
Validation de la Brief Evaluation Receptive Aphasia (BERA) avec un dispositif eye-tracking (BERA-ET) permettant d'évaluer les capacités langagières résiduelles du patient en état de conscience minimale.

Auteur : Miceli, Jade

Promoteur(s) : Aubinet, Charlène

Faculté : par la Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Education

Diplôme : Master en sciences psychologiques, à finalité spécialisée

Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/24693>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative" (BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

**Validation de la Brief Evaluation Receptive Aphasia (BERA) avec
un dispositif eye-tracking (BERA-ET) permettant d'évaluer les
capacités langagières résiduelles du patient en état de conscience
minimale.**

Mémoire présenté par :

Jade Miceli (s201798)

Sous la direction de Charlène Aubinet

En vue de l'obtention du grade de Master en sciences psychologiques à
l'Université de Liège (Uliège)

Année académique 2024-2025

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à ma promotrice, Mme Charlène Aubinet, pour son accompagnement précieux tout au long de ces deux dernières années dans la réalisation de ce mémoire. Son expertise, ses conseils bienveillants et son soutien constant ont été essentiels à l'aboutissement de ce travail. Je remercie également ses collègues du Coma Science Group, notamment Anaïs Gillet et Amandine Regnier, qui nous ont accompagnés lors de différentes évaluations.

Merci à Sophie Gillet et Amandine Regnier pour l'intérêt qu'elles portent à ce travail ainsi que pour le temps qu'elles y consacreront lors de sa lecture.

Je remercie également Monsieur Damien Lesenfants, qui a conçu la tâche informatisée et qui a toujours été disponible pour répondre à mes nombreuses questions concernant le programme, le matériel et le support technique. Sa patience et son aide ont grandement facilité le déroulement de cette étude.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux participants et patients rencontrés dans le cadre de cette recherche, ainsi qu'à leurs proches, pour leur participation généreuse et leur contribution indispensable à l'étude.

Je suis également reconnaissante envers le personnel soignant des différents centres où se sont déroulées les évaluations, pour leur disponibilité et leur accueil.

Enfin, je remercie ma famille et mes amis pour leur soutien inconditionnel durant ces cinq années d'études universitaires. Leur encouragement et leur présence m'ont permis de mener ce parcours avec confiance et motivation.

Table des matières

1. Introduction générale.....	4
2. Introduction théorique	6
2.1 Altération de la conscience	6
2.2 La conscience	6
2.2.1 Les différents ECA et signes cliniques.....	7
2.2.2 Régions cérébrales altérées	9
2.3 Méthodes d'évaluation de la conscience	11
2.3.1 Évaluation comportementale.....	11
2.3.2 Limites de l'évaluation comportementale	13
2.3.3 Évaluation par neuro-imagerie	14
2.4 Capacités langagières chez les patients aphasiques	16
2.4.1 Modèle de traitement du langage	17
2.4.2 L'aphasie	20
2.5 Évaluation des capacités langagières des patients en ECA	22
2.5.1 Évaluation de la capacité de compréhension du langage oral des patients en ECA.....	23
2.5.2 Brief Evaluation of Receptive Aphasia (BERA).....	24
2.6 Eye-tracking.....	25
2.6.1 Mouvements oculaires chez les patients en ECA.....	25
2.6.2 Mouvements oculaires chez les patients LIS	27
2.6.3 Dispositif de l'eye-tracking.....	27
2.6.4 Eye-tracker et patients en ECA	28
3. Objectifs et hypothèses	30
4. Méthodologie	32
4.1 Partie 1 : Validation de la BERA comportementale	32
4.1.1 Participant.....	32
4.1.2 Matériel	33
4.1.3 Procédure.....	34
4.1.4 Analyses statistiques.....	35
4.2 Partie 2 : Évaluation de la BERA-ET.....	36
4.2.1 Participants	36
4.2.2 Matériel	37
4.2.3 Procédure.....	38
4.2.4 Analyses statistiques.....	40
5. Résultats.....	42
5.1 Partie 1 : Validation de la BERA comportementale	42
5.1.1 Statistiques descriptives	42
5.1.2 Équivalence des deux versions de la BERA	43
5.1.3 Validité concourante avec la SECONDS	43

5.1.4	Fidélité test-retest	44
5.1.5	Fidélité inter-juge	44
5.1.6	Scores langagiers en fonction des ECAs	44
5.2	Partie 2 : Évaluation de la BERA-ET.....	46
5.2.1	Sujets contrôles sains.....	46
5.2.2	Patient 1	46
5.2.3	Patient 2	48
6.	<i>Discussion.....</i>	50
6.1	Validation de la BERA comportementale auprès de patients en ECA	50
6.1.1	Intérêt clinique de la BERA	52
6.1.2	Limites et perspectives	52
6.2	Évaluation de la BERA-ET	53
6.2.1	Sujets contrôles sains.....	53
6.2.2	Patients LIS	55
6.2.3	Perspectives d'évolution de la BERA-ET	59
7.	<i>Conclusion générale.....</i>	60
8.	<i>Bibliographie</i>	61
9.	<i>Annexes.....</i>	67
	Annexe A – Figures complémentaires	67
	Annexe B – Tableaux	73
	Annexe C – Protocoles	77

1. Introduction générale

Après une lésion cérébrale acquise, certains patients voient leur niveau de conscience altéré et se retrouvent quelques jours dans un état de coma. Durant ce stade d'état de conscience altérée (ECA), les patients ne montrent pas de signe d'éveil. Généralement, suite à cette période, les patients évoluent vers un état végétatif ou syndrome d'éveil non répondant (ENR), un état de conscience minimale moins (ECM-) ou plus (ECM+), pour enfin potentiellement émerger de cet ECM (EECM) (Aubinet, Chatelle, et al., 2021). Afin d'évaluer dans quel état de conscience le patient se trouve, les cliniciens ont recours aux différents outils comportementaux ainsi qu'aux techniques de neuro-imagerie telles que la tomographie par émission de positons (TEP) ou l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Ces outils sont utilisés en phase aiguë, mais aussi en phase chronique (Aubinet, 2022).

Au niveau comportemental, un outil permet d'évaluer l'état de conscience et revient souvent dans la littérature : l'échelle Coma Recovery Scale-Revised (CRS-R ; Giacino et al., 2004). Il s'agit d'une évaluation standardisée qui a été conçue pour fournir des résultats fiables et valides concernant l'état de conscience des patients. Une étude a permis de démontrer que l'échelle possède de bonnes propriétés psychométriques, ce qui la rend très appréciée pour ce type d'évaluation (Giacino et al., 2004).

L'utilisation de la CRS-R dans une étude de Schnakers et al. (2009) a montré que 45% des patients étant diagnostiqués en ENR, suite à un simple consensus clinique, présentaient des signes de conscience. Cet outil permet d'obtenir des mesures plus objectives et permet également de différencier l'ECM de l'état non répondant. Cependant, la CRS-R, ainsi que d'autres outils d'évaluation comportementale de la conscience, présentent un problème majeur qui engendre parfois des erreurs de diagnostic non négligeables dans la vie des patients. En effet, ces outils comportementaux, qui dépendent beaucoup du langage, ont tendance à sous-estimer l'état de conscience du patient car ils ne tiennent pas compte de ses potentiels déficits moteurs et/ou langagiers. Si on reprend la CRS-R, on remarque qu'au moins 10 items sur 23 nécessitent la compréhension d'instructions verbales (Aubinet, Chatelle, et al., 2021). Par conséquent, il est primordial d'inclure les capacités de langage dans les techniques d'évaluation faites auprès de patients en éveil de coma afin de limiter le nombre d'erreurs diagnostiques, qui ont un impact éthique et pratique important sur le pronostic, le traitement, l'allocation des ressources et les décisions de fin de vie (Kondziella et al., 2015 ; Sanz et al., 2018).

Un autre outil d'évaluation a été conçu afin que les patients évalués obtiennent un profil cognitif de base sur lequel les professionnels peuvent s'appuyer pour formuler des programmes de réhabilitation et de prise en charge adaptés à chaque patient. La Cognitive Assessment by Visual Election (CAVE ; Murphy, 2018) contient 6 sous-tests (reconnaissance d'objets réels, lettres, nombres, photos, mots et couleurs), impliquant la compréhension du langage, et qui permettent d'évaluer directement la cognition ainsi qu'un large ensemble de domaines cognitifs. Cette technique est utile pour mettre en évidence l'état de conscience chez certains patients grâce à l'utilisation d'images. Néanmoins, cet outil ne permet toujours pas de fournir des informations sur les domaines linguistiques spécifiques préservés ou altérés tels que la phonologie, la sémantique ou la morphosyntaxe (Aubinet et al., 2020).

Afin d'améliorer l'évaluation de conscience chez les patients en ECA, Charlène Aubinet a conçu la Brief Evaluation of Receptive Aphasia (BERA). En effet, cette échelle tente de combler les lacunes de la CAVE et évalue les différents niveaux de langage chez les patients, à savoir : les niveaux phonologiques, sémantiques et morphosyntaxiques. La BERA permet de compléter l'évaluation par le CRS-R et d'autres examens à visée diagnostique, et présente des implications cliniques importantes. Seulement, un des points soulignés par Aubinet, Chatelle, et al. (2021) est qu'il est intéressant de concevoir une version eye-tracking de cette procédure dans le but d'obtenir des données objectives concernant la fixation du regard chez les patients en ECA.

Ce mémoire comporte deux objectifs. Le premier est de valider la version comportementale de l'outil BERA auprès de patients en ECA. Le deuxième objectif est de concevoir la version BERA utilisant un dispositif d'eye-tracking (BERA-ET) et de la tester auprès de sujets contrôles. Dans un second temps, une étude de cas sera menée auprès de deux patients présentant un locked-in syndrome, à l'aide de l'outil BERA-ET, afin d'évaluer l'applicabilité de cet outil dans ce contexte clinique.

La question que l'on se pose dans ce travail est la suivante : Dans quelle mesure l'outil BERA, dans ses versions comportementale et eye-tracking (BERA-ET), est-il valide et applicable pour l'évaluation des capacités langagières chez les patients ECA ?

2. Introduction théorique

Dans cette introduction théorique, différents points seront abordés, tels que la littérature scientifique liée à la conscience, les techniques d'évaluation de la conscience, les capacités de langage résiduelles des patients en ECA, ainsi que la méthode eye-tracking. Cette synthèse de la littérature permettra de mieux comprendre les techniques utilisées pour tester notre question de recherche par la suite.

2.1 Altération de la conscience

La conscience peut être altérée suite à diverses étiologies. En effet, les différents ECA peuvent être dus à une lésion focale, résultant de troubles structurels (p. ex., abcès cérébral, tumeur cérébrale ou traumatisme crânien) ou non structurels (p. ex., crise d'épilepsie), ou bien diffuse (p. ex., trouble métabolique ou hypoxie) (Maiese, 2024). Suite à ces lésions, certains patients peuvent se retrouver dans un état de coma, pour ensuite évoluer vers d'autres stades de conscience altérée. Dans cette section, nous allons décrire ce qu'est la conscience, les différents états de conscience altérée et les régions cérébrales liées à ces détériorations de la conscience.

2.2 La conscience

D'après la littérature, différents auteurs s'accordent à dire qu'il n'est pas aisé de conceptualiser ce phénomène. Une première définition de la conscience, loin d'être complète, a été proposée par James en 1894. Selon lui, « la conscience humaine normale consiste en une conscience sérielle, ordonnée dans le temps, organisée, restreinte et réfléchie de soi et de l'environnement. De plus, c'est une expérience de complexité et de quantité graduées ». Bien sûr, différents éléments sont manquants comme le lien étroit entre le niveau d'éveil et le contenu de la conscience (Giacino et al., 2014). Par conséquent, la conscience est un concept multifacette possédant deux composantes majeures (voir [Annexe A1](#)).

La première est l'état d'éveil, de vigilance ou encore « wakefulness », désignant le niveau de conscience de l'individu. C'est ce qui permet à la personne de répondre aux stimulations de son environnement (p. ex., lorsqu'on touche quelqu'un ou qu'on lui parle). L'éveil est soutenu par différents neurones du tronc cérébral qui projettent sur les neurones thalamiques ainsi que sur les neurones corticaux. La seconde composante correspond au contenu de la conscience, c'est-à-dire, de quoi la personne est consciente (« awareness »). Dans une étude de Vanhaudenhuyse et al. (2011), les auteurs ont fait la distinction entre deux types de contenu : la

conscience de soi (interne), caractérisée comme englobant les processus mentaux qui ne nécessitent pas la médiation de stimulus externe ou d'entrée sensorielle (p. ex., errance mentale, rêverie, parole intérieure, imagerie mentale), et la conscience de l'environnement, du monde extérieur (externe), définie comme étant la perception consciente de l'environnement de l'individu à travers les modalités sensorielles (p. ex., la perception visuelle, auditive, somesthésique ou olfactive). En général, ces deux composantes sont liées positivement, car un état d'éveil accru augmente la conscience de soi et de l'environnement (Cassol et al., 2018).

Des études ayant utilisé des analyses statistiques basées sur les voxels ont montré que certaines zones étaient impliquées dans le contenu de la conscience et comptaient le réseau par défaut. En effet, les auteurs de ces études ont remarqué que le réseau fronto-pariétal (régions frontales bilatérales, latérales et médiales, zones pariéto-temporale et pariétale postérieure bilatérales, cortex cingulaire et précunéus postérieur) était moins activé chez des patients ayant une altération de la conscience en comparaison à des personnes saines (Laureys, 2005).

On peut supposer que la conscience est liée à l'intégrité fonctionnelle de ces régions, mais il est difficile de mesurer la conscience à l'aide de machines. En général, il est plus courant de rapporter divers signes cliniques observables chez un patient afin d'évaluer son état de conscience (Laureys et al., 2004).

2.2.1 Les différents ECA et signes cliniques

La conscience peut être altérée à un degré variable suite à certaines lésions cérébrales. Chez les patients cérébrolésés, la profondeur du coma peut être diagnostiquée grâce à l'évaluation de la présence ou non de réponses motrices suite à un stimulus douloureux standardisé (p. ex., en appuyant sur le nerf supraorbitaire). Il est possible d'être dans un coma dépassé qui correspond à un coma irréversible caractérisé par un encéphalogramme plat, une perte de conscience, perte des réflexes du tronc cérébral ainsi que de la respiration (Wijdicks, 2001). Heureusement, de nombreux patients présentent un coma moins profond, ce qui leur permet généralement d'évoluer vers un état de conscience supérieur dans les deux semaines suivant la lésion, même si ce stade initial d'altération de la conscience reste le plus sévère. Les patients dans cet état ont une perte complète de réaction spontanée ou induite par un stimulus. Lorsqu'on analyse l'électroencéphalogramme, on observe principalement des bandes de fréquences lentes, de type delta et thêta, et l'alternance des cycles veille-sommeil n'est pas nette. Ces patients gardent les

yeux fermés en permanence et ne présentent ni discours ni activité motrice en réponse à des commandes ou à des stimulations sensorielles (Giacino et al., 2009 ; Giacino et al., 2014).

Dans certaines situations, à la suite d'une lésion du tronc cérébral, des patients peuvent se retrouver dans un état clinique particulier, difficile à diagnostiquer. Bien qu'ils aient retrouvé un niveau de conscience normal, ils sont totalement paralysés et incapables de communiquer verbalement. Cet état est connu sous le nom de locked-in syndrome (LIS). Selon la classification de Bauer et al. (1979), le LIS se divise en 3 catégories en fonction des capacités motrices et verbales résiduelles. Dans la forme classique du LIS, les patients peuvent manifester leur conscience par des mouvements oculaires verticaux ou le clignement des paupières, ce qui leur permet une interaction très limitée avec leur environnement. On distingue également une forme incomplète du LIS, dans laquelle les patients conservent la capacité d'effectuer quelques mouvements volontaires très discrets, comme un léger mouvement de la main ou du doigt, en plus des mouvements oculaires verticaux et des clignements. Enfin, la forme complète du LIS se caractérise par une paralysie totale, incluant l'absence de tout mouvement volontaire, même oculaire, alors même que la conscience reste intacte (Bruno et al., 2008).

Pour les patients LIS, ainsi que pour les autres patients en éveil de coma, certaines difficultés rencontrées en clinique peuvent mener à des erreurs de diagnostic. Par exemple, il est difficile pour le personnel soignant de distinguer les mouvements réflexes des mouvements volontaires, de percevoir la fluctuation de la vigilance, et les déficits cognitifs ou sensoriels supplémentaires de ces personnes. Les diagnostics erronés ne sont pas sans conséquence. De fait, ils influencent les décisions concernant la gestion de la douleur ou bien les décisions de fin de vie (Bruno et al., 2013).

Lorsque les patients se réveillent de la période de coma, ils peuvent passer par différentes phases qui sont les ECA. La première étape possible est l'état d'éveil non répondant (ENR), aussi appelé état végétatif (EV). Cet état se caractérise par un retour de l'éveil, avec ouverture des yeux et présence de cycles veille-sommeil généralement visibles à l'électroencéphalogramme. Cependant, aucun signe de conscience de soi ou de l'environnement n'est observé : les patients ne peuvent ni communiquer ni exécuter de mouvements orientés, même s'ils peuvent présenter des réactions motrices réflexes, telles que des mouvements pour éviter un stimulus douloureux, adopter certaines postures ou manifester des mouvements involontaires. L'expression émotionnelle est également difficile et limitée ; des sourires, pleurs

réflexes ou grimaces en réponse à la douleur peuvent parfois être observés, mais ils ne traduisent pas une conscience émotionnelle (Giacino et al., 2002 ; Giacino et al., 2009).

Ensuite, lorsque les patients présentent des comportements non réflexes, associés à la conscience, on peut les diagnostiquer comme étant en ECM. Une caractéristique qui distingue cet état du précédent est la présence de comportements moteurs ou verbaux parfois incohérents, mais orientés vers un but (p. ex., répondre à une commande, suivre visuellement un objet, etc.) (Schnakers et al., 2009). Dans cette situation, les patients ont partiellement conscience d'eux-mêmes ou de ce qui les entoure et l'alternance veille/sommeil est présente.

Après avoir observé le niveau de complexité des comportements qui diffère entre les patients, Bruno, Vanhaudenhuyse, et al. (2011) ont scindé la catégorie ECM, très hétérogène au niveau des observations, en 2 sous-catégories de : ECM+ et ECM- (voir [Annexe A2](#)). Les patients en ECM- présentent des comportements conscients et orientés tels que la poursuite oculaire en réponse directe à des stimuli mobiles ou saillants, la reconnaissance ou la manipulation d'objets, la localisation d'objets ou de stimuli douloureux ainsi que des réactions motrices automatiques. Ils peuvent également présenter des réponses émotionnelles appropriées aux situations ou aux éléments de l'environnement (Bruno, Vanhaudenhuyse, et al., 2011 ; Sanz et al., 2018). Cependant, ils montrent une absence de comportement lié au langage (Aubinet, 2022). Quant aux patients en ECM+, ils se distinguent par la présence de signes de conscience langagiers, tels que la capacité à répondre à des commandes verbales, à verbaliser de façon intelligible ou à communiquer intentionnellement par des réponses gestuelles ou verbales (oui/non) (Sanz et al., 2018 ; Aubinet et al., 2020). Lorsqu'un patient commence à utiliser un code de communication de manière fonctionnelle ou parvient à se servir d'objets du quotidien, il est alors considéré comme ayant émergé de l'état de conscience minimale (EECM), selon Giacino et al. (2002) et Sanz et al. (2018).

2.2.2 Régions cérébrales altérées

En fonction du degré d'altération de la conscience, on remarque que le métabolisme du cerveau varie. La littérature montre parfois des profils de personnes en ENR/EV ayant une altération de la conscience, qui ne montrent pas une dépression du métabolisme cérébral cortical. En outre, il a déjà été observé que des personnes saines et éveillées, sans altération de la conscience, présentent un niveau du métabolisme affaibli, comparable à un ENR/EV. Ceci

met en évidence le fait que la relation entre le fonctionnement cérébral global et la présence ou non de conscience n'est pas absolue (Laureys, 2005).

Dans cette section, le but est d'identifier les zones du cerveau altérées dans les ECA et de comprendre quelles sont les zones qui permettent l'émergence de la conscience.

Lorsque les personnes sont dans un état de coma, des études ont montré que le thalamus, le tronc cérébral et le cortex cérébelleux sont moins activés et ont un métabolisme moindre comparé à des patients non comateux. Ces régions pourraient donc être liées aux deux composantes de la conscience altérée chez les patients en éveil de coma. Le cerveau d'un patient dans un état de coma voit le métabolisme de sa matière grise diminuer de 30 à 50 % par rapport aux valeurs initiales (voir [Annexe A3](#)). D'autres situations peuvent engendrer une diminution momentanée du métabolisme cérébral cortical telles que les anesthésies, mais aussi la phase de sommeil profond où s'en suit une diminution du métabolisme pouvant aller jusqu'à 40 % (Laureys et al., 2004).

Chez les patients en éveil de coma qui se réveillent, mais restent inconscients, en éveil non répondant/état végétatif (ENR/EV), différentes zones sont moins actives. En effet, ce qui soutient principalement la conscience et qui serait altéré chez ces patients serait le réseau fronto-pariétal. Plus précisément, une déconnexion des voies cortico-corticales et cortico-thalamo-corticales serait observée et serait une des causes de cet ECA (Laurey, 2005).

Dans la littérature, il est souvent admis qu'il est difficile de distinguer les patients en ENR/EV des patients en ECM (et plus particulièrement les ECM-) via les signes cliniques observables. Grâce aux techniques d'imagerie utilisées par certains chercheurs, on remarque les différences au niveau cérébral entre les ENR/EV et ECM, permettant d'obtenir un diagnostic plus fiable. Une étude récente de Thibaut et al. (2021), utilisant la tomographie par émission de positons 8F-fluorodésoxyglucose, a observé un recouvrement du fonctionnement cérébral entre des patients diagnostiqués en ENR/EV et des patients en ECM. Ces patients ont été définis comme « ECM sans signes comportementaux de conscience » ou « ECM* ». Les auteurs les ont caractérisés comme ayant un meilleur pronostic, une connectivité fonctionnelle globale et une présence de matière grise du réseau fronto-pariétal plus compatible avec le diagnostic de ECM. Par contre, ils ont observé que le métabolisme des régions postérieures du cerveau était plus faible que les ECM. Dans une étude d'IRM fonctionnelle longitudinale à cas unique de Tomaiuolo et al. (2016), les auteurs ont montré que le patient en ENR/EV ayant évolué vers un

état de conscience minimale présentait une diminution de l'activation du réseau par défaut et une augmentation de l'activation du réseau linguistique lors d'une tâche auditive passive. Cette activation des régions linguistiques reflète un meilleur traitement de la parole par le patient une fois qu'il est passé dans un ECM. Ceci est à mettre en lien avec les signes cliniques qui différencient ENR/EV, ECM- et ECM+, à savoir, le fait de répondre à des commandes vocales et de fournir des comportements verbaux orientés vers un but.

2.3 Méthodes d'évaluation de la conscience

Différents tests et outils existent afin d'évaluer l'état de conscience de patients en éveil de coma. On peut faire la distinction entre les évaluations comportementales et les évaluations par neuro-imagerie. Les deux méthodes sont complémentaires afin d'obtenir un diagnostic plus fiable concernant l'état des patients. Une bonne évaluation de la conscience est importante pour la vie des patients en ECA au vu de son impact sur le pronostic. Par exemple, alors que plus d'un tiers des patients diagnostiqués en ECM un mois après une lésion cérébrale retrouvent un état de conscience après un an, ce taux n'est que de 11 % chez les patients en ENR sur la même période. Un diagnostic fiable permet ainsi d'adapter les traitements et la prise en charge aux besoins spécifiques de chaque patient. Par ailleurs, il constitue un repère essentiel pour les décisions éthiques, notamment lorsqu'il s'agit d'envisager la fin de vie ou l'arrêt des traitements (Demertzi et al., 2011 ; Sanz et al., 2018). Dans cette section, nous avons abordé les différentes techniques d'évaluation ainsi que leurs limites en terminant par les points à améliorer afin d'obtenir un diagnostic fiable et valide.

2.3.1 Évaluation comportementale

En raison des différences parfois subtiles entre l'état d'éveil non répondant et l'état de conscience minimale, il peut être difficile de poser un diagnostic précis permettant de distinguer ces deux conditions chez les patients. La littérature souligne l'importance d'utiliser des outils comportementaux standardisés, et de ne pas se baser sur un consensus clinique, afin de limiter les erreurs diagnostiques (Schnakers et al. 2009). Ces erreurs peuvent provenir de plusieurs facteurs, notamment le manque d'expérience du clinicien ou la subjectivité de l'évaluation. Du côté du patient, des éléments tels que la paralysie, les troubles du langage (aphasie), l'agnosie, la cécité ou surdité, la fatigue et la fluctuation de la vigilance, la douleur, la sédation, ainsi qu'un manque de motivation ou de coopération peuvent également compliquer l'évaluation (Gosseries et al., 2014 ; Wannez et al., 2017).

Une étude menée par Schnakers et al. (2009) a comparé les diagnostics établis à partir d'un simple consensus clinique à ceux obtenus grâce à une évaluation standardisée. Les résultats ont révélé que 41 % des patients initialement diagnostiqués en ENR/EV présentaient en réalité des signes de conscience détectés par l'outil standardisé, ce qui a conduit à leur reclassement en ECM. De plus, parmi les patients dont le diagnostic était incertain, 89 % ont finalement été classés en ECM grâce à l'évaluation standardisée. Ainsi, en présence de comportements ambigus, l'absence d'outils comportementaux standardisés augmente significativement le risque d'erreur diagnostique.

