

Faculté des sciences de la motricité

La place de la kinésithérapie dans la greffe de cellules souches hématopoïétiques en pédiatrie.

Auteures : Joséphine Jacobs et Ysaline Vanvyve
Promoteurs : Lucas Holander et Sean Thierens
Année académique 2025-2026
Master en kinésithérapie et réadaptation (60.0) – KINE2M

Déclaration d'utilisation des aides et outils d'Intelligence Artificielle

UCLouvain FSM : Déclaration d'utilisation des aides et outils Intelligence Artificielle (IA)

J'ai utilisé l'IA pour ce projet :

☒ Oui

☐ Non

Si vous avez utilisé l'IA dans ce travail, veuillez préciser comment ci-dessous :

Texte (par exemple, vérification orthographique, génération de texte, production d'idées, ...)

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

Vérification de l'orthographe.
Reformulation stylistique des passages rédigés par nos soins.

Images

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

Code, aide à la programmation, ou algorithmes

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

Aide à la programmation de Word

Autres utilisations

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

Utilisation du site « DeepL Traducteur » pour vérifier la traduction de certains textes.
Utilisation de la plateforme Zotero pour la gestion des références bibliographiques et la génération automatique de la bibliographie.

Je connais les règles de de la Faculté des sciences de la motricité de l'UCLouvain en matière d'intelligence artificielle. Je déclare que toute utilisation d'aides ou d'outils d'intelligence artificielle est explicitement mentionnée dans le présent formulaire de déclaration

Nom

Jacobs / Vanvyve

Prénom

Joséphine / Ysaline

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à adresser nos remerciements à toutes les personnes qui nous ont accompagnées dans la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions tout d'abord nos promoteurs, Monsieur Lucas Holander et Monsieur Sean Thierens, pour leur encadrement, leurs conseils et leur disponibilité tout au long de ce projet. Leurs retours et leurs encouragements ont été précieux à chaque étape de notre réflexion.

Nous remercions également la Faculté des sciences de la motricité de l'UCLouvain pour la formation reçue durant ces années d'études.

Un merci particulier à Madame Laurence Hegyi pour sa relecture et ses conseils.

Enfin, nous remercions nos familles et nos amis, qui nous ont soutenues, conseillées et encouragées durant ce travail comme tout au long de notre parcours !

Table des matières

1	Introduction	1
2	Contexte théorique	2
2.1	Définition des cellules souches hématopoïétiques	2
2.2	Définition de la greffe de cellules souches hématopoïétiques	3
2.3	Différence entre autogreffe, allogreffe et greffe syngénique et choix de l'une d'entre elles	3
2.3.1	La greffe autologue ou autogreffe	3
2.3.2	La greffe allogénique ou allogreffe	4
a)	La maladie du greffon contre l'hôte (GVHD)	4
b)	La réaction greffe-contre-leucémie (GVL) et l'infusion de lymphocytes du donneur (DLI)	6
2.3.3	La greffe syngénique	6
2.3.4	Choix du type de greffe selon la pathologie	6
2.4	Étapes d'une allogreffe de cellules souches hématopoïétiques	8
2.4.1	Recherche d'un donneur	8
2.4.2	Processus de prélèvement de cellules souches du donneur	9
a)	Phase de mobilisation des cellules	9
b)	Phase de collecte des cellules souches	9
2.4.3	Régime de conditionnement	10
2.4.4	Infusion et période post-greffe	11
2.4.5	Prise de greffe	11
a)	Restauration de la production sanguine	11
b)	Suivi de la prise de greffe et chimérisme hématopoïétique	12
2.5	Étapes d'une autogreffe de cellules souches hématopoïétiques	13
2.6	Complications médicales de la greffe	14
2.6.1	Complications à court terme (<100 jours)	15
2.6.2	Complications à long terme	16
2.7	Répercussions physiques, fonctionnelles et psychologiques	17
3	Méthode	20
4	Résultats	22
4.1	Phase d'hospitalisation : de l'admission à la sortie	22
4.1.1	Condition physique	22

4.1.2	Indépendance fonctionnelle	25
4.1.3	Qualité de vie	25
4.2	Phase post-hospitalière : de la sortie au suivi à moyen terme (J+100-J+200)	27
4.2.1	Condition physique	27
4.2.2	Indépendance fonctionnelle	31
4.2.3	Qualité de vie	31
4.3	Suivi à long terme : plusieurs années après la greffe	35
4.3.1	Condition physique	35
4.3.2	Qualité de vie	38
5	Discussion	39
6	Conclusion	48
7	Bibliographie	50
8	Annexes	64

1 Introduction

La greffe de cellules souches hématopoïétiques (HSCT, *Hematopoietic Stem Cell Transplantation*) constitue actuellement un traitement majeur dans la prise en charge de nombreuses pathologies pédiatriques, malignes comme non malignes. En reconstituant la fonction hématopoïétique, elle permet d'améliorer significativement la survie des enfants et adolescents concernés. À titre d'illustration, aux Cliniques universitaires Saint-Luc, 99 patients (≤ 18 ans) ont bénéficié d'une HSCT entre 2016 et 2025, parmi lesquelles 67 allogreffes (67,7 %) et 32 autogreffes (32,3 %). Si 19 d'entre eux (19,2 %) sont décédés, la majorité a survécu à la procédure (Service d'hématologie pédiatrique, Cliniques universitaires Saint-Luc, communication personnelle, 8 mai 2026).

Ces survivants sont toutefois confrontés à de nombreuses complications tardives. Parmi celles-ci, le déconditionnement physique apparaît comme la plus pertinente dans le cadre d'un mémoire en kinésithérapie. Il se caractérise par une diminution de la capacité cardio-respiratoire, une perte de force et de masse musculaire, des limitations fonctionnelles et respiratoires ainsi qu'une altération de la qualité de vie.

Chez les enfants, ces conséquences sont aggravées par leur survenue au cours d'une période clé de la croissance et par les contraintes inhérentes au contexte hospitalier. S'installe alors un cercle vicieux associant fatigue, fonte musculaire et inactivité physique, dans lequel la kinésithérapie joue un rôle de premier plan, tant en prévention qu'en récupération fonctionnelle.

Dans ce contexte, l'activité physique structurée se présente comme une intervention non médicamenteuse prometteuse. Si ces bénéfices sont aujourd'hui bien établis chez l'adulte, les données pédiatriques demeurent limitées.

L'objectif de ce travail est d'analyser, à travers une revue de la littérature, les effets de la kinésithérapie et de l'activité physique structurée sur la condition physique et la qualité de vie chez les enfants et adolescents bénéficiant d'une greffe de cellules souches hématopoïétiques.

2 Contexte théorique

2.1 Définition des cellules souches hématopoïétiques

L'hématopoïèse est le processus de production des cellules sanguines qui s'effectue principalement dans la moelle osseuse (Ribatti & d'Amati, 2023).

Cette production est assurée par les cellules souches hématopoïétiques (CSH) qui possèdent deux caractéristiques fondamentales : la capacité d'auto-renouvellement à long terme et la capacité de différenciation de l'ensemble des cellules sanguines matures tout au long de la vie. (Ribatti & d'Amati, 2023)

Les cellules sanguines dérivées de ce processus sont réparties en deux grandes lignées : la lignée lymphoïde et la lignée myéloïde. La lignée lymphoïde regroupe les lymphocytes T, les lymphocytes B et les cellules NK (*Natural Killer*) et participe aux réponses immunitaires innées et adaptatives. La lignée myéloïde, quant à elle, donne naissance aux mégacaryocytes, à l'origine des plaquettes impliquées dans le processus de coagulation, aux érythrocytes (globules rouges) responsables du transport de l'oxygène, aux mastocytes ainsi qu'aux granulocytes (basophiles, neutrophiles, éosinophiles, monocytes) qui participent aux mécanismes de défense innée (Ribatti & d'Amati, 2023).

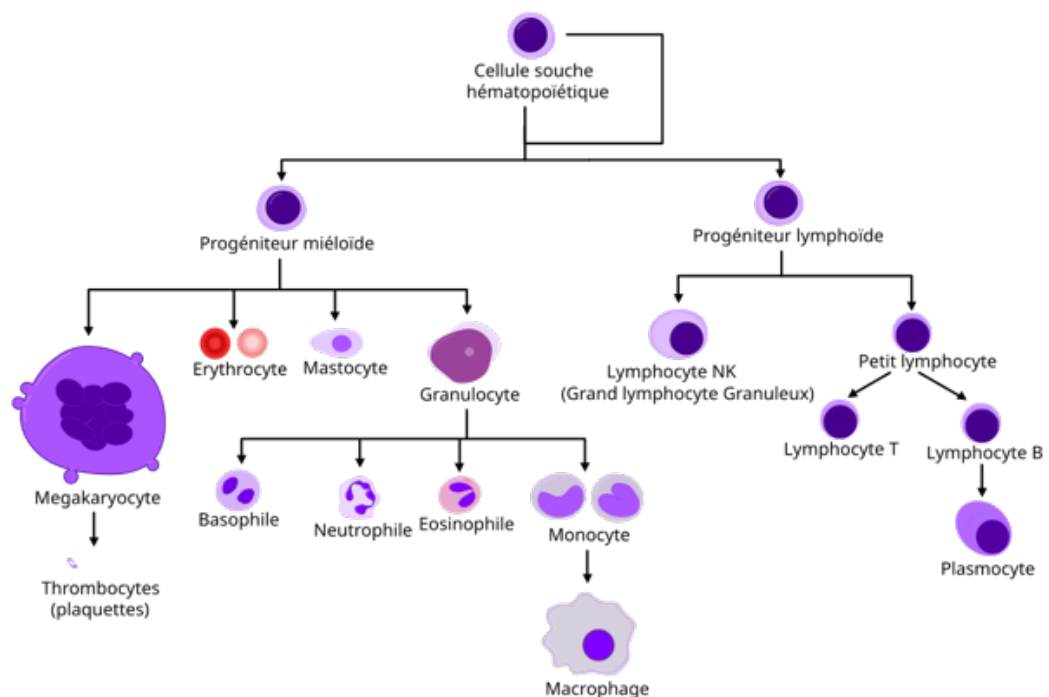


Figure 1 : Schéma de l'hématopoïèse tiré de A. Rad & M. Häggström (2009)

2.2 Définition de la greffe de cellules souches hématopoïétiques

La greffe de cellules souches hématopoïétiques (HSCT, *Hematopoietic Stem Cell Transplantation*) est une procédure thérapeutique visant à reconstituer une hématopoïèse fonctionnelle chez des patients dont la moelle osseuse est altérée ou défaillante. Elle constitue une modalité thérapeutique majeure dans la prise en charge d'un grand nombre d'enfants atteints de pathologies malignes et non malignes. Concrètement, l'HSCT repose sur l'administration de cellules souches hématopoïétiques saines destinées à remplacer les cellules souches endommagées du patient et à restaurer progressivement la production des différentes lignées sanguines (Khaddour et al., 2023; Lago et al., 2021).

Sur le plan phénotypique, les cellules souches hématopoïétiques sont notamment reconnues par l'expression du marqueur de surface CD34+. Au cours d'une greffe de moelle, la quantification des cellules CD34+ représente un paramètre essentiel, permettant de s'assurer que le greffon possède suffisamment de cellules hématopoïétiques avant l'infusion chez le patient (Doulatov et al., 2012; Khaddour et al., 2023).

2.3 Différence entre autogreffe, allogreffe et greffe syngénique et choix de l'une d'entre elles

Selon l'origine des cellules souches, on distingue trois types de greffes : l'autogreffe, l'allogreffe et la greffe syngénique (Khaddour et al., 2023).

2.3.1 La greffe autologue ou autogreffe

Dans le cadre d'une autogreffe, les cellules souches sont prélevées chez le patient lui-même, purifiées, puis réinjectées après le traitement de conditionnement. Elles peuvent être cryoconservées avant leur réinfusion (Khaddour et al., 2023). Cependant, en présence d'une atteinte médullaire, comme dans les leucémies aiguës ou les syndromes myélodysplasiques, le recours à l'autogreffe reste limité en raison du risque de réinfusion de cellules tumorales. Elle peut néanmoins être envisagée dans certaines situations, notamment dans les lymphomes, les myélomes multiples ou certaines tumeurs solides (Khaddour et al., 2023).

2.3.2 La greffe allogénique ou allogreffe

Une allogreffe est une greffe pour laquelle les cellules souches proviennent d'un donneur autre que le patient lui-même. Ce donneur peut être un membre de la famille (donneur apparenté) ou un donneur non apparenté, et doit dans les deux cas être HLA-compatible avec le receveur. À défaut d'une compatibilité optimale, le donneur peut également être apparenté haplo-identique, c'est-à-dire partageant environ la moitié des antigènes HLA avec le receveur. Le greffon peut également provenir d'une unité de sang de cordon ombilical (Khaddour et al., 2023).

La réussite de cette greffe repose en grande partie sur la compatibilité des antigènes leucocytaires humains (HLA) entre le donneur et le receveur. Les molécules HLA sont des protéines présentes à la surface des cellules et jouent un rôle important dans la réponse immunitaire. En effet, elles permettent au système immunitaire de reconnaître le soi du non-soi, et déclenchent une réaction lorsque ce dernier est identifié. Une compatibilité HLA élevée entre le donneur et le receveur réduit le risque de rejet de greffe ainsi que celui de complications immunologiques. La probabilité d'identifier un donneur HLA-identique au sein de la fratrie suit une transmission mendélienne : elle est de 25 % par frère ou sœur, atteignant 44 % pour deux frères/ sœurs et 58 % pour trois (Tiercy, 2016). Compte tenu de la taille moyenne des fratries dans les pays occidentaux, environ 30% seulement des patients disposent finalement d'un donneur apparenté HLA-compatible. Pour les 70% restants, la recherche est étendue aux registres internationaux afin d'identifier un donneur non apparenté compatible (Balassa et al., 2019; Khaddour et al., 2023). L'allogreffe expose à une complication immunologique majeure et propre à ce type de transplantation : la maladie du greffon contre l'hôte.

a) La maladie du greffon contre l'hôte (GVHD)

La maladie du greffon contre l'hôte (GVHD, *Graft-versus-Host Disease*) est associée à des complications sévères pouvant compromettre le pronostic en raison de nombreuses morbidités et d'une mortalité élevée (Zeiser & Blazar, 2017).

La GVHD survient lorsque les lymphocytes T immunocompétents du greffon identifient les cellules du receveur comme étrangères et déclenchent une réaction immunitaire contre elles (Zeiser & Blazar, 2017). Ce mécanisme a toutefois un

versant thérapeutique, l'effet greffe-contre-leucémie (GVL, *Graft-versus-Leukemia*), développé au point 2.3.2.b. (Zeiser & Blazar, 2017).

Les deux présentations cliniques essentielles sont la GVHD aiguë et la GVHD chronique. Avant le 100^e jour post-greffe, on parlera de GVHD aiguë et après le 100^e jour, on parlera de GVHD chronique (Ferrara et al., 2009). Parmi l'ensemble des patients ayant bénéficié d'une allogreffe, 30 à 50% sont susceptibles de développer une GVHD aiguë, tandis que 14% développent une forme sévère (Zeiser & Blazar, 2017).

La GVHD aiguë se manifeste typiquement par des éruptions cutanées maculopulpeuses, des troubles digestifs supérieurs (nausées, vomissements, anorexie) ou inférieurs (diarrhées aqueuses, sanglantes ou iléus, douleurs abdominales sévères) ainsi qu'une atteinte hépatique (hyperbilirubinémie cholestatique). De plus, elle peut entraîner un déficit immunitaire profond persistant plusieurs années (Ferrara et al., 2009; Zeiser & Blazar, 2017). Sa prévention repose principalement sur l'association d'immunosuppresseurs, tels que la cyclosporine A et le méthotrexate (Zeiser & Blazar, 2017).

La GVHD chronique constitue la cause majeure de décès tardif non lié à une rechute après HSCT. Elle survient dans 30% à 50% des receveurs d'une greffe allogénique (Granat et al., 2023) et succède fréquemment à une forme aiguë de GVHD ou apparaît indépendamment. Ses manifestations cliniques sont variées, et sont habituellement de type auto-immun. Celles-ci peuvent fortement altérer l'état de santé et la qualité de vie des patients sur le long terme (Ferrara et al., 2009).

Quelle que soit la forme considérée, les glucocorticoïdes constituent le traitement de première intention de la GVHD en raison de leur activité anti-lymphocytaire et anti-inflammatoire (Ferrara et al., 2009; Zeiser & Blazar, 2017). Leur utilisation prolongée, en particulier dans le cadre de la GVHD chronique, expose toutefois à des effets secondaires importants, notamment musculosquelettiques, qui occupent une place centrale dans la trajectoire kinésithérapeutique post-greffe (cf point 2.6.)

b) La réaction greffe-contre-leucémie (GVL) et l'infusion de lymphocytes du donneur (DLI)

Lors d'une greffe allogénique de cellules souches hématopoïétiques, l'efficacité thérapeutique ne repose pas uniquement sur le traitement de conditionnement. Une part de cette efficacité repose sur un phénomène immunologique appelé effet de greffe-contre-leucémie (GVL). Ce processus correspond à la capacité des cellules immunitaires du donneur, notamment les lymphocytes T, à reconnaître les cellules leucémiques résiduelles présentes chez le receveur après la transplantation et à déclencher une réponse immunitaire dirigée contre elles. Ce phénomène contribue ainsi au maintien de la rémission et joue un rôle primordial dans l'effet curatif de la greffe allogénique.

Lorsqu'une rechute survient malgré la greffe, ou en présence d'un risque élevé de rechute, une stratégie consiste à administrer au patient des lymphocytes provenant du donneur initial afin de renforcer la réponse immunitaire antitumorale. Cette approche, appelée infusion de lymphocytes du donneur (DLI, *Donor Lymphocyte Infusion*) permet d'obtenir une rémission durable chez 20 à 80 % des patients traités par DLI selon la maladie et la charge tumorale (Maurer & Antin, 2024).

2.3.3 La greffe syngénique

Une greffe syngénique est une greffe réalisée entre des jumeaux monozygotes. Cette pratique clinique demeure rare étant donné que très peu de patients possèdent un jumeau identique. Cependant, elle présente le double avantage de ne pas présenter un risque d'échec de greffe ni de présenter un risque de GVHD. En contrepartie, elle ne bénéficie pas non plus de l'effet GVL (Khaddour et al., 2023).

2.3.4 Choix du type de greffe selon la pathologie

Le choix entre une autogreffe et une allogreffe dépend principalement de la nature de la pathologie ainsi que de l'état de la moelle osseuse du patient avant la greffe. Si la moelle du patient est saine, l'autogreffe est privilégiée. Les cellules sont alors prélevées chez le patient avant l'administration des traitements intensifs, qui peuvent altérer la moelle, puis réinfusées après le traitement intensif afin de permettre la reconstitution de l'hématopoïèse. Lorsque la moelle est elle-même atteinte par la maladie, les cellules souches du patient ne peuvent pas être utilisées

et la greffe allogénique devient l'option de référence. Le patient reçoit dans ce cas les cellules souches d'un donneur compatible, qui vont remplacer son système hématopoïétique défaillant.

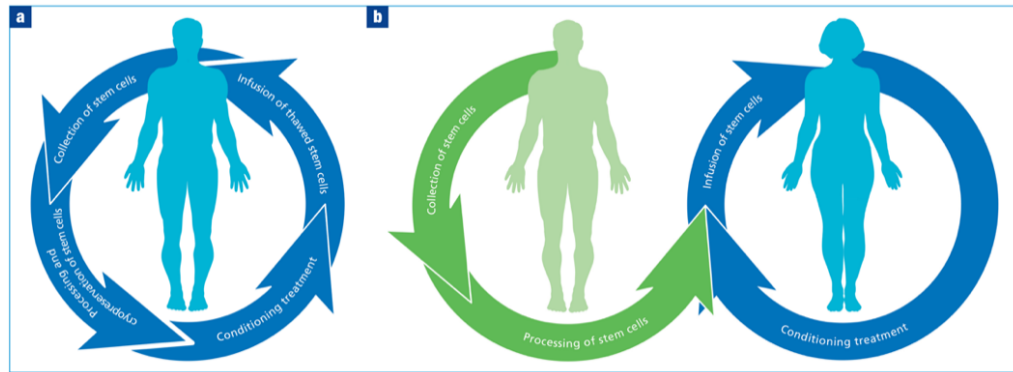


Figure 2 : le processus de la greffe de cellules souches hématopoïétique. (a) Greffe autologue : les cellules sont collectées chez le patient lui-même, traitées et cryoconservées puis réinfusées après le conditionnement. (b) Greffe allogénique : les cellules souches sont collectées chez un donneur compatible, traitées puis infusées au receveur après le conditionnement. Adaptées de Balassa et al. (2019).

Cette logique se retrouve dans les indications réelles rapportées par le registre EBMT (Passweg et al., 2025). En 2023, les greffes autologues concernaient majoritairement les hémopathies lymphoïdes, telles que les lymphomes (souvent dans un contexte de rechute) ainsi que les troubles plasmocytaires. Elles peuvent également être indiquées dans certaines tumeurs solides, notamment dans les neuroblastomes. Tandis que les greffes allogéniques s'adressaient principalement aux hémopathies myéloïdes, notamment la leucémie aiguë myéloïde, la leucémie lymphoblastique aiguë, les syndromes myélodysplasiques, les syndromes myéloprolifératifs ou la leucémie myéloïde chronique. L'évolution des principales indications de greffe entre 1990 et 2023, dans la population adulte ainsi que la population pédiatrique, est représentée dans la Figure 3.

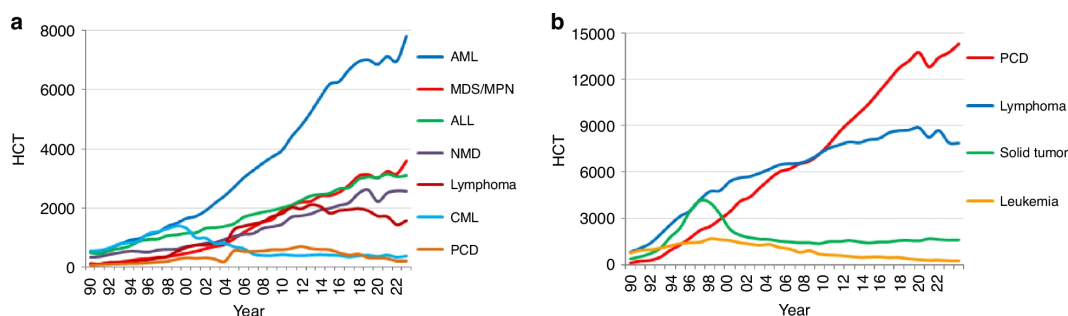


Figure 3 : Évolution des principales indications de transplantation de cellules souches hématopoïétiques (*hematopoietic stem cell transplantation*, HCT ; axe des ordonnées) entre 1990 et 2023. (a) Greffes allogéniques : principalement réalisées pour les leucémies aiguës myéloïdes (*AML*), les syndromes myélodysplasiques ou myéloprolifératifs (*MDS/MPN*), les leucémies aiguës lymphoblastiques (*ALL*), certaines maladies non malignes (*NMD*), les lymphomes Hodgkin et non hogkiniens (*Lymphoma*), les leucémies myéloïdes chroniques (*CML*) ainsi que les troubles plasmocytaires dont le myélome multiple (*PCD*). (b) Greffes autologues : principalement réalisées pour les troubles plasmocytaires (*PCD*), les lymphomes Hodgkin et non Hogkiniens (*Lymphoma*), certaines tumeurs solides (*Solid tumor*) ainsi que certaines leucémies (*Leukemia*) (Passweg et al., 2025).

2.4 Étapes d’une allogreffe de cellules souches hématopoïétiques

La réalisation d’une HSCT se déroule en plusieurs étapes successives : la recherche d’un donneur compatible, le prélèvement des cellules souches, l’administration d’un traitement de conditionnement, l’infusion des cellules souches et enfin le suivi de la prise de greffe permettant la reconstruction de l’hématopoïèse et de l’immunité du patient (Balassa et al., 2019).

2.4.1 Recherche d’un donneur

Dans le cadre d’une greffe allogénique, l’identification d’un donneur compatible repose principalement sur l’appariement HLA (cf point 2.3.2.) D’autres critères peuvent également influencer le choix du donneur, notamment l’âge du donneur, le sexe ou encore le statut sérologique vis-à-vis du cytomégalovirus. Malgré le nombre important de donneurs volontaires inscrits dans les registres internationaux, l’identification d’un donneur compatible reste plus difficile pour les patients issus de minorités ethniques, en raison d’une moindre représentation de leurs haplotypes dans ces registres (Balassa et al., 2019).

2.4.2 Processus de prélèvement de cellules souches du donneur

a) *Phase de mobilisation des cellules*

Dans des conditions physiologiques, le nombre de cellules souches hématopoïétiques présentes dans le sang périphérique est insuffisant pour permettre une greffe. Une phase préliminaire, dite de mobilisation, est donc nécessaire pour augmenter leur concentration dans la circulation sanguine du donneur. Cette mobilisation repose sur l'administration de médicaments spécifiques, principalement le G-CSF (*Granulocyte Colony-Stimulating Factor*) et, plus récemment, le plérixafor. Ces deux molécules favorisent par des mécanismes complémentaires, le passage des cellules souches de la moelle osseuse vers la circulation périphérique. Le marqueur de surface CD34+ sert de référence pour quantifier les cellules souches collectées : la dose minimale recommandée pour assurer une prise de greffe efficace est généralement de 2×10^6 cellules de CD34+ par kilogramme de poids corporel (Khaddour et al., 2023).

b) *Phase de collecte des cellules souches*

Les cellules souches utilisées pour la greffe peuvent provenir de trois sources différentes : le sang périphérique, la moelle osseuse ou le sang de cordon ombilical (Balassa et al., 2019). Lorsqu'une phase de mobilisation a eu lieu, les cellules souches peuvent être prélevées directement à partir du sang périphérique, par cytophérèse : le sang du donneur est prélevé via un cathéter veineux, puis passe dans un séparateur cellulaire qui isole spécifiquement les cellules souches tandis que les autres composants du sang sont restitués au cours de la même séance. Le prélèvement médullaire, qui ne nécessite pas de phase de mobilisation, est quant à lui réalisé sous anesthésie générale, le plus souvent au niveau des crêtes iliaques (Khaddour et al., 2023). Enfin, le sang de cordon ombilical est collecté à la naissance puis cryoconservé en vue d'une utilisation ultérieure : cette source représente une alternative particulièrement intéressante en pédiatrie car elle tolère une compatibilité HLA moins stricte, ce qui élargit l'accès à la greffe pour les patients sans donneur pleinement compatible (Wynn et al., 2022).

2.4.3 Régime de conditionnement

Avant l'infusion du greffon, le patient reçoit un traitement au préalable appelé conditionnement. Celui-ci consiste en l'administration d'une chimiothérapie à haute dose, parfois associée à une irradiation corporelle totale (TBI, *Total Body Irradiation*). Ce conditionnement poursuit un double objectif : réduire la masse tumorale résiduelle et induire une immunosuppression suffisante pour permettre l'implantation des cellules souches transfusées (Khaddour et al., 2023).

L'intensité du conditionnement varie selon plusieurs facteurs, notamment le type de pathologie, le statut de la maladie, l'âge du patient ou encore la présence de comorbidités. Trois grandes catégories sont décrites (Balassa et al., 2019; Gyurkocza & Sandmaier, 2014).

Les protocoles myéloablatifs (MAC) sont les plus toxiques mais favorisent le meilleur contrôle de la maladie et réduisent le risque de rechute. Ils reposent sur l'administration d'agents cytotoxiques (chimiothérapie) de type alkylants (busulfan, cyclophosphamide, melphalan), parfois combinés à une TBI. Ces traitements entraînent une destruction presque totale de l'hématopoïèse du patient (aplasie médullaire) et une pancytopenie sévère, c'est-à-dire une diminution simultanée des trois lignées cellulaires sanguines, qui se traduit par une chute du taux d'hémoglobine, des plaquettes ainsi que des leucocytes (Chiravuri & De Jesus, 2025; Shimoni et al., 2024).

