



HAL
open science

Évaluation des compétences mnésiques 3, 12 et 24 mois après un traumatisme crânien sévère de l'enfant : résultats du suivi de la cohorte TGE (Traumatisme Crânien Grave de l'Enfant)

Solène Viot

► **To cite this version:**

Solène Viot. Évaluation des compétences mnésiques 3, 12 et 24 mois après un traumatisme crânien sévère de l'enfant : résultats du suivi de la cohorte TGE (Traumatisme Crânien Grave de l'Enfant). Médecine humaine et pathologie. 2018. dumas-02091176

HAL Id: dumas-02091176

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02091176>

Submitted on 5 Apr 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Évaluation des compétences mnésiques 3, 12 et 24 mois
après un traumatisme crânien sévère de l'enfant :
résultats du suivi de la cohorte TGE (Traumatisme
Crânien Grave de l'Enfant)**

Solène Viot

► **To cite this version:**

Solène Viot. Évaluation des compétences mnésiques 3, 12 et 24 mois après un traumatisme crânien sévère de l'enfant : résultats du suivi de la cohorte TGE (Traumatisme Crânien Grave de l'Enfant). Médecine humaine et pathologie. 2018. <dumas-02091176>

HAL Id: dumas-02091176

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02091176>

Submitted on 5 Apr 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Bordeaux

U.F.R. DES SCIENCES MEDICALES

Année 2018

N° 3118

Thèse pour l'obtention du

DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR en MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement

Le 05/10/2018

Par Solène VIOT

Née le 3 octobre 1989 à Cannes (06)

Évaluation des compétences mnésiques 3, 12 et 24 mois après
un traumatisme crânien sévère de l'enfant :

Résultats du suivi de la cohorte TGE (Traumatisme Crânien
Grave de l'Enfant)

Directrice de Thèse :

Dr Mathilde CHEVIGNARD, PH, MPR, Hôpitaux de Saint-Maurice

Président du jury : Pr Patrick DEHAIL, PU-PH, MPR, CHU de Bordeaux

Rapporteur : Pr Pascale PRADAT-DIEHL, PU-PH, MPR, CHU La Pitié Salpêtrière

Juge : Pr Pierre-Alain JOSEPH, PU-PH, MPR, CHU Bordeaux

Juge : Dr Véronique FLURIN, PH, Neuropédiatre, CAMSP, CHU Bordeaux

Juge : Dr Brigitte DELEPLANQUE, PH, MPR, CAMSP, CHU Bordeaux

L'enfant n'est pas un adulte en miniature, c'est un être en développement.

« La neuropsychologie est la discipline qui traite des fonctions mentales supérieures dans leurs rapports avec les structures cérébrales ». Hecaen et Lantéri-Laura, *Les fonctions du cerveau*.

Table des Matières

Remerciements

Abréviations

Introduction

1) Le traumatisme crânien sévère de l'enfant.

- Définitions.
- Épidémiologie.
- Particularités du traumatisme crânien survenu dans l'enfance.

2) Troubles de la mémoire après traumatisme crânien de l'enfant.

- La mémoire : Définitions et classifications.
- Le développement de la mémoire chez l'enfant.
- Les échelles d'évaluation de la mémoire chez l'enfant : présentation de l'échelle CMS, de la MEM III et MEM IV, des subtests de mémoire de la NEPSY et de la batterie réduite de Signoret.
- Troubles de la mémoire antérograde après traumatisme crânien de l'enfant.

3) Projet d'étude.

Bibliographie

Article

1) Introduction

2) Material and methods

3) Results

4) Discussion

Bibliographie

Conclusion

Serment d'Hippocrate

Remerciements :

Aux membres de mon jury

A Monsieur le Professeur Patrick Dehail, président du jury, je vous remercie amplement pour avoir accepté de présider le jury de ma soutenance de thèse. Vous m'avez accueillie dès mon premier passage à Tastet-Girard, alors que je m'apprêtais à faire mon choix de spécialité d'internat, avec les plus grandes bienveillance et empathie. Je ne saurais exprimer ma gratitude envers tout l'intérêt que vous avez porté à ma formation au cours de l'internat, qui se poursuit encore aujourd'hui avec le projet du post-internat que vous m'avez aidé à construire. Je vous suis entièrement reconnaissante de m'avoir accordé votre confiance et de m'avoir transmis une partie de votre rigueur d'exercice et de votre expérience.

A Madame le Docteur Mathilde Chevignard, directrice de mon travail de thèse, j'aimerais te remercier très chaleureusement de m'avoir acceptée non seulement en stage dans le service de l'INRA, mais aussi et surtout pour m'avoir proposé de travailler sur ce sujet passionnant et qui te tient tant à cœur. Merci de m'avoir donné la possibilité d'apprendre de ton expérience et de ton enseignement de grande qualité ; le temps passé dans le service était trop court. Merci pour tous les emails tardifs, coups de téléphone le weekend, relectures incessantes et sessions de brain-storming qui ont permis de voir ce travail aboutir. Je suis extrêmement reconnaissante d'avoir pu travailler avec toi et espère que nous pourrons à nouveau explorer la cognition de l'enfant ensemble.

A Madame le Professeur Pascale Pradat-Diehl, rapporteur de mon travail de thèse, je vous remercie fortement d'avoir bien voulu juger mon travail et d'en faire le rapport, de votre réactivité, de votre gentillesse et de vos remarques pertinentes. Merci également d'avoir accepté de faire le déplacement ce jour, de Paris à Bordeaux, pour faire partie du jury de ma thèse.

A Monsieur le Professeur Pierre-Alain Joseph, je vous remercie d'avoir accepté de juger ce jour mon travail de thèse. Je vous suis également très reconnaissante pour vos conseils et votre soutien dans la mise en place de mon projet de formation au cours de l'internat.

A Madame le Docteur Brigitte Deleplanque, je vous remercie d'avoir accepté de venir juger mon travail de thèse et particulièrement de m'avoir transmis votre savoir et savoir-faire auprès des enfants, au cours de mon passage au CAMSP de l'Hôpital des Enfants. Merci de l'implication quotidienne que vous avez porté au cours de mon stage, votre droiture et justesse d'analyse sont des exemples que j'espère pouvoir suivre dans l'avenir.

A Madame le Docteur Véronique Flurin, je ne saurais exprimer pleinement toute la gratitude et l'admiration que j'ai à votre égard, tant mon passage au CAMSP, en consultation quotidienne avec vous, a été riche en enseignements, théoriques et médicaux mais aussi humains et relationnels. J'aimerais vous remercier chaleureusement pour tout l'enseignement que vous m'avez apporté, pour votre immense soutien et pour la confiance que vous m'avez accordée. Je ne doute pas que nos échanges futurs seront tout aussi riches et stimulants, et que j'ai encore de nombreuses choses à apprendre à votre contact.

A mes pairs,

A mes co-internes Bordelais : Lucie ma toute première amie en arrivant à Bordeaux et qui le restera pendant de longues années, la première aussi en qui j'ai pu avoir confiance, toujours là pour me soutenir et m'apporter conseil, garde ton originalité et ton libre-arbitre qui te définissent si bien, **Marie-Raphaëlle** l'élément branchouille de la coloc de Pau, toujours pleine de surprises et de bonne humeur, merci pour cette super année en ta compagnie et pour toutes les autres à venir, **Geoffroy et Maxime** des co-internes de choc, le duo bordelais de la promo, merci pour ces 4 années, prêts à partager l'expérience Clinicat / Assistanat ?? **A Andrea, Julie, Cynthia, Alex, Thomas, Adrien, Pierre, Samir, Manon, Martin, Guilhem, Marie Grign...** de super co-internes avec lesquels Tastet, les congrès et les cours de DES deviennent plus fun, et sur lesquels on peut toujours compter.

A mes co-internes Paloisés : Claire-Marie, Audrey, et Claire sans lesquelles le passage en pédiatrie aurait été bien plus difficile, merci pour vos conseils et votre amitié. A Claire-Marie, on se croise entre Paris et Bordeaux depuis 1 an, hâte que tu reviennes pour pouvoir être plus que jamais présentes l'une pour l'autre. Une pensée particulière à Claire, partie trop tôt, tu avais une telle joie de vivre, mais ce monde n'était pas à la hauteur de tes attentes, j'espère que là où tu es aujourd'hui tu as trouvé la paix.

A mes co-internes Parisiens-Niçois : Raphaël, Clémence et Clément ce semestre parisien était inoubliable grâce à vous, et m'a aidé à supporter le froid et le gris (presque) permanent. Merci, j'espère qu'on ne se perdra pas de vue !

A mes copines de DU : Hélène et Marie avec lesquelles j'ai découvert Montpellier et partagé de très bons moments, merci à vous deux et bonne chance pour votre avenir.

A Cécile Bouteiller, mon mentor de Bordeaux, merci pour ton aide, ton enseignement et pour m'avoir accompagnée et accueillie dans le milieu de la MPR pédiatrique. Ta détermination et ta rigueur sont admirables et j'espère chaque jour m'en inspirer. En route maintenant pour poursuivre l'histoire bordelaise ensemble.

A Daniel Lebellego, merci de m'accueillir bientôt au centre de Saint-Trojan, et de m'avoir fait confiance pour lancer ce projet d'Assistanat pour les deux années à venir. Je ne doute pas que nous parviendrons parfaitement à bien travailler ensemble.

A Magaly Ravel, ma « grande-sœur » de la MPR pédiat, merci pour tes conseils et ton aide précieuse qui m'ont permis de mieux appréhender le monde de la pédiatrie, d'y voir plus clair dans le parcours à choisir. Un grand merci pour ta gentillesse, j'espère qu'on aura l'occasion de travailler ensemble durant les années à venir.

A Emmanuelle Douce et Sophie Rouleaud, merci pour m'avoir si bien accompagnée au début de mon internat, alors que je découvrais la région, loin de ma contrée niçoise ; merci à toutes les deux pour votre bienveillance.

A la Tastet Team : Claire, Louise, Hélène, Paul, Philippe, Anne, merci à tous pour tous les fous rires, les heures passées à se tordre dans tous les sens pour mieux repérer les muscles à l'écho, pour tous vos conseils et votre expérience, pour votre bonne humeur qui font qu'à Tastet on se sent toujours « à la maison ».

A l'équipe du CAMSP, un grand merci pour m'avoir intégrée dans votre équipe et m'avoir transmis la fibre de la petite enfance.

A l'équipe de Saint-Maurice : Hanna, Hina, Dr Brugel, et Nathaly, Marieke, Anne-Gaëlle, Françoise, Katherine, merci à toutes (oui le credo selon lequel le monde de la pédiatrie ne serait constitué que de femmes n'est pas toujours un cliché) pour votre accueil chaleureux, riche en enseignements, avec toujours du temps pour vous soucier du bien-être et de l'apprentissage de vos internes. Merci pour votre bonne humeur qui a ensoleillé le climat parisien pendant ces 6 mois !

A Hugo et Georges, sans vous, le monde obscur des statistiques serait resté inaccessible pour moi. Merci pour toutes les heures passées sur des chiffres et algorithmes dont j'aurais aimé ne jamais connaître l'existence : chacun son métier, chacun sa préférence ! Mais grâce à vous cela est devenu plus simple et limpide. Merci pour votre gentillesse et votre disponibilité.

A mes proches

A la team Niçoise : Delphine, Marion, Elodie et Pauline, comment résumer 10 ans d'amitié... Vous êtes sans doute les personnes avec lesquelles j'ai passé le plus de temps ces dernières années. Après les bancs de la fac en P1, nous voilà encore réunies pour aligner les heures à la BU. Mais toujours en profitant des jeudi « années 80 » au Master Home, des brunchs du dimanche et des vacances pour s'évader (Corse, Suisse, Italie, Espagne, USA et Canada...) J'espère ne jamais perdre notre amitié, notre complicité qui font que même si désormais une traversée EST-OUEST du pays nous sépare, nous sommes toujours unies dans les bons et les pires moments. Je ne saurais vous dire à quel point vous êtes importantes pour moi, MERCI. **Michel, Guillaume, Alfred, Paul-Henry** la version masculine de la team, merci de faire partie des personnes que j'estime et qui sont présentes pour moi, en toute occasion.

A Chrystelle et Pierre, et Agathe, merci à vous pour tous les bons moments passés ensemble, pour votre bonne humeur contagieuse et pour votre amitié. Que de joie depuis la venue d'Agathe, un petit trésor qui semble déjà être une future boute-en-train.

A Christian et Lionel, merci à vous deux pour votre amitié sans faille, pour les heures passées à discuter autour de brunchs, de restos, verres, et autres soirées parisiennes et bordelaises. Vous devez avoir un abonnement spécial Paris-Bordeaux maintenant vu le nombre d'aller-retours que vous avez fait, et vous êtes toujours les bienvenus quand vous voulez !

A Marie, ma chère Marie, « my person » dans cet univers médical, mon « autre » version chirurgie, ma comparse de l'internat de Mont de Marsan. Nos caractères sont je pense diamétralement opposés et pourtant, nous n'avons besoin d'un rien pour nous comprendre. Tu reconnaîtras « un geste, un regard qui trahit qui l'on est, on ne change pas... » et c'est un peu vrai. Je nous revois encore en premier semestre et pour moi c'était hier. Merci d'être toujours là pour moi, pour ton soutien et ton amitié. Et merci à **Martin** d'être là toi aussi, aux côtés de Marie, prends-en soin.

A Raphaëlle, ma très belle Raphaëlle, ma définition du bonheur et du soleil a pris une nouvelle définition grâce à toi. Tu es celle qui voit les choses avant les autres, et ton jugement m'ouvre les yeux chaque jour davantage. Je te remercie mille fois pour tout le soutien que tu m'as apporté et pour tous les bons moments passés avec toi. Je te souhaite de vivre un bonheur entier et sans demi-mesure.

A Hafed, Raja, Feyriel et Zoubeida, ma deuxième famille depuis toujours, je vous remercie tous d'être là pour moi aujourd'hui et de vivre depuis près de 20 ans en harmonie avec notre famille. On peut dire grâce à vous, aux heures passées à danser la danse du ventre, à préparer tajine, couscous et autres, que j'ai un peu de sang tunisien dans mes veines et je n'oublierais jamais quelle part importante de ma vie vous avez occupé. Et ce n'est pas fini !

A mon parrain Philippe et ma marraine Annie (et Marc !), merci pour votre amour et votre présence, toujours pleine de richesse et d'humanité. Vous avez été des guides depuis que je suis toute petite, et plus que jamais m'avez apporté soutien et réconfort.

A Axelle, Serge, Sylvie, Delphine, Michel, Sylvie, merci pour tous les bons moments passés en famille, que ce soit à Nice, en Alsace, dans les Pyrénées (à la Souris Verte), en camping-car à travers l'Espagne et le Portugal, en road-trip sur la côte ouest américaine, ou jusqu'en Nouvelle-Zélande, nous en avons vécu des choses ensemble. Merci à vous pour ces années passées et à venir.

A mes cousins de Charente : Jean-Michel et Marie-Christine, Bertrand et Arnaud, Jean-Pierre et Josette, Thibault et Laura, merci pour m'avoir toujours soutenue, et même suivie jusqu'en Aquitaine pour certains. Merci pour votre chaleur et votre soutien, vous me rappelez sans cesse l'importance de nos proches et le bonheur que l'on a en famille.

A tata Paulette, tu as été ma mamie de substitution, je te remercie pour tes remarques toujours drôles et tellement justes, et tes questions souvent indiscretes mais qui égayent les repas de famille. Tu n'as pas d'âge, ton esprit reste toujours celui d'une jeune fille, quoi que tu puisses dire.

A ma grand-mère Ginette, partie bien trop tôt à mon goût mais dont le souvenir reste pour moi indélébile. Tu m'as appris à aimer l'Humain et l'Autre, à donner de manière inconditionnelle, et à toujours être bienveillante envers ceux qui en ont besoin. Ta patience, ta bonté et ta dévotion envers les autres étaient dignes de Mère Térésa, et j'espère que je fais honneur à ta mémoire. J'aurais aimé que tu sois là aujourd'hui.

A Emelyne, ma très très chère Emelyne, amie de toujours, de bientôt 20 ans, mon alliée au collège dans un monde qui était bien différent du nôtre, au lycée dans la musique et le chant, et au cours du temps dans notre proximité d'âme et de regard sur la vie. Qui peut prétendre me connaître mieux que toi parmi mes amis ? Tu es comme une sœur pour moi, malgré les kms qui nous séparent depuis que tu vis au Japon. Merci pour toutes ces heures de discussion en vidéo sur Skype, pour ton esprit vif et joyeux, merci pour tout le soutien que tu m'as apporté depuis ces longues années. J'espère pouvoir te rendre à nouveau visite au Japon.

A Céline, Mila et Emie, les meilleures belle-sœur et nièces que l'on peut rêver d'avoir. Vous êtes de réels soleils, que de belles choses à venir encore pour vous trois. Céline, merci pour tous les conseils que tu as pu me donner, pour ta vision de la vie qui m'aide à relativiser et à apprécier la beauté des choses simples. J'ai de la chance de vous avoir dans ma vie.

A mon frère Nicolas, comment trouver des mots suffisamment forts pour résumer ce que je pense de toi. Tu es l'une des personnes les plus importantes pour moi, tu m'as toujours apporté les meilleurs conseils sur la vie, le travail, les relations humaines et sur toutes les interrogations et doutes que j'ai pu avoir depuis toute petite. A chaque étape de mon parcours scolaire, puis universitaire, tu étais là. Plus que tout, tu m'as apporté l'amour incroyablement inconditionnel qu'un frère puisse avoir envers sa petite sœur. Je t'admire et prendrai toujours exemple sur toi.

A mon père, l'homme le plus courageux et humble que je connaisse. Tu m'as transmis le goût du travail bien fait, la valeur de l'effort et de la rigueur. L'exemple de ta force et de ta détermination sont des modèles pour mener à bien les projets qui m'importent, personnels et professionnels. Tu m'as appris à ne jamais courber le dos, à « garder le

rythme » au long de toutes ces années d'études. Tu m'as aussi appris à savoir rester humble devant chaque situation. Chaque jour je devrais te remercier pour tout le soutien, sans faille, que tu m'as apporté, pour toute la confiance que tu mets en moi, et pour la fierté que je lis dans tes yeux. J'espère ne jamais te décevoir. Merci papa.