Une évaluation habituellement réalisée par les médecins au chevet du patient est la « Glasgow Coma Scale » (GCS ; Teasdale & Jennett, 1976), qui est une méthode pratique pour évaluer le degré d'altération de la conscience de patients atteints d'une lésion cérébrale aiguë via des stimuli prédéfinis divisés en 3 sections : l'ouverture des yeux, les réponses motrices et les réponses verbales. Elle est souvent utilisée en clinique ainsi qu'en recherche, bien qu'elle soit peu sensible pour détecter les changements de comportement subtils et involontaires, ce qui empêche la distinction entre les patients en ENR/EV des patients en ECM (Schnakers & Laureys, 2017). L'outil “Full Outline of UnResponsiveness score” (FOUR score ; Wijdicks et al., 2005) est plus sensible comparé au GCS. Il peut être administré en quelques minutes seulement et évalue 4 composantes : les yeux, la motricité, les réflexes du tronc cérébral et la respiration.

L'instrument d'évaluation comportementale de la conscience le plus souvent utilisé est l'échelle « Coma Recovery Scale-Revised » (CRS-R ; Giacino et al., 2004), qui est un outil fiable et valide de la réactivité neurocomportementale. De plus, les résultats obtenus restent relativement stables sur une période de 36 heures. Cette échelle comprend 23 items hiérarchisés qui comprennent six sous-échelles évaluant les fonctions d'éveil, auditives, visuelles, motrices, verbales et de communication.

L'inconvénient de l'échelle CRS-R est que cette évaluation est un peu longue à administrer en milieu clinique. C'est pourquoi Aubinet, Cassol, et al. (2021) ont proposé et validé un autre instrument, « The Simplified Evaluation of CONsciousness Disorders » (SECONDS), qui a comme avantage d'être plus rapide à administrer et donc de pouvoir être réalisé plus facilement de façon répétée. L'effet de fatigue chez les patients peut être évité et une augmentation de leur coopération est observée, ce qui réduit le taux d'erreur de diagnostic. Ce test se compose de 6 items obligatoires : l'observation, le suivi de commandement, la poursuite visuelle, la fixation

visuelle, les comportements orientés, et l'éveil. Il possède également deux items conditionnels: la communication et la localisation de la douleur.

D'autres outils standardisés neurocomportementaux tels que le « Coma-Near ComaScale » (CNC ; Rappaport et al., 1992), le « Western Neurosensory Stimulation Profile » (WNSSP ; Ansell & Keenan, 1989), et le « Sensory Modality Assessment and Rehabilitation Technique » (SMART ; GillThwaites, 1997) permettent d'évaluer le niveau de conscience des patients en ECA. Un procédé également intéressant est la « Wessex Head Injury Matrix » (WHIM ; Shiel et al., 2000), traduite en français et validée par Majerus et al. (2000). La version française de cet instrument est composée de 66 items évaluant les différents niveaux de conscience et la transition entre ces derniers. La WHIM possède une bonne validité concourante avec la CGS et son extension, la Glasgow-Liège Coma Scale (GLS ; Born, 1988) ainsi qu'une bonne fidélité inter-juge et test retest.

Tous les instruments cités ci-dessus évaluent les réponses comportementales aux différents stimuli auditifs, visuels, moteurs, et de communication, bien qu'aucun d'eux n'intègre les critères diagnostiques des différents ECA dans leur protocole d'évaluation ou de cotation, excepté la CRS-R (Schnakers & Laureys, 2017).

2.3.2 Limites de l'évaluation comportementale

Lorsqu'on utilise ces outils standardisés, on peut toutefois se rendre compte de l'impact de différents biais amenés par l'examineur, le patient, et l'environnement sur les résultats. Il est donc important de veiller à contrôler au mieux ces biais en réduisant la longueur de l'évaluation, et en variant les évaluateurs. Afin d'avoir des résultats fiables, il est notamment important d'administrer ces mesures de façon répétée, en phase aiguë ainsi qu'en phase chronique, étant donné que les réponses neurocomportementales des patients en éveil de coma fluctuent rapidement en fonction des jours, du moment de la journée ou même durant l'évaluation. (Schnakers & Laureys, 2017).

Certaines techniques d'évaluation de la conscience citées précédemment peuvent paraître intéressantes pour la clinique. Effectivement, les recherches ont permis le développement d'outils fiables, qui prennent moins de temps à l'administration et qu'on peut appliquer plusieurs fois sans que cela n'impacte de manière conséquente la fatigue et la collaboration des patients. Bien que les outils tels que la CRS-R fournissent un diagnostic précis du niveau de

conscience, les fonctions cognitives et langagières déficitaires de certains patients ne permettent pas d'apprécier leur niveau exact de conscience. De plus, les multiples difficultés (p. ex., la motricité, la fluctuation du niveau d'éveil, le niveau de vigilance, l'aphasie et les troubles sensoriels) chez certains patients ayant subi des lésions cérébrales graves rendent compliquée l'évaluation via des paradigmes actifs, nécessitant des fonctions langagières préservées et la capacité à suivre des commandes verbales (Aubinet, Murphy, et al., 2018). On se rend compte que les évaluations comportementales sont accessibles, peu coûteuses, et faciles à utiliser, même si elles ne permettent pas de remplir certaines qualités psychométriques telles que la sensibilité, la spécificité et la validité prédictive. Un outil comportemental possédant ces qualités psychométriques permettrait de diminuer le taux d'erreur de diagnostic souvent trop élevé.

2.3.3 Évaluation par neuro-imagerie

Bien qu'il soit possible d'évaluer les capacités résiduelles de langage chez les patients en ECA grâce aux évaluations comportementales, l'utilisation de la neuro-imagerie et des techniques électrophysiologiques, donnant des résultats plus objectifs, permet également d'analyser les capacités de langage subsistantes de ces derniers. Comme le précisent Giacino et al. (2014), les études de neuro-imagerie fournissent une meilleure compréhension des corrélats neuronaux de la conscience, ce qui permet d'avoir des diagnostics et des pronostics plus précis. Dans le cadre de ce mémoire, nous allons passer en revue certaines techniques de neuro-imagerie souvent utilisées dans les études concernant les troubles de la conscience suite à des lésions cérébrales acquises, leurs avantages et inconvénients.

L'électro-encéphalogramme (EEG) est une des premières techniques de neuro-imagerie utilisées auprès des patients en ECA car il est peu coûteux et facile d'utilisation. Pour obtenir une image de l'activité cérébrale, des électrodes sont placées à des endroits spécifiques sur la surface du crâne afin de capter l'activité électrique résultant de la communication entre les neurones. Grâce à l'EEG, certains chercheurs ont montré que des patients avec de graves lésions cérébrales, pour qui on ne percevait pas de réponse aux commandes lors d'évaluations comportementales, présentaient une réponse corticale qui révélait soit un suivi des commandes, soit des réponses corticales d'ordre supérieur aux stimuli auditifs passifs (Edlow et al., 2017). Ceci met en évidence l'existence d'un certain niveau de conscience en fonction du degré de complexité des signaux enregistrés par l'EEG.

Une autre technique de neuro-imagerie souvent évoquée dans la littérature est l'imagerie par résonance magnétique (IRM) structurelle ou fonctionnelle. L'IRM structurelle permet d'obtenir des images tridimensionnelles à haute résolution au niveau de la matière blanche et de la matière grise chez des patients cérébrolésés (Sanz, Thibaut, et al., 2021). Cependant, cette technique ne permet pas toujours de faire la distinction entre l'état végétatif et l'état de conscience minimale en comparaison au CT scan, qui est préférable de par son accessibilité, sa rapidité d'acquisition et sa sensibilité à détecter les lésions cérébrales comme une hémorragie (Giacino et al., 2014). L'IRM fonctionnelle (IRMf) est une technique qui permet d'obtenir l'activité des différentes zones cérébrales en temps réel grâce à la détection du changement du flux sanguin de celles-ci (Andréelli & Mosbah, 2014). Une étude réalisée en 2006 (Owen et al.) a utilisé l'IRMf afin de détecter l'état de conscience d'une patiente en ENR/EV ne présentant pas de signe comportemental de conscience. Dans un premier temps, les auteurs lui ont fait écouter des phrases simples ainsi que des phrases ambiguës contenant des mots complexes. Ils ont alors observé que les régions cérébrales activées chez la patiente étaient similaires à celles de sujets sains. Dans un second temps, lorsqu'ils lui ont demandé de s'imaginer effectuer certaines actions (comme jouer au tennis ou se déplacer dans sa maison), son activité cérébrale était similaire à celle observée chez les sujets contrôles. Ces résultats suggèrent que la patiente était capable de comprendre les instructions et d'y répondre par une activité cérébrale volontaire, malgré l'absence de réponse motrice observable.

Une dernière méthode abordée dans ce mémoire correspond à la tomographie par émission de positon (TEP). C'est une technique d'imagerie fonctionnelle qui nécessite l'injection d'un isotope radioactif dans la circulation sanguine et qui permet d'obtenir des images fonctionnelles mettant en évidence le niveau d'activité des différentes zones cérébrales. Bruno, Majerus, et al. (2011) ont utilisé du fluorodésoxyglucose afin de caractériser ce qui différencie le métabolisme cérébral des patients en ECM+ et en ECM-. Les images fonctionnelles de la TEP ont montré que les patients en ECM- ont un métabolisme significativement moins élevé dans les régions de Broca et de Wernicke, dans le noyau caudé gauche et le cortex post et précentral en comparaison aux patients en ECM+. Une autre étude utilisant la TEP (Aubinet et al., 2018) a identifié une différence de métabolisme entre patients en ECM- et en ECM+ au niveau du thalamus et du précunéus, deux zones caractérisant l'état de conscience. On peut donc admettre que les patients en ECM- et en ECM+ montrent un niveau de conscience, en plus d'un niveau de fonction langagière, objectivement différents.

Cette distinction est importante, car cela montre qu'il est nécessaire de considérer une analyse plus objective grâce à la TEP chez des patients non répondants avant de poser un diagnostic et de prendre des décisions de fin de vie. Cette technique d'évaluation paraît intéressante en complément d'une évaluation comportementale. De plus, Thibaut et al. (2021) déclarent que la TEP avec injection de fluorodésoxyglucose à l'état de repos paraît plus sensible pour diagnostiquer les patients en ECA comparé à l'IRMf en paradigme actif.

Une autre méthode diagnostique prometteuse pour différencier, au cas par cas, les patients en ERN de ceux en ECM repose sur l'utilisation de la stimulation magnétique transcrânienne couplée à l'électroencéphalogramme (SMT-EEG). Cette technique permet d'évaluer le niveau de conscience de manière totalement indépendante des capacités motrices ou sensorielles du patient. Casali et al. (2013) ont ainsi développé l'indice de complexité perturbationnelle (Perturbational Complexity Index, PCI), qui quantifie la richesse et la complexité de la réponse cérébrale à une stimulation magnétique. Le PCI, dont la valeur varie entre 0 et 1, reflète directement le niveau de conscience : plus il est élevé, plus le patient présente un état de conscience élevé. Cet indice semble être un outil objectif et fiable pour le diagnostic des troubles de la conscience.

2.4 Capacités langagières chez les patients aphasiques

Comme déjà énoncé auparavant, les capacités langagières des patients en ECA sont à prendre en compte lorsqu'on évalue leur état de conscience. En effet, lorsqu'on donne des consignes aux patients lors d'une évaluation comportementale, et qu'ils ne réagissent pas comme on l'attend, on pourrait se demander s'ils nous comprennent. Les outils comportementaux tels que la CRS-R ou la SECONDS ont de bonnes propriétés psychométriques. Cependant, l'exactitude des résultats peut être influencée par la fluctuation du niveau de conscience de certains patients, de leurs capacités motrices et surtout de leurs capacités à traiter les informations verbales. Souvent, les capacités langagières varient en fonction du niveau de conscience des personnes cérébrolésées. Aubinet et al. (2022) ont distingué les capacités langagières implicites qui correspondent à la réapparition de traitement langagier cortical, alors que les capacités explicites de langage se rapportent aux capacités des patients en ECA à comprendre et à produire du matériel verbal. Cette étude ainsi que d'autres affirment qu'une récupération de la conscience se fait parallèlement au rétablissement des capacités de langage chez les patients cérébrolésés (voir [Annexe A4](#)).

En outre, tous les patients ayant une lésion cérébrale ne sont pas sujets à des déficits linguistiques. Dans leur article de 2009, Majerus et al. expliquent que les personnes les plus à risque d'avoir des déficits de langage sont les victimes de pathologies vasculaires cérébrales. En effet, 15 à 30 % des personnes ayant subi un AVC présentent des déficits linguistiques, contre seulement 15 % des patients ayant une lésion cérébrale traumatique. Aussi, les patients souffrant d'une aphasie sévère sont rares et le déficit de langage le plus souvent observé est l'anomie.

Dans la section qui suit, nous aborderons des aspects théoriques tels que la production du langage, la compréhension du langage, ainsi que les différents types d'aphasies dont les patients en ECA peuvent souffrir suite à une lésion cérébrale traumatique.

2.4.1 Modèle de traitement du langage

Les capacités de langage sont divisées en différents domaines qui peuvent être plus ou moins altérés en fonction des lésions cérébrales des patients. Tout d'abord, il y a le système phonologique qui correspond au traitement des phonèmes constituant un mot et à la construction des représentations phonologiques des mots. Lorsque le système est altéré, il est difficile pour la personne de comprendre ou de produire des phonèmes qui constituent un mot, ce qui affecte les représentations qu'on se fait des mots dans le système cognitif (*Les Troubles du Langage et du Calcul Chez L'enfant*, 2004, p. 81-112). Un second niveau à prendre en compte est le traitement sémantique des mots, c'est-à-dire un système qui permet de stocker en mémoire les connaissances des concepts qui nous entourent. S'il y a une altération du traitement sémantique, les personnes ne sont plus capables de comprendre le sens des mots qu'elles entendent. De plus, il est difficile pour elles de produire des mots qui ont du sens. Enfin, le dernier domaine langagier est le traitement morphosyntaxique qui correspond au traitement conjoint de la *morphologie* (dans ses aspects syntaxiques) et de la *syntaxe*, qui a pour but de caractériser la formation d'énoncé (Parisse, 2009).

Afin de mieux comprendre ce qui peut être altéré chez certains patients en ECA, les différentes composantes du modèle du fonctionnement normal du traitement linguistique établi par Patterson et Shewell (1987) vont être expliquées dans la suite de ce travail. Il s'agit d'un modèle relativement complet (voir Figure 1), qui permet de rendre compte du fonctionnement du langage et des liens existant entre les différentes composantes du langage.

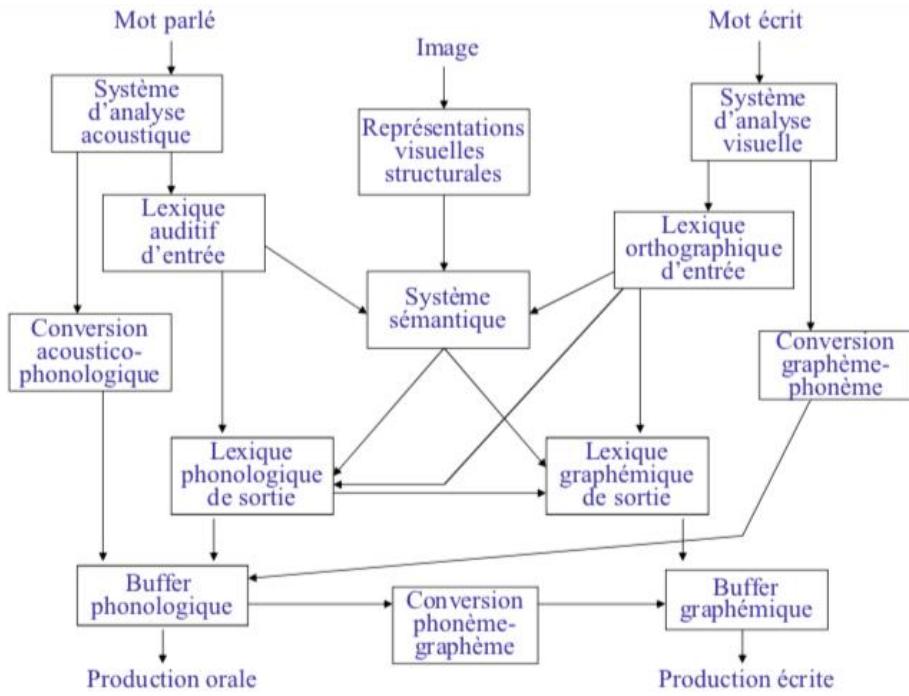


Figure 1. Modèle du processus lexical

Les composantes de ce modèle sont impliquées dans diverses fonctions telles que la compréhension et la production des mots en modalité écrite et en modalité orale. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous concentrerons sur la modalité orale, détaillée dans les deux sous-sections qui suivront.

2.4.1.1 Compréhension du langage en modalité orale

Lorsqu'on entend un mot connu, la première composante impliquée est le système d'analyse acoustique qui permet l'extraction de l'onde sonore complexe et l'identification des phonèmes qui composent cette séquence verbale. Suite à ce traitement, une représentation phonologique est activée et permet de faire avancer le traitement du mot à l'étape suivante. Le lexique auditif d'entrée est la deuxième composante impliquée dans la compréhension orale des mots et a comme rôle le stockage des représentations lexicales auditives des mots que l'on connaît et qui nous sont familiers. Lorsque la séquence d'unités phonologiques est activée, la représentation lexicale auditive du mot va être stimulée et le mot va pouvoir être retrouvé parmi les différents mots connus stockés en mémoire.

Afin que l'on puisse comprendre le sens du mot reconnu dans le lexique, la dernière composante nécessaire est le système sémantique qui est le point central du modèle, peu importe la modalité impliquée. Son rôle est de stocker la représentation sémantique correspondant à

chaque mot grâce à l'activation des caractéristiques sémantiques du mot entendu. Ceci nous permet de comprendre le mot énoncé.

Lorsqu'une des composantes est altérée, différents profils de performance peuvent exister. Si le système d'analyse acoustique est détérioré, le patient aura des difficultés ou sera incapable d'identifier les caractéristiques des traits phonétiques que contiennent les phonèmes du mot entendu. On parle de trouble de la perception de la parole ou de « surdité verbale pure ». Si des patients ont des difficultés à activer la représentation lexicale auditive du mot entendu, cela signifie que le lexique auditif d'entrée est probablement altéré. Ce profil correspond à la « surdité à la forme du mot ». Dans le cas où le système sémantique est perturbé, le patient n'est pas capable de comprendre le sens du mot, car la représentation sémantique de ce dernier ne se déclenche pas. On parle de démence sémantique pour des patients qui subissent une perte graduelle de la capacité à accéder au sens des mots. On peut aussi avoir un autre profil qui concerne les patients qui n'accèdent plus au sens des mots d'une catégorie particulière (p. ex., animaux, objets, etc.), et qui présentent une « altération spécifique des catégories sémantiques ».

2.4.1.2 Production du langage en modalité orale

Lorsqu'il est question de produire un mot spontanément, différentes composantes du modèle sont importantes. Tout d'abord, le premier élément impliqué est le système sémantique déjà évoqué précédemment. Ensuite, le lexique phonologique de sortie est mobilisé afin de stocker les représentations phonologiques correspondant à la représentation sémantique du mot qui doit être produit. La dernière étape avant la production du mot est le buffer phonologique qui a comme rôle de stocker temporairement les phonèmes ainsi que leur position dans le mot à produire. Cette période de latence permet au système de réaliser différents traitements et de préparer à l'articulation effective des divers phonèmes du mot qui sera produit juste après.

Dans le cas d'une altération spécifique des différentes composantes impliquées dans la production du langage, différents profils peuvent apparaître. Si le patient a une altération du système sémantique du traitement linguistique, le patient aura des difficultés à activer la représentation sémantique du mot qui doit être produit et par conséquent, la production verbale est impossible ou bien une paraphasie sémantique peut apparaître, c'est-à-dire que le mot cible est remplacé par un autre mot qui a un lien sémantique avec celui-ci. On verra les mêmes difficultés survenir en cas d'altération du lexique phonologique de sortie. Lorsqu'il y a une

altération du buffer phonologique, le patient a des difficultés à maintenir la trace des représentations des phonèmes qui constituent le mot cible ainsi que leur ordre. Dans ce cas, le patient fait des erreurs phonologiques dans toutes les tâches qui impliquent une production orale, spontanée ou non.

2.4.2 L'aphasie

L'aphasie a été définie par Benson (1979) comme étant " ...la perte ou l'altération du langage causée par des lésions cérébrales". À cette définition, nous pouvons ajouter le fait que l'aphasie est un déficit de communication verbale (production ou compréhension) qui survient généralement suite à une lésion cérébrale acquise du système nerveux central, sans qu'il y ait de déficit des processus périphériques (aspects moteurs de l'articulation, phonation, perception auditive) (McNeil & Pratt, 2001).

L'aphasie peut avoir différentes étiologies possibles. Dans 75 % des cas, l'aphasie est causée par des maladies cardiovasculaires cérébrales (AVC). Celles-ci regroupent différentes pathologies telles que les thromboses cérébrales, les embolies cérébrales, les hémorragies intracrâniennes, et surviennent habituellement chez les personnes plus âgées (Poncelet, 2023)¹.

Les signes cliniques de la production du langage lorsqu'un patient souffre d'aphasie sont assez variés. Par exemple, des anomalies du débit de la parole peuvent apparaître avec un débit qui peut être lent et accompagné de pauses fréquentes ainsi qu'une réduction significative du nombre de mots utilisés pour décrire une idée, appelé *débit non fluent*. Dans la situation inverse, on peut avoir des patients qui ont un *débit fluent* avec une logorrhée, une accélération du débit de la parole difficile à arrêter. Les patients ayant une aphasie de production du langage peuvent présenter de la dysprosodie, c'est-à-dire une anomalie du rythme, de l'intonation ou de la hauteur du ton ainsi qu'un discours monotone ou syllabé. Un autre signe clinique chez les patients aphasiques est le manque de mot qui peut survenir en langage spontané ou bien en dénomination, caractérisé par des hésitations, des pauses plus ou moins longues, une absence de réponse, des périphrases ou des transformations aphasiques. Lorsque les patients veulent produire des mots ou des phrases, ils peuvent être victimes de paraphasies de différents types

¹ Source dérivée de la plateforme MyUlg (non accessible au public)

selon l'unité linguistique altérée (traits phonétiques, phonèmes, morphèmes/mots, syntagmes), et qui se définissent comme étant des transformations aphasiques du langage oral (Poncelet, 2023).

Contrairement à la sémiologie de la production verbale, les signes cliniques de la compréhension orale ne sont pas directs. Les différents déficits sont identiques à ceux énoncés dans la section « Compréhension du langage en modalité orale » ci-dessus (Poncelet, 2023).

De plus, il est important de spécifier qu'il existe différentes catégories d'aphasie qui représentent des profils spécifiques. Un premier type d'aphasie est celle de Broca, qui survient chez les patients ayant des lésions au niveau de l'aire de Broca, mais aussi du cortex moteur inférieur, de l'insula, du striatum, du faisceau arqué et de la région temporelle antérieure. Ces patients présentent certaines difficultés pour l'expression orale telles qu'un débit non-fluent lent et avec des pauses récurrentes dans le discours, jusqu'au mutisme dans les cas les plus graves. En général, la compréhension orale est relativement préservée (Poncelet, 2023).

Un deuxième type d'aphasie est l'aphasie de Wernicke qui représente le tableau clinique contraire à l'aphasie de Broca. En effet, dans ce type d'aphasie, la personne éprouve certaines difficultés de production orale (p. ex., logorrhée, manque de mot, problèmes de répétition et paraphasies) même si leurs discours restent fluents et relativement normaux (Huang, 2023). Le plus gros problème chez ces patients se situe au niveau de la compréhension orale. De plus, ces derniers ne sont généralement pas conscients de leurs difficultés. Ce type d'aphasie peut survenir suite à des lésions au niveau de l'aire de Wernicke (moitié ou tiers postérieur du gyrus temporal supérieur), mais aussi au niveau du gyrus temporal moyen et s'étend parfois jusqu'au lobe pariétal inférieur (Poncelet, 2023).

Un troisième type d'aphasie qui peut se produire chez un patient cérébrolésé est l'aphasie de conduite. Ce trouble touche les personnes qui ont une lésion du faisceau arqué, ce dernier étant impliqué dans l'organisation cérébrale de la parole et du langage. Différentes caractéristiques de l'aphasie de conduite ont été proposées par Benson et al. (1973) avec 3 caractéristiques de base qui sont : un langage conversationnel courant, une compréhension presque normale, et des déficits significatifs de la répétition. Ils citent aussi 5 caractéristiques secondaires qui sont : les déficits de désignation, les déficits de lecture, les difficultés d'écriture qui peuvent varier, l'apraxie idéomotrice (pas associée aux lésions du lobe temporal) ainsi que les déficiences neurologiques supplémentaires (Ardila, 2010).

Quatrièmement, certains patients peuvent souffrir d'aphasie anomique ou d'anomie qui survient généralement suite à des lésions soit des régions antérieures telles que le cortex frontal dorso-latéral, soit des régions postérieures comme le cortex temporal moyen et inférieur. Dans les deux cas, la compréhension orale est légèrement déficiente et les patients dans cette situation ont recours à beaucoup de périphrases et ont tendance à trouver difficilement un mot isolé lors d'une tâche à choix forcé, par exemple (Poncelet, 2023).

Les différentes aphasies décrites ci-dessus font partie de la catégorie des aphasies corticales. Cependant, il existe une catégorie qui concerne les zones sous-corticales telles que l'aphasie thalamique, l'aphasie sous-corticale antérieure et postérieure mais aussi l'aphasie sous-corticale globale. Cette dernière est due à des lésions simultanées des zones impliquées dans l'aphasie sous-corticale antérieure et postérieure. Par ailleurs, les patients atteints d'aphasie sous-corticale globale présentent une aphasicité caractérisée par un déficit sévère de la compréhension et de l'expression verbale, ce qui représente un handicap relativement important (Poncelet, 2023).

