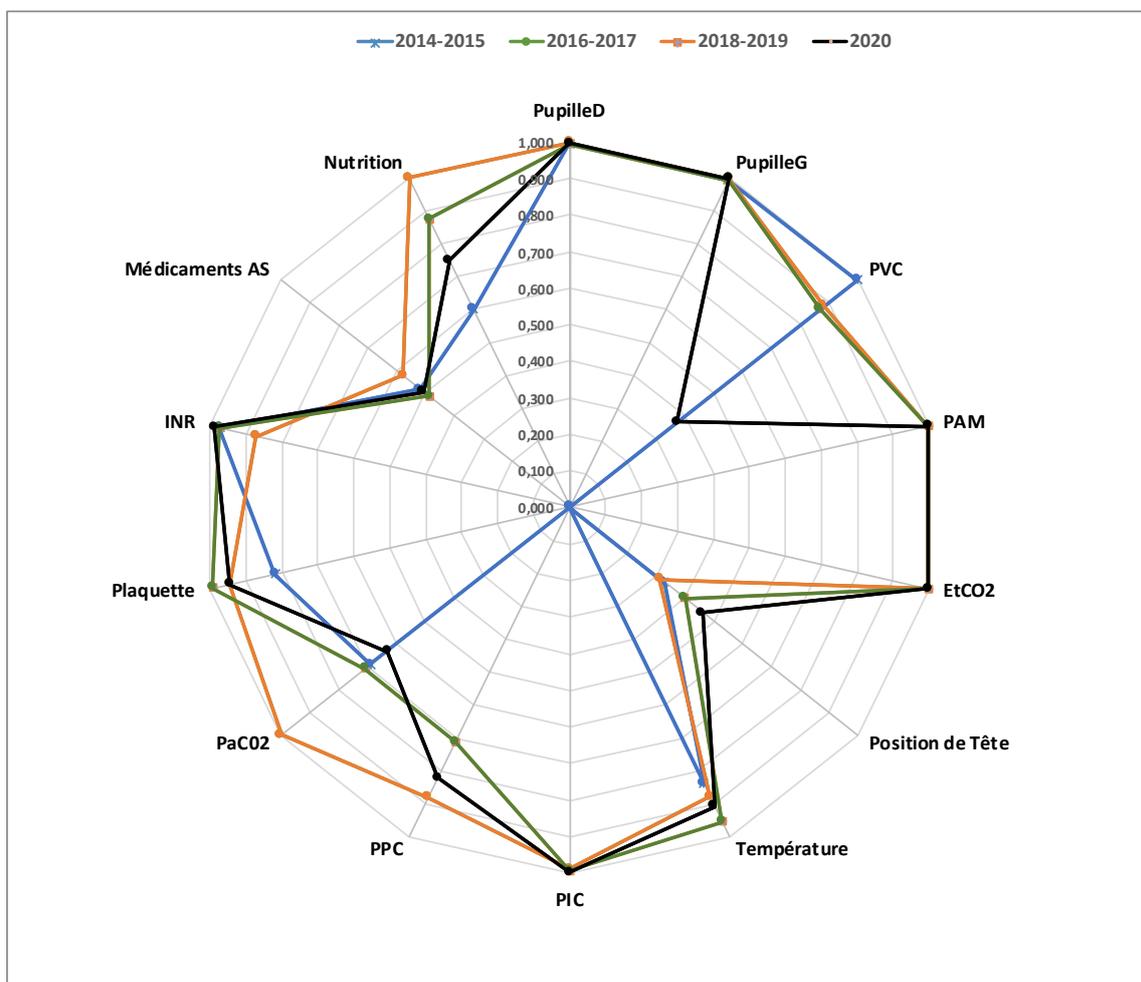


Figure 10: Représentation graphique de la proportion d'adhérence par indicateur au niveau de l'unité sur les 6 ans. Chaque étoile représente une période donnée. Chaque pointe de l'étoile présente le résultat d'un indicateur exprimé en moyenne de la proportion d'adhésion sur la période, où 1=100%

4 Description du respect des lignes directrices par patient

Au niveau individuel, la proportion d'adhérence globale pour chaque patient pour l'ensemble des indicateurs sur les 6ans est présentée sur la Figure 11. Des exemples de présentations du respect des indicateurs par patient sont présentés sur la Figure 12 et la Figure 13.

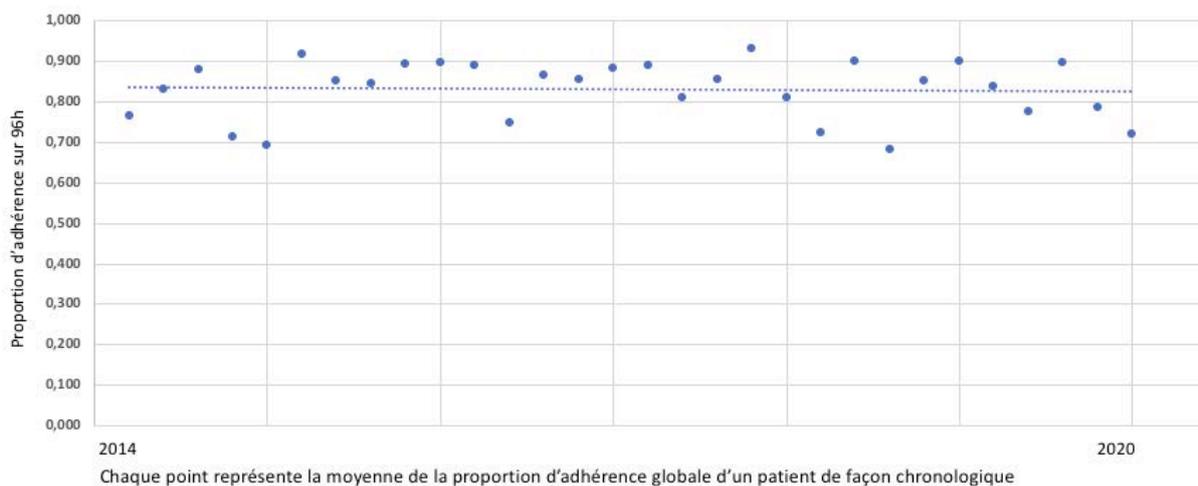


Figure 11: Évolution entre 2014 et 2020 par patient de la moyenne des proportions d'adhérence aux 14 indicateurs

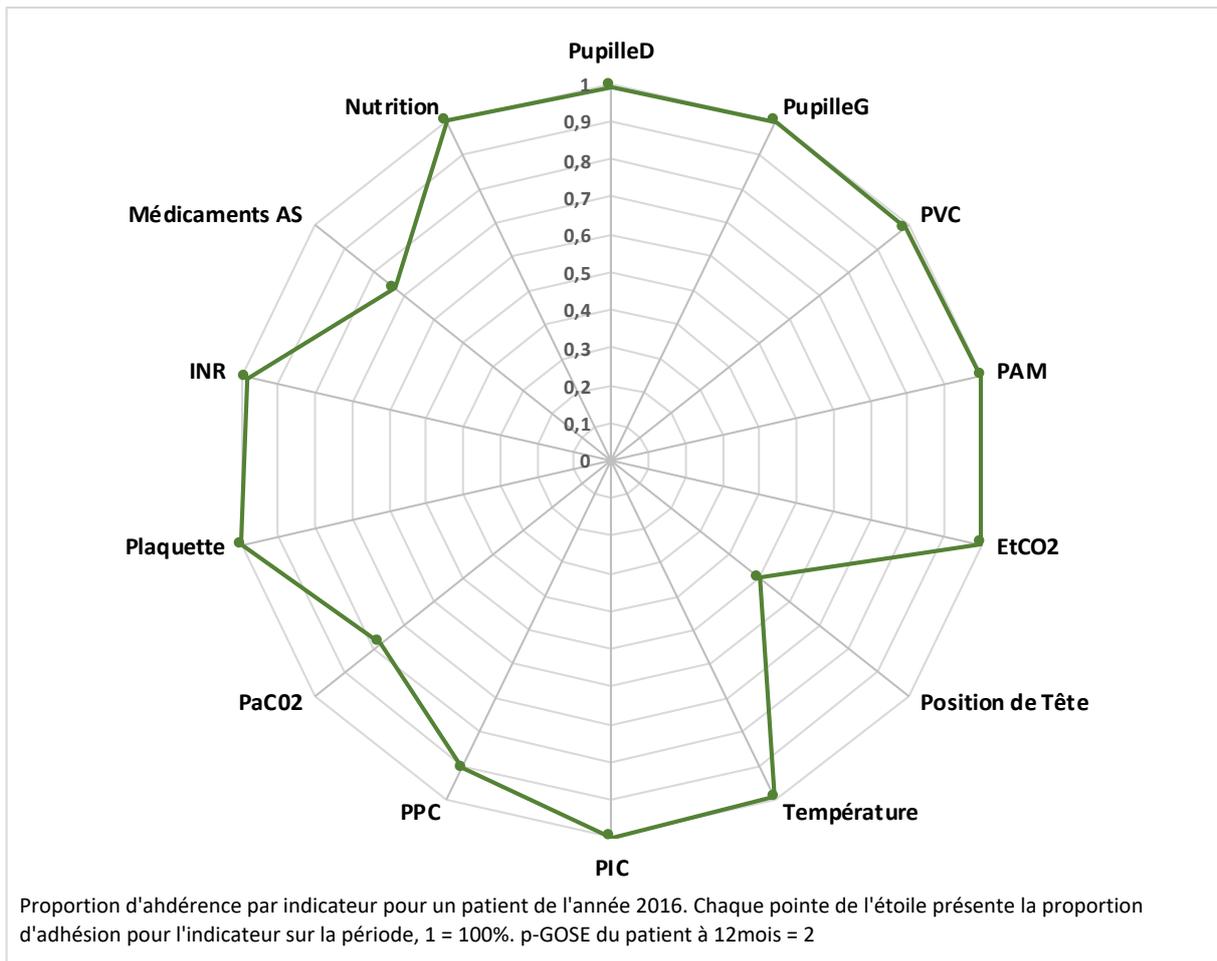


Figure 12: Représentation graphique de la proportion d'adhérence par indicateurs pour un patient de l'année 2016