A ma mère, celle sans laquelle je ne serais pas la personne que je suis aujourd'hui. Le courage que tu as montré dans ta vie est plus qu'admirable, tu n'as pourtant jamais baissé les bras. Tu t'es toujours battu pour tes enfants, et je te suis extrêmement reconnaissante de tout ce que tu as fait pour moi. Ton humanité, ton sens du partage et de l'échange avec les autres, ton empathie et ta capacité à écouter sont des forces morales que j'admire. Tu m'as tellement soutenue toutes ces années, je ne te remercierai jamais assez. J'avais beau dire que « j'allais faire tout sauf comme ma mère », finalement j'emprunte presque la même voie que toi, et en réalité je serais plus que fière de devenir la moitié de la femme que tu es. En ce jour de thèse, je voudrais te dire merci : car c'est grâce à toi, inconsciemment sûrement, que le développement de l'enfant est devenu le sujet premier de mon travail.

Abréviations

AC : Administrateur Central

BP : Boucle Phonologique

BE : Buffer Episodique

CMS : Children's Memory Scale

CVS : Calepin Visuo Spatial

GCS : Glasgow Coma Scale

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

ISS : Injury Severity Score

MdT : Mémoire de Travail

MLT : Mémoire à Long Terme

MEM III : Echelle Clinique de Mémoire de Weschler

PIFOS: Pediatric Injury Functional Outcome Scale

PTS : Pediatric Trauma Score

SBS : Syndrome du Bébé Secoué

TBI : Traumatic Brain Injury

TC : Traumatisme Crânien

Introduction :

1) Le traumatisme crânien sévère de l'enfant.

- Définitions.

Le Traumatisme Crânien (TC), chez l'enfant comme chez l'adulte, se définit par un choc accidentel sur le crâne, compliqué ou non de lésions de l'encéphale. Les lésions peuvent être primaires (commotion, contusion ou hématome sous-dural aigu) ou secondaires, apparaissant après un certain délai (hématome extradural, œdème cérébral, hématome sous dural chronique). La sévérité d'un TC est généralement évaluée à l'aide du score de coma de Glasgow pédiatrique, présenté dans la figure ci-dessous. Selon la réponse du patient aux différentes stimulations et au score de Glasgow, le TC est classifié en TC « léger », « modéré » ou « sévère ».

Score de Glasgow Pédiatrique

| Critères | Score | > 5ans | 2 - 5 ans | < 2 ans |
|-------------------------------|----------------------------|--|---|---|
| Ouverture des yeux (E) | 4 3 2 1 | Spontanée A la parole A la douleur Nulle | Spontanée A la parole A la douleur Nulle | Spontanée A la parole A la douleur Nulle |
| Réponse Verbale (V) | 5 4 3 2 1 | Orientée Confuse Inappropriée Incompréhensible Nulle | Mots/phrases appropriés, sourit, suit du regard Mots/phrases inappropriés, pleurs consolables Cris, pleurs inconsolables Gémit à la douleur Nulle | Sourire/interaction Cris irritables Pleurs/cris inappropriés Gémissements, agitation Nulle |
| Réponse Motrice (M) | 6 5 4 3 2 1 | Obéit aux ordres Localise la douleur Retrait à la douleur Flexion à la douleur (décortication) Extension à la douleur (décérébration) Nulle | Obéit aux ordres Localise la douleur Retrait à la douleur Flexion à la douleur (décortication) Extension à la douleur (décérébration) Nulle | Mouvements spontanés dirigés Se retire au toucher Se retire à la douleur Flexion à la douleur (décortication) Extension à la douleur (décérébration) Nulle |

Un TC sévère est défini par la présence d'un coma, soit un score de coma de Glasgow (Glasgow Coma Scale - GCS) standard ou pédiatrique inférieur ou égal à 8.

- Épidémiologie.

Les TC sévères sont la première cause de décès accidentel après l'âge de 1 an (1) et la principale cause de mortalité et de handicap chez les enfants de 1 à 18 ans dans les pays développés.

D'après une revue récente de la littérature sur l'épidémiologie des TC, ils sont responsables de 691 passages sur 100.000/an aux urgences, dont 74 sur 100.000/an nécessitent une hospitalisation (principalement les moins de 5 ans et les adolescents). L'immense majorité des TC est constituée de TC légers, et 10 à 15% sont des TC sévères, avec une nette sous-estimation des TC (surtout légers) répétés dans ce type d'étude d'incidence annuelle.(2)

Les principales causes de TC sévères sont les chutes, notamment de lieux élevés, comme par exemple la défenestration (surtout avant l'âge de 5 ans), et les accidents de voie publique (surtout chez les plus de 15 ans). (2) Le syndrome du bébé secoué (SBS) est la première cause de TC sévère chez les nourrissons de moins de 1 an, même si l'incidence reste difficile à déterminer. Du fait d'un mécanisme lésionnel particulier, le SBS ne fera pas l'objet de l'étude présentée ci-après.

- Particularités du traumatisme crânien survenu dans l'enfance.

L'évaluation initiale des séquelles neurologiques d'un TC et de leur retentissement fonctionnel chez l'enfant est par nature délicate, du fait de la survenue du TC en plein processus de maturation et donc dans un contexte d'immaturité cérébrale. D'une part les lésions surviennent sur un cerveau partiellement mature et peuvent entraîner l'altération des circuits déjà mis en place; d'autre part, des lésions survenues dans des régions immatures au moment de l'accident (plus vulnérables aux agressions, donc potentiellement responsables de conséquences plus sévères) peuvent passer inaperçues et certains déficits peuvent ne pas être décelés tant que l'âge théorique d'acquisition de la fonction concernée n'est pas atteint.(3)

Chez l'enfant, les déficits peuvent se manifester de deux manières, qui peuvent se combiner : initialement on peut observer une perte des acquisitions faites antérieurement à l'accident, et/ou par la suite on peut progressivement noter l'absence d'apparition (ou une apparition incomplète et retardée) des acquisitions attendues pour l'âge de développement de l'enfant, au cours de sa croissance. (3) Tout l'enjeu de l'évaluation du pronostic fonctionnel chez l'enfant réside bien sûr d'une part dans le suivi de l'évolution de l'enfant à long terme, mais nécessite également l'anticipation de son développement et la connaissance des troubles générés par des lésions cérébrales précoces.

Selon la théorie dynamique, le développement psychomoteur et cognitif de l'enfant serait étayé par l'expérimentation qu'il fait au cours de l'exploration de son environnement, avec une influence de la manière dont il perçoit et interagit avec le monde extérieur sur son développement cérébral.(4,5) Il est donc légitime d'envisager que le développement cognitif, et notamment les compétences mnésiques de l'enfant, puisse être entravé, en plus du substratum lésionnel initial, par le manque d'expériences sensorielles au cours de l'enfance, du fait de séquelles fonctionnelles du traumatisme crânien (troubles visuels, difficultés praxiques et motrices, troubles du langage, lenteur de traitement de l'information, troubles de l'attention...), même si initialement l'enfant ne semble pas présenter de séquelles sur le plan mnésique.

Il existait dans la littérature l'idée d'une meilleure récupération fonctionnelle chez l'enfant après lésion cérébrale par le biais de la plasticité cérébrale. (3) Le pronostic est en effet meilleur sur le plan des fonctions vitales (20% de décès contre 50% chez l'adulte) (6) et pour la récupération des troubles moteurs. Mais des études récentes ont retrouvé, notamment à long terme, de moins bonnes performances chez l'enfant dans de nombreux domaines (cognitif, marche et équilibre, coordination et motricité fine) (7–11) , et ce d'autant plus que les lésions sont sévères, diffuses et que l'âge de survenue du TC est précoce. (12–14) La plasticité cérébrale existe donc certainement, mais les théories récentes suggèrent également un phénomène de vulnérabilité précoce, dont les effets pourraient à terme entraîner des déficits d'autant plus sévères que les lésions cérébrales sont survenues tôt dans le développement.(14,10,3,15)

Il a été retrouvé également une modification de l'expression de certains gènes après TC dans l'enfance, avec un effet sur la plasticité, le métabolisme énergétique et la croissance. (15) Les conséquences à long terme de ces modifications sont actuellement encore au cœur des études.

Dans la méta-analyse réalisée par Asarnow et Babikian en 2009, la notion de sévérité du TC est un facteur indiscutable de l'importance des déficits dans tous les domaines de la neurocognition. (16) En effet, le niveau cognitif des enfants ayant subi un traumatisme crânien dépend du degré de sévérité initiale, avec un écart se creusant dans le temps entre le groupe de TC sévère et les groupes de TC modéré / léger et contrôle. Le graphique ci-dessous illustre par une modélisation mathématique réalisée par les auteurs de cette méta-analyse, le devenir cognitif et la courbe de récupération dans le temps en fonction de chaque groupe de sévérité.

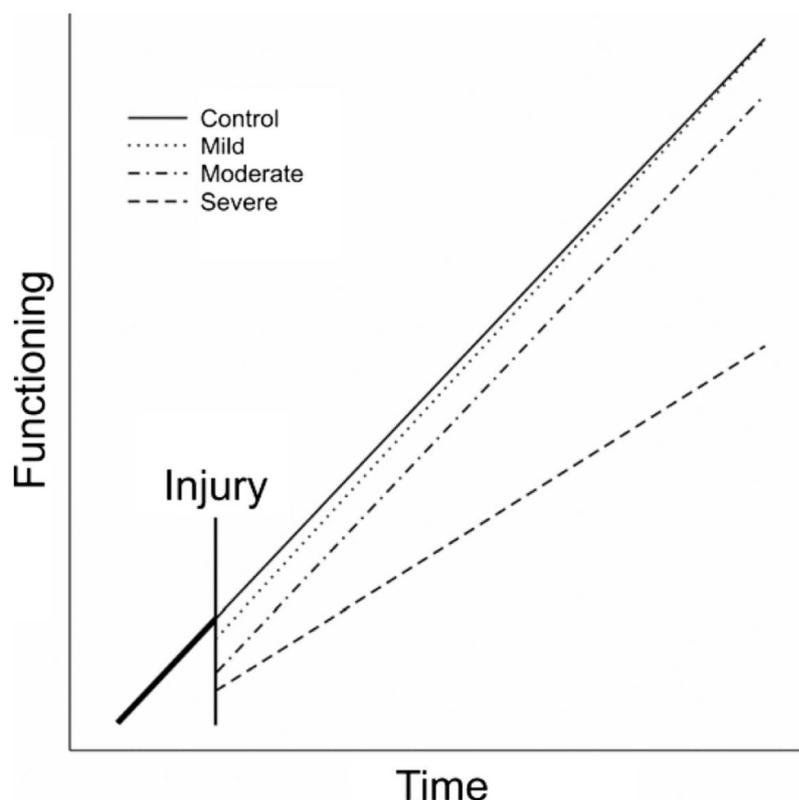


Figure 2.
Summary diagram of trends in neurocognitive outcomes and recovery over time.

Neurocognitive Outcomes and Recovery After Pediatric TBI: Meta-Analytic Review of the Literature, Babikian et Asarnow, 2009.

Il est également admis que la fréquence d'un « handicap invisible » est encore plus élevée dans la population pédiatrique que chez l'adulte, avec des répercussions dans tous les domaines de la vie, et notamment sur le déroulement de la scolarité. (17)

Enfin, le recours aux services de santé et de soutien scolaire est plus fréquent que dans la population générale. (18)

2) Troubles de la mémoire après traumatisme crânien de l'enfant.

- La mémoire : définitions et classifications. (5)

La mémoire est un domaine complexe, qui permet aux individus d'enregistrer des données, des souvenirs, et de les restituer, pour s'en servir ultérieurement. Elle permet la persistance du passé dans l'instant présent. Plus particulièrement chez les enfants, elle représente aussi la capacité à apprendre et à engranger des connaissances, permettant une modification d'un comportement futur. Cependant les souvenirs ne sont pas enregistrés tels quels, ils sont réorganisés tout au long du processus de mémorisation (ou d'apprentissage).

Squire, en 1987 proposait la définition suivante « l'apprentissage est le processus d'acquisition de nouvelles informations, alors que la mémoire fait référence à la persistance de l'apprentissage dans un état qui pourra être révélé plus tard. »

La mémoire serait donc la conséquence des apprentissages.

Il existe 4 étapes clefs de mémorisation, chacune d'entre elle pouvant être indépendamment altérée après lésion cérébrale :

- 1) L'inscription en mémoire = **Encodage.**
- 2) La création d'une représentation plus solide avec le temps = **Consolidation**
- 3) La conservation permanente de l'information = **Stockage**
- 4) L'utilisation ultérieure des données mémorisées = **Restitution**

Plusieurs « centres » de la mémoire ont été décrits, notamment l'hippocampe, le cortex temporal, le cortex pré-frontal (avec participation des centres de planification et des

fonctions exécutives). Leur atteinte secondaire aux lésions cérébrales a été décrite et mise en lien avec des troubles mnésiques ultérieurs.(16,19–22)

La mémoire dépend de plusieurs autres systèmes cognitifs, tels que l'efficacité intellectuelle, les capacités attentionnelles, les fonctions exécutives, l'état psychique et émotionnel du sujet au moment de la mémorisation. De même, il n'existe pas une seule mémoire, mais bien différents types de mémoire, interdépendants, qui peuvent être atteints isolément ou de manière combinée après une lésion cérébrale. Ainsi, alors qu'un enfant aura une atteinte dans un domaine de la mémoire, il pourra tout de même mettre en jeu les autres types de mémoire pour acquérir des notions nouvelles. Réciproquement, certaines compétences mnésiques seront compromises indirectement par l'atteinte d'autres processus cognitifs, comme des troubles attentionnels, ou des troubles langagiers ou visuo-spatiaux par exemple.

Classification selon la durée du souvenir :

a) Mémoire sensorielle.

Il s'agit de la forme de mémoire la plus éphémère : elle correspond à l'intégration de toute nouvelle information perçue, et ce pendant quelques centaines de millisecondes seulement.

b) Mémoire à court terme.

Elle permet de conserver l'information temporairement, de quelques secondes à 1-2 minutes, avec une capacité en nombre d'informations limitée (7 items au maximum environ, variable selon l'âge). La mémoire à court terme est utilisée dans des activités telles que le calcul, la lecture, les échanges d'informations (numéro de téléphone, données dictées à retranscrire...), etc. Il s'agit d'un processus de stockage passif de l'information (verbale ou visuo-spatiale) permettant une restitution simple.

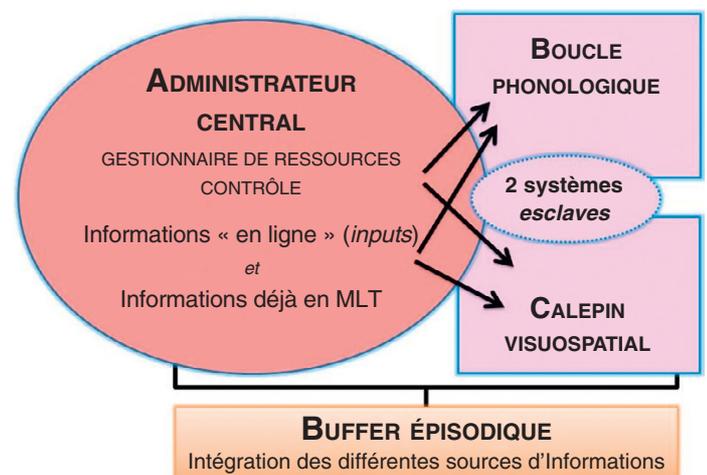
c) Mémoire de travail.

La mémoire de travail comprend non seulement un espace de stockage, mais également un processeur de contrôle, permettant un travail cognitif en temps réel sur des données

stockées temporairement. Elle est souvent classée parmi les fonctions exécutives, dont elle dépend fortement puisqu'elle nécessite une qualité d'attention/concentration suffisante, une capacité de travail en double tâche, etc.

Le modèle le plus couramment utilisé est celui décrit par Baddeley (1986, 2000), qui comprend 4 composantes :

- **Administrateur central** : gestion des ressources attentionnelles avec contrôle de 2 systèmes « esclaves ». Il intègre à la fois les entrées sensorielles immédiates, et les informations stockées en mémoire à long terme.
- **Boucle phonologique** : permet le maintien temporaire des entrées sensorielles auditivo-verbales. Elle est composée d'un élément de stockage (stock phonologique) qui maintient actives les informations durant environ 2 secondes, et un processus actif de répétition, de récapitulation articulatoire afin de maintenir actives les informations, permettant d'effectuer sur ces données un travail cognitif.
- **Calepin visuo-spatial** : maintien temporaire des entrées sensorielles visuelles et visuo-spatiales, mais aussi des images mentales générées lors d'un travail cognitif. Il dispose également d'un système de stockage et d'un dispositif de répétition.
- **Buffer épisodique** : il est lui aussi sous le contrôle de l'administrateur central. Il permet de stocker temporairement des informations de différentes modalités sensorielles. Il intervient dans la récupération des informations pertinentes en mémoire à long terme (MLT), dans l'inscription en MLT des informations provenant de la MdT, et dans l'encodage et la récupération en mémoire épisodique.



Tiré du manuel de M.MAZEAU, Neuropsychologie et troubles des apprentissages chez l'enfant. 2014.

Fig. 4.3. Structure de la mémoire de travail.
MT : mémoire de travail ; MLT : mémoire à long terme.

d) Mémoire à long terme.

Elle permet de garder en mémoire des informations sur une plus longue durée, permanente, avec une capacité quasi-illimitée. Ce type de stockage est plus stable dans le temps. Elle est assimilée au modèle de « très grande bibliothèque ».

Classification selon l'axe temporel :

a) Mémoire rétrograde.

Elle concerne des connaissances et données stockées dans le passé.

b) Mémoire antérograde.

Elle concerne les informations nouvelles à enregistrer, permettant de faire de nouvelles acquisitions en mémoire à long terme.

c) Mémoire prospective.

Il s'agit de la présence d'une intention de réaliser une action, et de se souvenir de cette intention ultérieurement, permettant la programmation et la réalisation de cette action dans le futur, grâce au maintien actif en mémoire de faits, idées, actions sur une certaine durée (par exemple penser à prendre ses affaires de piscine le mardi, penser à transmettre un message ou à faire signer un mot, à prendre son traitement à une heure fixe, etc.).

