

## Faculté de Médecine

Année 2021

Thèse N°

Thèse pour le diplôme d'État de docteur en Médecine

Présentée et soutenue publiquement

le 30 avril 2021

Par CABOT Mathilde

Né(e) le 13 juin 1993 à La Roche sur Yon (85000)

### **Évaluation du niveau de validité des moniteurs portatifs d'activité physique chez les patients post-AVC : Méta-analyse**

Thèse dirigée par **Dr COMPAGNAT Maxence**

Examineurs :

M. le Professeur Jean-Yves Salle  
M. le Professeur Jean-Christophe Daviet  
M. le Docteur Maxence Compagnat  
M. le Docteur David Berniker

Président du jury  
Juge  
Directeur de thèse  
Juge





## Faculté de Médecine

Année 2020

Thèse N°

## Thèse pour le diplôme d'État de docteur en Médecine

Présentée et soutenue publiquement

Le 30 avril 2021

Par CABOT Mathilde

Né(e) le 13 juin 1993 à La Roche sur Yon (85000)

### **Évaluation du niveau de validité des moniteurs portatifs d'activité physique, chez les patients post-AVC : Méta-analyse**

Thèse dirigée par **Dr COMPAGNAT Maxence**

Examineurs :

M. le Professeur Jean-Yves Salle  
M. le Professeur Jean-Christophe Daviet  
M. le Docteur Maxence Compagnat  
M. le Docteur David Berniker

Président du jury  
Juge  
Directeur de thèse  
Juge



## Professeurs des Universités - praticiens hospitaliers

---

Le 14 octobre 2020

<b>ABOYANS</b> Victor	CARDIOLOGIE
<b>ACHARD</b> Jean-Michel	PHYSIOLOGIE
<b>AJZENBERG</b> Daniel	PARASITOLOGIE et MYCOLOGIE
<b>ALAIN</b> Sophie	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
<b>AUBARD</b> Yves	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE
<b>AUBRY</b> Karine	O.R.L.
<b>BERTIN</b> Philippe	THERAPEUTIQUE
<b>CAIRE</b> François	NEUROCHIRURGIE
<b>CHARISSOUX</b> Jean-Louis	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE et TRAUMATOLOGIQUE
<b>CLAVERE</b> Pierre	RADIOTHERAPIE
<b>CLEMENT</b> Jean-Pierre	PSYCHIATRIE d'ADULTES
<b>CORNU</b> Elisabeth	CHIRURGIE THORACIQUE et CARDIOVASCULAIRE
<b>COURATIER</b> Philippe	NEUROLOGIE
<b>DARDE</b> Marie-Laure	PARASITOLOGIE et MYCOLOGIE
<b>DAVIET</b> Jean-Christophe	MEDECINE PHYSIQUE et de READAPTATION
<b>DESCAZEAUD</b> Aurélien	UROLOGIE
<b>DES GUETZ</b> Gaëtan	CANCEROLOGIE
<b>DESSPORT</b> Jean-Claude	NUTRITION
<b>DRUET-CABANAC</b> Michel	MEDECINE et SANTE au TRAVAIL
<b>DURAND-FONTANIER</b> Sylvaine	ANATOMIE (CHIRURGIE DIGESTIVE)
<b>FAUCHAIS</b> Anne-Laure	MEDECINE INTERNE
<b>FAUCHER</b> Jean-François	MALADIES INFECTIEUSES
<b>FAVREAU</b> Frédéric	BIOCHIMIE et BIOLOGIE MOLECULAIRE

<b>FEUILLARD</b> Jean	HEMATOLOGIE
<b>FOURCADE</b> Laurent	CHIRURGIE INFANTILE
<b>GAUTHIER</b> Tristan	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE
<b>GUIGONIS</b> Vincent	PEDIATRIE
<b>HANTZ</b> Sébastien	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
<b>HOUETO</b> Jean-Luc	NEUROLOGIE
<b>JACCARD</b> Arnaud	HEMATOLOGIE
<b>JAUBERTEAU-MARCHAN</b> M. Odile	IMMUNOLOGIE
<b>JESUS</b> Pierre	NUTRITION
<b>LABROUSSE</b> François	ANATOMIE et CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES
<b>LACROIX</b> Philippe	MEDECINE VASCULAIRE
<b>LAROCHE</b> Marie-Laure	PHARMACOLOGIE CLINIQUE
<b>LIENHARDT-ROUSSIE</b> Anne	PEDIATRIE
<b>LOUSTAUD-RATTI</b> Véronique	HEPATOLOGIE
<b>LY</b> Kim	MEDECINE INTERNE
<b>MABIT</b> Christian	ANATOMIE
<b>MAGY</b> Laurent	NEUROLOGIE
<b>MARIN</b> Benoît	EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE de la SANTE et PREVENTION
<b>MARQUET</b> Pierre	PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE
<b>MATHONNET</b> Muriel	CHIRURGIE DIGESTIVE
<b>MELLONI</b> Boris	PNEUMOLOGIE
<b>MOHTY</b> Dania	CARDIOLOGIE
<b>MONTEIL</b> Jacques	BIOPHYSIQUE et MEDECINE NUCLEAIRE
<b>MOUNAYER</b> Charbel	RADIOLOGIE et IMAGERIE MEDICALE
<b>NATHAN-DENIZOT</b> Nathalie	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION
<b>NUBUKPO</b> Philippe	ADDICTOLOGIE

<b>OLLIAC</b> Bertrand	PEDOPSYCHIATRIE
<b>PARAF</b> François	MEDECINE LEGALE et DROIT de la SANTE
<b>PLOY</b> Marie-Cécile	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
<b>PREUX</b> Pierre-Marie	EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE de la SANTE et PREVENTION
<b>ROBERT</b> Pierre-Yves	OPHTALMOLOGIE
<b>SALLE</b> Jean-Yves	MEDECINE PHYSIQUE et de READAPTATION
<b>STURTZ</b> Franck	BIOCHIMIE et BIOLOGIE MOLECULAIRE
<b>TCHALLA</b> Achille	GERIATRIE ET BIOLOGIE DU VIEILLISSEMENT
<b>TEISSIER-CLEMENT</b> Marie-Pierre	ENDOCRINOLOGIE, DIABETE et MALADIES METABOLIQUES
<b>TOURE</b> Fatouma	NEPHROLOGIE
<b>VALLEIX</b> Denis	ANATOMIE CHIRURGIE GENERALE
<b>VERGNENEGRE</b> Alain	EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE de la SANTE et PREVENTION
<b>VERGNE-SALLE</b> Pascale	THERAPEUTIQUE
<b>VIGNON</b> Philippe	REANIMATION
<b>VINCENT</b> François	PHYSIOLOGIE
<b>YARDIN</b> Catherine	CYTOLOGIE et HISTOLOGIE

**PROFESSEUR ASSOCIE DES UNIVERSITES A MI-TEMPS DES DISCIPLINES MEDICALES**

<b>BRIE</b> Joël	CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE ET STOMATOLOGIE
<b>KARAM</b> Henri-Hani	MEDECINE D'URGENCE
<b>MOREAU</b> Stéphane	EPIDEMIOLOGIE CLINIQUE

**MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS**

<b>BALLOUHEY</b> Quentin	CHIRURGIE INFANTILE
<b>BARRAUD</b> Olivier	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
<b>BOURTHOUMIEU</b> Sylvie	CYTOLOGIE et HISTOLOGIE

<b>COUVE-DEACON</b> Elodie	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
<b>DELUCHE</b> Elise	CANCEROLOGIE
<b>DUCHESNE</b> Mathilde	ANATOMIE et CYTOLOGIE PATHOLOGIQUES
<b>DURAND</b> Karine	BIOLOGIE CELLULAIRE
<b>ESCLAIRE</b> Françoise	BIOLOGIE CELLULAIRE
<b>JACQUES</b> Jérémie	GASTRO-ENTEROLOGIE ; HEPATOLOGIE
<b>LE GUYADER</b> Alexandre	CHIRURGIE THORACIQUE et CARDIOVASCULAIRE
<b>LIA</b> Anne-Sophie	BIOCHIMIE et BIOLOGIE MOLECULAIRE
<b>RIZZO</b> David	HEMATOLOGIE
<b>TERRO</b> Faraj	BIOLOGIE CELLULAIRE
<b>WOILLARD</b> Jean-Baptiste	PHARMACOLOGIE FONDAMENTALE

#### **P.R.A.G.**

<b>GAUTIER</b> Sylvie	ANGLAIS
-----------------------	---------

#### **MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES ASSOCIES A MI-TEMPS**

<b>SALLE</b> Laurence	ENDOCRINOLOGIE (du 01-09-2020 au 31-08-2021)
-----------------------	---

#### **PROFESSEUR DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE**

<b>DUMOITIER</b> Nathalie	(Responsable du département de Médecine Générale)
---------------------------	---

#### **MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE A MI-TEMPS DE MEDECINE GENERALE**

<b>HOUDARD</b> Gaëtan	(du 01-09-2019 au 31-08-2022)
<b>LAUCHET</b> Nadège	(du 01-09-2020 au 31-08-2023)
<b>PAUTOUT-GUILLAUME</b> Marie-Paule	(du 01-09-2018 au 31-12-2020)

#### **PROFESSEURS EMERITES**

<b>ADENIS</b> Jean-Paul	du 01-09-2017 au 31-08-2021
<b>ALDIGIER</b> Jean-Claude	du 01.09.2018 au 31.08.2020

<b>BESSEDE</b> Jean-Pierre	du 01-09-2018 au 31-08-2020
<b>BUCHON</b> Daniel	du 01-09-2019 au 31-08-2021
<b>DESSPORT</b> Jean-Claude	du 01-09-2020 au 31-08-2021
<b>MERLE</b> Louis	du 01.09.2017 au 31.08.2020
<b>MOREAU</b> Jean-Jacques	du 01-09-2019 au 31-08-2021
<b>TREVES</b> Richard	du 01-09-2020 au 31-08-2021
<b>TUBIANA-MATHIEU</b> Nicole	du 01-09-2018 au 31-08-2021
<b>VALLAT</b> Jean-Michel	du 01.09.2019 au 31.08.2022
<b>VIROT</b> Patrice	du 01.09.2018 au 31.08.2021



## **Assistants Hospitaliers Universitaires – Chefs de Clinique**

---

Le 02 mars 2021

### **ASSISTANTS HOSPITALIERS UNIVERSITAIRES**

<b>APPOURCHAUX</b> Evan	ANATOMIE CHIRURGIE DIGESTIVE
<b>HAZELAS</b> Pauline	BIOCHIMIE
<b>DAURIAT</b> Benjamin	HISTOLOGIE, EMBRIOLOGIE ET CYTOGENETIQUE
<b>DUPONT</b> Marine	HEMATOLOGIE BIOLOGIQUE
<b>DURIEUX</b> Marie-Fleur	PARASITOLOGIE
<b>GILBERT</b> Guillaume	ANESTHESIE REANIMATION
<b>HERMINEAUD</b> Bertrand	LABORATOIRE ANAPATHOLOGIE
<b>HUMMEL</b> Marie	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION
<b>LABRIFFE</b> Marc	PHARMACOLOGIE
<b>LADES</b> Guillaume	BIOPHYSIQUE ET MEDECINE NUCLEAIRE
<b>LEFEBVRE</b> Cyrielle	ANESTHESIE REANIMATION
<b>LOPEZ</b> Stéphanie	MEDECINE NUCLEAIRE
<b>PASCAL</b> Virginie	IMMUNOLOGIE CLINIQUE
<b>PIHAN</b> Franck	ANESTHESIOLOGIE-REANIMATION
<b>ROUX-DAVID</b> Alexia	ANATOMIE CHIRURGIE DIGESTIVE

### **CHEFS DE CLINIQUE - ASSISTANTS DES HOPITAUX**

<b>ALBOUYS</b> Jérémie	HEPATO GASTRO ENTEROLOGIE
<b>ARGOULON</b> Nicolas	PNEUMOLOGIE
<b>ASLANBEKOVA</b> Natella	MEDECINE INTERNE
<b>BAÏSSE</b> Arthur	REANIMATION POLYVALENTE
<b>BERRAHAL</b> Insaf	NEPHROLOGIE
<b>BOSCHER</b> Julien	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE

<b>BRISSET</b> Josselin	MALADIES INFECTIEUSES ET TROPICALES
<b>CAUDRON</b> Sébatien	RADIOLOGIE
<b>CENRAUD</b> Marie	NEUROLOGIE
<b>CHAUBARD</b> Sammara	HEMATOLOGIE
<b>CHAUVET</b> Romain	CHIRURGIE VASCULAIRE
<b>CISSE</b> Fatou	PSYCHIATRIE
<b>CAYLAR</b> Etienne	PSYCHIATRIE ADULTE
<b>COMPAGNON</b> Roxane	CHIRURGIE INFANTILE
<b>DARBAS</b> Tiffany	ONCOLOGIE MEDICALE
<b>DESCHAMPS</b> Nathalie	NEUROLOGIE
<b>DESCLEE de MAREDSOUS</b> Romain	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE
<b>DESVAUX</b> Edouard	MEDECINE GERIATRIQUE
<b>DOUSSET</b> Benjamin	CARDIOLOGIE
<b>DUVAL</b> Marion	NEPHROLOGIE
<b>FIKANI</b> Amine	CHIRURGIE THORACIQUE et CARDIOVASCULAIRE
<b>FORESTIER</b> Géraud	RADIOLOGIE
<b>FROGET</b> Rachel	CENTRE D'INVESTIGATION CLINIQUE (pédiatrie)
<b>GEYL</b> Sophie	GASTROENTEROLOGIE
<b>GUILLAIN</b> Lucie	RHUMATOLOGIE
<b>HARDY</b> Jérémy	CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE
<b>HESSAS-EBELY</b> Miassa	GYNECOLOGIE OBSTETRIQUE
<b>LALOZE</b> Jérôme	CHIRURGIE PLASTIQUE
<b>LAUVRAY</b> Thomas	PEDIATRIE
<b>LEMNOS</b> Leslie	NEUROCHIRURGIE
<b>MAURIANGE TURPIN</b> Gladys	RADIOTHERAPIE