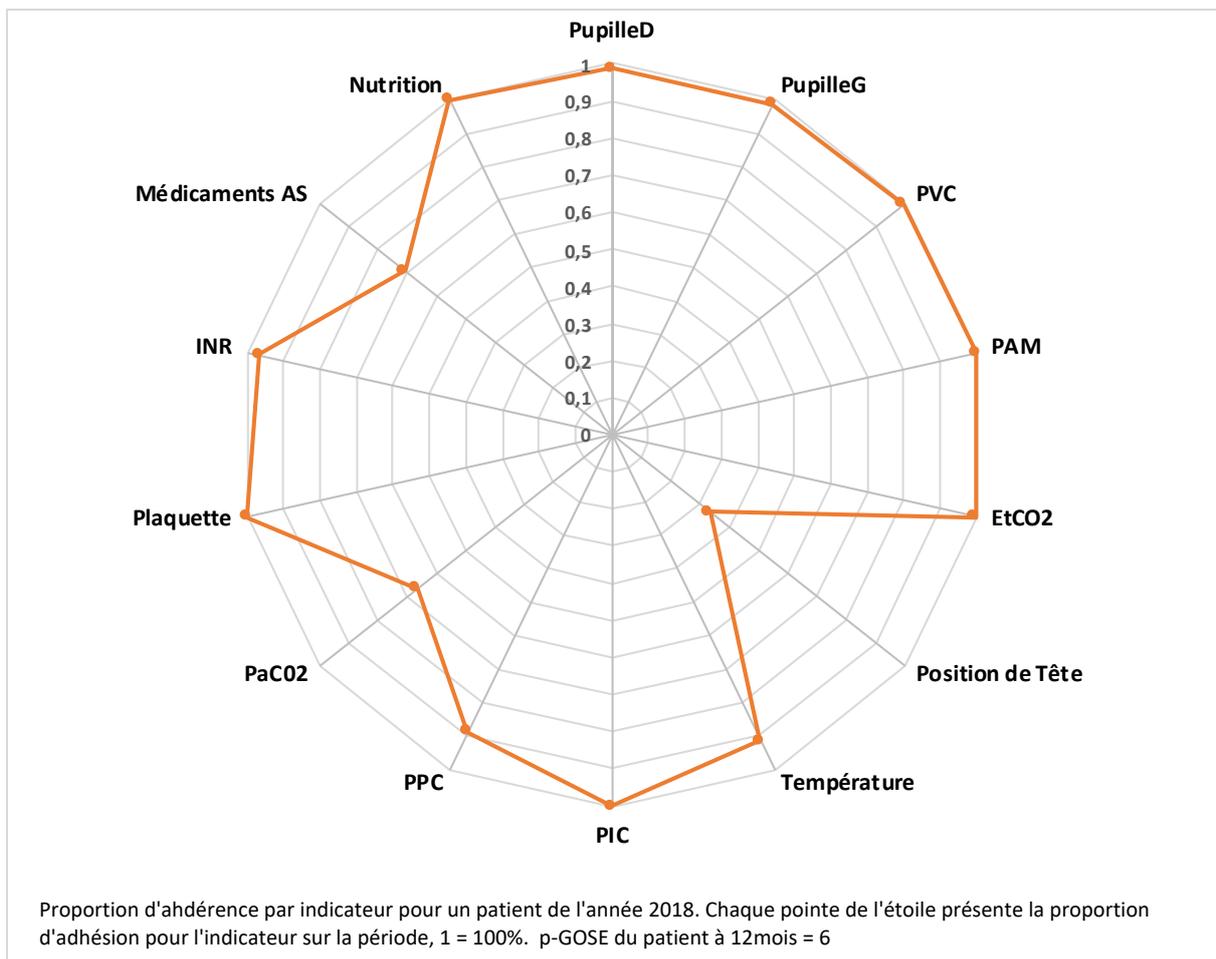


Figure 13: Représentation graphique de la proportion d'adhérence par indicateurs pour un patient de l'année 2018

5 Analyse des facteurs de risques associés à une mauvaise adhérence

- Analyse univariée :

En analyse univariée, le poids faible du patient ($p=0,041$) et un score PELOD2 élevé à 24h ($p=0,024$) étaient les seuls facteurs significativement associés au pourcentage d'adhérence aux lignes directrices. Le sexe ($p=0,29$), les années d'admission ($p=0,11$), l'âge ($p=0,325$), le type d'admission ($p=0,40$), et le GCS initial ($p=0,54$) ne l'étaient pas.

Les relations entre le poids et l'adhérence, et entre le PELOD2 à 24h et l'adhérence sont illustrées sur la Figure 14 et la Figure 15.

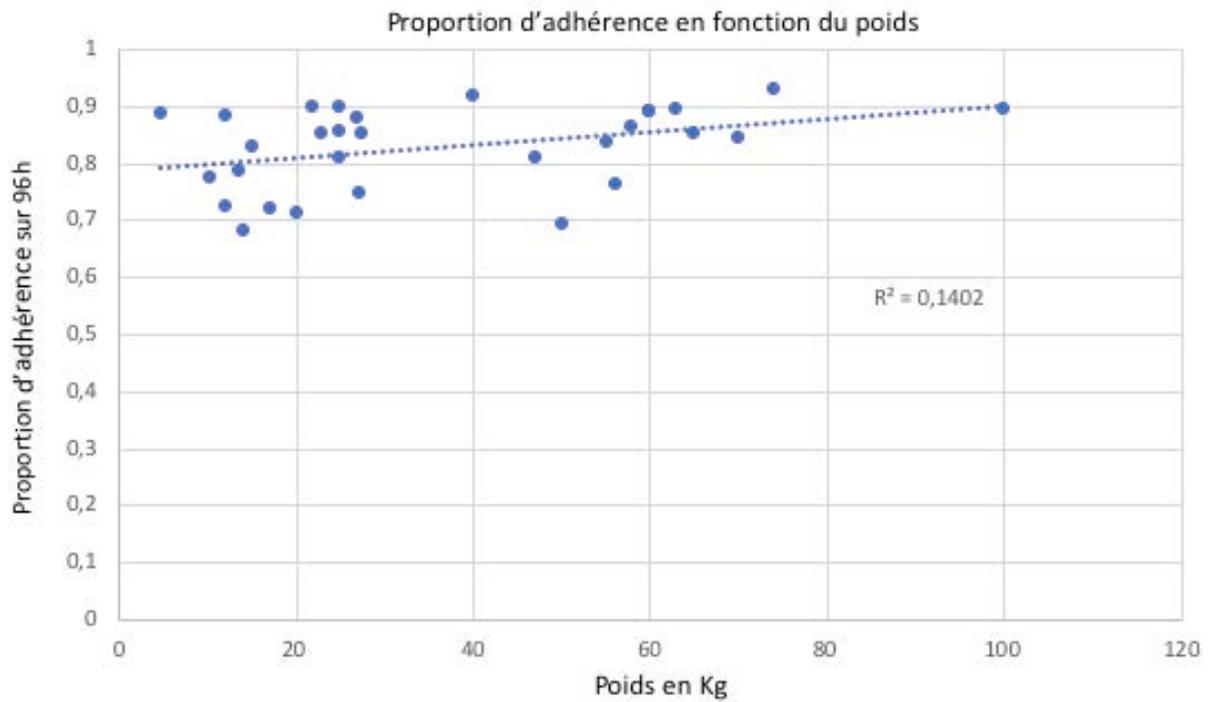


Figure 14: Représentation de l'association entre la proportion d'adhérence et le poids de l'enfant

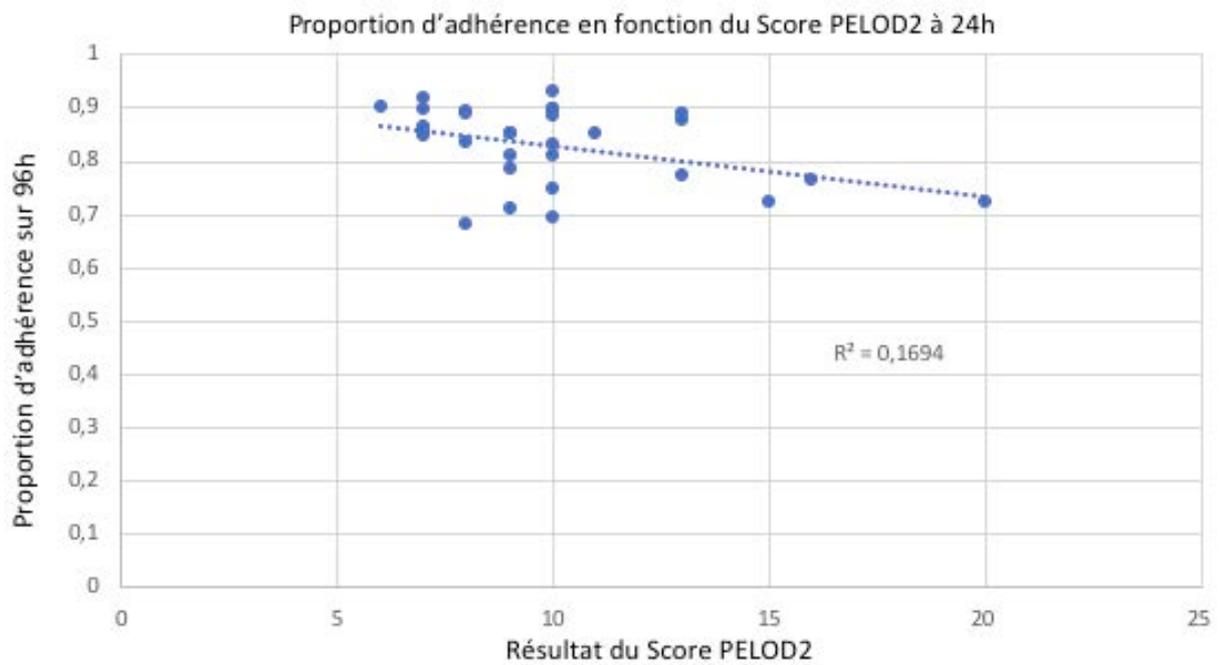


Figure 15: Représentation de l'association entre la proportion d'adhérence et score PELOD2 de l'enfant

- **Analyse multivariée**

En analyse multivariée (Figure 16), seul le PELOD2 à 24h ressortait comme un facteur indépendant d'adhérence aux recommandations ($p=0,044$).

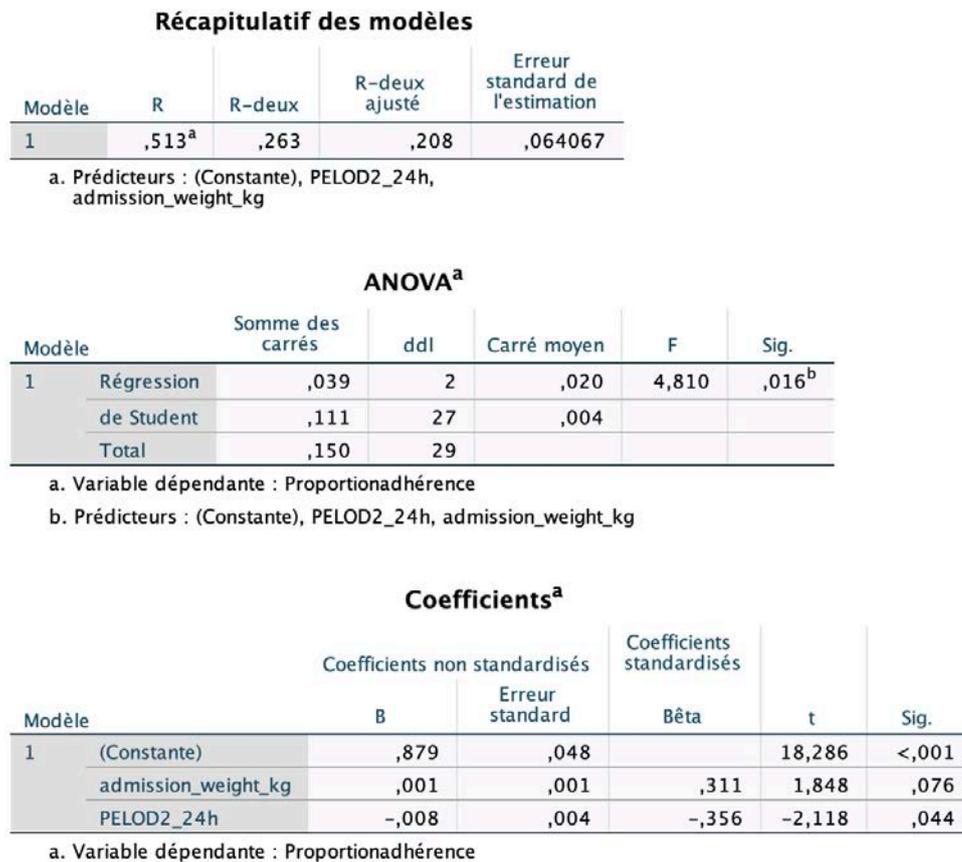


Figure 16: Résultats de l'analyse multivariée des facteurs de risques associés à une mauvaise adhésion

6 Analyse exploratoire de l'association entre l'adhérence et l'évolution des patients

Le pGOS-E final était disponible chez 27 (90%) patients, incluant 17 (63%) avec évolution favorable et 10 (37%) avec évolution défavorable. Le pourcentage d'adhérence était similaire

dans les 2 groupes, avec une médiane à 0,85 [Q1-Q3 0,76-0,89] en cas d'évolution favorable et une médiane à 0,88 [Q1-Q3 0,80-0,89] en cas d'évolution défavorable ($p=0,51$).