(23)

Classification selon le type de contenu :

a) Mémoire déclarative.

Elle nécessite un effort de rappel volontaire et conscient, avec une utilisation spécifique des données enregistrées.

=> *Mémoire épisodique.*

Mémorisation des souvenirs personnels, autobiographiques et spécifiques, influencés par le contexte de mémorisation et particulièrement le contexte affectif, avec les données

temporelles et spatiales associées (Exemples : date et heure d'un rendez-vous, activité réalisée dans les jours précédents...)

=> *Mémoire sémantique.*

Mémorisation de connaissances générales et de concepts, détachées du contexte de mémorisation, non attribuées à l'histoire personnelle du sujet (Exemples : carte et villes de France, sens des mots, règles grammaticales, nom du président, nom des objets...)

c) *Mémoire procédurale.*

Mémoire implicite de savoir-faire, de schémas de réalisation d'une tâche donnée, permettant l'application de connaissances automatisées (jouer du piano, manipuler le clavier d'ordinateur, conduire, réaliser une chorégraphie, faire ses lacets de chaussure...). Ce type de mémoire permet de faire des apprentissages dans le domaine moteur, et entraîne un changement du comportement du sujet à partir de ses expériences, sans que l'accès aux événements ayant produit ce changement soit nécessairement conscient.

d) *Métamémoire.*

Il s'agit des connaissances ou croyances que l'on possède sur sa propre mémoire. Elle permet de prendre conscience du fonctionnement propre de sa mémoire, et de savoir quelle voie de mémorisation chacun privilégie pour enregistrer les informations sensorielles (visuelles, auditives, ...). Cela permet également de cibler quels outils et aides utiliser de manière appropriée selon ses compétences (ex : check-list, aides mémoires, rappels, agenda...).

Classification selon la modalité d'entrée sensorielle :

a) *Mémoire visuo-spatiale* : intégration des images et des mots (lecture/écriture). Elle nécessite une fonction sensorielle neuro-visuelle intègre, une exploration visuelle et spatiale de qualité, un niveau attentionnel satisfaisant. Historiquement, on décrivait une prédominance de ces fonctions dans les structures de l'hémisphère droit.

b) *Mémoire auditivo-verbale* : intégration des mots (langage oral) et des sons. Elle nécessite une fonction sensorielle auditive correcte, une bonne acquisition de la langue pour la compréhension des énoncés verbaux, un niveau attentionnel satisfaisant, l'absence d'interférences auditives. De même, il était habituellement décrit une prédominance de ces fonctions dans les structures du lobe temporal gauche.

L'existence d'une spécificité hémisphérique pour les stimuli auditifs et visuels est actuellement discutée, entraînant un remaniement progressif de la cartographie cérébrale classiquement décrite.

- Le développement de la mémoire chez l'enfant.

Le développement de la mémoire chez le bébé commence par la mise en place de la mémoire procédurale implicite, décrite dès l'âge de 2 mois avec la rétention de l'association stimulus / réponse (mouvements de pieds du bébé/ mouvements du mobile) pour une durée de quelques heures à l'âge de 2 mois, jusqu'à 2 semaines vers l'âge de 3 mois. (24)

Il existe donc une mémorisation précoce, bien que fragile chez le très jeune enfant, avec un effet de l'âge sur la durée de rétention.(5,25)

Les délais de mémorisation augmentent avec le temps. Se développe notamment la permanence de l'objet exploré, qui atteint 5 minutes à partir de l'âge de 8 mois, âge au-delà duquel le nourrisson développe ses compétences de mémoire en reconnaissance.

La mémoire procédurale, efficace de manière précoce et se développant majoritairement durant la première année de vie, représente une base pour les premiers apprentissages sensorimoteurs par le biais de l'expérimentation active et de l'imitation.(5)

La mémoire autobiographique se constitue ensuite progressivement en s'appuyant sur la mémoire épisodique et en interaction avec différentes composantes telles que l'état émotionnel et affectif précocement, puis les compétences verbales, l'efficacité cognitive, les concepts mentaux et enfin la conscience de soi (18-24 mois).

La conscience de soi est définie par la perception de soi-même comme une unité différente de l'autre, une individuation propre et la faculté à rapporter ce que nous savons, ressentons, expérimentons à une réalité intérieure, le « moi ». Elle est en partie structurée grâce à la mémoire et aux souvenirs.

La mémoire épisodique apparaît donc très précocement ; dès l'âge de 6-9 mois, le nourrisson peut mémoriser des événements de manière précise.

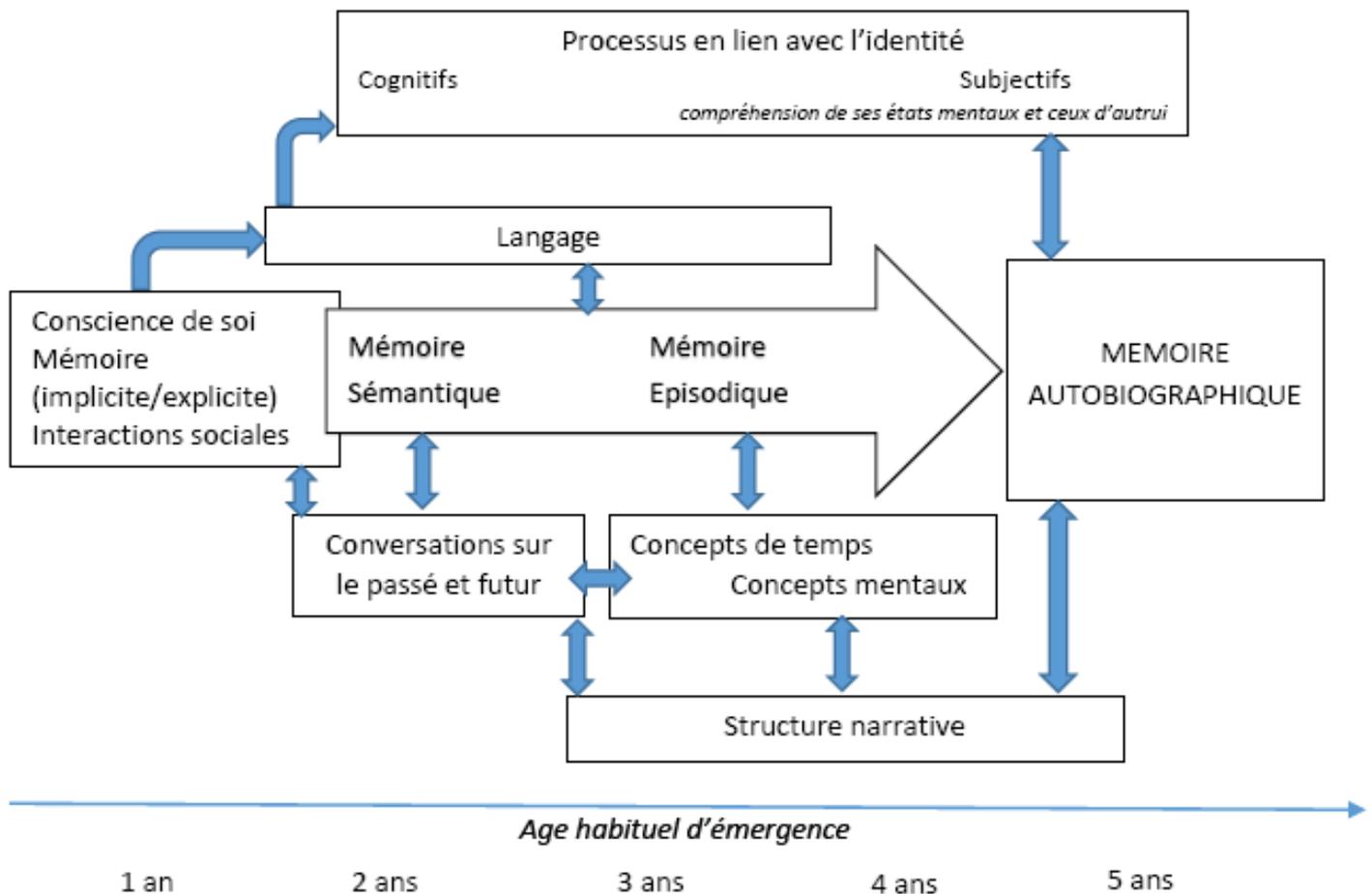
A partir de 3 ans, et parallèlement au développement du langage, la mémoire épisodique (et plus globalement la mémoire déclarative), s'enrichit de manière graduelle, principalement sur le versant des connaissances sémantiques.

Cependant il est très difficile de pouvoir l'évaluer de manière objective et spécifique avant l'âge de 5 ans. L'apparition et la maîtrise de la notion de temps à partir de 5 ans, et la consolidation de la conscience de soi permettent une meilleure organisation des souvenirs et facilitent le rappel volontaire.

En outre, ces éléments mémorisés sont inaccessibles, pour la plupart, au rappel à l'âge adulte. Il s'agit de ce qu'on appelle « l'amnésie infantile », soit la capacité à n'évoquer presque aucun souvenir avant 3 ans, et peu avant 5-7 ans.

Les principales hypothèses avancées sont d'une part l'immaturité des hippocampes à cet âge, l'insuffisance des capacités langagières permettant la consolidation et la récupération des souvenirs, et enfin le fait que ces premiers souvenirs soient consolidés dans le domaine sémantique ou procédural et non épisodique, et soient donc moins accessibles au rappel volontaire explicite.(5)

La figure présentée ci-dessous représente le modèle décrit par Nelson et Fivuch en 2004, rendant compte des différentes étapes de mise en place de la mémoire, et son interaction avec les autres structures cognitives dans les premières années de vie de l'enfant, avec des repères temporels d'acquisitions présentés à titre indicatif.



Modèle de développement de la mémoire chez le jeune enfant, selon Nelson et Fivuch, 2004.

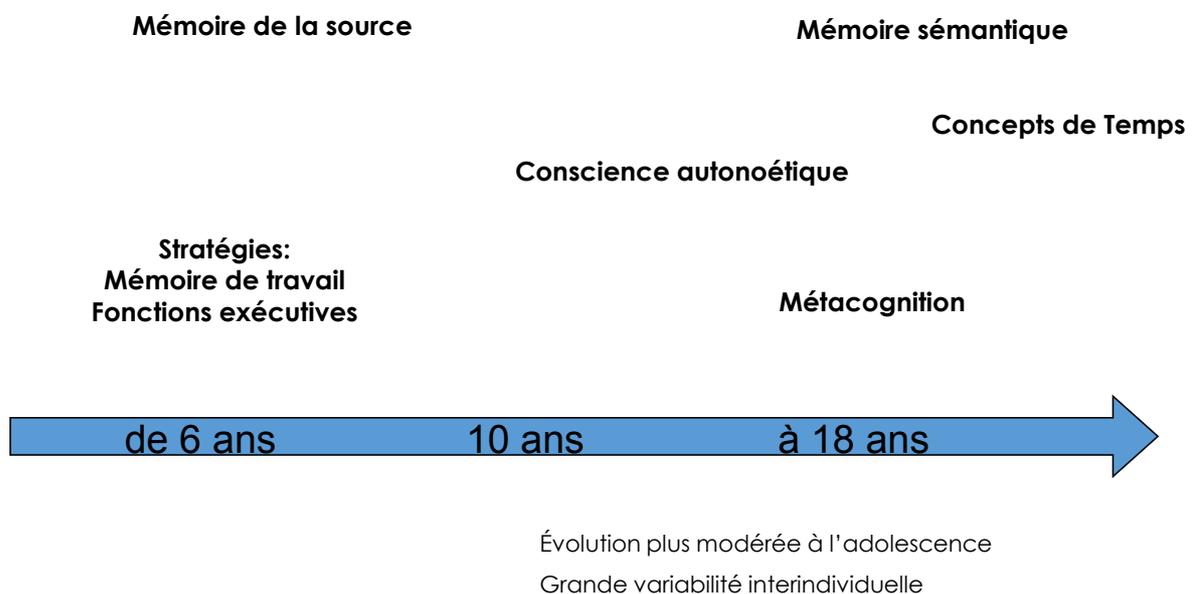
A partir de 6 ans, l'enfant développe de nouvelles compétences lui permettant de répondre à des contraintes d'apprentissages plus importantes, du fait de l'entrée dans la scolarité. Notamment, la mise en place de la mémoire de travail et des fonctions exécutives/attentionnelles, l'intégration de la notion du temps permettent une meilleure organisation des pensées et des souvenirs. L'enfant développe ainsi progressivement (implicitement ou après apprentissage) des stratégies de mémorisation de plus en plus efficaces.

Le développement de la conscience autoéotique, à savoir la représentation du soi dans le temps, la capacité à faire le lien entre le soi d'aujourd'hui et le soi d'hier, marque également de début de la possibilité de faire le lien entre le contenu de l'évènement et son origine.

Ainsi, initialement l'enfant utilise des stratégies de récupération de type séquentiel, fastidieuses et longues, sensibles aux oublis et aux interférences. Puis progressivement, l'enfant développe une capacité à extraire directement les données mémorisées de manière sélective et précise.

La mémoire se construit donc selon un continuum jusqu'à l'âge adulte, du fait du développement intrinsèque des processus mnésiques, mais également du développement des stratégies (verbales, exécutives) mises en œuvre. La figure suivante présente le modèle de Bérengère Guillery, illustrant ce continuum de développement de la mémoire dans le temps, avec les âges d'acquisition des différentes compétences permettant le perfectionnement du fonctionnement mnésique.

Modèle de développement des ressources cognitives en lien avec la mémoire, selon B. Guillery.



Du fait de la mise en place progressive des processus cognitifs, dont la mémoire, au cours de la croissance, la particularité d'une atteinte cérébrale chez l'enfant réside dans le fait que le retentissement cognitif pourra avoir plusieurs modes de révélation : perte ou altération d'une capacité déjà partiellement ou totalement acquise et consolidée, ou retard ou absence de mise en place d'une fonction. Après une lésion cérébrale acquise

de l'enfant, surtout lorsqu'elle est sévère, il est très difficile d'anticiper précisément le développement et les séquelles éventuelles à long terme. Il est donc indispensable de prévoir systématiquement un suivi prolongé et approfondi du développement de l'enfant, sur le plan neurologique et neuro-orthopédique, sur le plan cognitif, comportemental, de l'autonomie et de la scolarité et des apprentissages.

- Les échelles d'Évaluation de la Mémoire chez l'enfant.

Il existe quatre principales batteries développées, standardisées et disponibles en langue française pour évaluer les différents processus mnésiques chez l'enfant. Elles comportent généralement plusieurs subtests, permettant de distinguer les compétences dans les domaines visuel et auditivo-verbal. Dans ce travail nous détaillerons principalement la Children's Memory Scale (CMS), échelle utilisée pour l'évaluation de la mémoire dans l'étude de cohorte TGE.

1. Echelle CMS (Children's Memory Scale), développée par Morris J. Cohen. (26,27)

L'échelle CMS correspond à une extension et adaptation de l'Echelle Clinique de Mémoire pour Adultes de Wechsler. Elle a été étalonnée aux USA chez 450 enfants de 5 à 16 ans. Elle a été traduite en version française en 2001, et étalonnée à partir d'une population de 534 enfants de 5 à 16 ans.

Dans la population générale, les résultats chiffrés associés aux épreuves de mémoire sont exprimés en notes standard suivant une distribution gaussienne de moyenne 10 (écart-type 3) pour les subtests et de moyenne 100 et d'écart-type 15 pour les indices composites. Plus le score est bas, moins les capacités mnésiques sont efficaces, et plus le score est élevé, plus les compétences de mémorisation sont élevées.

La durée de passation de la batterie CMS est de 60 minutes au minimum.

Il existe 2 versions selon l'âge de l'enfant : de 5 à 8 ans et de 9 à 16 ans (différences adaptées à l'âge en termes de complexité des épreuves, notamment au niveau des histoires).

Cette échelle permet d'effectuer un bilan exhaustif de la mémoire et des capacités d'apprentissage de l'enfant. Elle évalue un certain nombre de dimensions de la fonction mnésique, telles que la mémoire à court et à long terme dans les domaines verbal et visuel, la mémoire de travail ainsi que les capacités d'apprentissage et d'attention. Les neuf subtests évaluent trois principaux domaines de fonctionnement de la mémoire et des apprentissages : auditivo-verbal, visuel/non verbal et attention/concentration.

Les épreuves évaluant la mémoire auditivo-verbale permettent d'obtenir des notes standard en mémoire verbale immédiate et différée, conduisant au calcul d'un indice global de mémoire auditivo-verbale. Les sub-tests employés sont :

- **Histoires 1 et 2** : Il s'agit de lire à l'enfant une histoire courte, adaptée à l'âge. Il doit ensuite raconter l'histoire avec le plus de détails possibles, sans limite de temps. On compte 1 point pour chaque unité rappelée correctement. Il y a en tout 2 histoires lues avec un Rappel Immédiat. La somme des notes obtenues donne le score total. La deuxième partie de l'épreuve s'effectue après un délai de 25 à 35 minutes. L'enfant doit là encore restituer le plus de détails possibles de chaque histoire, le total de bonnes réponses constituant la note brute en Rappel Différé. L'examineur pose ensuite une série de questions concernant les histoires (lieu, moment où elles se déroulent, identité et activités des personnages, etc..), chaque bonne réponse étant additionnée et constituant la note brute en Reconnaissance Différée. On obtient ainsi 3 notes standard: une en **Mémoire Verbale Immédiate (VeIM)**, une en **Mémoire Verbale Différée (VeDM)** et une en **Reconnaissance Différée (DR)**.
- **Mots couplés 1 et 2** : Il s'agit d'énoncer une liste de mots associés deux à deux (par exemple : « arbre-école »). L'examineur répète ensuite le premier mot de chaque association (exemple : « arbre »). L'enfant doit alors retrouver le mot qui lui est associé (exemple : « école »), ce qui permet de calculer une note brute de Rappel Immédiat. L'exercice est répété 3 fois, avec un ordre d'énoncé des mots couplés différent à chaque reprise. A l'issue des 3 essais, l'enfant devra donner la liste de mots couplés (« arbre-école », « voir-magie », etc..) intégralement, cette étape permettant de calculer la note brute Apprentissages. La note brute totale est obtenue en additionnant la note brute Apprentissages et la note brute Rappel Immédiat. Après un

délai de 25 à 35 minutes, l'enfant devra restituer la liste de mots-couplés, le nombre d'associations restituées correctement constituant la note brute en Rappel Différé. Puis, il devra reconnaître parmi une liste de mots couplés, ceux appris précédemment. Les bonnes réponses sont alors additionnées pour donner la note brute en Reconnaissance Différée (maximum = 42). On obtient finalement 4 notes standard : une en **Apprentissages (L)**, une en **Mémoire Verbale Immédiate (VeIM)**, une en **Mémoire Verbale Différée (VeDM)**, et une en **Reconnaissance Verbale Différée (DR)**.