2.5 Évaluation des capacités langagières des patients en ECA

Comme déjà évoqué plusieurs fois dans ce travail, il est nécessaire d'inclure les capacités de langage lorsqu'on évalue l'état de conscience des patients. En effet, la compréhension du langage oral est nécessaire et importante au niveau clinique, étant donné les difficultés des patients en ECA à fournir des réponses comportementales. Si ces derniers souffrent de troubles linguistiques comme l'aphasie, alors ils ne seront pas en mesure de répondre correctement aux évaluations comportementales de la conscience. Très souvent, ce « biais d'aphasie » génère un taux assez élevé de faux diagnostics et engendre des répercussions non négligeables sur la vie des patients. En réalité, une étude de Schnakers et al. (2015) a montré que 54 % des patients avec aphasicité globale mais totalement conscients sont diagnostiqués en ECM suite à leurs troubles phasiques.

Cette section a pour objectif de décrire diverses façons d'évaluer les capacités de langage chez les patients aphasiques, également utilisées auprès de patients en ECA. Nous verrons que ces techniques ne sont pas toujours adaptées aux patients en ECA, ce qui permettra d'introduire une technique d'évaluation comportementale plus adaptée à cette population : la BERA.

2.5.1 Évaluation de la capacité de compréhension du langage oral des patients en ECA

Pour évaluer les capacités de langage des patients en éveil de coma, différents outils d'évaluation comportementaux plus ou moins adaptés ont été décrits dans l'article d'Aubinet et al. (2022). Des instruments tels que le CRS-R, la SECONDS ou encore le « Individualized Quantitative Behavioral Assessments » (IQBA ; Day et al., 2018) possèdent des items qui nécessitent une compréhension de commandes verbales de la part des patients. Bien que ces outils permettent d'identifier des signes généraux de conscience liés au langage, ils ne sont pas adaptés à une évaluation approfondie des différents aspects du langage chez des patients ayant une lésion cérébrale sévère (Aubinet, Chatelle, et al., 2021). De plus, plusieurs variables autres que la compréhension du langage peuvent également influencer les résultats aux évaluations telles que les fluctuations de l'état de conscience, les difficultés motrices, l'altération de certaines fonctions cognitives, etc. Cependant, d'autres outils plus spécifiques à l'évaluation des capacités langagières de ces personnes existent avec leurs avantages et leurs limites.

Une première technique décrite ici est le « Chiba score », qui est une échelle comprenant 11 items avec pour objectif d'évaluer différentes fonctions cognitives souvent altérées chez les patients en ECA afin de les classer selon leur sévérité : le niveau de conscience, l'activité motrice résiduelle, la compréhension et la production du langage (de l'absence de réponse à la compréhension/production du langage normale), la cognition visuelle et auditive (de l'absence de réponse visuelle à un stimuli en mouvement à l'utilisation des informations visuelles/auditives dans la communication), la nutrition, l'expression faciale des émotions, l'élimination, le changement que le patient est capable d'effectuer ainsi que ses mouvements. Ce test n'a toutefois jamais été validé et est seulement basé sur des observations cliniques. Ensuite, une autre échelle permet d'évaluer les capacités linguistiques chez des patients en ECA (Yamaki et al., 2018). Le « Loewenstein Communication Scale » (LCS ; Borer-Alafi et al., 2002) est une échelle mesurant 5 fonctions : la mobilité, la respiration, la réponse visuelle, la compréhension à l'audition, et les compétences linguistiques (verbales et autres modalités). L'étude de Borer-Alafi et al. (2002) a démontré une bonne fiabilité ainsi qu'une bonne fidélité inter-juge. C'est une échelle intéressante étant donné qu'elle permet d'évaluer les compétences pré-linguistiques (habileté motrice, visuelle et auditive) qui sont nécessaires pour la récupération du langage et de la conscience. En outre, cette échelle peut être utilisée à plusieurs reprises pour mesurer la progression des capacités de communication. Un troisième instrument utilisé pour évaluer les capacités de langage auprès de patients se réveillant d'une période de coma est le «

Cognitive Assessment by Visual Election » (CAVE ; Murphy, 2018) qui ne nécessite pas de réponse verbale de leur part, ce qui est avantageux. Lors de cette évaluation comportementale, plusieurs items visuels sont présentés aux patients et il leur est demandé de regarder l'item correspondant aux mots énoncés par l'évaluateur, à côté d'un distracteur. Les patients sont ainsi amenés à reconnaître des objets réels, des images, des nombres, des lettres, des mots écrits et des couleurs. C'est une échelle valide, qui possède une bonne fidélité inter-juge et test-retest, ce qui est intéressant pour la clinique. Cependant, une limite évoquée par Aubinet et al. (2022) est le fait que les différents domaines linguistiques (phonologique, sémantique, morphosyntaxique) évoqués plus haut ne peuvent pas être différenciés par cet outil. De plus, il n'y a pas de contrôle des variables psycholinguistiques des patients qui interviennent généralement dans le diagnostic des aphasies (Ardila, 2010). Une autre limite est que cet outil ne permet pas d'être utilisé efficacement chez des patients qui présentent un déficit visuel ou oculomoteur, étant donné que l'évaluation est basée sur les mouvements du regard.

En conclusion, on remarque que les différentes techniques d'évaluation sont, pour la plupart, intéressantes. Seulement, certaines d'entre elles ne permettent pas d'évaluer directement les capacités de langage (p. ex., CRS-R, SECONDS), tandis que d'autres prennent en compte les capacités de langage des patients lors de l'évaluation de la conscience, mais elles ne permettent pas d'évaluer à quel niveau du langage (phonologique, sémantique, morphosyntaxique) le patient rencontre des difficultés. Pour obtenir un instrument sensible et valide, il serait nécessaire d'adapter les modes d'administration des items en fonction des difficultés des patients en éveil de coma. Aubinet et al. (2021) ont conçu un nouvel outil, la BERA, qui prend en compte ces différents aspects afin d'améliorer l'évaluation de conscience auprès des patients en ECA.

2.5.2 Brief Evaluation of Receptive Aphasia (BERA)

Charlène Aubinet, en collaboration avec l'équipe du Coma Science Group de Liège (2017), a conçu un outil afin de distinguer l'altération des niveaux phonologique, sémantique et morphosyntaxique en réception. L'outil BERA est plus ou moins semblable à l'outil CAVE, qui permet d'évaluer la compréhension orale via la fixation visuelle des patients devant choisir entre deux représentations visuelles. En réalité, l'outil est composé de deux versions de 30 items, divisés en 3 parties : 10 items pour la phonologie, 10 items pour la sémantique et 10 items pour la morphosyntaxe. Chaque catégorie est elle-même divisée en 5 items simples et 5 items complexes (p. ex. un item phonologique simple = Mie vs Fée et un item phonologique complexe

= Main vs Nain). Pour chaque item, il est demandé au patient de regarder l'image correspondant à la cible énoncée oralement. La BERA, validée auprès de patients aphasiques et testée auprès de 4 patients en ECM et EECM, est le seul outil en français qui permet une évaluation spécifique de la compréhension orale chez les patients en éveil de coma. Cependant, les chercheurs remarquent qu'il est difficile d'obtenir des résultats fiables pour plusieurs raisons. Tout d'abord, étant donné que l'élément de mesure est la fixation visuelle, les examinateurs peuvent rencontrer des difficultés à percevoir où les patients posent leur regard. Ensuite, les patients en éveil de coma éprouvent d'autres difficultés telles que des déficits moteurs, visuels ou attentionnels qui peuvent rendre difficile la récolte des résultats. Ces différents aspects rendent l'évaluation comportementale moins fiable. Toutefois, une manière de rendre les résultats plus objectifs serait d'utiliser un dispositif d'eye-tracking pour évaluer les mouvements oculaires et les fixations lors de l'évaluation des capacités de langage chez les patients en ECA, ce qui est un des objectifs de ce mémoire. En effet, une version informatisée de la BERA semble être un moyen d'évaluation et de communication utile lorsque les capacités de communication verbale sont altérées (Kujawa et al., 2021).

2.6 Eye-tracking

La conception d'un outil clinique standardisé permettant de mesurer les mouvements oculaires ainsi que les fixations oculaires des patients en ECA serait donc nécessaire. Cet outil alternatif rendrait l'évaluation plus fiable, plus accessible et plus interprétable pour le personnel soignant, ce qui diminuerait le taux de patients erronément diagnostiqués en ENR/EV au lieu de ECM (Ting et al., 2014). Dans cette partie du mémoire, nous allons aborder quelques points théoriques sur les mouvements oculaires normaux qui pourraient être altérés suite à une lésion du système nerveux central (SNC), souvent présente chez les patients en ECA. Ensuite, une explication plus détaillée du système eye-tracking et de son utilité dans l'évaluation clinique sera développée.

2.6.1 Mouvements oculaires chez les patients en ECA

Le système perceptif permet à l'Homme de prendre conscience de l'environnement qui l'entoure très rapidement. En effet, lorsque le système visuel est intact, nous percevons les personnes, les objets, les couleurs, etc. qui nous entourent presque instantanément, bien qu'il y ait tout un cheminement avant que l'information captée par l'œil soit traitée. La première étape implique la rétine, qui est une fine membrane située sur la face interne de l'œil constituée de

deux photorécepteurs : les cônes et les bâtonnets. Ces deux photorécepteurs vont transférer l'information visuelle vers le SNC afin qu'elle soit traitée dans différentes zones cérébrales en fonction des propriétés de l'information visuelle en question (Devu & Vanootighem, 2023² ; Lemoine-Lardennois et al., 2016).

En fonction de la localisation de la lésion, les difficultés dans le mouvement du globe oculaire varient, étant donné qu'il est composé de 3 étapes. Premièrement, lorsqu'on veut déplacer notre regard d'un point à un autre, il est nécessaire de désengager notre attention. Cette action nécessite que le cortex pariétal soit intact. Deuxièmement, lorsque le processus de désengagement est réalisé, l'activation du colliculus supérieur permet le mouvement du globe oculaire. Troisièmement, lorsque le mouvement oculaire a été effectué, un réengagement de l'attention est nécessaire et est possible si le noyau postérieur du thalamus, appelé le pulvinar, est intact. De plus, la région frontale du cortex cérébral est également nécessaire dans la prise de décision de la réalisation, ou non, d'un mouvement oculaire. Plus précisément, c'est le « Frontal Eye Field » (FEF) qui serait impliqué dans cette fonction de prise de décision et de contrôle du comportement visuel (Devu & Vanootighem, 2023).

Deux phénomènes sont nécessaires dans la collecte d'informations se trouvant dans l'environnement. Un premier élément est la saccade visuelle, qui est un mouvement très rapide (30 à 40 ms) caractérisé par la rotation du globe oculaire pour amener la cible dans la région centrale de l'œil, la fovéa. Pour passer d'un point à un autre, plusieurs saccades successives sont nécessaires, dont l'angle visuel varie différemment en fonction de l'activité en cours (p. ex., les saccades seront plus petites si on lit un livre que si on fait du sport). Ensuite, une fois les saccades effectuées, il est important que l'œil se fige et que les éléments du champ visuel pertinents soient traités. Ceci est possible grâce au phénomène de fixation, qui sont des périodes stationnaires qui apparaissent entre chaque saccade. Ces phases durent chacune entre 200 et 300 ms en fonction de l'activité réalisée. (Devu & Vanootighem, 2023 ; LemoineLardennois et al., 2016).

Bien que ces deux phénomènes soient souvent impactés suite à des lésions du SNC telles que chez les patients en ECA, la récupération de la fixation visuelle est un signe précoce d'une

² Source dérivée de la plateforme MyUlg (non accessible au public)

amélioration de leur état de conscience et de la récupération des mouvements oculaires volontaires (Hyun et al., 2021 ; Majerus et al., 2005).

2.6.2 Mouvements oculaires chez les patients LIS

Les patients présentant un LIS classique sont dans l'incapacité d'effectuer tout mouvement volontaire, à l'exception des mouvements oculaires verticaux et du clignement des paupières, grâce à la préservation des noyaux moteurs du nerf III (nerf oculomoteur commun). Cette capacité permet au patient de communiquer avec le personnel soignant ainsi qu'avec ses proches. Cependant, dans certains cas, le diagnostic clinique peut être difficile à établir, car ces mouvements oculaires peuvent être attribués à tort à des mouvements réflexes ou involontaires (Bruno et al., 2008). Une fois l'état de conscience détecté chez ces patients et le diagnostic différentiel entre état d'éveil non répondant et syndrome de l'enfermement réalisé, il est essentiel de leur permettre de communiquer à travers leur regard. De manière générale, les patients LIS utilisent un code de communication basé sur le clignement des yeux ou les mouvements oculaires verticaux, qui constituent leur principal mode d'interaction. Il est également possible d'utiliser des techniques de communication alternative et améliorée (CAA) low-tech, telles que des tableaux de communication, ou des CAA high-tech, comme les dispositifs générateurs de parole pouvant être commandés par le regard (Lugo et al., 2015).

Pour conclure ce point, les mouvements oculaires peuvent donc être un autre moyen de communication qui peut être utilisé en clinique afin d'améliorer la communication et les conditions psychosociales des patients (Kujawa et al., 2021), ou encore pour évaluer leur état de conscience. Dans ce travail, le dispositif qui nous intéresse et qui va être abordé pour l'évaluation des capacités de langage chez les patients en éveil de coma est le système eye-tracking.

2.6.3 Dispositif de l'eye-tracking

L'eye tracking est décrit par Carter et Luke (2020) comme étant « une méthode expérimentale d'enregistrement du mouvement de l'œil et de l'emplacement du regard à travers le temps et la tâche ». On peut facilement mesurer les mouvements oculaires des patients grâce à l'eye-tracking et plus précisément, on peut mesurer le réflexe vestibulo-oculaire, la fixation visuelle, la poursuite visuelle, les nystagmus, et les saccades oculaires (Ting et al., 2014).

L’eye-tracking permet de suivre le regard des personnes grâce à la méthode du pupil center corneal reflection (PCCR). Cette technique consiste à projeter une lumière infrarouge, invisible et inoffensive pour l’humain, sur l’œil. La lumière crée deux reflets distincts : l’un sur la cornée et l’autre sur la pupille. Une caméra infrarouge capte alors ces reflets et, à l’aide d’algorithmes, analyse le vecteur/l’angle entre le centre de la pupille et la réflexion cornéenne. Ce calcul permet de déterminer avec une grande précision la direction du regard, tout en compensant les petits mouvements de la tête, car la position du reflet cornéen reste relativement stable par rapport à celle de la pupille lors des mouvements oculaires (SR Research Ltd., 2025 ; Masson, 2025³).

Avant de réaliser une tâche avec l’eye-tracker, il est nécessaire de calibrer l’appareil. Cette étape consiste à mesurer la différence entre la réflexion cornéenne et la position de la pupille sur 5 à 9 points de l’écran. Un algorithme utilise ensuite ces données pour estimer cette différence sur l’ensemble de la surface d’affichage (Masson, 2025). Lorsque le calibrage est bien réalisé, l’enregistrement des caractéristiques visuelles des patients et l’endroit de l’écran où ils portent leur attention lors de la tâche seront qualifiés comme étant plus précis, menant donc à des résultats plus fiables (Carter & Luke, 2020). La précision est définie ici comme étant la différence moyenne entre la position réelle des stimuli et la position mesurée du regard. Elle dépend de plusieurs facteurs, notamment l’état d’éveil ou d’éventuels déficits visuels chez les participants, mais aussi des conditions d’éclairage, des propriétés des stimuli, de la qualité du calibrage et des méthodes de recueil des données (Lech et al., 2019). Enfin, la précision est maximale aux points de calibration et tend à diminuer à mesure que l’on s’éloigne de l’écran (Masson, 2025).

2.6.4 Eye-tracker et patients en ECA

Bien que l’étape de calibrage soit a priori importante, différentes études utilisant le dispositif eye-tracking auprès de patients en ECA remarquent que cette étape est particulièrement difficile, souvent à cause d’un manque de collaboration de leur part ou à des problèmes oculaires (Wannez, 2018). Une étude de Trojano et al. (2012) n’a pas pu réaliser l’étape de calibrage auprès des patients diagnostiqués en ENR/EV et en ECM par l’échelle CRS-R. Ils ont donc cartographié les coordonnées du regard de chaque sujet récolté durant la tâche et comparé les points de fixation à la position réelle de la cible. Suite à cela, les auteurs ont pu

³ Source dérivée de la plateforme MyUlg (non accessible au public)

obtenir les facteurs de correction basés sur les données récoltées et s'assurer de l'exactitude du regard des patients en ECA par rapport à la cible.

Une autre manière de répondre aux difficultés de calibrage est que l'expérimentateur effectue lui-même cette phase de calibrage avant d'entamer la tâche avec le patient, comme dans l'étude de Lech et al. en 2019. Ce problème de calibrage a pu être solutionné grâce à une technique de réalité virtuelle avec eye-tracking, utilisée par Hyun et al. dans une étude de 2021. Ces auteurs ont donc utilisé cette méthode d'évaluation objective à l'aide d'un dispositif eye-tracking directement placé sur la tête du patient, et qui permet d'enregistrer instantanément les mouvements du regard et les fixations effectuées par le patient. De cette manière, l'évaluation comporte moins de biais liés à l'expérimentateur, est plus simple à utiliser au chevet du patient et est plus rentable que les techniques d'imagerie cérébrale décrites précédemment. Cette même étude a montré, comme d'autres études auparavant, que la proportion de fixation sur la cible était significativement plus faible chez les patients en ENR/EV en comparaison aux patients en ECM. De plus, la technique utilisée a permis d'évaluer quantitativement, pour la première fois, les saccades visuelles, les fixations et les poursuites visuelles auprès de patients en ECA.

En conclusion, ces résultats montrent bien que la poursuite visuelle est un élément important à évaluer chez les patients en ECA, car c'est un signe clinique qui permet de différencier ces deux états de conscience. Cependant, les résultats eye-tracking peuvent fluctuer en fonction de divers facteurs tels que la fidélité inter-juge, la fluctuation de l'éveil du patient, le matériel en lui-même, les déficits visuels ou encore le niveau de fatigue des patients (Hyun et al., 2021 ; Trojano et al., 2012). Il est donc nécessaire de prendre en compte les différents freins présents chez les patients en ECA afin d'acquérir des mesures fiables.

3. Objectifs et hypothèses

Grâce aux différents points abordés lors de l'introduction théorique, nous avons pu mettre en évidence le fait que les patients en ECA sont souvent victimes d'erreurs diagnostiques qui peuvent fortement impacter la prise en charge, la réhabilitation et les décisions de vie (Schnakers et al., 2009). La raison de ces erreurs provient notamment de l'outil utilisé, de ses propriétés psychométriques et de mesures trop subjectives. L'outil le plus utilisé pour évaluer l'état de conscience chez des patients en ECA, en phase aiguë ou chronique, est la CRS-R. Cependant, lors d'évaluations comportementales comme celle-ci, les mesures sont prises par les examinateurs et sont donc soumises à divers biais. En outre, ces mesures comportementales impliquent une compréhension orale et des capacités motrices intactes, alors que des études de neuro-imagerie indiquent que ces fonctions sont parfois altérées chez les patients en ECA, de par l'étendue des lésions cérébrales atteignant le réseau fronto-temporal gauche (Bruno, Majerus, et al., 2011). Aubinet, en collaboration avec l'équipe du Coma Science Groupe (2017), a mis en place l'outil BERA qui permet de répondre aux limites évoquées ci-dessus en tenant compte des capacités de langage, en distinguant les différents niveaux de langage (phonologique, sémantique, morphosyntaxique). Cet outil a d'abord été testé et validé auprès de patients aphasiques afin de vérifier sa validité au sein de cette population (Thunus, 2019). Il a également été testé auprès de 4 patients en ECM et EECM (Hennen, 2019). Cet outil n'a toutefois pas encore été validé dans la population de patients en éveil de coma. De plus, bien qu'il permette une meilleure évaluation de l'état de conscience des patients en prenant en compte leurs capacités langagières, les biais liés à l'expérimentateur sont susceptibles de persister et peuvent rendre l'évaluation moins fiable. C'est pourquoi nous utiliserons également un dispositif d'eye-tracking, une méthode d'évaluation plus objective et plus fiable concernant l'endroit où les participants posent leur regard.

Le premier objectif de ce travail est de valider la version comportementale de la BERA auprès de patients en ECA. Cette étape est importante et nécessaire pour évaluer la pertinence de l'outil dans un contexte clinique réel et pour s'assurer de sa capacité à détecter efficacement les troubles de la compréhension langagière des patients cérébro-lésés. Notre second objectif est de développer une version informatisée de la BERA en utilisant le dispositif d'eye-tracking (BERA-ET), destinée à être utilisée auprès de patients en ECA, qui ne répondent pas toujours aux commandes, ce qui peut compromettre la calibration de l'eye-tracker. C'est pourquoi nous testons la BERA-ET sur des sujets témoins, avec une calibration réalisée sur l'expérimentateur

lui-même, afin de vérifier la fiabilité de cette procédure. Premièrement, nous souhaitons évaluer la fiabilité des réponses visuelles obtenues chez ces sujets contrôles sains. Deuxièmement, une étude de cas sera réalisée auprès d'un patient LIS dans le but d'analyser son applicabilité dans ce contexte clinique. Le but ultime de ce projet est d'obtenir un matériel fiable, peu onéreux, et facile à utiliser en clinique, auprès de professionnels confrontés à des patients en ECA.

Dans une étude ultérieure, l'objectif serait de comparer les résultats obtenus avec la BERA-ET et la version comportementale auprès de patients en ECA, ce qui permettrait de mieux comprendre l'apport spécifique de l'eye-tracking dans l'évaluation des états de conscience altérée.

Concernant la BERA comportementale, plusieurs hypothèses sont posées. Tout d'abord, étant donné qu'il existe deux versions de la BERA, on s'attend à obtenir des résultats équivalents entre ces deux versions, ce qui permettrait d'établir la fidélité par équivalence entre les deux versions parallèles de la BERA. Ensuite, puisque l'évaluation BERA est répétée sur deux jours consécutifs, il est attendu que les résultats soient identiques entre ces deux sessions, ce qui témoignerait de la fidélité test-retest. Par ailleurs, une évaluation BERA sera réalisée par un évaluateur principal et cotée en aveugle par un second évaluateur indépendant ; dans ce cas, on s'attend à obtenir des résultats identiques entre les deux évaluateurs, ce qui démontrerait la fidélité inter-juge.

En ce qui concerne la BERA-ET, il est attendu que les données obtenues avec l'eye-tracking soient concordantes avec les réponses verbales des sujets contrôles. Enfin, on prévoit d'obtenir des résultats fiables, même si la calibration est réalisée de manière approximative en se basant sur le regard de l'examineur.

4. Méthodologie

Cette section est divisée en deux parties, avec la première concernant la méthode utilisée pour répondre au premier objectif de cette étude, à savoir, la validation de la BERA comportementale auprès de patients en ECA. La deuxième partie concerne la description de la méthode utilisée pour répondre au second objectif, qui est de développer et évaluer la version informatisée de la BERA (BERA-ET) auprès de sujets contrôles sains et de deux patients présentant un LIS.

Cette étude a été approuvée en novembre 2024 par le Comité d’Ethique de la Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l’éducation de l’Université de Liège. Les évaluations dans le cadre de ce travail ont débuté en février 2025 et se sont achevées en juin 2025. Le consentement éclairé écrit a été obtenu auprès des représentants légaux de tous les patients ainsi que de tous les sujets témoins.

4.1 Partie 1 : Validation de la BERA comportementale

4.1.1 Participant

Le protocole comportemental a été appliqué à 46 patients en éveil de coma, tous diagnostiqués à l'aide d'un outil comportemental standardisé répété, dont 32 avaient déjà été inclus dans l'étude avant la réalisation de ce mémoire. Le nombre de participants a été déterminé à l'aide d'un calcul de puissance a priori réalisé avec le logiciel G*Power, afin d'assurer une puissance statistique de 95 % ($1-\beta = 0,95$) pour détecter une taille d'effet considérée comme cliniquement significative, avec un niveau de signification de 5 % ($\alpha = 0,05$). Les patients en éveil de coma ont été recrutés par différents neurologues et/ou logopèdes provenant de plusieurs centres hospitaliers et de rééducation belges : le Centre Hospitalier Universitaire de Liège, l'hôpital du Valdor de Liège, le Centre Neurologique et de Réadaptation Fonctionnelle de Fraiture-en-Condroz, ainsi que le centre Hospitalier Neurologique William Lennox à Ottignies-Louvain-la-Neuve. Les patients en éveil de coma admis dans cette étude devaient répondre à différents critères d'inclusion :

- patients francophones âgés de 18 à 80 ans ;
- ayant subi une atteinte cérébrale sévère ;
- ayant survécu à une période de coma à un stade aigu ou chronique ;

- médicalement stables ;
- possédant une bonne capacité de fixation/poursuite visuelle telle qu'évaluée par l'équipe du Coma Science Group.

4.1.2 Matériel

L'échelle de la SECONDS utilisée dans l'étude permet d'évaluer, de façon rapide, l'état de conscience dans lequel se trouve le patient cérébrolésé. Elle est composée de 8 items : l'éveil, la localisation à la douleur, la fixation visuelle, la poursuite visuelle, les comportements orientés, la réponse à la commande et la communication (fonctionnelle ou intentionnelle). La SECONDS a été choisie en raison de sa courte durée d'administration, limitant ainsi l'effet de fatigue chez les patients évalués, et de ses bonnes propriétés psychométriques.

Chaque item est coté en fonction de la présence ou de l'absence du comportement cible, selon des critères précis. Par exemple, pour la fixation visuelle, un score de 4 est attribué si le patient réalise au moins deux fixations d'au moins deux secondes. Le patient obtient un score total pouvant aller de 0 à 8. Ce score permet une classification directe de l'état de conscience du patient (0 = coma, 1 = ENR, 2–5 = ECM-, 6–7 = ECM+, 8 = EECM). De plus, deux index supplémentaires peuvent être calculés : un index langagier, allant de 0 à 53, correspondant à la somme maximale des points attribués aux items relatifs à la communication dans cette échelle, et un index total, allant de 0 à 100, qui correspond à la somme des scores pondérés de chaque item.