<b>MEUNIER</b> Amélie	ORL
<b>MICLE</b> Liviu-Ionut	CHIRURGIE INFANTILE
<b>MOWENDABEKA</b> Audrey	PEDIATRIE
<b>PARREAU</b> Simon	MEDECINE INTERNE ET POLYCLINIQUE
<b>PELETTE</b> Romain	CHIRURGIE UROLOGIE et ANDROLOGIE
<b>PEYRAMAURE</b> Clémentine	ONCOLOGIE MEDICALE
<b>PLAS</b> Camille	MEDECINE INTERNE B
<b>QUILBE</b> Sébastien	OPHTALMOLOGIE
<b>SALLEE</b> Camille	GYNECOLOGIE OBSTETRIQUE
<b>SANSON</b> Amandine	REANIMATION POLYVALENTE
<b>SANCHEZ</b> Florence	CARDIOLOGIE
<b>SERY</b> Arnaud	ORL
<b>TARDIEU</b> Antoine	GYNECOLOGIE OBSTETRIQUE
<b>TORDJMAN</b> Alix	GYNECOLOGIE MEDICALE
<b>TRICARD</b> Jérémy	CHIRURGIE THORACIQUE et CARDIOVASCULAIRE MEDECINE VASCULAIRE
<b>VAIDIE</b> Julien	HEMATOLOGIE CLINIQUE
<b>VERLEY</b> Jean-Baptiste	PSYCHIATRIE ENFANT ADOLESCENT
<b>VERNAT-TABARLY</b> Odile	OPHTALMOLOGIE
<b>VIDAL</b> Thomas	OPHTALMOLOGIE

### **CHEF DE CLINIQUE – MEDECINE GENERALE**

**BERTRAND** Adeline

**RUDELLE** Karen

**SEVE** Léa

**PRATICIEN HOSPITALIER UNIVERSITAIRE**

**CHRISTOU** Niki

CHIRURGIE VISCERALE ET DIGESTIVE

**COMPAGNAT** Maxence

MEDECINE PHYSIQUE et de READAPTATION

**LAFON** Thomas

MEDECINE D'URGENCE

**SALLE** Henri

NEUROCHIRURGIE

A la mémoire de ma mamie chérie,  
Ton amour inconditionnel et ta fierté m'accompagnent chaque jour

*“Ce n'est pas la fin. Ce n'est même pas le commencement de la fin.  
Mais, c'est peut-être la fin du commencement.”*

**Winston Churchill**

## Remerciements

---

*Aux membres du jury,*

**A mon président du jury, Monsieur le Professeur Jean-Yves Salle,**

Vous me faites l'honneur de présider ce jury de thèse. Je vous remercie pour votre exemple de savoir et de rigueur. Je suis fière de pouvoir faire partie des internes ayant eu la chance d'avoir été formé dans votre service. Soyez assuré de mon profond respect.

**Monsieur le Professeur Jean-Christophe Daviet,**

Je vous remercie de me faire l'honneur de juger ce travail. Je vous suis très reconnaissante de pouvoir apprendre à vos côtés, avec la justesse et précision qui vous caractérisent. Vous m'avez fait découvrir et aimer cette spécialité. Je ne pouvais espérer mieux en arrivant à Limoges. C'est un réel plaisir de refaire les différents matchs de sport du week-end, avec vous, dès la première pause du lundi matin... en attendant la réouverture de Beaublanc ! Vous êtes un modèle pour moi.

**A mon directeur de thèse, Monsieur le Docteur Maxence Compagnat,**

Je te suis reconnaissante pour l'aide et la disponibilité dont tu as su me faire part en tant que directeur de thèse. Tes succès, nombreux, tant sur le plan professionnel que personnel, sont un exemple pour nous tous. Je te remercie d'être un tel exemple au quotidien.

**Monsieur le Docteur David Berniker,**

Je te remercie d'avoir accepté de juger ce travail, et ainsi d'avoir surmonté ta précédente expérience dans cet exercice. Ta disponibilité et bienveillance, à l'image de l'ensemble de l'équipe d'HEMIPASS, sont une source d'inspiration.

**Madame le Docteur Marguerite Munoz,**

Un des points les plus positifs de cette crise sanitaire a, indéniablement, été votre rencontre. Je vous remercie du compagnonnage dont vous me faites part au quotidien, de votre générosité qu'elle soit au sein du service, dans la relecture de mes travaux universitaires ou autour de votre table. J'attends avec impatience mon prochain stage en MPR pour continuer à apprendre à vos côtés.

**Madame le Docteur Charlotte Verdie,**

Je te remercie de l'enseignement, la bienveillance et gentillesse que tu apportes à chacun de tes internes. Ta passion et ton implication auprès de tes patients sont une grande source d'inspiration. Merci également pour ta bonne humeur et ton humour carabin qui me fera toujours rire.

**Monsieur le Docteur Romain Joste,**

Notre passion pour le café, et surtout les petites pauses café de 13h30, m'ont tout de suite permis de me sentir à l'aise au sein du service. Ce premier semestre restera riche en enseignements. Je te remercierai jamais assez pour ta disponibilité et ton écoute, qui représentent tant pour moi. En attendant impatiemment notre prochaine séance de sport !

**Monsieur le Docteur Jérémie Bordes,**

Je te remercie pour la transmission de ton savoir, immense. J'ai hâte de pouvoir me former prochainement, à tes côtés, tant tes connaissances sont inspirantes.

**Madame le Docteur Sophie Peyrichou,**

Sophie, merci pour ton compagnonnage durant 6 mois (et bien plus...) ! Merci pour tes nombreux conseils, je suis admirative de ta passion en la Médecine et de ton écoute envers tes patients et leurs familles. J'ai évolué à tes côtés. Je suis sincèrement heureuse de pouvoir faire partie des internes que tu as formé. Ton soutien est une chance incroyable, je t'en remercie !

**Monsieur le Docteur Yves-André Vimont,**

J'espère que vous garderez une petite pensée pour moi lorsque vous écoutez vos cassettes audio sur votre Walkman... J'en aurais toujours une pour vous, en voyant tout ce concentré de technologie moderne !



**Sans oublier,**

**A l'ensemble des infirmiers, aides-soignants, agents des services hospitaliers, rééducateurs du service de MPR,** Merci pour votre accueil à mon arrivée et de votre bienveillance quotidienne, même lorsqu'il s'agit de devoir faire un peu de « rab » pour remplir mes questionnaires farfelus. Chaque jour est un réel plaisir de venir travailler dans cette équipe ! Merci à vous toutes et tous !

**A l'ensemble de l'équipe médicale et paramédicale du service de Rhumatologie, ainsi que celle du CRRF André Lalande de Noth,**

Je vous remercie de m'avoir tous accueilli chaleureusement pendant ces 6 mois !

**A mes co-internes,**

**A Sonia,**

Même un grand discours ne saurait arriver à la cheville de ta gentillesse sans borne. Merci Soso d'être toujours si disponible ! Tes qualités sont nombreuses, et font de toi une de mes amies les plus chères !

**A Céline,**

Avant même d'arriver à Limoges, tu as été d'une gentillesse sans nom à mon égard. Grâce à toi, j'ai pu m'intégrer dans le service et avec les autres internes ! Je n'oublierai jamais ton rôle primordial dans mon intégration limougeaude ! Ton empathie et implication sans borne dans tout ce que tu fais, me rendent fière d'être ta co-interne et amie. Heureuse pour toi que tu puisses t'épanouir lors de ce prochain semestre et hâte qu'on puisse recommencer rapidement à travailler ensemble !

**A Guilhem,**

Cet été a, sans aucun doute, été le meilleur semestre de mon internat, et ce, grâce à toi ! Ton humour et tes envolées lyriques enivrantes me manquent énormément. Tu as su être ce vieil interne qui nous inspire. Je suis heureuse de t'avoir rencontrée, et continuer notre amitié malgré les kilomètres.

**A Mamad,**

Merci pour ton compagnonnage et ta bienveillance qui ont commencé en rhumato, et qui perdurent encore aujourd'hui... Je suis fière de ta réussite, « tant sur le plan professionnel que personnel », tu es une inspiration (petite commère) !

**A Maxime,**

A toi qui finalement a dû me supporter pendant une année entière ! Notre partage de bureau aura, j'espère, pu enrichir tes connaissances en matière de décoration d'intérieur, shopping et surtout de couleurs ! Merci pour ta bonne humeur et ta profonde gentillesse.

**A tous mes autres co-internes : Bertrand, Arthur, Lise, Marine, Guillaume, Lucie, Marie-Camille, Jules, Abetare, Tarek**

Merci d'avoir su rendre agréable chaque semestre ! Mon internat n'aurait pas été le même sans vous et nos pauses cafés !

***A mes amis,***

**A Séam,**

Il m'est impossible d'assez te remercier en quelques mots... Depuis l'internat à Dautet jusqu'à la Nouvelle-Zélande, dix années d'amitié qui perdurent, et perdureront pour encore quelques dizaines ... On n'a jamais été aussi proches de réaliser nos rêves les plus fous ! Je suis tellement fière de toi, de ce que tu as réussi à accomplir, de ta force à toute épreuve et de tes valeurs humanistes et altruistes en toutes circonstances ; tu es un réel modèle pour moi. Je t'aime !

**A Virginie,**

Nous avons grandi côte à côte, en nous rapprochant progressivement, et j'en suis ravie. Une nouvelle page de ta vie vient de s'ouvrir, je suis tellement heureuse de pouvoir assister à ton épanouissement. Merci vivi d'être toujours là, malgré la distance !

**A Olivier De T.,**

Pour qui, une seule consultation médicale, ne suffira jamais ... Tant que les huitres et le champagne sont toujours servis frais, je m'occuperai volonté de tes problèmes de genoux ! Merci de permettre à ma copine d'être si heureuse !

**A Lucille,**

Depuis l'externat, tu es présente à mes côtés. Merci de ton soutien indéfectible, de ta générosité, de ta gentillesse et tes précieux conseils durant toutes ces années. Heureusement que des heures d'appel permettent de gommer notre éloignement... Je t'aime fort !

**A Pauline et Antoine,**

Merci de votre gentillesse et amitié depuis notre 2<sup>ème</sup> année de médecine ! J'ai hâte de pouvoir continuer à accompagner votre bonheur. Je suis fière de vous, je vous adore !

**A Claire,**

Depuis notre premier jour limougeaud, merci de tout cœur pour ton amitié et soutien, sans faille. Tu es une personne exceptionnelle, je suis très fière de ta réussite et de pouvoir être ton amie. Pour ces dernières années, et les nombreuses prochaines... Merci !!

**A Manon,**

Je suis ravie de pouvoir te compter parmi mes amis ! Tu comptes énormément pour moi, merci d'être à mes côtés depuis mon premier jour à Limoges !

**A Alexandre, Olivier G., Thomas, Kentin, Cyrielle, Clovis, Caroline, Emma,**

Cet internat à « Limoche » m'a permis de vous rencontrer, et j'en suis ravie ! Merci à tous d'être à mes côtés, je suis très fière de votre réussite à tous ! Vivement nos prochains shooteurs à la Madeleine.

*« Que la douceur de l'amitié soit faite de rires et de plaisirs partagés. »* Khalil Gibran

***A ma famille et mes proches,***

**A Marie-France et Hervé,**

Merci pour votre gentillesse et votre présence depuis mes plus jeunes années. Vous êtes la preuve que, parfois, la famille n'est pas uniquement une question d'ADN. Je suis fière de vous avoir à mes côtés.

**A Carole et Jean-Paul,**

Je vous remercie de votre bienveillance et gentillesse lors de notre cohabitation forcée. Merci Carole pour ta présence sans limite ! Je vous adore !

**A Jacky et Françoise,**

Merci pour votre amour incommensurable. Vous faites partie des gens qui me sont le plus chers. Je vous aime !

**A Stéphanie et David,**

Thank you each for the love you have carried me for years. You are entirely part of our family, and I am the happiest ! Your kindness honors you. Thank you for everything ! I love you so much.

**Papy,**

Je suis persuadée que tu es profondément fier de moi aujourd'hui ! Vous m'avez permis, avec mamie, d'être la personne que je suis aujourd'hui, je t'aime !

**Papa, Maman,**

Il n'y a pas de doute, si j'en suis là aujourd'hui, c'est grâce à vous ! Vous avez toujours fait en sorte que je ne manque de rien, je vous remercie pour votre amour qui me permet de prêter serment aujourd'hui ! Je suis fière d'être votre fille, je vous aime !

**A ma petite sœur chérie,**

Pauline, je suis tellement heureuse d'être ta grande sœur, depuis le premier jour ! « C'est moi ta grande sœur, tu me reconnais ? » Je suis incroyablement fière de ta réussite, de ton épanouissement, aussi bien professionnel que personnel. Ton soutien est une force, je t'aime !