À l'inverse, les conditionnements non myéloablatifs sont moins toxiques et provoquent des cytopénies limitées, tout en induisant une immunosuppression suffisante pour permettre la prise du greffon. Leur efficacité repose en grande partie sur l'effet immunologique greffe-contre-leucémie (GVL), décrit ci-dessus (point 2.3.2.b) (Balassa et al., 2019).

Entre ces deux extrêmes, les protocoles à intensité réduite (RIC) correspondent à une réduction d'au moins 30% des doses d'agents alkylants ou de TBI par rapport aux MAC. Toutefois, l'intensité des protocoles classés dans cette catégorie peut varier considérablement et correspond davantage à un continuum thérapeutique qu'une classification strictement définie (Gyurkocza & Sandmaier, 2014).

2.4.4 Infusion et période post-greffe

L'infusion des cellules souches est réalisée par voie intraveineuse via un cathéter central et dure environ une heure. Durant cette période, les paramètres cliniques du patient sont étroitement surveillés afin de détecter rapidement d'éventuels effets indésirables. Une prémédication est généralement administrée au préalable pour limiter les réactions allergiques qui peuvent apparaître comme un rash cutané tout comme un choc anaphylactique ainsi que la fièvre liée à l'infusion (Koniarczyk et al., 2017).

2.4.5 Prise de greffe

a) Restauration de la production sanguine

La prise de greffe correspond à la phase durant laquelle les cellules hématopoïétiques infusées commencent à restaurer la production sanguine du receveur. Elle se manifeste par une augmentation progressive de globules blancs et de plaquettes. La prise de greffe des neutrophiles est généralement définie par un taux de neutrophiles absolus (ANC) supérieur à $0,5 \times 10^9/L$ pendant trois jours consécutifs, tandis que la prise de greffe plaquettaire correspond à un taux supérieur ou égal à $20 \times 10^9/L$ sans transfusion préalable de plaquettes (Koniarczyk et al., 2017).

Dans le cadre d'une allogreffe utilisant un traitement de conditionnement, les premiers signes de prise de greffe apparaissent entre le 10^e et le 20^{ième} jour après l'infusion. Durant cette période, une surveillance est maintenue afin de détecter les éventuelles complications, notamment le syndrome de prise de greffe qui se manifeste par de la fièvre, des éruptions cutanées ou un œdème pulmonaire qui est généralement traité par corticothérapie (Koniarczyk et al., 2017; Tecchio & Cassatella, 2021).

b) *Suivi de la prise de greffe et chimérisme hématopoïétique*

Après une transplantation allogénique de cellules souches hématopoïétiques, il est indispensable de vérifier que les cellules du donneur se sont correctement implantées dans l'organisme du receveur puisque cela conditionne en grande partie la réussite de la greffe. Cette évaluation repose sur l'analyse du chimérisme hématopoïétique qui mesure la proportion respective des cellules provenant du donneur et celle du receveur après la greffe. (Figure 4). On distingue plusieurs profils : un chimérisme complet ($> 95\%$ des cellules sanguines proviennent du donneur), un chimérisme mixte (cellules du donneur et du receveur coexistent) ou un absence de chimérisme ($< 5\%$ de cellules proviennent du receveur).

Le chimérisme est un phénomène évolutif, susceptible de se modifier avec le temps. Un patient initialement en chimérisme complet peut évoluer vers un chimérisme mixte, et inversement. Certaines variations peuvent en outre ne concerner que certaines lignées cellulaires : on parle alors de chimérisme dissocié. L'analyse du chimérisme repose sur des techniques de biologie moléculaire capables de différencier précisément les cellules du donneur de celles du receveur.

Ce suivi est essentiel dans la surveillance post-greffe. Il permet non seulement de confirmer la bonne implantation du greffon, mais aussi de dépister précocement un éventuel rejet ou une rechute de la maladie initiale, d'où la réalisation régulière de ces analyses pendant la période post-greffe (Bader et al., 2024).

En cas d'absence de chimérisme du donneur ($< 5\%$) ou de rechute progressive de celui-ci, on parle d'échec de prise de greffe (*graft failure*). Sa prise en charge repose sur plusieurs stratégies : l'administration de facteurs de croissance, l'attente d'une éventuelle reconstitution autologue, la perfusion additionnelle de cellules souches du donneur ou la réalisation d'une seconde greffe après un nouveau conditionnement. Son incidence varie selon le type de donneur et l'intensité du conditionnement : elle est de l'ordre de 4% avec un donneur non apparenté HLA-identique, peut atteindre 20% en cas de greffe de sang de cordon, et oscille entre 1% (conditionnement myéloablatif) et 8% (conditionnement non myéloablatif) en greffe haplo-identique.

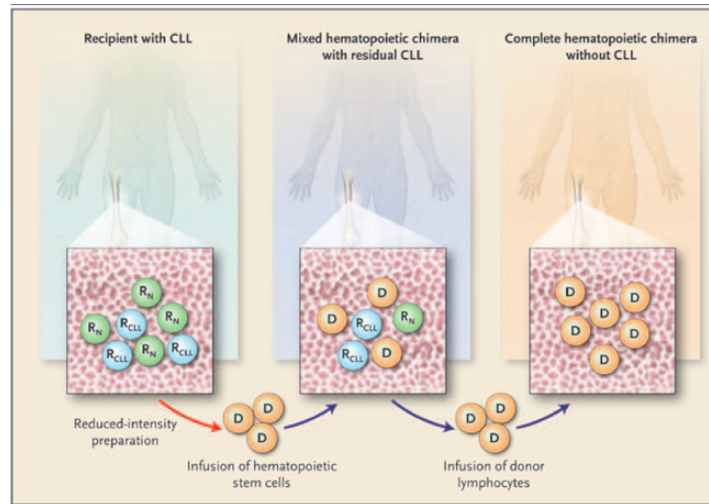


Figure 4 : Représentation schématique du chimérisme hématopoïétique après HSCT allogénique avec conditionnement d'intensité réduite. Avant la greffe, la moelle du receveur contient des cellules normales (R_N) et tumorales (R_{CLL}), ici illustrée dans le cadre d'une leucémie lymphoïde chronique. Le conditionnement induit une immunosuppression suffisante pour permettre la prise de greffe des cellules souches hématopoïétiques du donneur (D), aboutissant initialement à un chimérisme mixte où coexistent cellules du donneur et du receveur. L'administration secondaire de lymphocytes du donneur (DLI) vise à éradiquer les cellules résiduelles du receveur et à obtenir un chimérisme complet du donneur (> 95 % de cellules d'origine donneuse). Tiré de Copelan (2006).

2.5 Étapes d'une autogreffe de cellules souches hématopoïétiques

L'autogreffe de cellules souches hématopoïétiques est le type de greffe qui consiste à prélever les cellules du patient lui-même, généralement à partir du sang périphérique. Les cellules sont ensuite cryoconservées le temps que le patient reçoive les traitements intensifs. Ceux-ci sont basés sur une chimiothérapie à haute dose afin d'éliminer les cellules tumorales résiduelles. Les cellules sont ensuite décongelées et réinjectées au patient afin de reconstituer son hématopoïèse.

L'un des avantages principaux de cette procédure est l'absence de risque immunologique lié au donneur, notamment l'absence de GHVD, ainsi qu'une absence de recherche de donneur compatible. En revanche, les cellules réinjectées peuvent contenir des cellules tumorales résiduelles susceptibles de favoriser une rechute. De plus, contrairement à l'allogreffe, l'autogreffe ne bénéficie pas de l'effet greffon-contre-leucémie (GVL) (Balassa et al., 2019; Khaddour et al., 2023).

2.6 Complications médicales de la greffe

La greffe de cellules souches hématopoïétiques s'accompagne d'un risque important de complications médicales. Après la transplantation, la restauration du système immunitaire s'effectue progressivement, ce qui expose les patients à des périodes de susceptibilité accrue aux infections ainsi qu'à certaines atteintes d'organes. Le type et la fréquence de ces complications évoluent en fonction du temps écoulé depuis la greffe (Figure 5).

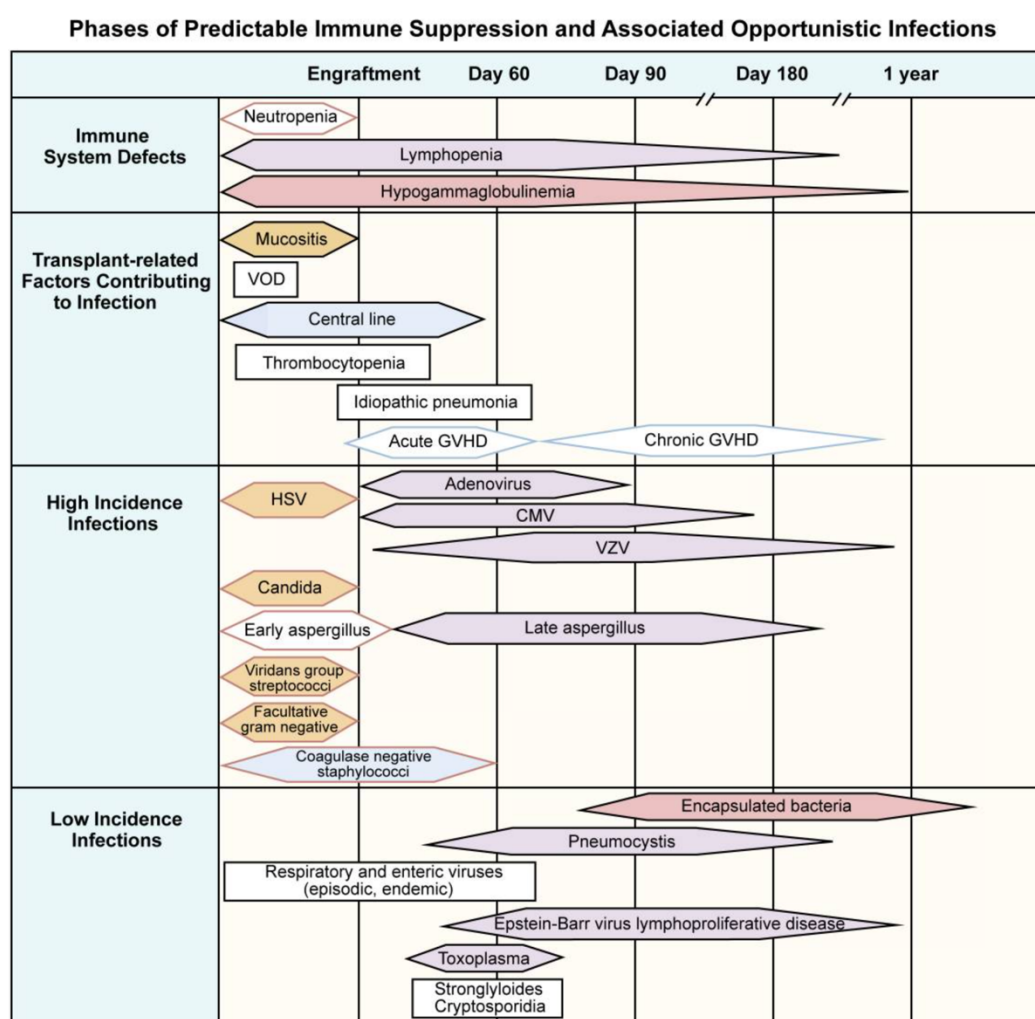


Figure 5 : Phases prévisibles d'immunosuppression et infections opportunistes associées après une greffe de cellules souches hématopoïétiques allogéniques. Tiré de Burik et Freifeld, cité dans PDQ Pediatric Treatment Editorial Board (2024).

2.6.1 Complications à court terme (<100 jours)

Les complications médicales précoces correspondent à celles survenant au cours des 100 premiers jours suivant la greffe. Le traitement de conditionnement administré avant la transplantation est particulièrement toxique et entraîne une immunosuppression marquée, pouvant persister plusieurs mois après la greffe de cellules souches. Cette cytotoxicité entraîne une pancytopenie, incluant notamment une neutropénie qui perdure jusqu'à la prise de greffe.

Durant cette phase de neutropénie, les patients sont particulièrement vulnérables et présentent un risque accru de complications, principalement infectieuses mais également systémiques (Stephens, 2019). Plusieurs de ces complications ont des répercussions directes sur la prise en charge kinésithérapique.

La mucite orale et oropharyngée est fréquemment observée après HSCT. Elle se caractérise par une inflammation des muqueuses pouvant s'étendre à l'ensemble du tractus digestif. Cette atteinte entraîne des douleurs significatives, des difficultés alimentaires, une déshydratation et une dénutrition relative. Sa survenue est favorisée par un conditionnement de forte intensité, l'utilisation de méthotrexate, une neutropénie prolongée ou encore certaines infections virales (Eichhorn et al., 2025). Sur le plan kinésithérapique, elle limite la tolérance à l'effort par la douleur et le déconditionnement nutritionnel qu'elle induit.

En outre, la fièvre neutropénique concerne plus de 80 % des patients dans les premières semaines suivant la greffe, et certaines infections peuvent évoluer vers des formes sévères (septicémie, insuffisance respiratoire) nécessitant une admission aux soins intensifs (PDQ Pediatric Treatment Editorial Board, 2024; Stephens, 2019).

Les complications respiratoires représentent une cause fréquente d'admission en soins intensifs et justifient une prise en charge respiratoire spécifique. Elles incluent les pneumonies bactériennes, qui peuvent survenir isolément ou en association avec des infections virales respiratoires, ainsi que des atteintes plus sévères telles que le syndrome de détresse respiratoire aiguë. Le syndrome pneumonique idiopathique correspond quant à lui à une atteinte pulmonaire diffuse non infectieuse, possiblement liée à la toxicité des traitements de conditionnement ou à une réponse inflammatoire alvéolaire (PDQ Pediatric Treatment Editorial Board, 2024).

La GVHD aiguë, déjà décrite au point 2.3.2.a., est une autre complication qui résulte d'une réaction immunitaire des lymphocytes du donneur dirigée contre les tissus du receveur, et peut survenir durant cette période. Elle peut atteindre différents organes, notamment la peau, le foie et le tractus gastro-intestinal. Son traitement par corticothérapie prolongée majore le risque de perte de masse et de force musculaire (en particulier au niveau des muscles proximaux des hanches et des épaules), de myopathie cortico-induite, d'atrophie musculaire et d'ostéoporose précoce. Le lever d'une chaise et la montée des escaliers deviennent alors difficiles, ce qui augmente le risque de chutes et de fractures. Cette atteinte musculosquelettique justifie une intervention kinésithérapeutique précoce, axée notamment sur le renforcement des membres inférieurs et la prévention des chutes (PDQ Pediatric Treatment Editorial Board, 2024; Sato et al., 2018).

Enfin, d'autres complications systémiques peuvent survenir durant cette phase, notamment des atteintes rénales (insuffisance rénale aiguë), hépatiques (syndrome d'obstruction sinusoidale ou maladie veino-occlusive hépatique), vasculaires (microangiopathie thrombotique), neurologiques et hématologiques. Bien que leur prise en charge relève principalement du domaine médical, elles influencent indirectement notre prise en charge kinésithérapeutique par leur retentissement sur l'état clinique général et la tolérance aux mobilisations et exercices (PDQ Pediatric Treatment Editorial Board, 2024; Stephens, 2019).

2.6.2 Complications à long terme

Les progrès thérapeutiques ont permis de réduire significativement la mortalité précoce après HSCT. Toutefois, l'amélioration de la survie s'accompagne d'une augmentation du nombre de complications tardives, fréquentes et multisystémiques qui justifient un suivi prolongé pluridisciplinaire. Les effets tardifs sont principalement liés à la toxicité du conditionnement, à l'irradiation corporelle totale et à l'immunosuppression prolongée (PDQ Pediatric Treatment Editorial Board, 2024).

La GVHD chronique, déjà décrite au point 2.3.2.a., persiste à être la principale cause de mortalité tardive non liée à une rechute. Ses atteintes multi-organiques (cutanées, pulmonaires, hépatiques, digestives, oculaires, articulaires) entraînent des conséquences fonctionnelles importantes et altèrent durablement la qualité de vie (PDQ Pediatric Treatment Editorial Board, 2024).

Les cancers secondaires, conséquences à long terme de la chimiothérapie et de la TBI, peuvent survenir plusieurs années après la greffe et constituent une cause importante de morbidité et de mortalité tardive (Granat et al., 2023).

Le déconditionnement physique constitue l'effet à long terme le plus pertinent pour la prise en charge en kinésithérapie. Lié aux traitements, à la fatigue chronique, à l'alitement prolongé en isolement et à la diminution durable de l'activité physique, il se traduit par une perte de masse musculaire, une réduction de la capacité cardiorespiratoire et une baisse de la tolérance à l'effort, parfois mesurables des décennies après la greffe. Ces conséquences sont développées en détail au point 2.7.

Si les troubles endocriniens, l'infertilité ainsi que les atteintes métaboliques et cardiovasculaires constituent d'autres complications à long terme, leur prise en charge demeure essentiellement médicale. Elles peuvent toutefois moduler la condition physique du patient et limiter sa capacité à participer à un programme d'exercice (PDQ Pediatric Treatment Editorial Board, 2024).

2.7 Répercussions physiques, fonctionnelles et psychologiques

Après une greffe de cellules souches, de nombreux patients présentent des conséquences physiques et psychologiques susceptibles d'altérer leur récupération fonctionnelle et leur qualité de vie.

Une diminution de la force musculaire est fréquemment observée. Celle-ci est favorisée par la réduction de l'activité physique, les périodes d'hospitalisation prolongée, l'alitement ainsi que les effets secondaires des traitements reçus avant et après la greffe. Cette perte musculaire peut évoluer vers une sarcopénie, définie comme une diminution progressive de la masse musculaire associée à la baisse de la force et des performances physiques (Morishita et al., 2012).

Une altération de la fonction respiratoire est également rapportée. Les complications pulmonaires liées aux traitements de conditionnement, aux infections respiratoires ou à la maladie du greffon contre l'hôte chronique peuvent contribuer à une diminution des capacités ventilatoires.

Parmi les conséquences physiques, la fatigue chronique constitue l'un des symptômes les plus fréquemment rapportés. Bargi et al. (2019) ont mis en évidence à l'aide de la Fatigue Severity Scale, que les patients ayant bénéficié d'une HSCT présentaient une fatigue sévère. Cette fatigue est généralement décrite comme persistante, disproportionnée par rapport à l'effort fourni et non améliorée par le repos. Contrairement à la fatigue physiologique, elle peut s'installer durablement et affecter plusieurs dimensions de la vie du patient. Elle peut, dans certains cas, entretenir un cercle vicieux : la diminution de l'activité physique aggrave la faiblesse musculaire, ce qui augmente encore la fatigue ressentie (Bower, 2014; Hacker et al., 2017).

Au-delà des conséquences physiques et fonctionnelles, la santé mentale et la qualité de vie sont également affectées. Bargi et al. (2019) rapportent une augmentation des symptômes dépressifs ainsi qu'une altération de la qualité de vie après une greffe de moelle. Les patients sont confrontés à l'isolement, à l'incertitude concernant l'évolution de leur maladie et, pour la plupart, à des difficultés de réintégration sociale, scolaire ou professionnelle. Ces facteurs favorisent l'apparition de symptômes anxieux et dépressifs ainsi qu'une diminution du bien-être psychologique.

L'ensemble de ces atteintes ne sont pas indépendantes les unes des autres. Le modèle proposé par Fridh et al. (2021) (Figure 6) illustre comment elles s'articulent en aval des traitements anticancéreux et du conditionnement de la HSCT, et convergent vers une altération mesurable de la condition cardiorespiratoire, de la force musculaire et de la performance physique.

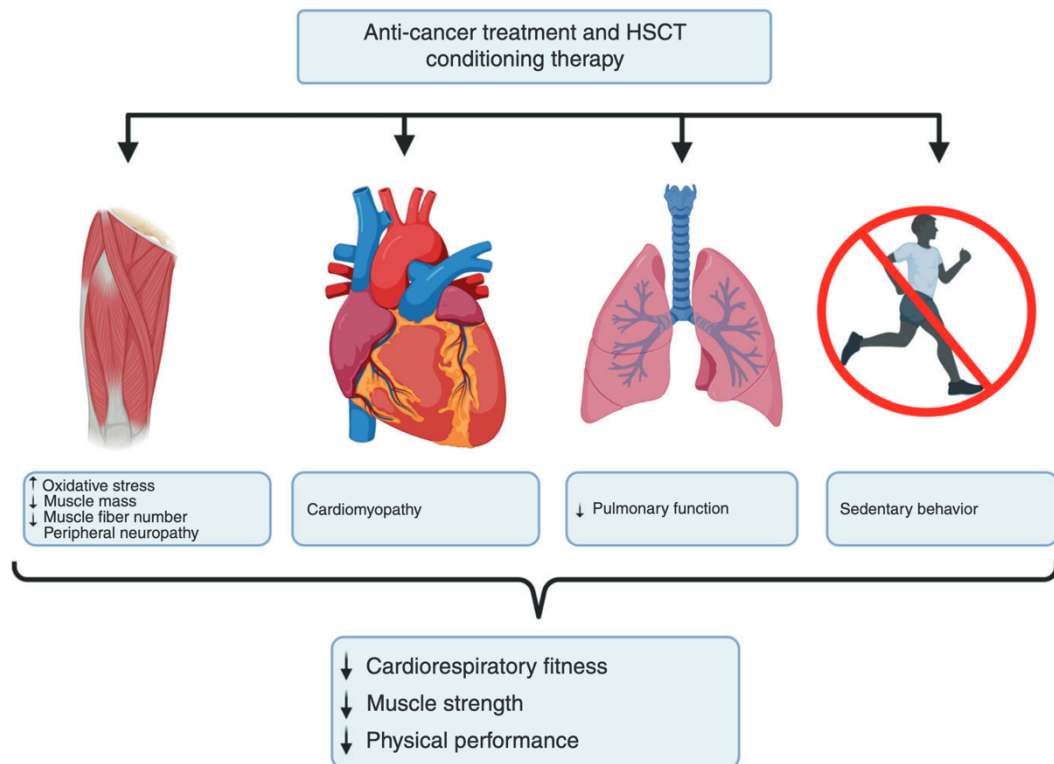


Figure 6 : Modèle conceptuel des effets multisystémiques de la chimiothérapie anti-cancéreuse et du traitement de conditionnement de la HSCT. Ces traitements entraînent quatre types d'atteintes : musculaire (stress oxydatif, perte de masse et du nombre de fibres musculaires, neuropathie périphérique), cardiaque (cardiomyopathie), pulmonaire (diminution de la fonction pulmonaire) et comportementale (sédentarité). Leur conjonction explique la diminution observée de la condition cardiorespiratoire, de la force musculaire et de la performance physique chez les survivants. Tiré de Fridh et al. (2021).

3 Méthode

Ce travail se présente sous la forme d'une revue narrative de la littérature. Sa conduite a été guidée par les recommandations SANRA (*Scale for the Assessment of Narrative Review Articles*, (Baethge et al., 2019)), un outil méthodologique destiné à améliorer la qualité et la rigueur des revues non systématiques. Ce cadre a structuré la rédaction de notre travail selon six axes : la pertinence du sujet, la clarté des objectifs, la transparence de la stratégie de recherche, la qualité du référencement, la cohérence du raisonnement scientifique et la présentation appropriée des données.

La question de recherche a été formulée à l'aide des critères PICOS (*Population, Intervention, Comparator, Outcome, Study design*), qui ont permis d'identifier des mots clés pertinents et structurer notre démarche (Annexe 4). Elle a été formulée comme suit : « La kinésithérapie et l'activité physique ont-elle un effet sur la condition physique et la qualité de vie chez les enfants et adolescents recevant une greffe de cellules souches hématopoïétiques ? ».

La recherche documentaire a été réalisée de septembre 2025 à mars 2026 sur les bases de données PubMed et Embase. Les équations de recherche sont présentées dans le tableau en Annexe 5.

Les critères d'inclusion retenus étaient les suivants : 1) population pédiatrique (<21 ans) ayant bénéficié d'une greffe de cellules souches hématopoïétiques, 2) intervention kinésithérapeutique ou d'une activité physique, 3) articles publiés entre 2016 et 2025, 4) articles rédigés en anglais ou en français.

La sélection des articles s'est déroulée en plusieurs étapes, illustrées dans le diagramme de flux (Figure 7). Dans un premier temps, une sélection a été faite uniquement sur base du titre. Les articles retenus ont ensuite été examinés à partir de leur résumé. Cette méthode a généré de nombreux doublons qui ont été éliminés grâce au logiciel Zotero. Enfin, les articles remplissant tous les critères d'inclusion ont fait l'objet d'une lecture intégrale. À l'issue de ce processus, 19 articles ont été inclus dans cette revue.

La qualité méthodologique des articles inclus a été évaluée à l'aide de deux échelles complémentaires : l'échelle PEDro (*Physiotherapy Evidence Database scale*) a été

appliquée aux essais contrôlés randomisés (ECR). La grille de Downs & Black a été appliquée aux études non randomisées (études d'intervention non randomisées et études observationnelles). Les grilles d'évaluation détaillées sont présentées en Annexe 6 et Annexe 7. Les revues systématiques (Fridh et al., 2021; Lago et al., 2021; Martha et al., 2021) et la revue narrative (Rossi et al., 2016) n'ont pas été soumises à ces outils car leur qualité scientifique a déjà été validée lors de leur publication.

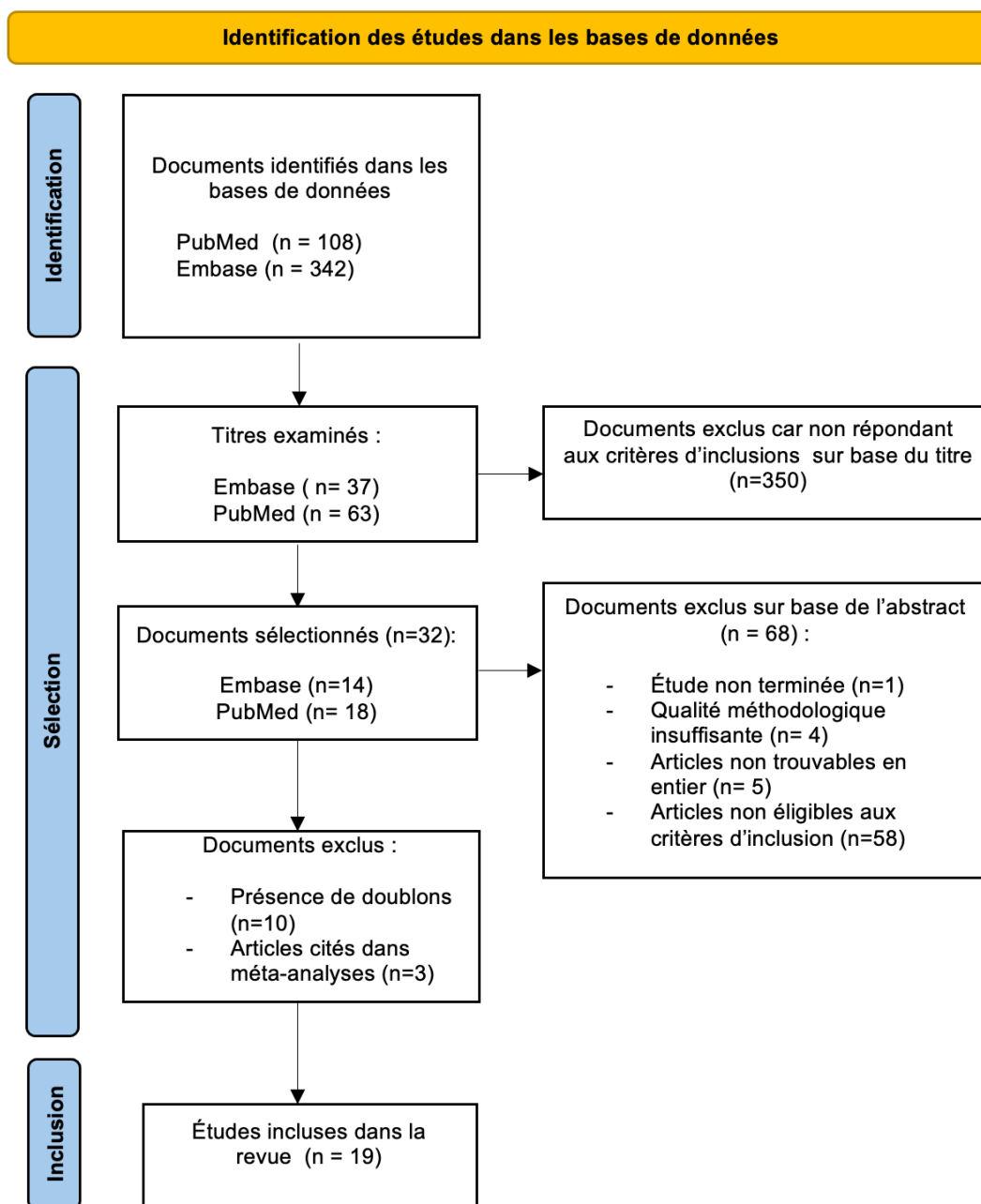


Figure 7 : Diagramme de Flux

4 Résultats

4.1 Phase d'hospitalisation : de l'admission à la sortie

4.1.1 Condition physique

La condition physique des enfants et adolescents au cours d'une hospitalisation pour HSCT évolue généralement selon un processus en deux temps : une phase initiale de détérioration progressive entre l'admission du patient et le nadir, correspondant au point de plus grande fragilité clinique, suivie d'une récupération partielle en fin d'hospitalisation. Cette trajectoire se décline différemment selon les composantes considérées : endurance, fonction musculaire et mobilité fonctionnelle, dont les données sont présentées successivement ci-dessous.