La BERA est l'outil utilisé dans cette étude pour évaluer les capacités résiduelles de langage des patients en ECA. Cet instrument conçu par Aubinet et al. en 2017, déjà décrit précédemment, permet donc de mesurer plus objectivement l'état de conscience des patients en ECM et EECM en tenant compte de leurs déficits de langage faisant suite à une lésion cérébrale. Pour rappel, la BERA est composée de 30 dessins linéaires cibles et de 30 dessins distracteurs associés. Les 60 dessins sont répartis en 3 catégories : 10 items phonologiques, 10 items sémantiques et 10 items morphosyntaxiques. Chacune des catégories est subdivisée en 5 items simples et 5 items complexes (voir [Annexe A5](#)).

Pour chaque item, l'évaluation de la BERA est divisée en diverses étapes :

- 1) Une paire de dessins (la cible et son distracteur) est présentée à 40 cm du visage du patient et les deux images sont espacées d'environ 30 cm. À ce moment, on demande

au patient de regarder les deux items, placés horizontalement et on vérifie que le patient regarde bien les deux. Ceci constitue l'étape du balayage visuel.

- 2) On demande au patient de regarder le visage de l'expérimentateur situé entre les deux images, ce qui permet de recentrer le regard du patient.
- 3) On demande au patient de regarder l'image correspondant à l'item cible énoncé oralement par l'expérimentateur, sans prononcer le déterminant du mot pour la partie phonologie (ex. « regardez souris »).

4.1.3 Procédure

Concernant la version comportementale de la BERA, afin d'évaluer la fidélité test-retest, l'évaluation BERA était effectuée de manière répétée sur deux jours successifs. Au jour 1, un premier expérimentateur administrait l'échelle standardisée SECONDS afin d'évaluer objectivement les capacités de fixation visuelle du patient et de poser le diagnostic d'ECA. En cas de capacités visuelles résiduelles, l'outil BERA pouvait ainsi être administré. Cette évaluation a été réalisée à l'aveugle afin de ne pas influer sur les évaluations de la BERA faites par deux autres évaluateurs A et B. Suite à ce premier test, la version 1 de la BERA et la version 2 (l'ordre changeant en fonction du contrebalancement des versions) ont été administrées par l'évaluateur A et scorées à l'aveugle par l'évaluateur B. Le fait que les deux versions aient été passées l'une à la suite de l'autre et que deux évaluateurs aient été présents a permis d'évaluer respectivement la fidélité par équivalence des deux versions ainsi que la fidélité inter-juge. Au jour 2, les deux versions de la BERA ont été administrées de façon consécutive par l'évaluateur A seulement (voir [Annexe A6](#)) et les résultats ont été comparés à ceux obtenus le jour précédent pour estimer la fidélité intra-juge (test-retest). La validité concourante a quant à elle été évaluée en comparant les résultats obtenus à la BERA à ceux de la SECONDS.

Afin de limiter certains biais liés à l'évaluateur ou à la fatigue du patient, une procédure de randomisation avait été mise en place pour l'ordre d'administration des versions de la BERA, ainsi que pour les évaluateurs. En outre, le temps entre chaque évaluation d'une même journée devait être compris entre 45 et 90 minutes.

En cas de somnolence du patient, il était recommandé de le stimuler auditivement ou tactilement afin de le maintenir éveillé. Si nécessaire, la tâche pouvait être interrompue pour lui permettre de se reposer. L'épreuve était arrêtée si le patient ne présentait aucune fixation correcte sur cinq items consécutifs. Seuls les patients obtenant au moins 10/20 aux items

phonologiques et sémantiques combinés poursuivaient avec la partie morphosyntaxique. La durée de la passation variait entre 10 et 20 minutes, en fonction de l'état du patient et de ses réponses.

a. Cotation

Concernant les critères de cotation, la réponse est considérée comme correcte lorsque l'expérimentateur jugeait que le patient fixe clairement l'image ou qu'il porte nettement plus son attention sur celle-ci que sur le distracteur. Pour chaque paire d'images présentée au patient, il faut indiquer si la fixation visuelle est correcte, erronée (E, fixation du distracteur), hésitante (H), ou aléatoire (A). Le point sera donc accordé seulement si l'item est jugé correct. Un premier score sur 20 points, caractérisant la compréhension des mots, est calculé en additionnant les points obtenus dans la catégorie « phonologie » (10 points) et la catégorie « sémantique » (10 points). Si le patient fixe au moins la moitié des items cibles présentés, et obtient un score de minimum 10/20, alors les points obtenus lors de la passation des 10 items morphosyntaxiques (10 points), évaluant la compréhension de phrases, seront ajoutés à la note de compréhension de mots. Un autre score sur 15 points, ou sur 10 points si la compréhension de phrase n'est pas incluse dans le score, est calculé pour les items correctement fixés présentés à droite et idem pour les cibles présentées à gauche.

4.1.4 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel JASP (Version 0.19.3). La normalité des variables a été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk, révélant une distribution non normale des données. Par conséquent, des tests non paramétriques ont été privilégiés pour l'ensemble des analyses. Le seuil de significativité statistique a été fixé à 0,05 ($p < 0,05$).

La fidélité entre les deux versions de la BERA (fidélité par équivalence), la fidélité test-retest ainsi que la validité concourante ont été évaluées à l'aide de corrélations de Spearman. La fidélité inter-juge sur des scores continus a été estimée par le calcul du coefficient de corrélation intraclasse (ICC). En raison du nombre élevé de corrélations réalisées, une correction du risque alpha, telle que la correction de Bonferroni, a été envisagée afin de limiter le risque d'erreur de première espèce.

Afin de comparer les moyennes des scores à la BERA en fonction des catégories diagnostiques établies par la SECONDS (ECM-, ECM+, EECM), une analyse de la variance a également été réalisée.

Un test U Mann-Whitney a également été réalisé afin d'évaluer s'il y a une différence statistiquement significative entre les scores de la BERA chez les patients ECM, c'est-à-dire ceux sans langage résiduel selon la SECONDS, et ceux du groupe ECM+/EECM, qui représente les patients avec langage résiduel selon cette même échelle.

4.2 Partie 2 : Évaluation de la BERA-ET

4.2.1 Participants

a. Sujets contrôles sains

Concernant l'évaluation avec la BERA-ET, nous avons évalué 25 sujets contrôles sains (18-73 ans). Les participants ont été recrutés via le bouche à oreille, ainsi que par le biais d'annonces diffusées sur les réseaux sociaux et d'affiches placées au sein de l'université. Les sujets sains devaient remplir les critères d'inclusion suivants :

- Être francophones ;
- Être âgés de 18 à 80 ans ;
- Sans antécédent neurologique ou psychiatrique.

Si la personne présente un strabisme, il est possible de régler le calibrage sur un seul œil (Mazué, 2021)⁴. Les critères d'exclusion pour les participants de cette étude étaient :

- la cécité ou autres troubles visuels ;
- la surdité ou présence de tout autre trouble auditif non résolu par un appareillage ;
- des troubles de la vigilance/état confusionnel ;
- une instabilité médicale ;
- des antécédents de troubles développementaux, psychiatriques ou neurologiques.

b. Patients LIS

⁴ Source non accessible au public

Pour ce travail, nous avons testé le matériel BERA-ET auprès de deux patients francophones avec un diagnostic de LIS. Le choix de ces patients s'explique par le fait que leur état de conscience est normalement préservé. Cela nous permettait d'évaluer si le dispositif d'eye-tracking détectait correctement les fixations visuelles chez ces patients censés présenter un taux de réponses correctes élevé, ce qui nous donnerait un premier aperçu de la fiabilité du matériel dans un contexte clinique.

4.2.2 Matériel

a. Développement de la BERA-ET

Le développement de la BERA-ET a débuté par une réunion initiale visant à modéliser le programme d'évaluation. Durant cette réunion, un premier plan a été réalisé avec Damien Lesenfants (logisticien de recherche à la faculté) et Charlène Aubinet. Ce plan comprenait les différentes étapes de déroulement de la tâche, les informations à encoder avant son lancement, le format des images, et les paramètres à ajuster dans le programme.

Quelque temps après, une première version de la BERA-ET a été proposée par Damien Lesenfants, accompagnée d'un brouillon du tutoriel d'utilisation du programme. Plusieurs essais ont pu être réalisés avec le dispositif d'eye-tracking. Cette pratique a permis d'identifier certains éléments à améliorer tels que le temps de présentation des stimuli, l'automatisation du passage à l'item suivant, ainsi que des ajustements concernant la croix de fixation et la taille des images. De plus, certains éléments ont été discutés et modifiés concernant l'eye-tracker et ses paramètres. Ces retours ont conduit à des modifications du programme.

Une nouvelle version du programme, prenant en compte ces ajustements, a ensuite été testée avec Charlène Aubinet. Suite à différents essais, certains points ont été discutés et clarifiés pour améliorer la fiabilité du programme. Parmi les éléments discutés, on retrouve la classification des réponses (H, E, C), la gestion de la durée de prononciation des items, qui pouvait induire des réponses correctes par hasard, ainsi que l'ajout d'un compteur de temps sur la croix de fixation. Par ailleurs, les données nécessaires au post-traitement des résultats ont été discutées.

Après avoir intégré toutes les modifications et ajustements, la version finale du programme, baptisée «BERA_wET 1.0 », a été validée pour débuter les évaluations formelles.

b. Matériel BERA-ET

Pour cette version eye-tracking, la tâche a été exécutée sur un ordinateur et programmée avec MATLAB R2024a. Le logiciel résultant, développé par Damien Lesenfants, s'appelle « BERA_wET » (voir [Annexe A7](#)).

Le modèle de l'eye-tracker utilisé dans ce projet est le «Tobii Eye Tracker 5». Nous utilisons l'application « Mill Mouse » qui permet le contrôle du curseur de l'ordinateur avec le système d'eye-tracker. Cet eye-tracker a une fréquence d'échantillonnage de 33 Hz. La distance de fonctionnement de l'appareil est de 45 à 95 cm. Le développeur du Tobii Eye Tracker 5 indique également que le champ de vision est de 40 x 40 degrés, ce qui permet d'avoir une zone de détection du regard plus large (Tobii AB, n.d.) (voir [Annexe A8](#)).

Le contenu utilisé sur cette version avec eye-tracker est semblable à celui de la BERA comportementale, utilisant les mêmes images que celles présentées lors de l'évaluation classique. Ce logiciel, semi-automatisé, est accompagné d'un manuel d'utilisation afin de faciliter sa compréhension et son utilisation.

4.2.3 Procédure

a. Sujets contrôles sains

Concernant la version eye-tracking administrée aux sujets contrôles, elle ne nécessitait qu'un seul évaluateur et se réalisait en une session. Chaque participant passait les deux versions de la BERA-ET, dont l'ordre de passation était également aléatoire et contrebalancé afin de limiter les effets d'ordre.

Dans cette version, les énoncés sont pré-enregistrés et automatiques. Ce qui la différencie de la BERA comportementale est qu'elle se réalise de manière semi-automatisée, c'est-à-dire que si l'item cible est fixé, la cotation et le passage à l'item suivant se font automatiquement. Par contre, si la cible n'est pas fixée ni détectée par le dispositif eye-tracking, alors l'expérimentateur peut passer manuellement à l'item suivant en appuyant sur la touche « enter » du clavier de l'ordinateur. De plus, si une pause est nécessaire, l'expérimentateur peut suspendre la tâche en cliquant sur la barre d'espace. Il est également possible d'interrompre le cours de la tâche en cliquant sur « Esc ». Dans ce cas, les données collectées jusque-là seront enregistrées.

Avant d'administrer la tâche avec eye-tracking au participant, une étape préalable de calibration de l'appareil est nécessaire. Dans cette étude, la calibration a été effectuée par l'expérimentateur lui-même, et non par le participant. Ce protocole a été testé sur un groupe de sujets sains afin de vérifier la fiabilité de la calibration effectuée par l'expérimentateur. Cette méthode a été privilégiée car l'objectif final est d'administrer le BERA-ET chez des patients en ECA, pour lesquels la calibration directe est souvent difficile en raison d'une réponse limitée aux commandes. Concrètement, l'étalonnage consistait à enregistrer les fixations visuelles sur 6 points présentés à différents endroits de l'écran. La précision de la calibration dépendait de plusieurs facteurs : les caractéristiques du participant, la distance entre celui-ci et l'écran, ainsi que l'éclairage de la pièce. C'est pourquoi il était essentiel que l'examineur, lors de la calibration, et le participant, lors de l'évaluation, se trouvent dans un endroit calme et bien éclairé. De plus, l'eye-tracker devait être positionné à environ 60 cm du visage du participant, et son angle de vue devait être ajusté de manière optimale.

Une fois la calibration effectuée, le participant pouvait s'installer face à l'écran en suivant les recommandations mentionnées précédemment. Avant le début de la tâche, quelques instructions lui étaient données :

- 1) Des paires d'images vont apparaître à l'écran.
- 2) Le participant doit regarder calmement ces deux images.
- 3) Il doit ensuite fixer la croix de fixation située au centre de l'écran.
- 4) Après cela, il doit regarder l'une des images et ignorer l'autre. En parallèle de cette instruction, il est demandé au participant d'indiquer verbalement si la cible se situe à gauche ou à droite de l'écran.

Cette procédure est répétée pour chaque item, avec les instructions réitérées à chaque essai.

b. Patients LIS

Pour les deux patients, l'évaluation avec le dispositif d'eye-tracking a été réalisée sur deux jours distincts, en commençant par la version 2. Chaque jour, avant cette évaluation, les patients avaient passé la même version de la BERA comportementale (voir [Annexe A9](#)). L'évaluation avec l'eye-tracker était réalisée par moi-même.

Les évaluations se sont déroulées exactement de la même manière que pour les sujets contrôles. La calibration a été réalisée par l'expérimentateur et l'écran était disposé face au

patient, de la meilleure façon possible. Le patient 1 présentait un trouble oculaire non déterminé à l'œil gauche et le patient 2 souffrait d'une diplopie accompagnée d'un nystagmus, raison pour laquelle nous avons placé un cache-œil devant son œil gauche pour plus de confort durant la tâche. Pour ces deux patients, l'écran était disposé en face de leur œil droit.

c. Cotation

Le programme enregistre les réponses correctes et erronées, ainsi que le temps de fixation sur chaque élément. L'ensemble des données collectées a été exporté dans un fichier Excel. Afin de traiter plus facilement les résultats, Damien Lesenfants a conçu un deuxième logiciel permettant de charger et d'extraire un tableau de résultats Excel.

Le programme enregistre des données sur :

- L'ID, l'âge et le sexe du participant.
- La tâche effectuée, les scores obtenus (sur 20 ou 10), et le type de bloc, ainsi que les horaires de début et de fin de la tâche.

Pour chaque essai, les informations incluent :

- La condition de l'essai (ex : inter-stimuli, balayage gauche/droit, croix de fixation, cible).
- Le temps passé dans chaque condition (en secondes).
- Le pourcentage de temps passé sur différentes parties de l'écran : bordure, régions d'intérêt (ROI) gauche et droite, centre de l'écran.
- Le temps consécutif passé dans chaque région (bordure, ROI gauche, centre de l'écran).
- Le temps total passé dans la zone gauche et droite, ainsi que le temps consécutif dans ces zones.
- La réussite ou l'échec de la consigne donnée (balayage des images et fixation de la cible).

Parallèlement, afin de valider la version informatisée, une cotation manuelle a été également réalisée par l'expérimentateur. Cette cotation portait sur les réponses verbales (« droite »/« gauche ») des sujets sains et sur les réponses comportementales des patients LIS

4.2.4 Analyses statistiques

a. Sujets contrôles sains

Afin de répondre à l'objectif de validation de la BERA avec eye-tracker auprès de sujets contrôles, nous avons comparé les scores et sous-scores obtenus par l'eye-tracker et ceux obtenus via leurs réponses verbales par la réalisation d'un test de permutation de Fisher–Pitman. Le test de permutation est une méthode non paramétrique qui, à partir des données observées, construit la distribution de l'hypothèse nulle (absence de différence entre les deux mesures) en générant de multiples réarrangements aléatoires des données. La différence réelle mesurée entre les deux conditions est ensuite comparée à cette distribution empirique ; la p-value obtenue indique si l'écart observé est significatif. Ce test, robuste et flexible, est particulièrement adapté lorsque les conditions des tests paramétriques ne sont pas remplies, car il ne requiert ni normalité ni homogénéité de variance et s'appuie directement sur la distribution des données (Noirhomme et al., 2014). Deux tests de Wilcoxon pour échantillons appariés ont été menés afin d'évaluer d'éventuelles différences entre la sélection des cibles situées à gauche et à droite. Le premier test concernait les données issues de l'eye-tracker, et le deuxième, les réponses verbales produites par les participants.

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel statistique R (*R Core Team, 2024*) et de JASP. Les données obtenues ne suivent pas une distribution normale, ce qui implique une utilisation de tests non paramétriques pour les analyses statistiques. Le seuil de significativité statistique a été fixé à 0,05 ($p < 0,05$).

b. Patients LIS

Concernant l'étude des deux patients LIS, afin de comparer les résultats de chaque patient à ceux du groupe contrôle, nous avons utilisé le test t modifié de Crawford et Howell (1998), qui prend en compte la taille limitée de l'échantillon contrôle et permet de déterminer, à l'aide d'une valeur p , si le score du patient s'écarte significativement de celui du groupe. Au niveau individuel, nous avons réalisé des tests de comparaison de deux proportions à l'aide de XLSTAT. Ces tests visaient à déterminer s'il y avait une différence de réponse entre les items à droite et à gauche, ainsi qu'une différence en fonction de la complexité des items dans les mesures d'eye-tracking. Nous avons également comparé les réponses enregistrées par le système eye-tracking avec les mesures prises par l'expérimentateur. Le seuil de significativité statistique a été fixé à 0,05 ($p < 0,05$).

5. Résultats

Cette section présente l'analyse des résultats de l'étude, également divisée en deux parties: la première porte sur la validation de la BERA comportementale chez des patients en ECA, la seconde sur l'évaluation de la BERA-ET chez des sujets contrôles sains et l'analyse des résultats des deux patients LIS.

5.1 Partie 1 : Validation de la BERA comportementale

5.1.1 Statistiques descriptives

L'échantillon de cette partie de l'étude est composé de 46 patients (23 femmes, 23 hommes), âgés en moyenne de 51,54 ans ($n = 44$, $SD = 15,64$, minimum = 23 ans, maximum = 76 ans). La durée moyenne du trouble entre le moment de l'atteinte et la période d'évaluation est de 230 jours ($n = 44$, $SD = 420$ jours). Les données d'âge et de durée du trouble au moment de l'évaluation sont manquantes pour 2 patients. Un Tableau qui reprend les données démographiques se trouve en annexe (voir [Annexe B1](#)).

Le Tableau 1 présente des statistiques descriptives concernant les scores totaux (/30) obtenus par 46 patients en ECA, pour les deux versions du test administrées sur deux jours. Il contient la moyenne, l'écart-type et la médiane des scores totaux, ainsi que la durée moyenne de passation et l'écart-type. À noter qu'aucune donnée n'a été recueillie le deuxième jour pour deux patients, et que la durée de l'évaluation n'a pas été rapportée pour la version 2 de la BERA au jour 1, ni pour les évaluations du jour 2 d'un autre patient.

Tableau 1. Statistiques descriptives des scores de la BERA au sein de l'échantillon de patients en ECA.

	Score total	Score total	Score total	Durée (min)	Durée (min)
	Moyenne	Médiane	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Jour1 – V1	12,41 (n=46)	9,5 (n=46)	10,31 (n=46)	13 (n=46)	5 (n=46)
	12,71 (n=46)	9,5 (n=46)	10,09 (n=46)	13 (n=45)	5 (n=45)
Jour 1 – V2	13,97 (n=44)	14 (n=44)	9,71 (n=44)	11 (n=43)	4 (n=43)
	13,37 (n=44)	12,5 (n=44)	9,93 (n=44)	10 (n=43)	4 (n=43)
Jour 2 – V1	12,41 (n=46)	9,5 (n=46)	10,31 (n=46)	13 (n=46)	5 (n=46)
	12,71 (n=46)	9,5 (n=46)	10,09 (n=46)	13 (n=45)	5 (n=45)
Jour 2 – V2	13,97 (n=44)	14 (n=44)	9,71 (n=44)	11 (n=43)	4 (n=43)
	13,37 (n=44)	12,5 (n=44)	9,93 (n=44)	10 (n=43)	4 (n=43)

Légende. V1 = version 1 ; V2 = version 2

Le Tableau 2 présente la moyenne, la médiane et l'écart-type des sous-scores phonologique, sémantique et morphosyntaxique des patients inclus dans cette étude. Ces données concernent uniquement les deux versions du premier jour d'évaluation, cotées par l'évaluateur principal. Tous les patients de l'étude ont passé les épreuves phonologiques et sémantiques de la BERA. Cependant, en raison de scores insuffisants à cette première partie, seuls 19/46 patients pour la version 1 et 20/46 pour la version 2 ont pu accéder à la section morphosyntaxique.

Tableau 2. Statistiques descriptives des sous-scores de la BERA lors du premier jour d'évaluation (version 1 et version 2).

	Total P (/10) Version 1 (n=46)	Total S (/10) Version 1 (n=46)	Total MS (/10) Version 1 (n=19)	Total P (/10) Version 2 (n=46)	Total S (/10) Version 2 (n=46)	Total MS (/10) Version 2 (n=20)
Médiane	4	5	8	4	5	7
Moyenne	4,22	4,98	7,79	4,59	5,02	7,15
Écart-type	3,10	3,68	2,02	3,33	3,41	2,32
Minimum	0	0	4	0	0	1
Maximum	10	10	10	10	10	10

Légende. P = scores pour la composante phonologique ; S = scores pour la composante sémantique ; MS = scores pour la composante morphosyntaxique.

5.1.2 Équivalence des deux versions de la BERA

Chaque patient a passé les deux versions de la BERA comportementale. L'équivalence entre les scores obtenus aux deux versions, lors des deux jours d'évaluation, a été vérifiée à l'aide d'une corrélation de Spearman basée sur la cotation de l'expérimentateur principal. Une corrélation significative a été observée entre la version 1 et la version 2 le premier jour ($r = 0,87, p < .001$), ainsi que le deuxième jour ($r = 0,92, p < .001$).

5.1.3 Validité concourante avec la SECONDS

Afin de vérifier la validité concourante entre deux outils, une corrélation de Spearman a été réalisée entre le score global de la BERA (regroupant les versions 1 et 2 obtenues le premier jour) et l'index langagier de la SECONDS. Des analyses de corrélation ont également été menées entre chaque version de la BERA et l'index langagier de la SECONDS, ainsi qu'entre les sous-scores de la version 1 de la BERA réalisée le premier jour et l'index langagier de la

SECONDS. Comme le montre le Tableau 3, on observe une corrélation positive significative entre les scores et sous-scores de la BERA et l'index langagier de la SECONDS, à l'exception du sous-score morphosyntaxique de la BERA.

Tableau 3. Valeurs des corrélations entre la BERA et le score langagier de la SECONDS.

	BERA total J1	BERA V1, J1	BERA V2, J1	BERA P, V1, J1	BERA S, V1, J1	BERA MS, V1, J1
SECONDS	$r = 0,78^*$ $p <.001$	$r = 0,69^*$ $p <.001$	$r = 0,80^*$ $p <.001$	$r = 0,69^*$ $p <.001$	$r = 0,64^*$ $p <.001$	$r = 0,21$ $p = 0,39$

Légende. V1 = version 1 ; V2 = version 2. P = scores pour la composante phonologique ; S = scores pour la composante sémantique ; MS = scores pour la composante morphosyntaxique. J1 = jour 1

5.1.4 Fidélité test-retest

Nous avons ensuite examiné la relation entre les deux évaluations réalisées par l'expérimentateur principal lors des deux jours d'évaluation. Les scores totaux, incluant les versions 1 et 2 pour chaque jour, ont été comparés à l'aide d'une corrélation de Spearman. Une corrélation significative a été observée entre les scores globaux des deux jours ($r = 0,86, p < .001$).

5.1.5 Fidélité inter-juge

Pour évaluer la sensibilité de la BERA à l'évaluateur et vérifier si les deux évaluateurs attribuaient des scores de manière similaire, nous avons calculé le coefficient de corrélation intra-classe (ICC) selon un modèle à effets aléatoires bidirectionnels (*two-way random*) avec accord absolu (ICC). On observe une forte fiabilité entre les évaluateurs avec un coefficient ICC de 0,994 (IC 95 % : 0,990 – 0,996).

5.1.6 Scores langagiers en fonction des ECAs

Une analyse de la variance a été réalisée afin de comparer les moyennes des scores à la BERA en fonction des catégories diagnostiques établies par la SECONDS (ECM–, ECM+, EECM). Étant donné l'inégalité des variances entre les groupes, une ANOVA de Welch a été réalisée. Les résultats indiquent une différence significative entre les moyennes des trois groupes ($F = 57,31, p < .001, \omega^2 = 0,54$). Des tests post hoc de Games-Howell ont par la suite été réalisés afin d'analyser les différences entre les groupes. Ces analyses révèlent :

- une différence significative entre les scores des patients ECM- et ECM+ ($t = 4,28, p < .001$),
- une différence significative entre ECM- et EECM ($t = 10,27, p < .001$),
- ainsi qu'entre ECM+ et EECM ($t = 4,60, p < .001$).

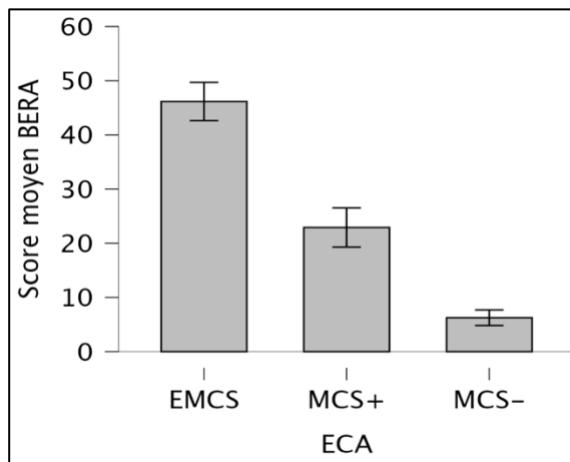


Figure 2. Scores moyens à la BERA pour chaque groupe (ECM-, ECM+, EECM).