## Droits d'auteurs

---

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



## Table des matières

PREMIERE PARTIE : ETAT DES CONNAISSANCES.....	27
I. Accidents vasculaires cérébraux.....	27
I.1. Définition.....	27
I.2. Epidémiologie.....	27
I.3. Déficiences secondaires à un AVC.....	28
I.3.1. Altération de la fonction motrice après un AVC.....	29
I.3.2. Impact des autres déficiences sur la récupération motrice.....	30
I.4. Marche et AVC.....	30
I.4.1. La marche normale.....	30
I.4.2. La marche après un AVC.....	31
I.5. Importance des facteurs de risque cardiovasculaires après un AVC.....	31
II. Activité physique et sédentarité.....	33
II.1. Définitions.....	33
II.2. Bénéfices de l'activité physique chez un patient post-AVC.....	33
III. La dépense énergétique.....	35
III.1. Généralités.....	35
III.2. Méthodes d'évaluation de la dépense énergétique.....	37
III.2.1. La calorimétrie.....	37
III.2.1.1. La calorimétrie directe.....	37
III.2.1.2. La calorimétrie indirecte.....	38
III.2.1.2.1. Méthode de la calorimétrie indirecte respiratoire.....	38
III.2.1.2.2. Méthode de l'eau doublement marquée.....	39
III.2.2. Les moniteurs portatifs d'activité physique.....	39
III.2.2.1. Les podomètres.....	39
III.2.2.2. Les accéléromètres.....	40
III.2.2.3. Les multi-capteurs.....	42
IV. Concept de validité et fiabilité statistiques.....	44
DEUXIEME PARTIE : META-ANALYSE.....	45
I. Problématique et intérêt de l'étude.....	45
II. Matériel et Méthodes.....	46
II.1. Stratégie de recherche et de sélection des articles.....	46
II.2. Critères d'inclusion et d'exclusion des études.....	47
II.3. Extraction des données.....	47
II.4. Evaluation de la qualité des études.....	48
II.5. Analyses statistiques.....	48
III. Résultats.....	50
III.1. Identification et caractéristiques des études.....	50
III.2. Niveau de validité des capteurs portatifs.....	55
III.3. Niveau de reproductibilité des capteurs en fonction de leurs caractéristiques.....	56
III.4. Niveau de reproductibilité test-retest en fonction du type d'activité physique.....	57
TROISIEME PARTIE : DISCUSSION.....	59
CONCLUSION.....	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	62

Annexes ..... 67  
Serment d'Hippocrate..... 71

## Table des illustrations

---

Figure 1: Stratégie de recherche utilisée pour MEDLINE (Pubmed search engine).....	46
Figure 2 : Diagramme de flux, selon la méthode PRISMA.....	51
Figure 3 : Biais moyen des mesures, via la méthode de Bland-Altman .....	56
Figure 4 : Méta-analyse sur le niveau de corrélation, concernant l'activité de marche .....	57
Figure 5 : Niveau de reproductibilité test-retest, en fonction du type d'activité physique .....	58



## Table des tableaux

---

Tableau 1 : Classification des activités physiques selon leur intensité (37).....	36
Tableau 2 : Caractéristiques des capteurs d'activité physique .....	41
Tableau 3 : Caractéristique des études incluses dans la méta-analyse (n=13).....	52

## Liste des abréviations

---

ADL : *Activity of Daily Living*

AHA : *American Heart Association*

ALD : Affection de Longue Durée

AP : Activité Physique

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

BPCO : Bronchopneumopathie Chronique Obstructive

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone

COR : Coefficient de corrélation r

DE : Dépense Energétique

FRM : Fauteuil Roulant Manuel

GS : *Gold Standard*

HAS : Haute Autorité de Santé

IC95% : Intervalle de confiance, à 95%

ICC : *Intraclass Correlation Coefficient* ou Coefficient de corrélation intra-classe

MB : Biais moyen

MD : Divergence moyenne

MET : *Metabolic Equivalent of Task*

MI : Membre Inférieur

MS : Membre Supérieur

NCHS : *National Center for Health Statistics*

NIHSS : *National Institute of Health Stroke Score*

O<sub>2</sub> : Dioxygène

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

QUADAS-2 : *Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies*

RMSE : *Root Mean Square Error*

SWA : Sensewear Pro Armband

SWA2 : Sensewear Pro2 Armband

# PREMIERE PARTIE : ETAT DES CONNAISSANCES

---

## I. Accidents vasculaires cérébraux

---

### I.1. Définition

Un accident vasculaire cérébral (AVC) est défini comme « un déficit neurologique d'origine vasculaire, d'apparition brutale, secondaire à un infarctus (AVC ischémique) ou à une hémorragie cérébrale ou méningée (AVC hémorragique) au niveau du cerveau ».

### I.2. Epidémiologie

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), quinze millions de personnes subissent un AVC tous les ans dans le Monde, dont un million en décèdent et cinq millions en garderont des séquelles.(1) De plus, aux Etats-Unis, selon les travaux de l'*American Heart Association* (AHA) sept millions d'Américains vivent avec un antécédent d'AVC (2), représentant une prévalence de 2,8% des hommes et femmes américains de plus de 18 ans.(3)

Cette pathologie représente la seconde cause de mortalité dans le Monde, tant dans les pays à revenus élevés que dans les pays en développement, représentant respectivement 9,9 et 9,5% des décès.(4)

Les instituts américains compétents tels que le *National Center for Health Statistics* (NCHS) évoquent que la prévalence devrait augmenter de 3,4 millions d'ici 2030 (4% de la population générale états-unienne) soit plus de 20% d'augmentation avec une prédominance chez les femmes de plus de 65 ans.(2)

En France, on dénombre chaque année plus de 140 000 nouveaux cas d'AVC, soit un patient subissant un AVC toutes les quatre minutes.(5) Les accidents vasculaires cérébraux représentent la troisième cause de décès (10%, soit 40 000 décès par an), après les cancers (157 400 décès par an) et les maladies cardio-vasculaires (140 000 décès par an) ; la deuxième cause de démence après la maladie d'Alzheimer et la principale cause de handicap acquis chez l'adulte dans les pays industrialisés.(6,7)

L'AVC peut survenir à tout âge. L'âge moyen de survenue est de 74 ans.(8) Cependant, on estime que 25% des AVC surviennent dans la vie active, c'est-à-dire à un âge de moins de 65 ans. (1) Le risque de récurrence après un premier AVC est de l'ordre de 30 à 43% dans les cinq ans.(9)

En terme de handicap, le Ministère de la Santé et des Solidarités estime que plus de 225 000 personnes sont classées en affection longue durée (ALD) « accident vasculaire cérébral invalidant » par le régime général de l'Assurance Maladie, sous-estimant le handicap réel lié à cette pathologie, en raison d'une sous-déclaration connue de cette ALD, notamment lorsque l'AVC survient chez un patient déjà considéré en ALD pour une autre pathologie.

L'AVC est un enjeu majeur de santé publique. En termes médico-économiques et de poids pour le Système de Santé français, les dépenses engendrées par les différentes prises en charge suite à un AVC sont d'environ 8,3 milliards d'euros par an. (9) Une somme considérable soulignant la nécessité de promouvoir des programmes de rééducation plus personnalisés, afin de permettre une meilleure autonomie des survivants d'AVC. En effet, actuellement, plus de 43% des personnes demeurent très dépendantes physiquement malgré des soins et une réadaptation efficaces.

### **I.3. Déficiences secondaires à un AVC**

Selon l'OMS, la déficience désigne « une altération de la fonction organique ou de la structure anatomique, tel qu'un écart ou une perte importante ». (10)

La sévérité d'un AVC est très variable. En effet, l'AIT régresse en quelques minutes, sans laisser de séquelles ; tandis que d'autres AVC peuvent entraîner des séquelles définitives plus ou moins lourdes. Sur le plan neurologique, un patient ayant subi un AVC peut présenter une atteinte des fonctions supérieures et/ou de la motricité et/ou de la sensibilité et/ou de la vision. Les séquelles les plus fréquentes et invalidantes sont l'hémiplégie (déficit partiel de la force musculaire) et l'aphasie (trouble du langage oral et écrit, affectant l'expression et la compréhension).

La déficience motrice est la pierre angulaire de la problématique de ce travail s'intéressant à la mesure de la dépense énergétique chez les patients après un AVC, et notamment lors de la marche, activité physique la plus étudiée dans la bibliographie.

En effet, les principales variations de la dépense énergétique des individus sont issues de l'activité physique et ainsi l'activation musculaire directement impactée par l'atteinte de la fonction motrice. (11)

En outre, il semble primordial d'également aborder les autres déficiences secondaires à un AVC, tels que les troubles de l'humeur, les troubles cognitifs, qui peuvent avoir un impact sur la déficience motrice et le recueil de l'activité physique, représentant alors une barrière forte à la participation aux activités physiques.

### I.3.1. Altération de la fonction motrice après un AVC

Selon le Professeur De Recondo, « Chez l'Homme, la motricité est une fonction hautement différenciée liée à la contraction musculaire. Le terme de motilité est utilisé lorsque l'activité motrice est à l'origine d'un déplacement dans l'espace ou de toute partie du corps ». (12)

La fonction motrice se manifeste par deux activités distinctes qui coexistent et se conditionnent l'une à l'autre :

- les contractions musculaires toniques ou isométriques qui stabilisent un certain nombre de régions corporelles
- et les contractions dites « phasiques » ou « dynamiques », plus ou moins rapides, qui engendrent le mouvement.

Chaque mouvement nécessite une force musculaire suffisante pour entraîner le mouvement. Le tonus musculaire et la coordination des différents muscles doivent être aptes à ajuster en permanence le mouvement en fonction des différentes activités réalisées.

La fonction motrice apporte l'aptitude aux déplacements, au maintien de la posture, et à la réalisation d'actions sur le monde extérieur. (12)

La déficience motrice est une déficience courante, puisqu'on estime que 89% des individus hospitalisés en phase aiguë de leur AVC présentent une altération de la fonction motrice; engendrant de manière significative l'indépendance des individus après un AVC. (13) (14)

Le déficit moteur, complet ou incomplet, peut être prédominant au niveau de la motricité proximale ou distale, et ainsi altérer de manière plus ou moins importante le mouvement. De plus, il peut également exister des co-contractions musculaires, induisant une perte de la sélectivité de la commande volontaire. (14) Ces altérations de la motricité sont sources d'une activité musculaire qui se démarque de celle d'un individu sain. En effet, le muscle étant le consommateur principal de dioxygène (O<sub>2</sub>) lors des activités physiques, il est possible qu'une activité musculaire supplémentaire liée à ces perturbations de la motricité soit responsable d'une augmentation de la consommation d'O<sub>2</sub>.

Lorsque l'on s'intéresse à la récupération des déficiences motrices, il est démontré qu'approximativement 65% des individus après un AVC, ayant présenté un déficit moteur initial au membre inférieur bénéficieront d'une récupération motrice plus ou moins significative.(14) Selon Hendricks et al., l'importance du déficit moteur initial est un important facteur prédictif de récupération, notamment si une récupération est observée dans les premiers jours après un AVC. De plus, l'absence de contrôle moteur volontaire du membre inférieur et du membre supérieur durant la première semaine post-AVC est associée à une mauvaise récupération à six mois.(15)

### **I.3.2. Impact des autres déficiences sur la récupération motrice**

Outre la déficience motrice précédemment décrite, un individu post-AVC peut présenter des déficiences d'ordre sensitif, visuel, cognitif, thymique ou neurovégétatif, influençant la durée d'hospitalisation, les conditions de retour à domicile ou l'institutionnalisation.

Environ 20 à 30% des patients présentent un déficit du champ visuel après un AVC, pouvant ainsi limiter de façon péjorative la récupération, les déplacements et l'activité physique.(16) Elle est en outre également fréquemment associée à des déficiences cognitives comme des négligences héli-corporelles et des anosognosies.

La prévalence de la démence est augmentée dans la population post-AVC : alors que l'on estime que 6 à 8% des individus de plus de 60 ans présentent une démence (17) ; il est estimé que 10% des patients développent une démence peu après un AVC. (18) Delavaran et al, ont démontré qu'à 10 ans, environ 61% d'une cohorte de 127 individus AVC présentaient une démence.(18)

Ainsi, ces différentes déficiences peuvent limiter, de manière plus ou moins importante, la récupération motrice des individus post-AVC.

## **I.4. Marche et AVC**

### **I.4.1. La marche normale**

La marche est l'un des principaux modes de déplacement de l'être humain. Elle est constituée d'une activité rythmique symétrique et coordonnée des deux membres inférieurs et peut être décomposée en cycles successifs alternant :

- Une phase d'appui (simple et double appui), représentant 60% du cycle de marche
- Une phase oscillante, comptant pour 40% du cycle

L'ensemble du système musculaire et osseux est mis à contribution lors de la marche, sous le contrôle du système nerveux central et périphérique. De plus, l'équilibre, la vision et la proprioception sont essentiels pour permettre les modulations et adaptations nécessaires de l'individu à l'environnement.

La fonction de marche est contrôlée par différentes régions du système nerveux. Les zones corticales (cortex pré-moteur, pariétal et préfrontal) et sous-corticales (striatum, pallidum, thalamus) sont organisées en boucles et jouent un rôle essentiel dans l'initiation, la planification et la programmation de la locomotion.

L'exécution motrice met en jeu les cortex moteurs primaires, les faisceaux pyramidaux via les cellules pyramidales du cortex pré-moteur et les motoneurones au niveau de la moelle épinière. L'équilibre et la coordination des membres impliquent le cervelet et les noyaux vestibulaires, systèmes en interactions étroites avec l'ensemble des systèmes sensoriels et moteurs. L'adaptation de la marche à l'environnement nécessite donc des relations étroites entre le système moteur et les informations sensorielles provenant des voies afférentes visuelles, proprioceptives et vestibulaires.