L'endurance apparaît comme une composante particulièrement vulnérable au cours de la phase d'hospitalisation. Les données disponibles suggèrent que, sans intervention structurée, cette capacité tend à se dégrader, tandis que les programmes d'exercice permettent principalement d'en limiter le déclin. Gonzales et al. (2019), ont conduit un “*quality improvement project*” rétrospectif incluant une cohorte pédiatrique (n=41), évaluant l'impact d'un programme pluridisciplinaire structuré (TEMPO), intégrant de la kinésithérapie à raison de trois à cinq séances hebdomadaires, comparativement à un groupe recevant les soins habituels. Les analyses ne mettent pas en évidence de variation significative de l'endurance (6MWT, *6 Minute Walk Test* ; voir Annexe 10) entre l'admission et la sortie, dans le groupe TEMPO (p=0,94), ce qui plaide en faveur d'un maintien de cette capacité sous l'effet de l'intervention. Dans le même sens, Smith et al. (2022) ont mené un essai contrôlé randomisé (ECR) (n=38), comparant un programme structuré (endurance, renforcement, étirements ; 3x30-45min/semaine) à un groupe contrôle recevant une prise en charge standard. Ils confirment l'absence d'amélioration significative des performances d'endurance (6MWT) entre ces deux temps (p=0,35), suggérant que les bénéfices à court terme restent limités pour cette composante, même dans le cadre d'un programme structuré.

Sur cette période, seule la force musculaire a été documentée parmi les composantes de la fonction musculaire ; aucune étude incluse n'a évalué la masse ni la puissance musculaire entre l'admission et la sortie d'hospitalisation. Plusieurs études apportent des éléments sur l'évolution de la force musculaire des membres inférieurs, avec des résultats nuancés selon le type et l'intensité de l'intervention ainsi que selon le segment corporel évalué. Gonzales et al. (2019) ne rapportent pas de différence significative entre l'admission et la sortie au 5TSTS (*Five Times Sit-to-Stand*) au sein de la cohorte TEMPO ($p=0,98$), témoignant d'un retour aux performances initiales à la sortie, malgré une dégradation transitoire observée au nadir. Ces résultats sont complétés par ceux de Beller et al. (2025), qui apportent des données spécifiques concernant le rôle de l'intensité de l'exercice. Dans cette étude, un programme d'intensité modérée à élevée (RPE 11-15 sur l'échelle de Borg 6-20 ; voir Annexe 9), combinant endurance, renforcement et coordination ($n=11$) est associé à un maintien de la force d'extension de genou, évaluée par dynamométrie isométrique, tandis qu'un programme d'intensité faible (RPE 6-10 sur l'échelle de Borg 6-20), axé sur la mobilisation, la relaxation et la coordination ($n=10$) est associé à une diminution significative. Ce résultat n'est toutefois mis en évidence que du côté gauche ($p=0,028$). Ces résultats soulignent l'importance du niveau d'intensité prescrit pour obtenir un effet conservateur sur la masse et la fonction musculaires. Gonzales et al. (2019), observent par ailleurs une amélioration significative de la force de préhension, évaluée par un dynamomètre manuel, entre le nadir ($15\pm 2\text{kg}$) et la sortie d'hospitalisation ($19\pm 2\text{kg}$; $p = 0,028$) au sein du groupe TEMPO, reflétant une récupération progressive de la force des membres supérieurs en fin d'hospitalisation, proche du niveau observé à l'admission ($20 \pm 2\text{kg}$) après la phase aiguë.

Les données relatives à la force musculaire mettent en évidence un effet différentiel selon les groupes. Smith et al. (2022), rapportent une amélioration significative au test manuel musculaire (MMT ; voir Annexe 11), en faveur du groupe intervention par rapport au groupe contrôle ($p=0,005$), suggérant un bénéfice spécifique de l'exercice structuré sur cette composante. Cependant, cette amélioration est rapportée de manière globale dans l'étude, sans précision quant à son évolution entre l'admission et la sortie. À l'inverse, Rossi et al. (2022), dans une étude non randomisée, ont évalué un programme d'exercices combinant renforcement

musculaire, endurance, étirements et conseils de rééducation, comparativement à un groupe recevant uniquement des conseils de rééducation. Les auteurs mettent en évidence une diminution significative de la force des extenseurs du genou ($p=0,001$) et des fléchisseurs dorsaux de cheville ($p=0,006$), évaluée par le MRC (voir Annexe 12) au cours de l'hospitalisation, sans différence entre les groupes, illustrant l'impact délétère du contexte de greffe sur la fonction musculaire, indépendamment de l'intervention.

Concernant la mobilité fonctionnelle, deux études rapportent des données sur cet intervalle temporel. Gonzales et al. (2019) ne mettent pas en évidence de différence significative au "*Functional Mobility Scale*" (FMS) entre l'admission et la sortie d'hospitalisation pour le groupe intervention TEMPO ($p=0,67$), suggérant un maintien global des capacités de mobilité au cours du séjour. Une amélioration significative est toutefois observée entre le nadir post-HSCT et la sortie ($p<0,0001$), témoignant d'une récupération progressive dès que l'état clinique le permet. Ces résultats suggèrent que le programme TEMPO permet de limiter le déconditionnement fonctionnel dans un contexte de greffe. Dans une perspective comparable, Rossi et al. (2022) ne mettent pas en évidence de différence significative entre le groupe intervention et le groupe contrôle concernant la mobilité fonctionnelle, objectivée par le « *Timed Up and Go* » (TUG ; voir Annexe 17).

Dans l'ensemble, la condition physique des patients pédiatriques tend à se dégrader au cours de l'hospitalisation pour HSCT, avec un déclin particulièrement marqué en l'absence d'intervention structurée. Les programmes d'activité physique permettent principalement de limiter cette détérioration, notamment pour l'endurance et la force musculaire, sans entraîner systématiquement d'amélioration significative à court terme. L'intensité de l'exercice semble constituer un facteur modulateur déterminant, les interventions d'intensité modérée à élevée apparaissant plus efficaces pour préserver les capacités musculaires.

4.1.2 Indépendance fonctionnelle

L'indépendance fonctionnelle dans les activités de la vie quotidienne a été évaluée par Smith et al. (2022), dans un ECR (n=38), à l'aide du « *Functional Independence Measure for Children* » (WeeFIM ; voir Annexe 13). Les auteurs rapportent une interaction entre le groupe et le temps qui est significative entre l'admission et la sortie d'hospitalisation ($p=0,024$), traduisant une évolution divergente des deux groupes au cours du séjour : le groupe contrôle présente une altération significative de son score WeeFIM ($p=0,03$), principalement dans le domaine des soins personnels, tandis que le groupe intervention tend à maintenir son niveau d'autonomie fonctionnelle sur la même période ($p=0,91$). En complément, Rossi et al. (2022) ont évalué les performances motrices globales à l'aide du GMFM-ALL (*Gross Motor Function Measure – Acute Lymphoblastic Leukemia scale*) et ne mettent pas en évidence de différence significative entre le groupe intervention et le groupe contrôle, ce qui contraste avec les résultats obtenus par Smith et al. (2022) sur le WeeFIM.

4.1.3 Qualité de vie

Les données relatives à la qualité de vie au cours de la phase d'hospitalisation convergent vers un constat partagé : les interventions proposées ne permettent pas d'améliorer significativement ce paramètre à court terme, et la fatigue tend à augmenter de manière progressive au fil de l'hospitalisation, indépendamment de la mise en place d'un programme d'activité physique. Certains bénéfices sont toutefois observés sur des dimensions spécifiques, en particulier la douleur et les symptômes dépressifs.

Deux études incluant des groupes intervention et contrôle n'ont pas mis en évidence de différence significative entre les groupes concernant la qualité de vie. Beller et al. (2025), comparant deux groupes d'intensité d'exercice différente ne rapportent pas de différence significative entre les groupes (PedsQL ; voir Annexe 14). De manière comparable, Smith et al. (2022) opposant un programme structuré à une prise en charge standard, n'observent aucune différence intergroupe (évalué par le test PROMIS ; voir Annexe 15). La convergence de ces résultats suggère que l'exercice physique ne suffit pas, à lui seul, à améliorer la qualité de vie au cours de l'hospitalisation. Plusieurs études rapportent même une dégradation au cours du

séjour, indépendamment du groupe. Jung et al. (2024), évaluant la qualité de vie via le PedsQL, observent une diminution significative de la qualité de vie dans les deux groupes, particulièrement marquée par la dimension des activités physiques ($p < 0,001$), sans différence intergroupe.

La fatigue représente une composante de la qualité de vie qui est particulièrement affectée au cours de l'hospitalisation pour HSCT, évaluée par le « *PedsQL Multidimensional Fatigue Scale* » dans quatre des études incluses. Jung et al. (2021), dans un ECR comparant un programme structuré combinant endurance, renforcement et flexibilité (cinq séances hebdomadaires) à un programme d'activités de relaxation et de stimulation cognitive, rapportent une augmentation significative de la fatigue totale, de la fatigue générale et de la fatigue liée au sommeil dans les deux groupes ($p < 0,001$), sans différence intergroupe. Ces résultats sont confirmés par Jung et al. (2024), qui observent une évolution similaire avec des modalités d'intervention comparables. Dans le même sens, Beller et al. (2025) ne retrouvent pas de différence significative entre les groupes concernant la fatigue, quelle que soit l'intensité ou la nature de l'intervention. À l'inverse, Rossi et al. (2022) rapportent une diminution significative de la fatigue au cours de l'hospitalisation ($p = 0,01$), sans différence significative entre les groupes. Ainsi, si l'évolution de la fatigue au cours de l'hospitalisation diverge selon les études, l'ensemble des données converge sur l'absence d'effet spécifique de l'activité physique sur cette dimension à ce stade. Cela suggère que la fatigue répond davantage au contexte global de la greffe qu'à l'intervention thérapeutique elle-même.

Concernant la douleur, Yildiz Kabak et al. (2019) rapportent une diminution significative du nombre de jours douloureux ainsi que de l'intensité de la douleur dans le groupe intervention par rapport au groupe contrôle ($p = 0,021$), évaluée à l'aide de la « *Wong-Baker Faces Pain Rating Scale* ». Ce résultat isolé mais significatif, suggère qu'un programme d'exercice physique pourrait exercer un effet antalgique dans les suites immédiates de la greffe.

Dans l'ensemble, la qualité de vie tend à se maintenir ou à se dégrader au cours de l'hospitalisation pour HSCT, tandis que la fatigue augmente de façon significative et progressive, indépendamment de la mise en place d'un programme d'activité physique. Les interventions proposées ne semblent pas permettre d'améliorer ces paramètres à court terme. Néanmoins, un bénéfice ciblé est observé sur la douleur pendant la phase d'hospitalisation, suggérant un impact sélectif de l'exercice structuré sur certaines dimensions de la qualité de vie.

4.2 Phase post-hospitalière : de la sortie au suivi à moyen terme (J+100-J+200)

4.2.1 Condition physique

Au-delà de la sortie d'hospitalisation, la condition physique des patients pédiatriques évolue selon une trajectoire de récupération progressive, dont l'ampleur et la rapidité varient selon les composantes considérées et la mise en place ou non d'un programme d'activité physique structuré. Les trois axes précédemment analysés : endurance, fonction musculaire et mobilité fonctionnelle sont repris ici, tout en intégrant les éléments observationnels qui caractérisent l'état physique des patients à distance de la greffe.

L'endurance cardiorespiratoire constitue l'un des paramètres les plus fréquemment évalués sur cette période, principalement à l'aide du 6MWT (Annexe 10) et, plus ponctuellement, à l'aide du VO_{2peak} . Les résultats issus des études interventionnelles sont globalement favorables à la pratique d'une activité physique structurée. Smith et al. (2022) mettent en évidence une amélioration significative de l'endurance (6MWT) entre l'admission et six semaines post-hospitalisation dans le groupe intervention (effet du temps, $p=0,043$), avec des performances significativement supérieures à celles du groupe contrôle tous temps de mesure confondus (effet groupe, $p=0,023$). Le programme proposé combinait endurance, renforcement musculaire et étirements en comparaison à une prise en charge standard. Glogowski et al. (2023), dans une étude prospective randomisée monocentrique ($n=52$), rapportent une amélioration plus importante au 6MWT dans le groupe intervention, qui bénéficiait d'un programme associant renforcement et endurance (incluant trampoline et ballon), réalisé cinq fois par semaine pendant l'hospitalisation, puis poursuivi à domicile via un journal d'entraînement, par

rapport au groupe contrôle ($p=0,004$). Gonzales et al. (2019), dans une étude rétrospective non randomisée (cohorte interventionnelle TEMPO $n=41$; groupe contrôle $n=89$) observent une amélioration significative de l'endurance (6MWT) à J+100 par rapport à l'admission ($p=0,0023$), au sein du groupe ayant bénéficié du programme multidisciplinaire individualisé TEMPO incluant la kinésithérapie (trois à cinq séances hebdomadaires de 30 à 60 minutes). Cette récupération différée, observable seulement après la phase aiguë, illustre que les bénéfices du programme se manifestent principalement à distance de l'hospitalisation.

Ces données concordantes sont renforcées par les résultats des synthèses de la littérature. La méta-analyse de Lago et al. (2021) portant sur sept études (dont deux ECR) évaluant l'efficacité d'un programme d'exercice comparativement à un groupe contrôle. Les études incluant des enfants et adolescents âgés de 3 à 19 ans, objective une amélioration significative de la distance parcourue au 6MWT en faveur des groupes ayant bénéficié d'un programme d'exercice, aussi bien en valeur absolue (MD = 82,84 ; IC95% [49,34 ; 116,35] ; $I^2 = 0$ % ; $p<0,00001$) qu'en pourcentage de la valeur prédite (MD=12,59 ; IC95% [7,14 ; 18,03] ; $p<0,00001$). À l'inverse, la méta-analyse de Martha et al. (2021), incluant trois études interventionnelles ($n=91$), ne retrouve pas de différence significative entre groupe intervention et groupe contrôle pour cette même mesure (MD = 44,63 ; IC95% [-20,86 ; 110,13] ; $I^2 = 83$ % ; $p=0,18$) bien qu'une tendance favorable soit observée. Cette discordance peut s'expliquer par des différences méthodologiques importantes : le nombre d'études incluses, les protocoles d'exercices et les populations étudiées ne sont pas strictement comparables. Enfin, Rossi et al. (2016), dans une revue narrative incluant dix études, rapportent une augmentation du VO_{2peak} en phase ambulatoire post-greffe dans certaines études, sans atteindre la significativité statistique. L'ensemble de ces résultats suggère que l'endurance, particulièrement vulnérable durant l'hospitalisation, amorce une récupération progressive après la sortie dans les groupes bénéficiant d'un programme d'exercices structurés.

Les effets de l'activité physique sur la musculature squelettique ont été explorés sous trois angles complémentaires : la force, la masse et la puissance. Concernant la force musculaire, Gonzales et al. (2019) rapportent une amélioration

significative de la force fonctionnelle des membres inférieurs, évaluée par le 5TSTS (*Five Times Sit-to-Stand*), entre le nadir intrahospitalier ($19 \pm 2s$) et J+100 ($9 \pm 1s$; $p < 0,0001$). Cette amélioration traduit une récupération qui ramène les performances au niveau observé à l'admission ($10 \pm 1s$) et les maintient à trois mois post-greffe. Rossi et al. (2016) décrivent quant à eux une tendance au maintien ou à l'amélioration de la force pendant et après la greffe dans plusieurs études, sans significativité statistique. Cette dynamique de récupération doit toutefois être nuancée par les données observationnelles de Den Hartog et al. (2024), qui, dans une étude de cohorte rétrospective portant sur 77 patients âgés de 3 à 18 ans, objectivent à J+100 une diminution significative de la force pour l'ensemble des groupes musculaires testés (fléchisseurs de hanche, extenseurs de genou, dorsifléchisseurs de cheville) (MicroFET2) et force de préhension (dynamomètre de Jamar), par rapport aux sujets sains ($p < 0,001$). Cette atteinte diffuse témoigne d'un déficit musculaire généralisé persistant à J+100 malgré la trajectoire de récupération mise en évidence par les études interventionnelles.

Sur le plan de la masse musculaire, Glogowski et al. (2023) mettent en évidence une augmentation plus importante de la masse musculaire du quadriceps (mesure de circonférence) dans le groupe intervention par rapport au groupe contrôle, significative à droite ($p = 0,042$) et à gauche ($p = 0,009$). Den Hartog et al. (2024), évaluant la masse musculaire appendiculaire squelettique (ASMM) par impédancemétrie bioélectrique, mettent en évidence une réduction significative de cette mesure à J+100 par rapport aux sujets sains. Leurs résultats montrent que l'ASMM mesurée à l'entrée est significativement associée à celle mesurée à J+100 ($p < 0,001$). Cette association prédictive intra-sujet souligne que le capital musculaire pré-greffe conditionne largement le statut musculaire post-greffe, et plaide en faveur d'une prise en charge kinésithérapique précoce, idéalement initiée avant l'admission. Au-delà de la force et de la masse, la puissance musculaire a été étudiée par Glogowski et al. (2023), qui rapportent une amélioration significativement supérieure dans le groupe intervention pour les membres inférieurs, évaluée par le test du triple saut (droite : $p = 0,004$; gauche : $p = 0,008$). Ces résultats soulignent l'intérêt de cibler également la puissance, composante fonctionnelle souvent négligée dans les programmes de rééducation pédiatrique post-HSCT.

La mobilité fonctionnelle a été évaluée à l'aide de plusieurs outils, notamment le « *Functional Mobility Scale* » (FMS), le « *Timed Up and Go* » (TUG ; voir Annexe 17) et le « *Timed Up and Down Stairs* » (TUDS). Gonzales et al. (2019) ne retrouvent aucune différence significative au FMS entre l'admission et la sortie d'hospitalisation ($p=0,67$), témoignant d'un maintien global des capacités au cours du séjour. Ce niveau de performance est maintenu à J+100, sans différence significative par rapport à l'admission ou la sortie ($p>0,05$). Dans le prolongement de ces observations, la méta-analyse de Martha et al. (2021) rapporte une amélioration significative de la performance fonctionnelle évaluée par le TUDS en faveur du groupe intervention (MD=-1,23 ; IC95% [-2,27 ; -0,20] ; $p=0,01$), suggérant un bénéfice mesurable de l'activité physique sur les tâches de mobilité impliquant les membres inférieurs. Rossi et al. (2016) ne rapportent quant à eux qu'une tendance à l'amélioration du TUG au cours de la période péri-greffe, sans atteindre la significativité statistique. Den Hartog et al. (2024) apportent un éclairage observationnel complémentaire en évaluant la mobilité fonctionnelle par trois tests chronométrés (TUDS ; 10MWT, *10-Meter Walk Test*, voir Annexe 19 ; TUG). Seul le TUDS révèle une différence significative par rapport à la population saine à J+100 ($p<0,001$), les patients mettant plus de temps pour accomplir cette tâche. Pour le 10-MWT et le TUG, l'absence de valeurs de référence normatives adaptées à la population pédiatrique ne permet pas de comparer directement les performances des patients à celles des enfants sains, ce qui empêche de conclure formellement à un déficit fonctionnel malgré des performances suggérant une altération.

Au-delà de la comparaison avec la population saine, Den Hartog et al. (2024) ont également exploré les facteurs associés aux performances physiques à J+100, au moyen d'analyses de régression linéaire multivariée. Les performances physiques pré-greffe sont significativement associées aux performances à J+100 pour l'ensemble des variables étudiées : force de flexion de hanche ($p=0,002$), masse musculaire appendiculaire squelettique (ASMM) ($p<0,001$), « *Timed to Rise from the Floor* » (TRF) ($p<0,001$), 10-MWT ($p=0,004$), TUDS ($p<0,001$). L'âge influence la force de la hanche ($p=0,011$) et la vitesse de marche ($p=0,03$). En revanche, ni la dose cumulative de glucocorticoïdes ni la durée de l'hospitalisation

n'apparaissent comme des facteurs significativement associés aux performances physiques à 100 jours.

En définitive, ces résultats dessinent un tableau cohérent : la période post-hospitalière précoce est marquée par une récupération progressive de l'endurance, de la fonction musculaire et de la mobilité, davantage marquée chez les patients ayant bénéficié d'un programme structuré, mais qui reste incomplète à J+100 lorsqu'elle reste confrontée aux performances des sujets sains. Le statut fonctionnel pré-greffe apparaît comme un déterminant majeur du devenir physique, ce qui plaide pour une intervention kinésithérapique initiée précocement.

4.2.2 Indépendance fonctionnelle

L'effet préservateur de l'activité physique sur l'indépendance fonctionnelle, évaluée par le WeeFIM (Annexe 13), se prolonge au-delà du séjour hospitalier. Smith et al. (2022) rapportent une interaction groupe $\times$ temps significative jusqu'à six semaines post-hospitalisation ($p=0,017$), traduisant une poursuite de la divergence entre les deux groupes. Le groupe intervention, poursuivant le programme d'exercices en phase ambulatoire, tend à maintenir son niveau d'autonomie dans les activités quotidiennes, tandis que le groupe contrôle tend à décliner encore. Ces données plaident en faveur d'une prise en charge kinésithérapique s'étendant au-delà de la phase hospitalière afin de sécuriser la trajectoire de récupération fonctionnelle dans les semaines suivant la greffe.

4.2.3 Qualité de vie

La qualité de vie représente une des mesures les plus largement documentées dans les études incluses bien que la diversité des instruments utilisés (*PedsQL Stem Cell Transplant Module* ; KINDL, voir Annexe 18 ; *PedsQL* générique) et des temps de mesure rendent les comparaisons directes difficiles. Les données disponibles permettent d'analyser cette dimension selon cinq axes : le score global de qualité de vie, la santé mentale, la fatigue, la douleur et la vie scolaire. De manière quasi-constante, une détérioration des scores de la qualité de vie est observée entre la période pré-greffe et la phase post-greffe précoce, quel que soit le groupe d'appartenance, témoignant de l'impact délétère de la greffe sur le bien-être perçu des patients dans ses suites immédiates.

Concernant le score global, Potapchuk et al. (2019), dans une étude interventionnelle comparant un programme standard d'exercices à un programme combiné associant rééducation physique individualisée chez 20 adolescents âgés de 12 à 17 ans recevant une HSCT, évaluent la qualité de vie à l'aide du questionnaire *PedsQL Stem Cell Transplant Module*. Une diminution non significative des scores est observée entre la période pré-greffe et J+30-40, suivie de différences significatives entre les groupes aux temps post-greffe tardifs, en faveur du groupe bénéficiant du programme de rééducation individualisée ($p < 0,05$). Jung et al. (2024), dans un ECR monocentrique évaluant l'effet d'un programme structuré combinant endurance, renforcement et flexibilité chez des enfants et adolescents âgés de 5 à 18 ans, avec un suivi jusqu'à J+200, confirment cette trajectoire : une diminution significative de la qualité de vie liée à la santé (PedsQL) est observée entre l'admission et la sortie dans les deux groupes, suivie d'une amélioration progressive et significative jusqu'à J+200 ($p < 0,001$), indépendamment du groupe pour la plupart des dimensions évaluées.

En revanche, d'autres études ne retrouvent pas de supériorité intergroupe sur le score global de qualité de vie. Smith et al. (2022), n'objectivent aucune différence significative entre les deux groupes dans le questionnaire PROMIS (voir Annexe 15). Glogowski et al. (2023) rapportent des améliorations intragroupes significatives au cours du temps dans les deux groupes (KINDL body : $p = 0,039$; KINDL mind : $p = 0,006$), sans différence intergroupes. Les revues systématiques et méta-analyses dressent un tableau similaire. La méta-analyse de Lago et al. (2021) objective une amélioration significative de la qualité de vie en faveur du groupe exercice par rapport au groupe contrôle (MD = 11,50 ; IC95% [2,21 ; 20,80] ; $p = 0,02$). La revue systématique avec méta-analyse de Martha et al. (2021), portant sur trois études interventionnelles incluant des enfants âgés de 3 à 18 ans ayant bénéficié de programmes combinant endurance et renforcement musculaire, rapporte une amélioration significative de certains domaines de qualité de vie dans le groupe intervention, sans préciser l'ampleur de l'effet inter-groupe. Enfin, Rossi et al. (2016) ne relèvent qu'une seule étude rapportant une amélioration significative de la qualité de vie (CHQ, *Child Health Questionnaire*) en phase post-greffe, soulignant ainsi la variabilité des résultats à l'échelle de la littérature

disponible. Si les études individuelles ne convergent pas vers une supériorité des programmes d'exercice sur la qualité de vie globale, probablement en raison de différences en termes de protocoles, d'outils d'évaluation et de durée de suivi, les méta-analyses, et en particulier celle de Lago et al. (2021), apportent un niveau de preuve favorable à une telle intervention.

La santé mentale a été étudiée à travers les composantes de l'anxiété et de la dépression. Concernant l'anxiété, les données disponibles convergent vers un effet favorable des programmes d'exercice, particulièrement visible à moyen terme. Smith et al. (2022) rapportent une diminution significative de l'anxiété (PROMIS) à six semaines post-hospitalisation dans le groupe intervention ($p=0,009$) suggérant que l'activité physique peut agir sur l'anxiété indépendamment de son effet sur la qualité de vie globale. Ce résultat est renforcé par ceux de Glogowski et al. (2023), qui objectivent une diminution significativement plus importante de la catégorie anxiété du questionnaire SAM (*Self-Assessment Manikin*) dans le groupe intervention par rapport au groupe contrôle au cours du suivi jusqu'à J+200 ($p=0,03$). Ces deux études, bien que distinctes dans leurs protocoles et leurs outils d'évaluation, soulignent le bénéfice de l'activité physique sur cette dimension, à distance de la phase hospitalière aiguë. Les données relatives à la dépression sont plus limitées et invitent à davantage de prudence dans leur interprétation. Yildiz Kabak et al. (2019), dans une étude interventionnelle prospective contrôlée randomisée portant sur 26 enfants âgés de 3 à 17 ans et évaluant un programme multimodal supervisé cinq fois par semaine, rapportent une diminution significative de la dépression dans le groupe intervention entre l'admission et le suivi à un mois ($p<0,05$). Cette évolution ne diffère toutefois pas significativement de celle observée dans le groupe contrôle, ce qui tempère la conclusion d'un effet spécifique de l'exercice sur la dépression.