Note. Les barres représentent la moyenne \pm écart-type.

Ces résultats suggèrent une progression claire des performances à la BERA en fonction du niveau diagnostic établi par la SECONDS.

Le test de Mann-Whitney a été réalisé afin de comparer les scores de la BERA entre les patients ECM- et le groupe ECM+/EECM. Les résultats ont montré une différence significative entre ceux qui présentent un langage résiduel selon la SECONDS et ceux qui n'en ont pas ($U = 14,5, p < .001$). La taille d'effet, mesurée par la corrélation bisérielle de rang ($r = -0,879$), est très importante et indique que le groupe ECM+/EECM a un score nettement supérieur au groupe ECM-.

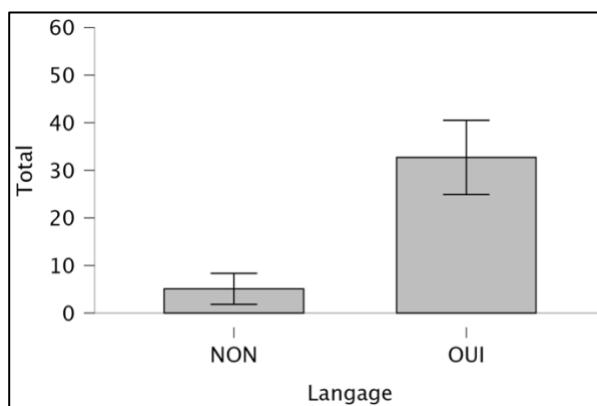


Figure 3. Score BERA en fonction de la présence ou non de langage résiduel (« langage : OUI » vs « NON »).

Note. Les barres représentent la moyenne \pm écart-type.

NB : La plupart des corrélations présentaient une valeur $p <.001$. Ainsi, même après application d'une correction de Bonferroni, l'ensemble des résultats demeure statistiquement significatif.

5.2 Partie 2 : Évaluation de la BERA-ET

5.2.1 Sujets contrôles sains

Entre mars et mai 2025, 25 sujets contrôles ont été recrutés dont 20 femmes et 5 hommes, âgés entre 18 et 73 ans ($M = 40,7$; $SD = 20,2$). Parmi les 25 sujets, 4 d'entre eux portent des lunettes de vue durant l'évaluation.

Le test de permutation intra sujet a été réalisé afin d'évaluer la différence entre les mesures verbales et eye-tracker. La différence moyenne observée était de 3,96 (ET - verbal), calculée sur 25 participants et en regroupant les deux versions. Après 10 000 permutations aléatoires des signes des différences individuelles, la valeur p obtenue était inférieure à 0,001, indiquant une différence statistiquement significative entre les deux mesures avec un score plus élevé pour la mesure verbale par rapport à la mesure eye-tracker.

Lorsqu'on examine les résultats par version, les conclusions restent identiques : pour la version 1, la différence moyenne observée est de 3,92 ($p < .001$) et pour la version 2, elle est de 3,80 ($p < .001$), indiquant dans les deux cas une différence significative entre les méthodes, avec des scores verbaux supérieurs à ceux mesurés par eye-tracker.

Le test de Wilcoxon pour échantillon apparié a révélé une différence significative pour les réponses enregistrées par eye-tracking ($W = 32,5, p = 0,007$) avec plus de bonnes réponses pour les items placés à droite de l'écran. Cependant, le nombre de bonnes réponses verbales des participants ne diffère pas significativement selon que les items étaient placés à droite ou à gauche de l'écran ($W = 5, p = 0,572$).

5.2.2 Patient 1

a. Données démographiques

Le patient 1 est un homme de 76 ans, hospitalisé au Valdor suite à un épendymome diagnostiqué évoluant depuis environ 4 mois au moment de son admission dans l'étude. Selon

le Dictionnaire de l'Académie Nationale de Médecine (2018), un épendymome est une tumeur qui se développe à partir des cellules de l'épendyme, une fine membrane tapissant les ventricules du cerveau et le canal central de la moelle épinière. Cette tumeur peut entraîner des troubles neurologiques en fonction de sa localisation et de sa taille.

En raison de ses caractéristiques cliniques, ce patient a été classé comme LIS incomplet : en plus des mouvements verticaux des yeux, il était capable d'effectuer des légers mouvements oculaires horizontaux, bien qu'un trouble oculaire non déterminé ait été observé au niveau de l'œil gauche. Monsieur pouvait également bouger sa main droite.

b. Scores à la BERA comportementale

Avant la passation de l'évaluation à l'aide de l'eye-tracker, les patients ont d'abord réalisé l'évaluation comportementale de la BERA ainsi que la SECONDS. Les scores et sous-scores de la BERA obtenus figurent en annexe (voir [Annexe B2](#)).

Lors de la première journée d'évaluation, le patient 1 a obtenu un score total de 17/30 pour la version 1 (5/10 en phonologie, 5/10 en sémantique, 7/10 en morphosyntaxe) et un score de 22/30 pour la version 2 (5/10 en phonologie, 9/10 en sémantique, 8/10 en morphosyntaxe). Il a également obtenu un index langagier de 53/53 à la SECONDS, le classant dans la catégorie EECM.

Au cours de la deuxième journée, ce même patient a obtenu un score total de 3/30 pour la version 1 (3/10 en phonologie, 0/10 en sémantique, 0/10 en morphosyntaxe) et de 4/30 pour la version 2 (1/10 en phonologie, 3/10 en sémantique, 0/10 en morphosyntaxe). Globalement, ce patient a fourni davantage de réponses correctes du côté gauche.

c. Scores à la BERA-ET

Pour l'évaluation BERA avec eye-tracker, les deux patients ont réalisé les deux versions sur deux jours. Les scores bruts détaillés des deux patients LIS, mesurés à la fois par le système eye-tracking et par la cotation manuelle, sont présentés dans un tableau (voir [Annexe B3](#)). Le patient 1 a complété les parties phonologique et sémantique des versions 1 et 2, obtenant respectivement un score de 7/20 et 2/20 avec le système informatisé. La cotation manuelle indique un score de 15/20 pour la version 1 et de 2/20 pour la version 2. La partie

morphosyntaxique n'a été évaluée pour aucune des deux versions auprès de ce patient étant donné un score trop faible dans la catégorie phonologique/sémantique et une fatigue importante.

Pour ce même patient, en regroupant les deux versions : les scores « gauche » (7/20) et « droite » (2/20) ne diffèrent pas significativement ($z = 1,587, p = 0,112$) selon le test de comparaison de proportions. De même, les scores « item simple » (4/20) et « item complexe » (5/20) ne présentent pas de différence significative ($z = 0, p = 1$). Enfin, les scores totaux obtenus par l'eye-tracker (17/40) et par la cotation manuelle (9/40) ne sont pas significativement différents ($z = 1,71, p = 0,087$).

Le temps mis pour réaliser les évaluations de la BERA avec eye-tracker n'a pas pu être enregistré dans le logiciel d'analyse.

d. Comparaison entre le score eye-tracker des patients et le groupe contrôle

Plusieurs tests t modifié de Crawford et Howell ont été réalisés (voir [Annexe B4](#)). Pour le patient 1, le test t modifié de Crawford et Howell révèle une différence très significative entre son score eye-tracker et celui du groupe contrôle pour les deux versions de la BERA-ET. Pour la version 1, le score du patient (7/20) est significativement inférieur à la moyenne du groupe contrôle ($25,96 \pm 0$), $t = -18,96, p < .0001$. Pour la version 2, le score du patient (2/30) diffère également de façon significative de la moyenne du groupe contrôle ($25,68 \pm 0,71$), $t = -32,70, p < .0001$. Autrement dit, le patient obtient des performances inférieures à celles du groupe contrôle dans les deux versions.

5.2.3 Patient 2

a. Données démographiques

Le patient 2, un homme de 55 ans, a été admis au centre de revalidation neurologique de Lennox à la suite d'un accident vasculaire cérébral touchant l'artère vertébrale gauche et l'artère basilaire proximale, survenu environ 5 mois avant son inclusion dans l'étude. Il a été diagnostiqué comme présentant un LIS classique, avec un code de communication relativement clair basé sur les mouvements verticaux des yeux et le clignement des paupières. Monsieur présente également une diplopie binoculaire ainsi qu'un nystagmus, ce qui pouvait engendrer un certain inconfort pendant la tâche. Pour une meilleure perception de la tâche, l'œil gauche a

été couvert par un cache-œil lors de l'évaluation de la BERA avec eye-tracker, où deux images étaient alignées horizontalement, l'une à gauche et l'autre à droite.

b. Scores à la BERA comportementale

Le patient 2 a obtenu un score parfait de 30/30 pour la version 1 et la version 2, aussi bien lors de la première que de la deuxième journée d'évaluation. Son index langagier à la SECONDS était de 53/53, le classant également dans la catégorie EECM.

c. Scores à la BERA-ET

Le patient 2 a réalisé l'ensemble des tâches. Pour la mesure avec le dispositif eye-tracking, il a obtenu un score de 22/30 pour la version 1 et de 16/30 pour la version 2. Selon la cotation manuelle, il a obtenu un score parfait de 30/30 pour la version 1 et de 22/30 pour la version 2. Pour ce patient, un test de comparaison de deux proportions indique que les scores « gauche » (21/30) et « droite » (17/30) ne sont pas significativement différents ($z = 0,812, p = 0,417$), tout comme les scores « item simple » (18/30) et « item complexe » (20/30) ($z = 0,269, p = 0,788$). Par contre, les scores totaux obtenus avec l'eye-tracker (38/60) et ceux de la cotation manuelle (50/60) sont significativement différents ($z = 2,846, p = 0,04$).

Le temps mis pour réaliser les évaluations de la BERA avec eye-tracker n'a pas pu être enregistré dans le logiciel d'analyse.

d. Comparaison entre le score eye-tracker des patients et le groupe contrôle

Pour le patient 2, le test t modifié de Crawford et Howell indique que son score eye-tracker pour la version 1 (22/30) est significativement inférieur à celui du groupe contrôle ($t = -3,96, p < .001$). Pour la version 2, ce patient obtient également un score inférieur (16/30) à la moyenne du groupe contrôle ($25,68 \pm 0,71$), avec une différence hautement significative ($t = -13,37, p < .0001$).

6. Discussion

Dans ce travail, nous avions deux objectifs principaux : valider un nouvel outil d'évaluation du langage (BERA) auprès de patients en ECA et évaluer sa version informatisée auprès de sujets contrôles sains (BERA-ET). Nous avons également étendu l'utilisation de la BERA-ET à deux patients LIS, afin d'explorer ses potentialités dans ce contexte clinique particulier.

Dans cette discussion, nous analysons d'abord les résultats obtenus lors de la validation comportementale de la BERA, puis ceux issus de l'évaluation informatisée sur les sujets contrôles et les patients LIS. Pour chaque objectif, nous aborderons les limites du dispositif et conclurons par des pistes et perspectives pour de futures études sur ce sujet.

6.1 Validation de la BERA comportementale auprès de patients en ECA

Dans la littérature, nous avons pu constater que l'évaluation des capacités langagières chez des patient en ECA est essentielle, car elle limite le taux d'erreur diagnostique et permet une meilleure prise en charge du patient (Kondziella et al., 2015 ; Sanz et al., 2018). Il est donc nécessaire d'obtenir des outils sensibles afin de ne pas sous-estimer la conscience résiduelle des patients, impliquant les capacités langagières.

Dans cette perspective, la BERA, développée par Aubinet, Chatelle, et al. (2021), répond à ce besoin en proposant une approche standardisée de l'évaluation des capacités résiduelles de langage auprès de patients en ECA. Nous avons donc testé les caractéristiques psychométriques de cet outil auprès de cette population.

Les résultats obtenus dans cette étude confirment de bonnes données psychométriques pour la BERA chez des patients en ECA. D'abord, une corrélation significative entre les deux versions indique une équivalence entre les formes, suggérant une bonne validité interne de l'outil. Ce résultat est intéressant et permettra une répétabilité des mesures, utile dans l'évaluation des patients en ECA qui donnera au clinicien une meilleure estimation de leurs capacités. La validité concourante de la BERA est démontrée par une corrélation notable avec le score langagier obtenu à la SECONDS, un outil déjà validé par Aubinet, Cassol, et al. (2021), indiquant que la BERA est un outil sensible aux difficultés langagières que peuvent présenter les patients post-coma. Cependant, quand on analyse les sous-scores, la corrélation est surtout retrouvée avec les parties phonologique et sémantique, alors qu'aucune corrélation significative n'a été observée pour la section morphosyntaxique probablement parce que les items langagiers

de la SECONDS ne sont pas aussi complexes que les items morphosyntaxiques de la BERA qui demandent des compétences grammaticales plus spécifiques.

De plus, la fidélité test-retest a été évaluée sur deux jours d'évaluation consécutifs, et les résultats témoignent de la reproductibilité de l'outil dans le temps avec une corrélation significative entre les scores des deux jours. Enfin, une fidélité inter-juge élevée a été obtenue, comme en atteste un coefficient de corrélation intra-classe (CCI) significatif entre les évaluateurs. Ceci indique une faible variabilité des mesures obtenues par différents évaluateurs, malgré leur subjectivité durant les passations.

De manière exploratoire, nous avons souhaité examiner si les scores obtenus à la BERA variaient selon le niveau de conscience des patients, en particulier si les patients en état de conscience minimale (ECM-) présentaient des performances inférieures à celles des patients en émergence de l'état de conscience minimale (EECM). Cette hypothèse repose sur l'idée que les capacités langagières se réorganisent progressivement au fur et à mesure de la récupération de la conscience (Aubinet et al., 2022).

Les analyses statistiques ont mis en évidence des différences significatives entre les moyennes des scores à la BERA selon les trois catégories diagnostiques établies par la SECONDS. Plus précisément, les patients classés ECM ont obtenu des scores significativement plus élevés que les patients en ECM+ et ECM-, et les patients ECM+ ont eux-mêmes obtenu des scores plus élevés que les patients en ECM-. Un autre test statistique a également démontré une différence significative de performance entre les patients ECM- (n'ayant pas de capacité résiduelle de langage selon la SECONDS) et le groupe de patients ECM+/EECM (possédant des capacités de langage résiduel selon la SECONDS). Ces résultats sont donc en accord avec d'autres études démontrant une amélioration des capacités langagières qui sont parallèles à l'évolution de l'état de conscience des patients. En effet, Aubinet et al. (2022) ont indiqué qu'au fur et à mesure que les patients ECM- évoluent vers un stade plus avancé de la conscience (ECM+/EECM), il y a une amélioration de la qualité et de la prévalence des réponses linguistiques. En outre, une étude de neuroimagerie de Tomaiuolo et al. (2016) démontre également que cette progression s'accompagne d'une augmentation de la connectivité neuronale du réseau linguistique cérébral à mesure que l'état de conscience augmente. Ces résultats ainsi que la littérature nous montrent que la récupération de la conscience ne se résume pas à une progression de l'éveil comportemental du patient, mais est lié à la récupération de fonctions cognitives spécifiques dont le langage.

6.1.1 Intérêt clinique de la BERA

Globalement, ces résultats soutiennent la BERA comme une échelle adaptée à l'évaluation comportementale du langage réceptif chez les patients avec ECA. Ce constat rejoint les validations antérieures réalisées auprès de patients aphasiques conscients, où la BERA a démontré une bonne validité interne et concourante avec des tests de référence comme le LAST, ainsi qu'une fidélité inter-juge et intra-juge élevée (Aubinet, Chatelle et al., 2021; Thunus, 2019). Elle se présente donc comme un outil complémentaire aux échelles existantes et peut être utilisée de façon répétée auprès de ces patients

Un aspect intéressant de cet outil d'évaluation comportemental est lié à sa souplesse d'utilisation dans un contexte clinique. Comme nous avons pu l'observer au cours de notre étude, les patients en ECA présentent des profils cliniques très hétérogènes, ce qui rend nécessaire une adaptation de l'outil à chaque patient (Wolff et al., 2018). Il est ainsi possible d'adapter la façon de présenter les items en fonction des difficultés que peuvent présenter les patients en ECA tel que l'héminégligence ou bien certains troubles exécutifs (comme la persévération) entraînant des difficultés de balayage visuel lors de la présentation des items. Cette flexibilité favorise l'engagement et l'accès du patient dans la tâche. Cependant, il est important de maintenir les consignes telles que décrites dans le manuel de passation, sans ajouter d'indices, de reformulations verbales ou de comportements qui pourraient biaiser les résultats. Cela permet d'assurer une évaluation aussi standardisée que possible, ce qui est indispensable pour obtenir une mesure fiable, notamment lors de passations répétées ou de comparaison inter-individuelle.

6.1.2 Limites et perspectives

Dans cette partie de l'étude, nous avons évalué des patients en ECA chez lesquels il est bien établi que l'état de conscience et la réactivité comportementale peuvent varier de manière notable, parfois au cours d'une même journée (Aubinet, Chatelle, et al., 2021), ce qui rend difficile l'interprétation de nos évaluations ponctuelles. Aussi, les capacités oculaires (fixation et poursuite visuelle) et les capacités cognitives (mémoire de travail, attention, fonctions exécutives) peuvent également être altérées (Wolff et al., 2018). De plus, les patients inclus dans l'étude sont hospitalisés dans des centres de revalidation neurologiques dans un contexte où les patients reçoivent d'autres soins ou sont soumis à une fatigue pouvant précéder l'évaluation.

Ces différents éléments contextuels et cliniques peuvent donc influencer la qualité des données récoltées. Il est donc important d'optimiser les conditions de passations, en privilégiant un environnement calme, et en sélectionnant des moments de la journée où le patient a pu bénéficier d'un temps de repos avant l'évaluation. Comme mentionné précédemment, il est nécessaire de multiplier les évaluations sur une journée et sur plusieurs jours également pour réduire l'impact des fluctuations de conscience et obtenir un profil plus fiable des capacités du patient (Wolff et al., 2018).

Par ailleurs, il pourrait être intéressant de documenter les variables contextuelles et cliniques observées lors de chaque passation, telles que le niveau de vigilance, la présence de soins récents, l'état de fatigue, les conditions visuelles, ou encore le comportement spontané du patient. Cela permettrait une meilleure interprétation des résultats et un diagnostic clinique plus fiable au niveau individuel.

Enfin, une autre limite de ce travail réside dans l'absence de mesure de la sensibilité et de la spécificité de la BERA basée sur la catégorisation du langage par la SECONDS (présence [MCS+, EMCS] ou absence [MCS-] de compétence langagière). Ces analyses étant plus complexes, elles n'ont pas été réalisées dans ce travail. Toutefois, elles nous permettraient d'obtenir un score seuil de la BERA à partir duquel on pourrait attester de la présence ou non de capacité langagière chez un patient en ECA. La réalisation de telles analyses dans de futures études renforcerait davantage l'applicabilité clinique de la BERA et son utilité dans la prise de décision clinique.

6.2 Évaluation de la BERA-ET

Bien que la BERA comportementale constitue un outil prometteur pour l'évaluation des capacités langagières auprès de patient en ECA, certaines limites ont été mises en évidence, notamment un biais de subjectivité lié à la cotation par l'évaluateur, susceptible d'influencer le diagnostic (Aubinet, Chatelle, et al., 2021). Afin de pallier cette subjectivité, nous avons développé une version informatisée de la BERA, intégrant un dispositif de type eye-tracker, dans le but d'obtenir des mesures plus objectives.

6.2.1 Sujets contrôles sains

Afin de vérifier si le dispositif en lui-même est valide et fiable, nous avons administré les deux versions de la BERA informatisée auprès de sujets contrôles sains. Pour chaque

participant, un score généré par le dispositif informatisé ainsi qu'un score verbal, correspondant aux réponses orales (gauche/droite) données pendant la tâche, ont été recueillis.

Les résultats des analyses statistiques montrent que la différence entre les scores recueillis par le dispositif et les scores verbaux des participants est significative, la mesure verbale étant systématiquement plus élevée que celle obtenue avec l'eye-tracker. Cela indique que, dans sa forme actuelle, la BERA-ET ne semble pas suffisamment fiable pour détecter avec précision l'intention réelle des participants quant à leur réponse et nécessite des améliorations techniques et méthodologiques.

Par ailleurs, nous avons également observé une prédominance de réponses enregistrées du côté droit de l'écran par le dispositif informatisé. Ce biais de latéralité pourrait résulter de facteurs liés au système technique du dispositif d'eye-tracker, à la méthodologie (calibration, position de l'écran, etc.) ou au logiciel qui enregistre les réponses.

a. Limites

Cette différence au niveau des deux mesures peut être expliquée par plusieurs limites méthodologiques. Premièrement, la calibration était réalisée sur l'expérimentateur et non sur le sujet lui-même, ce qui a provoqué un problème de précision de la mesure de l'eye-tracker (Lech et al., 2019). Cette précision du regard fluctuait entre les participants, avec un écart plus ou moins grand entre la position réelle du regard et celle enregistrée par l'eye-tracker. Ce défaut de calibration individuelle pouvait conduire à un positionnement du regard en dehors de la zone de réponse, voire dans la zone du distracteur, entraînant ainsi des erreurs de catégorisation des réponses ou un biais de latéralité des réponses.

Deuxièmement, les adaptations techniques lors d'évaluations tout au long de l'étude (modification de la hauteur ou de l'inclinaison de l'écran selon les participants pour améliorer la détection du regard) ont introduit une variabilité supplémentaire entre les passations. Cette hétérogénéité contextuelle a probablement impacté les résultats et la fiabilité des données issues de l'eye-tracker d'un participant à l'autre.

Troisièmement, bien que les consignes aient été données de manière identique à chaque participant au début de la séance d'évaluation, certains ont rapporté par la suite qu'après avoir fixé la cible, ils déplaçaient leur regard vers le distracteur ou ailleurs sur l'écran. Cette mécompréhension des consignes pourrait expliquer que certaines réponses, initialement

correctes, n'aient pas été prises en compte par le logiciel et aient conduit à un score bien inférieur au score réel des participants.

6.2.2 Patients LIS

Après avoir évaluer la BERA-ET sur un groupe de sujets contrôles sains, nous avons administré cette version informatisée sur deux patients LIS. Dans ce contexte, on s'attendait à obtenir des résultats plus ou moins semblables aux sujets contrôles étant donné que ces patients ne présentent normalement pas d'altération de l'état de conscience et sont capables d'utiliser l'orientation du regard pour communiquer.

a. Patient 1

Nous avons évalué un premier patient LIS incomplet, présentant un score à la BERA (comportementale et informatisée) fluctuant d'une session à l'autre avec des scores plus élevés lors du premier jour d'évaluation et nettement plus faibles lors du deuxième. Ce résultat inattendu à la BERA comportementale pourrait s'expliquer par une importante fatigue lors de la première session. De plus, la communication, bien que possible, a été compliquée par un trouble oculomoteur limitant les mouvements verticaux et qui nécessitait de s'adapter aux signaux subtils tels que de légers mouvements de l'œil droit ou de la main valide.

Sur la version informatisée (eye-tracker), le patient a également enregistré un score faible. Ceci peut être expliqué par différents facteurs méthodologiques. Tout d'abord, le premier facteur majeur est lié à la calibration non individualisée, effectuée par l'expérimentateur, ce qui a rendu la précision du dispositif moins fiable. Comme pour les sujets contrôles sains, la localisation réelle du regard du patient pouvait être inexacte et influencer le score du patient. Ensuite, ses troubles oculomoteurs et les difficultés du patient à garder les yeux ouverts à cause de la fatigue rendait l'orientation du regard plus compliquée à détecter pour le dispositif. Cette fatigue accrue chez le patient 1 a également engendré l'arrêt anticipé de la tâche où le patient a atteint le critère d'arrêt pour la partie phonologique et sémantique de la version 2. Pour la version 1 de la BERA, ce patient n'a pas souhaité réaliser la seconde partie morphosyntaxique dû à une trop grande fatigue.

Un résultat intéressant de cette étude de cas est la concordance relative entre les mesures enregistrées par l'eye-tracker (9/40) et celles obtenues manuellement par l'observation de l'expérimentateur durant la même tâche (17/40). Bien que les scores obtenus diffèrent

numériquement, cette différence n'est pas statistiquement significative. Les scores étant relativement faibles, cela indique toutefois que la cotation réalisée par l'expérimentateur a été impactée par les difficultés oculaires du patient, rendant les réponses comportementales difficiles à interpréter aussi bien pour l'observateur que pour le dispositif informatisé. Cependant, ce résultat met en évidence que l'utilisation de la version comportementale reste un outil fiable et qu'une utilisation conjointe de mesures automatisées et d'observations cliniques est nécessaire pour une meilleure interprétation. Cela indique également l'importance de l'expérience de l'évaluateur confronté à ce type de patients qui va permettre une meilleure lecture et une interprétation plus exacte des signes cliniques observables.

b. Patient 2

Le deuxième patient LIS inclus dans ce travail présentait un code de communication où il pouvait exprimer la réponse « oui » et « non » très clairement. Grâce à ça, nous avons pu facilement réaliser l'évaluation avec la BERA comportementale en présentant les images l'une après l'autre où monsieur indiquait « oui » pour sélectionner la cible et « non » pour le distracteur. Grâce à ce code bien établi, ce patient a obtenu des scores assez élevés proches du groupe contrôle pour la BERA comportementale. Il a donc réalisé l'intégralité de la BERA sans grande difficulté.

Les scores eye-tracker du patient 2 sont quant à eux, globalement moins élevés en comparaison à la mesure comportementale. En effet, le patient 2 présentait une diplopie binoculaire ainsi qu'un nystagmus compliquant cette méthode d'évaluation basée sur l'orientation du regard. Les évaluations avec eye-tracker ont été réalisées avec un cache œil pour permettre au patient un meilleur confort durant les tâches.