#### **I.4.2. La marche après un AVC**

En phase aiguë, 2/3 des patients présentant un AVC ont une altération de la marche. A la fin de l'hospitalisation en rééducation, on estime que 64% des survivants ont une indépendance à la marche, 14% sont dépendants d'une aide technique ou humaine et 22% ne récupèrent aucune capacité de marche.(19)

Les troubles de la marche contribuent grandement aux limitations d'activité après un AVC ; ainsi, améliorer la marche est l'objectif le plus souvent déclaré par les patients victimes d'un AVC.(20) La récupération de la marche est maximale dans les 6 premières semaines, et l'amélioration de la fonction de marche semble plus limitée au-delà de 11 semaines après l'AVC.(19)

Les altérations des paramètres spatio-temporels de la marche chez les patients AVC sont secondaires à la déficience motrice, sensitive ainsi qu'aux troubles posturaux. Chez le patient hémiparétique, la vitesse de marche est nettement inférieure à celle de la population générale, de l'ordre de 0.65 m/sec (+/- 0.22), en phase chronique.(21) De plus, la marche est caractérisée par une asymétrie des paramètres spatio-temporels entre le côté sain et le côté parétique, avec notamment un défaut de raccourcissement du membre inférieur ; ainsi qu'une diminution significative de la cadence, de la longueur de la foulée. Cette asymétrie caractéristique est responsable d'une augmentation du risque de chute chez ces patients, qui a tendance à perdurer avec le temps, malgré l'amélioration fonctionnelle de la marche.(22)

#### **I.5. Importance des facteurs de risque cardiovasculaires après un AVC**

Les facteurs de risque de l'AVC sont connus et pour la plupart modifiables : hypertension artérielle, troubles des métabolismes lipidique et glucidique, obésité avec graisse viscérale, pathologies cardiaques (notamment emboligènes), tabagisme et l'inactivité physique. (23) Selon l'OMS, 80% des crises cardiaques ou des AVC prématurés (c'est-à-dire survenant avant 65 ans) sont évitables par modification notamment de ces facteurs de risque.(24)

Les patients atteints d'AVC présentent une forte prévalence aux comorbidités associées. Ces affections peuvent être antérieures à l'AVC, se produire pour la première fois après un accident vasculaire cérébral ou se présenter comme des complications de l'AVC sur

des comorbidités préexistantes à l'AVC (par exemple, un syndrome coronarien au décours d'un AVC, chez un patient avec des antécédents de coronaropathie). Les patients survivants à un AVC sont connus pour avoir un sur-risque de complications cardiaques secondaires et de récurrence d'AVC, rendant ainsi la période post-AVC particulièrement propice pour mettre en œuvre des interventions de prévention secondaire. En effet, il semble qu'une atteinte cardiaque soit rapportée chez 75% des survivants d'un AVC.(25) De plus, des études interventionnelles ont montré que chez les patients post-AVC, les facteurs de risque d'une maladie coronarienne (tels que l'hypertension artérielle ou une dyslipidémie) peut être réduit par l'exercice, mais que les gains fonctionnels sont perdus si l'activité n'est pas maintenue. (26,27)

L'activité physique s'avère être un moyen de prévention secondaire ou tertiaire primordial dans la lutte contre ces facteurs de risque cardiovasculaires. Elle impose cependant une dépense énergétique plus importante au système cardiovasculaire des patients hémiparétiques comparée à celle des sujets valides, les survivants d'AVC avec une maladie cardiaque préexistante peuvent ainsi présenter un risque accru de complications cardiaques indésirables liées à l'effort.(25) Ainsi, l'intérêt d'encadrer de manière sécuritaire la pratique d'une activité physique, et ainsi de promouvoir le mouvement, après un AVC, semble indissociable d'une pratique de spécialiste en médecine physique de rééducation et de réadaptation.



## II. Activité physique et sédentarité

---

### II.1. Définitions

Selon l’OMS, l’activité physique se définit par « tout mouvement produit par les muscles squelettiques, responsable d’une augmentation de la dépense énergétique ». A l’inverse, la sédentarité correspond à « l’absence d’activité ou d’exercice physique ».(23) Un comportement sédentaire correspond à un comportement qui multiplie les périodes où la dépense énergétique est inférieure à 1.5 fois la dépense énergétique de l’individu au repos.

La sédentarité est actuellement considérée comme le 4<sup>ème</sup> facteur de risque de décès dans le Monde (6%). (23) On estime par ailleurs que l’inactivité physique est la cause principale de 21-25% des cancers du sein ou du colon, de 27% des cas de diabète et d’environ 30% des cas de cardiopathie ischémique.(23)

Ainsi, il a été démontré que pratiquer une activité physique régulière réduit le risque de ces pathologies, et également celui de subir un accident vasculaire cérébral.(28) L’exercice physique régulier est un déterminant essentiel de la dépense énergétique, et est donc fondamental pour l’équilibre énergétique et le contrôle du poids.(23)

### II.2. Bénéfices de l’activité physique chez un patient post-AVC

Un faible niveau d’activité physique (AP) est un risque cardiovasculaire significatif.(29) En conséquence, promouvoir l’AP et ainsi augmenter son intensité sont des interventions pertinentes, avec des effets positifs sur les mécanismes de récupération après un AVC, prises en charges soutenues par des recommandations de bonne pratique clinique.(30)

En effet, l’*American Heart Association* et *American Stroke Association* ont émis, en 2014, des recommandations concernant l’AP et les exercices recommandés chez les survivants d’un AVC. Ainsi, face aux bénéfices que l’AP représentent chez les patients post-AVC, ces sociétés savantes recommandent que l’AP doit faire partie intégrante de la prise en charge d’un AVC, avec une promotion de l’activité aérobie de moyenne intensité, l’activité de renforcement musculaire, la réduction du comportement sédentaire, et la gestion des facteurs de risques pour la prévention secondaire des AVC.(30)

En France, la Haute Autorité de Santé (HAS) a également publié des recommandations concernant l’AP dans notre population d’intérêt. L’HAS rappelle qu’il est recommandé de mettre en place une activité physique adaptée aux capacités individuelles des patients, puisqu’elle a des effets bénéfiques sur la neuroplasticité, en limitant notamment la taille des infarctus et améliorant la récupération neurocomportementale. (32) De plus, l’AP améliore la récupération fonctionnelle, en particulier neuromusculaire ; a des effets bénéfiques prouvés

sur la capacité cardio-respiratoire des patients post-AVC et diminue le risque de syndrome dépressif. En outre, il a été démontré que l'AP adaptée ne présente pas de risque particulier chez les individus après un AVC et n'aggrave pas la spasticité musculaire, y compris le travail de renforcement musculaire ou un travail en charge (grade B). (31)

Rand et al. (2009) a montré que chez les survivants après un AVC, peu d'entre eux atteignent les recommandations en terme de niveau d'activité physique hebdomadaire ; en effet, on estime que, dans cette population, le temps de sédentarité correspond à plus de 80% du temps journalier, ce qui est significativement plus important que le temps de sédentarité de leurs pairs. (33,34)

## III. La dépense énergétique

---

### III.1. Généralités

La dépense énergétique (DE) correspond à l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'organisme en toute circonstance. La dépense énergétique journalière correspond à la somme de trois grands postes :

- Le métabolisme de base : correspondant à la dépense énergétique minimale pour le fonctionnement et l'entretien de l'organisme, dans des conditions standardisées (à jeun, au repos, à température neutre), représentant environ 60% de la dépense énergétique des 24h
- L'énergie dépensée par l'activité physique : correspondant à toute forme de dépense énergétique qui s'ajoute au métabolisme de base, secondaire à un mouvement. Il s'agit du poste de dépense énergétique le plus variable d'un individu à l'autre, et représente 15 à 30% de la dépense énergétique totale
- L'effet thermique des aliments : correspondant au coût énergétique qu'engendre la conversion des aliments en énergie utilisable pour le corps.

La mesure de l'intensité d'une activité physique et de la dépense énergétique est, consensuellement, exprimée par le rapport de la dépense pendant l'activité à celle correspondant au métabolisme de repos. L'unité de ce rapport est appelée le *metabolic equivalent of task* (MET) ; le nombre de MET est donc fonction de l'intensité de l'activité. Un MET correspond au métabolisme de repos (sujet assis, éveillé), soit 1 kcal/kg de poids corporel par heure, soit à une consommation de 3-4 mL O<sub>2</sub>/kg de poids corporel. Ainsi, l'activité physique peut être catégorisée en fonction de l'intensité et des MET en des activités sédentaires, d'intensité faible, modérée, élevée et très élevée.

Tableau 1 : Classification des activités physiques selon leur intensité (37)

Activité sédentaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépense énergétique <math>\leq</math> 1,5 MET</li> <li>- Pas d'essoufflement, pas de transpiration, battements cardiaques non perçus</li> <li>- Exemples : déplacements en véhicule motorisé, activités en position assise (regarder la télévision, lire, écrire, travailler sur ordinateur ...), toutes les activités réalisées au repos en position allongée ou semi-allongée</li> </ul>
AP d'intensité faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépense énergétique comprise entre 1,6 et 3 MET</li> <li>- Pas d'essoufflement, pas de transpiration</li> <li>- Exemples : marche <math>&lt;</math> 4 km/h, promener son chien, s'habiller, faire des activités manuelles ou lecture (en position debout)</li> </ul>
AP d'intensité modérée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépense énergétique comprise entre 3 et 6 MET</li> <li>- Essoufflement et transpiration modérée, conversation possible</li> <li>- Exemples : marche 5 à 6,5 km/h, montée lente des escaliers, course à pied <math>&lt;</math> 8 km/h, danse, jardinage</li> </ul>
AP d'intensité élevée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépense énergétique comprise entre 6 et 9 MET</li> <li>- Essoufflement important, transpiration abondante, conversation difficile</li> <li>- Exemples : marche rapide supérieure à 6,5 km/h, montée rapide des escaliers, course à pied à 8 - 9 km/h</li> </ul>
AP d'intensité très élevée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépense énergétique <math>\geq</math> 9 MET</li> <li>- Essoufflement très important, transpiration très abondante, conversation impossible</li> <li>- Exemples : course à pied <math>\geq</math> 9 km/h, vélo <math>&gt;</math> 25 km/h</li> </ul>

Selon les dernières recommandations internationales de l'OMS, les adultes âgés de 18 à 64 ans, sains, devraient pratiquer au moins 150 minutes d'activité d'endurance d'intensité modérée ou au moins 75 minutes d'activité d'endurance soutenue, ou une combinaison équivalente d'activité d'intensité modérée et soutenue. De plus, afin de pouvoir en retirer des bénéfices supplémentaires sur le plan de la santé, les adultes devraient augmenter la durée de leur activité d'endurance d'intensité modérée de façon à atteindre 300 minutes par semaine ou pratiquer 150 minutes par semaine d'activité d'endurance d'intensité soutenue ou une combinaison équivalente d'activité d'intensité modérée et soutenue. (23)

## III.2. Méthodes d'évaluation de la dépense énergétique

Les différentes méthodes d'évaluation de l'activité physique sont, soit des méthodes de référence (calorimétrie directe et indirecte), soit des méthodes d'auto-évaluation (questionnaires, agenda d'activité physique).

### III.2.1. La calorimétrie

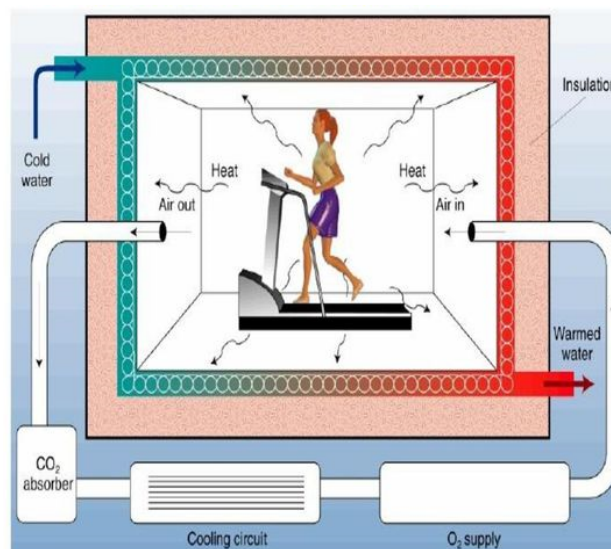
La calorimétrie est la mesure de la quantité d'énergie utilisée par un organisme vivant ; ce qui permet une évaluation globale de son fonctionnement. L'unité de mesure est le kilocalorie (Kcal) ; un kcal représente 4.185 kilojoules. La calorimétrie peut se faire de manière directe ou indirecte.

#### III.2.1.1. La calorimétrie directe

Il s'agit d'une analyse physiologique : tout travail métabolique ou chimique de l'organisme va générer de la chaleur. La mesure de la production de cette chaleur est alors une mesure de la dépense énergétique, reflet du métabolisme de l'individu.

Le principe est le maintien d'une température constante dans une chambre isolante, appelée chambre calorimétrique.

Illustration d'une chambre calorimétrique



Un sujet est mis dans une enceinte dont les parois sont parcourues par de l'eau. Il est recueilli les modifications de température transférée à l'eau, afin d'évaluer la quantité de chaleur produite par le sujet.

La méthode permet de mesurer la dépense énergétique de façon fiable, mais est coûteuse, encombrante ; elle ne se réalise donc pas en pratique clinique courante.

### III.2.1.2. La calorimétrie indirecte

#### III.2.1.2.1. Méthode de la calorimétrie indirecte respiratoire

Toute dépense d'énergie est liée à la consommation d'oxygène, la calorimétrie indirecte repose sur l'équivalence entre l'énergie utilisée dans l'organisme et celle convertie à partir de l'oxydation des nutriments. Ainsi, la mesure de la consommation d'oxygène lors de l'AP donne une bonne estimation (mesure indirecte) de la dépense énergétique. En effet, la différence entre calorimétrie directe et indirecte est généralement de l'ordre de 1%.

La mesure se base sur la différence entre l'oxygène ( $O_2$ ) prélevée au niveau des poumons et l'oxygène expiré (sous forme de dioxygène de carbone ( $CO_2$ )). Les fractions expirées de ces gaz sont mesurées, ainsi que le volume total d'air expiré. Les variations d' $O_2$  et de  $CO_2$  (en pourcentage) dans l'air expiré reflètent la consommation d'oxygène et la production de  $CO_2$ . Cette production permet le calcul de la dépense énergétique, de façon valide.

Cette méthode est une méthode de référence pour la mesure de la dépense énergétique, et est couramment utilisée en physiologie du sport, afin d'évaluer la dépense énergétique au cours d'une activité physique. Elle est cependant coûteuse, peu pratique en pratique courante et ne permet pas l'évaluation de grandes populations.