Plusieurs études se sont intéressées à la fatigue bien que la diversité des instruments d'évaluation et des protocoles de suivi rende les comparaisons directes délicates. Jung et al. (2024), évaluant la fatigue à l'aide de l'échelle CRF, observent une augmentation au cours de l'hospitalisation dans les deux groupes, suivie d'une amélioration uniquement dans le groupe intervention après la sortie, sans que les données statistiques ne soient précisément détaillées. Yildiz Kabak et al. (2019),

rapportent une tendance à une fatigue plus faible dans le groupe intervention à un mois post-hospitalisation (*Wong-Baker-Faces Pain Rating Scale*), sans atteindre la significativité statistique par rapport au groupe contrôle. La revue narrative de Rossi et al. (2016) confirme cette tendance en relevant une diminution de la fatigue au cours de la période de greffe dans certaines études, également non significative. Smith et al. (2022) se distinguent en confirmant statistiquement cette tendance : ils rapportent une diminution significative de la fatigue (PROMIS) dans le groupe intervention à six semaines post-hospitalisation ($p=0,037$), résultat que les auteurs attribuent à la poursuite supervisée du programme en phase ambulatoire (une séance hebdomadaire en clinique pendant six semaines, en complément du programme à domicile). Ces données dessinent un tableau nuancé : si l'activité physique semble associée à une moindre fatigue après la phase aiguë, il n'est pas possible de conclure à une supériorité franche de l'exercice sur les soins usuels pour cette dimension.

Les données concernant la douleur n'ont été évaluées que par une seule étude incluse : celle de Yildiz et Kabak et al. (2019), utilisant l'échelle « *Wong-Baker Faces Pain Rating Scale* ». Cette étude réalise des mesures ponctuelles à l'admission, à la sortie et un mois après la sortie ($\approx J+70$). Aucune différence intergroupe n'est retrouvée à ces temps de mesure. L'effet antalgique observé pendant la phase aiguë d'hospitalisation (cf 4.1.3.) ne semble donc pas se prolonger à distance bien que l'absence d'évaluation au-delà de $J+70$ empêche de se prononcer sur un éventuel bénéfice à plus long terme.

La participation à la vie scolaire, en tant qu'indicateur de réintégration fonctionnelle et sociale, n'a été documentée que par deux des études. Glogowski et al. (2023) rapportent une amélioration significativement supérieure du score KINDL scolaire dans le groupe intervention comparativement au groupe contrôle au cours du suivi ($p<0,001$). Jung et al (2024) retrouvent quant à eux une différence en faveur du groupe exercice uniquement pour la dimension des activités scolaires du test PedsQL ($p=0,02$), l'ensemble des autres domaines de qualité de vie évoluant de manière comparable entre les groupes. La concordance de ces deux études sur ce paramètre spécifique est notable : elle suggère que les bénéfices de l'activité physique structurée pourraient s'étendre au-delà de la sphère clinique, en contribuant à une meilleure réintégration scolaire et sociale.

Dans l'ensemble, durant la période s'étendant de la sortie d'hospitalisation à J+100/J+200, la qualité de vie globale présente une trajectoire en deux temps, détérioration durant l'hospitalisation puis récupération progressive, dont l'ampleur varie selon les études et les outils utilisés. Les bénéfices les plus ressortis concernent l'anxiété et la vie scolaire, deux dimensions sur lesquelles s'accordent plusieurs études indépendantes. Les effets sur la dépression et la fatigue sont plus inconstants, avec des tendances favorables non systématiquement confirmées. Enfin, les données sur la douleur restent quant à elles trop limitées pour en déduire une conclusion ferme. La méta-analyse de Lago et al. (2021) apporte par ailleurs un niveau de preuve favorable à une intervention structurée sur la qualité de vie globale, malgré l'hétérogénéité des études.

4.3 Suivi à long terme : plusieurs années après la greffe

4.3.1 Condition physique

À distance de la greffe, plusieurs études observationnelles convergent vers le constat d'une altération significative et durable de la condition physique chez les patients greffés durant l'enfance, mise en évidence par comparaison à des sujets sains appariés ou à des valeurs normatives. Cette altération s'exprime sur les trois mêmes composantes que précédemment : l'endurance, la fonction musculaire et la mobilité fonctionnelle auxquelles s'ajoutent les déterminants respiratoires, spécifiquement explorés à ce stade et présentés en fin de section.

La capacité aérobie constitue la composante la plus documentée à long terme. Plusieurs études mettent en évidence une diminution globale de la condition physique chez les survivants d'une HSCT pédiatrique par rapport à des sujets sains appariés en âge et en sexe. La méta-analyse de Fridh et al. (2021), regroupant quatre études observationnelles incluant 163 survivants d'une HSCT pédiatrique et 163 sujets témoins sains, objective une diminution significative de la capacité cardiorespiratoire maximale, évaluée par épreuve d'effort sur cycloergomètre (DMS = -1,33 [IC95% -1,58 ; -1,07] ; $I^2 = 2\%$; $p < 0,00001$). L'amplitude de ce déficit, rapportée individuellement par les études incluses, varie de 16 à 30% par rapport aux sujets sains. Davis et al. (2020), dans une étude interventionnelle prospective non randomisée incluant 20 survivants évalués en moyenne 8,4 ans

après la greffe, mettent en évidence une condition physique de base, évaluée par un test de $VO_2\text{peak}$ sur tapis roulant, inférieure aux valeurs normatives publiées pour l'âge et le sexe ($p<0,005$). Ces résultats sont renforcés par ceux de Nissen et al. (2025), qui, dans une étude observationnelle transversale comparant 90 survivants greffés avant l'âge de 18 ans (évalués en médiane 20,2 ans après HSCT) à 32 sujets sains appariés, décrivent une altération globale des performances physiques.

Concernant plus spécifiquement la consommation maximale d'oxygène, une diminution significative de la $VO_2\text{peak}$ est retrouvée de manière constante dans la littérature, toujours en comparaison à des sujets sains. Nissen et al. (2025) objectivent une diminution significative de 34% de la $VO_2\text{peak}$ chez les survivants par rapport aux contrôles sains appariés ($p<0,0001$). West et al. (2019), dans une étude observationnelle évaluant cinq patients âgés de 8 à 18 ans en médiane 15,8 mois après leur greffe, en comparaison à cinq sujets sains appariés selon l'âge et l'IMC, rapportent également une diminution significative de la $VO_2\text{peak}$ chez les patients greffés ($p=0,015$). Ces résultats convergent avec les conclusions de la méta-analyse de Fridh et al. (2021) détaillée ci-dessus, et apportent des points de comparaison complémentaires à distance variable de la greffe.

La charge maximale à l'effort (W_{peak}) a également été étudiée et témoigne d'une altération importante. Nissen et al. (2025) rapportent, par un test d'effort maximal, une diminution de 43% du W_{peak} chez les survivants par rapport aux sujets sains appariés ($p<0,0001$), traduisant une réduction significative de la capacité de production de travail à l'effort.

Ces altérations de la capacité aérobie s'accompagnent d'une limitation globale de la tolérance à l'effort. West et al. (2019) rapportent, en comparaison aux sujets sains appariés, une diminution de l'activité physique notamment durant le week-end ($p=0,006$), ainsi qu'une altération de la capacité à maintenir un effort répété, avec une diminution significative de la puissance lors du test sous maximale sur cycloergomètre de 5x30 secondes à 65% de la charge maximale ($p=0,009$), malgré l'absence de différence pour les efforts courts et isolés. L'ensemble de ces travaux met en évidence une atteinte persistante, globale et multidimensionnelle de la condition physique après HSCT pédiatrique.

La fonction musculaire a été explorée sous deux angles complémentaires : la masse et la force musculaires. Concernant la masse musculaire, Öberg et al. (2018), dans une étude observationnelle comparant 17 survivants évalués en médiane 17,7 ans après la greffe à 17 sujets sains appariés en âge et en sexe, documentent une atteinte de la composition corporelle à distance de la greffe : ils rapportent une diminution significative de la masse maigre globale chez les patients ($p < 0,001$), témoignant d'une altération persistante de l'état musculaire et nutritionnel. Davis et al. (2020), dans une perspective interventionnelle, se sont intéressés à l'impact d'un programme combiné associant exercices aérobiques et renforcement musculaire, administré en moyenne 8,4 ans après la greffe, à raison de deux à trois séances hebdomadaires de 45 à 60 minutes. La comparaison avant/après intervention montre une amélioration significative de la force musculaire des membres supérieurs et inférieurs dans le groupe intervention, mesurée à l'aide de tests de répétition maximale (1RM ; $p < 0,001$), suggérant que ces déficits musculaires peuvent être, du moins en partie, réversibles grâce à une prise en charge adaptée. Ce résultat constitue un argument important en faveur d'une intervention kinésithérapique structurée à distance de la greffe.

La mobilité fonctionnelle à long terme a été documentée principalement par Nissen et al. (2025), qui objectivent, par rapport aux sujets sains appariés, un ralentissement au « Timed Up and Go » (TUG ; voir Annexe 17 ; $p < 0,0001$) chez les patients greffés, associé à une diminution du périmètre de marche au 6MWT (voir Annexe 10 ; $p < 0,0001$), de la vitesse de marche ($p < 0,0001$), ainsi qu'une diminution significative de 33% de la performance au « 30 secondes sit-to-stand » ($p < 0,0001$), traduisant une altération durable de la capacité fonctionnelle des membres inférieurs.

Sur le plan respiratoire, Öberg et al. (2018) mettent en évidence, par rapport aux sujets sains appariés, des réductions significatives de la capacité pulmonaire totale (CPT), de la capacité de diffusion du monoxyde de carbone (DLCO) et du volume expiratoire maximal par seconde (VEMS) (tous $p < 0,001$). Les auteurs suggèrent que cette atteinte respiratoire pourrait constituer un facteur explicatif majeur de la réduction de la capacité à l'effort observée dans cette population. Concernant la perception de l'effort, aucune différence significative n'est retrouvée pour les indicateurs d'épuisement et de dyspnée ($p > 0,05$), tandis qu'une fatigue des

membres inférieurs significativement moins intense est rapportée chez les patients par rapport aux sujets sains ($p=0,046$), résultat contre-intuitif qui pourrait refléter une adaptation perceptive ou une hyposensibilité à l'effort secondaire au déconditionnement chronique.

4.3.2 Qualité de vie

À long terme, la qualité de vie constitue un enjeu majeur chez les patients pédiatriques, en lien avec les effets secondaires persistants et le déconditionnement. Plusieurs études se sont intéressées à son évolution, en particulier en relation avec la fatigue et le fonctionnement émotionnel.

Concernant la qualité de vie globale, Davis et al. (2020) rapportent à l'aide des questionnaires SD-36 et MMQL (voir Annexe 20) et par comparaison avant/après intervention chez les mêmes patients, une augmentation significative de la qualité de vie six mois après l'initiation du programme d'exercices combinés, ainsi qu'un maintien dans le temps de cet effet ($p<0,005$), suggérant un bénéfice durable de l'intervention structurée. À l'inverse, Vandekerckhove et al. (2019), dans leur étude observationnelle prospective de cas témoins comparant 43 patients HSCT évalués 1 à 10 ans après la greffe à des sujets sains appariés en âge, sexe et taille, montrent un score PedsQL (voir Annexe 14) globalement diminué chez les patients greffés ($p=0,016$), témoignant d'une altération durable du bien-être perçu en l'absence d'intervention dédiée. En revanche, aucune différence significative n'est observée pour le fonctionnement physique, psychosocial et scolaire pris isolément.

Sur le plan de la santé mentale, Vandekerckhove et al. (2019) apportent des éléments spécifiques sur le fonctionnement émotionnel. Les auteurs mettent en évidence une altération significative du fonctionnement émotionnel (PedQL) chez les patients greffés par rapport aux sujets sains ($p=0,001$).

Concernant la perception de l'effort et de la fatigue à long terme, Öberg et al. (2018) apportent des données spécifiques. Aucune différence significative n'est retrouvée sur l'échelle de Borg (voir Annexe 9) concernant l'épuisement et la dyspnée ($p>0,05$) entre patients et contrôles sains. De manière contre-intuitive, la fatigue ressentie au niveau des jambes est significativement plus faible chez les patients greffés que dans le groupe contrôle ($p=0,046$).

5 Discussion

Le présent travail a consisté en une revue narrative de la littérature ayant pour objectif d'évaluer le rôle et l'impact de l'activité physique structurée et de la kinésithérapie sur la condition physique et la qualité de vie des enfants et des adolescents soumis à une HSCT. Les études retenues ont été analysées selon plusieurs fenêtres temporelles, de l'admission à la sortie d'hospitalisation, jusqu'à J+100 et J+200 post-HSCT, puis à long terme, l'objectif étant de se rendre compte des effets de l'exercice aux différentes phases de la prise en charge. Deux constats majeurs émergent de nos résultats. Premièrement, les patients concernés présentent une altération durable et multisystémique de leur condition physique, mesurable plusieurs années après la greffe. Deuxièmement, les programmes d'activité physique ont des effets différenciés selon la phase de la prise en charge : un rôle de protection contre la dégradation de la condition physique durant l'hospitalisation et un gain fonctionnel à partir de la phase ambulatoire ; ces interventions semblent par ailleurs s'accompagner de bénéfices sur la fatigue, la douleur, l'anxiété et la participation scolaire. Enfin, une piste mérite d'être approfondie : l'intensité d'exercice ainsi que le statut physique pré-greffe apparaissent comme deux facteurs modulateurs potentiellement déterminants de l'efficacité de l'intervention, ouvrant des perspectives concrètes pour la prise en charge kinésithérapique de ces patients, en particulier autour du concept de préhabilitation.

Les études analysées convergent vers un constat solide : les survivants d'une HSCT pédiatrique présentent une diminution de leur condition physique, encore présente plusieurs années après la greffe. La capacité cardiorespiratoire maximale est évaluée par le VO_2 peak, ce qui correspond à la quantité maximale d'oxygène que l'organisme est capable d'utiliser lors d'un effort d'intensité progressive et reflète en particulier son endurance aérobie (Strasser, 2018). Elle constitue la composante la plus constamment altérée, et ce de manière sévère (Fridh et al., 2021; Nissen et al., 2025; West et al., 2019). L'ampleur de cette dégradation apparaît particulièrement préoccupante dans la cohorte rapportée par Nissen et al. (2025) dont l'âge médian des participants s'établissait à 30 ans. Le niveau moyen de leur capacité cardiorespiratoire correspondait aux valeurs prédites pour les individus de 60 à 70 ans dans la population générale, témoignant d'un vieillissement physiologique prématuré d'une trentaine d'années. Ce constat est renforcé par le

fait que plus de la moitié des survivants présentaient une $VO_2\text{peak}$ inférieure à 80% de la valeur prédite pour leur âge et leur sexe. Ces chiffres prennent d'autant plus de relief que la $VO_2\text{peak}$ est reconnue comme un prédicteur fort et indépendant de la mortalité, toutes causes confondues, et de la morbidité cardiovasculaire (Strasser, 2018).

À cette altération cardiorespiratoire s'associent une diminution des volumes pulmonaires, objectivée par une capacité pulmonaire totale abaissée, une réduction du VEMS ainsi qu'une altération de la capacité de diffusion pulmonaire (Öberg et al., 2018), une réduction de la force et de la masse musculaire (Den Hartog et al., 2024; Öberg et al., 2018), un ralentissement des tâches de mobilité fonctionnelle (Nissen et al., 2025) et enfin une altération de la qualité de vie, particulièrement marquée dans sa dimension émotionnelle (Vandekerckhove et al., 2019). Ces différences sont objectivées en comparaison à une population saine appariée.

L'ensemble de ces altérations cardiorespiratoires, musculaires, pulmonaires, fonctionnelles et psycho-émotionnelles est évocateur d'un vieillissement physiologique prématuré et d'une fragilité installée dès le début de l'âge adulte (Fridh et al., 2021; Nissen et al., 2025). Ces multiples déficits pourraient entre autres être expliqués par des mécanismes décrits dans notre contexte théorique (cf sections 2.4.3. et 2.6) : toxicité du conditionnement, irradiation corporelle totale, exposition aux glucocorticoïdes associés au traitement de la GVH et alitement prolongé en isolement (Fridh et al., 2021).

Face à ces constats, contrer ce déconditionnement apparaît dès lors comme une priorité clinique. Davis et al. (2020) ont montré qu'un programme combinant aérobie et renforcement, mené à long terme chez des survivants, améliorait la capacité cardiorespiratoire, la force musculaire, l'insulinorésistance et certains domaines de la qualité de vie. Ces résultats suggèrent que ces altérations observées sont, au moins partiellement, réversibles, ce qui ouvre la question centrale du présent travail : sur quels paramètres et à quel moment de la trajectoire de greffe l'activité physique structurée démontre-t-elle des effets mesurables chez l'enfant et l'adolescent et même chez le future adulte en devenir ?

Une première réponse se dessine à travers l'analyse temporelle de nos résultats. Dans le contexte théorique, nous avons décrit les différentes phases que traverse le patient greffé (cf point 2.4.3. à 2.4.5.) (Glogowski et al., 2023; Gonzales et al., 2019;

Lago et al., 2021; Martha et al., 2021; Rossi et al., 2016; Smith et al., 2022) : le conditionnement, la phase d'aplasie, puis la récupération hématologique marquée par la prise de greffe. Nos résultats concernant la condition physique, qu'il s'agisse de l'endurance, de la force musculaire, de la mobilité ou de l'indépendance fonctionnelle, semblent épouser cette temporalité. Entre l'admission et la sortie d'hospitalisation, l'exercice tend à apporter un effet de protection contre la dégradation plutôt qu'un effet d'amélioration : les groupes expérimentaux maintiennent leur niveau d'admission, tandis que les groupes contrôles voient globalement leurs capacités diminuer (Beller et al., 2025; Gonzales et al., 2019; Smith et al., 2022). Cette dynamique protectrice n'est toutefois pas observée de manière homogène à travers la littérature. Smith et al. (2022), rapportent un bénéfice significatif de l'intervention sur la force musculaire évaluée par le MMT (Annexe 11), tandis que Rossi et al. (2022) mettent en évidence une diminution significative au MRC (Annexe 12) dans les deux groupes. Cette divergence pourrait davantage s'expliquer par les choix méthodologiques de chaque étude que par les outils de mesure utilisés : Smith et al. (2022) réalisent une étude randomisée, préservant la comparabilité initiale des groupes et testent l'ensemble des groupes musculaires, incluant les membres supérieurs peu affectés par l'alitement, alors que Rossi et al. (2022) reposent sur une étude non randomisée et ciblent uniquement deux muscles des membres inférieurs particulièrement sensibles au déconditionnement induit par l'alitement prolongé (cf point 2.6).

Au-delà de cette phase et jusqu'à J+100 et J+200, les patients bénéficiant d'un programme d'exercices structuré présentent cette fois un véritable gain fonctionnel (Glogowski et al., 2023; Gonzales et al., 2019; Lago et al., 2021; Martha et al., 2021; Rossi et al., 2016; Smith et al., 2022). Ce modèle en deux temps converge avec les données de la littérature adulte, où l'entraînement régulier en phase hospitalière ne permet pas d'augmenter la performance mais où la perte observée dans les groupes expérimentaux reste strictement inférieure à celle des groupes contrôles (Wiskemann & Huber, 2008).

Le gain fonctionnel observé en phase ambulatoire concernant l'endurance cardiorespiratoire, évaluée par le 6MWT (Annexe 10) mérite cependant d'être nuancé au vu des résultats divergents de deux méta-analyses récentes. Martha et al. (2021), à partir de trois études, ne retrouvent pas d'effet significatif (MD= 44,63; IC95% [-20,86 ; 110,13], p=0,18), alors que Lago et al. (2021), incluant sept études,

objectivent un bénéfice net (MD = 82,84 ; IC95% [49,34 ; 116,35] ; $p < 0,00001$). Cette divergence appelle à introduire un concept-clé : la différence minimale cliniquement importante (MCID), définie comme « le plus petit changement perçu comme pertinent par le patient » (Copay et al., 2007). Aucune MCID n'a été établie pour le 6MWT dans la population pédiatrique post-HSCT. La référence la plus proche est celle d'Hamada et al. (2024), qui rapportent chez l'adulte allogreffé un seuil de pertinence clinique de 37,5m. Ce seuil, dont les qualités méthodologiques restent modestes (sensibilité 54 %, spécificité 88 %) et qui a été établi chez l'adulte, doit être interprété avec prudence. Or, les deux estimations ponctuelles (+82,84m et +44,63m) (cf point 4.2.1.) excèdent largement ce seuil. Chez Lago et al. (2021), la borne inférieure de l'intervalle de confiance (IC = 49,34 m) excède elle-même cette MCID, traduisant un effet à la fois statistiquement et cliniquement pertinent. Chez Martha et al. (2021), en revanche, l'intervalle de confiance (IC = 44,63 m) est trop large pour trancher : il couvre à la fois des effets cliniquement bénéfiques et des effets potentiellement nuls ou négatifs. Cela ne signifie donc pas que l'exercice n'a pas d'effet, mais plutôt qu'il existe une incertitude liée au faible nombre d'études incluses ($n=3$) et à une hétérogénéité élevée entre elles ($I^2 = 83$ % chez Martha et al. contre $I^2 = 0$ % chez Lago et al.). Malgré cette divergence, les deux méta-analyses rapportent des estimations modérément positives et supérieures au MCID, ce qui constitue un signal globalement favorable en faveur d'un effet de l'activité structurée sur l'endurance en phase ambulatoire dans la population pédiatrique post-HSCT.

Cette temporalité nous semble cohérente avec la physiopathologie de la greffe. La fenêtre hospitalière concentre en effet une accumulation de facteurs cataboliques : toxicité du conditionnement, pancytopénie, alitement prolongé et, en cas de complications, mucite, fièvre neutropénique ou recours aux glucocorticoïdes lors d'une GVHD aiguë. Dans ce contexte, l'organisme mobilise vraisemblablement ses ressources pour la survie et la gestion des toxicités plutôt que pour l'adaptation à un stimulus d'entraînement. Dès lors, les stimuli mécaniques de l'exercice ne peuvent probablement pas déclencher les processus anaboliques habituels, ce qui expliquerait pourquoi l'exercice, dans cette fenêtre, ne peut que freiner la dégradation sans générer de gain. Le basculement observé après la sortie coïncide chronologiquement avec la prise de greffe, période durant laquelle la récupération

progressive des cellules hématopoïétiques crée des conditions plus favorables à l'adaptation à l'exercice (cf sections 2.4.3. à 2.4.5 et section 2.6.).

Au-delà de la temporalité, les modalités d'intervention apparaissent également déterminantes. Beller et al. (2025) apportent un résultat éclairant au sujet du genou: la force d'extension du genou n'est préservée qu'à une intensité modérée à élevée (RPE 11-15 sur l'échelle de Borg 6-20 ; Annexe 9) tandis qu'une intensité faible (RPE 6-10 sur l'échelle de Borg 6-20) s'accompagne d'une diminution significative. Ce constat plaide pour une prescription, pour tous les groupes musculaires, d'exercices atteignant un seuil minimal d'intensité, et non pour une simple mobilisation légère, dont l'effet protecteur sur la fonction musculaire apparaît insuffisant. Des recherches complémentaires comparant prospectivement plusieurs niveaux d'intensité apparaissent dès lors nécessaires afin de définir la prescription optimale chez l'enfant greffé et d'orienter la pratique kinésithérapeutique.

Un autre résultat mérite une attention particulière : dans l'étude de Den Hartog et al. (2024), le statut physique pré-greffe apparaît comme un déterminant majeur du statut post-greffe, indépendamment de la dose cumulée de glucocorticoïdes et de la durée d'hospitalisation. Ce résultat s'inscrit dans le principe « better in, better out » (Den Hartog et al., 2024), et plaide en faveur d'une approche de préhabilitation, concept désignant une intervention physique ciblée mise en place avant l'événement médical majeur afin d'y préparer l'organisme. Bien que celle-ci ait déjà montré sa faisabilité et ses effets préliminaires sur la $VO_{2\max}$, sur le lever de chaise en 30 secondes et au 6MWT chez l'adulte avant l'allogreffe (Artese et al., 2023), elle n'a, à notre connaissance, fait l'objet d'aucune évaluation formelle dans la population pédiatrique HSCT.

Au-delà du gain fonctionnel immédiat, la préhabilitation pourrait également représenter un moment privilégié d'éducation thérapeutique, en sensibilisant l'enfant et sa famille à l'importance de l'activité physique dès la période pré-greffe. Cette dimension éducative prend tout son sens chez l'enfant : une étude longitudinale de 21 ans a montré que les enfants et adolescents physiquement actifs tendent à le rester à l'âge adulte, en particulier lorsque cette activité s'inscrit dans la durée (Telama et al., 2005). En instaurant précocement des activités physiques durables chez une population particulièrement exposée au déconditionnement

tardif, une telle approche offrirait un bénéfice potentiellement doublement utile : préparation à la greffe à court terme, promotion d'un mode de vie actif à long terme, susceptible de freiner la trajectoire de fragilité documentée chez l'adulte survivant.

Au-delà de ces effets sur la condition physique, plusieurs dimensions de la qualité de vie méritent également d'être discutées. Les résultats relatifs à la fatigue sont marqués par une aggravation durant la phase hospitalière (Jung et al., 2021, 2024), suivie d'une amélioration progressive après la sortie, plus marquée chez les patients bénéficiant d'une intervention en activité physique (Jung et al., 2024; Rossi et al., 2016; Smith et al., 2022; Yildiz Kabak et al., 2019). L'absence d'effet significatif de l'activité physique dans la phase aiguë peut s'expliquer par le poids prédominant des facteurs médicaux et environnementaux. D'une part, la forte variabilité clinique limite la continuité des séances. D'autre part, les perturbations du sommeil, l'isolement et la diminution des stimulations sociales et cognitives, peu modifiables par l'exercice, majorent la fatigue perçue et peuvent masquer les effets potentiels de l'intervention (Matthews, 2011). À l'inverse, l'amélioration observée après la sortie s'explique par la conjonction de plusieurs facteurs favorables : la diminution progressive de la charge inflammatoire, la récupération, l'amélioration du sommeil et l'allègement des contraintes médicales. Dans ce contexte, la reprise progressive des activités quotidiennes et de l'activité physique permet une amélioration des capacités physiques, notamment, de l'endurance et de la force musculaire. En conséquence, le coût énergétique des activités diminue, celles-ci devenant moins exigeantes pour l'organisme et donc moins fatigantes pour les patients. Cette interprétation est cohérente avec les recommandations formulées principalement chez l'adulte par Robinson et al. (2018), qui préconisent l'activité physique adaptée et progressive comme stratégie non pharmacologique pour la prise en charge de la fatigue chez les patients ayant bénéficié d'une HSCT. Bien que ces recommandations soient établies chez l'adulte, elles suggèrent une approche similaire chez l'enfant et l'adolescent.