Les épreuves évaluant la mémoire visuelle permettant d'obtenir des notes standards en mémoire visuelle immédiate et différée, et permettant le calcul d'un indice global de mémoire visuelle, sont :

- **Localisation de points 1 et 2** : Il s'agit de reproduire un modèle proposé en 2 dimensions, en plaçant des jetons de couleur bleue dans un quadrillage pré-dessiné. Le modèle est présenté pendant cinq secondes puis caché. On compte 1 point pour chaque jeton bien placé. Il y a 3 essais consécutifs en Rappel Immédiat. Entre les 3 essais permettant l'Apprentissage et la phase de Rappel Immédiat, il est présenté à l'enfant une grille « interférente » avec des jetons rouges. Puis l'enfant doit rappeler à nouveau la grille avec les jetons bleus, apprise en 3 essais initialement. Après un délai de 25 à 35 minutes, l'enfant doit reproduire le modèle initial, le nombre de bonnes localisations correspondant à la note brute en Rappel Différé. On obtient donc 3 notes standards : une en **Apprentissages (L)**, une en **Mémoire Visuelle Immédiate (ViIM)**, et une en **Mémoire Visuelle Différée (ViDM)**.
- **Reconnaissance de visages 1 et 2** : On présente à l'enfant une série de visages, présentés chacun pendant 3 secondes. Il s'agit ensuite de reconnaître parmi une autre série de visages comprenant des distracteurs, ceux visualisés précédemment, en Rappel Immédiat, puis en Rappel Différé après 25 -35 minutes. L'enfant doit dire si oui ou non les visages proposés font partie de la série initiale. On additionne le nombre de bonnes réponses (maximum 48), ce qui constitue la note brute, en Reconnaissance Immédiate et en Reconnaissance Différée. On obtient donc 2 notes standards : une en

Mémoire Visuelle Immédiate (ViIM) et une en **Mémoire Visuelle Différée (ViDM)**.

Les épreuves permettant d'obtenir un indice d'attention/concentration sont :

- **Mémoire de chiffres** : Il s'agit d'un empan de chiffres, en ordre direct puis inverse. L'examineur doit arrêter l'épreuve après un échec aux 2 essais d'un même item. Chaque séquence correcte compte pour 1 point, le total de points constitue la note brute d'ordre direct / inverse, et la somme des 2 la note brute totale (maximum 30).
- **Séquences** : Il s'agit pour l'enfant d'énoncer des séquences diverses, avec une note pour le nombre d'erreurs commises, la précision des réponses et le temps de réponse. Les séquences demandées sont (nombre variable selon l'âge) : comptine numérique de 1 à 10, alphabet, jours de la semaine, comptine numérique de 10 à 1, de 20 à 1, les jours de la semaine à rebours, les mois de l'année, les nombres impairs de 1 à 15, compter de 4 en 4 jusqu'à 40, de 6 en 6 jusqu'à 60, les mois de l'année à rebours, l'association lettres de l'alphabet et comptine numérique (A1 B2 C3, etc. Jusqu'à Z26).

Les notes brutes obtenues aux deux dernières épreuves, converties en notes standard, permettent d'obtenir une note standard **d'Attention/Concentration (A/C)**.

- **Épreuves complémentaires** : scènes de famille, liste de mots, localisation d'images. Non utilisées dans cette étude et peu utilisées en pratique clinique courante.

Cette échelle permet de calculer des Indices qui permettent d'évaluer et de comparer les modalités de mémoire visuelle et verbale, ainsi que les ressources attentionnelles mobilisées, afin de préciser le profil mnésique de l'enfant. Cela permet aussi de préciser ses difficultés (dans les processus d'encodage, de stockage et/ou de récupération). De plus, des éléments qualitatifs sont intégrés et analysés : intrusions, fausses reconnaissances, persévérations, sensibilité à l'interférence (signes dysexécutifs).

La combinaison des différents indices permet de calculer un indice de **Mémoire Générale**, qui tient compte uniquement des indices de mémoire verbale et visuelle, immédiate et différée.

2. Échelle MEM-III de Wechsler. (28)

Il s'agit d'une évaluation de la mémoire pour les enfants âgés de 16 ans et plus, correspondant à une adaptation et traduction française de l'échelle clinique de mémoire de Wechsler, effectuée en 1997 et 2001. Un nouvel aspect du fonctionnement mnésique y a été introduit, celui de la mémoire de travail. Outre le fonctionnement mnésique, la passation et l'interprétation des résultats permettent aussi d'évaluer les capacités d'attention et de concentration, ainsi que certaines formes d'apprentissage, pour aboutir à l'élaboration de programmes rééducatifs ou thérapeutiques.

Une version plus récente (la MEM-IV) a été publiée en 2012.

Cette échelle n'ayant été utilisée pour l'étude TGE que chez les patients de 16 ans et plus, soit un petit effectif, et ses indices et subtests étant comparables à ceux de la CMS, il semblait redondant de décrire en détail ses conditions de passation.

3. La Batterie d'Efficiences Mnésiques de Signoret, version réduite (BEM84).

Il s'agit d'une batterie générale d'évaluation mnésique, incluant des épreuves de mémoire épisodique. La version BEM 84 est une version réduite de la BEM 144, d'une durée de passation d'environ 1 heure. Cette batterie comporte :

- Une présentation de 24 figures géométriques sans signification.
- Une présentation puis un rappel immédiat d'une histoire.
- Une présentation puis un rappel immédiat d'une figure géométrique complexe.
- Apprentissage en 3 essais d'une liste de 12 mots non reliés.
- Un rappel différé de l'histoire, de la figure complexe et des 12 mots.
- Une reconnaissance différée des 24 figures sans signification.

Elle est intéressante pour dépister des troubles mnésiques, notamment si l'enfant rapporte peu de plaintes, ou s'il est très fatigable, notamment à la phase initiale après une lésion cérébrale.

4. Subtests visuels et verbaux de la batterie NEPSY. (29)

La NEPSY est une batterie d'évaluation développée pour enfants de 3 à 16 ans, permettant une évaluation neuropsychologique complète en évaluant le langage, les fonctions attentionnelles et exécutives, les fonctions sensori-motrices, le traitement visuo-spatial et la mémoire. Il n'y a pas d'indice cognitif global.

Parmi les 27 subtests, les items évaluant spécifiquement la mémoire sont :

- Pour la mémoire visuelle : mémoire des visages, des figures, des prénoms.
 - Pour la mémoire auditivo-verbale : liste de mots, mémoire narrative (histoires), répétition de phrases.
- Troubles de la mémoire antérograde après traumatisme crânien de l'enfant.

Il est actuellement reconnu que les troubles de mémoire, et notamment la mémoire antérograde, sont fréquents, persistants et invalidants après TC sévère de l'enfant, avec un retentissement sur les capacités d'apprentissage et le déroulement de la scolarité. Les facteurs connus pour influencer les compétences mnésiques après un TC sévère de l'enfant sont d'ordre démographique, lésionnels et environnementaux. En effet les données de la littérature actuelle suggèrent principalement un effet de l'âge de survenue du TC (en défaveur des âges précoces), du statut socio-économique des parents (en défaveur des milieux défavorisés), du niveau de fonctionnement antérieur au TC, du degré de sévérité du TC et du délai écoulé depuis le TC. Ces facteurs et la synthèse de la littérature concernant les troubles de la mémoire après TC sévère de l'enfant sont synthétisés dans l'article constituant la deuxième partie de cette thèse et détaillés dans le tableau récapitulatif de la littérature joint en annexe 1 (document de travail).

Cf Tableau récapitulatif de la littérature – Annexe 1

3) Projet d'étude

L'objectif principal de cette étude était de réaliser une évaluation exhaustive des compétences mnésiques après un TC sévère survenu dans l'enfance et leur évolution longitudinale dans le temps à 3, 12 et 24 mois du TC, au moyen d'une étude prospective longitudinale, en utilisant comme critère de jugement principal l'échelle d'évaluation de la mémoire CMS et ses différents subtests.

Les objectifs secondaires étaient (1) de déterminer les facteurs associés aux performances mnésiques à 3, 12 et 24 mois du TC, en examinant l'effet relatif sur les compétences mnésiques des facteurs démographiques et environnementaux (âge de survenue du TC, niveau socio-économique familial) et des facteurs liés à la sévérité du TC ; (2) d'étudier les liens entre les compétences mnésiques et les autres conséquences du TC, dans les domaines cognitif (notamment le niveau d'efficacité intellectuelle), fonctionnel, et avec les troubles moteurs et le niveau de handicap global ; et (3) de déterminer les liens entre les compétences mnésiques évaluées et le déroulement ultérieur de la scolarité.

Ce projet s'inclut dans une étude prospective longitudinale concernant des enfants âgés de 0 à 15 ans, consécutivement admis dans l'unité de réanimation neurochirurgicale de l'Hôpital Necker Enfants Malades au cours d'une période de 3 ans, dans les 6 premières heures après un traumatisme crânien sévère. Les données démographiques, médicales, de sévérité et les évaluations neuropsychologiques, neurologiques et fonctionnelles ont été collectées prospectivement entre 2005 et 2008. L'évaluation de la mémoire a été effectuée avec l'échelle CMS (ou MEM III pour les rares patients âgés de 16 ans ou plus), à 3, 12 et 24 mois du TC.

Les résultats concernant l'évaluation prospective des compétences mnésiques à 3, 12, 24 mois post-TC ont été analysés et rédigés en vue d'une publication dans le *Journal of the International Neuropsychological Society* et sont présentés ci-après.

Bibliographie :

1. Patteau G, Chéron G. Traumatisme crânien chez l'enfant. *Réanimation*. sept 2014;23(5):507-16.
2. Thurman DJ. The Epidemiology of Traumatic Brain Injury in Children and Youths: A Review of Research Since 1990. *J Child Neurol*. janv 2016;31(1):20-7.
3. Anderson, Catroppa C, Morse S, Haritou F, Rosenfeld J. Functional plasticity or vulnerability after early brain injury? *Pediatrics*. déc 2005;116(6):1374-82.
4. Jantzen KJ, Oullier O, Marshall M, Steinberg FL, Kelso J a. S. A parametric fMRI investigation of context effects in sensorimotor timing and coordination. *Neuropsychologia*. 2 mars 2007;45(4):673-84.
5. Mazeau M. neuropsychologie et troubles des apprentissages. M. Mazeau. 2014. In 2014.
6. Jourdan C, Bayen E, Pradat-Diehl P, Ghout I, Darnoux E, Azerad S, et al. A comprehensive picture of 4-year outcome of severe brain injuries. Results from the Paris-TBI study. *Ann Phys Rehabil Med*. avr 2016;59(2):100-6.
7. Ewing-Cobbs L, Fletcher JM, Levin HS, Francis DJ, Davidson K, Miner ME. Longitudinal neuropsychological outcome in infants and preschoolers with traumatic brain injury. *J Int Neuropsychol Soc JINS*. nov 1997;3(6):581-91.
8. Levin HS, High WM, Ewing-Cobbs L, Fletcher JM, Eisenberg HM, Miner ME, et al. Memory functioning during the first year after closed head injury in children and adolescents. *Neurosurgery*. juin 1988;22(6 Pt 1):1043-52.
9. Yeates KO, Taylor HG, Wade SL, Drotar D, Stancin T, Minich N. A prospective study of short- and long-term neuropsychological outcomes after traumatic brain injury in children. *Neuropsychology*. oct 2002;16(4):514-23.
10. Anderson VA, Morse SA, Catroppa C, Haritou F, Rosenfeld JV. Thirty month outcome from early childhood head injury: a prospective analysis of neurobehavioural recovery. *Brain J Neurol*. déc 2004;127(Pt 12):2608-20.
11. Catroppa C, Anderson VA, Muscara F, Morse SA, Haritou F, Rosenfeld JV, et al. Educational skills: long-term outcome and predictors following paediatric traumatic brain injury. *Neuropsychol Rehabil*. oct 2009;19(5):716-32.
12. Kinsella GJ, Prior M, Sawyer M, Ong B, Murtagh D, Eisenmajer R, et al. Predictors and indicators of academic outcome in children 2 years following traumatic brain injury. *J Int*

Neuropsychol Soc JINS. nov 1997;3(6):608-16.

13. Verger K, Junqué C, Jurado MA, Tresserras P, Bartumeus F, Nogués P, et al. Age effects on long-term neuropsychological outcome in paediatric traumatic brain injury. *Brain Inj.* juin 2000;14(6):495-503.
14. Anderson V, Catroppa C, Morse S, Haritou F, Rosenfeld J. Recovery of intellectual ability following traumatic brain injury in childhood: impact of injury severity and age at injury. *Pediatr Neurosurg.* juin 2000;32(6):282-90.
15. Babikian T, Merkley T, Savage RC, Giza CC, Levin H. Chronic Aspects of Pediatric Traumatic Brain Injury: Review of the Literature. *J Neurotrauma.* déc 2015;32(23):1849-60.
16. Babikian T, Asarnow R. Neurocognitive outcomes and recovery after pediatric TBI: Meta-analytic review of the literature. *Neuropsychology.* 2009;23(3):283-96.
17. Ewing-Cobbs L, Prasad MR, Kramer L, Cox CS, Baumgartner J, Fletcher S, et al. Late intellectual and academic outcomes following traumatic brain injury sustained during early childhood. *J Neurosurg.* oct 2006;105(4 Suppl):287-96.
18. Kingery KM, Narad ME, Taylor HG, Yeates KO, Stancin T, Wade SL. Do Children Who Sustain Traumatic Brain Injury in Early Childhood Need and Receive Academic Services 7 Years After Injury?: *J Dev Behav Pediatr.* 2017;38(9):728-35.
19. DeMaster D, Johnson C, Juranek J, Ewing-Cobbs L. Memory and the hippocampal formation following pediatric traumatic brain injury. *Brain Behav.* déc 2017;7(12):e00832.
20. McCauley SR, Wilde EA, Merkley TL, Schnelle KP, Bigler ED, Hunter JV, et al. Patterns of Cortical Thinning in Relation to Event-Based Prospective Memory Performance Three Months after Moderate to Severe Traumatic Brain Injury in Children. *Dev Neuropsychol.* 5 mai 2010;35(3):318-32.
21. Paterno R, Folweiler KA, Cohen AS. Pathophysiology and Treatment of Memory Dysfunction After Traumatic Brain Injury. *Curr Neurol Neurosci Rep.* juill 2017;17(7):52.
22. Verger K, Serra-Grabulosa JM, Junqué C, Alvarez A, Bartrés-Faz D, Mercader JM. [Study of the long term sequelae of traumatic brain injury: evaluation of declarative and procedural memory, and its neuroanatomic substrate]. *Rev Neurol.* 1 juill 2001;33(1):30-4.
23. McCauley SR, McDaniel MA, Pedroza C, Chapman SB, Levin HS. Incentive Effects on Event-Based Prospective Memory Performance in Children and Adolescents with Traumatic Brain Injury. *Neuropsychology.* mars 2009;23(2):201-9.
24. Rovee-Collier C, Hartshorn K, DiRubbo M. Long-term maintenance of infant memory. *Dev Psychobiol.* sept 1999;35(2):91-102.

25. Streri A, de Hevia M, Izard V, Coubart A. What do We Know about Neonatal Cognition? Behav Sci. 27 févr 2013;3(1):154-69.
26. Cohen MJ. CMS: échelle de mémoire pour enfants. ECPA, les Éditions du Centre de psychologie appliquée. Paris; 2001. 240 p.
27. Monahan M. Children's Memory Scale, by M. Cohen. San Antonio, TX Psychological Corporation, 1997. Arch Clin Neuropsychol. févr 2001;16(2):193-8.
28. Test MEM-III ECHELLE CLINIQUE DE MEMOIRE - TROISIEME EDITION - Psychologie clinique - ECPA. Disponible sur: <https://www.ecpa.fr/psychologie-clinique/test.asp?id=1426>
29. Test NEPSY BILAN NEUROPSYCHOLOGIQUE DE L'ENFANT - Orthophonie - ECPA. Disponible sur: <http://www.ecpa.fr/orthophonie/test.asp?id=1874>

Article:

Memory functioning over two years following severe Childhood Traumatic Brain

Injury: results of the TGE Cohort.

**Viot Solène¹, Câmara-Costa Hugo^{2,3}, Francillette Leila³, De Agostini Maria⁴, Toure Hanna¹,
Brugel Dominique¹, Laurent-Vannier Anne¹, Dellatolas Georges², Watier Laurence⁵, Meyer
Philippe^{6,7}, Chevignard Mathilde^{†,1,3,8}**

¹ Rehabilitation Department for Children with Acquired Brain Injury, and Outreach team for Children and Adolescents with Acquired Brain Injury; Hôpitaux de Saint Maurice, Saint Maurice, France

² Université Paris-Saclay, Université Paris-SUD, UVSQ, CESP, INSERM, Paris, France.

³ Sorbonne Université, Laboratoire d'Imagerie Biomédicale, LIB, 75006 Paris, France

⁴ Inserm UMR1153, Paris, France

⁵ Biostatistics, Biomathematics, Pharmacoepidemiology and Infectious Diseases (B2PHI), INSERM, UVSQ, Institut Pasteur, Université Paris-Saclay, Paris, France

⁶ Pediatric Anesthesiology Department, Hôpital Necker Enfants Malades, Paris, France

⁷ Faculté de Médecine René Descartes Paris 5, Paris, France

⁸ Groupe de Recherche Clinique Handicap Cognitif et Réadaptation – Sorbonne Université, Paris, France

[†] **Corresponding author:**

Dr. Mathilde Chevignard

Rehabilitation Department for Children with Acquired Neurological Injury.