De plus, on remarque une variabilité des résultats entre les sessions avec des scores au premier jour moins élevés que le deuxième jour, bien que les deux évaluations de la BERA-ET soient statistiquement inférieures au groupe contrôle. Ceci peut s'expliquer par les mêmes facteurs que pour le patient 1, à savoir un problème de calibration, des troubles oculaires et une fatigue importante. Un autre facteur explicatif serait que le dispositif a été capable de détecter davantage le regard du patient même sur un seul œil, une fois qu'il a été bien placé en face de celui-ci et mieux positionné seulement lors du deuxième jour d'évaluation.

En outre, lors du deuxième jour d'évaluation, nous avons pu mieux observer sa façon de dissocier les réponses qu'il donnait à droite de l'écran ou à gauche. Il s'agissait d'un déplacement subtil du regard étant donné que le balayage visuel à l'horizontale est peu réalisable pour les patients LIS (alors que les images sont présentées horizontalement). Grace à cette observation, notre cotation manuelle durant la passation de la BERA-ET était plus simple, alors que le dispositif ne détectait pas aussi aisément la différence de regard à droite ou à gauche de l'écran. Ce problème de balayage visuel présent chez les patients LIS est également un facteur important à prendre en compte dans l'interprétation des résultats du patient.

Dans les deux cas, les patients ont exprimés avoir une préférence pour la version comportementale de la BERA. On peut supposer qu'ils ont ressenti plus d'inconfort et de fatigabilité face à la tâche sur l'ordinateur, ce qui a pu impacter leur motivation à répondre à la tâche informatisée.

c. Limites

Dans cette partie liée à l'évaluation de la BERA avec eye-tracker, certaines limites sont à considérer. Tout d'abord, l'outil eye-tracker ne semble pas toujours bien tolérée auprès des patients que nous avons évalués mais également chez certains sujets contrôles indiquant parfois une fatigue importante suite à l'évaluation. Cette limite liée à la tolérance de l'eye-tracker a également été observée dans d'autres études, notamment celle de Johansson et al. (2025), qui souligne que l'utilisation de cet outil peut entraîner de l'inconfort chez certains participants, affectant ainsi potentiellement leurs performances. Cet inconfort est un élément important à prendre en compte, surtout dans l'utilisation de ce type de dispositif auprès de populations cliniques plus facilement fatigables.

Le dispositif eye-tracker est un outil intéressant permettant de réduire la subjectivité de l'évaluation, mais il n'inclut pas les informations comportementales souvent précieuses pour interpréter les résultats observés auprès de cette population clinique. En effet, la BERA-ET ne peut pas remplacer l'apport des observations comportementales telles que l'utilisation de gestes ou de mimiques pour indiquer une réponse (par exemple, un mouvement de la main comme indicateur de « oui » pour le patient 1), qui représentent pour certains patients un moyen de communication autre que le regard.

Une autre limite est liée au manque de flexibilité de la BERA-ET durant la passation en comparaison à la version comportementale. Par exemple, il y a moins de contrôle et d'adaptabilité concernant le temps de présentation des items en fonction et l'arrangement des items à l'écran (les deux images présentées verticalement au lieu d'horizontalement). Ceci peut être problématique lorsqu'on est face à des patients ayant des troubles oculaires ou des conditions qui limitent le balayage visuel horizontal nécessaire à la réalisation de la tâche informatisée sous sa forme actuelle.

Comme indiqué dans la littérature sur l'utilisation d'un dispositif eye-tracker auprès de patients en ECA (Wannez, 2018), les troubles oculaires ainsi que d'autres facteurs liés à la condition ne permettent pas une calibration standard du dispositif et demandent certaines adaptations , telle qu'une calibration à postériori proposé par Trojano et al., (2012). Dans notre étude, pour contourner cette difficulté, une adaptation a été testée consistant à réaliser la calibration sur l'expérimentateur avant l'évaluation des participants. Cependant, on a effectivement remarqué que le calibrage est trop approximatif et que le dispositif utilisé dans notre étude n'est pas adapté à la posture des patients LIS ou en ECA qui présentent parfois une inclinaison de la tête ou une fermeture palpébrale trop importante, impactant la détection du regard des patients. Le système de calibration et l'eye-tracker utilisés dans cette étude exigeaient que le sujet soit positionné selon un angle précis par rapport aux capteurs et qu'il puisse diriger son regard vers une zone spatiale spécifique. Ces conditions techniques sont difficilement compatibles avec les limitations motrices et de communication fréquentes dans les troubles de la conscience. Ce problème plutôt technique a pu induire des erreurs d'enregistrement du regard réel des participants et rend les résultats des patients moins fiables.

Enfin, une limite potentielle concerne la précision de l'analyse des données enregistrées par l'eye-tracker et traitées avec le logiciel utilisé dans cette étude. En effet, ce logiciel ne permet pas de déterminer avec exactitude la localisation du regard sur chaque stimulus : il n'indique que, de manière globale, si le participant regarde vers la zone de droite ou de gauche de l'écran. Ainsi, il reste possible qu'un patient fixe une zone générale (droite ou gauche) sans toutefois porter son regard précisément sur la cible attendue. Ceci aurait pour conséquence de biaiser l'interprétation des réponses avec une surestimation du nombre de bonnes réponses lorsque le regard du participant se trouve dans la bonne zone sans cibler l'image précise.

6.2.3 Perspectives d'évolution de la BERA-ET

Le dispositif eye-tracker testé dans cette étude semble être un outil intéressant pour la clinique même si quelques améliorations du protocole et du matériel sont nécessaires.

Étant donné que ce dispositif n'est pas toujours apprécié par les patients, et que certains voient leurs performances s'améliorer sans ce dispositif eye-tracker, il est nécessaire, dans la pratique clinique, d'alterner les évaluations avec et sans le système eye-tracker et de respecter les préférences des patients concernant la modalité d'évaluation.

De plus, il serait également opportun d'avoir un matériel plus adaptatif en fonction du patient et de ses difficultés tout en conservant le dispositif eye-tracker. Il est nécessaire, dans une étude future, de pouvoir choisir le format de présentation des items à l'écran : les deux images à la verticale, plus adapté pour des patients LIS, ou à l'horizontale si les conditions cliniques le permettent.

Pour pallier l'inexactitude de la calibration et les difficultés techniques liées à la position des patients, il serait intéressant d'utiliser un autre dispositif d'eye-tracker tel que des lunettes eye-tracker qui possèdent une meilleure précision et une meilleure exactitude de la mesure, plus adaptées à la recherche dans notre contexte clinique. En effet, ce dispositif est plus ergonomique et serait mieux adapté au positionnement du patient. Bien que ce type de dispositif nécessite une étape de calibration binoculaire, celle-ci peut être de plus courte durée pour certains modèles. Aussi l'étude de Johansson et al. (2021), utilisant un dispositif de lunettes eye-tracker dans une étude auprès de patients en ECA, indique que même si la calibration n'est pas réalisable chez certains patients, il est possible de discerner leurs mouvements oculaires enregistrés durant la tâche en se basant sur le changement relatif du regard.

Enfin, une piste d'amélioration consisterait à revoir le logiciel d'analyse des données issues de l'eye-tracker en concevant un outil plus performant capable de fournir une analyse plus fine et détaillée de la localisation du regard des participants. Par exemple, l'ajout d'un tracé complet des mouvements oculaires pour chaque essai permettrait de vérifier si la cible attendue a réellement été fixée. Cet élément nous permettrait une meilleure interprétation des performances à la tâche et augmenterait la validité des mesures automatisées.

7. Conclusion générale

Les patients sortant d'une période de coma peuvent présenter une altération de la conscience, nécessitant une évaluation précise afin d'établir leur état de conscience. Cette évaluation s'appuie généralement sur des outils comportementaux, tels que la CRS-R, largement utilisée en clinique. Cependant, ces outils d'évaluation ne prennent pas en compte les éventuelles atteintes langagières, qui peuvent interférer avec la compréhension des consignes, ce qui peut entraîner une sous-estimation de l'état de conscience des patients.

Pour pallier cette limite, la BERA a donc été conçue afin d'inclure l'évaluation des capacités résiduelles de langage auprès des patients en ECM, visant à diminuer les erreurs diagnostiques et à améliorer la prise en charge des patients. Déjà validée auprès de patients aphasiques, la BERA a été évaluée dans ce travail sur un groupe de 46 patients en ECA. Les résultats indiquent de bonnes propriétés psychométriques et suggèrent qu'il s'agit d'un outil fiable pour l'évaluation des capacités langagières dans cette population.

Cependant, la subjectivité inhérente à l'observation clinique demeure une limite dans cette évaluation comportementale. Afin d'obtenir une évaluation plus objective, une version informatisée de la BERA, intégrant un dispositif d'eye-tracking (BERA-ET), a été développée et testée. L'utilisation de l'eye-tracking dans ce contexte clinique est pertinente car les réponses basées sur la fixation/poursuite visuelle, bien établis chez les patients en ECA, peuvent parfois être difficiles à détecter par le clinicien. La BERA-ET apparaît donc comme une piste prometteuse pour objectiver les réponses et renforcer la fiabilité de l'évaluation.

Néanmoins, des améliorations du matériel, de la procédure et du logiciel d'analyse restent nécessaires : il est impératif d'adapter le dispositif aux difficultés du patient (troubles visuels, temps de présentation, position des items, etc.) et également l'étape de calibration, qui constitue un obstacle majeur dans cette population. De plus, il est souhaitable de combiner les mesures automatisées avec les mesures comportementales en incluant l'expertise clinique et, si possible, le ressenti des patients, afin de garantir une évaluation la plus complète et fiable possible.

En conclusion, la BERA et sa version informatisée présentent un fort potentiel pour améliorer l'évaluation, le diagnostic et la prise en charge des patients en ECA, bien que des améliorations restent nécessaires dans le cadre d'études futures.

8. Bibliographie

- Académie Nationale de Médecine. (s.d.). Épendymome. Dans Dictionnaire de l'Académie Nationale de Médecine. <http://dictionnaire.academie-medecine.fr/search?titre=%C3%A9pendymome>
- Andréelli, F., & Mosbah, H. (2014). IRM fonctionnelle cérébrale : les principes. *Médecine des Maladies Métaboliques (Print)*, 8(1), 13-19. [https://doi.org/10.1016/s1957-2557\(14\)70677-7](https://doi.org/10.1016/s1957-2557(14)70677-7)
- Ansell, B. J., & Keenan, J. E. (1989). The Western Neuro Sensory Stimulation Profile: a tool for assessing slow-to-recover head-injured patients. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 70(2), 104–108.
- Ardila, A. (2010). A Review of Conduction Aphasia. *Current Neurology And Neuroscience Reports*, 10(6), 499-503. <https://doi.org/10.1007/s11910-010-0142-2>
- Aubinet, C. (2022). Residual implicit and explicit language abilities in patients with disorders of consciousness : A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 132, 391-409. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.12.001>
- Aubinet, C. (2023, mai). *Brief Evaluation of Receptive Aphasia (BERA)* [Présentation PowerPoint]. ORBi. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/318792/1/BAPS_Aubinet_Symposium_Csc-Lgg_final.pdf
- Aubinet, C., Cassol, H., Bodart, O., Sanz, L., Wannez, S., Martial, C., Thibaut, A., Martens, G., Carrière, M., Gosseries, O., Laureys, S., & Chatelle, C. (2021). Simplified evaluation of CONsciousness disorders (SECONDS) in individuals with severe brain injury : A validation study. *Annals Of Physical And Rehabilitation Medicine*, 64(5), 101432. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2020.09.001>
- Aubinet, C., Cassol, H., Gosseries, O., Bahri, M. A., Larroque, S. K., Majerus, S., Martial, C., Martens, G., Carrière, M., Chatelle, C., Laureys, S., & Thibaut, A. (2020). Brain Metabolism but Not Gray Matter Volume Underlies the Presence of Language Function in the Minimally Conscious State (MCS) : MCS+ Versus MCS- Neuroimaging Differences. *Neurorehabilitation And Neural Repair*, 34(2), 172-184. <https://doi.org/10.1177/1545968319899914>
- Aubinet, C., Chatelle, C., Gillet, S., Lejeune, N., Thunus, M., Hennen, N., Cassol, H., Laureys, S., & Majerus, S. (2021). The Brief Evaluation of Receptive Aphasia test for the detection of language impairment in patients with severe brain injury. *Brain Injury*, 35(6), 705-717. <https://doi.org/10.1080/02699052.2021.1894482>
- Aubinet, C., Larroque, S. K., Heine, L., Martial, C., Majerus, S., Laureys, S., & Di Perri, C. (2018). Clinical subcategorization of minimally conscious state according to resting functional connectivity. *Human Brain Mapping*, 39(11), 4519-4532. <https://doi.org/10.1002/hbm.24303>
- Aubinet, C., Murphy, L., Bahri, M. A., Larroque, S. K., Cassol, H., Annen, J., Carrière, M., Wannez, S., Thibaut, A., Laureys, S., & Gosseries, O. (2018). Brain, Behavior, and Cognitive Interplay in Disorders of Consciousness : A Multiple Case Study. *Frontiers In Neurology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00665>
- Aubinet, C., Panda, R., Larroque, S. K., Cassol, H., Bahri, M. A., Carrière, M., Wannez, S., Majerus, S., Laureys, S., & Thibaut, A. (2019). Reappearance of Command-Following Is Associated With the Recovery of Language and Internal-Awareness Networks : A Longitudinal Multiple-Case Report. *Frontiers In Systems Neuroscience*, 13. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2019.00008>

Benson, D. F., Sheremata, W. A., Bouchard, R. W., Segarra, J. M., Price, D. L., & Geschwind, N. (1973). Conduction aphasia. *Archives Of Neurology, 28*(5), 339. <https://doi.org/10.1001/archneur.1973.00490230075011>

Borer-Alafi, N., Gil, M., Sazbon, L., & Korn, C. (2002). Loewenstein communication scale for the minimally responsive patient. *Brain Injury, 16*(7), 593-609. <https://doi.org/10.1080/02699050110119484>

Born, J. D. (1988). The Glasgow-Liege Scale. *Acta Neurochirurgica, 91*(1-2), 1-11. <https://doi.org/10.1007/bf01400520>

Bruno, M., Laureys, S., & Demertzi, A. (2013). Coma and disorders of consciousness. Dans *Handbook of Clinical Neurology* (p. 205-213). <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-53501-6.00017-2>

Bruno, M., Majerus, S., Boly, M., Vanhaudenhuyse, A., Schnakers, C., Gosseries, O., Boveroux, P., Kirsch, M., Demertzi, A., Bernard, C., Hustinx, R., Moonen, G., & Laureys, S. (2011). Functional neuroanatomy underlying the clinical subcategorization of minimally conscious state patients. *Journal Of Neurology, 259*(6), 1087-1098. <https://doi.org/10.1007/s00415-011-6303-7>

Bruno, M., Pellas, F., Schnakers, C., Van Eeckhout, P., Bernheim, J., Pantke, K., Damas, F., Faymonville, M., Moonen, G., Goldman, S., & Laureys, S. (2008). Le Locked-In Syndrome : la conscience emmurée. *Revue Neurologique, 164*(4), 322-335. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2007.12.010>

Bruno, M., Vanhaudenhuyse, A., Thibaut, A., Moonen, G., & Laureys, S. (2011). From unresponsive wakefulness to minimally conscious PLUS and functional locked-in syndromes : recent advances in our understanding of disorders of consciousness. *Journal Of Neurology, 258*(7), 1373-1384. <https://doi.org/10.1007/s00415-011-6114-x>

Carter, B. T., & Luke, S. G. (2020). Best practices in eye tracking research. *International Journal Of Psychophysiology, 155*, 49-62. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.05.010>

Casali, A. G., Gosseries, O., Rosanova, M., Boly, M., Sarasso, S., Casali, K. R., Casarotto, S., Bruno, M., Laureys, S., Tononi, G., & Massimini, M. (2013). A Theoretically Based Index of Consciousness Independent of Sensory Processing and Behavior. *Science Translational Medicine, 5*(198). <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.3006294>

Cassol, H., Wolff, A., Chatelle, C., Gosseries, O., Laureys, S., & Thibaut, A. (2018). Conscience et états de conscience altérée. In Jourdan, C., Pellas, F., Luauté, J., Chevallier, J.-B., ... de Boissezon, X., *Etats de conscience altérée* (pp. 9-24). Montpellier, France: Sauramps MEDICAL.

Devue, C. & Vanootighem, V. (2023). Psychophysique et psychologie de la perception [Diapositives]

Edlow, B. L., Chatelle, C., Spencer, C. A., Chu, C. J., Bodien, Y., O'Connor, K. L., Hirschberg, R. E., Hochberg, L. R., Giacino, J. T., Rosenthal, E. S., & Wu, O. (2017). Early detection of consciousness in patients with acute severe traumatic brain injury. *Brain, 140*(9), 2399-2414. <https://doi.org/10.1093/brain/awx176>

Giacino, J. T., Ashwal, S., Childs, N. L., Cranford, R. E., Jennett, B., Katz, D. I., Kelly, J. P., Rosenberg, J. H., Whyte, J., Zafonte, R., & Zasler, N. D. (2002). The minimally conscious state. *Neurology, 58*(3), 349-353. <https://doi.org/10.1212/wnl.58.3.349>

Giacino, J. T., Fins, J. J., Laureys, S., & Schiff, N. D. (2014). Disorders of consciousness after acquired brain injury : the state of the science. *Nature Reviews Neurology, 10*(2), 99-114. <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2013.279>

Giacino, J. T., Schnakers, C., Rodriguez-Moreno, D., Kalmar, K., Schiff, N., & Hirsch, J. (2009). Behavioral assessment in patients with disorders of consciousness : gold standard or fool's gold ? *Progress In Brain Research*, 33-48. [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(09\)17704-x](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(09)17704-x)

Gill-Thwaites, H. (1997). The Sensory Modality Assessment Rehabilitation Technique - A tool for assessment and treatment of patients with severe brain injury in a vegetative state. *Brain Injury*, 11(10), 723-734. <https://doi.org/10.1080/026990597123098>

Gosseries, O., Di, H., Laureys, S., & Boly, M. (2014). Measuring Consciousness in Severely Damaged Brains. *Annual Review Of Neuroscience*, 37(1), 457-478. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062012-170339>

Hennen, N. (2019). Validation de la Brief Evaluation of Receptive Aphasia (BERA) dans le dépistage des troubles phasiques chez les patients en état de conscience minimale : Étude de cas multiples [Mémoire]. Université de Liège.

Huang, J. (2023, août 3). *Aphasie*. Manuels MSD Pour le Grand Public. <https://www.msdmanuals.com/fr/accueil/troubles-ducerveau,-de-la-moelle-%C3%A9pin%C3%A8re-et-des-nerfs/dysfonctionnement%C3%A9r%C3%A9bral/aphasie>

Hyun, C., Kim, K., Lee, S., Lee, H. H., & Lee, J. (2021). Quantitative evaluation of the consciousness level of patients in a vegetative state using virtual reality and an eye-tracking system : A single-case experimental design study. *Neuropsychological Rehabilitation*, 32(10), 2628-2645. <https://doi.org/10.1080/09602011.2021.1974496>

JASP Team (2024). JASP (Version 0.19.3)[Computer software].

Johansson, J., Franzon, K., Godbolt, A. K., & Möller, M. C. (2021). Methodological aspects of using a wearable eye-tracker to support diagnostic clinical evaluation of prolonged disorders of consciousness. *Journal Of Rehabilitation Medicine*, 53(7), jrm00213. <https://doi.org/10.2340/16501977-2847>

Johansson, J., Möller, M., Franzon, K., Stenberg, J., & Godbolt, A. K. (2025). Eye tracking to support assessment of patients with prolonged disorder of consciousness – a case series. *Journal Of Rehabilitation Medicine*, 57, jrm41324. <https://doi.org/10.2340/jrm.v57.41324>

Kondziella, D., Friberg, C. K., Frøkjær, V. G., Fabricius, M., & Møller, K. (2015). Preserved consciousness in vegetative and minimal conscious states : systematic review and meta-analysis. *Journal Of Neurology, Neurosurgery, And Psychiatry*, 87(5), 485-492. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2015-310958>

Kujawa, K., Żurek, G., Kwiatkowska, A., Olejniczak, R., & Żurek, A. (2021). Assessment of Language Functions in Patients With Disorders of Consciousness Using an Alternative Communication Tool. *Frontiers In Neurology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.684362>

Laureys, S. (2005). The neural correlate of (un)awareness : lessons from the vegetative state. *Trends In Cognitive Sciences*, 9(12), 556-559. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.10.010>

Laureys, S., Owen, A. M., & Schiff, N. D. (2004). Brain function in coma, vegetative state, and related disorders. *The Lancet Neurology*, 3(9), 537-546. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(04\)00852-x](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(04)00852-x)

Lech, M., Kucewicz, M. T., & Czyżewski, A. (2019). Human Computer Interface for Tracking Eye Movements Improves Assessment and Diagnosis of Patients With Acquired Brain Injuries. *Frontiers In Neurology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00006>

Lemoine-Lardennois, C., Doré-Mazars, K., & Alahyane, N. (2016). La mise en place des fonctions visuelles et oculomotrices chez le jeune enfant. *Contraste*, N° 43(1), 17-37. <https://doi.org/10.3917/cont.043.0017>

Les troubles du langage et du calcul chez l'enfant : Une approche psycholinguistique et neuropsychologique. (2004). EME Editions.

Lugo, Z. R., Bruno, M., Gosseries, O., Demertzi, A., Heine, L., Thonnard, M., Blandin, V., Pellas, F., & Laureys, S. (2015). Beyond the gaze: Communicating in chronic locked-in syndrome. *Brain Injury*, 29(9), 1056–1061. <https://doi.org/10.3109/02699052.2015.1004750>

Maiese, K. (2024, 21 février). *Revue générale des comas et des troubles de la conscience*. Édition Professionnelle du Manuel MSD. <https://www.msdmanuals.com/fr/professional/troubles-neurologiques/coma-et-troubles-de-laconscience/revue-g%C3%A9n%C3%A9rale-des-comas-et-des-troubles-de-la-conscience>

Majerus, S., Bruno, M., Schnakers, C., Giacino, J. T., & Laureys, S. (2009). The problem of aphasia in the assessment of consciousness in brain-damaged patients. Dans *Progress in Brain Research* (p. 49-61). [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(09\)17705-1](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(09)17705-1)

Majerus, S., De Linden, M. V., & Shiel, A. (2000). Wessex Head Injury Matrix and Glasgow/Glasgow-Liege Coma Scale : A Validation and Comparison Study. *Neuropsychological Rehabilitation*, 10(2), 167-184. <https://doi.org/10.1080/096020100389237>

Majerus, S., Gill-Thwaites, H., Andrews, K., & Laureys, S. (2005). Behavioral evaluation of consciousness in severe brain damage. Dans *Progress in brain research* (p. 397-413). [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(05\)50028-1](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(05)50028-1)

Masson, N. (2025, 14 mars). *Eye tracking : présentation de la technique et application dans les addictions* [diapositive].

Mazué, L. (2021). Protocole de la Brief Evaluation of Receptive Aphasia test (BERA) adaptée avec eye-tracker (BERA-ET) [diapositive].

McNeil, M. R., & Pratt, S. (2001). Defining aphasia : Some theoretical and clinical implications of operating from a formal definition. *Aphasiology*, 15(10-11), 901-911. <https://doi.org/10.1080/02687040143000276>

Murphy, L. (2018). The Cognitive Assessment by Visual Election (CAVE) : A pilot study to develop a cognitive assessment tool for people emerging from disorders of consciousness. *Neuropsychological Rehabilitation*, 28(8), 1275-1284. <https://doi.org/10.1080/09602011.2018.1454327>

Owen, A. M., Coleman, M. R., Boly, M., Davis, M. H., Laureys, S., & Pickard, J. D. (2006). Detecting Awareness in the Vegetative State. *Science*, 313(5792), 1402. <https://doi.org/10.1126/science.1130197>

Parisse, C. (2009). La morphosyntaxe : Qu'est ce qu'est ? - Application au cas de la langue française ? *Rééducation*

Orthophonique, 47(238), 7-20. <https://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00495626>

Patterson, K. & Shewell, C. (1987). Speak and spell: Dissociations and word class effects. In M. Coltheart, G. Sartori, & R. Job (Eds.), *The cognitive neuropsychology of language* (pp. 273–294). London: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Poncelet, M. (2023, 25 septembre). Sémiologie et nosologie de l'aphasie [Diapositives].

R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rappaport, M., Dougherty, A. M., & Kelting, D. L. (1992). Evaluation of coma and vegetative states. *PubMed*, 73(7), 628-634. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1622317>

Sanz, L., Thibaut, A., Edlow, B. L., Laureys, S., & Gosseries, O. (2021). Update on neuroimaging in disorders of consciousness. *Current Opinion In Neurology*, 34(4), 488-496. <https://doi.org/10.1097/wco.0000000000000951>

Schnakers, C., & Laureys, S. (2017). *Coma and Disorders of Consciousness*. Springer.