L'ajustement pour le PELOD2 à 24h en analyse multivariée ne modifiait pas cette absence d'association (avec un $p=0,59$).

La Figure 17 ci-dessous illustre la relation entre l'adhérence et le pGOS-E final (absence d'association statistique, $R^2=0,0049$). A noter, il n'a pas non plus été constaté de lien entre l'adhérence et la durée de ventilation ($p=0,610$) ou la durée de séjour aux SIP ($p=0,312$).

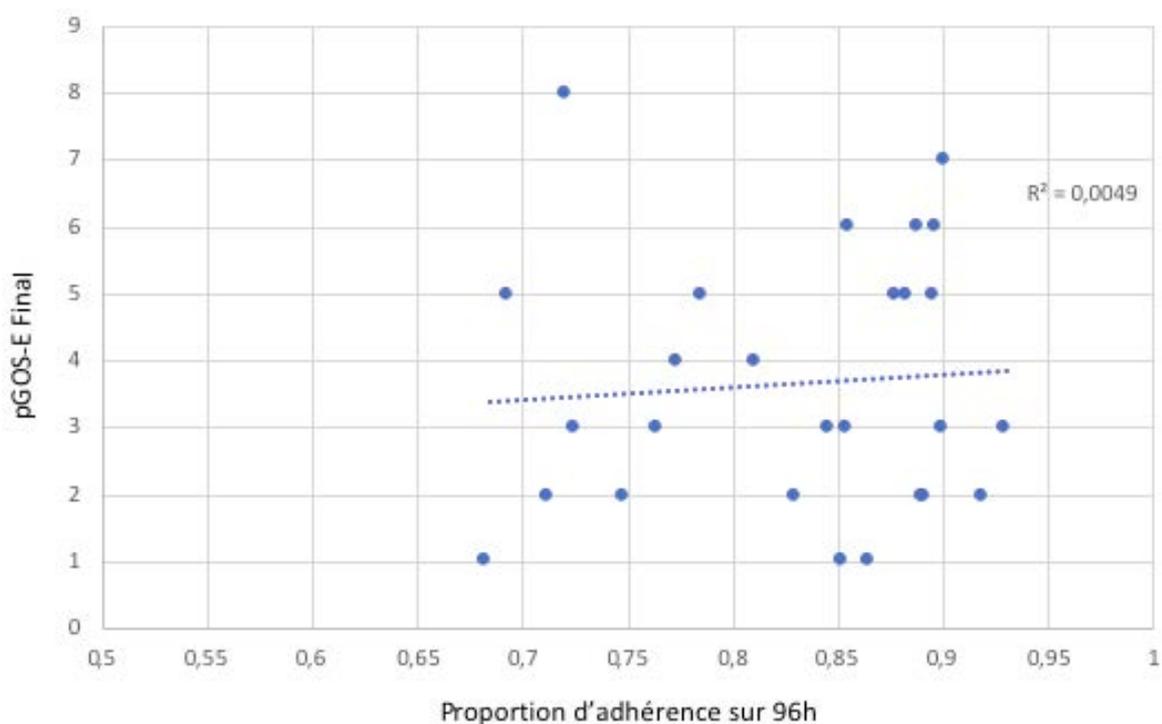


Figure 17: Représentation de la relation entre l'adhérence et le pGOS-E Final

Discussion

Ce travail a permis de montrer qu'il était possible au travers de notre outil iQUATRACE de développer des indicateurs automatisés permettant de quantifier l'adhérence aux lignes directrices de prise en charge du TCCG au niveau individuel et au niveau de l'unité des SIP afin d'évaluer la qualité de la prise en charge. Ceci a été rendu possible depuis les données présentes sur la BDD des SIP dans le cadre de l'évaluation de la qualité des soins pour les enfants souffrants de TCCG. Fort de ce constat, nous prévoyons d'utiliser les algorithmes de ces indicateurs afin de fournir des données en temps réel aux cliniciens pour aider à une meilleure adhérence aux lignes directrices.

1 Représentativité de notre population

Les données épidémiologiques de notre population sont sensiblement comparables à celles publiées dans les études nord-américaines s'intéressant à la même population de TCCG pédiatrique, notamment sur les critères de gravités que sont le GCS initial et le recours à une craniectomie décompressive [61,63]. Notre étude retrouve un pourcentage de polytraumatisé (53,3%) légèrement supérieur à celui retrouvé dans le service quelques années plus tôt (42%) [55], et que dans l'étude PEGASUS (43,2%) réalisé en monocentrique à Seattle entre 2011 et 2017 et qui s'intéressait, après un travail de formation des équipes de l'hôpital, aux résultats obtenus sur 3 indicateurs que sont, le maintien d'une pression de perfusion cérébrale > 40mmHg, éviter toute d'hypocapnie < à 30mmHg en l'absence d'engagement cérébrale, et la reprise d'une nutrition entérale dans les 72h post TCCG [63]. La médiane de durée de séjour était de 12 jours, comparable aux 11 jours retrouvés dans l'étude réalisée entre 2007 et 2011 dans 5 centres de référence en traumatologie américain [60].

Nous avons décidé d'inclure dans la population de l'étude non seulement les patients avec GCS <8, mais aussi les autres patients s'ils bénéficiaient d'un monitoring de la PIC. La cotation du GCS initial n'est pas toujours le meilleur moyen pour décrire la gravité du patient. Comme tout instrument de mesure le GCS a ses limites. Il est soumis à un certain nombre de biais dans son utilisation quotidienne. Parmi ces facteurs, on peut retenir le moment du recueil, les conditions de recueil, la personne qui effectue le recueil, sans oublier les particularités liées au GCS pédiatrique concernant le réponse verbale et motrice [74,75]. Sa cotation va influencer de manière importante son utilisation ultérieure dans une BDD. De plus, la finalité de notre outil vise à améliorer la prise en charge des patients avec un TCCG, et nous pensons que les patients avec monitoring de PIC pourraient bénéficier de l'amélioration des pratiques même si leur GCS était >8.

Le taux de mortalité varie sensiblement selon les études allant de 9% à 32% dans le TCCG de l'enfant [10,62,76]. Ces variations régulièrement retrouvées dans les études dépendent en partie des critères d'inclusions. Dans une étude française s'intéressant à 585 enfants pris en charge pour TCCG, le taux de décès passait de 22% à 10% si l'on retirait les enfants décédés dans les 12h suivant l'admission du fait de la gravité de leur état [10]. Ainsi notre résultat sur la mortalité peut être influencé par le fait que nous avons exclu les patients dont la gravité de l'état clinique a amené à la mise en place de limitation thérapeutique peu de temps après l'entrée aux SIP. Cependant la faible mortalité (3,3%) de notre étude était déjà retrouvée dans une étude précédemment réalisée dans notre service de SIP sur la période 2007 à 2014 qui s'intéressait à l'application des recommandations concernant la mise en place d'un monitoring de la pression intracrânienne, suggérant une stabilité dans la gravité des enfants pris en charge [55]. On retrouve le même pourcentage de décès dans un travail étudiant le devenir des enfants après

mise en place d'un protocole de prise en charge spécifique des TCCG [61]. Une étude réalisée dans 7 centres de référence en traumatologie argentin sur 117 patients retrouve également une mortalité similaire [77]. Un autre facteur pouvant expliquer notre faible mortalité est le très faible recours à des décisions de limitations thérapeutiques passé la phase très précoce de la prise en charge. Dans les TCCG de l'enfant, nous considérons qu'il est très difficile d'établir un pronostic fiable et que des améliorations peuvent apparaître même à long terme. Chez l'adulte, on retrouve des différences dans cette attitude avec des limitations de soins plus fréquentes après un TCCG expliquant en grande partie la mortalité [78,79].

Dans notre travail le pGOS-E médian à 6 mois était de 5 (IQ 3-6), et à 12 mois de 3 (IQ 2-5). Ceci va dans le sens d'une amélioration du devenir neurologique sur la première année post TCCG [80]. Bien qu'une majorité des études réalisées sur ce sujet rapportent la mortalité à la sortie des SIP, nous avons fait le choix d'une évaluation à 6 et 12 mois, car une évaluation du devenir fonctionnel à long terme nous semble plus pertinent que la mortalité aux SIP. En particulier, le pGOS-E est moins influencé par les différences d'attitudes vis à vis des limitations des thérapeutiques actives que le taux de mortalité [81]. L'article validant l'utilisation du pGOS-E a été publié en 2012 [71]. Le pGOS-E est le score de référence depuis 2012 pour l'évaluation neurologique post TCCG [73], il permet de discriminer plus finement les changements dans les capacités fonctionnelles de l'enfant que le GOS [82]. Dans l'étude multicentrique américaine conduite avant 2012, le devenir à la sortie des SIP était évalué depuis l'ancienne échelle Glasgow Outcome Scale (GOS). Cette étude retrouvait un GOS médian à 3 à la sortie des soins intensifs, ce qui correspond après application des correspondances entre ces 2 échelles à un pGOS-E à 5 tel que retrouvé dans notre étude. Parmi les limites de l'évaluation du pGOS-E dans notre étude, il faut noter qu'il n'était pas systématiquement évalué de façon prospective. Lorsqu'il n'était pas

présent, il a été déduit des dossiers des patients depuis les notes cliniques ce qui peut laisser place à du « bruit » dans les analyses.

2 Principaux résultats

Les lignes directrices de prise en charge du TCCG ne précisent pas comment atteindre les objectifs, ni comment évaluer la bonne adhésion, et elles sont parfois peu claires et opérationnelles [2]. Une enquête menée auprès de 32 centres américains et 11 autres centres internationaux prenant en charge des TCCG de l'enfant dans le cadre de l'essai ADAPT a montré d'importantes variations entre les hôpitaux et au sein même des hôpitaux pour la prise en charge des TCCG alors même que les recommandations étaient connues [45], comme cela avait déjà été montré chez l'adulte, pouvant amener à des pertes de chances pour les patients [65]. Les lignes directrices pédiatriques de 2019 ne comportent aucune recommandation avec un niveau de preuve de niveau 1. Ceci pourrait expliquer les divergences retrouvées entre centres dans les modalités d'applications et l'écriture de protocoles [46]. Malgré cela il est établi que dans la prise en charge du TCCG, le suivi des recommandations est primordial et va impacter la survie et le devenir neurologique des enfants par la suite [60–63].

Un des intérêts de l'outil iQUATRACE est de proposer aux cliniciens et aux gestionnaires d'unité de soins un retour facile et rapide sur les indicateurs de qualité de la prise en charge. Nous avons réussi à créer un outil fonctionnel et opérationnel pour évaluer la qualité des soins sur les 14 indicateurs développés jusqu'à présent. Les 14 indicateurs sont fonctionnels sur les 30 patients testés. L'outil iQUATRACE permet de suivre en continu sur les 96 premières heures de prise en charge l'adhérence aux lignes directrices. Nous avons présenté ici les données agrégées des 96 heures, mais l'outil a été développé pour pouvoir être rapidement adapté et appliqué en temps réel, et pour fournir des données évolutives au cours du temps. A notre connaissance, aucun autre travail n'a été réalisé dans ce sens.

Des travaux récents s'intéressent à la présence de protocole et leur application, mais il n'y a pas d'évaluation automatisée des résultats de ces actions au niveau d'une unité de soins, et ces études ne s'intéressent qu'à quelques indicateurs [46,63].