Au-delà de la fatigue, ces résultats doivent être mis en perspective avec l'évolution de la douleur, autre composante majeure de l'expérience des patients greffés. Les données disponibles suggèrent que l'activité physique pourrait contribuer à réduire le nombre de jours douloureux ainsi que l'intensité de la douleur (Yildiz Kabak et

al., 2019). Ce résultat doit néanmoins être interprété avec prudence, dans la mesure où cet effet n'est observé que durant la phase d'hospitalisation, sans être retrouvé aux autres moments de l'évaluation, notamment avant l'hospitalisation, après la sortie ou encore à J+200. La diminution de la douleur durant la phase d'hospitalisation suggère l'intervention de plusieurs mécanismes neurophysiologiques lors de la mise en place de l'activité physique. Parmi ceux-ci, « l'hypoalgésie induite par l'exercice » pourrait constituer un mécanisme explicatif. Elle correspond à une diminution transitoire de la perception douloureuse consécutive à un effort, possiblement médiée par l'activation des voies inhibitrices descendantes et la libération de neurotransmetteurs tels que la sérotonine et la noradrénaline conduisant à une réduction de la transmission des signaux nociceptifs (Vaegter & Jones, 2020). Par ailleurs, l'exercice s'accompagne d'une activation plus importante d'endorphines opioïdes endogènes se liant aux récepteurs opioïdes, similaires à ceux ciblés par la morphine ce qui contribue à une diminution de la perception de la douleur (Boecker et al., 2008). Une dimension comportementale est intimement liée à ces mécanismes neurophysiologiques : la réduction de l'appréhension liée au mouvement, qui favorise la rupture du cercle vicieux de la kinésiophobie et permet une reprise progressive de l'activité. (Rice et al., 2019)

Ces mécanismes endorphiniques exercent par ailleurs un effet bénéfique sur l'anxiété, en favorisant une sensation de bien-être, de relaxation et en modulant la réponse au stress. Cet effet anxiolytique pourrait ainsi participer à l'amélioration observée sur le plan émotionnel et contribuer indirectement à une meilleure gestion de la douleur, l'anxiété étant reconnue comme un facteur modifiant la perception douloureuse (Hoeger Bement et al., 2010). Au-delà du système opioïde endogène, l'activité physique pourrait ainsi contribuer à la réduction de l'anxiété via une modulation de l'axe hypothalamo-hypophysaire-surrénalien (HPA), acteur central de la réponse au stress. L'exercice régulier est en effet associé à une diminution de la réactivité de cet axe ainsi qu'à une régulation de la sécrétion des hormones du stress, favorisant une meilleure adaptation aux contraintes physiologiques et psychologiques (Anderson & Shivakumar, 2013).

Dans ce contexte, certaines interventions corps-esprit, telles que le yoga, apparaissent comme des approches particulièrement pertinentes. Des études portant sur la faisabilité d'une séance de yoga en milieu hospitalier pédiatrique ont montré

que sa mise en œuvre est non seulement réalisable, mais également bien acceptée par les enfants, y compris en situation d'hospitalisation (Diorio et al., 2016). Le yoga combine mobilité douce, relaxation et contrôle respiratoire, autant de composantes susceptibles d'agir conjointement sur les mécanismes physiologiques et psychologiques de l'anxiété (Mallaiah et al., 2026). À travers la régulation du souffle et l'attention portée aux sensations corporelles, cette pratique pourrait notamment contribuer à une diminution de l'activation du système du stress (Bentley et al., 2023). Le yoga semble ainsi représenter une intervention pertinente dans la prise en charge de l'anxiété chez les enfants hospitalisés bien que les données scientifiques actuelles restent encore limitées et nécessitent d'être renforcées par des recherches complémentaires.

Ces améliorations sur les plans physique et émotionnel se prolongent également sur le plan social, et plus spécifiquement scolaire. La pratique d'activité physique régulière peut contribuer à une amélioration de l'estime de soi, ce qui pourrait en partie expliquer les bénéfices observés sur le plan de la vie scolaire, notamment en termes de confiance en soi, d'engagement et de participation (Liu et al., 2015). Cela peut se traduire par une meilleure tolérance aux journées scolaires et une participation accrue en classe, comme en témoigne l'amélioration de la sous-échelle « school » du MMQL (voir Annexe 20) après entraînement chez Davis et al. (2020).

Une dernière piste mérite enfin d'être évoquée bien qu'elle reste insuffisamment documentée à ce jour. Plusieurs auteurs (Chamorro-Viña et al., 2017; Lago et al., 2021; Morales et al., 2020) ont conclu qu'une intensité modérée d'exercice favorisait la reconstitution immunitaire après HSCT, alors qu'une intensité trop élevée pourrait à l'inverse représenter un stress pour le système immunitaire (Morales et al., 2020). Les données disponibles demeurent toutefois trop limitées et hétérogènes pour permettre une interprétation fiable, les résultats variant selon les populations, les paramètres immunologiques mesurés et les protocoles utilisés. Des études complémentaires apparaissent dès lors nécessaires pour préciser le rôle de l'activité physique dans la reconstitution immunitaire post-greffe.

Ce travail comporte plusieurs limites devant être considérées pour l'interprétation des résultats. Premièrement, les études incluses présentent des effectifs restreints

ainsi que des protocoles d'étude hétérogènes, allant de l'essai contrôlé randomisé à des études rétrospectives ou non randomisées. Deux études se distinguent par une qualité méthodologique plus faible : Glogowski et al. 2023, uniquement disponible sous forme d'abstract de congrès et présentant un score de PEDro de 4/10 ainsi que Potapchuk et al. 2019, avec un score de 8/28 sur l'échelle de Downs and Black, soit la valeur la plus basse parmi les valeurs non randomisées de cette revue. Ces deux études ont néanmoins été incluses afin d'opposer une synthèse exhaustive et actualisée d'une littérature qui reste à ce jour peu développée en pédiatrie. Enfin, l'absence fréquente d'aveuglement des évaluateurs, à l'exception de Smith et al. (2022), limite le niveau de preuve global.

Deuxièmement, l'importante hétérogénéité des populations (âges, pathologies, régimes de conditionnement), des protocoles d'intervention et des outils d'évaluation rend toute synthèse quantitative impossible, d'autant que plusieurs facteurs confondants potentiels (activité physique habituelle, statut nutritionnel, niveau socio-économique, traitements concomitants) sont rarement renseignés. Cette hétérogénéité est particulièrement marquée concernant le type de greffe : la majorité des études concernent uniquement les patients allogreffés ou regroupent indistinctement allogreffes et autogreffes, sans analyse spécifique selon le type de transplantation. À notre connaissance, aucune étude ne s'intéresse exclusivement à la population pédiatrique autogreffée. Or, les différences majeures entre autogreffe et allogreffe, notamment en termes de toxicité du conditionnement, de complications immunologiques et de GVHD, pourraient influencer la tolérance et les effets de l'activité physique.

Enfin, ce travail constitue une revue narrative et non systématique. Bien que la sélection des articles ait été menée en double lecture indépendante par les deux auteures, la restriction de la recherche aux bases PubMed et Embase et aux articles publiés en français ou en anglais entre 2016 et 2025 n'exclut pas un biais de publication. Par ailleurs certaines pistes prometteuses (effet antalgique, reconstitution immunitaire, préhabilitation pédiatrique) reposent sur une littérature très limitée et doivent être interprétées comme des hypothèses de recherche.

Malgré ces limites, les convergences observées entre les études incluses dessinent des pistes claires pour la pratique clinique et la recherche future.

6 Conclusion

L'objectif de ce travail était de réaliser une revue de la littérature afin d'évaluer les effets de l'activité physique structurée sur la condition physique et la qualité de vie des enfants et adolescents recevant une greffe de cellules souches hématopoïétiques (HSCT), ainsi que la place de la kinésithérapie dans cette prise en charge. L'analyse qui a été réalisée selon une approche temporelle allant de l'admission à la phase tardive post-greffe, a permis de dégager deux constats majeurs et une piste à approfondir.

Premièrement, la HSCT s'accompagne d'un déconditionnement physique précoce, multidimensionnel et durable, affectant la capacité cardiorespiratoire, la fonction musculaire, la mobilité fonctionnelle ainsi que plusieurs dimensions de la qualité de vie. Ces altérations peuvent persister plusieurs années après la greffe et sont évocatrices d'un vieillissement physiologique prématuré dès le début de l'âge adulte.

Deuxièmement, les effets de l'activité physique apparaissent différenciés selon la phase de prise en charge. Durant l'hospitalisation, l'exercice joue principalement un rôle protecteur en limitant le déclin des capacités physiques, sans entraîner d'amélioration significative à court terme. Lors de la phase ambulatoire, il permet un véritable gain fonctionnel, accompagné de bénéfices sur la qualité de vie, la douleur, l'anxiété et la participation scolaire. À long terme, ces déficits semblent partiellement réversibles grâce à des programmes adaptés.

Par ailleurs, le statut physique pré-greffe ainsi que l'intensité des exercices de kinésithérapie prescrits tout au long du processus de la greffe sont des pistes à approfondir. En effet, elles semblent être deux facteurs modulateurs déterminants, qui plaident en faveur d'une prise en charge précoce, voire d'une approche de préhabilitation jusqu'ici peu explorée en pédiatrie.

Ces résultats doivent toutefois être interprétés avec prudence, en raison de la qualité méthodologique variable des études incluses, de leurs effectifs souvent restreints, de l'hétérogénéité des protocoles et des outils d'évaluation, ainsi que du caractère narratif de notre revue.

Malgré ces limites, un message central se dégage : l'inactivité physique doit être évitée à toutes les phases de la trajectoire de greffe, et la kinésithérapie a toute sa place dans la prise en charge interdisciplinaire de l'enfant greffé. Les recherches futures devraient en priorité produire des essais contrôlés randomisés méthodologiquement robustes, avec un suivi prolongé et une standardisation des protocoles et des outils d'évaluation. Les pistes suivantes méritent d'être approfondies : la définition précise des modalités optimales d'exercice à savoir fréquence hebdomadaire, intensité précise, type (aérobie, renforcement musculaire, ou approche combinée) et le volume nécessaire à l'obtention d'un gain fonctionnel. À cela s'ajoutent la préhabilitation pédiatrique, le rôle de l'activité physique dans la reconstitution immunitaire post-greffe ainsi que l'apport d'approches corps-esprit telles que le yoga. Ces clarifications sont essentielles pour permettre aux kinésithérapeutes de prescrire des programmes individualisés et fondés.

En conclusion, l'activité physique constitue une stratégie prometteuse pour limiter les conséquences de la HSCT pédiatrique et améliorer la trajectoire de récupération de ces patients. Ce travail souligne la place centrale que pourrait occuper le kinésithérapeute dans cette prise en charge, depuis la phase pré-greffe jusqu'au suivi à long terme, et ouvre la voie à de nouvelles perspectives de recherche et d'application clinique.

7 **Bibliographie**

- A. Rad & M. Häggström. (2009). *Hematopoiesis* [Image].
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7351905>
- American Physical Therapy Association. (2001). Guide to Physical Therapist Practice. Second Edition. American Physical Therapy Association. *Physical Therapy*, 81(1), 9-746.
- Anderson, E., & Shivakumar, G. (2013). Effects of Exercise and Physical Activity on Anxiety. *Frontiers in Psychiatry*, 4.
<https://doi.org/10.3389/fpsy.2013.00027>
- Artese, A. L., Winthrop, H. M., Bohannon, L., Lew, M. V., Johnson, E., MacDonald, G., Ren, Y., Pastva, A. M., Hall, K. S., Wischmeyer, P. E., Macleod, D., Molinger, J., Barth, S., Jung, S.-H., Cohen, H. J., Bartlett, D. B., & Sung, A. D. (2023). A pilot study to assess the feasibility of a remotely monitored high-intensity interval training program prior to allogeneic hematopoietic stem cell transplantation. *PLOS ONE*, 18(11), e0293171.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293171>
- Bader, P., Kreyenberg, H., & Bacigalupo, A. (2024). Documentation of Engraftment and Chimerism After HCT. In A. Sureda, S. Corbacioglu, R. Greco, N. Kröger, & E. Carreras (Éds.), *The EBMT Handbook* (p. 183-188). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44080-9_21
- Baethge, C., Goldbeck-Wood, S., & Mertens, S. (2019). SANRA—a scale for the quality assessment of narrative review articles. *Research Integrity and Peer Review*, 4(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s41073-019-0064-8>

- Balassa, K., Danby, R., & Rocha, V. (2019). Haematopoietic stem cell transplants : Principles and indications. *British Journal of Hospital Medicine*, 80(1), 33-39. <https://doi.org/10.12968/hmed.2019.80.1.33>
- Barđi, G., Bošnjak Güçlü, M., & Türköz Sucak, A. G. (2019). Differences in pulmonary and extra-pulmonary characteristics in severely versus non-severely fatigued recipients of allogeneic hematopoietic stem cell transplantation : A cross-sectional, comparative study. *Hematology (Amsterdam, Netherlands)*, 24(1), 112-122. <https://doi.org/10.1080/10245332.2018.1526441>
- Beller, R., Bennstein, S. B., Reinhardt, D., Gauß, G., Chamorra Vina, C., Hanenberg, H., Uhrberg, M., & Götte, M. (2025). Effects of a Low Versus Moderate–High Intense Exercise Program on Innate Immune Recovery, Fitness, and Quality of Life During Pediatric Allo-HSCT—The ANIMAL Exploratory Randomized Controlled Trial. *Pediatric Blood & Cancer*, 72(8), e31826. <https://doi.org/10.1002/pbc.31826>
- Benavent-Caballer, Vicent. (2015). *Schematic illustration of the 6-minute Walk Test* [Image]. <https://www.researchgate.net/profile/Vicent-Benavent-Caballer/publication/315698817/figure/fig8/AS:668655109025799@1536431209695/Schematic-illustration-of-the-6-minute-Walk-Test.jpg>
- Bentley, T. G. K., D’Andrea-Penna, G., Rakic, M., Arce, N., LaFaille, M., Berman, R., Cooley, K., & Sprimont, P. (2023). Breathing Practices for Stress and Anxiety Reduction : Conceptual Framework of Implementation Guidelines Based on a Systematic Review of the Published Literature. *Brain Sciences*, 13(12), 1612. <https://doi.org/10.3390/brainsci13121612>
- Bhatia, S., Jenney, M. E. M., Wu, E., Bogue, M. K., Rockwood, T. H., Feusner, J. H., Friedman, D. L., Robison, L. L., & Kane, R. L. (2004). The

- Minneapolis-Manchester quality of life instrument : Reliability and validity of the youth form. *The Journal of Pediatrics*, 145(1), 39-46.
<https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2004.02.034>
- Boecker, H., Sprenger, T., Spilker, M. E., Henriksen, G., Koppenhoefer, M., Wagner, K. J., Valet, M., Berthele, A., & Tolle, T. R. (2008). The Runner's High : Opioidergic Mechanisms in the Human Brain. *Cerebral Cortex*, 18(11), 2523-2531. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn013>
- Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14(5), 377-381.
<https://doi.org/10.1249/00005768-198205000-00012>
- Bower, J. E. (2014). Cancer-related fatigue—Mechanisms, risk factors, and treatments. *Nature Reviews Clinical Oncology*, 11(10), 597-609.
<https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2014.127>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2017). *Assessment Timed Up & Go (TUG)*. <https://www.cdc.gov/steady>
- Chamorro-Viña, C., Valentín, J., Fernández, L., González-Vicent, M., Pérez-Ruiz, M., Lucía, A., Culos-Reed, S. N., Díaz, M. Á., & Pérez-Martínez, A. (2017). Influence of a Moderate-Intensity Exercise Program on Early NK Cell Immune Recovery in Pediatric Patients After Reduced-Intensity Hematopoietic Stem Cell Transplantation. *Integrative Cancer Therapies*, 16(4), 464-472. <https://doi.org/10.1177/1534735416679515>
- Chiravuri, S., & De Jesus, O. (2025). *Pancytopenia*. StatPearls Publishing.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK563146/>
- Copay, A. G., Subach, B. R., Glassman, S. D., Polly, D. W., & Schuler, T. C. (2007). Understanding the minimum clinically important difference : A review of

- concepts and methods. *The Spine Journal*, 7(5), 541-546.
<https://doi.org/10.1016/j.spinee.2007.01.008>
- Copelan, E. A. (2006). Hematopoietic Stem-Cell Transplantation. *New England Journal of Medicine*, 354(17), 1813-1826.
<https://doi.org/10.1056/NEJMra052638>
- Davis, N. L., Tolfrey, K., Jenney, M., Elson, R., Stewart, C., Moss, A. D., Cornish, J. M., Stevens, M. C. G., & Crowne, E. C. (2020). Combined resistance and aerobic exercise intervention improves fitness, insulin resistance and quality of life in survivors of childhood haemopoietic stem cell transplantation with total body irradiation. *Pediatric Blood & Cancer*, 67(12), e28687.
<https://doi.org/10.1002/pbc.28687>
- Den Hartog, E., Lindemans, C. A., Fiocco, M., Tissing, W. J. E., & Verwaaijen, E. J. (2024). Physical performance before and after hematopoietic stem cell transplantation in pediatric patients : A potential role for prehabilitation. *Bone Marrow Transplantation*, 59(11), 1499-1505.
<https://doi.org/10.1038/s41409-024-02390-4>
- Dictionnaire de l'Académie nationale de médecine*. (2026, mai 9).
<https://www.academie-medecine.fr/le-dictionnaire/index.php>
- Diorio, C., Celis Ekstrand, A., Hesser, T., O'Sullivan, C., Lee, M., Schechter, T., & Sung, L. (2016). Development of an Individualized Yoga Intervention to Address Fatigue in Hospitalized Children Undergoing Intensive Chemotherapy. *Integrative Cancer Therapies*, 15(3), 279-284.
<https://doi.org/10.1177/1534735416630806>
- Doulatov, S., Notta, F., Laurenti, E., & Dick, J. E. (2012). Hematopoiesis : A Human Perspective. *Cell Stem Cell*, 10(2), 120-136.
<https://doi.org/10.1016/j.stem.2012.01.006>

- Downs, S., & Black, N. (1998, juin). The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 377-384. <https://doi.org/10.1136/jech.52.6.377>
- Eichhorn, S., Rudin, L., Ramasamy, C., Varsani, R., Padhi, P., Nassour, N., Meleveedu, K., Epstein, J. B., Semegran, B., Pili, R., & Satheeshkumar, P. S. (2025). Elevated Likelihood of Infectious Complications Related to Oral Mucositis After Hematopoietic Stem Cell Transplantation : A Systematic Review and Meta-Analysis of Outcomes and Risk Factors. *Cancers*, 17(16), 2657. <https://doi.org/10.3390/cancers17162657>
- Ferrara, J. L., Levine, J. E., Reddy, P., & Holler, E. (2009). Graft-versus-host disease. *The Lancet*, 373(9674), 1550-1561. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)60237-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60237-3)
- Fridh, M. K., Simonsen, C., Schmidt-Andersen, P., Nissen, A. A., Christensen, J. F., Larsen, A., Mackey, A. L., Larsen, H. B., & Müller, K. (2021). Cardiorespiratory fitness and physical performance after childhood hematopoietic stem cell transplantation : A systematic review and meta-analysis. *Bone Marrow Transplantation*, 56(9), 2063-2078. <https://doi.org/10.1038/s41409-021-01370-2>
- Glogowski, P., Thérond, L., Giebler, T., Thiel, S., Xemaire, J. S., Seitz, C. M., Schulte, J., Lang, P., Handgretinger, R., Cabanillas Stanchi, K. M., & Döring, M. (2023). Impact of a Trampoline-Based Exercise Program on Strength and Endurance in Pediatric Stem Cell Transplant Patients. *Blood*, 142(Supplement 1), 3797-3797. <https://doi.org/10.1182/blood-2023-179201>

- Gonzales, A., Gates, E., Bhunia, N., Mehvar, L., Hashem, H., Stanek, J. R., Krebs, B., & Auletta, J. J. (2019). Transplant Energize Me Patient Outcome (TEMPO): A Quality Improvement Project that Maintains Functional Mobility in Pediatric Patients Admitted for Allogeneic Hematopoietic Cell Transplantation. *Biology of Blood and Marrow Transplantation : Journal of the American Society for Blood and Marrow Transplantation*, 25(9), 1779-1785. <https://doi.org/10.1016/j.bbmt.2019.05.004>
- Granat, L. M., Ondeck, M., Osantowski, B., Sheu, M., Ganesan, V., Rotz, S., & Hamilton, B. K. (2023). Late complications after allogeneic hematopoietic cell transplant : What primary care physicians can do. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 90(8), 499-508. <https://doi.org/10.3949/ccjm.90a.23006>
- Gyurkocza, B., & Sandmaier, B. M. (2014). Conditioning regimens for hematopoietic cell transplantation : One size does not fit all. *Blood*, 124(3), 344-353. <https://doi.org/10.1182/blood-2014-02-514778>
- Hacker, E. D., Fink, A. M., Peters, T., Park, C., Fantuzzi, G., & Rondelli, D. (2017). Persistent Fatigue in Hematopoietic Stem Cell Transplantation Survivors. *Cancer Nursing*, 40(3), 174-183. <https://doi.org/10.1097/NCC.0000000000000405>
- Hoeger Bement, M., Weyer, A., Keller, M., Harkins, A. L., & Hunter, S. K. (2010). Anxiety and stress can predict pain perception following a cognitive stress. *Physiology & Behavior*, 101(1), 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2010.04.021>
- Jung, M. W., Schubert, P., Stephenson, A., & Bader, P. (2024). Effects of a structured exercise therapy on health-related quality of life in pediatric stem

- cell transplantation. *Physiotherapy Quarterly*, 32(3), 29-39.
<https://doi.org/10.5114/pq/174936>
- Jung, M. W., Wallek, S., Senn-Malashonak, A., Schubert, P., Siegler, K.,
 Rosenhagen, A., Banzer, W., & Bader, P. (2021). Effects of a structured
 exercise therapy on cancer-related fatigue during and after paediatric stem
 cell transplantation : A randomized controlled trial. *Physiotherapy
 Quarterly*, 29(3), 76-85. Embase. <https://doi.org/10.5114/pq.2021.107847>
- Khaddour, K., Hana, C. K., & Prerna, Mewawalla. (2023). Hematopoietic Stem
 Cell Transplantation. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. NCBI Bookshelf
 (NBK536951). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK536951/>
- Koniarczyk, H. L., Ferraro, C., & Miceli, T. (2017). Hematopoietic Stem Cell
 Transplantation for Multiple Myeloma. *Seminars in Oncology Nursing*,
 33(3), 265-278. <https://doi.org/10.1016/j.soncn.2017.05.004>
- La vitesse de marche à un pied, volet 1 : A quelle vitesse devrais-je traverser la rue
 en toute sécurité ? Les faits saillants sur la vitesse de marche.* (2014, juillet
 21). McMaster Vieillissement Optimal.
[https://www.mcmastervieillissementoptimal.org/blog/detail/blog/2014/07/
 21/la-vitesse-de-marche-%C3%A0-pied-volet-1-%C3%A0-quelle-vitesse-
 devrais-je-traverser-la-rue-en-toute-s%C3%A9curit%C3%A9-les-faits-
 saillants-sur-la-vitesse-de-marche](https://www.mcmastervieillissementoptimal.org/blog/detail/blog/2014/07/21/la-vitesse-de-marche-%C3%A0-pied-volet-1-%C3%A0-quelle-vitesse-devrais-je-traverser-la-rue-en-toute-s%C3%A9curit%C3%A9-les-faits-saillants-sur-la-vitesse-de-marche)
- Lago, A. S. D. D., Zaffarani, C., Mendonça, J. F. B., Moran, C. A., Costa, D., &
 Gomes, E. L. D. F. D. (2021). Effects of physical exercise for children and
 adolescents undergoing hematopoietic stem cell transplantation : A
 systematic review and meta-analysis. *Hematology, Transfusion and Cell
 Therapy*, 43(3), 313-323. <https://doi.org/10.1016/j.htct.2020.07.013>

- Liu, M., Wu, L., & Ming, Q. (2015). How Does Physical Activity Intervention Improve Self-Esteem and Self-Concept in Children and Adolescents? Evidence from a Meta-Analysis. *PLOS ONE*, 10(8), e0134804. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134804>
- Mallaiah, S., Majumdar, V., Mama, S. K., Olson, A. L., Daher, M., Badgare, Y., Kolar Srinivasrao, N., Rwezaula, S., Muhoka, P., Rao, R., Jadav, S., Wagner, R., Wilson, A., Nandi Krishnamurthy, M., & Cohen, L. (2026). Adapting Yoga Therapy to Meet the Needs of Inpatients Undergoing Hematopoietic Stem Cell Transplantation: Insights From an International, Multisite, Qualitative Study. *JCO Global Oncology*, 12(3), e2500567. <https://doi.org/10.1200/GO-25-00567>
- Martha, B. A., Vacchi, C. D. O., Fattori, R. A., & Macagnan, F. E. (2021). Effect of physical exercise on the functional capacity of children and adolescents submitted to transplantation of hematopoietic stem cells—A systematic review with meta-analysis. *Journal of Child Health Care*, 25(1), 18-30. <https://doi.org/10.1177/1367493520903626>
- Matthews, E. E. (2011). Sleep Disturbances and Fatigue in Critically Ill Patients. *AACN Advanced Critical Care*, 22(3), 204-224. <https://doi.org/10.4037/NCI.0b013e31822052cb>
- Maurer, K., & Antin, J. H. (2024). The graft versus leukemia effect: Donor lymphocyte infusions and cellular therapy. *Frontiers in Immunology*, 15, 1328858. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1328858>
- Medical Research Council. (s. d.). *Aids to the Examination of the Peripheral Nervous System* (Her Majesty's Stationery Office). (Édition originale 1976)
- Morales, J. S., González Vicent, M., Valenzuela, P. L., Castillo-García, A., Santana-Sosa, E., Lassaletta, A., Santos-Lozano, A., Fiuza-Luces, C., & Lucia, A.