Sanz, L. R., Laureys, S., & Gosseries, O. (2018). Les états de conscience altérée : études comportementales et de neuroimagerie. *Revue de Neuropsychologie*, Volume 10(4), 313-321. <https://doi.org/10.1684/nrp.2018.0481>

Schnakers, C., Vanhaudenhuyse, A., Giacino, J. T., Ventura, M., Boly, M., Majerus, S., Moonen, G., & Laureys, S. (2009). Diagnostic accuracy of the vegetative and minimally conscious state : Clinical consensus versus standardized neurobehavioral assessment. *BMC Neurology*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2377-9-35>

Schnakers, C., Bessou, H., Rubi-Fessen, I., Hartmann, A., Fink, G. R., Meister, I., Giacino, J. T., Laureys, S., & Majerus, S. (2015). Impact of aphasia on consciousness assessment: a cross-sectional study. *Neurorehabilitation and neural repair*, 29(1), 41–47. <https://doi.org/10.1177/1545968314528067>

Shiel, A., Horn, S. A., Wilson, B. A., Watson, M. J., Campbell, M. J., & Mclellan, D. L. (2000). The Wessex Head Injury Matrix (WHIM) main scale : a preliminary report on a scale to assess and monitor patient recovery after severe head injury. *Clinical Rehabilitation*, 14(4), 408-416. <https://doi.org/10.1191/0269215500cr326oa>

Teasdale, G., & Jennett, B. (1976). Assessment and prognosis of coma after head injury. *Acta Neurochirurgica*, 34(1-4), 45-55. <https://doi.org/10.1007/bf01405862>

Thibaut, A., Panda, R., Annen, J., Sanz, L., Naccache, L., Martial, C., Chatelle, C., Aubinet, C., Bonin, E., Barra, A., Briand, M., Cecconi, B., Wannez, S., Stender, J., Laureys, S., & Gosseries, O. (2021). Preservation of Brain Activity in Unresponsive Patients Identifies MCS Star. *Annals Of Neurology*, 90(1), 89-100. <https://doi.org/10.1002/ana.26095>

Thunus, M. (2019). Validation de l'instrument Brief Evaluation of Receptive Aphasia (BERA) de détection des troubles langagiers réceptifs chez les patients aphasiques en vue de son administration auprès des patients en état de conscience minimale [Mémoire]. Université de Liège.

Ting, W. K., Velázquez, J. L. P., & Cusimano, M. D. (2014). Eye Movement Measurement in Diagnostic Assessment of Disorders of Consciousness. *Frontiers In Neurology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fneur.2014.00137>

Tobii AB. (n.d.). *How do eye trackers work? — A tech-savvy walk-through*. <https://www.tobii.com/resource-center/learn-articles/how-do-eye-trackers-work>

Tomaiuolo, F., Cecchetti, L., Gibson, R. M., Logi, F., Owen, A. M., Malasoma, F., Cozza, S., Pietrini, P., & Ricciardi, E. (2016). Progression from Vegetative to Minimally Conscious State Is Associated with Changes in Brain Neural Response to Passive Tasks : A Longitudinal Single-Case Functional MRI Study. *Journal Of The International Neuropsychological Society*, 22(6), 620-630. <https://doi.org/10.1017/s1355617716000485>

Trojano, L., Moretta, P., Loreto, V., Cozzolino, A., Santoro, L., & Estraneo, A. (2012). Quantitative assessment of visual behavior in disorders of consciousness. *Journal Of Neurology*, 259(9), 1888-1895. <https://doi.org/10.1007/s00415012-6435-4>

Vanhaudenhuyse, A., Demertzi, A., Schabus, M., Noirhomme, Q., Brédart, S., Boly, M., Phillips, C., Soddu, A., Luxen, A., Moonen, G., & Laureys, S. (2011). Two Distinct Neuronal Networks Mediate the Awareness of Environment and of Self. *Journal Of Cognitive Neuroscience*, 23(3), 570-578. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21488>

Wannez, S. (2018). *Améliorer le diagnostic des patients en état de conscience altérée : Une approche comportementale* (Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique). ProQuest Dissertations & Theses Global. (31351306)

Wannez, S., Heine, L., Thonnard, M., Gosseries, O., & Laureys, S. (2017). The repetition of behavioral assessments in diagnosis of disorders of consciousness. *Annals Of Neurology*, 81(6), 883-889. <https://doi.org/10.1002/ana.24962>

Wijdicks, E. F. M. (2001). The Diagnosis of Brain Death. *The New England Journal Of Medicine*, 344(16), 1215-1221. <https://doi.org/10.1056/nejm200104193441606>

Wijdicks, E. F. M., Bamlet, W. R., Maramattom, B. V., Manno, E. M., & McClelland, R. L. (2005). Validation of a new coma scale : The FOUR score. *Annals Of Neurology*, 58(4), 585-593. <https://doi.org/10.1002/ana.20611>

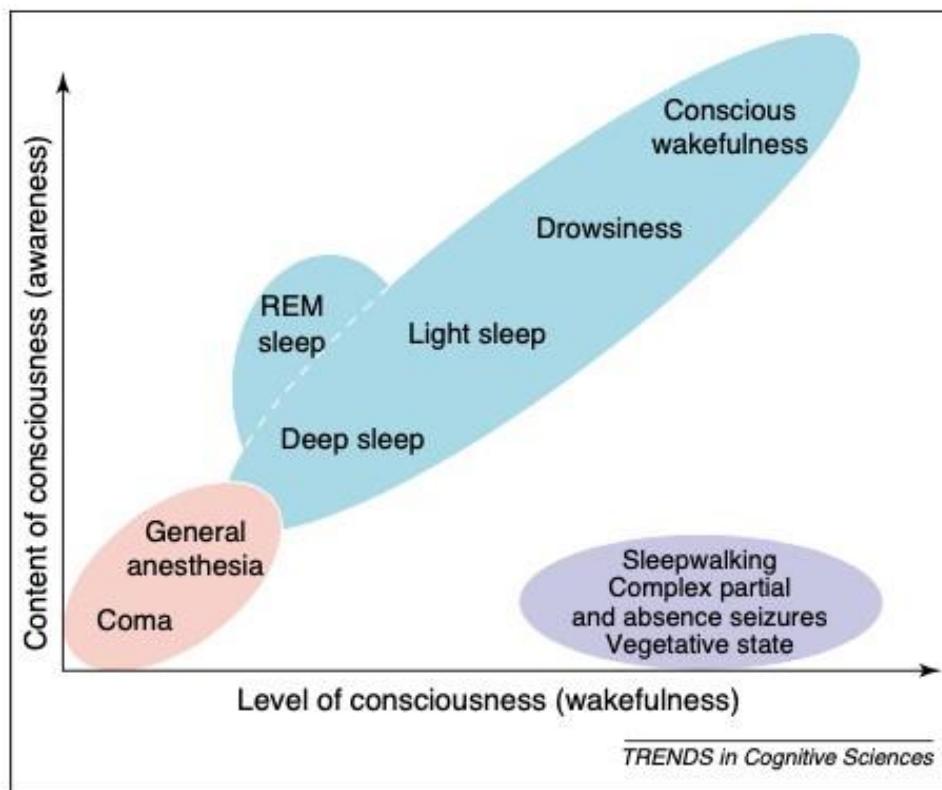
Wolff, A., Blandiaux, S., Cassol, H., Chatelle, C., Laureys, S., & Gosseries, O. (2018). Evaluations comportementales chez les patients en état de conscience altérée. In Etats de conscience altérée : Actualités diagnostiques, pronostiques et thérapeutiques. Sauramps Médical.

Yamaki, T., Uchino, Y., Henmi, H., Kamezawa, M., Hayakawa, M., Uchida, T., Ozaki, Y., Onodera, S., Oka, N., Odaki, M., Itou, D., & Kobayashi, S. (2018). Increased brain glucose metabolism in chronic severe traumatic brain injury as determined by longitudinal 18F-FDG PET/CT. *Journal Of Clinical Neuroscience*, 57, 20-25. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2018.08.052>

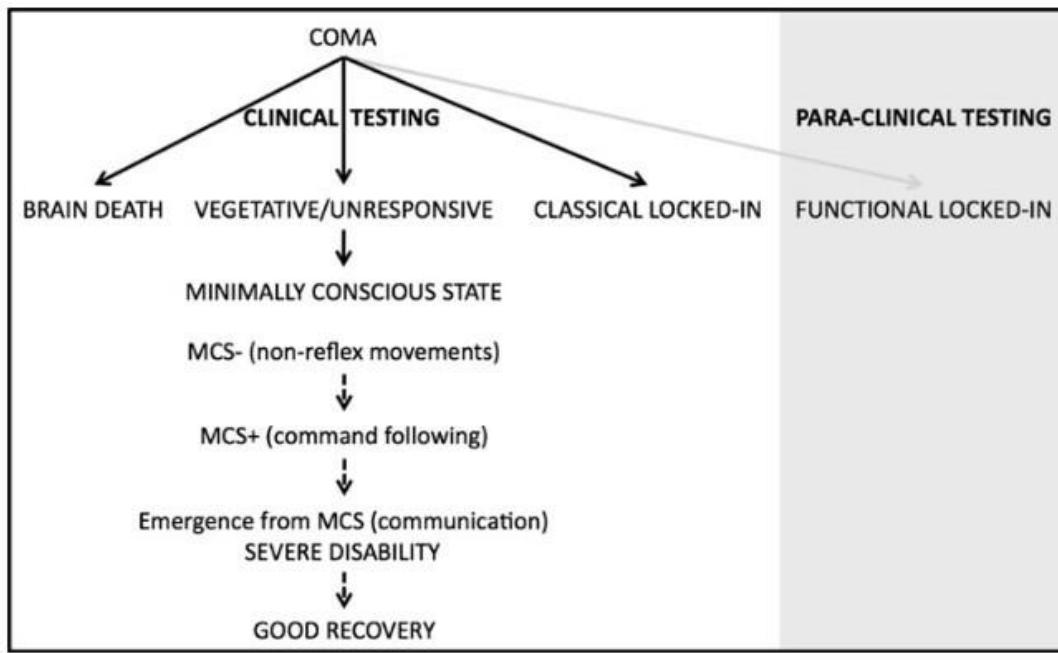
9. Annexes

Annexe A – Figures complémentaires

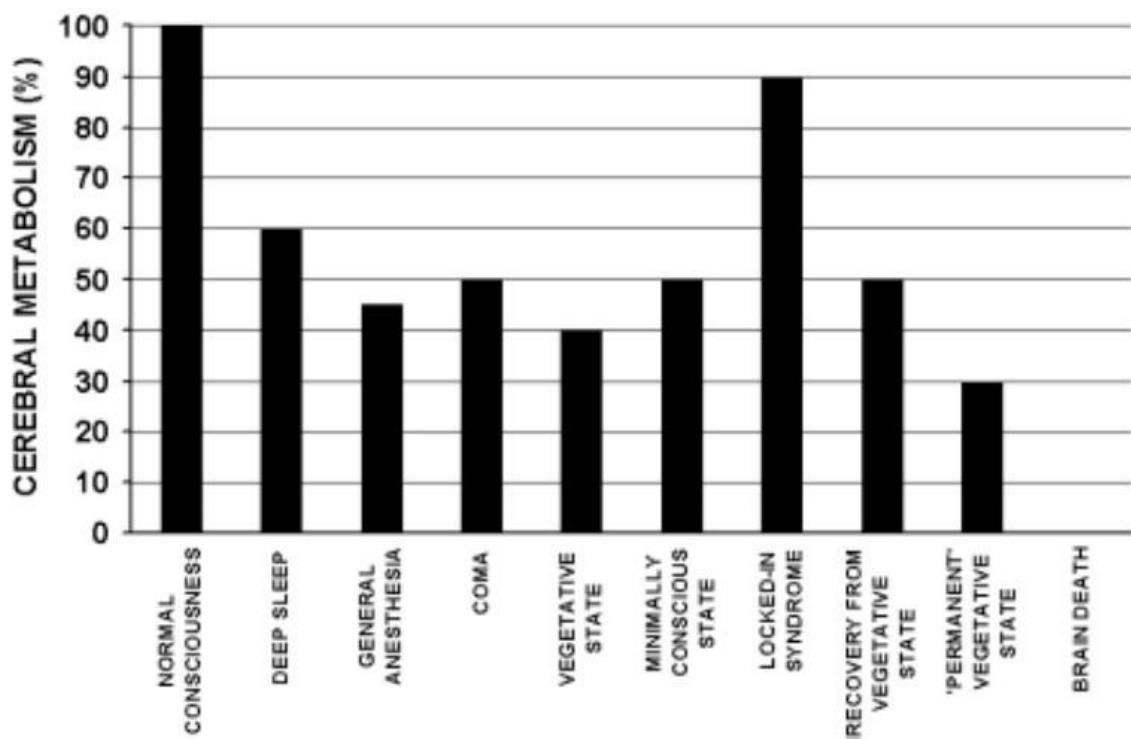
Annexe A1. Représentation des deux composantes majeures de la conscience (Laureys, 2005).....	68
Annexe A2. Entité diagnostique possiblement rencontrée après une période de coma (Bruno, Vanhaudenhuyse, et al., 2011).....	68
Annexe A3. Métabolisme cérébral dans les différents groupes diagnostiques (Laureys et al., 2004)...	69
Annexe A4. Déroulement de la récupération de la conscience et du langage (Aubinet et al., 2022)	69
Annexe A5. Répartition des items de la BERA (Aubinet, Chatelle, et al., 2021)	70
Annexe A6. Exemple du déroulement d'une séance d'évaluation avec la BERA (Aubinet, 2023)	70
Annexe A7. Architecture logicielle de la BERA-ET	71
Annexe A8. Dispositif eye-tracker Tobii (Tobii AB, n.d.)	71
Annexe A9. Exemple du déroulement d'une séance d'évaluation avec la BERA-ET auprès d'un patient LIS	72



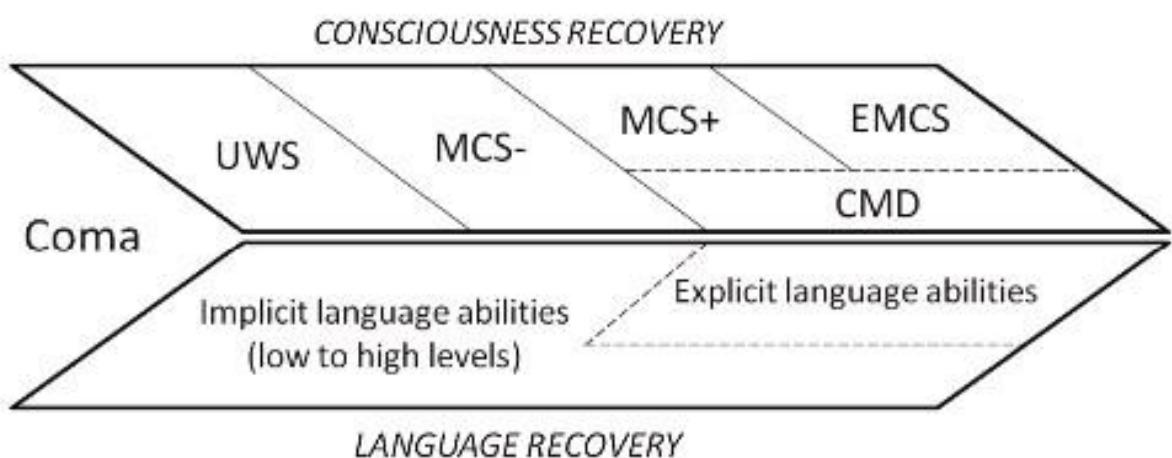
Annexe A1. Représentation des deux composantes majeures de la conscience (Laureys, 2005)



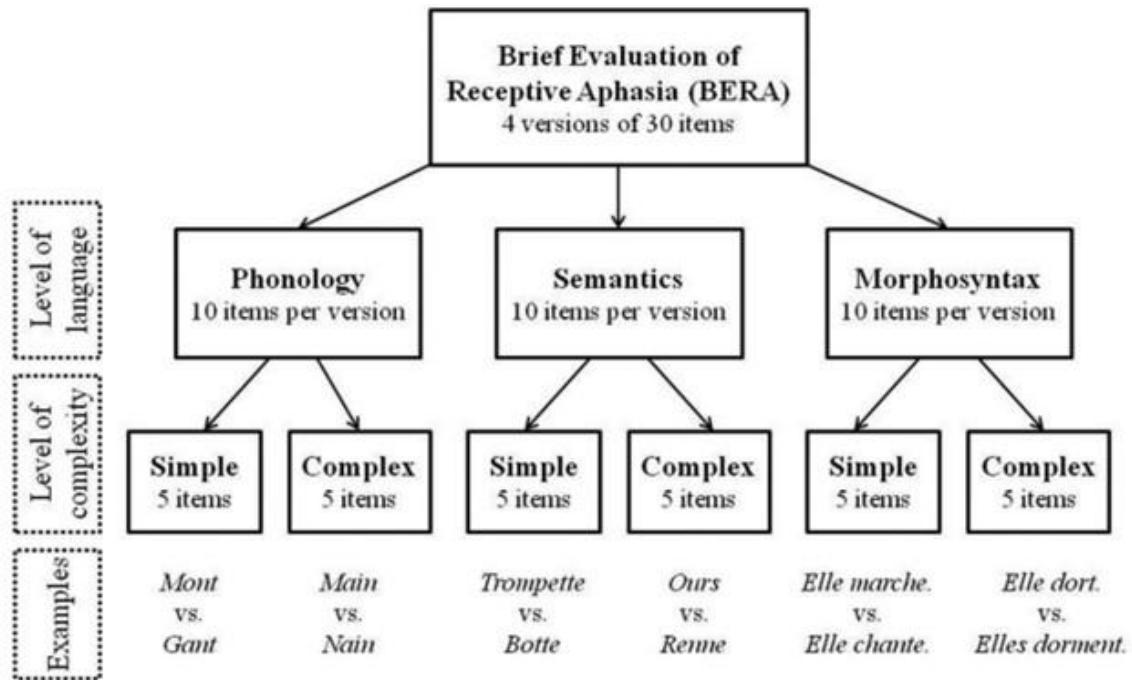
Annexe A2. Entité diagnostique possiblement rencontrée après une période de coma (Bruno, Vanhaudenhuyse, et al., 2011)



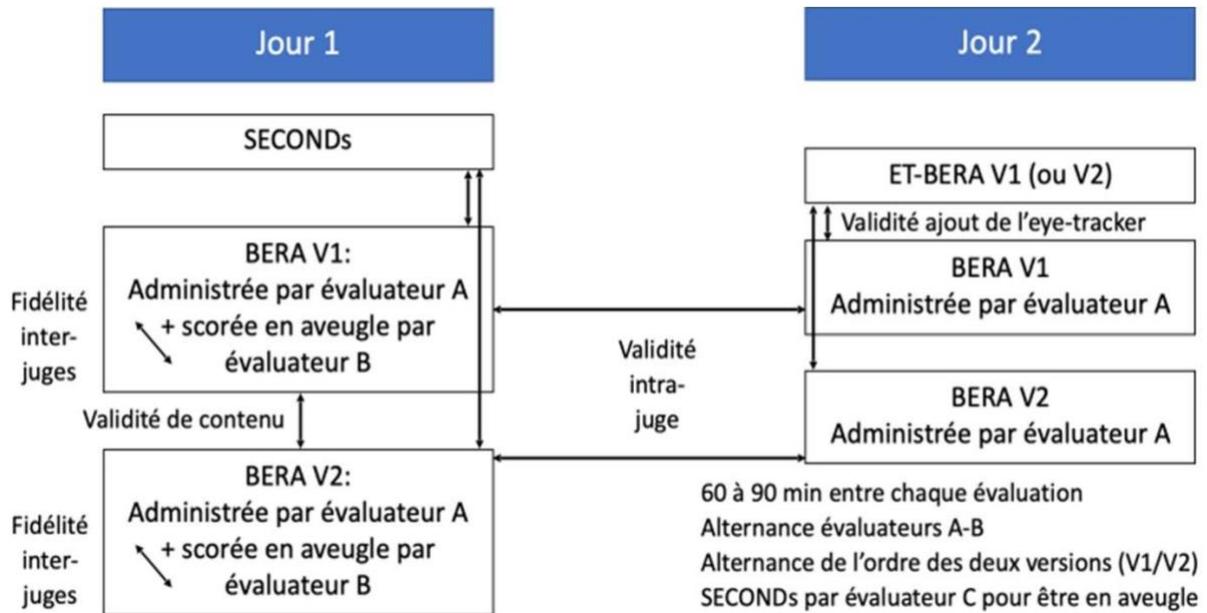
Annexe A3. Métabolisme cérébral dans les différents groupes diagnostiques (Laureys et al., 2004)



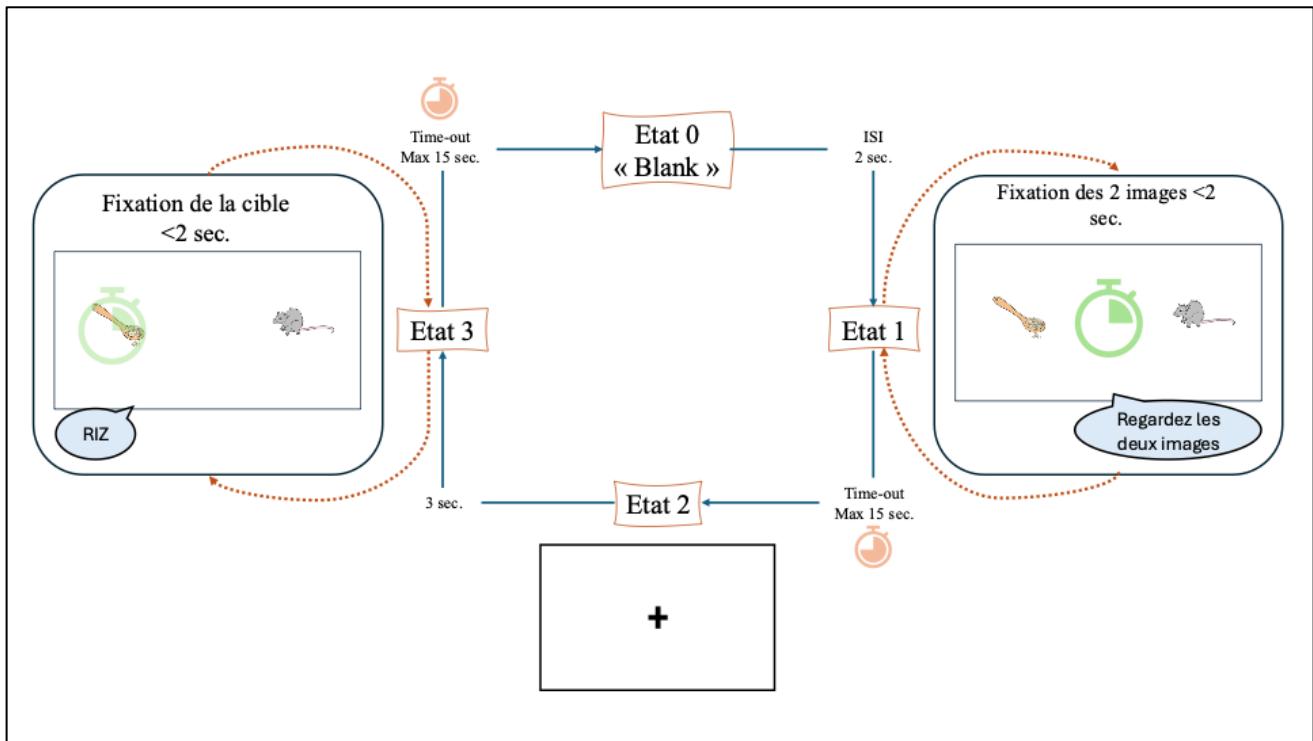
Annexe A4. Déroulement de la récupération de la conscience et du langage (Aubinet et al., 2022)



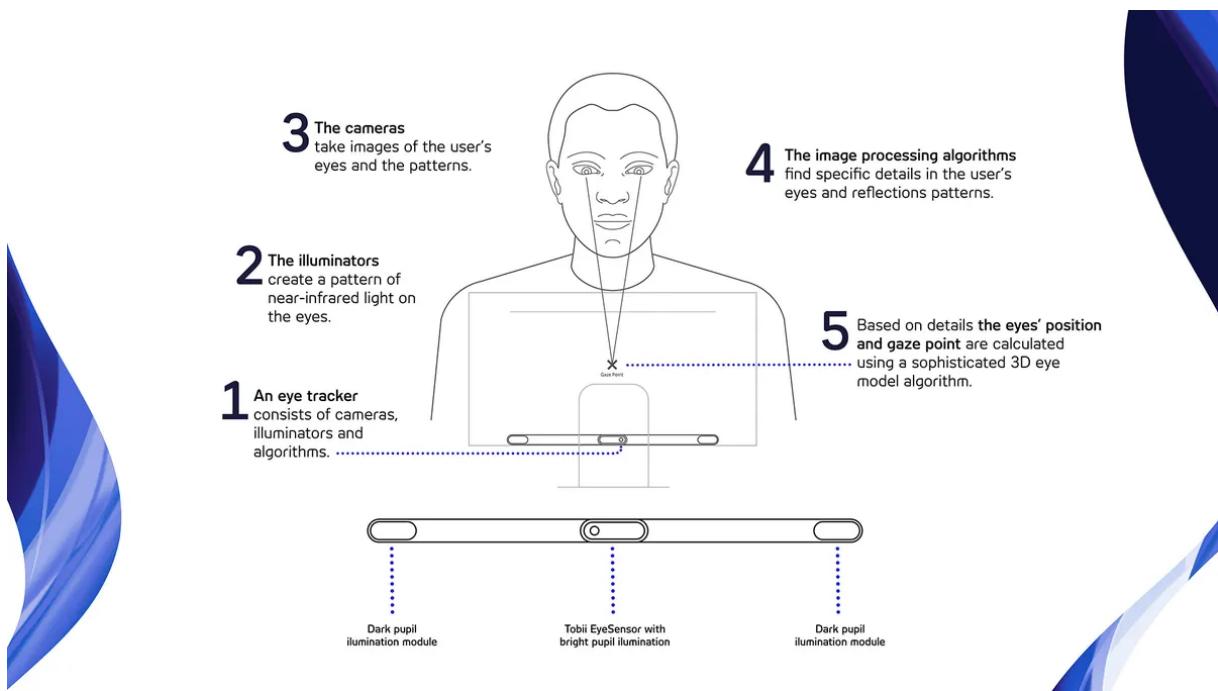
Annexe A5. Répartition des items de la BERA (Aubinet, Chatelle, et al., 2021)



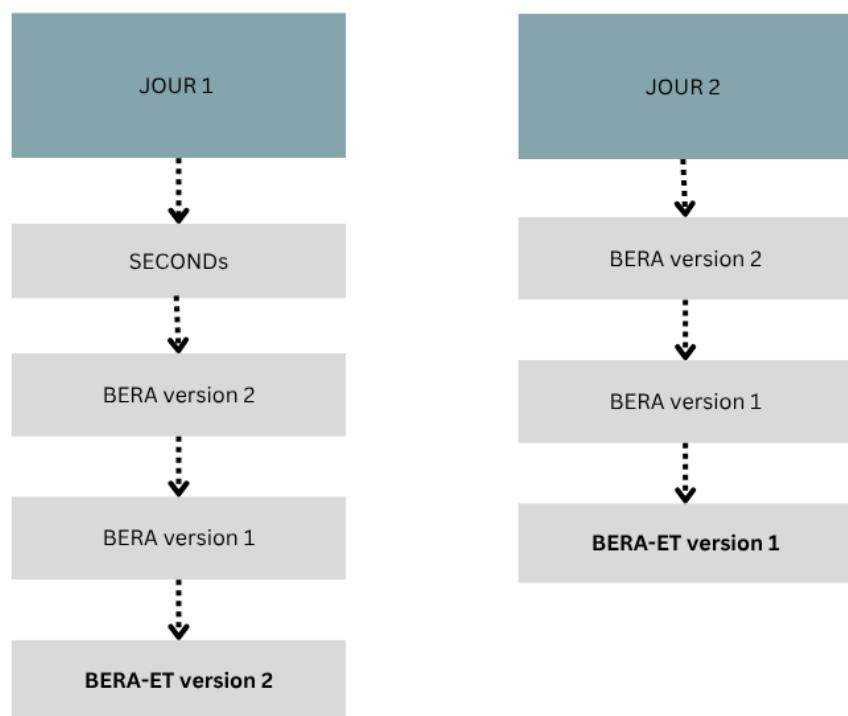
Annexe A6. Exemple du déroulement d'une séance d'évaluation avec la BERA (Aubinet, 2023)



Annexe A7. Architecture logicielle de la BERA-ET



Annexe A8. Dispositif eye-tracker Tobii (Tobii AB, n.d.).