Après mai 2015 et la mise en place de la BDD HR, 76% des patients ont bénéficié de la mesure de l'ensemble des 14 indicateurs. Nous avons cependant noté quelques limites de l'algorithme actuel qui illustrent la complexité du concept. Sur les 6 patients qui n'ont pas eu la mesure de l'ensemble des indicateurs, l'indicateur PAM était celui pour lequel l'algorithme était non applicable (NA) le plus souvent avec 3 patients concernés. Après vérification manuelle des données cliniques présentées sur ICCA ces patients ont bien bénéficié d'un monitoring de la pression artérielle, et ce monitoring n'a donc pas été détecté. Il est probable que ce défaut d'extraction de données soit dû à une mauvaise labélisation initiale du capteur de pression artérielle par le soignant au chevet, ce qui a mené à un défaut dans l'extraction des données depuis la BDD HR. Les variations dans les labellisations des variables saisies manuellement sont une des barrières importantes pour l'exploitation automatisée des bases de données. Certaines variables physiologiques peuvent être dénommées de plus d'une dizaine de noms dans la BDD SIP. Pour limiter ces effets nous essayons au maximum d'aller à la source des moniteurs en limitant les données saisies manuellement. Avec les équipes de soins nous sommes en train de standardiser au maximum le processus de saisies manuelles pour éviter ces problèmes. L'exploration des patients avec une réponse NA permettra de corriger ce problème.

3 Résultats sur l'indicateur d'adhérence globale

Pour les 14 indicateurs sur 6 ans, on retrouve dans le service une proportion d'adhérence médiane à 0,853 (IQ 0,777 – 0,890). Ces résultats suggèrent plutôt une bonne adhérence globale aux recommandations. Cette adhérence semble être supérieure à ce que l'on retrouve dans la littérature, avec la réserve que les études disponibles n'étudiaient pas que des indicateurs issus de lignes directrices, et que le nombre d'indicateur était moindre. Une étude conduite dans 7 centres de référence argentin (N=117) étudiait l'adhérence à 7 indicateurs qui comprenait des actions de premières lignes et de secondes lignes en cas d'apparition d'une HTIC. Ces indicateurs étaient le monitoring de la PIC, la prévention des hypotensions artérielle, l'usage de solution saline hypertonique pour le traitement des poussées d'HTIC défini comme une valeur de PIC > 20mmHg, l'utilisation des traitements antiépileptique en prophylaxie, l'usage des corticostéroïdes, la reprise d'une nutrition entérale dans les 72h après le TCCG. Le respect global retrouvé pour ces 7 indicateurs était de 65% avec des variations comprises entre 36% et 72%[77]. Il est important de noter que pour cette étude, les données étaient recueillies manuellement sur papier puis ensuite saisies sur une base de données en ligne. Cette analyse est donc très longue et difficile à réaliser de façon répétée pour un suivi régulier. Notre outil iQUATRACE prend ici tout son intérêt, permettant de renouveler lorsqu'on le souhaite ce genre de mesure. Dans le programme PEGASUS (étude menée dans un hôpital de Seattle entre 2011 et 2017), après 3 ans de mise en place de protocole de prise en charge du TCCG au sein de l'établissement, le respect sur 3 indicateurs était comprise entre 64,3% et 81,4% [63].

Un des buts de notre démarche est de permettre le suivi dans le temps de l'adhérence, notamment pour évaluer l'impact de futures interventions pour améliorer la qualité des soins. Nos résultats suggèrent une relative stabilité du résultat global des indicateurs au cours des 6 années étudiées. Ces résultats illustrent le fait qu'il sera facile d'observer des changements en cas de mise en place de nouveau protocole de soin en vue d'augmenter l'adhérence. La

représentation des diagrammes en étoile permet une lecture aisée d'un indicateur pour une période donnée et de voir son évolution dans le temps.

4 Résultats sur le respect des différents indicateurs

Pour les indicateurs relatifs au monitoring des patients, l'adhérence est excellente, proche de 100%. Ces indicateurs ont été développés depuis les recommandations qui ne suggèrent pas de cible thérapeutique consensuelle. Mais c'est ici l'adhérence au monitoring en tant que tel qui est important. En effet, un bon monitoring avec les systèmes d'alertes adéquats, permet de détecter rapidement toute variation considérée comme pathologique tel que l'apparition d'une mydriase, ou d'une hypotension artérielle. Une fois détectée, on suppose que ces anomalies pourront être corrigées dans les plus bref délais par les équipes médicales.

Concernant les indicateurs relatifs au monitoring et incluant une cible thérapeutique, on retrouve une adhérence très élevée concernant le monitoring et maintien de la PIC, le contrôle des plaquettes et de l'INR. Dans notre étude, 96% des patients ont eu un monitoring de la PIC en continue avec le système Camino, dont 60% avant leur admission aux SIP. Cette donnée suggère une tendance vers l'amélioration des pratiques puisqu'une précédente étude réalisée dans le service entre 2007 et 2014 ne retrouvait que 31% de monitoring de la PIC réalisée conformément aux recommandations dans les 6h après admission. Ce résultat montait à 39% dans les 12h. Cependant il faut noter que dans ce travail plus ancien tous les patients avec un GCS ≤ 8 étaient inclus, sans les critères d'exclusion que nous avons ajouté dans notre travail [55]. Le faible taux d'adhérence était souvent expliqué par 2 phénomènes : soit par un état neurologique gravissime, soit au contraire par un état neurologique rassurant initialement, qui s'améliorait rapidement dans les premières heures. Mais une partie des patients était monitorée dans un second temps. On peut donc supposer que ces patients auraient pu l'être plus précocement. L'adhérence observée

pour le monitoring de la PIC est aussi sensiblement supérieure à celle retrouvée dans l'étude argentine, où le monitoring de la PIC était réalisé dans 60% des cas, avec un minimum de 44% et un maximum de 100% selon les centres. Une étude réalisée dans 30 centres américains entre 2007 et 2013, regroupant 3084 enfants admis pour TCCG retrouvait seulement 32% monitoring de la PIC avec des variations entre 6% à 50% selon les centres [50]. C'est également ce qui est retrouvé dans l'étude PEGASUS avec 36% [63].

Les résultats de l'indicateur PPC suggèrent une bonne adhérence proche de 90%. Ce résultat est d'autant plus intéressant que conformément aux recommandations [2] l'indicateur a été calibré pour prendre en compte l'âge des enfants. Or il est prouvé que chez l'enfant le maintien de la PPC supérieure à 40 mm Hg au cours des 72 premières heures après un TCCG, était associé à une amélioration du GOS à la sortie de l'hôpital [60]. Nos résultats semblent meilleurs que ceux retrouvés dans l'étude PEGASUS qui retrouvait une adhérence de 60% pour une cible de PPC unique > 40mmHg sur 72h quel que soit l'âge [63]. Dans cette dernière étude, les valeurs n'étaient disponibles qu'à une fréquence horaire, et pour les patients qui n'avaient pas bénéficié de monitoring de la PIC, la PPC était extrapolée depuis la PAM. Notre méthodologie pour cet indicateur ne présente pas ce biais puisque les données issues de la BDD HR sont présentes aux 5 secondes et l'indicateur est analysé toutes les 5 minutes. En revanche notre méthode peut présenter l'inconvénient de diluer en partie des valeurs en dehors des cibles. En effet, sur les 96h, l'indicateur PPC, à raison d'une mesure toutes les 5 min, comporte 1164 mesures. Ainsi une PPC en dehors des cibles durant 30 min soit 6 mesures, bien qu'ayant un potentiel effet délétère sur les lésions cérébrales secondaires, ne modifiera que très peu le résultat final. Ce phénomène s'accroît si on regarde l'indicateur sur des durées encore plus longues. Le calcul des indicateurs sur de plus courtes périodes permettra de mieux identifier ces déviations transitoires.

Nos résultats suggèrent une moins bonne adhérence concernant la mesure et les cibles de PaCO₂ et de la Position de la Tête. Tel que l'indicateur Position de la Tête est développé, il ne permet pas de différencier si l'information est simplement non saisie dans la BDD ICCA par le soignant ou si la tête n'est pas à 30°. Les résultats suggèrent que la position de la tête n'est pas suffisamment prise en compte par les équipes soignantes. Un intérêt tout particulier devrait être apporté à la position de la tête comme le suggèrent les recommandations. Afin de corriger cela, cet indicateur pourrait faire l'objet d'un premier travail de sensibilisation auprès des équipes soignantes.

Concernant les résultats sur la PaCO₂, la non adhérence aux recommandations est déjà connue et documentée dans la littérature. Une étude réalisée dans le centre de Seattle entre 1995 et 2005, comparant l'incidence d'une hypocapnie < 30mmHg avant (N=375) et après (N=89) la parution des lignes directrices de 2003, retrouvait une incidence respectivement de 60% versus 52%, avec une incidence d'hypocapnie plus élevée dans les 2h suivant l'admission à l'hôpital. L'hypocapnie était un facteur prédictif indépendant de mortalité, avec un OR ajusté de 2,8 (IC 95%, 1,3-5,9). Concernant l'hypercapnie PaCO₂ > 45mmHg sur 20% de la première mesure de PaCO₂, son incidence montait à 40% dans les 48h suivantes. Dans l'étude PEGASUS, l'absence d'hypocapnie <30mmHg était respectée à 60% du temps sur les 72h après implémentation du programme. Bien que nous monitorons l'EtCO₂, il n'y a pas toujours de forte corrélation entre les PaCO₂ et l'EtCO₂ [83]. Notre indicateur ne permet pas de dire si les déviations sont dues à une hypo ou une hypercapnie ou à l'absence de nouveau contrôle de la PaCO₂. Quoi qu'il en soit, en l'absence d'HTIC, compte tenu de l'impact péjoratif de l'hypocapnie sur le devenir des enfants, et de celui d'une hypercapnie sur l'autorégulation cérébrale [84], ces résultats incitent à une attention toute particulière sur ce paramètre. Un protocole de surveillance plus strict pourrait être mis en place dans ce sens dans le service.

Concernant les indicateurs en lien avec les interventions médicamenteuses, nous considérons que l'indicateur Nutrition entérale est particulièrement important puisqu'il a été décrit qu'une reprise de l'alimentation avant 72h était associée à une diminution de la mortalité dans le TCCG pédiatrique [60]. La reprise de l'alimentation et l'obtention précoce des cibles caloriques étaient associées à un meilleur devenir neurologique [85]. Le TCCG est, en lui-même, un facteur de reprise plus tardive de l'alimentation entérale [86]. Dans la population des TCCG, la gravité du GCS initial et la gravité générale initiale du patient semblent être associées à un délai plus long avant le démarrage de l'alimentation entérale [87]. Nos résultats sont comparables à l'étude multicentrique argentine où l'adhérence était de 72% à 72h [77], mais inférieure à ceux de l'étude PEGASUS qui retrouvait après implémentation du protocole une adhérence de 94,6% à 72h [60,63]. Nos résultats sur l'indicateur Nutrition suggèrent des variations significatives au cours des années allant de 60% à 100%, et illustrent bien l'intérêt de notre outil. En 2017, un protocole d'alimentation entérale précoce pour les patients traumatisés a été mis en place dans le service. Nos résultats suggèrent une amélioration de l'adhérence sur la période 2018-2019 comparée à 2016-2017. Celle-ci pourrait être reliée à cette action. Puis en 2020, on observe une dégradation de l'adhérence. Il est difficile de savoir si cela est dû à un relâchement dans l'utilisation du protocole, une méconnaissance de celui-ci avec l'arrivée de nouveaux soignants, ou éventuellement à des caractéristiques différentes des patients entre ces périodes. Quoi qu'il en soit, ce résultat illustre la capacité de suivre l'impact d'une intervention et d'alerter en cas de suspicion d'un éventuel relâchement dans l'adhérence, qui serait difficile à déceler sans l'outil iQUATRACE. Le maintien dans le temps de l'effet d'une intervention reste un challenge pour tous les projets d'amélioration de la qualité de soins, et nous espérons que cet outil contribuera à augmenter l'impact de ces interventions.