Saint Maurice Hospitals. 14, rue du Val d'Osne. 94410 Saint Maurice, France.

Tel: 0033 1 43 96 63 40

Fax: 0033 1 43 96 65 47

E-mail: m.chevignard@hopitaux-st-maurice.fr

Abstract

Background and aims: Few longitudinal investigations explored memory functions after severe childhood Traumatic Brain Injury (TBI). The aims of this study were: (1) to prospectively measure memory functioning following severe childhood TBI, and its evolution over 2 years; (2) to assess demographic and medical factors associated with memory function and recovery; (3) to explore relations between memory functions and other TBI outcomes.

Methods: Children (aged 0–15 years; n=65) consecutively admitted in a single trauma center, who survived after severe non-inflicted TBI (Glasgow Coma Scale score ≤ 8) over a 3-year period, were included in a prospective longitudinal study (TGE cohort). Memory function was assessed in 46 children aged 5-15 years, using the Children's Memory Scale (CMS) at 3, 12, and 24 months post-injury.

Results: Mean general memory score was low at 3 months (m=89, SD=20.5) but in the normal range at 12 and 24 months (m=99, SD=22.7 and m=104, SD=25.6, respectively); however, scores were extremely variable. Improvement from 3 to 24 months varied according to the memory index, with strong improvement of immediate visual memory, but low for attention/concentration. Lower general memory score was associated at each time point with higher injury severity, lower intellectual ability and functional status, and higher overall disability; and at 12 months post-injury, with type of ongoing education.

Conclusion: Memory functioning is highly variable after severe childhood TBI, related to injury severity and functional, cognitive and educational outcomes; improvement is significant during the first-year post-injury, but variable according to the type of memory assessed.

Keywords: severe traumatic brain injury, memory, outcome, longitudinal cohort study, child, adolescent, educational outcome.

Introduction:

Traumatic Brain Injury (TBI) is the main cause of mortality and long standing disability in children (Yeates et al. 2002; Schneier et al. 2006; Patteau & Chéron 2014). According to a recent review (Thurman 2016), annual incidence of childhood TBI treated in emergency departments is around 691 per 100 000 in developed countries, with 3-7% of severe injuries (Dewan et al. 2016).

TBI occurs in a context of brain immaturity and ongoing development of brain functions. Besides obvious deficits or loss of previously acquired abilities observed shortly post-injury, new deficits can emerge over time, as the child does not make age-expected acquisitions. Those deficits can remain unnoticed as long as the theoretical age of acquisition of a particular function or skill is not reached (Anderson et al. 2005).

Severe pediatric TBI, defined by a Pediatric Glasgow Coma Scale (Ped-GCS) Score ≤ 8 (Teasdale & Jennett 1974), causes severe and long-standing impairments. Overall, severe TBI often results in impairments in children's sensory-motor functioning, most often hemiparesis and cerebellar dysfunction, at least in the initial phase, (Massagli et al. 1996) and in a number of cognitive, behavioral, emotional and social functioning deficits, including deficits in language, visual-spatial skills, processing speed, memory, attention, working memory, and executive functioning (Babikian & Asarnow 2009; Chevignard et al. 2010; Babikian et al. 2015; Chevignard et al. 2017; Volpe et al. 2017; Lambregts et al. 2018). According to a meta-analysis, TBI severity is a major factor influencing outcomes in all cognitive domains (Babikian & Asarnow 2009). Those deficits in turn impact educational achievement (Kinsella et al. 1997; Ewing-Cobbs et al. 2006; Kingery et al. 2017), and autonomy and participation (Rivara et al. 2011; de Kloet et al. 2015; Kingery et al. 2017).

Research in the domain of outcomes following childhood brain injury tends to support evidence for some degree of plasticity, but also for early brain vulnerability, especially in the cognitive and behavioral domains, with more severe deficits following early compared to later injury. This is even more pronounced in children who sustained severe injuries, supporting the concept of the “double hazard model” which postulates an interaction (potentiation) of age at injury and injury severity (Kinsella et al. 1997; Ewing-Cobbs et al. 1997; Anderson et al. 2000; Verger et al. 2000; Yeates et al. 2002; Catroppa

& Anderson 2002; Anderson et al. 2004, 2005; Tavano et al. 2014; Babikian et al. 2015). In most studies to date, outcomes have been reported in samples of children with TBI of various degrees of severity (mild to severe), with relatively small numbers of children with severe injuries, as severe TBI has a relatively low incidence compared to mild/moderate TBI.

It remains necessary to better understand the deficits caused by early brain lesions, and their evolution over time, in order to better anticipate patients' long-term needs and improve the care and interventions implemented for this population. A state of Chronic Brain Injury (CBI) as a lifelong condition after TBI, has been defined in the Gavelston Brain Injury Conference in 2012 (Malec et al. 2013). The frequency of an "invisible handicap" after TBI seems indeed even higher in the pediatric than in the adult population (Ewing-Cobbs et al. 2006; Kingery et al. 2017).

Memory, defined as the persistence of the information learned over time allowing its appropriate subsequent reuse, is a complex and dynamic process, divided into four stages: encoding, storage, consolidation and recall. Each stage can be involved in visual and verbal, immediate and delayed modalities, and those processes interact with other cognitive functions, such as executive functions, attention, and intellectual ability (Mazeau 2014). Memory develops throughout childhood and adolescence and is essential for any learning, with obvious implication, among other domains of everyday life, in the child's education and school functioning. Tulving describes a sequential process for the development of memory, from procedural memory to episodic memory (Tulving 1987, 1992, 1995).

Extent studies report that memory skills are impaired following childhood TBI of all severity, with a major repercussion on verbal and visuospatial memory (Lambregts et al. 2018), working memory (Phillips et al. 2017; Gorman et al. 2012, 2017), and autobiographical memory (Lah et al. 2017; Lah et al. 2018). Recent studies suggest that TBI alters neuronal circuits, including those supporting memory functioning and memory strategies, such as hippocampus, temporal lobe and prefrontal cortex (Verger et al. 2000; McCauley et al. 2010; Babikian et al. 2015; DeMaster et al. 2017; Paterno et al. 2017). However, it remains difficult to know which type, or phase of memory is the most impacted by early

TBI (Paterno et al. 2017). Memory deficits after childhood TBI can also be confounded by multiple factors, such as behavioral or language impairments and should be screened systematically.

Memory difficulties after childhood TBI are similar to findings in the adult population. Indeed, memory complaints after severe TBI are the most frequent complaint in self-reports, and memory is the third most impaired skill in formal assessments (Jourdan et al. 2016).

Overall, memory impairment is reported to be more important following severe (compared to mild or moderate) TBI, when compared with healthy matched controls (Catroppa & Anderson 2002), and with controls who sustained an orthopedic injury (Max et al. 1999). Severe TBI has been found to be responsible for lower performance in immediate and delayed verbal memory (Babikian & Asarnow 2009; Lah et al. 2011), visual memory (Babikian & Asarnow 2009), working memory (Phillips et al. 2017; Volpe et al. 2017), episodic autobiographical memory (Lah et al. 2017), and prospective memory (Krasny-Pacini et al. 2017, McCauley et al. 2009; 2010; 2011). Visual memory seems to be more resistant to severe TBI than verbal memory, especially several years post-injury, but this could depend on the neural substrates affected (Babikian & Asarnow 2009; Babikian et al. 2015).

In addition to injury severity, many other factors may negatively influence memory functioning following childhood TBI, such as younger age at injury, (but not in all studies, see (Babikian et al. 2015) for a review), lower pre-injury level of education and presence of pre-injury learning difficulties (Lambregts et al. 2018), lower pre-injury level of child's social abilities and lower socio-economic family background (Anderson et al. 2004; Johnson & Donders 2017). Other authors found an effect of longer time since injury, lack of exposure to learning opportunities, or lack of medical treatments/procedures (including rehabilitation) (Anderson et al. 2004; Babikian & Asarnow 2009).

Regarding studies who focused exclusively on children with severe TBI, age at injury was not related to autobiographical memory impairment, but it has been suggested that the deficit in recall of episodic details and in visuospatial memory could go more noticeable across growth (Tavano et al. 2014; Lah et al. 2017). Memory impairment has also been found to be related to lower intellectual ability (Lah et al. 2017).

Therefore, the primary aim of the present study was to prospectively assess memory functioning and its evolution over 2 years following severe childhood TBI. Secondary aims were to assess demographic and medical / severity factors associated with memory function, as well as associations between memory performance and other outcomes, including overall level of disability, intellectual ability, functional and educational outcomes.

Methods

The present work is part of a larger prospective longitudinal study (TGE cohort: Traumatisme Grave de l'Enfant, i.e. Severe Childhood Trauma; Krasny-Pacini et al., 2017) initiated at the Paris 5 University Hospital Necker Enfants Malades and conducted in the Rehabilitation Department for Children with Acquired Neurological Injury in the Saint Maurice Hospitals, aiming at determining overall and specific outcomes following severe childhood TBI.

Patients

Participants were children aged 0-15 years consecutively admitted to the pediatric neurosurgical intensive care unit (ICU) of the Necker Enfants Malades Hospital over a three-year period, within the first 6 hours following severe accidental TBI. Eighty-one children were included at the acute stage of TBI, defined as Glasgow Coma Scale (GCS) score ≤ 8 (Teasdale & Jennett 1974) at admission and/or an Injury Severity Score (ISS) > 16 (Baker et al. 1974). Causes of TBI were motor vehicle accidents and falls. Exclusion criteria were absence of vital signs upon admission, non-accidental head injury and a previous history of diagnosed neurological, psychiatric or learning disorders. Of the 81 children initially enrolled, 16 died during acute care, leaving 65 children available for follow-up. All children received treatment according to international guidelines for the management of severe TBI in the pediatric neurosurgical ICU of a regional pediatric trauma center (Carney et al. 2003), and most children (83%) required and received multidisciplinary rehabilitation after acute care. Follow-up comprised comprehensive medical and neuropsychological assessments at 3, 12 and 24 months post-injury. The study was approved by the local ethics committee and all parents gave their informed written consent.

Among the 65 survivors, 24 (37%) were younger than 5 years at 3-months post-injury, and/or were in a minimally responsive state, incompatible with neuropsychological assessment. Four children were still younger than five years at the end of the 24-months follow-up. **Figure 1** shows the flowchart of participants who underwent the age-appropriate memory assessment at each time point.

< Insert Figure 1 here >

Measures

Demographic, environmental and pre-injury history

Information on the child's pre-injury history and functioning was collected, such as family environment, parental education level (classified into two categories: medium/high: at least one parent graduated from high school; low: none of the parents reached high school graduation) and modalities of previous education: we recorded if the child had stayed back one year or had difficulty and/or extra help at school.

Injury characteristics

We recorded the following markers of initial TBI severity:

TBI severity was defined using the *Glasgow Coma Scale* (GCS) score: (Teasdale & Jennett 1974), which is based on motor, verbal and ocular responses. GCS scores range from 3 to 15: a score ≤ 8 defines presence of coma (severe TBI) (Marcin & Pollack 2002).

The *Pediatric Trauma Score* (PTS) (Tepas et al. 1987) sums up the ratings (2, 1, or -1) attributed to 6 assessment categories (3 physiological and 3 anatomical conditions, including weight / body mass index, condition of access to airways, fracture, level of consciousness, systolic blood pressure and condition of wounds). Lower scores indicate more severe injuries. Previous studies have reported good intra-observer reproducibility, developmentally appropriateness of use in children, and significant correlations with outcome measurement following traumatic injuries (Kaufmann 1990; Marcin & Pollack 2002).

The *Injury Severity Score* (ISS) provides an established anatomical scoring system aimed at assessing trauma severity (Baker & O'Neill 1976; Copes et al. 1988). Its appropriateness for use in patients with multiple injuries has been demonstrated based on its correlations with indicators of mortality, disability, and hospitalization (Castello et al. 1999). The ISS is derived from the Abbreviated Injury Scale (AIS),

which grades injury severity from 1 (minor injury) to 6 (un-survivable injury) across six body regions. The ISS is computed by summing the squared top three AIS severity scores attributed to the three most severely injured body regions (Baker et al. 1974). The ISS yields values from 0 to 75, with higher scores indicating greater injury severity.

The following medical data was also collected during the acute phase in the intensive care unit: age at injury, cause of injury, presence of a penetrating skull fracture; mean arterial blood pressure; hypotension (drop >10% from normal value of mean arterial pressure for age), intracranial pressure, minimal brain perfusion pressure, occurrence of severe hypoxic episodes (SaO₂ <92% with additional oxygen, evidence of intracranial hypo-perfusion upon CT-scan examination and multimodal monitoring, length of coma (in days), occurrence of immediate and/or early seizures.

Outcome measures collected during clinical follow-up at 3, 12, and 24-months post-injury:

Motor deficits: Neurological and functional assessment allowed collecting information relative to the presence or absence of (1) hemiplegia or hemiparesis; (2) signs of cerebellar dysfunction (ataxia and / or coordination disorders).

Post-injury type of education (at 12 and 24 months post-injury): Ongoing type of education was classified into two categories: General education without help nor adaptation nor grade retention vs. Specialized education, or general education with help and/or adaptation and/or grade retention.

Overall level of disability: Glasgow Outcome Scale modified for children (GOS-Peds): We used the modified version of the GOS for children (Wilson et al 1998), a recognized gold standard for measuring TBI outcome, yielding 5 categories: (I) *good outcome*; (II) *moderate disability*, including hemiparesis and/or cognitive impairments and/or child referral for outpatient rehabilitation therapy; (III) *severe disability*, including severe motor deficit and/or cognitive assessment in the deficient range and/or referral for inpatient rehabilitation; (IV) *minimally responsive or vegetative state*, and (V) *death*.

Functional outcome: Pediatric Injury Functional Outcome Scale (PIFOS, (Ewing-Cobbs et al. 2014): The PIFOS is a brief injury-specific multidimensional rating scale completed by parents/caregivers for children aged 3 to 15 years, based on a structured interview assessing a broad range of cognitive, physical, and psychological health areas commonly impacted by pediatric injury in children. This

assessment was performed by a trained health care provider during structured interviews, usually with the same parent for all time points.

Neuropsychological assessment

Comprehensive neuropsychological assessment was performed by trained professionals, during one or several sessions, according to the patient's fatigue, at the pediatric unit of Rehabilitation of the Saint-Maurice Hospitals. Assessment consisted of scales and standardized tests and questionnaires including measurement of intellectual functioning, executive functioning, behavior, and memory performance.

Memory: Memory assessment was conducted in children aged between 5 years and 15 years 11 months, using the Children's Memory Scale (CMS) (Cohen 2001; Monahan 2001), and the French version of the Wechsler Memory Scale (MEM III) (Wechsler 2001) for those aged 16 years and above.

The CMS provides eight index scores [mean score 100 (SD=15)]: Verbal Immediate and Delayed Memory, Visual Immediate and Delayed Memory, Attention/Concentration, Learning, Delayed Recognition and a General Memory Score based on the four verbal and visual immediate and delayed partial scores. Scores are drawn from six main subtests:

- "Stories": the child has to listen and remember a short story, and to recall it with as many details as possible, immediately and at 25-35 minutes, and then answer questions about it;
- "Word pairs": the child has to remember a list of matched words, with a learning phase where s/he is asked to recall the whole list of words on immediate and delayed recall; s/he also has to recognize the words previously learned among other words;
- "Dot location": the child has to remember the position of blue chips, and after a learning phase, to replace them in immediate and delayed recall inside a predawn grid;
- "Faces": the child has to remember series of faces and to recognize them, presented among distractors, in immediate and delayed recognition;
- "Numbers": forward and backwards digit span;
- "Sequences": the child has to recite different types of sequences, such as alphabet, numbers count, days of the week, etc....

The CMS has robust psychometric properties, such as good internal consistency (Cronbach alpha = 0.88 to 0.93), good inter-rater reliability (0.98 or above) and good discriminant validity. However, retest allows gains of up to 1 SD when assessment is repeated.

One participant was aged 16 years at the 2-year follow-up assessment and performed the MEM-III. This patient was excluded from some analyses (regarding memory subtests), but his general memory score was combined with those who underwent the CMS.

Intellectual functioning: Performance-based assessments evaluated intellectual ability through age-appropriate French versions of the Wechsler Intelligence scales, namely: Wechsler Intelligence Scale for Children – III (WISC III, (Wechsler 1991; Slate 1995)) and Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence - III (WPPSI III; (Wechsler 2002)). The Full-Scale Intellectual Quotient (FSIQ), Verbal and Performance IQ (mean 100; SD=15) estimated the patients' intellectual level at each time point.

Statistical analyses

Data analyses were conducted using the SAS ® software version 9 (Statistical Analysis Software, Cary, NC). Descriptive statistics were used to describe the sociodemographic characteristics, severity indices and, at each time point (3, 12 and 24-months post-injury), the main outcomes (including memory scores).

A General Memory Score was generated as the mean of the seven partial memory indices scores, after verification (with Principal Component Analysis and Cronbach alpha) of the unidimensional structure of the CMS (rather than the “General Memory Score” described in the manual, that only takes into account the visual and verbal immediate and delayed recall scores).

In a first set of analyses, we focused on factors associated with the general memory score. Using the Generalized Linear Model procedure, we performed repeated measures MANOVAs with period (three levels: 3, 12 and 24-months post-injury) as within-subject factor, and sociodemographic and injury-related variables (one-by-one in a first step) as between subjects-factors. These analyses allowed to estimate the overall impact of the between-subject factors on general memory scores at the three-time points, and the period-by-factor interaction (i.e. impact or not of the between-subject factor on the

evolution of the general memory score at each time point). In addition, we performed correlation analyses to examine the association between general memory scores and the main TBI outcomes, namely motor deficits, FSIQ, PIFOS, GOS and ongoing education, at each time-point.

In a second set of analyses, a repeated measures MANOVA was performed using the seven partial sub-scores of the CMS with two within-subject factors: period (three levels) and the type of partial score (seven levels). These analyses allowed to investigate the period x type interaction (i.e., if the evolution of the memory sub-scores depended on the type of memory being assessed).