Annexe A9. Exemple du déroulement d'une séance d'évaluation avec la BERA-ET auprès d'un patient LIS

Annexe B – Tableaux

Annexe B1. Données démographiques des patients en ECA inclus dans l'étude	74
Annexe B2. Scores bruts des patients LIS pour la BERA comportementale.....	75
Annexe B3. Scores bruts des patients LIS pour la BERA-ET	75
Annexe B4. Résultats test <i>t</i> modifié de Crawford et Howell.	76

Annexe B1. Données démographiques des patients en ECA inclus dans l'étude.

Patient	Age	Genre	Étiologie	Temps depuis l'apparition du trouble (jour)	Lieu
1	60	F	Traumatisme crânien	185	Valdor
2	33	F	Contusions hémorragiques fronto-temporale basales bilatérales	660	Valdor
3	71	F	Hémorragie sous-arachnoïdienne	49	CHU
4	61	M	Hémorragie cérébrale	140	Lennox
5	63	F	Hémorragie sous-arachnoïdienne	182	Fraiture
6	66	F	Rupture d'anévrisme (hémorragie)	152	Fraiture
7	39	M	Traumatisme crânien	108	Fraiture
8	49	M	Arrêt cardiaque post-épilepsie	38	CHU
9	32	F	Traumatisme crânien	126	Lennox
10	32	M	Traumatisme crânien	276	Lennox
11	49	F	Traumatisme crânien	65	Valdor
12	54	M	Arrêt cardiaque	98	Valdor
13	35	M	Traumatisme crânien	140	Fraiture
14	29	M	Encéphalopathie post-anoxique	156	Lennox
15	38	M	Rupture d'anévrisme	181	Lennox
16	/	M	Rupture d'anévrisme	/	Fraiture
17	39	M	Traumatisme crânien	159	Valdor
18	/	F	Méningo-encéphalite auto-immune	342	Valdor
19	56	M	Hémorragie intra-parenchymateuse fronto-pariétale gauche spontanée	21	CHU
20	72	F	État de mal épileptique secondaire à AIC	15	CHU
21	29	M	Traumatisme crânien	1915	La Plaine
22	63	F	AVC hémorragique	2220	La Plaine
23	26	F	Traumatisme crânien	107	Lennox
24	64	F	Rupture d'anévrisme (hémorragie)	127	Lennox
25	48	F	Hémorragie cérébrale	17	CHU
26	61	M	Traumatisme crânien avec hémorragie cérébrale	152	Fraiture
27	60	M	AVC hémorragique	248	Fraiture
28	52	F	Rupture d'anévrisme (hémorragie)	204	Valdor
29	68	F	AVC	/	Lennox
30	63	M	Fracture du crâne et hémorragie cérébrale	77	Lennox
31	70	F	Traumatisme crânien	109	Fraiture
32	59	F	AVC ischémique gauche	93	Fraiture
33	63	F	Rupture d'anévrisme (hémorragie)	87	Valdor
34	57	F	Traumatisme crânien	97	Lennox
35	23	M	Traumatisme crânien	99	Lennox
36	44	F	Arrêt cardiaque	79	Valdor
37	60	M	Rupture d'anévrisme (hémorragie)	144	Fraiture
38	34	F	Encéphalopathie auto-immune	151	Valdor
39	66	M	Traumatisme crânien	78	Valdor
40	76	M	Ependynome	118	Valdor
41	55	M	AVC	179	Lennox
42	28	M	Traumatisme crânien	262	Lennox
43	65	F	Traumatisme crânien	94	Valdor
44	71	F	Encéphalite herpétique	116	Valdor
45	66	M	Anévrisme de l'artère communicante antérieure	120	Valdor
46	23	M	Traumatisme crânien sévère, HSD fronto-pariétal bilatéral	150	Fraiture

Note. La durée d'hospitalisation correspond au nombre de jours entre la date de l'atteinte et la période d'évaluation.
 AVC = accident vasculaire cérébral, AIC = accident ischémique cérébral, HSD = hématome sous-dural.

Annexe B2. Scores bruts des patients LIS pour la BERA comportementale

		Jour	N° de version	BERA comportementale											
				Total (/30)	Gauche (/15)	Droite (/15)	P simple (/5)	P complexe (/5)	S simple (/5)	S complexe (/5)	MS simple (/5)	MS complexe (/5)	Revs simples (/15)	Revs complexes (/15)	Durée (min)
Patient 1	1	1	17	12	5	2	3	3	2	5	2	10	7	25	
		2	22	13	9	2	3	5	4	4	4	11	11	21	
	2	1	3	2	1	1	2	0	0	/	/	1	2	13	
		2	4	2	2	1	0	1	2	/	/	2	2	13	
Patient 2	1	1	30	15	15	5	5	5	5	5	5	15	15	11	
		2	30	15	15	5	5	5	5	5	5	15	15	13	
	2	1	30	15	15	5	5	5	5	5	5	15	15	9	
		2	30	15	15	5	5	5	5	5	5	15	15	10	

Annexe B3. Scores bruts des patients LIS pour la BERA-ET

		Cotation	N° de version	BERA-ET											
				Total (/30)	Gauche (/15)	Droite (/15)	P simple (/5)	P complexe (/5)	S simple (/5)	S complexe (/5)	MS simple (/5)	MS complexe (/5)	Revs simples (/15)	Revs complexes (/15)	Durée (min)
Patient 1	1	ET	2	2	0	2	0	1	0	1	/	/	0	2	
		Expérим	2	2	0	2	0	1	0	1	/	/	0	2	
	2	ET	1	7	7	0	2	1	2	2	/	/	4	3	
		Expérим	1	15	10	5	3	4	4	4	/	/	7	8	
Patient 2	1	ET	2	16	7	9	3	2	2	4	2	3	7	9	
		Expérим	2	22	13	9	3	3	4	4	3	5	10	12	
	2	ET	1	22	14	8	5	4	4	4	2	3	11	11	
		Expérим	1	30	15	15	5	5	5	5	5	5	15	15	

Note. ET = score enregistré par le dispositif eye-tracker, Expérим = score par l'expérimentateur.

Annexe B4. Résultats test *t* modifié de Crawford et Howell.

PATIENT 1	Score	Moyenne ctrl	Écart-type	N contrôle	<i>t</i> modifié	ddl (df)	p-value bilatérale
<i>Score eye-tracker</i> <i>version1</i>	7	25,96	0	25	-18,96	24	< .0001
<i>Score eye-tracker</i> <i>version2</i>	2	25,68	0,71	25	-32,70	24	< .0001
<i>Score comportemental</i> <i>version 1</i>	15	29,88	0,71	25	-20,55	24	< .0001
<i>Score comportemental</i> <i>version 2</i>	2	29,88	0,71	25	-38,50	24	< .0001
PATIENT 2	Score	Moyenne ctrl	Écart-type	N contrôle	<i>t</i> modifié	ddl (df)	p-value bilatérale
<i>Score eye-tracker</i> <i>version1</i>	22	25,96	0	25	-3,96	24	0.0006
<i>Score eye-tracker</i> <i>version 2</i>	16	25,68	0,71	25	-13,37	24	< .0001
<i>Score comportemental</i> <i>version 1</i>	30	29,88	0,71	25	0,17	24	0.87
<i>Score comportemental</i> <i>version 2</i>	22	29,88	0,71	25	-10,88	24	< .0001

Note. Moyenne ctrl = score moyen du groupe contrôles (sujets sains).

Annexe C – Protocoles

Annexe C1. Protocole de la BERA-ET du patient 1	78
Annexe C2. Protocole de la BERA-ET du patient 2	80

Annexe C1. Protocole de la BERA-ET du patient 1

Version 1

Nom : Patient 1

Date :

BERA - Compréhension de mots (version 1)

Consignes d'administration : Placer les 2 images face au patient, à environ 40 cm de son visage et espacées d'environ 30 cm. Suivre le protocole afin de varier la position (gauche ou droite) de la cible et du distracteur. Demander d'abord au patient de regarder les 2 images et veiller à ce que son regard les balaie toutes 2. Recentrer ensuite son regard sur le visage de l'examineur, entre les images. Demander au patient de fixer visuellement la cible prononcée à voix haute (ex : « regardez/fixez la trompette » ; pour la phonologie ne pas prononcer de déterminant). Répéter cette procédure pour chaque item. Critère d'arrêt : Aucune fixation (correcte ou erronée) pour les 5 premiers items.

Items cibles			Fréquence (sémantique)	Fixation	Commentaire
Items simples	Items complexes				
P1	Riz	Rat		C E - H - A	
P2	Paon	Champ		C E - H - A	/
S1	La trompette	Le pantalon	F+	C E - H - A	
P3	Mie	Fée		C E - H - A	/
S2	L'oreille	L'œil	F+	C E - H - A	
S3	La ceinture	L'assiette	F+	C E - H - A	/
S4	La gaufre	Le renne	F-	C E - H - A	/
P4	Pont	Pas		C E - H - A	/
S5	La biche	La chèvre	F+	C E - H - A	/
S6	La chaise	Les bottes	F+	C E - H - A	/
S7	La cabane	L'igloo	F-	C E - H - A	/
P5	Nain	Main		C - E - H - A	/
P6	Chou	Sous		C E - H - A	/
P7	Quille	Fût		C - E - H - A	/
S8	La scie	Les ciseaux	F-	C E - H - A	
P8	Veau	Bond		C - E - H - A	/
P9	Mat	Rond		C E - H - A	
S9	L'ananas	Le râteau	F-	C E - H - A	
S10	Le cactus	La tulipe	F-	C - E - H - A	/
P10	Vent	Chat		C E - H - A	
Phonologie	7 / 10	Simple	3 / 5	Complexé	4 / 5
Sémantique	8 / 10	Simple	4 / 5	Complexé	4 / 5
Total score					15 / 20
Gauche	40 / 10	Droite			5 / 10

Légende

P = Domaine phonologique

S = Domaine sémantique

F = Fréquence du mot dans la langue française (F- : item peu fréquent / F+ : item fréquent)

C = Correcte

E = Erronée (distracteur)

H = Hésitante (passage d'une image à l'autre)

A = Aléatoire (regard porté ailleurs)

Cotation par l'expérimentateur de l'évaluation avec eye-tracker

Réponses enregistrées par le logiciel informatisé

Version 2

Nom : Patient 1

Date :

BERA - Compréhension de mots (version 2)

Consignes d'administration : Placer les 2 images face au patient, à environ 40 cm de son visage et espacées d'environ 30 cm. Suivre le protocole afin de varier la position (gauche ou droite) de la cible et du distracteur. Demander d'abord au patient de regarder les 2 images et veiller à ce que son regard les balaye toutes 2. Recentrer ensuite son regard sur le visage de l'examineur, entre les images. Demander au patient de fixer visuellement la cible prononcée à voix haute (ex : « regardez/fixez la trompette » ; pour la phonologie ne pas prononcer de déterminant). Répéter cette procédure pour chaque item. Critère d'arrêt : Aucune fixation (correcte ou erronée) pour les 5 premiers items.

Item cible		Fréquence (sémantique)	Fixation	Commentaire			
Items simples							
Items complexes							
S1	Le marron	L'igloo	F-	C - E - H - A /			
P1	Main	Paon		<input checked="" type="radio"/> E - H - A			
P2	Quille	Mie		<input checked="" type="radio"/> E - H - A ?			
P3	Chou	Nain		C - E - H - A /			
S2	L'ours	Le renne	F-	<input checked="" type="radio"/> E - H - A			
P4	Rat	Champ		C - E - H - A /			
S3	L'ananas	Les cerises	F-	C - E - H - A /			
S4	Le talon	La chèvre	F+	C - E - H - A /			
S5	L'écharpe	La ceinture	F+	C - E - H - A /			
P5	Mat	Chat		C - E - H - A /			
S6	La tulipe	La loupe	F-	C - E - H - A critère d'arrêt atteint, fatigue			
S7	La guitare	La trompette	F+	C - E - H - A			
P6	Pas	Sous		C - E - H - A			
P7	Pont	Riz		C - E - H - A			
P8	Fée	Fût		C - E - H - A			
S8	La scie	Le crabe	F-	C - E - H - A			
P9	Veau	Vent		C - E - H - A			
S9	Les bottes	Les chaussons	F+	C - E - H - A			
P10	Bond	Rond		C - E - H - A			
S10	L'oreille	La voiture	F+	C - E - H - A			
Phonologie	1 / 10	Simple	1 / 5	Complexé <input checked="" type="radio"/> / 5			
Sémantique	1 / 10	Simple	0 / 5	Complexé <input checked="" type="radio"/> / 5			
Total score				2 / 20			
Gauche	1 / 10	Droite		1 / 10			

Légende

P = Domaine phonologique

C = Correcte

S = Domaine sémantique

E = Erronée (distracteur)

F = Fréquence du mot dans la langue française
(F- : item peu fréquent/F+ : item fréquent)

H = Hésitante (passage d'une image à l'autre)

A = Aléatoire (regard porté ailleurs)

Cotation par l'expérimentateur de l'évaluation avec eye-tracker

Réponses enregistrées par le logiciel informatisé

Annexe C2. Protocole de la BERA-ET du patient 2

Version 1

Nom : Patient 2

Date :

BERA - Compréhension de mots (version 1)

Consignes d'administration : Placer les 2 images face au patient, à environ 40 cm de son visage et espacées d'environ 30 cm. Suivre le protocole afin de varier la position (gauche ou droite) de la cible et du distracteur. Demander d'abord au patient de regarder les 2 images et veiller à ce que son regard les balaie toutes 2. Recentrer ensuite son regard sur le visage de l'examineur, entre les images. Demander au patient de fixer visuellement la cible prononcée à voix haute (ex : « regardez/fixez la trompette » ; pour la phonologie ne pas prononcer de déterminant). Répéter cette procédure pour chaque item. Critère d'arrêt : Aucune fixation (correcte ou erronée) pour les 5 premiers items.

Items cibles			Fréquence (sémantique)	Fixation	Commentaire
Items simples	Items complexes				
P1	Riz	Rat		C E - H - A	
P2	Paon	Champ		C E - H - A	/
S1	La trompette	Le pantalon	F+	C E - H - A	
P3	Mie	Fée		C E - H - A	
S2	L'oreille	L'œil	F+	C E - H - A	
S3	La ceinture	L'assiette	F+	C E - H - A	
S4	La gaufre	Le renne	F-	C E - H - A	
P4	Pont	Pas		C E - H - A	
S5	La biche	La chèvre	F+	C E - H - A	
S6	La chaise	Les bottes	F+	C E - H - A	/
S7	La cabane	L'igloo	F-	C E - H - A	
P5	Nain	Main		C E - H - A	
P6	Chou	Sous		C E - H - A	
P7	Quille	Fût		C E - H - A	
S8	La scie	Les ciseaux	F-	C E - H - A	
P8	Veau	Bond		C E - H - A	
P9	Mat	Rond		C E - H - A	
S9	L'ananas	Le râteau	F-	C E - H - A	/
S10	Le cactus	La tulipe	F-	C E - H - A	
P10	Vent	Chat		C E - H - A	
Phonologie	10 / 10	Simple	5 / 5	Complexé	5 / 5
Sémantique	10 / 10	Simple	5 / 5	Complexé	5 / 5
Total score					20 / 20
Gauche		40 / 10	Droite		40 / 10

Légende

P = Domaine phonologique
S = Domaine sémantique
F = Fréquence du mot dans la langue française (F- : item peu fréquent / F+ : item fréquent)

C = Correcte
E = Erronée (distracteur)
H = Hésitante (passage d'une image à l'autre)
A = Aléatoire (regard porté ailleurs)

Cotation par l'expérimentateur de l'évaluation avec eye-tracker
Réponses enregistrées par le logiciel informatisé

Nom : Patient 2

Date :

BERA - Compréhension de phrases
(version 1)

Consignes d'administration : Si le patient réussit la moitié des items de la Compréhension de mots, proposer la Compréhension de phrases. La procédure est identique à celle de la compréhension de mots.

Critère d'arrêt : Aucune fixation (correcte ou erronée) pour les 5 premiers items.

Items cibles
Items simples
Items complexes

			Fixation	Commentaire
M1	Il apporte sa valise.	Il caresse son chat.	(C) E - H - A	/
M2	Le garçon est suivi par le chien.	Le garçon suit le chien.	(C) E - H - A	
M3	Nicolas est triste.	Nicolas est joyeux.	(C) E - H - A	/
M4	Elle dort.	Elles dorment.	(C) E - H - A	
M5	Tous les chats sont gris.	Certains chats sont gris.	(C) E - H - A	/
M6	Elles regardent la télévision.	Elles regardent des photos.	(C) E - H - A	
M7	Elle rit.	Elle pense.	(C) E - H - A	/
M8	La fille mange une pomme.	La fille pèle une poire.	(C) E - H - A	
M9	Le chien est derrière la maison.	Le chien est devant la maison.	(C) E - H - A	
M10	Le chat mord le chien.	Le chien mord le chat.	(C) E - H - A	/
Morphosyntaxe	10/10	Simple	5/5	Complexé
Gauche		15/15	Droite	15/15
Total score (version 1)				30/30

Légende

M = Domaine morphosyntaxique
 C = Correcte
 E = Erronée (distracteur)
 H = Hésitante (passage d'une image à l'autre)
 A = Aléatoire (regard porté ailleurs)

Cotation par l'expérimentateur de l'évaluation avec eye-tracker
 Réponses enregistrées par le logiciel informatisé

Nom :

Date :

Patient 2

BERA - Compréhension de mots (version 2)

Consignes d'administration : Placer les 2 images face au patient, à environ 40 cm de son visage et espacées d'environ 30 cm. Suivre le protocole afin de varier la position (gauche ou droite) de la cible et du distracteur. Demander d'abord au patient de regarder les 2 images et veiller à ce que son regard les balaie toutes 2. Recentrer ensuite son regard sur le visage de l'examinateur, entre les images. Demander au patient de fixer visuellement la cible prononcée à voix haute (ex : « regardez/fixez la trompette » ; pour la phonologie ne pas prononcer de déterminant). Répéter cette procédure pour chaque item. Critère d'arrêt : Aucune fixation (correcte ou erronée) pour les 5 premiers items.

Item cible			Fréquence (sémantique)	Fixation	Commentaire
Items simples	Items complexes				
S1	Le marron	L'igloo	F-	C E - H - A	
P1	Main	Paon		C - E - H A	/
P2	Quille	Mie		C E - H - A	
P3	Chou	Nain		C - E - H A	/
S2	L'ours	Le renne	F-	C E - H - A	
P4	Rat	Champ		C E - H - A	
S3	L'ananas	Les cerises	F-	C - E - H A	/
S4	Le talon	La chèvre	F+	C E - H - A	/
S5	L'écharpe	La ceinture	F+	C E - H - A	
P5	Mat	Chat		C E - H - A	/
S6	La tulipe	La loupe	F-	C - E - H A	/
S7	La guitare	La trompette	F+	C E - H - A	
P6	Pas	Sous		C E - H - A	
P7	Pont	Riz		C E - H - A	
P8	Fée	Fût		C E - H - A	
S8	La scie	Le crabe	F-	C E - H - A	
P9	Veau	Vent		C E - H - A	/
S9	Les bottes	Les chaussons	F+	C E - H - A	
P10	Bond	Rond		C - E - H A	/
S10	L'oreille	La voiture	F+	C E - H - A	/
Phonologie	1 / 10	Simple	1 / 5	Complexe	0 / 5
Sémantique	1 / 10	Simple	0 / 5	Complexe	4 / 5
Total score					2 / 20
Gauche		1 / 10	Droite		1 / 10

Légende

P = Domaine phonologique
 S = Domaine sémantique
 F = Fréquence du mot dans la langue française
 (F- : item peu fréquent/F+ : item fréquent)

C = Correcte
 E = Erronée (distracteur)
 H = Hésitante (passage d'une image à l'autre)
 A = Aléatoire (regard porté ailleurs)

Cotation par l'expérimentateur de l'évaluation avec eye-tracker
 Réponses enregistrées par le logiciel informatisé

Nom : Patient 2

Date :

BERA - Compréhension de phrases
(version 2)

Consignes d'administration : Si le patient réussit la moitié des items de la Compréhension de mots, proposer la Compréhension de phrases. La procédure est identique à celle de la compréhension de mots.

Critère d'arrêt : Aucune fixation (correcte ou erronée) pour les 5 premiers items.

Items cibles			Fixation	Commentaire
Items simples				
Items complexes				
M1	L'homme est soigné par la femme.	L'homme soigne la femme.	(C) E - H - A	/
M2	Emilie pleure.	Emilie court.	(C) E - H - A	
M3	Le chat est sur la chaise.	Le chat est sous la chaise.	(C) E - H - A	
M4	Elle lit.	Elles lisent.	(C) E - H - A	/
M5	Le chien tire l'enfant.	L'enfant tire le chien.	(C) E - H - A	
M6	Le garçon porte un manteau.	Le garçon met ses chaussures.	(C) E - H - A	/
M7	Elles écrivent une lettre.	Elles écrivent au tableau.	C - E - H (A)	/
M8	Le bébé a reçu peu de peluches.	Le bébé a reçu beaucoup de peluches.	(C) E - H - A	
M9	Il est fâché.	Il est content.	(C) E - H - A	
M10	Elle attend le bus.	Elle nourrit son chat.	C (E) H - A	/
Morphosyntaxe	8 /10	Simple	3 /5	Complexé
Gauche		43 /15	Droite	9 /15
Total score (version 2)				22 /30

Légende

M = Domaine morphosyntaxique
 C = Correcte
 E = Erronée (distracteur)
 H = Hésitante (passage d'une image à l'autre)
 A = Aléatoire (regard porté ailleurs)

Cotation par l'expérimentateur de l'évaluation avec eye-tracker
 Réponses enregistrées par le logiciel informatisé

Résumé

L'évaluation de l'état de conscience auprès de patients émergeants du coma est une étape importante qui permet d'établir un pronostic, un diagnostic et une prise en charge adaptée à leur besoins. Cependant, les outils comportementaux actuels, qui reposent sur des capacités préservées de compréhension du langage et de motricité, engendrent un taux significatif d'erreurs diagnostiques (Schnakers et al., 2009), impactant négativement la prise en charge. Dans ce contexte, Charlène Aubinet a développé la Brief Evaluation of Receptive Aphasia (BERA), un outil conçu pour évaluer les capacités langagières résiduelles chez les patients en état de conscience minimale (ECM). La BERA comprend 30 paires d'images réparties en trois niveaux linguistiques (phonologique, sémantique et syntaxique), chacun subdivisé en deux niveaux de complexité. Le patient doit identifier la cible correcte parmi un distracteur, cette évaluation reposant sur la fixation visuelle, compétence généralement conservée chez ces patients.

La BERA a fait l'objet de notre étude auprès de 46 patients en état de conscience altérée (ECA). Nos résultats montrent que la BERA présente une bonne validité concourante avec la SECONDS ainsi qu'une bonne fiabilité sur le plan test-retest, intra-juge et inter-juge. Cet outil s'avère donc adapté pour l'évaluation des capacités langagières chez cette population. Cependant, comme beaucoup d'évaluations comportementales, la BERA reste sensible à la subjectivité de l'évaluateur qui juge si le patient a effectivement fixé la réponse cible. Pour pallier cette limite, une version informatisée de la BERA intégrant un dispositif eye-tracking (BERA-ET) a été développée afin d'obtenir une mesure plus objective.

Dans un premier temps, la BERA-ET a été testée chez des sujets contrôles sains, puis administrée à deux patients présentant un Locked-in Syndrome (LIS), afin d'évaluer son applicabilité clinique chez des patients sans troubles de la conscience. Bien que les premiers résultats soient encourageants, la BERA-ET ne permet pas encore d'obtenir des résultats comparables à ceux de la BERA comportementale. Lors des tests, plusieurs limites liées au matériel, au traitement des données, ainsi qu'aux conditions cliniques chez les patients LIS ont été relevées, affectant la fiabilité de la BERA-ET.

Cette étude valide la BERA comme un outil fiable pour évaluer les capacités langagières des patients en état de conscience altérée. Cependant, la version informatisée BERA-ET nécessite encore des améliorations matérielles et méthodologiques. Des tests sur un plus grand nombre de patients seront indispensables pour confirmer sa validité clinique.