L'indicateur Médicament d'analgo-sédation est parmi ceux pour lesquels on retrouve la moins bonne adhérence. Tout comme la Position de Tête et la PaCO₂, une attention toute particulière doit lui être apportée dans une dynamique d'amélioration de la qualité. Dans la sédation du TCCG, les recommandations suggèrent en 1^{er} intention d'utiliser comme hypnotique le midazolam chez l'enfant comme chez l'adulte [1,2]. Il est fréquent en pratique courante dans notre unité d'ajouter comme hypnotique le propofol.

Cependant, l'administration prolongée plus de 48h de propofol n'est pas recommandée chez l'enfant par Santé Canada, car elle expose au risque de Syndrome de perfusion du propofol [88,89]. Nous observons dans notre unité l'utilisation assez fréquente du propofol parfois prolongée au-delà de ces 48h pour maintenir une neurosédation profonde. Dans l'écriture de l'indicateur, nous avons décidé de prendre en compte cette recommandation de Santé Canada concernant le propofol en plus de celle concernant l'administration du midazolam et d'analgésique opioïdes. Il est probable que cela ait affecté ces résultats.

Pour les affiner et permettre de mieux déterminer les pistes d'améliorations, nous prévoyons développer de nouveaux indicateurs plus spécifiques, pour séparer les 3 composantes de l'indicateur Médicaments d'analgo-sédation, comme suit : Administration d'un hypnotique, Administration de propofol inférieur à 48h en continue, Administration d'un opioïde.

5 Facteurs de risques associés à la non-adhérence

Seul un score PELOD2 élevé à 24h a été retrouvé comme associé à une moindre adhérence, ce qui n'est pas surprenant. Le PELOD2 est un score global de défaillance d'organe utilisé chez l'enfant [70], il est calculé automatiquement de façon continue dans le service. Une double lecture de ce résultat peut être apportée. L'adhérence peut être moindre chez les patients plus sévères, parce qu'il est plus difficile de respecter les cibles dans ces circonstances (par exemple, maintien des objectifs de PPC et de ventilation seront plus difficile à stabiliser en cas de défaillance multi-

viscérale). D'un autre côté, l'adhérence peut être basse par ce qu'on ne met pas en place les mesures adéquates. Il y a alors des pistes pour améliorer le pronostic final. Parmi les facteurs de non adhérence dû à la gravité, il faut souligner que la moitié de notre effectif étaient des polytraumatisés et que dans cette population la présence de lésions extra-crâniennes initiales à traiter peut influencer l'adhérence aux recommandations du TCCG [49].

6 Lien entre l'adhérence et le devenir des patients

Notre étude ne permet pas de retrouver de lien entre la proportion globale d'adhérence aux 14 indicateurs et le devenir neurologique des enfants. Ce résultat n'est pas surprenant à cette étape. Cette absence d'association peut s'expliquer par la petite taille de l'échantillon. De plus, les indicateurs ne prennent en compte qu'une partie des facteurs pronostics. Certains facteurs confondants pourraient devenir des indicateurs, comme l'hypoxémie, ou l'instabilité hémodynamique [60,90,91]. Cependant, nous ne les avons pas inclus dans ce travail car ils ne font pas partie stricto sensu des recommandations. Ce choix de privilégier les critères correspondant à des recommandations des lignes directrices internationales a été fait pour faciliter l'acceptabilité de l'outil au niveau multicentrique. Les autres facteurs confondants sont ceux relatifs à la sévérité initiale des lésions cérébrales (lésions multifocales, lésions axonales diffuses...) et extra-cérébrales qui expliquent souvent le devenir des patients et qui n'ont pas vocation à devenir des indicateurs dans l'outil iQUATRACE car on ne peut avoir d'action dessus. Mais ces données préliminaires vont permettre de connaître la distribution de l'adhérence et du pGOS-E. Ainsi, on pourra par la suite calculer la taille de la population pour une étude interventionnelle future.

7 Perspectives

Le projet a avancé un peu moins rapidement que prévu dans le cadre de la pandémie et tous les indicateurs n'ont notamment pas pu être priorités dans cette étape préliminaire. Dans les suites du projet, nous prévoyons dans un premier temps plusieurs améliorations de l'outil iQUATRACE. Le développement des indicateurs concernant ; le taux d'hémoglobine plasmatique, la glycémie, le monitoring et le respect des cibles de pression tissulaire cérébrale en oxygène, l'immuno-nutrition, l'administration des médicaments anti épileptique et des sous-indicateurs pour l'analgésie, est en cours afin de pouvoir bénéficier des 19 indicateurs prévus. Les problèmes d'extraction de données manquantes mis en évidence dans ce travail préliminaire sont également en train d'être corrigés. Une standardisation des pratiques est en cours pour éviter que cela ne survienne de nouveau.

L'implémentation en temps réel sera ensuite mise en place, dans un premier temps à l'échelle de l'unité, puis pour une utilisation multicentrique de l'outil.

Une limite potentielle de l'outil iQUATRACE dans sa version actuelle est le manque de visibilité sur une échelle de temps plus courte de façon rétrospective. En effet, pour les indicateurs utilisant des données de la BBD HR avec des objectifs de cible thérapeutique comme la PIC ou la PPC, des variations au-delà des normes fixées sur quelques dizaines de minutes peuvent se retrouver diluées dans la masse de données obtenues sur les 96h. Une découpe temporelle plus étroite pour l'analyse rétrospective serait importante et est en cours de développement afin d'obtenir des plages d'analyse horaire et en continue pour détecter les périodes les plus à risques de déviations. Ce phénomène de dilution n'impactera pas en revanche l'outil de suivi prospectif en temps réel au niveau individuel du patient, qui est également en cours de développement pour un usage direct au chevet du patient.

L'outil iQUATRACE tel que développé actuellement effectue une moyenne globale de tous les indicateurs. Ainsi, chaque indicateur a le même poids dans la proportion d'adhérence globale par patient. Avec un plus grand effectif, on pourrait étudier quels sont les indicateurs qui ont le plus d'impact sur le devenir et ainsi éventuellement pondérer le poids de chaque indicateur dans un futur outil. Cependant dans une démarche d'amélioration de la qualité des soins, cela ne nous semble pas une priorité car le but est d'améliorer les résultats sur tous les indicateurs. Et il est aisé de retrouver les indicateurs individuels qui nous semblent plus importants sur les graphiques en étoiles.

Ces premiers résultats vont permettre de mettre en place des actions au sein du service afin d'optimiser l'adhésion aux recommandations et permettre une évaluation régulière et longitudinale des pratiques. Ils s'intègrent dans une démarche de qualité de soins de l'unité. Sur cette base, le comité de suivi de la qualité des soins pourra obtenir un rapport à la fréquence de ses réunions tous les 3 mois. Le sous-groupe de travail sur l'axe TCCG pourra ainsi identifier les points à prioriser pour l'amélioration des prises en charge. L'outil permettra de suivre l'impact des mesures mises en place, ainsi que la façon dont elles sont soutenues dans le temps au décours de leur mise en place. La phase suivante du projet sera son utilisation multicentrique avec plusieurs sites utilisant déjà le système ICCA dans leurs unités. Un intérêt particulier est déjà manifesté par les services de SIP de Lyon, Clermont-Ferrand et Lille. Nous espérons ensuite également collaborer avec d'autres centres parmi plusieurs réseaux de recherche en soins intensifs pédiatriques dans lesquels nous sommes activement impliqués : le Pediatric Neurocritical Care Research Group (PNCRG), le Canadian Critical Care Trials Group (CCCTG) et le Groupe Francophone de Réanimation et Urgences Pédiatriques (GFRUP), dans le but d'élargir encore le potentiel d'évaluation comparative.

Conclusion

Notre outil iQUATRACE, composé d'indicateurs automatisés, permet de quantifier l'adhérence aux lignes directrices du TCCG au niveau individuel et au niveau de l'unité des soins intensifs pédiatriques afin d'évaluer la qualité de la prise en charge. Les premiers résultats mettent en évidence des pistes d'amélioration de la prise en charge au sein des SIP. L'outil pourra permettre le suivi de l'impact des futures initiatives d'amélioration de la qualité. A terme, nous espérons que l'amélioration de la qualité de prise en charge des enfants avec TCCG permettra de réduire les conséquences de ces traumatismes sévères sur la vie de l'enfant, sa famille et les services de santé.

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des patients	43
Tableau 2: Nombre de patients pour lesquels l'indicateur est correctement mesuré sur 96h....	45
Tableau 3: Proportion d'adhérence sur 96h par indicateur pour les 30 patients sur 6ans	45

Liste des figures

Figure 1: Présentation du score de Glasgow pédiatrique en fonction de l'âge.....	8
Figure 2: Synthèse des différentes lésions retrouvées chez le traumatisé crânio-cérébral grave	15
Figure 3: Démarches pour une optimisation de l'adhérence aux recommandations.....	19
Figure 4: Présentation des principes de la démarche qualité.....	22
Figure 5: Processus de collecte des données de la base de données haute résolution	24
Figure 6: Présentation schématique des consignes générales qui ont été appliquées pour les algorithmes de chaque indicateur	34
Figure 7: Pediatric Glasgow Outcome Scale Extended» (pGOS-E).....	38
Figure 8: Diagramme de flux.....	41
Figure 9: Évolution dans le temps de la proportion d'adhérence globale dans l'unité.....	46
Figure 10: Représentation graphique de la proportion d'adhérence par indicateur au niveau de l'unité sur les 6ans. Chaque étoile représente une période donnée. Chaque pointe de l'étoile présente le résultat d'un indicateur exprimé en moyenne de la proportion d'adhésion sur la période, où 1=100%	46
Figure 11: Évolution entre 2014 et 2020 par patient de la moyenne des proportions d'adhérence aux 14 indicateurs.....	47
Figure 12: Représentation graphique de la proportion d'adhérence par indicateurs pour un patient de l'année 2016.....	48
Figure 13: Représentation graphique de la proportion d'adhérence par indicateurs pour un patient de l'année 2018.....	49
Figure 14: Représentation de l'association entre la proportion d'adhérence et le poids de l'enfant	50
Figure 15: Représentation de l'association entre la proportion d'adhérence et score PELOD2 de l'enfant	50
Figure 16: Résultats de l'analyse multivariée des facteurs de risques associés à une mauvaise adhésion	51
Figure 17: Représentation de la relation entre l'adhérence et le pGOS-E Final	52

Références

- [1] Carney N, Totten AM, O'Reilly C, Ullman JS, Hawryluk GWJ, Bell MJ, et al. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition. *Neurosurgery* 2017;80:6–15.
- [2] Kochanek PM, Tasker RC, Carney N, Totten AM, Adelson PD, Selden NR, et al. Guidelines for the Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury, Third Edition: Update of the Brain Trauma Foundation Guidelines. *Pediatr Crit Care Med* 2019;20:S1–82.
- [3] 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 Réanimation* 2016;2:431–53.
- [4] Simpson D, Reilly P. Pediatric coma scale. *Lancet Lond Engl* 1982;2:450.
- [5] Jehlé E, Honnart D, Grasleguen C, Bouget J, Dejoux C, Lestavel P, et al. Traumatisme crânien léger (score de Glasgow de 13 à 15) : triage, évaluation, examens complémentaires et prise en charge précoce chez le nouveau-né, l'enfant et l'adulte: Société française de médecine d'urgence. *Ann Fr Médecine Urgence* 2012;2:199–214.
- [6] Reith FCM, Van den Brande R, Synnot A, Gruen R, Maas AIR. The reliability of the Glasgow Coma Scale: a systematic review. *Intensive Care Med* 2016;42:3–15.
- [7] Langlois JA, Rutland-Brown W, Thomas KE. The Incidence of Traumatic Brain Injury Among Children in the United States: Differences by Race. *J Head Trauma Rehabil* 2005;20:229–38.
- [8] Mazurek A. Pediatric injury patterns. *Int Anesthesiol Clin* 1994;32:11–25.
- [9] Keenan HT, Bratton SL. Epidemiology and Outcomes of Pediatric Traumatic Brain Injury. *Dev Neurosci* 2006;28:256–63.
- [10] 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.
- [11] Sharples PM, Storey A, Aynsley-Green A, Eyre JA. Avoidable factors contributing to death of children with head injury. *BMJ* 1990;300:87–91.
- [12] Bennett TD, Dixon RR, Kartchner C, DeWitt PE, Sierra Y, Ladell D, et al. Functional status scale in children with traumatic brain injury: a prospective cohort study. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc* 2016;17:1147–56.
- [13] Anderson V, Godfrey C, Rosenfeld JV, Catroppa C. Predictors of Cognitive Function and Recovery 10 Years After Traumatic Brain Injury in Young Children. *Pediatrics* 2012;129:e254–61.
- [14] Parker KN, Donovan MH, Smith K, Noble-Haeusslein LJ. Traumatic Injury to the Developing Brain: Emerging Relationship to Early Life Stress. *Front Neurol* 2021;12:708800.