Results

Description of the study sample

Demographic and severity characteristics of the 46 patients (31 boys) who underwent at least one memory assessment over the 2-year follow-up are summarized in **Table 1**. Mean age at injury was 9.8 years; for 21 patients (46%), at least one parent had graduated from high school, and 12 (26%) had a history of pre-injury difficulties at school.

Children underwent severe injuries, with an initial median GCS score of 6 [range (3-8)], mean ISS of 27.2 [range (4-50)], mean PTS of 4.3 [range (-1 - +9)], and a mean length of coma of 6.7 days [range (1-23)].

< Insert table 1 here >

Outcomes

All outcomes assessed at each time point are summarized in **Table 2**. Overall, motor impairments were relatively frequent at 3 months, but tended to resolve by 12 and 24 months for the majority of participants. Overall disability, measured using the GOS-Peds, indicated “severe disability” at 3-months post-injury for 17% of the patients, with only 3% of “good recovery”. Most children remained with moderate to severe disability, with only 24% rated “good recovery” at 24 months. Mean overall intellectual ability (FSIQ) fell one standard deviation below expected value at 3-months, with some

improvement over time, mostly during the first year. Functional impairment was severe at 3 months post-injury, with improvement (decrease) of PIFOS scores mainly from 3 to 12-months post-injury. Children attending general education without help nor adaptation nor grade retention represented 45 % of the sample at 12 months, and 42 % at 24-months post-injury.

< Insert table 2 here >

Memory assessment

Principal Component Analysis on the 7 partial memory scores (summarized in **Table 3**) showed a unidimensional structure at each post-injury interval (3, 12 and 24 months). Cronbach alpha values were 0.91 at 3 months, 0.90 at 12 months and 0.92 at 24 months. Thus, a General Memory Score (GMS) has been computed as the mean of the 7 partial scores and used in the subsequent analyses.

Correlations between General Memory Scores at 3, 12 and 24 months were 0.81 (GMS3 and GMS12), 0.76 (GMS3 and GMS24), and 0.69 (GMS12 and GMS24) (all $p < 0.001$).

Mean initial General Memory Score (i.e. 3 months post-TBI) was below the expected value ($m=89$), but with a high variability ($SD=20$, higher than expected), with some patients performing in the deficit range while others displayed high performance.

For General Memory Score, a repeated-measures ANOVA with period as the within-subject factor indicated a significant effect of period ($F(2,36)=31.3$, $p < .0001$), with increasing scores of general memory between 3 and 24 months (**Figure 2**). At 12 and 24 months post-injury, mean General Memory Score values were in the normal range, but their variability remained high ($SD > 15$). **Table 3** presents the mean, standard deviation and range of each of the seven CMS indices at each time point. The repeated measures MANOVA with two within-subject factors: period (three levels) and indices (seven levels) indicated a significant effect of period [$F(2,35)=31.9$, $p < .0001$], a significant effect of indices [$F(6,31)=7.4$, $p < .0001$] and a significant period-by-indices interaction [$F(12,25)=5.2$, $p = .0003$]. Overall, mean scores were higher for visual memory compared to the other partial scores. All memory scores increased from 3 months to 12 months; the difference was significant (paired t test, $p < 0.01$) for all scores, except for delayed verbal memory and attention/concentration. From 12 to 24 months, the

improvement was significant for General Memory Score ($p < 0.01$), Visual Immediate Memory ($p < 0.01$) and learning ($p < 0.01$).

< Insert Table 3 here >

< Insert Figure 2 here >

Factors associated with general memory scores at 3, 12 and 24 months post-injury

Socio-demographic and injury severity characteristics

Parental education level ($F(1,36)=5.8, p=.02$), PTS ($F(1,36)=7.4, p=.01$), length of coma ($F(1,36)=5.9, p=.02$) and marginally ISS ($F(1,36)=3.7, p=.06$) were associated with the general memory scores. The interactions of the above factors with period were not significant. When parental education level, PTS and length of coma were introduced simultaneously in the model, all factors remained significantly or marginally significantly associated with the general memory score ($F(1,34)=6.8, p=.01$; $F(1,34)=3.8, p=.06$; $F(1,34)=4.3, p=.05$, respectively). Age at injury, gender, pre-injury school difficulties, lowest GCS Score and other medical / severity variables were not associated with the general memory scores.

Other TBI outcomes

Table 4 describes the associations between the General Memory Score and the other outcome measures at each time point. Higher (better) FSIQ and GOS-Peds scores, and lower (better) PIFOS scores and absence of motor deficits were significantly associated with higher (better) General Memory Scores at 3, 12 and 24 months. Type of ongoing education at 12-months ($p < 0.001$), was significantly associated with worse performance on the General Memory Score measured at the same time point; this association did not reach significance at 24 months.

< Insert table 4 here >

Discussion

This study aimed to assess memory performance after severe childhood TBI and its evolution over two years post-injury, and to determine demographic, medical and severity factors associated with memory

performance and recovery. We report detailed memory outcomes in a large sample of children who sustained severe TBI and who underwent comprehensive medical and neuropsychological follow-up over two years, with very little attrition. Overall, results indicate relatively severe outcomes (although high variability was noted), with decreased intellectual ability, high proportions of children with persistent moderate to severe disability levels and functional impairments, and high proportions of children requiring school adaptations, extra help, or special education. Memory was significantly impaired 3 months post-injury, with a high variability in test scores however, some patients displaying severe deficits while others were functioning at superior levels. Significant improvement of memory performance was found over time, mostly during the first year. Verbal memory, Attention/concentration and Learning were more impacted than Visual Memory. Among factors influencing outcome, memory function was mostly correlated to markers of injury severity and parental education level. Memory function was also associated with other post-injury outcomes such as intellectual ability, level of disability and functional outcome. Finally, memory performance was significantly associated with educational outcomes.

At 3 months post-injury, mean general memory score and most memory indices were below expected values. Improvement occurred over time, with mean group performance at 24 months in the normal range, despite persistent high performance variability. Improvement of general memory score 2 years post-injury was mostly due to the better recovery of visual memory, with much less progress on verbal, attention/concentration and learning scores. This could be partly related to the retest effect, possibly more prominent on the visual skills in our results. The CMS manual indicates that retest can account for differences of up to 1 SD (i.e. 15 points), which could have largely contributed to the improvement observed in this study (Cohen 2001). One could suggest differences in task difficulty according to the memory sub-tests, or an authentic better preservation / recovery of visual memory skills following childhood TBI, when compared to verbal memory, as suggested by a large meta-analysis (Babikian & Asarnow 2009). Indeed, in our study, impairment and recovery differed, with better outcome on visual than verbal skills, and less favorable evolution on the attention/concentration and delayed recognition tests. Those results are concordant with those reported by Catroppa & Anderson (Catroppa & Anderson

2002), i.e. less memory improvement one year post-injury following severe TBI (when compared to mild and moderate TBI), and a larger effect of injury on verbal memory compared to visual memory. Moreover, the impairment of attention/concentration, strongly related to executive functions and working memory, reinforces findings describing the impact of pediatric TBI on working memory skills (Levin et al. 2002; Phillips et al. 2017).

Memory recovery was more pronounced in the first than in the second year post-injury, consistent with the results of Babikian & Asarnow's meta-analysis and review (Babikian & Asarnow 2009; Babikian et al. 2015). Indeed time since injury has been reported as a significant predictor of memory performance, with recovery occurring mostly in the acute phase (Gorman et al. 2017). One study found slightly different results, although it focused on children recruited in a rehabilitation department where they had been admitted following severe TBI, which probably biased recruitment towards more severe cases. In this study, little improvement in memory function (collected retrospectively) was observed during the first year post-injury and at discharge from rehabilitation. At the follow-up assessment performed at least 3 years following discharge, children's memory performance had not improved any further (Van Heugten et al. 2006).

Regarding factors related to memory outcomes at various time points, memory was mostly influenced by parental education (used in this study as a marker of socio-economic status), and by initial TBI severity, but not by age at injury or presence of pre-injury difficulties at school. The strong effect of parental socio-economic status on cognitive (including memory) outcomes has been repeatedly reported in the literature (Moran et al. 2016; Johnson & Donders 2017; Lambregts et al. 2018). It relates to the environment the child lives in, with a positive impact of rich environment on cognitive skills development, including memory (see Paterno et al. 2017), due to permanent and various stimuli supporting child's neurodevelopment. However this socio-economic status effect has not been found to influence prospective memory or autobiographical memory (Krasny-Pacini et al. 2017; Lah et al. 2018), including one study performed in in the 7 year follow-up of the TGE cohort (Krasny-Pacini et al. 2017).

We found no correlation of memory function with age at injury. Other studies in the literature have suggested an effect of age at injury on memory outcomes (see Babikian & Asarnow 2009) whereas others did not (Tavano et al. 2014). A recent review also reported no effect of age at injury on memory recovery over time (Babikian et al. 2015). According to the latter review, the previously reported effect of age at injury could have been masked by a preponderant effect of time since injury and TBI severity. Also, the development of memory is not linear (Streri et al. 2013; Mazeau 2014) and maybe the use of larger age-at-injury groups could allow better understanding of the effect of age on outcome following brain insult (Anderson et al. 2011; Krasny-Pacini et al. 2017).

In our study, memory function was significantly associated with initial TBI severity at each time point, i.e. PTS, length of coma (similar to findings by (Tavano et al. 2014; Volpe et al. 2017; Gorman et al. 2017), and marginally by ISS. Further, the PTS and length of coma were independently linked with memory performance, which suggests that those two severity markers are not totally equivalent and should be combined in the initial evaluation of children who sustained a severe TBI. This severity effect was present despite inclusion of children who all sustained severe TBI. This TBI severity effect has repeatedly been reported in the literature, in various samples, composed of children with mild-to-severe TBI (Johnson & Donders 2017) but also in samples of children with severe TBI (Krasny-Pacini et al. 2017; Tavano et al. 2014).

The remaining initial medical / severity data, such as presence of a penetrating skull fracture; hypotension; maximal intracranial pressure and minimal brain perfusion pressure were not significantly associated with memory performance at any time-point. To our knowledge, these severity indices have not previously been studied in relation to memory function.

In our study, memory function was correlated with other TBI outcomes. First, the General Memory Score was strongly correlated to overall intellectual ability at each time point, which confirms that memory and other more general cognitive skills are closely interdependent, as already described in a sample of children with TBI of various severity levels (Lah et al. 2017).

A relatively new finding was significant correlations of memory function at the different time-points with other more general and less obviously related outcomes, such as presence of motor deficits, overall level of disability, or functional outcome, which, to our knowledge, has not been reported previously. Although a recent study determined the relation between functional outcome (defined by the PIFOS) and global cognitive efficiency after childhood TBI (Ewing-Cobbs et al. 2014), the link with memory skills has not been explored yet. Similar findings have been reported in childhood stroke, where motor function was found to predict educational outcomes (Hawks et al. 2016; Yvon et al. 2018). These findings can probably be explained by the deleterious effect of TBI severity on a number of outcomes, reflecting the extent of brain lesions.

Finally, in this study, educational outcomes are worrying, with less than half of the sample following mainstream education without help and/or delay at 12 and 24 months post-injury. The general memory score influenced subsequent education modalities, with a significant effect at 12 months post-injury, that failed to reach significance at 24 months, confirming deleterious effects of severe TBI on subsequent learning skills and academic achievement. These findings reinforce those of previous studies, reporting high proportions of poor academic outcome following severe TBI (Kinsella et al. 1997; Ewing-Cobbs et al. 2006; Kingery et al. 2017). It has already been shown that academic achievement and more general educational outcomes are strongly influenced by cognitive functioning (especially memory, executive functioning and working memory, and intellectual ability) (Fulton et al. 2012). Indeed, cognitive impairments, such as slow processing speed, or attention or working memory deficits, can alter the intake of meaningful information in the classroom (Phillips et al. 2017). Further, memory impairment certainly reduces the amount of new learning a child can take in, consolidate, and efficiently reuse, especially if executive functions deficits are also present (Arnett et al. 2013). Over time, if the deficits persist, the amount of information and skills that should be acquired (but is not) can increase and in turn lead to increasing difficulty in new skills understanding and mastering (Lah, Gott, et al. 2017). Our results also show that the Attention/Concentration and Learning subtests were the most impaired, with few improvements over time. Our results confirm the deleterious impact of attention,

working memory and episodic memory / learning deficits on subsequent educational outcomes (see Phillips et al. 2017 for a review).

This study has a number of limitations: the main limitation is the lack of inclusion of a matched control group, which would have allowed controlling for the retest effect. The major progression in memory scores observed in this study, and the high scores obtained at 24 months, especially for visual immediate and delayed visual memory could be due to actual progress, and/or less vulnerability of this particular skill, but also to some degree of retest effect. Indeed, for some very high functioning individuals, the psychologist who administered the tests qualitatively noted that they mentioned remembering some of the tests, such as the stories, word pairs or visual memory stimuli. Without a control group and a systematic quantification of the patient's subtests recognition, this cannot be confirmed. Subsequent follow-up of this cohort with the use of a control group could help clarify this point. Secondly, brain imaging was performed but was not systematically analyzed and integrated in the database, which did not allow analysis of relationships between memory performance, and brain lesions characteristics. Such analyses would have been very useful to support current researches about neural circuits of memory (Verger et al. 2001; McCauley et al. 2010; Paterno et. al 2017; DeMaster et al. 2017).

Conclusion and perspectives

Overall, we report significant, albeit highly variable memory impairment following severe childhood TBI. Improvement seems to occur over 2 years, especially during the first year post-injury, with different patterns across memory functions, although part of the improvement could be due to the retest effect and this should be confirmed in studies including a control group. Main factors associated with memory performance include parental education, TBI severity, but not age at injury. Finally, memory outcome was related to other post-injury outcomes, such as motor, functional and intellectual outcomes, and overall level of disability, suggesting deleterious effects of TBI severity across domains. As reported previously and as expected, memory function was also related with the type of ongoing education post-TBI. Those results suggest that all patients with severe TBI should receive at least a comprehensive neuropsychological assessment, including memory assessment, shortly post-injury, in order to assess

strengths and weaknesses and to plan adequate and timely rehabilitation interventions and school adaptations. Subsequent assessments should occur according to progress over time, and persisting complaints and difficulties at home and at school. Long-term follow-up should be pursued until transition to adult services.

ACKNOWLEDGMENTS

The initial data collection for this study was funded by the Département de la Recherche Clinique et du Développement, AP-HP (Paris, No. PHRC 2003; AOM 03018). In depth analyses and manuscript preparation were funded thanks to a co-funding by the *French Ministry of Health's general direction of health and direction of research, studies, assessment and statistics*, by the *national fund for health insurance of salaried workers*, the *national fund for health insurance of independent workers*, by the *national fund for solidarity and autonomy* and by the *national institute for prevention and education for health*, in the call for research projects launched by the IReSP in 2011, and by two grant(s) awarded to Hugo Câmara-Costa: one grant from the French Speaking Society of Research in Children with Disabilities (SFERHE, www.sferhe.org) and one joint grant from the French Traumatic Brain Injury Society (France Traumatisme Crânien – FTC) and the French Speaking Society of Physical Medicine and Rehabilitation (SOFMER, www.sofmer.com).

Disclosure of interest

The authors declare that they have no competing interest.

References:

1. Anderson V, Catroppa C, Morse S, Haritou F, Rosenfeld J. 2005. « Functional Plasticity or Vulnerability after Early Brain Injury? » *Pediatrics* 116 (6): 1374-82.
2. Anderson V, Catroppa C, Morse S, Haritou F, Rosenfeld J. 2000. « Recovery of Intellectual Ability Following Traumatic Brain Injury in Childhood: Impact of Injury Severity and Age at Injury ». *Pediatric Neurosurgery* 32 (6): 282-90.
3. Anderson V, Morse S, Catroppa C, Haritou F, Rosenfeld J. 2004. « Thirty Month Outcome from Early Childhood Head Injury: A Prospective Analysis of Neurobehavioural Recovery ». *Brain: A Journal of Neurology* 127 (Pt 12): 2608-20.
4. Arnett AB, Peterson RL, Kirkwood MW, Taylor HG, Stancin T, Brown TM, Wade SL. 2013. « Behavioral and Cognitive Predictors of Educational Outcomes in Pediatric Traumatic Brain Injury ». *Journal of the International Neuropsychological Society* 19 (08): 881-89.
5. Babikian T, Asarnow R. 2009. « Neurocognitive Outcomes and Recovery after Pediatric TBI: Meta-Analytic Review of the Literature. » *Neuropsychology* 23 (3): 283-96.
6. Babikian T, Merkley T, Savage RC, Giza C, Levin H. 2015. « Chronic Aspects of Pediatric Traumatic Brain Injury: Review of the Literature ». *Journal of Neurotrauma* 32 (23): 1849-60.
7. Baker SP, O'Neill B. 1976. « The Injury Severity Score: An Update ». *The Journal of Trauma* 16 (11): 882-85.
8. Baker SP, O'Neill B, Haddon W, Long WB. 1974. « The Injury Severity Score: A Method for Describing Patients with Multiple Injuries and Evaluating Emergency Care ». *The Journal of Trauma* 14 (3): 187-96.
9. Beers SR, Wisniewski SR, Garcia-Filion P, Tian Y, Hahner T, Berger RP, Bell MJ, Adelson PD. 2012. « Validity of a Pediatric Version of the Glasgow Outcome Scale–Extended ». *Journal of Neurotrauma* 29 (6): 1126-39.
10. Carney NA., Chesnut R, Kochanek PM. 2003. « Guidelines for the Acute Medical Management of Severe Traumatic Brain Injury in Infants, Children, and Adolescents »: *Pediatric Critical Care Medicine* 4 (SUPPLEMENT): S1.