Calorimétrie indirecte d'effort portable (Cosmed K5®)



### III.2.1.2.2. Méthode de l'eau doublement marquée

La méthode à l'eau doublement marquée est également une mesure de calorimétrie indirecte qui permet de déterminer la dépense énergétique totale dans les conditions habituelles de vie. Elle consiste à faire ingérer au sujet un mélange d'eau marquée sur l'oxygène ( $^{18}\text{O}$ ) et sur l'hydrogène ( $^2\text{H}$ , Deutérium). L'Oxygène est plus rapidement éliminé que le Deutérium et cette différence de vitesse d'élimination dépend de la production de  $\text{CO}_2$ . La mesure de la différence d'élimination des deux isotopes dans les urines permet le calcul de la production de  $\text{CO}_2$  et de la dépense énergétique.

La détermination est simple, et non invasive pour le sujet étudié : après ingestion d'eau marquée par ces traceurs stables, non radioactifs, un recueil des urines tous les jours, pendant 14 jours est réalisé. Cette méthode a cependant l'inconvénient de nécessiter un traceur et des méthodes d'analyse en spectrométrie de masse très onéreux.

Les études de validation de cette méthode ont inclus des conditions sédentaires, mais également des mesures lors d'activité à haute intensité lors desquelles les sujets réalisaient un travail intense sur un vélo ergomètre.(37) La méthode de l'eau doublement marquée est la seule méthode qui mesure la dépense énergétique, sans incidence de l'environnement, et notamment la dépense énergétique liée à l'activité physique de manière indépendante au comportement du sujet. Elle est devenue le Gold Standard pour l'évaluation de la dépense énergétique, (38) chez les sujets sains, tout comme les patients et les athlètes.(39)

## III.2.2. Les moniteurs portatifs d'activité physique

Depuis plusieurs dizaines d'années, différents moniteurs portatifs ont été développés dans le but de quantifier l'activité physique et la dépense énergétique quotidienne ou lors des différentes activités physiques. Leur essor a été promu par leur intégration dans notre vie quotidienne via les smartphones et différents appareils connectés.

### III.2.2.1. Les podomètres

Un podomètre est un dispositif portable, sensible au mouvement, permettant de mesurer en temps réel le nombre de pas d'un individu, et ainsi de donner une estimation de la distance parcourue correspondante. Ils fonctionnent soit grâce à un oscillateur permettant la détection du mouvement, soit grâce à un accéléromètre (notamment dans les smartphones). Actuellement, les podomètres sont intégrés à un nombre croissant d'appareils électroniques commercialisés tels que les smartphones, et les montres connectées.

Les podomètres estiment également la dépense énergétique en fonction du nombre de pas, estimation semblant précise, mais ayant été essentiellement étudiée et validée chez des individus sains. (40)

En effet, il n'existe, à ce jour, aucune étude qui évalue le niveau de validité des podomètres pour l'estimation de la dépense énergétique chez les individus après un AVC. (41)

Dans notre méta-analyse, un seul podomètre a été étudié dans l'ensemble des articles inclus : le ONStep 400, commercialisé par Geonaute, Décathlon. Cet appareil peut se porter au niveau de la hanche ou du cou et permet la mesure du nombre de pas, de la distance parcourue et de la dépense énergétique.

Podomètre ONStep 400, Géonaute



### III.2.2.2. Les accéléromètres

Un accéléromètre est un capteur qui, fixé à un segment de membre, permet de mesurer l'accélération linéaire de ce dernier. Les accéléromètres peuvent être uni, bi ou tri-axiaux, selon le nombre d'axes orthogonaux qu'ils considèrent pour calculer les accélérations. Le principe de la plupart des accéléromètres est basé sur du principe fondamental de la dynamique ou deuxième loi de Newton :

$$\text{Force (en Newton)} = \text{masse (en kg)} \times \text{accélération (en m/s}^2\text{)}$$

Les accéléromètres permettent une mesure de la dépense énergétique, via l'intégration de la somme des accélérations enregistrées, à l'aide d'un algorithme, souvent inconnu de l'utilisateur. Ils peuvent également renseigner le nombre de pas, la durée et intensité de l'activité, le temps de port du moniteur, la position lors de l'activité... Toutes ces données sont combinées en *counts*. Les *counts* sont convertis en kcal par les MET que l'accéléromètre attribue aux *counts*. Les différents types d'accéléromètres étudiés dans notre méta-analyse sont référencés dans le tableau 1 ci-contre.



Tableau 2 : Caractéristiques des capteurs d'activité physique

Capteurs	Marque	Caractéristiques	Port possible	Mesures
SenseWear Pro Armband	BodyMedia Inc, Pittsburgh, PA, USA	Accéléromètre biaxial	Face postérieure du bras, juste au-dessus du triceps	- Dépense énergétique
SenseWear Pro2 Armband	BodyMedia Inc, Pittsburgh, PA, USA	Accéléromètre biaxial	Face postérieure du bras, juste au-dessus du triceps	- Dépense énergétique
ActigraphGT3x	Actigraph Corp, Pensacola, FL, USA	Accéléromètre triaxial	Poignet, hanche, cheville	- Capteur de lumière ambiante - Surveillance de la fréquence cardiaque - Durée de port du capteur - Activité de base pendant la journée - Inclinomètre durant le sommeil
Caltrac	Muscle Dynamics, Torrance, CAL, USA	Accéléromètre uniaxial	Taille	- Dépense énergétique
ActivPAL	PAL Technologies Ltd, Glasgow, UK	Accéléromètre uniaxial	Cuisse, poignet	- Nombre de pas - Nombre de périodes de marche - Durée des postures, des activités de marche, de l'activité physique totale
Actical	Respironics, Philips	Accéléromètre biaxial	Poignet, hanche, cheville	- Dépense énergétique - Durée des activités
ONStep 400	Geonate	Podomètre	Cou, hanche	- Nombre de pas - Distance parcourue - Dépense énergétique
Google Fit	Google LCC, Mountain View, CAL, USA	Application Smartphone	Hanche	- Nombre de pas

Les accéléromètres sont des dispositifs portatifs calibrés en laboratoire sur des activités standardisées, telles que la marche ou la course. Crouter et al (2006) ont étudié la dépense énergétique estimée par l'Actigraph GT3x et celle mesurée par une méthode de calorimétrie indirecte, via le Cosmed K4b<sup>2</sup> portatif, chez 48 étudiants lors de la réalisation de 18 activités physiques.(42) Les auteurs ont démontré une sous-estimation de la dépense énergétique de l'ordre de 50% lors de la réalisation d'activités physiques de raquettes et de balle ; l'amélioration du niveau de précision des mesures estimées par l'Actigraph GT3x étaient la marche à allure lente et rapide, ainsi que la course à pied, activités pour lesquelles les moniteurs ont été calibrés.

Exemples d'accéléromètres : à gauche, l'Actigraph GT3x ; à droite, l'Actical

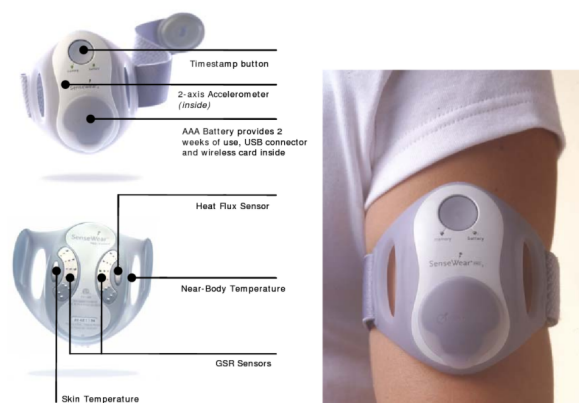


### III.2.2.3. Les multi-capteurs

Les multi-capteurs sont des dispositifs qui associent plusieurs capteurs de fonctions différentes. En général, ils sont tous composés d'un accéléromètre, avec d'autres capteurs tels qu'un gyroscope, moniteurs de la fréquence cardiaque, de la température corporelle... Par exemple, le Sensewear Armband estime la dépense énergétique à partir d'un accéléromètre biaxial, d'un capteur de la température de la peau et la réponse galvanique de la peau ; lui permettant d'avoir une meilleure précision pour la mesure de la dépense énergétique, selon le fabricant.(43)

Les smartphones peuvent aussi être considérés comme des multi-capteurs, puisqu'ils sont pratiquement tous équipés d'un accéléromètre, d'un gyroscope, d'une boussole et d'un GPS. Le téléphone transforme ensuite les données brutes en kcal grâce aux algorithmes des différents logiciels et applications. (44)

Schématisation du Sensewear Armband et de ses différents capteurs



Actuellement, il existe de plus en plus de travaux publiés évaluant la validité des estimations de la dépense énergétique par ces différents moniteurs portatifs sur une population particulière, tels que des individus présentant des déficiences secondaires à une atteinte d'origine vasculaire. L'intérêt de notre travail est d'étudier le niveau de validité de tous

ces moniteurs pour l'estimation de la dépense énergétique chez les individus ayant subi un AVC.

## IV. Concept de validité et fiabilité statistiques

---

Lorsque l'on mesure une grandeur, on souhaite que les résultats soient utiles et reflètent effectivement les concepts qu'elle représente. Ainsi, nous avons deux préoccupations : que le dispositif de recherche soit valide et que la mesure soit fiable.(45)

La validité d'un outil est définie comme la capacité de ce dernier à évaluer spécifiquement ce pour quoi il a été conçu.(46) Il existe différentes dimensions de la validité :

- Validité de contenu : définie comme le degré auquel les éléments de la mesure sont représentatifs et ont un lien direct avec ce qui est mesuré
- Validité de critère : représente la comparaison du résultat donné par l'outil à celui donné par l'outil de référence, considéré comme le Gold Standard
- Validité de construit : vérifie que la mesure de l'outil correspond bien à notre connaissance théorique de cette caractéristique (via l'étude de groupes de sujets ayant des caractéristiques différentes, via d'autres échelles évaluant les mêmes dimensions, via la vérification d'une absence de corrélation entre les différents items d'un score)

Une mesure est dite valide, lorsque la part du biais dans les résultats obtenus est peu importante. (47)

La méthode du Bland-Altman est la méthode statistique la plus utilisée pour évaluer la dispersion des données recueillies par un outil, en comparaison avec celles recueillies par une méthode, considérée comme référence, lors de mesures répétées. Lorsque les valeurs de la dispersion sont basses, les méthodes sont presque concordantes ; par contre, lorsque les valeurs de la dispersion sont élevées, elles sont très discordantes. En analysant la moyenne des différences entre deux méthodes, Bland et Altman et al. (1999) ont décrit le biais moyen (*mean bias*) correspondant à cette moyenne. De manière statistique, ce biais moyen permet de pouvoir effectuer une régression linéaire et ainsi estimer un intervalle de confiance où 95% des différences pourront se trouver. (48,49)

La fiabilité ou reproductibilité correspond à la capacité d'un outil à rapporter les mêmes résultats lors de l'évaluation d'une même caractéristique. Cette mesure s'effectue principalement via le coefficient de corrélation intraclass (ICC). On considère classiquement qu'un ICC > 0,91 est très bon, entre 0,91 et 0,71 comme bon, entre 0,70 et 0,51 comme modéré, 0,50 et 0,31 comme médiocre et < 0,30 comme très mauvais. Ainsi, d'une manière générale, un ICC élevé, proche de 1, indique une grande similitude entre les mesures effectuées en comparaison aux mesures effectuées par une méthode de référence. Le coefficient de corrélation de Pearson ( $r$ ) peut également être utilisé pour estimer une corrélation. Ce dernier donne une mesure de l'intensité et du sens de la relation linéaire entre deux variables. Allant de -1 à 1, lorsque  $r = 1$ , les deux variables sont parfaitement corrélées positivement ; cela signifie qu'une augmentation d'une unité d'une variable se traduira par une augmentation d'une unité de l'autre variable et inversement. Lorsque  $r = -1$ , les deux variables sont parfaitement corrélées négativement. La valeur absolue du coefficient indique la force de la relation entre deux variables.

## DEUXIEME PARTIE : META-ANALYSE

---

### I. Problématique et intérêt de l'étude

---

L'OMS estime que 15 millions de personnes subissent un AVC chaque année dans le monde. L'AVC est la première cause de décès chez les femmes, la troisième cause de décès chez les hommes et la première cause d'invalidité acquise dans les pays industrialisés. Les troubles de la motricité secondaires à un infarctus cérébral prédisposent les survivants à un faible niveau d'activité physique ainsi qu'à un mode de vie sédentaire, conduisant à un déconditionnement cardiovasculaire, une faiblesse musculaire et une dégradation des capacités fonctionnelles (50,51).

Pour lutter contre l'inactivité physique, les organisations mondiales de Santé Publique préconisent une activité physique quotidienne de 150 minutes par semaines ou 1000 kcal dépensées au cours de la pratique de l'activité physique car l'activité physique améliore les capacités cardiorespiratoires, l'indépendance fonctionnelle pour les actes de la vie quotidienne après un AVC. (33,52) Malheureusement le niveau de dépense énergétique recommandé est rarement atteint chez les patients présentant des séquelles neurologiques, avec de grandes disparités en raison de la variabilité des déficiences et des niveaux d'indépendance après un AVC.

La mesure de cette quantité d'activité physique, de manière individuelle, semble essentielle pour permettre l'individualisation des programmes d'entraînement, afin de renforcer l'adhésion des patients de manière durable.(52,53) De plus, l'adaptation individuelle de cette mesure de la dépense énergétique permet également au médecin d'évaluer les changements de comportement essentiels pour le maintien des bénéfices sur le long terme. Il semble donc important de monitorer la dépense énergétique pendant les activités de la vie quotidienne après un accident vasculaire cérébral.(54)

Les accéléromètres sont de plus en plus utilisés chez les patients post-AVC et permettent d'estimer la dépense énergétique par l'accélération des membres, en fonction de l'emplacement du membre. Le port de ces accéléromètres semble approprié pour mesurer objectivement la dépense énergétique pendant les activités de la vie quotidienne. Cependant, ils peuvent sous-estimer la dépense énergétique chez les patients AVC.(55,56)

Ainsi, nous avons réalisé une méta-analyse afin d'évaluer le niveau de validité des différents moniteurs d'activité physique actuellement utilisés en recherche clinique, chez les patients post-AVC.