- [15] Anderson V, Catroppa C. Recovery of executive skills following paediatric traumatic brain injury (TBI): a 2 year follow-up. *Brain Inj* 2005;19:459–70.
- [16] Ryan NP, Anderson V, Godfrey C, Beauchamp MH, Coleman L, Eren S, et al. Predictors of very-long-term sociocognitive function after pediatric traumatic brain injury: Evidence for the vulnerability of the immature “social Brain.” *J Neurotrauma* 2014;31:649–57.
- [17] Anderson V, Catroppa C, Haritou F, Morse S, Rosenfeld J. Identifying factors contributing to child and family outcome 30 months after traumatic brain injury in children. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2005;76:401–8.
- [18] Moore M, Robinson G, Mink R, Hudson K, Dotolo D, Gooding T, et al. Developing a Family-Centered Care Model for Critical Care after Pediatric Traumatic Brain Injury. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc* 2015;16:758–65.
- [19] Koepsell TD, Rivara FP, Vavilala MS, Wang J, Temkin N, Jaffe KM, et al. Incidence and descriptive epidemiologic features of traumatic brain injury in King County, Washington. *Pediatrics* 2011;128:946–54.
- [20] Feigin VL, Theadom A, Barker-Collo S, Starkey NJ, McPherson K, Kahan M, et al. Incidence of traumatic brain injury in New Zealand: a population-based study. *Lancet Neurol* 2013;12:53–64.
- [21] 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.
- [22] Maset AL, Marmarou A, Ward JD, Choi S, Lutz HA, Brooks D, et al. Pressure-volume index in head injury. *J Neurosurg* 1987;67:832–40.
- [23] Ommaya AK, Goldsmith W, Thibault L. Biomechanics and neuropathology of adult and paediatric head injury. *Br J Neurosurg* 2002;16:220–42.
- [24] Wolf MS, Rakkar J, Horvat CM, Simon DW, Kochanek PM, Clermont G, et al. Assessment of Dynamic Intracranial Compliance in Children with Severe Traumatic Brain Injury: Proof-of-Concept. *Neurocrit Care* 2021;34:209–17.
- [25] Powers WJ. Cerebral hemodynamics in ischemic cerebrovascular disease. *Ann Neurol* 1991;29:231–40.
- [26] Biagi L, Abbruzzese A, Bianchi MC, Alsop DC, Del Guerra A, Tosetti M. Age dependence of cerebral perfusion assessed by magnetic resonance continuous arterial spin labeling. *J Magn Reson Imaging* 2007;25:696–702.
- [27] Adelson PD, Clyde B, Kochanek PM, Wisniewski SR, Marion DW, Yonas H. Cerebrovascular response in infants and young children following severe traumatic brain injury: a preliminary report. *Pediatr Neurosurg* 1997;26:200–7.
- [28] Vavilala MS, Muangman S, Tontisirin N, Fisk D, Roscigno C, Mitchell P, et al. Impaired cerebral autoregulation and 6-month outcome in children with severe traumatic brain injury: preliminary findings. *Dev Neurosci* 2006;28:348–53.
- [29] Schutzman SA, Greenes DS. Pediatric minor head trauma. *Ann Emerg Med* 2001;37:65–74.

- [30] Sosin DM, Sniezek JE, Thurman DJ. Incidence of mild and moderate brain injury in the United States, 1991. *Brain Inj* 1996;10:47–54.
- [31] Flaherty BF, Moore HE, Riva-Cambrin J, Bratton SL. Pediatric patients with traumatic epidural hematoma at low risk for deterioration and need for surgical treatment. *J Pediatr Surg* 2017;52:334–9.
- [32] Alcalá-Galiano A, Arribas-García IJ, Martín-Pérez MA, Romance A, Montalvo-Moreno JJ, Juncos JMM. Pediatric facial fractures: children are not just small adults. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc* 2008;28:441–61; quiz 618.
- [33] Hahn YS, Chyung C, Barthel MJ, Bailes J, Flannery AM, McLone DG. Head injuries in children under 36 months of age. Demography and outcome. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg* 1988;4:34–40.
- [34] Fanconi M, Lips U. Shaken baby syndrome in Switzerland: results of a prospective follow-up study, 2002-2007. *Eur J Pediatr* 2010;169:1023–8.
- [35] Gentry LR, Godersky JC, Thompson B. MR imaging of head trauma: review of the distribution and radiopathologic features of traumatic lesions. *AJR Am J Roentgenol* 1988;150:663–72.
- [36] Mittl RL, Grossman RI, Hiehle JF, Hurst RW, Kauder DR, Gennarelli TA, et al. Prevalence of MR evidence of diffuse axonal injury in patients with mild head injury and normal head CT findings. *AJNR Am J Neuroradiol* 1994;15:1583–9.
- [37] Tong KA, Ashwal S, Holshouser BA, Nickerson JP, Wall CJ, Shutter LA, et al. Diffuse axonal injury in children: Clinical correlation with hemorrhagic lesions. *Ann Neurol* 2004;56:36–50.
- [38] Zwieneberg M, Muizelaar JP. Severe Pediatric Head Injury: The Role of Hyperemia Revisited. *J Neurotrauma* 1999;16:937–43.
- [39] Marmarou A, Signoretti S, Fatouros PP, Portella G, Aygok GA, Bullock MR. Predominance of cellular edema in traumatic brain swelling in patients with severe head injuries. *J Neurosurg* 2006;104:720–30.
- [40] Chesnut RM, Marshall LF, Klauber MR, Blunt BA, Baldwin N, Eisenberg HM, et al. The role of secondary brain injury in determining outcome from severe head injury. *J Trauma* 1993;34:216–22.
- [41] Kochanek PM, Tasker RC, Bell MJ, Adelson PD, Carney N, Vavilala MS, et al. Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury: 2019 Consensus and Guidelines-Based Algorithm for First and Second Tier Therapies. *Pediatr Crit Care Med* 2019;20:269–79.
- [42] R. Chambers, L. Treadwell, A. D. Me I. The cause and incidence of secondary insults in severely head-injured adults and children. *Br J Neurosurg* 2000;14:424–31.
- [43] Geeraerts T, Friggeri A, Mazoit J-X, Benhamou D, Duranteau J, Vigué B. Posttraumatic brain vulnerability to hypoxia-hypotension: the importance of the delay between brain trauma and secondary insult. *Intensive Care Med* 2008;34:551–60.
- [44] Kochanek PM, Carney N, Adelson PD, Ashwal S, Bell MJ, Bratton S, et al. Guidelines for the acute medical management of severe traumatic brain injury in infants, children, and adolescents--second edition. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc* 2012;13

Suppl 1:S1-82.

- [45] Larsen GY, Schober M, Fabio A, Wisniewski SR, Grant MJC, Shafi N, et al. Structure, Process, and Culture Differences of Pediatric Trauma Centers Participating in an International Comparative Effectiveness Study of Children with Severe Traumatic Brain Injury. *Neurocrit Care* 2016;24:353–60.
- [46] Pajer HB, Asher AM, Leung D, Barnett RR, Joyner BL, Quinsey CS. Adherence to Guidelines for Managing Severe Traumatic Brain Injury in Children. *Am J Crit Care* 2021;30:402–6.
- [47] Cnossen MC, Scholten AC, Lingsma HF, Synnot A, Tavender E, Gantner D, et al. Adherence to Guidelines in Adult Patients with Traumatic Brain Injury: A Living Systematic Review. *J Neurotrauma* 2015.
- [48] Shafi S, Barnes SA, Millar D, Sobrino J, Kudyakov R, Berryman C, et al. Suboptimal compliance with evidence-based guidelines in patients with traumatic brain injuries. *J Neurosurg* 2014;120:773–7.
- [49] Volovici V, Ercole A, Citerio G, Stocchetti N, Haitsma IK, Huijben JA, et al. Variation in Guideline Implementation and Adherence Regarding Severe Traumatic Brain Injury Treatment: A CENTER-TBI Survey Study in Europe. *World Neurosurg* 2019;125:e515–20.
- [50] Bennett TD, DeWitt PE, Greene TH, Srivastava R, Riva-Cambrin J, Nance ML, et al. Functional Outcome After Intracranial Pressure Monitoring for Children With Severe Traumatic Brain Injury. *JAMA Pediatr* 2017;171:965.
- [51] van Essen TA, den Boogert HF, Cnossen MC, de Ruiter GCW, Haitsma I, Polinder S, et al. Variation in neurosurgical management of traumatic brain injury: a survey in 68 centers participating in the CENTER-TBI study. *Acta Neurochir (Wien)* 2019;161:435–49.
- [52] Barth JH, Misra S, Aakre KM, Langlois MR, Watine J, Twomey PJ, et al. Why are clinical practice guidelines not followed? *Clin Chem Lab Med CCLM* 2016;54.
- [53] Lugtenberg M, Zegers-van Schaick JM, Westert GP, Burgers JS. Why don't physicians adhere to guideline recommendations in practice? An analysis of barriers among Dutch general practitioners. *Implement Sci* 2009;4:54.
- [54] Broliar SM, Moore M, Thompson HJ, Whiteside LK, Mink RB, Wainwright MS, et al. A Qualitative Study Exploring Factors Associated with Provider Adherence to Severe Pediatric Traumatic Brain Injury Guidelines. *J Neurotrauma* 2016;33:1554–60.
- [55] Roumeliotis N, Pettersen G, Crevier L, Émeriaud G. ICP monitoring in children: why are we not adhering to guidelines? *Childs Nerv Syst* 2015;31:2011–4.
- [56] Aggarwal R, Mytton OT, Derbrew M, Hananel D, Heydenburg M, Issenberg B, et al. Training and simulation for patient safety. *Qual Saf Health Care* 2010;19:i34–43.
- [57] Hebbbar KB, Colman N, Williams L, Pina J, Davis L, Bost JE, et al. A Quality Initiative: A System-Wide Reduction in Serious Medication Events Through Targeted Simulation Training. *Simul Healthc J Soc Simul Healthc* 2018;13:324–30.
- [58] Lamé G, Dixon-Woods M. Using clinical simulation to study how to improve quality and safety in healthcare. *BMJ Simul Technol Enhanc Learn* 2020;6:87–94.