11. Castello FV, Cassano A, Gregory P, Hammond J. 1999. « The Pediatric Risk of Mortality (PRISM) Score and Injury Severity Score (ISS) for Predicting Resource Utilization and Outcome of Intensive Care in Pediatric Trauma ». *Critical Care Medicine* 27 (5): 985-88.
12. Catroppa C, Anderson V. 2002. « Recovery in Memory Function in the First Year Following TBI in Children ». *Brain Injury* 16 (5): 369-84.
13. Catroppa C, Anderson V, Muscara F, Morse SA, Haritou F, Rosenfeld J, Heinrich LM. 2009. « Educational Skills: Long-Term Outcome and Predictors Following Paediatric Traumatic Brain Injury ». *Neuropsychological Rehabilitation* 19 (5) : 716-32.
14. Chevignard M, Kerrouche B, Krasny-Pacini A, Mariller A, Pineau-Chardon E, Nottoghem P, Prodhomme J, et al. 2017. « Ecological Assessment of Everyday Executive Functioning at Home and at School Following Childhood Traumatic Brain Injury Using the BRIEF Questionnaire ». *The Journal of Head Trauma Rehabilitation* 32 (6): E1-12.
15. Chevignard M, Brooks N, Truelle J-L. 2010. « Community Integration Following Severe Childhood Traumatic Brain Injury ». *Current Opinion in Neurology* 23 (6): 695-700.
16. Cohen MJ. 2001. *CMS: échelle de mémoire pour enfants*. ECPA, les Éditions du Centre de psychologie appliquée. Paris.
17. Copes WS, Champion HR, Sacco WJ, Lawnick MM, Keast SL, Bain LW. 1988. « The Injury Severity Score Revisited ». *The Journal of Trauma* 28 (1): 69-77.
18. De Master D, Johnson C, Juranek J, Ewing-Cobbs L. 2017. « Memory and the Hippocampal Formation Following Pediatric Traumatic Brain Injury ». *Brain and Behavior* 7 (12): e00832.
19. De Kloet AJ de, Gijzen R, Braga LW, Meesters J, Schoones JW, Vliet Vlieland T. 2015. « Determinants of Participation of Youth with Acquired Brain Injury: A Systematic Review ». *Brain Injury*, mai, 1-11.
20. Dewan MC, Mummareddy N, Wellons JC, Bonfield CM. 2016. « Epidemiology of Global Pediatric Traumatic Brain Injury: Qualitative Review ». *World Neurosurgery* 91 (juillet): 497-509.e1.
21. Ewing-Cobbs L, Fletcher JM, Levin HS, Francis DJ, Davidson K, Miner ME. 1997. « Longitudinal Neuropsychological Outcome in Infants and Preschoolers with Traumatic Brain

- Injury ». *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS* 3 (6): 581-91.
22. Ewing-Cobbs L, Bloom DR, Prasad MR, Waugh JK, Cox CS, Swank PR. 2014. « Assessing Recovery and Disability after Physical Trauma: The Pediatric Injury Functional Outcome Scale ». *Journal of Pediatric Psychology* 39 (6): 653-65.
 23. Ewing-Cobbs L, Prasad MR, Kramer L, Cox CS, Baumgartner J, Fletcher S, Mendez D, Barnes M, Zhang X, Swank P. 2006. « Late Intellectual and Academic Outcomes Following Traumatic Brain Injury Sustained during Early Childhood ». *Journal of Neurosurgery* 105 (4 Suppl): 287-96.
 24. Fulton JB, Yeates KO, Taylor HG, Walz NC, Wade SL. 2012. « Cognitive predictors of academic achievement in young children 1 year after traumatic brain injury ». *Neuropsychology* 26 (3): 314-322.
 25. Gorman S, Barnes MA, Swank PR, Ewing-Cobbs L. 2017. « Recovery of Working Memory Following Pediatric Traumatic Brain Injury: A Longitudinal Analysis ». *Developmental Neuropsychology* 42 (3): 127-45.
 26. Gorman S, Barnes MA, Swank PR, Prasad M, Ewing-Cobbs L. 2012. « The Effects of Pediatric Traumatic Brain Injury on Verbal and Visual-Spatial Working Memory ». *Journal of the International Neuropsychological Society* 18 (01): 29-38.
 27. Hawks C, Jordan L, Gindville M, Ichord RN, Licht DJ, Beslow LA. 2016. « Educational Placement After Pediatric Intracerebral Hemorrhage ». *Pediatric Neurology* 61: 46-50.
 28. Jennett B. 1975. « Assessment of outcome after severe brain damage. A Practical Scale ». *The Lancet* 305 (7905): 480-84.
 29. Johnson VM, Donders J. 2017. « Correlates of Verbal Learning and Memory after Pediatric Traumatic Brain Injury ». *Applied Neuropsychology. Child*, juin, 1-8.
 30. Jourdan C, Bayen E, Pradat-Diehl P, Ghout I, Darnoux E, Azerad S, Vallat-Azouvi C, et al. 2016. « A Comprehensive Picture of 4-Year Outcome of Severe Brain Injuries. Results from the Paris-TBI Study ». *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* 59 (2): 100-106.
 31. Kaufmann CR. 1990. « Evaluation of the Pediatric Trauma Score ». *JAMA: The Journal of the American Medical Association* 263 (1): 69.

32. Kingery KM, Narad ME, Taylor HG, Yeates KO, Stancin T, Wade SL. 2017. « Do Children Who Sustain Traumatic Brain Injury in Early Childhood Need and Receive Academic Services 7 Years After Injury? ». *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics* 38 (9): 728-35.
33. Kinsella GJ, Prior M, Sawyer M, Ong B, Murtagh D, Eisenmajer R, Bryan D, Anderson V, Klug G. 1997. « Predictors and Indicators of Academic Outcome in Children 2 Years Following Traumatic Brain Injury ». *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS* 3 (6): 608-16.
34. Krasny-Pacini A, Chevignard M, Lancien S, Escolano S, Laurent-Vannier A, De Agostini M, Meyer P. 2017. « Executive Function after Severe Childhood Traumatic Brain Injury – Age-at-Injury Vulnerability Periods: The TGE Prospective Longitudinal Study ». *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* 60 (2): 74-82.
35. Krasny-Pacini A, Francillette L, Toure H, Brugel D, Laurent-Vannier A, Meyer P, Evans J, Chevignard M. 2017. « Prospective Memory 7 Years after Severe Childhood Traumatic Brain Injury - the TGE 2 Prospective Longitudinal Study ». *Developmental Neurorehabilitation* 20 (7): 456-61.
36. Krasny-Pacini A, Limond J, Evans J, Hiebel J, Bendjelida K, Chevignard M. 2014. « Context-Sensitive Goal Management Training for Everyday Executive Dysfunction in Children After Severe Traumatic Brain Injury ». *Journal of Head Trauma Rehabilitation* 29 (5): E49-64.
37. Lah S, Black C, Gascoigne MB, Gott C, Epps A, Parry L. 2017. « Accelerated Long-Term Forgetting Is Not Epilepsy Specific: Evidence from Childhood Traumatic Brain Injury ». *Journal of Neurotrauma* 34 (17): 2536-44.
38. Lah S, Epps A, Levick W, Parry L. 2011. « Implicit and Explicit Memory Outcome in Children Who Have Sustained Severe Traumatic Brain Injury: Impact of Age at Injury (Preliminary Findings) ». *Brain Injury* 25 (1): 44-52.
39. Lah S, Gott C, Epps A, Parry L. 2018. « Imagining the Future in Children with Severe Traumatic Brain Injury ». *Journal of Neurotrauma*, mars.
40. Lah S, Gott C, Parry L, Black C, Epps A, Gascoigne MB. 2017. « Selective, Age-Related Autobiographical Memory Deficits in Children with Severe Traumatic Brain Injury ». *Journal*

of Neuropsychology, décembre.

41. Lambregts S, Smetsers J, Verhoeven I, de Kloet A, van de Port I, Ribbers G, Catsman-Berrevoets C. 2018. « Cognitive Function and Participation in Children and Youth with Mild Traumatic Brain Injury Two Years after Injury ». *Brain Injury* 32 (2): 230-41.
42. Malec J, Hammond F, Flanagan S, Kean J, Sander A, Sherer M, Masel B. 2013. « Recommendations from the 2013 Galveston Brain Injury Conference for Implementation of a Chronic Care Model in Brain Injury ». *The Journal of Head Trauma Rehabilitation* 28 (6): 476-83.
43. Marcin J, Pollack M. 2002. « Triage Scoring Systems, Severity of Illness Measures, and Mortality Prediction Models in Pediatric Trauma ». *Critical Care Medicine* 30 (11 Suppl): S457-467.
44. Massagli T, Michaud J, Rivara F. 1996. « Association between Injury Indices and Outcome after Severe Traumatic Brain Injury in Children ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 77 (2): 125-32.
45. Max J, Roberts M, Koele S, Lindgren S, Robin D, Arndt S, Smith W, Sato Y. 1999. « Cognitive Outcome in Children and Adolescents Following Severe Traumatic Brain Injury: Influence of Psychosocial, Psychiatric, and Injury-Related Variables ». *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS* 5 (1): 58-68.
46. Mazeau, M. 2014. In « Neuropsychologie et troubles des apprentissages. M. Mazeau. 2014 ».
47. McCauley S, McDaniel M, Pedroza C, Chapman S, Levin H. 2009. « Incentive Effects on Event-Based Prospective Memory Performance in Children and Adolescents with Traumatic Brain Injury ». *Neuropsychology* 23 (2): 201-9.
48. McCauley S, Pedroza C, Chapman S, Cook L, Hotz G, Vásquez A, Levin H. 2010. « Event-Based Prospective Memory Performance during Subacute Recovery Following Moderate to Severe Traumatic Brain Injury in Children: Effects of Monetary Incentives ». *Journal of the International Neuropsychological Society* 16 (02): 335.
49. McCauley S, Pedroza C, Chapman S, Cook L, Vásquez A, Levin H. 2011. « Monetary Incentive Effects on Event-Based Prospective Memory Three Months after Traumatic Brain Injury in

- Children ». *Journal of clinical and experimental neuropsychology* 33 (6): 639-46.
50. McCauley S, Wilde E, Merkley T, Schnelle K, Bigler E, Hunter J, Chu Z, Vásquez A, Levin H. 2010. « Patterns of Cortical Thinning in Relation to Event-Based Prospective Memory Performance Three Months after Moderate to Severe Traumatic Brain Injury in Children ». *Developmental Neuropsychology* 35 (3): 318-32.
51. Monahan M. 2001. « Children's Memory Scale, by M. Cohen. San Antonio, TX Psychological Corporation, 1997. » *Archives of Clinical Neuropsychology* 16 (2): 193-98.
52. Moran L, Babikian T, Del Piero L, Ellis M, Kernan C, Newman N, Giza, C et al. 2016. « The UCLA Study of Predictors of Cognitive Functioning Following Moderate/Severe Pediatric Traumatic Brain Injury ». *Journal of the International Neuropsychological Society* 22 (05): 512-19.
53. Paterno R, Folweiler K, Cohen A. 2017. « Pathophysiology and Treatment of Memory Dysfunction After Traumatic Brain Injury ». *Current Neurology and Neuroscience Reports* 17 (7): 52.
54. Patteau G, Chéron G. 2014. « Traumatisme crânien chez l'enfant ». *Réanimation* 23 (5): 507-16.
55. Phillips N, Parry L, Mandalis A, Lah S. 2017. « Working Memory Outcomes Following Traumatic Brain Injury in Children: A Systematic Review with Meta-Analysis ». *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence* 23 (1): 26-66.
56. Rivara F, Koepsell T, Wang J, Temkin N, Dorsch A, Vavilala M, Durbin D, Jaffe K. 2011. « Disability 3, 12, and 24 Months After Traumatic Brain Injury Among Children and Adolescents ». *PEDIATRICS* 128 (5): e1129-38.
57. Schneier A, Shields B, Hostetler S, Xiang H, Smith G. 2006. « Incidence of Pediatric Traumatic Brain Injury and Associated Hospital Resource Utilization in the United States ». *PEDIATRICS* 118 (2): 483-92.
58. Tavano A, Galbiati S, Recla M, Bardoni A, Dominici C, Pastore V, Strazzer S. 2014. « Cognitive Recovery after Severe Traumatic Brain Injury in Children/Adolescents and Adults: Similar Positive Outcome but Different Underlying Pathways? » *Brain Injury* 28 (7): 900-905.

59. Teasdale G, Jennett B. 1974. « Assessment of Coma and Impaired Consciousness. A Practical Scale ». *Lancet (London, England)* 2 (7872): 81-84.
60. Tepas J, Mollitt D, Talbert J, Bryant M. 1987. « The Pediatric Trauma Score as a Predictor of Injury Severity in the Injured Child ». *Journal of Pediatric Surgery* 22 (1): 14-18.
61. Thurman D. 2016. « The Epidemiology of Traumatic Brain Injury in Children and Youths: A Review of Research Since 1990 ». *Journal of Child Neurology* 31 (1): 20-27.
62. Tulving E. 1987. « Multiple Memory Systems and Consciousness ». *Human Neurobiology* 6 (2): 67-80.
63. Tulving E. 1992. « Memory Systems and the Brain ». *Clinical Neuropharmacology* 15 Suppl 1 Pt A: 327A-328A.
64. Tulving E. 1995. « Organization of memory: Quo vadis? » In *The cognitive neurosciences*, 839-53. Cambridge, MA, US: The MIT Press.
65. Van Heugten C, Hendriksen J, Rasquin S, Dijcks B, Jaeken D, Vles J. 2006. « Long-Term Neuropsychological Performance in a Cohort of Children and Adolescents after Severe Paediatric Traumatic Brain Injury ». *Brain Injury* 20 (9): 895-903.
66. Verger K, Junqué C, Jurado M, Tresserras P, Bartumeus F, Nogués P, Poch J. 2000. « Age Effects on Long-Term Neuropsychological Outcome in Paediatric Traumatic Brain Injury ». *Brain Injury* 14 (6): 495-503.
67. Verger K, Serra-Grabulosa J, Junqué C, Alvarez A, Bartrés-Faz D, Mercader J. 2001. « Study of the long term sequelae of traumatic brain injury: evaluation of declarative and procedural memory, and its neuroanatomic substrate ». *Revista De Neurologia* 33 (1): 30-34.
68. Volpe D, Oliveira N, Santos A, Linhares M, Carlotti A. 2017. « Neuropsychological Outcome of Children with Traumatic Brain Injury and Its Association with Late Magnetic Resonance Imaging Findings: A Cohort Study ». *Brain Injury* 31 (12): 1689-94.
69. Wechsler D, 1991. Manual for the Wechsler Intelligence Scale for Children-Third Edition. San Antonio TX: Psychological Corp.
70. Wechsler D, 2001. « Test MEM-III Echelle clinique de mémoire – Troisième édition - Psychologie clinique - ECPA ». s. d. <https://www.ecpa.fr/psychologie->

[clinique/test.asp?id=1426.](#)

71. Wechsler D, 2002. « WPPSI-III échelle d'Intelligence de Wechsler pour la période préscolaire et primaire : manuel d'administration et de cotation ; Manuel d'interprétation. -Troisième édition - ECPA »
72. Wilson J, Pettigrew L, Teasdale G. 1998. « Structured Interviews for the Glasgow Outcome Scale and the Extended Glasgow Outcome Scale: Guidelines for Their Use ». *Journal of Neurotrauma* 15 (8): 573-85.
73. Yeates K, Taylor H, Wade S, Drotar D, Stancin T, Minich N. 2002. « A Prospective Study of Short- and Long-Term Neuropsychological Outcomes after Traumatic Brain Injury in Children ». *Neuropsychology* 16 (4): 514-23.
74. Yvon E, Lamotte D, Tiberghien A, Godard I, Mardaye A, Laurent-Vannier A, De Agositni M, Chevignard M. 2018. « Long-term motor, functional, and academic outcome following childhood ischemic and hemorrhagic stroke: A large rehabilitation center-based retrospective study ». *Developmental Neurorehabilitation* 21 (2): 83-90.

Table 1. Demographic, pre-injury medical history and TBI severity of the 46 children included in the study.

| | Mean (SD) [range] |
|--|--------------------------|
| <i>Demographic characteristics</i> | |
| Gender: Males; <i>n (%)</i> | 31 (67) |
| Parental education (at least one parent graduated from high school); <i>n (%)</i> | 21 (46) |
| Previous difficulties at school (extra help or stayed back one year); <i>n (%)</i> | 12 (26) |
| Age at injury (years) | 9.8 (3.5) [3 - 14.9] |
| <i>Injury Severity - Initial scores</i> | |
| Minimal GCS score, mean (SD) [range] | 6 (1.6) [3 - 8] |
| Pediatric Trauma Score, mean (SD) [range] | 4.3 (2.3) [-1 - +9] |
| Injury Severity Score, mean (SD) [range] | 27.2 (9.1) [4 - 50] |
| Length of coma (days), mean (SD) [range] | 6.7 (5.2) [1 - 23] |
| <i>Injury characteristics</i> | |
| Penetrating skull fracture; <i>n (%)</i> | 7 (15) |
| Intracranial pressure (mmHg), mean (SD) [range] | 20.6 (7.5) [6 - 38] |
| Brain perfusion pressure (mmHg), mean (SD) [range] | 45.1 (10.3) [5 - 68] |
| Brain hypo-perfusion; <i>n (%)</i> | 34 (74) |
| Intra-Cranial Hypertension; <i>n (%)</i> | 13 (28) |
| Hypotension; <i>n (%)</i> | 4 (9) |
| Initial seizures; <i>n (%)</i> | 2 (4) |
| Subsequent Post-Traumatic Epilepsy; <i>n (%)</i> | 1 (2) |

SD: Standard Deviation.

Table 2. Main outcomes at 3, 12 and 24 months post-injury (n=46)

| | 3 months | 12 months | 24 months |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|
| Motor deficits, n (%) | | | |
| Presence | 16 (34.8) | 10 (21.7) | 4 (8.7) |
| Ongoing Education, n (%) [†] | | | |
| General education without help nor adaptation nor grade retention | - | 19 (45,2) | 19 (42,2) |
| Overall disability (GOS), n (%) | | | |
| Good Outcome | 3 (6.5) | 10 (21.7) | 11 (23.9) |
| Moderate Disability | 26 (56.5) | 23 (50) | 29 (63) |
| Severe Disability | 17 (37) | 13 (28.3) | 6 (13) |
| Cognitive function, mean (SD) [range] | | | |
| FSIQ | 84.9 (18.1) [49 – 130] | 89.8 (19.0) [48 - 145] | 91.8 (19.9) [49 – 131] |
| VIQ | 89.5 (18.4) [52 -136] | 93.7 (17.9) [58 – 142] | 93.5 (18.5) [54 – 132] |
| PIQ | 82.8 (16.8) [48 – 123] | 88.8 (17.3) [46 – 133] | 91.2 (19.2) [51 – 136] |
| Functional outcome, mean (SD) [range] | | | |
| PIFOS total score | 30.3 (18.5) [2 - 74] | 24.7 (17.1) [0 - 73] | 23.7 (17.2) [0 - 75] |

[†] Type of ongoing education: data not collected at 3 months; at 12 months missing data=1; at 24 months missing data = 4; SD: Standard Deviation; FSIQ: Full Scale Intellectual Quotient; VIQ: Verbal IQ; PIQ: Performance IQ; GOS: Glasgow Outcome Scale; PIFOS: Pediatric Injury Functional Outcome Scale.