## II. Matériel et Méthodes

### II.1. Stratégie de recherche et de sélection des articles

Pour réaliser cette méta-analyse, nous avons utilisé la méthode PRISMA : Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (Moher D PRISMA Group, 2009)

Afin d'inclure toutes les études relatives à la dépense énergétique chez les patients post-AVC, nous avons réalisé une recherche bibliographique sur les bases de données MEDLINE (PubMed search engine), Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL ; Cochrane Library), SCOPUS online databases, ClinicalTrials.gov et Opengrey.eu. Nous avons également soumis notre protocole d'étude sur PROSPERO, sous le numéro d'enregistrement CRD42020213182.

La stratégie de recherche a été développée sur MEDLINE, avant d'être adaptée aux autres bases de recherche (Figure 2). Les mots clés ont été divisé en trois catégories : mots clés concernant la dépense énergétique, ceux concernant la condition de la population (mots MeSH en rapport avec l'AVC et l'hémiplégie) et ceux concernant les méthodes de mesure de la dépense énergétique (mots MeSH en rapport avec les accéléromètres et synonymes).

Mots clés utilisés pour la recherche bibliographique	<pre> ((((("energy expenditure" or "energy cost" or "oxygen consumption" or "physical activit*") )  AND ("stroke"[MeSH Terms] or "stroke" or "CVA*" or "cerebrovascular accident*" or "brain injur*" or "hemipar*" or "hemipl*" or "cerebral infar*")  AND ("mobile" or "actigr*" or "cell phon*" or "smartphone application" or "application" or "phone" or "device*" or "tracker*" or "monitor*" or "sensor*" or "acceleromet*" or "pedometer" or "detect*" or "multi-device" or "wearable" or "actimet*" or "objectively-measur*" or "inertial motion unit" or "imu" ))  NOT ("child*" or "animal") </pre>
--	---

Figure 1: Stratégie de recherche utilisée pour MEDLINE (Pubmed search engine)

Deux reviewers (MC et MC) ont analysé de façon indépendante l'ensemble des titres et abstracts. Si les conditions d'inclusion de l'article restaient incertaines, l'article complet était lu par les deux évaluateurs et les critères d'inclusion lui étaient alors appliqués. En cas de litige entre les deux examinateurs, un troisième examinateur (JCD) procédait à l'examen et sa décision était contraignante.

## II.2. Critères d'inclusion et d'exclusion des études

Les critères d'inclusion sont des études ayant étudiées la validité des moniteurs d'activité physique portables pour l'estimation de la dépense énergétique des personnes victimes d'un AVC lors de leur activité physique quotidienne. Les types de moniteurs portables inclus étaient les grandes catégories de moniteurs disponibles dans le commerce. Nous avons inclus les accéléromètres uniaxiaux, biaxiaux et triaxiaux. Les podomètres, les applications pour smartphones ou tout autre appareil portable permettant d'estimer la dépense énergétique ont également été inclus.

Pour que l'étude soit incluse, les estimations de la dépense énergétique fournies par les moniteurs ont dû être comparées à une méthode de référence de mesure de la dépense énergétique. Les méthodes de référence que nous avons choisies étaient la calorimétrie indirecte à eau doublement marquée ou l'analyse des échanges gazeux respiratoires, comme décrit précédemment.

En outre pour être inclus, les documents devaient décrire explicitement leur méthode de mesure de la dépense énergétique. La dépense énergétique devait être exprimée en kilocalories (kcal) ou toute autre unité se référant à la dépense énergétique telle que la consommation d'oxygène (VO<sub>2</sub>) ou la tâche équivalente métabolique (MET).

Concernant la population d'étude, les participants devaient être des adultes ayant des antécédents d'accident vasculaire cérébral. Les études avec des populations mixtes incluant d'autres troubles neurologiques pouvaient être incluses, à la condition expresse qu'il était possible d'extraire principalement les données relatives aux individus ayant subi un AVC.

Concernant les activités considérées dans les articles, nous avons analysé les données concernant l'activité de marche, ainsi que des séquences d'activité de la vie quotidienne (*activity of daily living* ou ADL). Ainsi, nous avons décidé de ne pas inclure les données concernant les activités de marche lorsqu'elle était effectuée sur un tapis de marche à différentes allures, autres qu'une allure de confort, les activités de vélo ainsi que les activités en lien avec les tâches manuelles.

Les articles étaient exclus de l'analyse s'ils n'étaient pas rédigés en anglais ou en français, si la mesure de la dépense énergétique n'était pas le critère de jugement principal, ou si elle n'était pas comparée à une mesure par consommation d'oxygène ou par calorimétrie indirecte.

## II.3. Extraction des données

Les données étaient systématiquement extraites des articles entiers. Un lecteur (MC) a extrait la référence de l'étude, l'objectif de l'étude, la conception, les participants et leur niveau de déficience, le nombre de participants, la méthode de l'étude, la méthode de référence utilisée, les moniteurs avec leur type et leur(s) emplacement(s), les différents paramètres de validité évalués et les résultats des analyses statistiques.

## II.4. Evaluation de la qualité des études

La qualité des études a été évaluée avec l'aide de l'échelle QUADAS-2 (*Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies*) (Annexe 1), développée en 2003 et mise à jour en 2011 par Whiting et al (57), échelle de qualité méthodologique pour les études diagnostiques de validité.

Cette échelle étudie quatre dimensions des tests diagnostiques : la sélection des patients, le test d'indice, les normes de référence, et le flux et calendrier. Chaque domaine est évalué en termes de risque de biais, et les trois premiers domaines sont également évalués en termes de préoccupations concernant l'applicabilité. Des questions de signalisation sont incluses pour aider à juger du risque de partialité.

La réalisation de la QUADAS-2 est appliqué en quatre phases :

- Résumer la question d'examen
- Adapter l'outil à l'examen et produire des orientations spécifiques à l'examen
- Construire un diagramme de flux pour l'étude primaire
- Évaluer le risque de partialité et les préoccupations concernant l'applicabilité

Nous avons utilisé cette échelle, puisque que nous avons considéré les moniteurs d'activité physique comme des tests de diagnostic qui devraient fournir une estimation fiable de la dépense énergétique. Nous avons donc considéré que leur validité devait être évaluée selon les mêmes règles que les tests de diagnostic.

Cependant, il existe une différence importante, à savoir que les tests de diagnostic fournissent une réponse binaire : "le test est positif" ou "le patient n'est pas positif" alors que les moniteurs d'activité physique fournissent une valeur numérique correspondant à leur estimation de la dépense énergétique. Sur cet aspect, les moniteurs diffèrent des tests de diagnostic mais, à notre avis, ils nécessitent la même méthodologie d'évaluation.

L'analyse qualitative des études a été illustrée dans les annexes 2 et 3.

## II.5. Analyses statistiques

Nous avons réalisé une analyse statistique descriptive des différentes études incluses concernant l'âge des participants, le niveau de handicap, puis avons effectué une méta-analyse des paramètres de validité et de reproductibilité recueillis.

L'évaluation de la validité des moniteurs d'AP a été effectuée sur les paramètres de validité rapportés dans les études.

Les paramètres que nous avons retenus pour l'analyse étaient le biais moyen de la méthode statistique de Bland-Altman ainsi que les coefficients de corrélation. La méta analyse effectuée sur ces paramètres consistait à pooler les valeurs de ces paramètres. Pour les paramètres tels que les coefficients de corrélation, nous avons utilisé la méthode de Cooper et al (58) qui calcule le coefficient de mise en commun des différentes études. Dans le cas de



paramètres tels que la différence moyenne, nous avons utilisé la méthode de Viechtbauer et al (59) qui calcule la différence moyenne pondérée des différentes études.

Pour juger de la reproductibilité des capteurs, nous avons utilisé les coefficients de corrélation intra-classe qui ont été poolés selon la méthode de Cooper et al (58).

Nous avons défini que la méta analyse présentait une forte hétérogénéité lorsque le test d'incohérence  $I^2$  était supérieur à 50%. Dans cette situation, nous avons effectué une analyse à effets aléatoires. En dessous du seuil de 50 %, nous avons effectué une analyse à effet fixe.

Des analyses de sous-groupes ont également été effectuées pour évaluer l'impact du placement du moniteur, du type de moniteur et du type d'activité effectuée sur les paramètres d'efficacité.

Toutes ces analyses ont été effectuées avec le logiciel R version 3.6.3 (2020-02-29) Copyright© 2020. Les paquets utilisés étaient "readxl", "tidyverse", "meta".

L'interprétation des coefficients de corrélation a suivi les règles décrites par Hinkle et al. Le risque d'erreur de première espèce a été défini à 5%, soit  $p < 0,05$ .

## III. Résultats

---

### III.1. Identification et caractéristiques des études

Nous avons identifié 3677 études se référant à notre stratégie de recherche dans les différentes bases de données. La figure 2 représente la stratégie de recherche et la sélection des études incluses pour la méta-analyse. Après avoir lu les abstracts et les articles, nous avons sélectionné 30 articles pour l'analyse en texte intégral. L'analyse qualitative des textes nous a permis de sélectionner 13 articles pour l'extraction des données et donc, la réalisation de la méta-analyse.

Au total, l'ensemble des études permet de regrouper dans cette méta-analyse 335 individus ayant subi un AVC. Malheureusement, le niveau de handicap et d'indépendance fonctionnelle est difficile à comparer entre les études en raison de la grande diversité des échelles utilisées (Rivermead Motor Assessment-Gross Function, NIHSS, Motricity Index de Demeurisse, échelle de Fugl-Meyer...). Les caractéristiques des différentes études sont résumées dans le tableau 3.

Les moniteurs portables d'activité physique utilisés dans les études étaient de 5 types principaux : accéléromètres uni-axiaux (n=2), bi-axiaux (n=9) et tri-axiaux (n=6), podomètres (n=2), et application pour smartphone (n=1). Des multi-capteurs ont également été utilisés dans certaines études (n=8). Les caractéristiques techniques des huit différents appareils utilisés sont décrites dans le tableau 2.

Huit des neuf articles (89%) ayant pour but d'évaluer le niveau de validité d'un capteur contre une méthode de référence ont utilisé la calorimétrie indirecte comme Gold Standard pour la mesure de la dépense énergétique. Seul Moore et al. ont alors utilisé la méthode de référence de l'eau doublement marquée. Les paramètres de validité recueillis dans l'ensemble des travaux étaient principalement le coefficient de corrélation (77% ; Vanroy et al, 2013 ; Fini et al, 2019 ; Faria et al, 2019 ; Haueber et al, 2004 ; Kramer et al, 2018 ; Lee et al, 2018 ; Mahendran et al, 2016 ; Mandigout et al, 2017 ; Manns et al, 2012 ; Moore et al, 2012) et la différence moyenne (38 % ; Moore et al, 2012 ; Manns et al, 2012 ; Kramer et al, 2018 ; Compagnat et al, 2018 ; Compagnat et al, 2019 ; Compagnat et al, 2019) avec la méthode de référence.

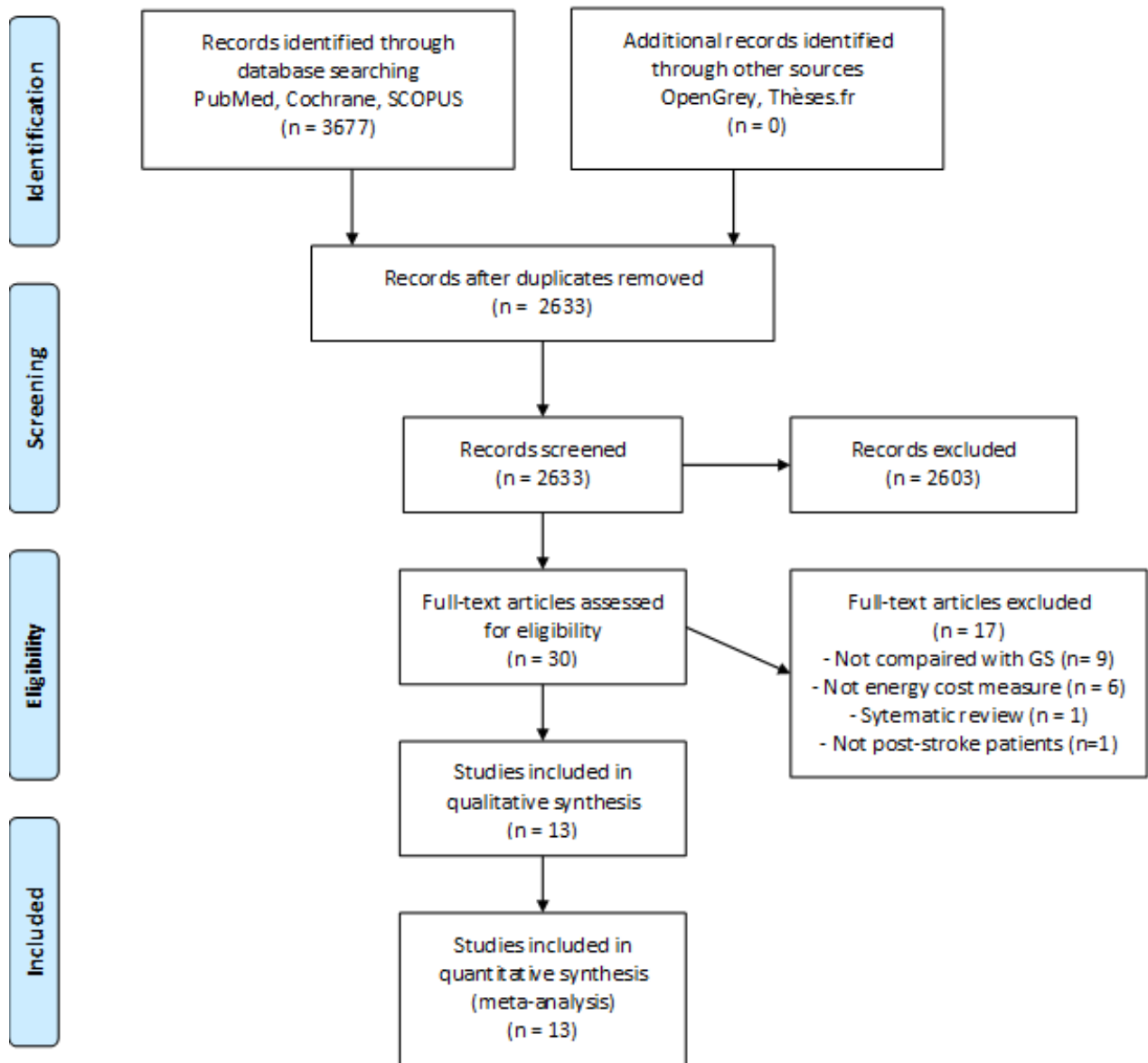


Figure 2 : Diagramme de flux, selon la méthode PRISMA

Tableau 3 : Caractéristique des études incluses dans la méta-analyse (n=13)