- [59] Graves JM, Kannan N, Mink RB, Wainwright MS, Groner JI, Bell MJ, et al. Guideline Adherence and Hospital Costs in Pediatric Severe Traumatic Brain Injury. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc* 2016;17:438–43.
- [60] Vavilala MS, Kernic MA, Wang J, Kannan N, Mink RB, Wainwright MS, et al. Acute Care Clinical Indicators Associated With Discharge Outcomes in Children With Severe Traumatic Brain Injury*: *Crit Care Med* 2014;42:2258–66.
- [61] Pineda JA, Leonard JR, Mazotas IG, Noetzel M, Limbrick DD, Keller MS, et al. Effect of implementation of a paediatric neurocritical care programme on outcomes after severe traumatic brain injury: a retrospective cohort study. *Lancet Neurol* 2013;12:45–52.
- [62] Reisner A, Chern JJ, Walson K, Tillman N, Petrillo-Albarano T, Sribnick EA, et al. Introduction of severe traumatic brain injury care protocol is associated with reduction in mortality for pediatric patients: a case study of Children’s Healthcare of Atlanta’s neurotrauma program. *J Neurosurg Pediatr* 2018;22:165–72. <https://doi.org/10.3171/2018.2.PEDS17562>.
- [63] Vavilala MS, King MA, Yang J-T, Erickson SL, Mills B, Grant RM, et al. The Pediatric Guideline Adherence and Outcomes Program in Severe Traumatic Brain Injury: A Single Center Hybrid Implementation-Effectiveness Study. *Lancet Child Adolesc Health* 2019;3:23–34.
- [64] O’Lynnger TM, Shannon CN, Le TM, Greeno A, Chung D, Lamb FS, et al. Standardizing ICU management of pediatric traumatic brain injury is associated with improved outcomes at discharge. *J Neurosurg Pediatr* 2016;17:19–26.
- [65] Lingsma HF, Roozenbeek B, Li B, Lu J, Weir J, Butcher I, et al. Large Between-Center Differences in Outcome After Moderate and Severe Traumatic Brain Injury in the International Mission on Prognosis and Clinical Trial Design in Traumatic Brain Injury (IMPACT) Study. *Neurosurgery* 2011;68:601–8.
- [66] How to Improve | IHI - Institute for Healthcare Improvement n.d. <http://www.ihl.org:80/resources/Pages/HowtoImprove/default.aspx> (accessed September 28, 2021).
- [67] Brossier D, Taani RE, Sauthier M, Roumeliotis N, Emeriaud G, Jouvét P. Creating a High-Frequency Electronic Database in the PICU. *Pediatr Crit Care Med* 2018;19.
- [68] Brossier D, Sauthier M, Mathieu A, Goyer I, Emeriaud G, Jouvét P. Qualitative subjective assessment of a high-resolution database in a paediatric intensive care unit—Elaborating the perpetual patient’s ID card. *J Eval Clin Pract* 2020;26:86–91.
- [69] Mathieu A, Sauthier M, Jouvét P, Emeriaud G, Brossier D. Validation process of a high-resolution database in a paediatric intensive care unit-Describing the perpetual patient’s validation. *J Eval Clin Pract* 2021;27:316–24.
- [70] Leteurtre S, Duhamel A, Salleron J, Grandbastien B, Lacroix J, Leclerc F. PELOD-2: An Update of the PEdiatric Logistic Organ Dysfunction Score. *Crit Care Med* 2013;41:1761–73.
- [71] Beers SR, Wisniewski SR, Garcia-Filion P, Tian Y, Hahner T, Berger RP, et al. Validity of a Pediatric Version of the Glasgow Outcome Scale—Extended. *J Neurotrauma* 2012;29:1126–39.

- [72] Wilson JT, Pettigrew LE, Teasdale GM. Structured interviews for the Glasgow Outcome Scale and the extended Glasgow Outcome Scale: guidelines for their use. *J Neurotrauma* 1998;15:573–85.
- [73] McCauley SR, Wilde EA, Anderson VA, Bedell G, Beers SR, Campbell TF, et al. Recommendations for the Use of Common Outcome Measures in Pediatric Traumatic Brain Injury Research. *J Neurotrauma* 2012;29:678–705.
- [74] Simpson DA, Cockington RA, Hanieh A, Raftos J, Reilly PL. Head injuries in infants and young children: the value of the Paediatric Coma Scale. *Childs Nerv Syst* 1991;7:183–90.
- [75] Marion DW, Carlier PM. Problems with initial Glasgow Coma Scale assessment caused by prehospital treatment of patients with head injuries: results of a national survey. *J Trauma* 1994;36:89–95.
- [76] Melo JRT, Rocco FD, Blanot S, Oliveira-Filho J, Roujeau T, Sainte-Rose C, et al. Mortality in Children With Severe Head Trauma: Predictive Factors and Proposal for a New Predictive Scale. *Neurosurgery* 2010;67:1542–7.
- [77] Vavilala MS, Lujan SB, Qiu Q, Bell MJ, Ballarini NM, Guadagnoli N, et al. Intensive care treatments associated with favorable discharge outcomes in Argentine children with severe traumatic brain injury: For the South American Guideline Adherence Group. *PLOS ONE* 2017;12:e0189296.
- [78] Turgeon AF, Lauzier F, Simard J-F, Scales DC, Burns KEA, Moore L, et al. Mortality associated with withdrawal of life-sustaining therapy for patients with severe traumatic brain injury: a Canadian multicentre cohort study. *Can Med Assoc J* 2011;183:1581–8.
- [79] Nessler N, Roquilly A, Lasocki S, Dahyot-Fizelier C, Launey Y, Raphaël C, et al. Patient factors and outcomes associated with the withdrawal or withholding of life-sustaining therapies in mechanically ventilated brain-injured patients: An observational multicentre study. *Eur J Anaesthesiol* 2018;35:511–8.
- [80] Stålnacke B-M, Saveman B-I, Stenberg M. Long-Term Follow-Up of Disability, Cognitive, and Emotional Impairments after Severe Traumatic Brain Injury. *Behav Neurol* 2019;2019:1–7.
- [81] Gaudry S, Messika J, Ricard J-D, Guillo S, Pasquet B, Dubief E, et al. Patient-important outcomes in randomized controlled trials in critically ill patients: a systematic review. *Ann Intensive Care* 2017;7.
- [82] McMillan T, Wilson L, Ponsford J, Levin H, Teasdale G, Bond M. The Glasgow Outcome Scale — 40 years of application and refinement. *Nat Rev Neurol* 2016;12:477–85.
- [83] Belenkiy SM, Baker WL, Batchinsky AI, Mittal S, Watkins T, Salinas J, et al. Multivariate analysis of the volumetric capnograph for PaCO₂ estimation. *Int J Burns Trauma* 2015;5:66–74.
- [84] McCulloch TJ, Visco E, Lam AM. Graded Hypercapnia and Cerebral Autoregulation during Sevoflurane or Propofol Anesthesia. *Anesthesiology* 2000;93:1205–9.
- [85] Taha AA, Badr L, Westlake C, Dee V, Mudit M, Tiras KL. Effect of Early Nutritional Support on Intensive Care Unit Length of Stay and Neurological Status at Discharge in Children With Severe Traumatic Brain Injury. *J Neurosci Nurs* 2011;43:291–7.
- [86] Malakouti A, Sookplung P, Siriussawakul A, Philip S, Bailey N, Brown M, et al. Nutrition support

and deficiencies in children with severe traumatic brain injury. *Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed Pediatr Intensive Crit Care Soc* 2012;13:e18-24.

[87] Balakrishnan B, Flynn-O'Brien KT, Simpson PM, Dasgupta M, Hanson SJ. Enteral Nutrition Initiation in Children Admitted to Pediatric Intensive Care Units After Traumatic Brain Injury. *Neurocrit Care* 2019;30:193–200.

[88] Felmet K, Nguyen T, Clark RS, Orr D, Carcillo J, Cornfield DN, et al. The FDA Warning Against Prolonged Sedation With Propofol in Children Remains Warranted. *PEDIATRICS* 2003;112:1002–3.

[89] Laquay N, Prieur S, Greff B, Meyer P, Orliaguet G. Le syndrome de perfusion du propofol. *Ann Fr Anesth Réanimation* 2010;29:377–86.

[90] Erickson SL, Killien EY, Wainwright M, Mills B, Vavilala MS. Mean Arterial Pressure and Discharge Outcomes in Severe Pediatric Traumatic Brain Injury. *Neurocrit Care* 2021;34:1017–25.

[91] Pigula FA, Wald SL, Shackford SR, Vane DW. The effect of hypotension and hypoxia on children with severe head injuries. *J Pediatr Surg* 1993;28:310–4; discussion 315-316.

Annexe 1

Topic	Level of Recommendation	Overall Outcomes vs. Intermediate	Class of Studies	Direct vs Indirect Evidence	Number of Studies
ICP monitoring					
Advanced neuromonitoring					
Neuroimaging					
ICP thresholds					
Cerebral perfusion pressure thresholds					
Hyperosmolar therapy					
Analgesics, sedatives, neuromuscular block					
Cerebrospinal fluid drainage					
Seizure prophylaxis					
Ventilation therapies					
Temperature control					
Barbiturates					
Decompressive craniectomy					
Nutrition					
Corticosteroids					

ICP = intracranial pressure.

*Lighter cells indicate stronger body of evidence.

Full explanation of shading is provided in FUTURE DIRECTIONS section.

Liste des 15 sujets faisant l'objet de recommandations dans les lignes directrices de 2019, d'après Kochanek & al. [2].