Table 3. Results of the memory indices and general memory scores at 3, 12 and 24 months post-TBI

| | 3 months | | 12 months | | 24 months | |
|----------------------------------|----------|----------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| | N | Mean (SD) [range] | N | Mean (SD) [range] | N | Mean (SD) [range] |
| Visual Immediate Memory | 41 | 90.7 (13.7) [2-125] | 42 | 101.2 (13.9) [67-135] | 47 | 111.4 (16.7) [75-143] |
| Visual Delayed Memory | 41 | 96.5 (15.8) [59-130] | 42 | 101.4 (14.9) [63-135] | 46 | 105.5 (17.5) [55-143] |
| Verbal Immediate Memory | 41 | 90.2 (21.8) [51-143] | 42 | 97.2 (25.6) [55-146] | 47 | 96.6 (25.9) [50-150] |
| Verbal Delayed Memory | 41 | 91.1 (20.7) [51-135] | 42 | 97.7 (25.5) [51-148] | 46 | 96.1 (25.1) [50-150] |
| Delayed Recognition | 41 | 87.4 (19.6) [51-120] | 42 | 94.2 (17.1) [55-120] | 46 | 93.3 (17.6) [51-120] |
| Learning | 41 | 88.7 (16) [63-135] | 42 | 94.5 (16.5) [59-130] | 46 | 98.4 (19.7) [51-143] |
| Attention / Concentration | 41 | 89.2 (19.7) [52-148] | 42 | 92.5 (15.5) [71-135] | 45 | 93.2 (17.8) [50-150] |
| General Memory Score | 41 | 89.1 (20.5) [50-136] | 42 | 99.1 (22.7) [66-150] | 46 | 103.9 (25.6) [50-150] |

Table 4. Associations between general memory scores and other outcomes at 3, 12, and 24 months post-injury.

| | General memory | | | | | | | | |
|---|----------------|-------------|----------|-----------|--------------|----------|-----------|--------------|----------|
| | 3 months | | | 12 months | | | 24 months | | |
| General Memory Score, n mean (SD) [range] | 41 | 89.1 (20.5) | [50-136] | 42 | 99.1 (22.7) | [66-150] | 46 | 103.9 (25.6) | [50-150] |
| Motor deficits, n mean (SD) p^{\dagger} | | | | | | | | | |
| Absence | 25 | 97.1 (18.4) | *** | 25 | 106.2 (22.6) | ** | 30 | 109.4 (24.3) | * |
| Presence | 16 | 76.5 (17.6) | | 17 | 88.5 (18.7) | | 16 | 93.6 (3.2) | |
| Ongoing Education, n mean (SD) p^{\dagger} | | | | | | | | | |
| General education without help nor adaptation nor grade retention | | - | | 16 | 116.4 (22.5) | *** | 19 | 111.1 (23.3) | |
| Special education with help and/or adaptation and/or grade retention | | - | | 25 | 88.8 (15.2) | | 23 | 98.1 (26.9) | |
| Overall disability (GOS-Peds), n mean (SD) p^{\dagger} | | | | | | | | | |
| Good Outcome | 2 | 103.5 (4.9) | | 9 | 122.6 (20.3) | | 11 | 127.5 (16.8) | |
| Moderate Disability | 23 | 97.9 (18) | *** | 20 | 97.4 (19.3) | *** | 29 | 96.6 (21.9) | *** |
| Severe Disability | 13 | 74.6 (16.3) | | 11 | 85.4 (17.1) | | 6 | 96.2 (32.2) | |
| Cognitive function, n r $p^{\ddagger\ddagger}$ | | | | | | | | | |
| FSIQ | 41 | .74 | *** | 42 | .58 | *** | 46 | .59 | *** |
| Functional outcome, n r $p^{\ddagger\ddagger}$ | | | | | | | | | |
| PIFOS total score | 40 | -.66 | *** | 41 | -.63 | *** | 46 | -.43 | ** |

† Student's *t*-test; ‡‡ Pearson correlation coefficient (*r*); FSIQ: Full Scale Intellectual Quotient; GOS: Glasgow Outcome Scale; PIFOS: Pediatric Injury Functional Outcome Scale; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

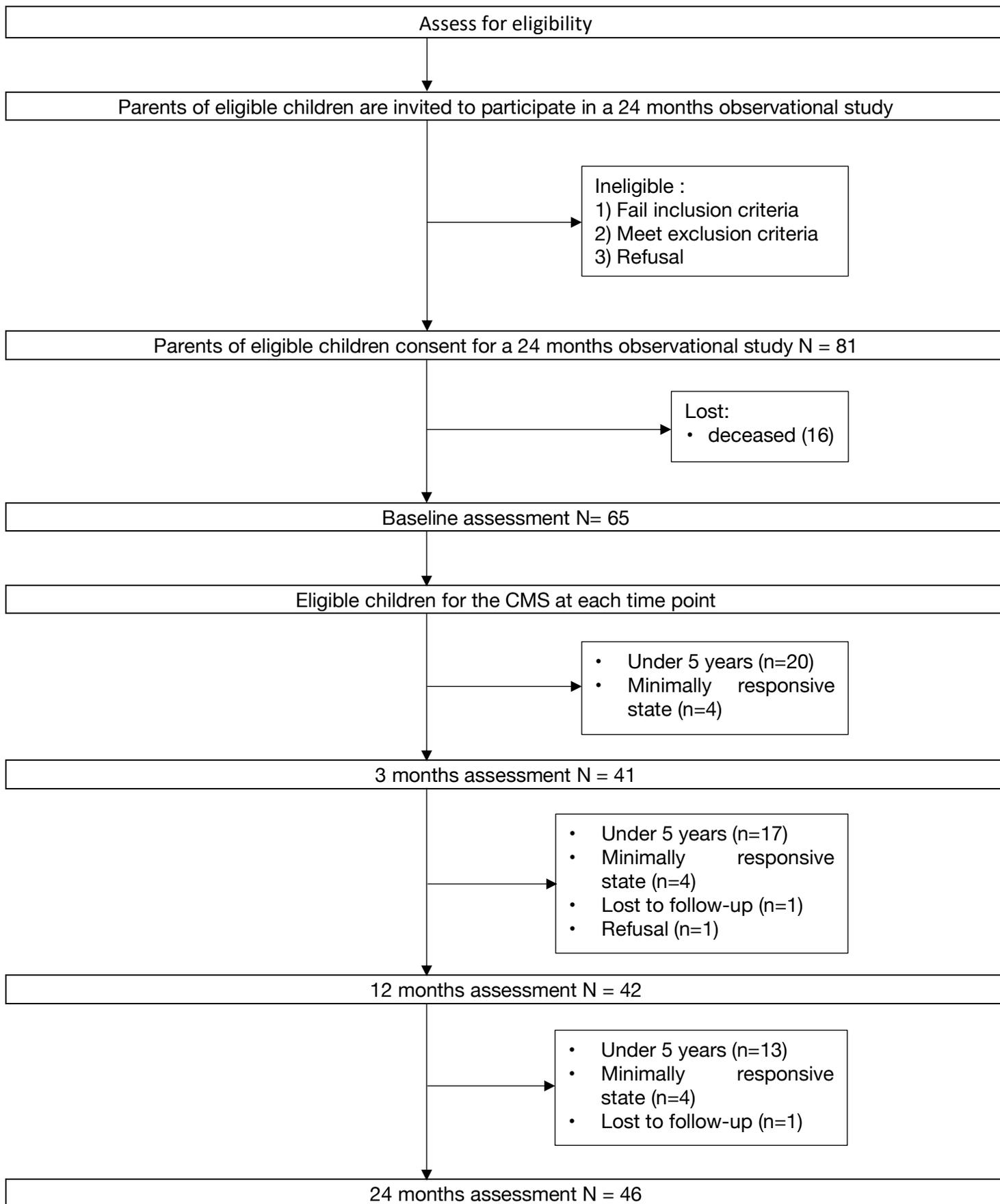


Figure 1. Flow-chart. Evolution of the sample of children included in the study.

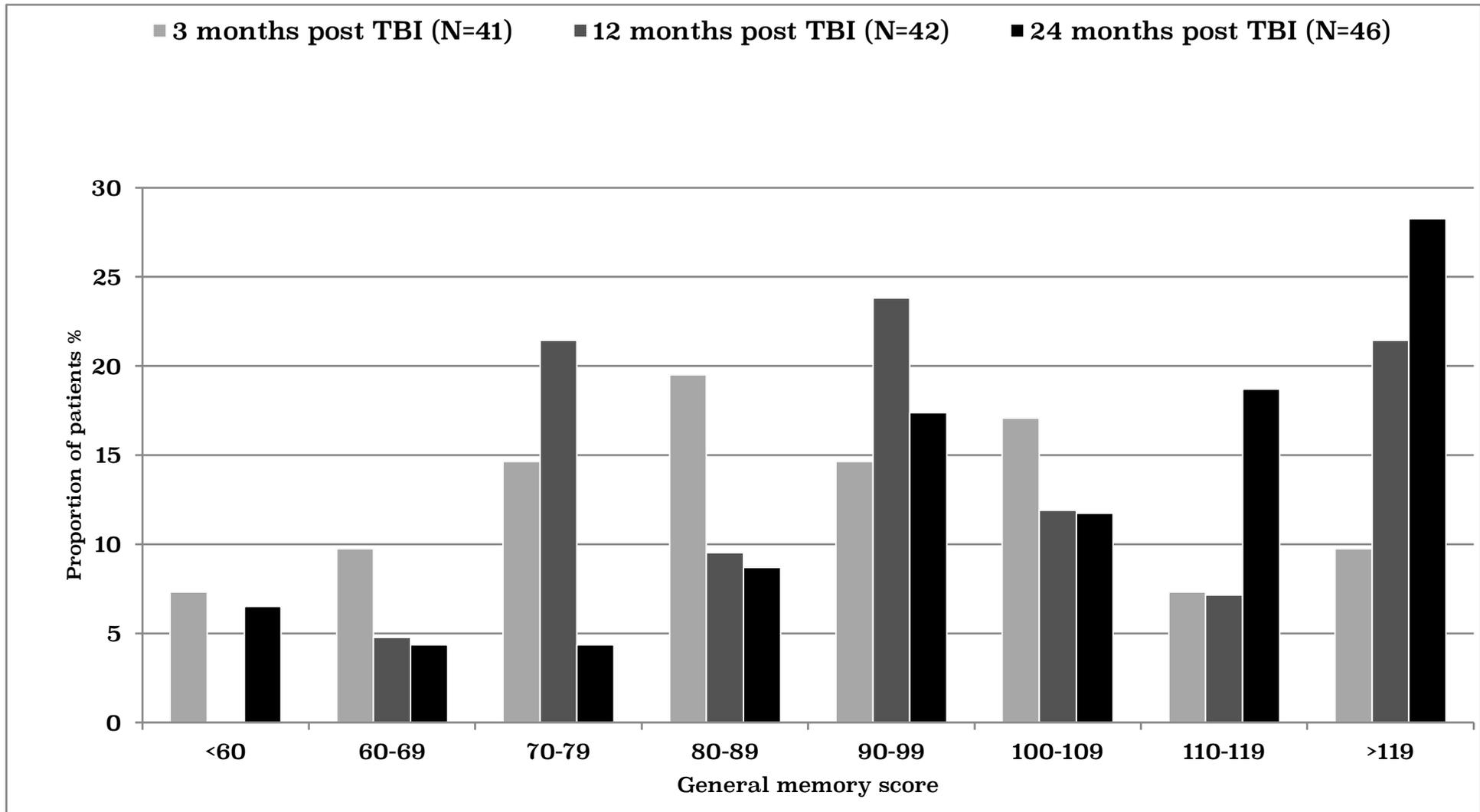


Figure 2. Distribution of the general memory score over time (percentage of patients in each category of memory performance).

Conclusion

Le développement neurologique et cognitif de l'enfant est un continuum d'étapes séquentielles, se mettant en place progressivement en interaction, chacune permettant aux autres de s'installer de manière efficiente.

Chaque étape représente la mise en place d'une fonction précise dans le temps, qui s'appuie à la fois sur un bagage inné (cellulaire, génétique, métabolique...) et sur des acquis qui dépendent de l'expérimentation que fait l'enfant de son environnement.

Le fonctionnement mnésique répond aux mêmes règles d'acquisitions que les autres processus cognitifs avec lesquels il interagit constamment.

La survenue d'un traumatisme crânien sévère au cours de l'enfance, sur un cerveau encore immature, vient perturber le développement et la mise en place des fonctions cognitives supérieures, dont la mémoire. Selon l'âge de survenue du TC, un nombre important de fonctions cognitives peuvent être retardées dans leur apparition, ou bien ne jamais se développer au cours de la croissance. En ce qui concerne les fonctions mnésiques, leur développement et leur efficacité sont étroitement liés aux autres fonctions cognitives (qui peuvent être altérées après une lésion cérébrale) et à l'intégrité des réseaux fonctionnels cellulaires intracérébraux.

La littérature actuelle fournit un nombre croissant d'arguments en faveur d'une « vulnérabilité précoce » conduisant à l'absence de récupération favorable après lésion cérébrale acquise de l'enfant, et en particulier après traumatisme crânien, contredisant l'ancien postulat d'une « plasticité cérébrale » salvatrice pour l'enfant et son devenir fonctionnel. La compréhension du devenir cognitif et mnésique de ces enfants, et des facteurs influençant leur récupération, reste encore incomplète, tant la complexité des mécanismes en jeu est grande. Il nous semblait important d'enrichir les données de littérature concernant la population des enfants victimes de traumatisme crânien sévère, en raison du faible nombre d'études s'intéressant de manière spécifique à leur devenir cognitif, et notamment mnésique, fonctionnel et scolaire, à distance du traumatisme crânien.

Cette étude prospective longitudinale s'est intéressée à une cohorte de patients âgés de 5 à 15 ans au moment du traumatisme. Elle avait pour objectifs de (1) mesurer de manière prospective le fonctionnement mnésique après traumatisme crânien sévère de l'enfant, et son évolution pendant 2 ans ; (2) déterminer les facteurs démographiques et médicaux associés à la mémoire

et sa récupération ; (3) explorer les relations entre la mémoire et les autres conséquences fonctionnelles du traumatisme crânien. La mémoire a été évaluée grâce à l'échelle CMS (Children's Memory Scale) à 3, 12 et 24 mois après le traumatisme crânien, chez les 46 enfants inclus ayant subi un traumatisme crânien sévère (Score de Coma de Glasgow ≤ 8). A 3 mois, le score de mémoire générale était en dessous des normes attendues pour l'âge et s'est normalisé à 12 et 24 mois. Cependant, les valeurs des scores restaient extrêmement variables, avec des enfants présentant un déficit sévère et d'autres fonctionnant au-dessus des valeurs attendues. L'évolution pendant les 2 ans du suivi dépendait du type de mémoire étudié (forte progression de la mémoire visuelle, nettement plus faible concernant l'indice d'attention/concentration, évalué par des tâches impliquant fortement la mémoire de travail). Un score de mémoire générale plus faible était associé à une sévérité initiale plus importante, à un plus faible niveau intellectuel et fonctionnel, et à un niveau de handicap global plus sévère. A 12 mois de l'accident, il était associé à un moins bon pronostic scolaire. Nous n'avons pas mis en évidence d'effet de l'âge sur les compétences mnésiques dans cette étude.

En conclusion, les enfants victimes de traumatisme crânien sévère présentent un déficit mnésique persistant, plus marqué en mémoire verbale que visuelle, qui nécessite un accompagnement attentif et prolongé sur le plan médical, neuropsychologique, rééducatif et académique, afin d'améliorer leur devenir scolaire et de diminuer l'impact ultérieur de cette lésion cérébrale précoce sur leur insertion scolaire, sociale puis professionnelle. Il est important de poursuivre les recherches et l'évaluation au long cours de ces enfants, afin de mieux anticiper leurs besoins.

Serment d'Hippocrate :

Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque.

Memory functioning over two years following severe Childhood Traumatic Brain Injury: results of the TGE Cohort.

Viot Solène¹, Câmara-Costa Hugo^{2,3}, Francillette Leila³, De Agostini Maria⁴, Toure Hanna¹, Brugel Dominique¹, Laurent-Vannier Anne¹, Dellatolas Georges², Watier Laurence⁵, Meyer Philippe^{6,7}, Chevignard Mathilde^{7,1,3,8}

Background and aims: Few longitudinal investigations explored memory functions after severe childhood Traumatic Brain Injury (TBI). The aims of this study were: (1) to prospectively measure memory functioning following severe childhood TBI, and its evolution over 2 years; (2) to assess demographic and medical factors associated with memory function and recovery; (3) to explore relations between memory functions and other TBI outcomes.

Methods: Children (aged 0–15 years; n=65) consecutively admitted in a single trauma center, who survived after severe non-inflicted TBI (Glasgow Coma Scale score ≤ 8) over a 3-year period, were included in a prospective longitudinal study (TGE cohort). Memory function was assessed in 46 children aged 5-15 years, using the Children's Memory Scale (CMS) at 3, 12, and 24 months post-injury.

Results: Mean general memory score was low at 3 months (m=89, SD=20.5) but in the normal range at 12 and 24 months (m=99, SD=22.7 and m=104, SD=25.6, respectively), however scores were extremely variable. Improvement from 3 to 24 months varied according to the memory index, with strong improvement of immediate visual memory, but low for attention/concentration. Lower general memory score was associated at each time point with higher injury severity, lower intellectual ability and functional status, and higher overall disability; and at 12 months post-injury, with type of ongoing education.

Conclusion: Memory functioning is highly variable after severe childhood TBI, related to injury severity and functional, cognitive and educational outcomes; improvement is significant during the first-year post-injury, but variable according to the type of memory assessed.