Articles	Auteurs	N	Population	Moniteur Portatif	Position du port	Test	Comparaison	Activités	Paramètres de validation
Physical activity monitoring in stroke: SenseWear Pro2 Activity accelerometer versus Yamax Digi-Walker SW-200 Pedometer (60)	Vanroy et al, 2013	15	Rivermead Motor Assessment-Gross Function = 11	SenseWear Pro2 Armband	Face postérieure bras, de manière bilatérale	Validité / Fiabilité	Calorimétrie indirecte (CardioVit CS-200 Ergo-Spiro, Schiller®)	Marche sur tapis roulant, montée/descente des escaliers, vélo, marche sur surface plane pendant 4min	Correlation r ICC
Two Days of Measurement Provides Reliable Estimates of Physical Activity Poststroke: An Observational Study (61)	Fini et al, 2019	70	NIHSS = 9.0 +/- 5.8	SenseWear Pro Armband	Face postérieure bras non hémiparétique	Fiabilité	Test / retest	Port durant 2, 3, 4 et 5 jours consécutifs Etude de la variance des mesures des DE	ICC
Quantification of energy expenditure during daily living activities after stroke by multi-sensor (56)	Compagnat et al, 2019	38	Demeurisse Motricity Index MS = 69.2% (+/- 32,2) Demeurisse Motricity Index MI = 73,2% (+/- 27,9)	SenseWear Pro Armband	Face postérieure bras non hémiparétique	Validité	Calorimétrie indirecte (Metamax3B, Cortex®)	Transferts, tâche manuelle (3min), marche (6min), montée/descente des escaliers (1 étage)	RMSE Bland-Altman MD
Validity of wearable actimeter computation of total energy expenditure during walking in post-stroke individuals (62)	Compagnat et al, 2019	26	Demeurisse Motricity Index MS = 68% Demeurisse Motricity Index MI = 77%	ActigraphGT3x / ONStep 400	Hanche non hémiparétique	Vallidité	Calorimétrie indirecte (Metamax3B, Cortex®)	Marche pendant 6min	RMSE Bland-Altman MD
Validity of the Actigraph GT3x and influence of the sensor positioning for the assessment of active energy expenditure during four activities of daily living in stroke subjects (55)	Compagnat et al, 2018	46	Patients marchants : - Demeurisse Motricity Index MS : 74.1% (+/- 30.8) - Demeurisse Motricity Index MI : 81.3% (+/- 19) Patients en FRM : - Demeurisse Motricity Index MS : 59.1% (+/- 31.8) - Demeurisse Motricity Index MI : 51.6% (+/- 37.2)	ActigraphGT3x	Poignet, hanche et cheville, du côté non hémiparétique	Validité	Calorimétrie indirecte (Metamax3B, Cortex®)	Transferts, tâche manuelle (3min), marche (6min), montée/descente des escaliers (1 étage)	RMSE Bland-Altman MD



Validity of the accelerometer and smartphone application in estimating energy expenditure in individuals with chronic stroke (63)	Faria et al, 2019	30	Fugl-Meyer MI = 19 +/- 5 Vitesse de marche = 0.8 m/sec +/- 0.3	ActiGraphGT3x / Google Fit	- ActiGraphGT3x : cheville hémiparétique - Smartphone : poche sur le MI hémiparétique	Validité	Calorimétrie indirecte (Metamax3B, Cortex®)	Allers/retours dans un couloir de 10m, à plat et tout droit, durant 5min, à vitesse de marche maximale	Correlation r
Accelerometer monitoring of home- and community-based ambulatory activity after stroke (64)	Haeuber et al, 2004	17	15 participants marchent avec une aide technique Vitesse de marche = 0.73 +/- 30m/s	Caltrac	Hanche	Fiabilité	Test retest	Deux périodes de 48h au domicile	ICC
Validity of multisensor array for measuring energy expenditure of an activity bout in early stroke survivors (65)	Kramer et al, 2018	13	NIHSS < 8 = 18 NIHSS 8-16 = 4 NIHSS > 16 = 0	SenseWear Pro Armband	Bras non hémiparétique	Validité	Calorimétrie indirecte (Oxycon Mobile Device, CareFusion Australia Pty®)	2 périodes de 6min d'activité continue (marche, être assis, se lever)	MD ICC Correlation r
Feasibility, reliability, and validity of using accelerometers to measure physical activities of patients with stroke during inpatient rehabilitation (66)	Lee et al, 2018	20	NIHSS ≤ 7 = 13 NIHSS 8-16 = 7	ActigraphGT3x	Poignets et chevilles, de manière bilatérale	Fiabilité	Test retest	Vie quotidienne pendant 3 jours consécutifs	ICC
Are accelerometers and GPS devices valid, reliable and feasible tools for measurement of community ambulation after stroke? (67)	Mahendran et al, 2016	15	Marche sans aide technique = 11 (74.3%) Marche avec une aide technique unilatérale = 4 (26.7%)	ActivPAL / SenseWear Pro2 Armband	- Activpal = milieu de la cuisse non hémiparétique - SWA2 = bras hémiparétique	Fiabilité	Test retest	4 jours pendant activités de vie quotidienne	ICC
Can energy expenditure be accurately assessed using accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring in post-stroke patients in the subacute phase? (68)	Mandigout et al, 2017	24	Demeurisse Motricity Index = 74% (+/- 28)	Sensewear Pro Armband / Actigraph GT3X / Actical / ONStep 400	- SWA : face postérieure du bras - Actigraph & Actical : poignets, chevilles et hanche - Pedometer : ceinture, hanche	Validité	Calorimétrie indirecte (Metamax 3B, Cortex®)	Transferts, tâche manuelle (3min), marche (6min), et montée/descente des escaliers (1 étage)	Correlation r ICC
SenseWear Armband and stroke: validity of energy expenditure and step count measurement during walking (69)	Manns et al, 2012	12	Chedoke-McMaster Stroke Assessment MS = 3.5 (2.1) Chedoke-McMaster Stroke Assessment MI = 4.4 (1.2) Vitesse de marche = 0.67 (0.25)	SenseWear Pro Armband	Bras parétique et hémiparétique	Validité / Fiabilité	Calorimétrie indirecte (Oxycon Mobile Device, CareFusion Australia Pty®)	Marche pendant 6 min	ICC MD

Measuring energy expenditure after stroke validation of a portable device (70)	Moore et al, 2012	9	NIHSS 2 +/- 2	SenseWear Pro Armband	Bras non hémiparétique	Validité	Eau doublement marquée	10 jours, pendant la même période d'analyse par eau doublement marquée	MD Correlation r
--	-------------------	---	---------------	-----------------------	------------------------	----------	------------------------	--	---------------------

## **III.2. Niveau de validité des capteurs portatifs**

### **III.2.1. Biais Moyen :**

#### **III.2.1.1. Pour la marche :**

Lors de l'analyse des activités de marche, nous avons observé que très peu d'études présentent une faible différence avec les méthodes de référence, avec un biais moyen (MB) proche de 0. Dans l'étude de Compagnat et al, 2018, l'accéléromètre tri-axial porté au poignet objective des mesures proches de celles des méthodes de référence, avec un biais moyen à 0.03 kcal (IC95% -0.19 ; 0.25 ;  $p < 0.01$ ). Vanroy et al, 2014 a montré une divergence non significative entre les mesures de son multi-senseur et celles des méthodes Gold Standard, avec un MB à -0.10 kcal/min/kg (IC95% -0.96 ; 0.76;  $p < 0.01$ ). Il en va de même pour le multi-senseur étudié par Manns et al, 2012 (MB -0.33 kcal/min ; IC95% -0.97 ; 0.31;  $p < 0.01$ ).

Certaines études rapportent une sous-estimation de la DE par rapport aux méthodes de références, notamment pour l'ActigraphGT3x porté à la hanche dans Compagnat et al, 2019 (MB -2.65 kcal; IC95% -3.27 ; -2.04;  $p < 0.01$ ). Lors des mesures effectuées par l'accéléromètre tri-axial porté au niveau de la hanche dans Compagnat et al, 2018, il est observé une sous-estimation des mesures par rapport aux valeurs recueillies par la calorimétrie indirecte, avec un MB à -0.57 kcal (IC95% -0.76 ; -0.37;  $p < 0.01$ ). Lors des mesures enregistrées par le multi-senseur dans l'étude de Kramer et al, 2018, il est observé une sous-estimation des valeurs avec un MB à -0.98 METs/min (IC95% -1.34 ; -0.62;  $p < 0.01$ ).

D'autres études rapportent une sur-estimation des valeurs de DE recueillies par les différents capteurs, notamment lors de l'étude de Compagnat et al, 2018 pour les valeurs de l'accéléromètre tri-axial porté à la cheville (MB 0.49 kcal; IC95% 0.29 ; 0.69 ;  $p < 0.01$ ) ou lors de l'étude de Faria et al, 2019 pour les mesures rapportées par l'application Smartphone ou l'accéléromètre tri-axial, avec respectivement un MB à 0.56kcal (IC95% 0.45 ; 0.67;  $p < 0.01$ ) et un MB à 1kcal (IC95% 0.73 ; 1.27;  $p < 0.01$ ).

#### **III.2.1.2. Pour les séquences d'activités de vie quotidienne**

Lors des activités de la vie quotidienne, nous observons une forte tendance à la sous-estimation des mesures recueillies par les différents accéléromètres portatifs, par rapport aux mesures recueillies par les méthodes de référence. Moore et al, 2012 et Compagnat et al, 2018 avec un accéléromètre porté au poignet retrouvent une faible différence avec les mesures des méthodes de référence, avec respectivement un MB à -0.06 kcal/j (IC95% -0.12 ; 0 ;  $p = 0$ ) et un MB à 0.03 kcal (IC95% -0.16 ; 0.22 ;  $p = 0$ ).

En outre, il semble que les placements les plus divergents par rapport aux méthodes de référence soient au niveau des membres inférieurs (hanche et chevilles) ; alors que les capteurs placés aux membres supérieurs (bras, poignets) présentaient des valeurs de biais moyen les plus proches des méthodes Gold Standard.



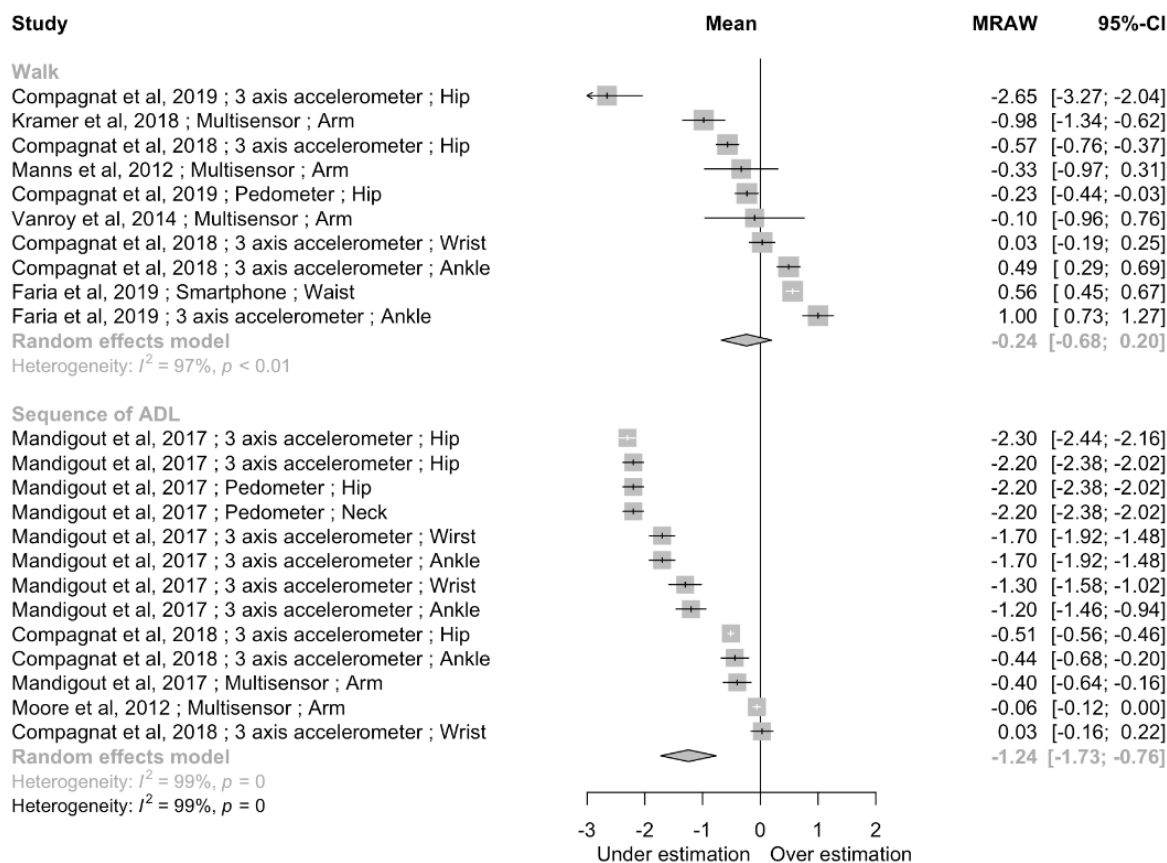


Figure 3 : Biais moyen des mesures, via la méthode de Bland-Altman

### III.2.2. Coefficient de corrélation :

Devant le faible niveau de validité des différents capteurs, nous avons souhaité analyser leur validité sur la marche, puisqu'il s'agit d'une activité standardisée, déterminante pour la participation sociale. Nous avons ainsi calculé le coefficient de corrélation poolé seulement pour cette activité de marche (Figure 4).