Annexe 2

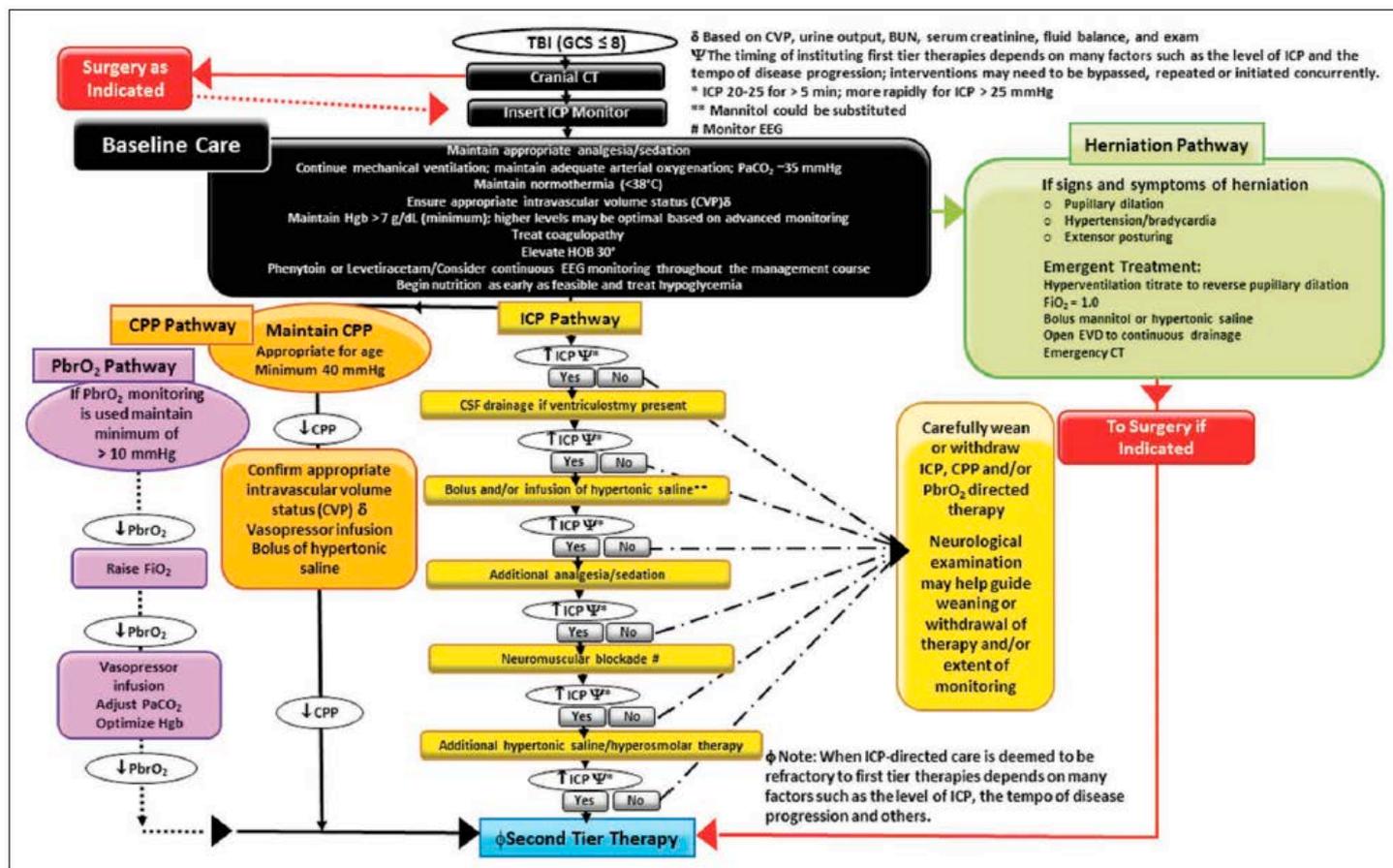


Figure 1. Evidence- and consensus-based algorithm of first tier therapies for the management of severe traumatic brain injury (TBI) in infants, children, and adolescents. The algorithm includes several components including Baseline Care (black), an Intracranial Pressure (ICP) Pathway (yellow), a Herniation Pathway (green), a Cerebral Perfusion Pressure (CPP) Pathway (orange), and Brain Tissue Partial Pressure of Oxygen (PbrO₂) Pathway (pink). Solid lines identify the ICP and CPP pathways, reflecting their primary role, a dashed line identifies the PbrO₂ pathway given the fact that it represents a monitoring and management option that is less commonly used and has less literature support. A dotted plus dashed line identifies the weaning or withdrawal of the various interventions. As indicated in the text, the treating practitioner should integrate all of the available information and implement the Guidelines within the context of each patient's unique response to various therapies to craft the most optimal treatment regimen. In addition, although a linear approach in each pathway is provided, variations in "tempo" and timing during which therapies are implemented or weaned/withdrawn will depend on each given clinical context. For example, in some situations, a single intervention for raised ICP may suffice, whereas in others, multiple simultaneous interventions may be required. The approach will often need to be individualized to the patient's needs. If baseline care is insufficient to control intracranial pressure, then progression down the ICP and CPP pathways is indicated (solid black line). The blue box indicates the need for second tier therapy and represents the link to Figure 2. Please see text for details. BUN = blood urea nitrogen, CVP = central venous pressure, EEG = electroencephalogram, EVD = external ventricular drain, GCS = Glasgow Coma Scale, FiO₂ = fraction of inspired oxygen, Hgb = hemoglobin, HOB = head of bed.

Proposition d'algorithme de prise en charge depuis les lignes directrices, d'après Kochanek & al. [41]

Annexe 3

Tableau présentant les 14 indicateurs développés – Partie 1

Indicateur	Type d'indicateur	Type d'entrée	Source	Règle pour conclure à une déviation (0)
Surveillance de la Pupille Droite (PupilleD)	Monitoring	Saisie manuelle par les soignants	BDD ICCA	Surveillance non effectuée 1h après l'admission aux SIP Surveillance non ressaisie 3h après la dernière saisie.
Surveillance de la Pupille Gauche (PupilleG)	Monitoring	Saisie manuelle par les soignants	BDD ICCA	Surveillance non effectuée 1h après l'admission aux SIP Surveillance non ressaisie 3h après la dernière saisie.
Surveillance de la Pression Veineuse Centrale (PVC)	Monitoring	Saisie manuelle par les soignants	BDD ICCA	Surveillance non effectuée 2h après l'admission aux SIP Surveillance non ressaisie 2h après la dernière saisie
Surveillance continue de la Pression Artérielle Moyenne (PAM)	Monitoring	Saisie automatique depuis capteur	BDD HR	Pas de données de PAM 2h après l'admission aux SIP Pas de données de PAM 5min après le dernier signal enregistré
Surveillance continue du CO2 expiré par le patient (EtCO2)	Monitoring	Saisie automatique depuis capteur	BDD HR	Pas de données de l'EtCO2 1h après l'admission aux SIP Pas de données de l'EtCO2 5min après le dernier signal enregistré
Surveillance et maintien dans les cibles de la Position de la Tête du lit (PdT)	Monitoring Cible thérapeutique	Saisie manuelle par les soignants	BDD ICCA	Surveillance non effectuée 1h après l'admission aux SIP Surveillance non ressaisie 3h après la dernière saisie, ou saisie différente d'une position de tête à 30°
Surveillance et maintien dans les cibles de la Température corporelle centrale (T°C)	Monitoring Cible thérapeutique	Saisie manuelle par les soignants	BDD ICCA	Surveillance non effectuée 1h après l'admission aux SIP Surveillance non ressaisie 3h après la dernière saisie, ou valeur saisie non comprise entre 32°C et 37,9°C.
Surveillance continue et maintien dans les cibles de la Pression Intra Crânienne (PIC)	Monitoring Cible thérapeutique	Saisie automatique depuis capteur	BDD HR	Pas de données de PIC 1h après l'admission aux SIP Pas de données de PIC 5min après le dernier signal enregistré, ou valeur de PIC \geq 21mmHg pendant plus de 20min.
Surveillance continue et maintien dans les cibles de la Pression de Perfusion Cérébrale (PPC)	Monitoring Cible thérapeutique	Saisie automatique depuis capteur	BDD HR	Pas de données de PPC 5min après le premier signal de PIC enregistré, Pas de données de PPC 5min après le dernier signal enregistré, ou valeur de PPC non conforme aux valeurs attendues pour l'âge tel que décrit ci-dessous - Si Age < 5ans alors PPC doit être comprise entre 39mmHg et 61mmHg - Si Age entre 5ans et 11ans alors PPC doit être comprise entre 39mmHg et 71mmHg - Si Age entre 11ans et 18ans alors PPC doit être comprise entre 49mmHg et 81mmHg
Surveillance et maintien dans les cibles de la Pression Artérielle en CO2 (PaCO2)	Monitoring Cible thérapeutique	Saisie automatique depuis la biologie	BDD ICCA	Pas de données de PaCO2 1h après l'admission aux SIP Pas de données de PaCO2 24h après la dernière valeur, ou valeur de PaCO2 non comprise entre 28mmHg et 40mmHg avec la sous condition que si la valeur était comprise entre 28mmHg et 35mmHg alors la consigne de PIC <21mmHg n'était pas respectée signant une HTIC.

BDD HR : Base de Données Haute Résolution ; BDD ICCA : Base de Données ICCA de Philips

Tableau présentant les 14 indicateurs développés – Partie 2

Surveillance des Plaquettes plasmatisques (Plaquettes)	Monitoring Cible thérapeutique	Saisie automatique depuis la biologie	BDD ICCA	Pas de données de Plaquettes 3h après l'admission aux SIP Pas de données de Plaquettes 24h après la dernière valeur, ou Plaquettes <100 G/L et absence d'administration d'un concentré plaquettaire dans les 3h suivant le résultat biologique.
Surveillance de l'International Normalized Ratio (INR)	Monitoring Cible thérapeutique	Saisie automatique depuis la biologie	BDD ICCA	Pas de données d'INR 3h après l'admission aux SIP Pas de données d'INR 24h après la dernière valeur, ou INR >1,2 et absence d'administration d'un plasma frais congelé dans les 3h suivant le résultat
Administration de médicaments d'analgosédation (MedAS)	Intervention médicamenteuse	Saisie automatique depuis la SAP	BDD ICCA	<p>Pas de données d'administration conjointe d'un médicament hypnotique et d'un opioïde 1h après l'admission aux SIP. Pas de données d'administration d'un médicament hypnotique et d'un opioïde 1h après le dernier signal enregistré, ou administration de propofol plus de 48h consécutives.</p> <p>L'administration d'un médicament hypnotique était considérée comme valide si :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Administration de midazolam seul - Administration de midazolam associé à du propofol <p>L'administration d'un médicament opioïde était considérée comme valide si :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Administration de fentanyl - Administration de morphine <p>Pour le propofol si l'administration était poursuivie au-delà de 48h après la première donnée relative à son administration, alors tant que le propofol était administré, alors cela correspondait à une déviation de l'indicateur MedAS même si les autres conditions étaient validées.</p>
Administration d'une Nutrition entérale (lait ou produit de gavage) (Nutrition)	Intervention médicamenteuse	Saisie manuelle par les soignants	BDD ICCA	<p>Pas de données d'administration d'une nutrition entérale dans les 72h après l'admission aux SIP. L'administration d'une nutrition entérale était considérée valide si :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Administration d'un lait thérapeutique - Administration d'un produit de gavage entérale

BDD ICCA : Base de Données ICCA de Philips ; SAP : seringue auto-poussé connecté à la BDD ICCA;

AUTEUR : Nom : MASSON

Prénom : Gabriel

Date de Soutenance : 18/10/2021

Titre de la Thèse : Développement d'un indicateur de la QUALité de la prise en charge des TRAumatismes Crânio-cérébraux sévère de l'Enfant :
Projet iQUATRACE – (Étude de faisabilité)

Thèse - Médecine - Lille 2021

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

DES + spécialité : Anesthésie-Réanimation & Médecine Péri-Opératoire

Mots-clés : Qualité des soins, Traumatisme crânien, Réanimation pédiatrique, Adhérence aux lignes directrices.

Contexte : Une meilleure adhérence aux lignes directrices après un Traumatisme Cranio-Cérébral Grave (TCCG) est associée à une meilleure évolution. Dans une visée d'amélioration de la qualité, ce projet vise à développer et tester un outil automatisé permettant de suivre en temps quasi-réel des indicateurs de l'adhérence aux lignes directrices après un TCCG chez l'enfant.

Matériel et Méthodes : 14 indicateurs de qualité ont été sélectionnés à partir des recommandations internationales de 2019, puis opérationnalisés et programmés. Il s'agit d'une étude rétrospective, monocentrique, sur une base de données collectées prospectivement incluant les enfants d'âge < à 18 ans admis pour TCCG entre avril 2014 et septembre 2020. La capacité de mesurer automatiquement l'adhérence aux recommandations sur les 96 premières heures suivant l'admission a été évaluée. Les facteurs de risque d'une mauvaise adhérence et l'association entre l'adhérence et le devenir des patients [Pediatric Glasgow Outcome Scale Extended (pGOS-E) à 6 et 12 mois] ont été évalués.

Résultats : 30 enfants ont été inclus, dont 53% polytraumatisés. Tous les patients étaient intubés avant l'admission, 43% ont bénéficié d'une craniectomie. La mortalité était de 3%, le pGOS-E médian à 6 mois était de 5 (IQ 3-6), et à 12 mois de 3 (IQ 2-5). Nous avons validé la fonctionnalité des 14 indicateurs pour tous les enfants. Sur les 6 ans, la médiane de la proportion d'adhérence globale aux recommandations était de 0,85 (IQ 0,78 – 0,89). Les indicateurs avec une moins bonne adhérence comprenaient la position de la tête à 30° [0,37 (IQ 0,24 – 0,52)], l'administration des médicaments d'analgo-sédation [0,58 (IQ 0,34 – 0,72)], le contrôle de la PaCO₂ [0,71 (IQ 0,60 – 0,93)]. L'outil permettait de comparer facilement l'évolution des résultats d'une année sur l'autre, ou par patient. Le score PELOD2 était le seul facteur indépendamment associé à la mauvaise adhérence (p=0,044). Il n'a pas été retrouvé de lien entre la proportion d'adhérence globale aux 14 indicateurs et le devenir neurologique (p=0,59).

Conclusion : Notre outil automatisé permet de quantifier l'adhérence aux lignes directrices du TCCG au niveau individuel et au niveau de l'unité des soins intensifs pédiatriques afin d'évaluer la qualité de la prise en charge et la suivre dans le temps. Les premiers résultats mettent en évidence des pistes d'amélioration pour optimiser l'adhérence aux indicateurs au sein du service.

Composition du Jury :

Président : Monsieur le Professeur Benoit TAVERNIER

Assesseurs : Monsieur le Professeur Giles LEBUFFE

Monsieur le Docteur Florent BAUDIN

Monsieur le Docteur Emmanuel VEGA

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Guillaume EMERIAUD