- (2020). Tailored Exercise during Hematopoietic Stem Cell Transplantation Hospitalization in Children with Cancer : A Prospective Cohort Study. *Cancers*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/cancers12103020>
- Morishita, S., Kaida, K., Tanaka, T., Itani, Y., Ikegame, K., Okada, M., Ishii, S., Kodama, N., Ogawa, H., & Domen, K. (2012). Prevalence of sarcopenia and relevance of body composition, physiological function, fatigue, and health-related quality of life in patients before allogeneic hematopoietic stem cell transplantation. *Supportive Care in Cancer*, 20(12), 3161-3168. <https://doi.org/10.1007/s00520-012-1460-5>
- Msall, M. E., DiGaudio, K., Rogers, B. T., LaForest, S., Catanzaro, N. L., Campbell, J., Wilczenski, F., & Duffy, L. C. (1994). The Functional Independence Measure for Children (WeeFIM). Conceptual basis and pilot use in children with developmental disabilities. *Clinical Pediatrics*, 33(7), 421-430. <https://doi.org/10.1177/000992289403300708>
- Murao, M., Kondo, T., Hamada, R., Miyasaka, J., Matsushita, M., Otagaki, A., Kajimoto, T., Arai, Y., Kanda, J., Nankaku, M., Ikeguchi, R., Takaori-Kondo, A., & Matsuda, S. (2024). Minimal important difference of the 6-minute walk test after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation. *Disability and Rehabilitation*, 46(15), 3449-3456. <https://doi.org/10.1080/09638288.2023.2246013>
- Nissen, A., Gerbek, T., Fogelstrøm, K., Schmidt-Andersen, P., Sørensen, K., Mackey, A. L., Fridh, M. K., & Müller, K. (2025). Cardiorespiratory Fitness, Physical Performance and Metabolic Syndrome in Adult Survivors of Paediatric Haematopoietic Stem Cell Transplantation. *Pediatric Blood and Cancer*, 72(6). Embase. <https://doi.org/10.1002/pbc.31684>

- Öberg, A., Genberg, M., Malinovschi, A., Hedenström, H., & Frisk, P. (2018). Exercise capacity in young adults after hematopoietic cell transplantation in childhood. *American Journal of Transplantation : Official Journal of the American Society of Transplantation and the American Society of Transplant Surgeons*, 18(2), 417-423. <https://doi.org/10.1111/ajt.14456>
- Passweg, J. R., Baldomero, H., Atlija, M., Kleovoulou, I., Witaszek, A., Alexander, T., Angelucci, E., Averbuch, D., Bazarbachi, A., Ciceri, F., Greco, R., Hazenberg, M. D., Kalwak, K., McLornan, D. P., Neven, B., Perić, Z., Risitano, A. M., Ruggeri, A., Sánchez-Ortega, I., ... Sureda, A. (2025). The 2023 EBMT report on hematopoietic cell transplantation and cellular therapies. Increased use of allogeneic HCT for myeloid malignancies and of CAR-T at the expense of autologous HCT. *Bone Marrow Transplantation*, 60(4), 519-528. <https://doi.org/10.1038/s41409-025-02524-2>
- PDQ Pediatric Treatment Editorial Board. (2024). Complications, Graft-Versus-Host Disease, and Late Effects After Pediatric Hematopoietic Stem Cell Transplant (PDQ®): Health Professional Version. In *PDQ Cancer Information Summaries* (National Cancer Institute (US)). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK577669/>
- Potapchuk, A. A., Volkova, Alisa G., Terentiev, Fedor V., Terentieva, Irina G., Zubarovskaya, Ludmila S., Afanasyev, Boris V., Potapchuk, A. A., Raisa Gorbacheva Memorial Research Institute of Pediatric Oncology, Hematology and Transplantation, Pavlov University, St. Petersburg, Russia, Volkova, A. G., National State P. F. Lesgaft University of Physical Culture, Sports and Health, St. Petersburg, Russia, Terentiev, F. V., Terentieva, I. G., Zubarovskaya, L. S., & Afanasyev, B. V. (2019). Effects of motor exercises upon life quality of adolescents subjected to hematopoietic stem cell

- transplantation. *Cellular Therapy and Transplantation*, 8(4), 62-67.
<https://doi.org/10.18620/ctt-1866-8836-2019-8-4-62-67>
- PROMIS Health Organization, & PROMIS Cooperative Group. (2008). *PROMIS Global Health Scale V1.0/1.1*. PROMIS Health Organization.
- Ravens-Sieber, U., & Bullinger, M. (2000). *KINDL Questionnaire*. University Medical Center Hamburg-Eppendorf. <https://youthrex.com/wp-content/uploads/2019/10/KINDL.pdf>
- Ribatti, D., & d'Amati, A. (2023). Hematopoiesis and Mast Cell Development. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), 10679.
<https://doi.org/10.3390/ijms241310679>
- Rice, D., Nijs, J., Kosek, E., Wideman, T., Hasenbring, M. I., Koltyn, K., Graven-Nielsen, T., & Polli, A. (2019). Exercise-Induced Hypoalgesia in Pain-Free and Chronic Pain Populations : State of the Art and Future Directions. *The Journal of Pain*, 20(11), 1249-1266.
<https://doi.org/10.1016/j.jpain.2019.03.005>
- Robinson, P. D., Oberoi, S., Tomlinson, D., Duong, N., Davis, H., Cataudella, D., Culos-Reed, N., Gibson, F., Götte, M., Hinds, P., Nijhof, S. L., van der Torre, P., Cabral, S., Dupuis, L. L., & Sung, L. (2018). Management of fatigue in children and adolescents with cancer and in paediatric recipients of haemopoietic stem-cell transplants : A clinical practice guideline. *The Lancet Child and Adolescent Health*, 2(5), 371-378. Embase.
[https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(18\)30059-2](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(18)30059-2)
- Rossi, F., Coppo, M., Zucchetti, G., Bazzano, D., Ricci, F., Vassallo, E., Nesi, F., & Fagioli, F. (2016). Rehabilitative intervention during and after pediatric hematopoietic stem cell transplantation : An analysis of the existing

- literature. *Pediatric Blood & Cancer*, 63(11), 1895-1904.
<https://doi.org/10.1002/pbc.26114>
- Rossi, F., Zucchetti, G., Esposito, M., Berchialla, P., Sciannameo, V., Vassallo, E., Saglio, F., Chamorro Viña, C., Scarrone, S., Vittorini, R., & Fagioli, F. (2022). Rehabilitation in children and adolescents undergoing stem cell transplantation : A pilot study focused on motor performance. *European Journal of Cancer Care*, 31(6), e13711. <https://doi.org/10.1111/ecc.13711>
- Sato, A. Y., Peacock, M., & Bellido, T. (2018). Glucocorticoid Excess in Bone and Muscle. *Clinical Reviews in Bone and Mineral Metabolism*, 16(1), 33-47.
<https://doi.org/10.1007/s12018-018-9242-3>
- Shimoni, A., Radici, V., & Nagler, A. (2024). *Conditioning* (A. Sureda, S. Corbacioglu, R. Greco, N. Kröger, & E. Carreras, Éds.; 8th éd.). Springer.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK608297/>
- Smith, C., Farhat, R., Fern-Buneo, A., Purrington, H., Cobb, E., Matson, L., Kang, P., Beebe, K., Campbell, C., Schwalbach, C., Salzberg, D., Miller, H., Adams, R., & Ngwube, A. (2022). Effects of an exercise program during pediatric stem cell transplantation : A randomized controlled trial. *Pediatric Blood & Cancer*, 69(5), e29618. <https://doi.org/10.1002/pbc.29618>
- Stephens, R. Scott. (2019). ICU Complications of Hematopoietic Stem Cell Transplant, Including Graft vs Host Disease. In *Evidence-Based Critical Care* (Hyzy, Robert C. McSparron, Jakob, p. 599-609). Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26710-0_80
- Strasser, B. (2018). Survival of the fittest VO sub 2 sub max a key predictor of longevity. *Frontiers in Bioscience*, 23(8), 1505-1516.
<https://doi.org/10.2741/4657>

- Tecchio, C., & Cassatella, M. A. (2021). Uncovering the multifaceted roles played by neutrophils in allogeneic hematopoietic stem cell transplantation. *Cellular & Molecular Immunology*, 18(4), 905-918. <https://doi.org/10.1038/s41423-020-00581-9>
- Telama, R., Yang, X., Viikari, J., Välimäki, I., Wanne, O., & Raitakari, O. (2005). Physical activity from childhood to adulthood. *American Journal of Preventive Medicine*, 28(3), 267-273. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2004.12.003>
- Tiercy, J.-M. (2016). How to select the best available related or unrelated donor of hematopoietic stem cells? *Haematologica*, 101(6), 680-687. <https://doi.org/10.3324/haematol.2015.141119>
- Vaegter, H. B., & Jones, M. D. (2020). Exercise-induced hypoalgesia after acute and regular exercise : Experimental and clinical manifestations and possible mechanisms in individuals with and without pain. *PAIN Reports*, 5(5), e823. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000000823>
- Vandekerckhove, K., De Waele, K., Minne, A., Coomans, I., De Groote, K., Panzer, J., Dhooge, C., Bordon, V., De Wolf, D., & Boone, J. (2019). Evaluation of cardiopulmonary exercise testing, heart function, and quality of life in children after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation. *Pediatric Blood & Cancer*, 66(1), e27499. <https://doi.org/10.1002/pbc.27499>
- Varni, J. W. (1998). *PedsQL : Pediatric Quality of Life Inventory Version 4.0* [Questionnaire]. Mapi Research Trust.
- West, S. L., White, G., Caterini, J. E., Rayner, T., Schechter, T., Nathan, P. C., & Wells, G. D. (2019). Skeletal Muscle Dysfunction and Exercise Intolerance in Children Treated with Haematopoietic Stem Cell Transplant-A Pilot

- Feasibility Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph16091608>
- Wiskemann, J., & Huber, G. (2008). Physical exercise as adjuvant therapy for patients undergoing hematopoietic stem cell transplantation. *Bone Marrow Transplantation*, 41(4), 321-329. <https://doi.org/10.1038/sj.bmt.1705917>
- wong-Baker FACES foundation. (1983). *Wong-Baker Faces Pain Rating Scale*. <https://wongbakerfaces.org/>
- Wynn, R., Nataraj, R., Nadaf, R., Poulton, K., & Logan, A. (2022). Strategies for Success With Umbilical Cord Haematopoietic Stem Cell Transplantation in Children With Malignant and Non-Malignant Disease Indications. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 10, 836594. <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.836594>
- Yildiz Kabak, V., Cetinkaya, D. U., Kuskonmaz, B., Cetin, N., & Duger, T. (2019). Effects of multimodal exercise on clinical status and patient-reported outcomes in children undergoing hematopoietic stem cell transplantation. *Pediatric Hematology and Oncology*, 36(7), 410-421. Embase. <https://doi.org/10.1080/08880018.2019.1648619>
- Zeiser, R., & Blazar, B. R. (2017). Acute Graft-versus-Host Disease—Biologic Process, Prevention, and Therapy. *New England Journal of Medicine*, 377(22), 2167-2179. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1609337>

8 Annexes

Annexe 1 : Glossaire des termes	65
Annexe 2 : Abréviations utilisées	67
Annexe 3 : Échelle SANRA	69
Annexe 4 : Critères PICOS	71
Annexe 5 : Équations de recherches	72
Annexe 6 : Échelle PEDro	73
Annexe 7 : Échelle Downs and Black	76
Annexe 8 : Tableau des résultats	79
Annexe 9 : Échelle de Borg	86
Annexe 10 : 6MWT	86
Annexe 11 : MMT	87
Annexe 12 : MRC	88
Annexe 13 : WeeFIM	89
Annexe 14 : PedsQL	90
Annexe 15 : PROMIS	91
Annexe 16 : Wong Baker Faces Pain Rating Scale	93
Annexe 17 : Timed Up & Go	94
Annexe 18 : KINDL	95
Annexe 19: 10 Meter Walk Test	97
Annexe 20 : MMQL	97

Annexe 1 : Glossaire des termes

Cytaphérèse	Prélèvement sanguin sélectif d'un seul type d'élément cellulaire, les autres éléments étant restitués au donneur.
Hématopoïèse	Processus physiologique assurant le renouvellement continu et régulé des cellules sanguines.
Hémopathies myéloïdes	Ensemble des maladies du sang touchant la lignée myéloïde, c'est-à-dire les cellules à l'origine des globules rouges, de certaines cellules immunitaires et des plaquettes.
Leucémies aiguë myéloïde (LAM)	Prolifération clonale anarchique des précurseurs hématopoïétiques immatures issus des lignées myéloïdes médullaires (granulocytes, monocytes, érythrocytes,...).
Leucémie lymphoblastique aiguë (LLA)	Prolifération anarchique des lymphoblastes immatures, elle peut être d'origine lymphoïde B ou T.
Leucémie myéloïde chronique	Cancer du sang lié à une anomalie génétique, responsable d'une prolifération excessive de cellules myéloïdes.
Neutropénie	Diminution du nombre de polynucléaires neutrophiles dans le sang en dessous de $1500/\text{mm}^3$, elle peut être liée à une diminution de leur production par la moelle osseuse, une destruction excessive ou une anomalie de leur répartition dans l'organisme.
Pancytopenie	Diminution simultanée des trois lignes cellulaires sanguines dans le sang périphérique : les globules rouges, les globules blancs et les plaquettes. Combinant une anémie, une thrombopénie et une neutropénie.

Prélèvement médullaire Procédure par laquelle des cellules souches hématopoïétiques sont recueillies directement à partir de la moelle osseuse.

Syndromes myélodysplasiques (SMD) Ensemble de maladies hématologiques caractérisées par une production inefficace et anormale des cellules sanguines dans la moelle osseuse

Syndromes myéloprolifératifs (SMP) Maladies hématologiques clonales caractérisées par une production excessive de cellules sanguines matures de la moelle osseuse

Toutes ces définitions ont été tirées du dictionnaire de l'Académie nationale de médecine (2026).

Annexe 2 : Abréviations utilisées

Allo-HSCT	Allogenic Hematopoietic Stem Cell Transplantation (en français : allogreffe de cellules souches hématopoïétiques).
Auto-HSCT	Autologous Hematopoietic Stem Cell Transplantation (en français : greffe de cellules souches hématopoïétiques autologues).
ASMM	Masse musculaire squelettique appendiculaire, représente la somme de la masse musculaire des bras et des jambes.
DLco %	Pourcentage de la capacité de diffusion pulmonaire prédite pour le monoxyde de carbone.
ECR	Essai contrôlé randomisé.
FC (bpm)	Fréquence cardiaque.
FMS	Functional Mobility Score, mesure fonctionnelle de 4 compétences.
GMFM-ALL	Gross Motor Function Measure-Acute Lymphoblastic Leukemia Scale (en français : échelle de mesure de la fonction motrice globale adaptée à la leucémie aiguë lymphoblastique).
HGS	Hand Grip Strength (en français : force de préhension de la main), mesurée par le dynamomètre JAMAR.
KES	Capteur de force à jauge de contrainte, utilisée pour mesurer, notamment, la force maximale isométrique d'extension de genou.
MMQL	Minneapolis-Manchester Quality of Life Instrument (en français : questionnaire de qualité de vie de Minneapolis-Manchester).

RCT	Randomised (en français : essai contrôlé randomisé, ECR).	Controlled	Trial
SF-36	36 Item Short Form Health Survey (en français : questionnaire abrégé sur la santé en 36 items).		
TRF	Time to Rise from the floor (en français : le test du temps de relevée du sol).		
TUDS	Timed Up and Downs Stairs, temps nécessaire pour monter et descendre 10 marches d'escalier.		
VAT	Seuil anaérobie ventilatoire.		
VE (L/min)	Ventilation minute – correspond au volume total d'air inspiré ou expiré par les poumons en une minute.		
VEMS	Volume d'air maximal expiré durant la première seconde d'une expiration forcée.		
$\dot{V}O_2$MAX/Kg	Consommation maximale d'oxygène, exprimée par rapport au poids corporel.		
%$\dot{V}O_2$MAX	Consommation maximale d'oxygène, exprimée par rapport à la consommation d'oxygène prédite.		
TLC %	Pourcentage de la capacité pulmonaire totale prédite.		
Wpeak	Pourcentage de la charge de travail maximale prédite.		
5TSTS	Five Times Sit-to-Stand test (test de 5 levers-assis).		

Annexe 3 : Échelle SANRA

Scale for the Assessment of Narrative Review Articles – SANRA		
Please rate the quality of the narrative review article in question, using categories 0–2 on the following scale. For each aspect of quality, please choose the option which best fits your evaluation, using categories 0 and 2 freely to imply general low and high quality. These are not intended to imply the worst or best imaginable quality.		
1) Justification of the article's importance for the readership		
The importance is not justified.	0	☐
The importance is alluded to, but not explicitly justified.	1	
The importance is explicitly justified.	2	
2) Statement of concrete aims or formulation of questions		
No aims or questions are formulated.	0	☐
Aims are formulated generally but not concretely or in terms of clear questions.	1	
One or more concrete aims or questions are formulated.	2	
3) Description of the literature search		
The search strategy is not presented.	0	☐
The literature search is described briefly.	1	
The literature search is described in detail, including search terms and inclusion criteria.	2	
4) Referencing		
Key statements are not supported by references.	0	☐
The referencing of key statements is inconsistent.	1	
Key statements are supported by references.	2	
5) Scientific reasoning		
<i>(e.g., incorporation of appropriate evidence, such as RCTs in clinical medicine)</i>		
The article's point is not based on appropriate arguments.	0	☐
Appropriate evidence is introduced selectively.	1	
Appropriate evidence is generally present.	2	
6) Appropriate presentation of data		
<i>(e.g., absolute vs relative risk; effect sizes without confidence intervals)</i>		
Data are presented inadequately.	0	☐
Data are often not presented in the most appropriate way.	1	
Relevant outcome data are generally presented appropriately.	2	
		Sumscore ☐

Fig. 1 SANRA - Scale

SANRA – explanations and instructions

This scale is intended to help editors assess the quality of a narrative review article based on formal criteria accessible to the reader. It cannot cover other elements of editorial decision making such as degree of originality, topicality, conflicts of interest or the plausibility, correctness or completeness of the content itself. SANRA is an instrument for editors, authors, and reviewers evaluating individual manuscripts. It may also help editors to document average manuscript quality within their journal and researchers to document the manuscript quality, for example in peer review research. Using only three scoring options, 0, 1 and 2, SANRA is intended to provide a swift and pragmatic sum score for quality, for everyday use with real manuscripts, in a field where established quality standards have previously been lacking. It is not designed as an exact measurement of the quality of all theoretically possible manuscripts. For this reason, the extreme values (0 and 2) should be used relatively freely and not reserved only for perfect or hopeless articles.

We recommend that users test-rate a few manuscripts to familiarize themselves with the scale, before using it on the intended group of manuscripts. Ratings should assess the totality of a manuscript, including the abstract. The following comments clarify how each question is designed to be used.

Item 1 – Justification of the article's importance for the readership

Justification of importance for the readership must be seen in the context of each journal's readership.

Consider how well the manuscript outlines the clinical problem and highlights unanswered questions or evidence gaps – thoroughly (2), superficially (1), or not at all (0).

Item 2 – Statement of concrete/specific aims or formulation of questions

A good paper will propose one or more specific aims or questions which will be dealt with or topics which will be reviewed.

Please rate whether this has been done thoroughly and clearly (2), vaguely or unclearly (1), or not at all (0).

Item 3 – Description of the literature search

A convincing narrative review will be transparent about the sources of information on which the text is based. Please rate the degree to which you think this has been achieved. To achieve a rating of 2, it is not necessary to describe the literature search in as much detail as for a systematic review (searching multiple databases, including exact descriptions of search history, flowcharts, etc.), but it is necessary to specify search terms, and the types of literature included. A manuscript which only refers briefly to its literature search would score 1, while one not mentioning its methods would score 0.

Item 4 – Referencing

No manuscript references all statements. However, those that are essential for the arguments of the manuscript – “key statements” – should be backed by references in all or almost all cases. Exceptions could reasonably be made for rating purposes where a key statement has uncontroversial face-validity, such as “Diabetes is among the commonest causes of chronic morbidity worldwide.”

Please rate the completeness of referencing: for most or all relevant key statements (2), inconsistently (1), sporadically (0).

Item 5 – Scientific reasoning

The item describes the quality of the scientific point made. A convincing narrative review presents evidence for key arguments.

It should mention study design (randomized controlled trial, qualitative study, etc), and where available, levels of evidence.

Please rate whether you feel this has been done thoroughly (2), superficially (1), or hardly at all (0). Unlike item 6, which is concerned with the selection and presentation of concrete outcome data, this item relates to the use of evidence and of types of evidence in the manuscript's arguments.

Item 6 – Appropriate presentation of data:

This item describes the correct presentation of data central to the article's argument. Which data are considered relevant varies from field to field. In some areas relevant data would be absolute rather than relative risks or clinical versus surrogate or intermediate endpoints. These outcomes must be presented correctly. For example, it is appropriate that effect sizes are accompanied by confidence intervals. Please rate how far the paper achieves this – thoroughly (2), partially (1), or hardly at all (0). Unlike item 5, which relates to the use of evidence and of types of evidence in the manuscript's arguments, this item is concerned with the selection and presentation of concrete outcome data.

Fig. 2 SANRA—explanations and instructions document

Annexe 4 : Critères PICOS

Population	Child, children, adolescent, teenager, hematopoietic stem cell transplantation, HSCT, bone marrow transplantation
Intervention	Physical activity, exercise, physiotherapy, exercise therapy, rehabilitation
Comparaison	Standard care, usual care, no intervention, control group
Outcome	Physical fitness, exercise capacity, cardiorespiratory fitness, endurance, muscle strength, fatigue, quality of life, anxiety, well-being
Study design	Essais contrôlés randomisés, études contrôlées non randomisées, études interventionnelles prospectives, études observationnelles (cohorte, cas-témoins, transversales), revues systématiques et méta-analyses.

Annexe 5 : Équations de recherches

Embase	(‘hematopoietic stem cell transplantation’/exp OR ‘bone marrow transplantation’/exp OR hsct:ti,ab) AND (‘child’/exp OR ‘adolescent’/exp OR pediatric*:ti,ab OR paediatric*:ti,ab OR child*:ti,ab OR adolescen*:ti,ab) AND (‘exercise’/exp OR ‘exercise therapy’/exp OR ‘physical activity’/exp OR ‘physiotherapy’/exp OR ‘rehabilitation’/exp OR physiotherap*:ti,ab OR exercis*:ti,ab OR rehabilitat*:ti,ab) AND (‘physical fitness’/exp OR ‘exercise capacity’/exp OR ‘muscle strength’/exp OR fatigue/exp OR ‘quality of life’/exp)
PubMed	((("Hematopoietic Stem Cell Transplantation"[MeSH Terms] OR "Bone Marrow Transplantation"[MeSH Terms] OR "HSCT"[Title/Abstract] OR "hematopoietic stem cell transplant*"[Title/Abstract] OR "bone marrow transplant*"[Title/Abstract])) AND ("Exercise Therapy"[MeSH Terms] OR "Physical Therapy Modalities"[MeSH Terms] OR "physiotherapy"[Title/Abstract] OR "physical therap*"[Title/Abstract] OR "exercise"[Title/Abstract] OR "physical activ*"[Title/Abstract] OR "rehabilitation"[Title/Abstract])) AND ("Child"[MeSH Terms] OR "Adolescent"[MeSH Terms] OR "pediatric*"[Title/Abstract] OR "child*"[Title/Abstract] OR "adolescen*"[Title/Abstract])) AND ((allchild[Filter] OR alladult[Filter]) AND (2016:2025[pdat]))

Annexe 6 : Échelle PEDro

Échelle PEDro – Français

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non ☐ oui ☐ où:
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)	non ☐ oui ☐ où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non ☐ oui ☐ où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non ☐ oui ☐ où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non ☐ oui ☐ où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non ☐ oui ☐ où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non ☐ oui ☐ où:
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	non ☐ oui ☐ où:
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôlée conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	non ☐ oui ☐ où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non ☐ oui ☐ où:
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	non ☐ oui ☐ où:

L'échelle PEDro est basée sur la liste Delphi développée par Verhagen et ses collègues au département d'épidémiologie de l'Université de Maastricht (*Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). Cette liste est basée sur un "consensus d'experts" et non, pour la majeure partie, sur des données empiriques. Deux items supplémentaires à la liste Delphi (critères 8 et 10 de l'échelle PEDro) ont été inclus dans l'échelle PEDro. Si plus de données empiriques apparaissent, il deviendra éventuellement possible de pondérer certains critères de manière à ce que le score de PEDro reflète l'importance de chacun des items.

L'objectif de l'échelle PEDro est d'aider l'utilisateur de la base de données PEDro à rapidement identifier quels sont les essais cliniques réellement ou potentiellement randomisés indexés dans PEDro (c'est-à-dire les essais contrôlés randomisés et les essais cliniques contrôlés, sans précision) qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne (critères 2 à 9), et peuvent avoir suffisamment d'informations statistiques pour rendre leurs résultats interprétables (critères 10 à 11). Un critère supplémentaire (critère 1) qui est relatif à la validité "externe" (c'est "la généralisabilité" de l'essai ou son "applicabilité") a été retenu dans l'échelle PEDro pour prendre en compte toute la liste Delphi, mais ce critère n'est pas comptabilisé pour calculer le score PEDro cité sur le site Internet de PEDro.

L'échelle PEDro ne doit pas être utilisée pour mesurer la "validité" des conclusions d'une étude. En particulier, nous mettons en garde les utilisateurs de l'échelle PEDro sur le fait que les études qui montrent des effets significatifs du traitement et qui ont un score élevé sur l'échelle PEDro, ne signifie pas nécessairement que le traitement est cliniquement utile. Il faut considérer aussi si la taille de l'effet du traitement est suffisamment grande pour que cela vaille la peine cliniquement d'appliquer le traitement. De même, il faut évaluer si le rapport entre les effets positifs du traitement et ses effets négatifs est favorable. Enfin, la dimension coût/efficacité du traitement est à prendre compte pour effectuer un choix. L'échelle ne devrait pas être utilisée pour comparer la "qualité" des essais réalisés dans différents domaines de la physiothérapie, essentiellement parce qu'il n'est pas possible de satisfaire à tous les items de cette échelle dans certains domaines de la pratique kinésithérapique.

Dernière modification le 21 juin 1999. Traduction française le 1 juillet 2010

Précisions pour l'utilisation de l'échelle PEDro:

- Tous les critères **Les points sont attribués uniquement si le critère est clairement respecté.** Si, lors de la lecture de l'étude, on ne retrouve pas le critère explicitement rédigé, le point ne doit pas être attribué à ce critère.
- Critère 1 Ce critère est respecté si l'article décrit la source de recrutement des sujets et une liste de critères utilisée pour déterminer qui était éligible pour participer à l'étude.
- Critère 2 Une étude est considérée avoir utilisé une *répartition aléatoire* si l'article mentionne que la répartition entre les groupes a été faite au hasard. La méthode précise de répartition aléatoire n'a pas lieu d'être détaillée. Des procédures comme pile ou face ou le lancé de dés sont considérées comme des méthodes de répartition aléatoire. Les procédures quasi-aléatoires, telles que la répartition selon le numéro de dossier hospitalier ou la date de naissance, ou le fait de répartir alternativement les sujets dans les groupes, ne remplissent pas le critère.
- Critère 3 Une *assignation secrète* signifie que la personne qui a déterminé si un sujet répondait aux critères d'inclusion de l'étude ne devait pas, lorsque cette décision a été prise, savoir dans quel groupe le sujet serait admis. Un point est attribué pour ce critère, même s'il n'est pas précisé que l'assignation est secrète, lorsque l'article mentionne que la répartition a été réalisée par enveloppes opaques cachetées ou que la répartition a été réalisée par table de tirage au sort en contactant une personne à distance.
- Critère 4 Au minimum, lors d'études concernant des interventions thérapeutiques, l'article doit décrire au moins une mesure de la gravité de l'affection traitée et au moins une mesure (différente) sur l'un des critères de jugement essentiels en début d'étude. L'évaluateur de l'article doit s'assurer que les résultats des groupes n'ont pas de raison de différer de manière cliniquement significative du seul fait des différences observées au début de l'étude sur les variables pronostiques. Ce critère est respecté, même si les données au début de l'étude ne sont présentées que pour les sujets qui ont terminé l'étude.
- Critères 4, 7-11 Les *critères de jugement* essentiels sont ceux dont les résultats fournissent la principale mesure de l'efficacité (ou du manque d'efficacité) du traitement. Dans la plupart des études, plus d'une variable est utilisée pour mesurer les résultats.
- Critères 5-7 Être "*en aveugle*" signifie que la personne en question (sujet, thérapeute ou évaluateur) ne savait pas dans quel groupe le sujet avait été réparti. De plus, les sujets et les thérapeutes sont considérés être "*en aveugle*" uniquement s'il peut être attendu qu'ils ne sont pas à même de faire la distinction entre les traitements appliqués aux différents groupes. Dans les essais dans lesquels les critères de jugement essentiels sont autoévalués par le sujet (ex. échelle visuelle analogique, recueil journalier de la douleur), l'évaluateur est considéré être "*en aveugle*" si le sujet l'est aussi.
- Critère 8 Ce critère est respecté uniquement si l'article mentionne explicitement *à la fois* le nombre de sujets initialement répartis dans les groupes *et* le nombre de sujets auprès de qui les mesures ont été obtenues pour les critères de jugement essentiels. Pour les essais dans lesquels les résultats sont mesurés à plusieurs reprises dans le temps, un critère de jugement essentiel doit avoir été mesuré pour plus de 85% des sujets à l'une de ces reprises.
- Critère 9 Une *analyse en intention de traiter* signifie que, lorsque les sujets n'ont pas reçu le traitement (ou n'ont pas suivi l'intervention contrôle) qui leur avait été attribué, et lorsque leurs résultats sont disponibles, l'analyse est effectuée comme si les sujets avaient reçu le traitement (ou avaient suivi l'intervention contrôle) comme attribué. Ce critère est respecté, même sans mention d'une analyse en intention de traiter si l'article mentionne explicitement que tous les sujets ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle comme attribué.
- Critère 10 Une comparaison statistique *intergroupe* implique une comparaison statistique d'un groupe par rapport à un autre. Selon le plan expérimental de l'étude, cela peut impliquer la comparaison de deux traitements ou plus, ou la comparaison d'un traitement avec une intervention contrôle. L'analyse peut être une simple comparaison des résultats mesurés après administration des traitements, ou une comparaison du changement dans un groupe au changement dans un autre (quand une analyse factorielle de variance a été utilisée pour analyser les données, ceci est souvent indiqué sous la forme d'une interaction groupe x temps). La comparaison peut prendre la forme d'un test sous hypothèses (qui produit une valeur "p", décrivant la probabilité que les groupes diffèrent uniquement du fait du hasard) ou prendre la forme d'une estimation (par exemple: différence de moyennes ou de médianes, différence entre proportions, nombre nécessaire de sujets à traiter, risque relatif ou rapport de risque instantané dit "hazard ratio") et de son intervalle de confiance.
- Critère 11 Une *estimation de l'effet* est une mesure de la taille de l'effet du traitement. L'effet du traitement peut être décrit soit par une différence entre les groupes, soit par le résultat au sein (de chacun) de tous les groupes. Les *estimations de la variabilité* incluent les écarts-types, les erreurs standards, les intervalles de confiance, les intervalles interquartiles (ou autres quantiles) et les étendues. Les estimations de l'effet et/ou de la variabilité peuvent être fournies sous forme graphique (par exemple, les écarts-types peuvent être représentés sous forme de barres d'erreurs dans une figure) à la condition expresse que le graphique soit clairement légendé (par exemple, qu'il soit explicite que ces barres d'erreurs représentent des écarts-type ou des erreurs-standard). S'il s'agit de résultats classés par catégories, ce critère est considéré respecté si le nombre de sujets de chaque catégorie est précisé pour chacun des groupes.

Évaluation de la qualité méthodologique des études incluses selon la grille de PEDro

Items Oui = 1 Non = 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Beller et al. (2025)	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
Smith et al. (2022)	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1
Jung et al. (2021)	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1
Jung et al. (2024)	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1
Glogowski et al. (2023)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1

APPENDIX 3: DOWNS AND BLACK CHECKLIST FOR CLINICAL TRIAL QUALITY ASSESSMENT

REPORTING	Yes/No/Partially	Score
1. Is the objective of the study clear?	Yes = 1, No = 0	
2. Are the main outcomes clearly described in the Introduction or Methods?	Yes = 1, No = 0	
3. Are characteristics of the patients included in the study clearly described?	Yes = 1, No = 0	
4. Are the interventions clearly described?	Yes = 1, No = 0	
5. Are the distributions of principal confounders in each group of subjects clearly described?	Yes = 2, Partially = 1, No = 0	
6. Are the main findings of the study clearly described?	Yes = 1, No = 0	
7. Does the study estimate random variability in data for main outcomes?	Yes = 1, No = 0	
8. Have all the important adverse events consequential to the intervention been reported?	Yes = 1, No = 0	
9. Have characteristics of patients lost to follow-up been described?	Yes = 1, No = 0	
10. Have actual probability values been reported for the main outcomes except probability < 0.001?	Yes = 1, No = 0	
11. Is the source of funding clearly stated? ^a	Yes = 1, No = 0	
EXTERNAL VALIDITY	Yes/No/Unclear	Score
12. Were subjects who were asked to participate in the study representative of the entire population recruited?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
13. Were those subjects who were prepared to participate representative of the recruited population?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
14. Were staff, places, and facilities where patients were treated representative of treatment most received?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
INTERNAL VALIDITY	Yes/No/Unclear	Score
15. Was an attempt made to blind study subjects to the intervention?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
16. Was an attempt made to blind those measuring the main outcomes?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
17. If any of the results of the study were based on data dredging was this made clear?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
18. Was the time period between intervention and outcome the same for intervention and control groups or adjusted for?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
19. Were the statistical tests used to assess main outcomes appropriate?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
20. Was compliance with the interventions reliable?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
INTERNAL VALIDITY (continued)	Yes/No/Unclear	Score

21. Were main outcome measures used accurate? (valid and reliable)	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
INTERNAL VALIDITY-CONFOUNDING (SELECTION BIAS)	Yes/No/Unclear	Score
22. Were patients in different intervention groups recruited from the same population?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
23. Were study subjects in different intervention groups recruited over the same period of time?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
24. Were study subjects randomized to intervention groups?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
25. Was the randomized intervention assignment concealed from patients and staff until recruitment was complete?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
26. Was there adequate adjustment for confounding in the analyses from which main findings were drawn?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
27. Were losses of patients to follow-up taken into account?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
POWER	Size of Smallest Intervention Group Score of 0 to 5	Score
28. Was the study sufficiently powered to detect clinically important effects where probability value for a difference due to chance is < 5%?		

^aCriteria was added for the current systematic review.

(Downs & Black, 1998)

Évaluation de la qualité méthodologique des études incluses selon la grille de Downs and Black.

Downs & Black checklist	Davis et al. (2020)	Den Hartog et al. (2024)	Gonzales et al. (2019)	Nissen et al. (2025)	Öberg et al. (2018)	Potapchuk et al. (2019)	Rossi et al. (2022)	Vandekerckhove et al. (2019)	West et al. (2019)	Yildizkabak et al. (2019)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
4	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
5	1	1	1	2	1	0	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
9	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
11	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
12	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
13	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
14	1	0 (NA)	1	0	1	0	1	1	1	1
15	0	0 (NA)	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	0 (NA)	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1
21	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0
23	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1
24	0 (NA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0 (NA)	0 (NA)	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
27	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total (/28)	17	20	16	18	20	8	21	17	17	15

Cotation :

Item 1-4 :

Oui = 1

Non = 0

Item 5 : Oui = 2

Partiel = 1

Non = 0

Item 6-11 :

Oui = 1

Non = 0

Item 12-27 :

Oui = 1

Non/ Unclear = 0

Item 28 : Score 0 à 5

NA = non applicable

Annexe 8 : Tableau des résultats

ÉTUDE TYPE D'ARTICLE	TYPE DE GREFFE POPULATION (ÂGE, N)	INTERVENTION FRÉQUENCE DURÉE INTENSITÉ SUPERVISION KINÉ	VARIABLE(S) MESURÉE(S) OUTIL/TEST UTILISÉ	P-VALEUR RÉSULTATS
(BELLER ET AL., 2025) Essai contrôlé randomisé (RCT)	AVANT + PENDANT HOSPITALISATION Allo-HSCT 4-21 ans n=21 (IG high : n=11; IG low : n=10) <u>Évaluations :</u> T0 : à l'admission (avant conditionnement) T1 : à J+10 post-greffe	<u>Groupe intervention High (IG high) :</u> endurance + renfo + coordination <u>Groupe intervention Low (IG low) :</u> mobilisation + relaxation + coordination → comparaison entre 2 intensités (pas de groupe contrôle) <u>Fréquence :</u> 3-5x/ sem <u>Durée :</u> 20 à 60min/séance <u>Intensité IG high :</u> modérée à élevée : RPE 11-15 <u>Intensité IG low :</u> basse : RPE 6-10 Supervision : kiné dans les 2 groupes	Condition physique : force des MI (extension genou) Qualité de vie (PedsQL SF15) Fatigue (<i>PedsQL Multidimensional Fatigue Scale</i>) Faisabilité + sécurité	Force des MI (leg extension) : maintient significatif de la force des MI (à gauche) (p=0,028) dans le IG high en comparaison avec une diminution ds l'IG low Qualité de vie : pas de différence significative ds les deux groupes Fatigue : pas de différence significative dans les deux groupes Faisabilité : programme réalisable et sûr
(DAVIS ET AL., 2020) étude interventionnelle prospective non randomisée	POST GREFFE LONG TERME (en moyenne 8,4 ans post-greffe) HSCT avec irradiation corporelle totale (TBI) 10,9-24,5 ans n= 20 (analysés post-intervention) <u>Évaluations :</u> T1 : inclusion dans l'étude T2 : après 6 mois, sans intervention (période contrôle) T3 : après 6 mois d'intervention T4 : suivi à 6 mois post-intervention	<u>Intervention</u> (T2→ T3, 6 mois) : Programme combiné : Aérobie + renforcement <u>Fréquence :</u> 2-3x/sem <u>Durée :</u> 45-60min/séance pdt 6 mois <u>Intensité aérobie :</u> 60-70% FCmax <u>Intensité renforcement :</u> 60-80% 1RM Supervision : kiné + coachs spécialisés	Condition physique : -VO2 peak et -force musculaire (1RM) Qualité de vie (SF-36 et MMQL)	Condition physique : - augmentation significative de la VO2 peak (T2→T3) (p = 0,05) - augmentation significative de la force de MS et des MI (T2→T3) + (p<0,001) - dimintion signiicative de la VO2Peak à T4 (P<0,005) Qualité de vie : augmentation significative du SF-36 (domaine santé générale) entre T2 et T3 + maintien à T4 (p < 0,05) ; amélioration du MMQL (domaine scolaire ; p = 0,03)

(DEN HARTOG ET AL., 2024) étude de cohorte rétrospective observationnelle	AVANT + COURT TERME POST-GREFFEAllo-HSCT 3-18 ans n= 77 <u>Évaluations :</u> T0 : évaluation pré-HSCT (médiane : 16 jours avant greffe) T1 : évaluations post-HSCT (médiane : 102 jours post-greffe) (analyses de régression linéaire multivariée)	Aucune intervention étudiée Comparaison des performances post-HSCT (T1) à des valeurs normatives de la population générale (Z-scores ajustés sur l'âge et le sexe) Analyse des associations entre performances pré-HSCT (T0) et post-HSCT (T1)	Force musculaire : flexion de hanche, extension de genou, dorsiflexion de cheville (MicroFET2) et force de préhension (dynamomètre de Jamar) Masse musculaire (impédance bioélectrique BIA +ASMM) Performance physique : Time to Rise from the Floor (TRF), 10-Meter Walk Test (10-MWT), Timed Up and Down Stairs (TUDS)	Force musculaire : Z-score significativement diminués à T1 (J+100) vs population générale (flexion de hanche : Z=-2,3, extension de genou : Z=-1,4, dorsiflexion cheville : Z=-1,0, force de préhension : Z=-1,4 ; tous :p<0,001) Masse musculaire : diminution significative à T1 d' ASMM (Z=-0,5) vs population générale (p = 0,001) Fonctionnement physique/ capacité fonctionnelle : temps du TUDS à T1 (J+100) vs la population générale significativement augmenté (p<0,001), pas de différence significative rapportée pour TRF et 10-MWT Associations TO-> T1 (régression linéaire multivariée) : flexion de hanche (p=0,002), la masse musculaire ASMM (p<0,001), TRF (p<0,001), 10-MWT (p=0,004), TUDS(p<0,001) – les performances pré-HSCT prédisent les performances à J+100
(FRIDH ET AL., 2021) revue systématique + méta-analyse	POST GREFFE (LONG TERME) (suivi moyen = 17,8 ans post-HSCT) Allo-HSCT (n=428) Auto-HSCT (n=89) Greffe réalisée <18 ans n=517 survivants (10 études) Meta-analyse : n=163 HSCT vs 163 contrôles sains (4 études) <u>Évaluations :</u> > 100 jours post-HSCT	Aucune intervention étudiée Comparaison survivants HSCT vs contrôles sains	<u>Condition cardiorespiratoire :</u> - $\dot{V}O_2$peak sur cycloergomètre (CPET, 4 études) - puissance max rapportée au poids corp : Watt max/kg sur cycloergomètre (CPET) : 1 étude - tapis roulant : 1 étude - 6MWT : 1 étude <u>Force musculaire :</u> préhension, sit-up, extension du tronc, squat <u>Performance physique :</u> shuttle run, standing broad jump, TUG-3m	<u>Condition cardiorespiratoire :</u> DMS = -1,33 [IC95% -1,58 ; -1,07] ; $I^2 = 2\%$; p<0,00001 : diminution significative chez les survivants HSCT vs contrôles sains + survivants ont en moyen un déficit de 16 à 30% de capacité en moins selon les études
(GLOGOWSKI ET AL., 2023) Étude prospective randomisée monocentrique (Abstract de congrès-ASH)	AVANT + PENDANT HOSPITALISATION + POST GREFFE (jusqu'à J+200) Allo-HSCT (n=45) Auto-HSCT (n=7) 5 à 22 ans n= 52 (GI : n=26, GC : n= 26) <u>Évaluations :</u> -à admission -à J+3, J+8 post greffe -à J+60, J+100, J+150 , J+200	<u>Groupe intervention (GI)</u> : programme combiné renforcement et endurance avec trampoline et ballon. <u>A la sortie :</u> journal d'entraînements à réaliser à domicile Supervision pendant l'hospitalisation <u>Groupe contrôle (GC) :</u> kiné standard <u>Fréquence :</u> 5x/semaine	Condition physique : -Force musculaire (full ball bump + triple saut) -Endurance et résistance (TUG + 6MWT) -Masse musculaire : (circonférence M. quadriceps et triceps sural) État émotionnel et qualité de vie (SAM, KINDL-Onco-module)	Condition physique : Amélioration significativement supérieure dans le GI vs le GC sur la période allant de l'admission jusqu'à J+200 post-greffe : -Endurance (6MW) (p=0,004) -Puissance - triple saut D/G (p=0,004 et 0,008) -Masse musculaire : circonférence - M. quadriceps D/G (p=0,042 et 0,009) Qualité de vie : amélioration dans les deux groupes, sans différence significative entre groupes (KINDL BODY : p=0,039 ; KINDL MIND : p=0,006) Anxiété : amélioration signification dans le groupe intervention par rapport au groupe contrôle (p=0,03) Vie scolaire (KINDL SCHOOL) : amélioration significative (p<0,001) par rapport au groupe contrôle.

(GONZALES ET AL., 2019) quality improvement project, étude rétrospective (cohorte interventionnelle vs contrôle historique)	AVANT + PENDANT L'HOSPITALISATION Allo-HSCT 1 à 21 ans n=41 (cohorte TEMPO) + n=89 (groupe contrôle historique, avant TEMPO) <u>Évaluations :</u> -admission -hebdomadaire -sortie d'hospit -J+100	<u>Groupe intervention (Cohorte TEMPO) :</u> Projet multidisciplinaire individualisé (kiné + autres disciplines) Fréquence : 3-5x/semaine Durée : 30-60min/séance Supervision kiné <u>Groupe contrôle :</u> Soins usuels (avant implémentation TEMPO)	Mobilité fonctionnelle : Functional Mobility Scale (FMS) Endurance (6MWT) Force MI : Five Times Sit-to-Stand (5STS) Force de préhension (dynamomètre manuel)	Mobilité fonctionnelle : pas de différence significative entre l'admission et la sortie pour la cohorte TEMPO (éval intragroupe) (p=0,67), augmentation significative entre le nadir post-HSCT (« pic ») et la sortie (p<0,0001) Endurance : pas de différence significative entre l'admission et la sortie (p=0,94) , augmentation significative J100 (p=0,0023) Force MI : pas de différence significative entre l'admission et la sortie (p=0,98) mais augmentation significative entre pic et J100 (p<0,0001) Force préhension : Augmentation significative entre pic et la sortie (p=0,0282) ; nadir (15±2kg) et la sortie d'hospitalisation (19±2kg ; p = 0,028) au sein du groupe TEMPO ; niveau observé à l'admission (20 ±2kg). (nadir/pic* = moment de l'hospitalisation où le patient est au plus mal physiquement)
(JUNG ET AL., 2021) Essai contrôlé randomisé (RCT) monocentrique en 2 phases	PENDANT + APRÈS L'HOSPITALISATION Allo-HSCT Auto-HSCT 5-18 ans n = 72 randomisés Phase I (hospitalière) : n = 47 (IG: n=21, CG : n=26) Phase II (ambulatoire) : n = 23 (4 sous groups après stratification) <u>Évaluations :</u> <u>2phases après HSCT :</u> <u>Phase I :</u> Phase hospitalière (admission = tpre → sortie = tpost) <u>Phase II :</u> phase ambulatoire (J+100) et (J+200)	<u>Phase I :</u> <u>Groupe intervention (GI) :</u> endurance + renforcement + flexibilité Fréquence : 5x/semaine Durée : ≈50min/séance Intensité moyenne : RPE = 13,9 <u>Groupe contrôle (GC) :</u> Relaxation et activités cognitives Fréquence : ≈2,9 séances/semaine Durée : ≈51 min/séance <u>Phase II :</u> (répartition en 4 groupes selon la poursuite (ou non) de l'activité physique) Fréquence : 1,5 séance/semaine Durée : 30-50min/ séance	Fatigue liée au cancer : PedsQL 3.0. Multidimensional Fatigue Scale Sous-scores : (TFS, GF, SRF, CF) <u>Légende :</u> TFS : score de fatigue total GF : fatigue générale SRF : fatigue sommeil/ repos CF : fatigue cognitive	<u>Phase I :</u> augmentation significative de la fatigue (TFS, GF, SRF : p<0,001) chez GI et GC, sans différence intergroupes <u>Phase II :</u> diminution significative de la fatigue au cours du temps (p<0,01) chez GI et GC, sans différence intergroupes. Aucune amélioration significative pour la fatigue cognitive (CF : p=0,74)
(JUNG ET AL., 2024) Étude contrôlée randomisée (RCT) monocentrique en deux phases	AVANT + PENDANT+ APRES HOSPITALISATION Allo-HSCT Auto-HSCT 5-18 ans Phase I : hospitalière : n= 47 (IG : n = 21 ; CG : n=26) Phase II : ambulatoire : 4 groupes ambulatoires, effectifs réduits <u>Évaluations :</u> <u>Phase I :</u> Tpre = avant hospitalisation -> Tpost = sortie d'hospitalisation <u>Phase II</u> T100 = J+100 T200 = J+200	<u>Phase I :</u> <u>Groupe intervention (IG) :</u> Thérapie par l'exercice structuré : endurance + renforcement + flexibilité Fréquence : 5x/semaine Durée : 45-60min <u>Groupe contrôle (GC) :</u> Tâches concentration, perception et relaxation Durée : 45-60min/ jour <u>Phase II :</u> <u>Après sortie :</u> Re-stratification ; certaines enfants poursuivent le sport en ambulatoire, d'autres non Fréquence : 1,5x/ semaine Durée : 30-50min	Qualité de vie liée à la santé : PedsQL 4.0. Fatigue liée au cancer (CRF)	Qualité de vie : Phase I (Tpre → Tpost) : diminution significative de la qualité de vie dans les deux groupes, particulièrement pour les activités physiques (p<0,001), sans différence significative entre les groupes Phase II (Tpost → T100 → T200) : amélioration significative de la qualité de vie au cours du temps dans tous les groupes (p<0,001), sans effet groupe pour la plupart des dimensions ; différence entre les groupes retrouvée uniquement pour les activités scolaires chez les enfants (p=0,02) Fatigue : <u>Phase I :</u> augmentation de la fatigue dans les deux groupe pendant l'hospitalisation <u>Phase II :</u> amélioration significative uniquement après la sortie d'hospitalisation dans le groupe exercice

(LAGO ET AL., 2021) Revue systématique avec meta-analyse sur 5 études	PENDANT + APRÈS L'HOSPITALISATION Allo-HSCT Auto-HSCT 3-19 ans n = 7 études incluses (2RCT et 5non-RCT)	Synthèse de programmes d'exercices combinés (endurance + renforcement) en phase hospitalière et ambulatoire ; comparaison aux soins usuels	Qualité de vie : PedsQL Performance physique : 6MWT (en mètre et % valeur prédite)	Qualité de vie : l'exercice physique prévient d'une diminution de la qualité de vie chez les enfants et adolescents après HSCT, avec une différence significative en faveur du groupe exercice (MD = 11,50 ; IC95% [2,21 ; 20,80] ; p = 0,02) Performance physique : distance au 6MWT est significativement plus faible dans le groupe contrôle, à la fois en mètres (MD = 82,84 ; IC95% [49,34 ; 116,35] ; $I^2 = 0\%$; p<0,00001) et en pourcentage de la valeur prédite (MD= 12,59 ; IC95% [7,14 ; 18,03] ; p<0,00001), en faveur du groupe exercice
(MARTHA ET AL., 2021) Revue systématique (avec méta-analyse)	AVANT + PENDANT + APRÈS HOSPITALISATION (avant/après intervention, avant/après greffe, ou 3 temps (avant, sortie, 1 mois)) Allo-HSCT majoritairement 3-18 ans n=91 (3 études interventionnelles incluses dans la méta-analyse)	<u>Synthèse de programmes combinés</u> : endurance + renforcement musculaire Fréquence : 3x/sem à quotidienne Durée 20-120min Intensité légère à modérée Intervention de 6 à 8 semaines Supervision kiné ou partiellement supervisé	Capacité fonctionnelle : 6MWT, TUDS Qualité de vie : CHIP	Capacité fonctionnelle : TUDS : amélioration significative dans le groupe intervention (MD= - 1,23 ; IC95% [-2,27 ; -0,20] ; p=0,01) 6MWT : pas de différence significative (MD= 44,63; IC95% [-20,86 ; 110,13], ; $I^2 = 83\%$;p=0,18) Qualité de vie : amélioration significative de certains domaines de la qualité de vie, résultats issus d'une seule étude.
(NISSEN ET AL., 2025). étude observationnelle transversale (cas-témoins)	POST-GREFFE LONG TERME (suivi médian 20,2 ans après) HSCT pédiatrique (greffe <18 ans) n intervention= 90 (patients greffés il y a lgtemps) n contrôle = 32 personnes saines <u>Évaluations :</u> 18 ou plus ans après la greffe (âge médian des personnes lors de l'intervention : 30,3 ans	Aucune intervention Comparaison entre survivants HSCT et contrôles sains	Condition cardiopulmonaire : VO ₂ peak (CPET) et Wpeak (charge maximale) Force musculaire : handgrip test Fonction physique : TUG, Vitesse de marche et 6MWT Endurance: Sit to stand 30 et 60'' Présence de syndrome métabolique	Condition physique : diminution significative chez les patients HSCT compare au sujets sains (P<0,001). Diminution de 34% de la VO ₂ peak et 43% de la charge maximale. Force musculaire : diminution significative de la force de préhension (P<0,0001). Fonction physique : Le TUG est significativement plus lent dans le groupe HSCT que le groupe contrôle. La vitesse de marche diminue significativement et distance au 6MWT diminue significativement aussi (P<0,0001). Endurance : Diminution significative de 33% au sit to stand. (P<0,0001).
(ÖBERG ET AL., 2018) étude observationnelle transversale (cas témoins)	POST-GREFFE (LONG-TERME) (environ 17,7 ans post-HSTC) Allo-HSCT (n=14) Auto-HSCT (n=3) avec irradiation corporelle totale (TBI) n=17 patients n=17 contrôles sains appariés âge/ sexe Patients greffés pendant l'enfance (âge médian à la greffe : 9,8 ans) – évalués à l'âge adulte (âge médian : 27, 2ans)	Aucune intervention, Evaluation transversale plusieurs années après la greffe	Condition physique (test à l'effort sur cycloergomètre – Wpeak) Fonction respiratoire (CPT, DLco, VEMS) Composition corporelle (DEXA) Perception de l'effort (échelle de Borg - Erreur ! Source du renvoi introuvable.)	Condition physique : diminution significative de la capacité à l'effort chez les patients en comparaison au groupe contrôle (p<0,001) : 100% des patients ont une Wpeak<80% de la capacité prédite et <6% pour les personnes contrôle Fonction respiratoire : diminution significative de la CPT, DLco et VEMS (p<0,001) Composition corporelle : masse maigre significativement diminuée (p<0,001) et masse grasse significativement augmentée (p=0,01) Perception de l'effort : pas de différence significative pour la FC, l'épuisement et la dyspnée (p>0,05) Fatigue : jambes significativement plus faible dans le groupe contrôle. (p=0,046)

(POTAPCHUK ET AL., 2019) étude interventionnelle prospective non randomisée	AVANT + PENDANT + APRES HOSPITALISATION 12 à 17 ans n=20 (GI : n=10 ; G2 : n=10) <u>Évaluations :</u> - pré-greffe - post-greffe précoce (J+30-40 jours) - post greffe tardive (apt de J+100)	<u>Groupe Intervention (GI)</u> : Programme standard + programme additionnel de rééducation physique comprenant 9 ensembles d'exercices (jeux actifs, exercices moteurs, respiratoires, relaxation, sport adapté), individualisé selon l'âge et l'état clinique <u>Groupe 2</u> : Programme standard d'exercices physiques	Qualité de vie (PedsQL Stem Cell Transplant Module 1.0.)	Qualité de vie : tendance à diminution des scores après la greffe (pré-HSCT → post greffe précoce), suivie d'une amélioration au stade post greffe précoce Différences significatives entre les groupes sont observées en faveur du groupe intervention aux temps post-greffe (p<0,05), sans précision des comparaisons intragroupes
(ROSSI ET AL., 2016) revue narrative de la littérature	AVANT + PENDANT + APRES HOSPITALISATION Allo-HSCT Auto-HSCT 0-18 ans N=10 études incluses	Synthèse de programmes combinés : endurance, renforcement, étirements, coordination Intervention de 3 à 12 semaines Phase d'hospit : 5x/sem – 50min Phase ambulatoire : 3x/sem – 60min	Endurance (TUG) Force VO_2peak ROM Fatigue (<i>PedsQL Multidimensional Fatigue Scale</i>) Qualité de vie Mortalité dans cGVHD	Endurance : tendance à l'amélioration : pendant et après-greffe dans certaines études mais pas significatif Force : pendant et après-greffe : amélioration/ maintien dans certaines études, prévention du déclin pendant hospit mais pas de preuve de significativité VO_2peak : augmentation rapportée dans certaines études ambulatoire, pas significatif ROM : pas de différence significative (résultats issus d'un case report) Fatigue : diminution observée pendant la greffe, non significative Qualité de vie : tendance à l'amélioration pendant et après la greffe, sans conclusion statistique globale ; amélioration significative dans une étude post-greffe. Améliorations significatives dans une étude se déroulant post-greffe.
(ROSSI ET AL., 2022) étude pilote contrôlée non randomisée (groupes non simultanés)	PENDANT L'HOSPITALISATION Allo-HSCT Auto-HSCT 5-18 ans n=49 (n=30 EG, n=13 CG) <u>Évaluations :</u> - À l'admission - À la sortie	<u>Groupe intervention :</u> Programme d'exercice (EP = renforcement + endurance + étirements) et conseils de rééducation (RCI) Fréquence : 5x/semaine, Durée : 30min/séance – 2-3 séries de 5,10 ou 15 rep (supervisé par un kiné 3x/semaine et supervisé par un parent 2x/semaine) Intensité légère à modérée : RPE 2-3 sur échelle de Borg 0-10 <u>Groupe contrôle :</u> RCI seul	Performances motrices (GMFM-ALL) Force musculaire (MRC) Mobilité fonctionnelle (TUG) ROM cheville Flexibilité Fatigue (PedsQL) Faisabilité (adhérence)	Performances motrices : pas de différence significative entre EG et CG Force musculaire (MRC) : Diminution significative de la force des extenseurs du genou (p=0,001) et des fléchisseurs dorsaux de cheville (p=0,006) entre admission et sortie, sans différence significative entre le groupe intervention et le groupe contrôle. Mobilité fonctionnelle (TUG) : pas de différence significative entre les groupes ROM cheville : pas de différence significative Fatigue (PedsQL) : amélioration significative (p=0,01) Faisabilité (adhérence) : adhérence >60% chez 72% des sujets pour renfo et étirements mais diminution en ce qui concerne l'endurance

(SMITH ET AL., 2022) essai contrôlé randomisé (RCT)	AVANT + PENDANT + APRES HOSPITALISATION Allo-HSCT (92,5%) Auto-HSCT (7,5%) 4 à 21 ans n=38 (20 intervention, 18 contrôle) <u>Évaluations :</u> -avant l'hospitalisation -sortie d'hospitalisation -6 semaines post-sortie	<u>Groupe intervention (phase hospitalière) :</u> Endurance + renforcement + étirements fréquence : 3X/sem durée : 30 à 45min/séance <u>Groupe intervention (phase ambulatoire) :</u> Endurance + renforcement + étirements fréquence : 1X/sem durée : 50' à 1h/séance + livret pour exo à domicile <u>Groupe contrôle :</u> Kiné standard prescrite si nécessaire	Endurance (6MWT) Capacité fonctionnelle dans la vie quotidienne (WeeFIM) Force musculaire (MMT) Qualité de vie dans 6 domaines, psychologiques, physique et sociale : (PROMIS)	Endurance : pas d'amélioration significative du grp intervention par rapport au groupe contrôle entre admission et sortie d'hospit (p=0,35). Amélioration significative des performances d'endurance du grp intervention par rapport au groupe contrôle (p=0,023)(effet groupe)(tous temps de mesures confondus) amélioration significative de l'endurance entre admission et à 6sem post hospit (effet du temps, p=0,043) Capacité fonctionnelle ds la vie quotidienne/ indépendance fonctionnelle : interaction groupe x temps significative entre l'admission et la sortie (p=0,024) et jusqu'à 6 semaines post-hospitalisation (p=0,017), traduisant une évolution différente entre les groupes (maintien dans le groupe intervention (p=0,91) vs déclin dans le groupe contrôle (p=0,03)) Force musculaire : effet groupe significatif en faveur de l'intervention, toute périodes confondues (p=0,005) ; pas d'interaction groupe x temps significative à 6 semaines post-sortie (p=0,69) Qualité de vie : pas d'amélioration significative entre le groupe intervention et le groupe contrôle. Amélioration significative à 6 semaine pour la fatigue (P=0,037) et de l'anxiété (P=0,006).
(VANDEKERCKHOVE ET AL., 2019) Étude observationnelle prospective cas-témoins	POST-GREFFE LONG TERME Allo-HSCT (+ TBI chez 1/3 des patients) n= 43 patients n = 43 contrôle (appariés pour âge, taille, poids, IMC, surf corporelle) <u>Évaluations :</u> Patients greffés plusieurs années avant l'étude (âge médian au moment de la greffe : 7,0 ans – évalués environ 6,6 ans post-greffe)	Aucune intervention Evaluation transversale post-greffe à un instant t	Condition physique/ capacité cardio-respiratoire : VO_2max/kg, % VO_2max durée effort, charge maximale relative et absolue, FC max, VE, VAT (CPET sur cycloergomètre) Qualité de vie : score tot, fonctionnement physique, émotionnel, social, scolaire, psychosocial (PedsQL)	Condition physique/ capacité cardio-respiratoire : diminution significative de la consommation maximale d'oxygène post-greffe (VO_2max/kg, % VO_2max)(p≤0,001), diminution significative de la durée effort, de la charge maximale en valeur absolue (W) et relative (% prédite) chez les patients vs contrôle (p≤0,001), FC max plus basse après HSCT(p=0,001), VE plus basse (p=0,002), VAT plus basse (p=0,050) Qualité de vie : score global diminué comparé à la population contrôle (p=0,016), fonctionnement émotionnel diminué (p=0,001), pas de différence significative pour le fonctionnement physique, social, scolaire et psychosocial
(WEST ET AL., 2019) étude pilote de faisabilité, observationnelle de cas-témoins	POST GREFFE Allo-HSCT 8-18 ans n= 5 patients post-HSCT n= 5 contrôles sains appariés âge/BMI	Aucune intervention ; évaluation transversale environ 15,8 mois post-greffe	Capacité aérobie : VO_2peak (test cyclo ergométrique sous-maximal – protocole YMCA) Activité physique habituelle (habitual activity estimation scale) Métabolisme musculaire/ fonction musculaire périphérique (31P-MRS/IRM 3 tesla) Puissance réalisée pendant les protocoles d'exercice IRM (30s, 60s, 5x30s)	Capacité aérobie : VO_2peak significativement diminuée chez les enfants post-HSCT vs contrôles sains (p=0,015) Activité physique : pas de différence significative en semaine, diminution significative de l'activité physique le week-end et augmentation significative de l'inactivité le wknd chez enfants post-HSCT (p=0,006 pr les deux) Métabolisme musculaire : pas de différence significative au repos ou après l'effort (p>0,05) Puissance réalisée : pas de différence significative pour les tests 30s et 60s ; puissance significativement plus faible au test 5x30s chez les patients post-HSCT (p=0,009)

(YILDIZ KABAK ET AL., 2019)	PENDANT + APRES HOSPITALISATION	<u>Groupe intervention :</u>	Dépression : Children's Depression Inventory	Dépression : amélioration significative dans le groupe intervention au cours du temps ($p < 0,05$), sans différence intergroupe
Étude interventionnelle prospective contrôlée non randomisée.	Allo-HSCT (n=23) Auto-HSCT (n=3)	exercices multimodaux structurés et supervisés (renforcement, endurance, étirement et relaxation).	Fatigue et douleur :	
	3 à 17 ans	Intensité légère à modérée : (10-13 échelle de borg)	Wong-Baker Faces Pain Rating Scale	Fatigue : pas de différence significative entre groupes, avec tendance à une fatigue plus faible dans le groupe intervention à 1 mois
	n=26 (IG = 15 / IC = 11)	<u>Groupe contrôle :</u>	Qualité de vie : PedsQL (enfants et parents)	Douleur : diminution significative du nombre de jours douloureux et de l'intensité de la douleur dans le groupe IG pendant l'hospitalisation ($P = 0,021$).
	<u>Évaluations :</u> -J1 à J3 de l'hospitalisation -Sortie d'hospitalisation - J30 après l'hospitalisation ($\approx J+70$)	Enfants le plus actifs possible.		Qualité de vie : Amélioration significative dans le groupe intervention au cours du temps ($p = 0,008$), avec une QoI plus élevée que le groupe contrôle à 1 mois ($p = 0,045$ enfants ; $p = 0,036$ parents). Amélioration significative des nausées et de la communication à 1 mois dans le groupe IG.

Annexe 9 : Échelle de Borg

L'échelle de Borg 6-20 permet au patient d'auto-évaluer son effort perçu pendant l'exercice, de 6 (« aucun effort ») à 20 (« effort maximal »).

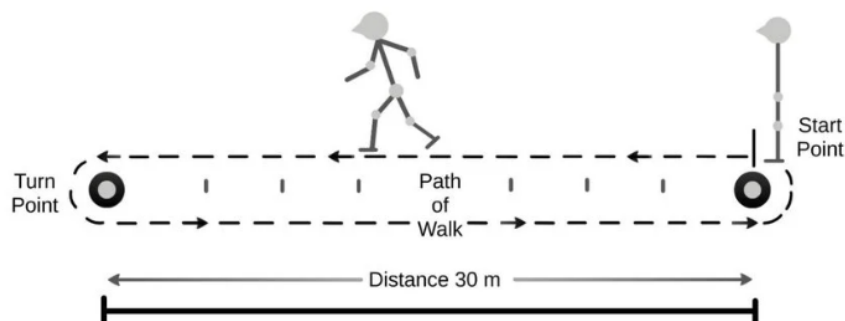
Table 1. The 15-grade scale for ratings of perceived exertion, the RPE Scale. (3)

6	
7	Very, very light
8	
9	Very light
10	
11	Fairly light
12	
13	Somewhat hard
14	
15	Hard
16	
17	Very hard
18	
19	Very, very hard
20	

Annexe 9 : Échelle de Borg 6-20 (RPE : *Rating of Perceived Exertion*). Tirée de (Borg, 1982).

Annexe 10 : 6MWT

Ce test fonctionnel permet d'évaluer la distance maximale qu'une personne peut parcourir en marchant à son propre rythme pendant 6 minutes. Cette figure explicative du « 6 Minute Walk Test » a été tirée de Benavet-Caballer (2015).



Annexe 11 : MMT

L'échelle de cotation MMT (*Manual Muscle Testing*) est réalisée en kinésithérapie pour chaque groupe musculaire en position standardisée. La cotation s'effectue selon la capacité du patient à mobiliser le segment contre pesanteur et résistance manuelle (American Physical Therapy Association., 2001).

Cotation	Description
0	Aucune contraction musculaire palpable
1	Contraction palpable ou visible, sans mouvement du segment
2	Mouvement complet du segment, en suppression de pesanteur
3	Mouvement complet du segment, contre pesanteur, sans résistance
4	Mouvement complet du segment, contre pesanteur, résistance modérée
5	Mouvement complet du segment, contre pesanteur et contre résistance

Annexe 12 : MRC

Le MRC, développé à l'origine par le Medical Research Council britannique en 1943 pour l'évaluation des lésions nerveuses périphériques, est aujourd'hui l'outil de référence international pour l'évaluation manuelle de la force musculaire (Medical Research Council).

Cotation	Description
0	Aucune contraction visible
1	Contraction visible ou palpable sans mouvement du segment
2	Mouvement actif possible en suppression de pesanteur
3	Mouvement actif contre pesanteur, sur toute l'amplitude
4	Mouvement actif, contre pesanteur et résistance modérée
5	Force normal (mouvement actif, contre pesanteur, résistance maximale)

Annexe 13 : WeeFIM

Chaque item est coté sur une échelle de 1 à 7. Le niveau 1 correspondant à une dépendance complète, de 2 à 5 un niveau intermédiaire d'aide est évalué et le niveau 7 représente une indépendance totale. Cet exemple de WeeFIM vierge a été tiré de Msall et al. (1994).

FIM™ score sheet: Burns



Name: _____ Date of birth: _____
 Date of assessment: _____ Date of motor accident: _____
 Hospital/unit: _____
 Method of administration: ☐ Direct observation ☐ Interview with: _____

Area	Score	Is score due to the burns?	Explain reasons for giving this score
SELF CARE			
1.Eating		☐ Yes ☐ No	
2.Grooming		☐ Yes ☐ No	
3.Bathing		☐ Yes ☐ No	
4.Dressing– Upper Body		☐ Yes ☐ No	
5.Dressing– Lower Body		☐ Yes ☐ No	
SPHINCTER CONTROL			
6.Toileting		☐ Yes ☐ No	
7.Bladder management		☐ Yes ☐ No	
8.Bowel management		☐ Yes ☐ No	
Self care subtotal			
TRANSFERS			
9.Transfers: Bed/ Chair/Wheelchair		☐ Yes ☐ No	Mode: W– Walk C- Wheelchair B- Both
10.Transfers: Toilet		☐ Yes ☐ No	
11.Transfers: Bath/Shower		☐ Yes ☐ No	
LOCOMOTION			
12.Walk/ Wheelchair		☐ Yes ☐ No	Mode: W– Walk C- Wheelchair B- Both
13.Stairs		☐ Yes ☐ No	
Mobility subtotal			

LTCS FIM™ score sheet – BURNS – JULY 2011
 AF2014-54 made under the Lifetime Care and Support (Catastrophic Injuries) Act 2014, s 98

Annexe 14 : PedsQL

Children report (ages 8-12)

*In the past **ONE** month, how much of a **problem** has this been for you ...*

ABOUT MY HEALTH AND ACTIVITIES (<i>problems with...</i>)	Never	Almost Never	Some- times	Often	Almost Always
1. It is hard for me to walk more than one block	0	1	2	3	4
2. It is hard for me to run	0	1	2	3	4
3. It is hard for me to do sports activity or exercise	0	1	2	3	4
4. It is hard for me to lift something heavy	0	1	2	3	4
5. It is hard for me to take a bath or shower by myself	0	1	2	3	4
6. It is hard for me to do chores around the house	0	1	2	3	4
7. I hurt or ache	0	1	2	3	4
8. I have low energy	0	1	2	3	4

ABOUT MY FEELINGS (<i>problems with...</i>)	Never	Almost Never	Some- times	Often	Almost Always
1. I feel afraid or scared	0	1	2	3	4
2. I feel sad or blue	0	1	2	3	4
3. I feel angry	0	1	2	3	4
4. I have trouble sleeping	0	1	2	3	4
5. I worry about what will happen to me	0	1	2	3	4

HOW I GET ALONG WITH OTHERS (<i>problems with...</i>)	Never	Almost Never	Some- times	Often	Almost Always
1. I have trouble getting along with other kids	0	1	2	3	4
2. Other kids do not want to be my friend	0	1	2	3	4
3. Other kids tease me	0	1	2	3	4
4. I cannot do things that other kids my age can do	0	1	2	3	4
5. It is hard to keep up when I play with other kids	0	1	2	3	4

ABOUT SCHOOL (<i>problems with...</i>)	Never	Almost Never	Some- times	Often	Almost Always
1. It is hard to pay attention in class	0	1	2	3	4
2. I forget things	0	1	2	3	4
3. I have trouble keeping up with my schoolwork	0	1	2	3	4
4. I miss school because of not feeling well	0	1	2	3	4
5. I miss school to go to the doctor or hospital	0	1	2	3	4

Parent report for children (ages 8-12)

PHYSICAL FUNCTIONING (<i>problems with...</i>)	Never	Almost Never	Some- times	Often	Almost Always
1. Walking more than one block	0	1	2	3	4
2. Running	0	1	2	3	4
3. Participating in sports activity or exercise	0	1	2	3	4
4. Lifting something heavy	0	1	2	3	4
5. Taking a bath or shower by him or herself	0	1	2	3	4
6. Doing chores around the house	0	1	2	3	4
7. Having hurts or aches	0	1	2	3	4
8. Low energy level	0	1	2	3	4

EMOTIONAL FUNCTIONING (<i>problems with...</i>)	Never	Almost Never	Some- times	Often	Almost Always
1. Feeling afraid or scared	0	1	2	3	4
2. Feeling sad or blue	0	1	2	3	4
3. Feeling angry	0	1	2	3	4
4. Trouble sleeping	0	1	2	3	4
5. Worrying about what will happen to him or her	0	1	2	3	4

SOCIAL FUNCTIONING (<i>problems with...</i>)	Never	Almost Never	Some- times	Often	Almost Always
1. Getting along with other children	0	1	2	3	4
2. Other kids not wanting to be his or her friend	0	1	2	3	4
3. Getting teased by other children	0	1	2	3	4
4. Not able to do things that other children his or her age can do	0	1	2	3	4
5. Keeping up when playing with other children	0	1	2	3	4

SCHOOL FUNCTIONING (<i>problems with...</i>)	Never	Almost Never	Some- times	Often	Almost Always
1. Paying attention in class	0	1	2	3	4
2. Forgetting things	0	1	2	3	4
3. Keeping up with schoolwork	0	1	2	3	4
4. Missing school because of not feeling well	0	1	2	3	4
5. Missing school to go to the doctor or hospital	0	1	2	3	4

Tableaux tirés de Varni (1998).

Annexe 15 : PROMIS

Échelle PROMIS (*Patient-Reported Outcomes Measurement Information System*) évalue sept domaines de la santé : fonction physique, fatigue, douleur, dépression, anxiété, vie sociale, sommeil. Le questionnaire a été tiré de PROMIS Health Organization (2008).

PROMIS–29 Profile v2.0

Please respond to each question or statement by marking one box per row.

<u>Physical Function</u>		Without any difficulty	With a little difficulty	With some difficulty	With much difficulty	Unable to do
PFA11 1	Are you able to do chores such as vacuuming or yard work?	☐ 5	☐ 4	☐ 3	☐ 2	☐ 1
PFA21 2	Are you able to go up and down stairs at a normal pace?	☐ 5	☐ 4	☐ 3	☐ 2	☐ 1
PFA23 3	Are you able to go for a walk of at least 15 minutes?	☐ 5	☐ 4	☐ 3	☐ 2	☐ 1
PFA53 4	Are you able to run errands and shop?	☐ 5	☐ 4	☐ 3	☐ 2	☐ 1
<u>Anxiety</u>						
In the past 7 days...		Never	Rarely	Sometimes	Often	Always
EDANX01 5	I felt fearful	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
EDANX40 6	I found it hard to focus on anything other than my anxiety	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
EDANX41 7	My worries overwhelmed me	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
EDANX53 8	I felt uneasy	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
<u>Depression</u>						
In the past 7 days...		Never	Rarely	Sometimes	Often	Always
EDDEP04 9	I felt worthless	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
EDDEP06 10	I felt helpless	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
EDDEP29 11	I felt depressed	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
EDDEP41 12	I felt hopeless	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
<u>Fatigue</u>						
During the past 7 days...		Not at all	A little bit	Somewhat	Quite a bit	Very much
HI7 13	I feel fatigued	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
AN3 14	I have trouble <u>starting</u> things because I am tired	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5

PROMIS-29 Profile v2.0

Fatigue

In the past 7 days...

In the past 7 days...		Not at all	A little bit	Somewhat	Quite a bit	Very much
FATEXP41 15	How run-down did you feel on average? ...	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5
FATEXP40 16	How fatigued were you on average?	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5

Sleep Disturbance

In the past 7 days...

		Very poor	Poor	Fair	Good	Very good
Sleep109 17	In the past 7 days...					
	My sleep quality was	☐	☐	☐	☐	☐
		5	4	3	2	1

In the past 7 days...

		In the past 7 days...				
		Not at all	A little bit	Somewhat	Quite a bit	Very much
Sleep116	My sleep was refreshing.....	☐	☐	☐	☐	☐
18		5	4	3	2	1

Sleep20
19 I had a problem with my sleep ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Sleep44
20 I had difficulty falling asleep ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Ability to Participate in Social Roles and Activities

		Never	Rarely	Sometimes	Usually	Always
SRPPER11	I have trouble doing all of my regular	☐	☐	☐	☐	☐
_CaPS	leisure activities with others	5	4	3	2	1
21						

SRPFR18	I have trouble doing all of the family	☐	☐	☐	☐	☐
CaPS	activities that I want to do	5	4	3	2	1
22						

SRPPER23 I have trouble doing all of my usual work (include work at home) ☐ 5 ☐ 4 ☐ 3 ☐ 2 ☐ 1

SRPPER46 _CaPS 24	I have trouble doing all of the activities with friends that I want to do	☐	☐	☐	☐	☐
		5	4	3	2	1

Pain Interference

In the past 7 days...

		In the past 7 days...				
		Not at all	A little bit	Somewhat	Quite a bit	Very much
PAINING	How much did pain interfere with your day to day activities?	☐	☐	☐	☐	☐
25		1	2	3	4	5

PAININ22	How much did pain interfere with work	☐	☐	☐	☐	☐
26	around the home?	1	2	3	4	5

PAININ31 27	How much did pain interfere with your ability to participate in social activities?.	☐	☐	☐	☐	☐
		1	2	3	4	5

PAININ34 How much did pain interfere with your household chores? ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Pain Intensity

In the past 7 days...

Global07
29

How would you rate your pain on average?.....

☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10

No pain Worst imaginable pain

Annexe 16 : Wong Baker Faces Pain Rating Scale

Le « *Wong Baker Faces Pain Rating Scale* » est un auto questionnaire qui permet d'évaluer sur une échelle de 1 à 10 la douleur. Cette figure a été tirée de Wong-Baker FACES (1983).



Annexe 17 : Timed Up & Go

Cette figure a été tirée de Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2017) et représente le « *Timed up and Go* » qui évalue les altérations de la mobilité.

ASSESSMENT

Timed Up & Go (TUG)

Purpose: To assess mobility

Equipment: A stopwatch

Directions: Patients wear their regular footwear and can use a walking aid, if needed. Begin by having the patient sit back in a standard arm chair and identify a line 3 meters, or 10 feet away, on the floor.

① Instruct the patient:

When I say “Go,” I want you to:

1. Stand up from the chair.
2. Walk to the line on the floor at your normal pace.
3. Turn.
4. Walk back to the chair at your normal pace.
5. Sit down again.

NOTE:

Always stay by the patient for safety.

② On the word “Go,” begin timing.

③ Stop timing after patient sits back down.

④ Record time.

Time in Seconds: _____

An older adult who takes ≥ 12 seconds to complete the TUG is at risk for falling.

CDC's STEADI tools and resources can help you screen, assess, and intervene to reduce your patient's fall risk. For more information, visit www.cdc.gov/steadi

Patient _____

Date _____

Time _____ ☐ AM ☐ PM

OBSERVATIONS

Observe the patient's postural stability, gait, stride length, and sway.

Check all that apply:

- ☐ Slow tentative pace
- ☐ Loss of balance
- ☐ Short strides
- ☐ Little or no arm swing
- ☐ Steadying self on walls
- ☐ Shuffling
- ☐ En bloc turning
- ☐ Not using assistive device properly

These changes may signify neurological problems that require further evaluation.

Annexe 18 : KINDL

Questionnaire international qui permet de mesurer la qualité de vie et la santé chez les enfants et adolescent de 3 à 17 ans. Le questionnaire pour les enfants âgé de 7 à 13 ans est présenté ci-dessous et a été tiré de Ravens-Sieber et Bullinger (2000).

Please tell us something about you. Please put a cross or fill in!

I am a ☐ girl ☐ boy

Age: _____ years old

How many siblings do you have? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ more than 5

Which type of school do you go to? _____



1. First of all, we would like to know something about your physical health...

<i>During the past week...</i>	never	seldom	some-times	often	all the time
1. ... I felt ill	☐	☐	☐	☐	☐
2. ... I had a headache or tummy-ache	☐	☐	☐	☐	☐
3. ... I was tired and worn-out	☐	☐	☐	☐	☐
4. ... I felt strong and full of energy	☐	☐	☐	☐	☐

2. ... then something about how you've been feeling in general...

<i>During the past week...</i>	never	seldom	some-times	often	all the time
1. ... I had fun and laughed a lot	☐	☐	☐	☐	☐
2. ... I was bored	☐	☐	☐	☐	☐
3. ... I felt alone	☐	☐	☐	☐	☐
4. ... I was scared	☐	☐	☐	☐	☐

3. ... and how you have been feeling about yourself.

<i>During the past week...</i>	never	seldom	some-times	often	all the time
1. ... I was proud of myself	☐	☐	☐	☐	☐
2. ... I felt on top of the world	☐	☐	☐	☐	☐
3. ... I felt pleased with myself	☐	☐	☐	☐	☐
4. ... I had lots of good ideas	☐	☐	☐	☐	☐

4. The next questions are about your family ...

<i>During the past week...</i>	never	seldom	some-times	often	all the time
1. ... I got on well with my parents	☐	☐	☐	☐	☐
2. ... I felt fine at home	☐	☐	☐	☐	☐
3. ... We quarrelled at home	☐	☐	☐	☐	☐
4. ... My parents stopped me from doing certain things	☐	☐	☐	☐	☐

5. ... and then about friends.

<i>During the past week...</i>	never	seldom	some-times	often	all the time
1. ... I played with friends	☐	☐	☐	☐	☐
2. ... Other kids liked me	☐	☐	☐	☐	☐
3. ... I got along well with my friends	☐	☐	☐	☐	☐
4. ... I felt different from other children	☐	☐	☐	☐	☐

6. Last of all, we would like to know something about school.

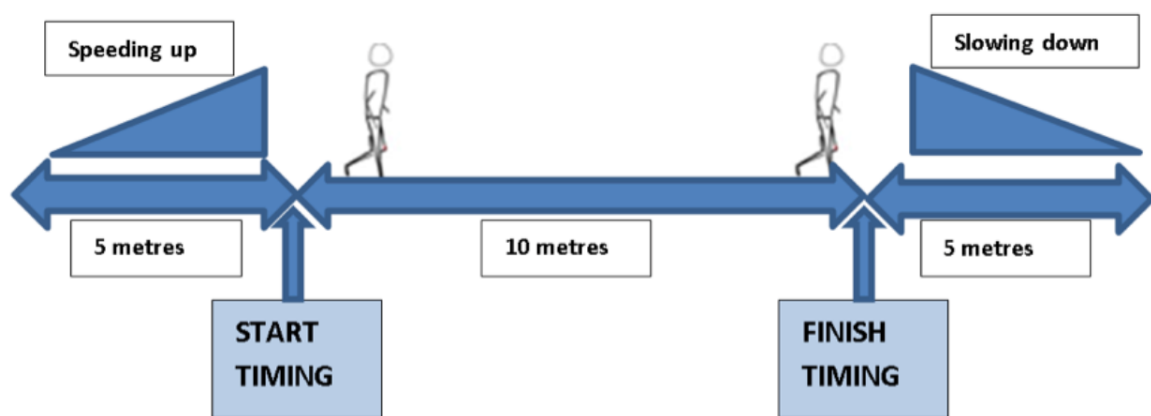
<i>During the last week in which I was at school...</i>	never	seldom	some-times	often	all the time
1. ... doing my schoolwork was easy	☐	☐	☐	☐	☐
2. ... I enjoyed my lessons	☐	☐	☐	☐	☐
3. ... I worried about my future	☐	☐	☐	☐	☐
4. ... I worried about bad marks or grades	☐	☐	☐	☐	☐

Thank you for helping us!



Annexe 19 : 10 Meter Walk Test

Cette figure représente le « *10 Meter Walk Test* » et a été adaptée par Mc Master Vieillissement Optimal (2014). Ce test permet d'évaluer la mobilité fonctionnelle en mesurant la vitesse de marche sur une distance courte. La personne marche sur une distance totale de 20 mètres comprenant une phase d'accélération de 5 mètres ainsi qu'une phase de décélération de 5 mètres.



Annexe 20 : MMQL

Le MMQL (*Minneapolis-Manchester Quality of Life Questionnaire*) est un questionnaire qui évalue la qualité de vie liée à la santé chez les participants. Cet outil explore différentes dimensions de la qualité de vie, notamment les aspects physiques, émotionnels, psychologiques et sociaux. Il permet d'apprécier l'impact de l'état de santé sur la vie quotidienne et le bien-être des individus.

Le questionnaire complet n'a pas pu être intégré dans ce mémoire car la version officielle du MMQL n'est pas disponible en accès libre et son utilisation est soumise à des droits de production. Toutefois, les informations relatives à cet outil ainsi que ses propriétés de validité et fiabilité sont décrites dans les publications scientifiques originales (Bhatia et al., 2004).

Résumé

Introduction: La greffe de cellules souches hématopoïétiques (HSCT) est devenue un traitement de référence pour de nombreuses pathologies pédiatriques malignes et non malignes. L'amélioration des taux de survie s'accompagne toutefois d'effets secondaires : atteintes cardiorespiratoires, perte de force et de masse musculaire, fatigue chronique et altération de la qualité de vie.

Objectif : Ce mémoire vise, à travers une revue narrative de la littérature, à évaluer les effets de l'activité physique structurée sur la condition physique et la qualité de vie des enfants et adolescents traités par HSCT, ainsi que la place de la kinésithérapie dans cette prise en charge.

Méthode: Cette revue narrative a été conduite selon les recommandations SANRA. À partir d'une question de recherche formulée selon les critères PICOS, des équations de recherche ont été introduites dans PubMed et Embase pour la période 2016-2025. Après application des critères d'éligibilité, 19 articles ont été inclus et évalués à l'aide des échelles PEDro et Downs & Black.

Résultats: Deux constats majeurs se dégagent. Premièrement, les patients greffés présentent une altération durable et multisystémique de leur condition physique, persistante plusieurs années après la greffe, avec une diminution de la VO_2 peak pouvant atteindre 34 % par rapport à des sujets sains appariés. Deuxièmement, les programmes d'activité physique ont des effets différenciés selon la phase de prise en charge : un rôle protecteur durant l'hospitalisation et un gain fonctionnel mesurable à partir de la phase ambulatoire, accompagné de bénéfices sur la fatigue, la douleur, l'anxiété et la participation scolaire.

Conclusion: L'activité physique constitue une stratégie prometteuse pour limiter les conséquences de la HSCT pédiatrique et améliorer la trajectoire de récupération de ces patients. Dans cette perspective, le kinésithérapeute pourrait occuper une place au sein de la prise en charge pluridisciplinaire.