Pour tous les accéléromètres triaxiaux, le niveau de corrélation moyen est de 0.26 (IC95% 0.10 ; 0.40,  $p = 0.58$ ), quel que soit leurs placements. Pour les multi-capteurs, le niveau de corrélation est estimé à 0,45 (IC95% 0.17 ; 0.66 ;  $p = 0.59$ ), supérieur à celui des accéléromètres tri-axiaux.

Pour les applications Smartphone, il semble que le niveau de corrélation soit peu important, avec une corrélation moyenne à 0.30 (IC95% -0.07 ; 0.060 ;  $p$  non applicable ; étude de Faria et al, 2019). Pour les podomètres, il est observé un niveau de corrélation moyen important à 0.66 (IC95% 0.37 ; 0.83 ;  $p = 0.28$  ; étude de Compagnat et al, 2019).



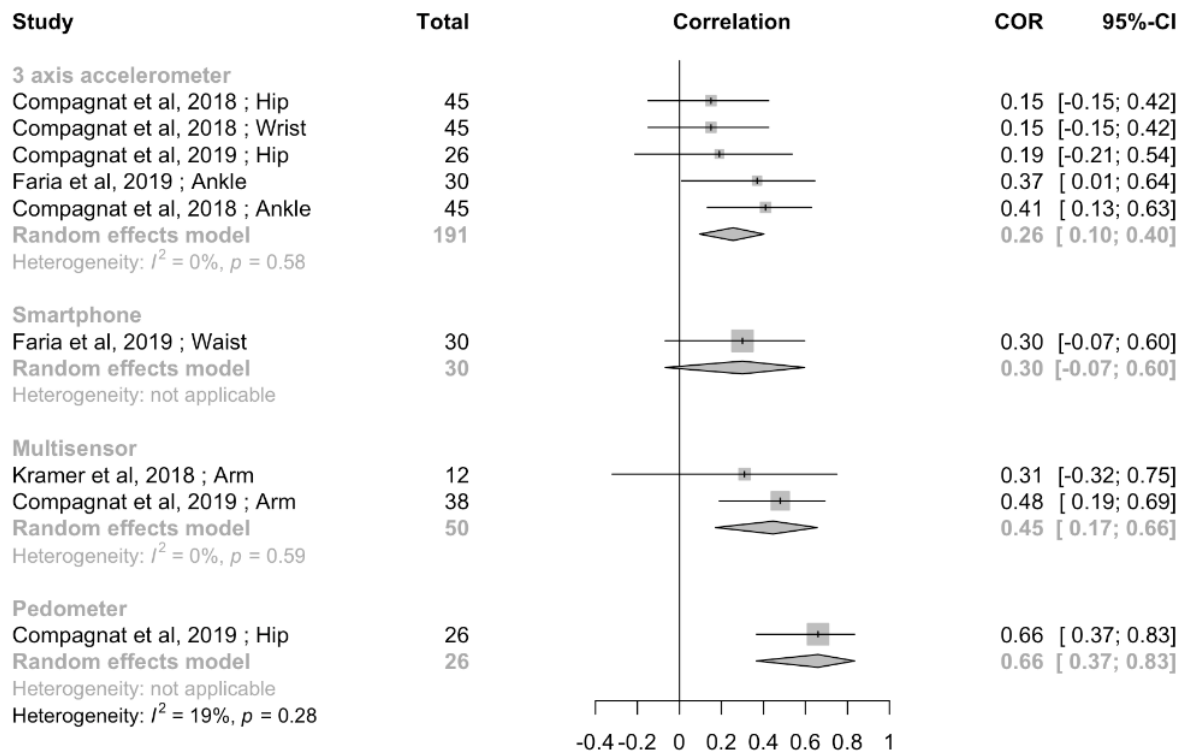


Figure 4 : Méta-analyse sur le niveau de corrélation, concernant l'activité de marche

### III.3. Niveau de reproductibilité test-retest en fonction du type d'activité physique

A la marche, nous avons retrouvé un niveau de reproductibilité des capteurs important, avec un coefficient de corrélation intra-classe moyen considéré comme bon à 0.86 ; puisque supérieur à 0.75 (0.67 ; 0.94 ;  $p = 0.21$ ) (Mahendran et al, 2016 ; Manns et al, 2012 ; Vanroy et al, 2014). Il semble également que le niveau de reproductibilité des multi-capteurs et des accéléromètres uniaxiaux soit bon (comme présentés dans la Figure 5).

Lors des séquences d'activité de la vie quotidienne, nous avons également retrouvé un niveau de reproductibilité à 0,93 (0.71 ; 0.99 ;  $p < 0.01$ ). Seul Hauber et al, 2004 retrouve dans son étude un niveau de fiabilité faible lors d'un port de 48 heures au domicile de son capteur, accéléromètre uni-axial (Caltrac) au niveau de la hanche.

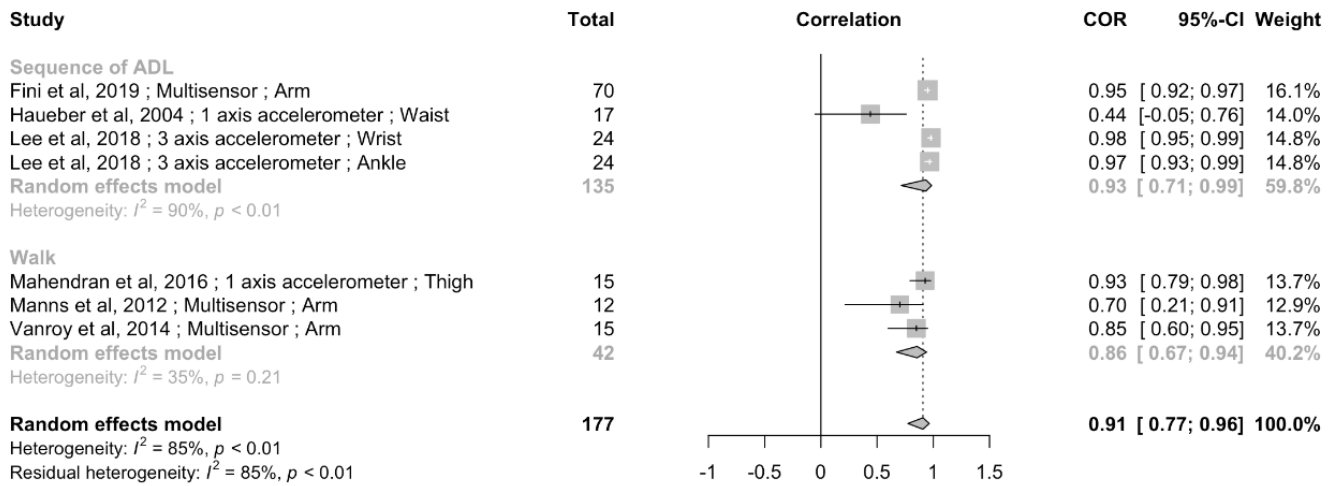


Figure 5 : Niveau de reproductibilité test-retest en fonction du type d'activité physique

## TROISIEME PARTIE : DISCUSSION

---

Notre étude correspond à la première méta-analyse évaluant le niveau de validité des capteurs portatifs d'AP dans l'estimation de la dépense énergétique chez les individus post AVC.

Ce travail a mis en évidence des différences importantes entre les valeurs de DE mesurées par les méthodes de référence et les valeurs estimées par les différents moniteurs portatifs d'AP.

### Etude du niveau de validité des capteurs :

Le faible niveau de validité des moniteurs d'AP peut être expliqué par le fait que les patients post-AVC présentent des schémas moteurs anormaux pouvant perturber le fonctionnement des moniteurs d'AP. En effet, les individus AVC peuvent avoir des mouvements très différents de ceux des sujets sains alors que ces moniteurs d'AP sont calibrés sur des individus sains. Ainsi les caractéristiques de mouvements des individus AVC comme la présence de mouvements anormaux (syncinésies), la très haute variabilité des paramètres cinétiques et spatio-temporels fréquents chez les individus AVC peuvent modifier profondément les enregistrements d'accélérométrie et ainsi altérer la validité des estimations de la DE.

Les erreurs potentiellement observées pour les différents types d'activité peuvent être dues au fait que les algorithmes actuels des moniteurs d'AP ne prennent pas en compte le type d'activité physique.(72) En effet, la reconnaissance de l'activité est considérée comme un point primordial pour les moniteurs portatifs, et est utilisée pour améliorer les estimations de DE. (73). Les défis associés à la reconnaissance de l'intensité de l'activité ont été examinés récemment, et, à mesure que cette technologie se développe, les équations de prédiction de la dépense énergétique spécifiques à une activité peuvent offrir la possibilité de réduire les erreurs associées aux types d'activité.(74)

### Etude du niveau de reproductibilité test-retest des capteurs :

Pour l'activité de marche, notre analyse a objectivé des niveaux de reproductibilité significativement élevés, avec pour la marche un ICC à 0.86 (IC95% 0.67 ; 0.94 ;  $p < 0.01$ ). Concernant les activités de la vie quotidienne, nous avons retrouvé un niveau de reproductibilité important avec un ICC à 0.93 (IC95% 0.71 ; 0.99 ;  $p < 0.01$ ). Ainsi, la reproductibilité des différents capteurs étudiés semble significativement importante lors des activités de marche et de la vie quotidienne. Les raisons de ce haut niveau de reproductibilité test-retest résident peut-être dans les très bonnes qualités psychométriques des moniteurs d'AP.

Ainsi cette technologie semble fiable mais souffre probablement d'un défaut de calibration spécifique à la population des individus avec séquelles d'AVC.



### Perspectives d'amélioration :

Il a été évoqué que l'ajout de capteurs de fréquence cardiaque ou de chaleur dans les capteurs d'AP puisse améliorer les estimations de la DE par rapport à un accéléromètre seul.(75) Chez les patients sains, O'Driscoll et al. (75) a montré que les accéléromètres avec un recueil de la fréquence cardiaque surestimaient modérément la DE lors de la marche, en déambulation ; erreur semblant être attribuée à la variabilité individuelle dans la relation entre la fréquence cardiaque et la DE. L'étalonnage individuel de cette relation a alors été associé à de meilleurs estimations de la DE et a permis de réduire cette erreur de mesure observée.(76) Cependant, dans notre population d'intérêt (patients post-AVC), l'application d'un capteur de fréquence cardiaque reste discutée, notamment puisque les patients présentent souvent un déconditionnement cardio-vasculaire, une arythmie cardiaque, des traitements bêta-bloqueurs... pouvant influencer sur les mesures recueillies. Un étalonnage individuel d'un capteur avec analyse de la fréquence cardiaque pourrait être une piste de recherche dans le but d'améliorer l'estimation de la dépense énergétique des différents capteurs, chez les patients post-AVC.

Une autre piste d'amélioration serait l'intégration du cout énergétique dans l'algorithme de calcul de la DE des moniteurs d'AP. Certains travaux ont montré que cette méthode permettait d'améliorer significativement la validité des estimations de DE lors de la marche pour les individus AVC (Compagnat et al 2020).

### Recommandations aux praticiens :

Un objectif majeur en MPR est de lutter contre l'inactivité physique des survivants d'un AVC. L'apport de ces capteurs d'AP pourrait permettre une adaptation des programmes de rééducation et des interventions de rééducation et de réadaptation pour permettre une individualisation des préconisations. En pratique, il semble toutefois difficile de recommander un moniteur d'AP, du fait de leur faible niveau de validité par rapport aux méthodes de référence.

### Limites :

Nous avons inclus plusieurs articles d'une même équipe, à savoir celle du Dr Compagnat, qui a beaucoup publié sur ce sujet d'intérêt. Ainsi, ces différents articles représentent un poids important de 41% des individus inclus. Il est possible que les résultats de notre méta-analyse soient fortement impactés par les données de cet auteur. Il sera nécessaire de réaliser une autre méta-analyse incluant d'avantage de travaux issus d'autres équipes de chercheurs.

## CONCLUSION

---

L'évaluation du niveau d'activité physique des patients après un AVC est primordiale pour connaître leur mode de vie afin de permettre la lutte contre les comportements sédentaires. Compte tenu de la popularité récente des moniteurs portatifs d'activité physique, il était essentiel de déterminer leur validité des estimations de la dépense énergétique.

A notre connaissance, il s'agit de la première méta-analyse étudiant le niveau de validité des capteurs portatifs d'AP estimant la dépense énergétique chez les individus survivants à un AVC. Nous avons montré que ces capteurs présentent un fort niveau d'erreur dans leurs estimations de la DE, par rapport aux méthodes de référence. Ces résultats soulignent la problématique de l'évaluation de la DE chez ces individus, car les déficiences spécifiques de ces patients ne sont pas prises en compte dans les méthodes de calcul de la DE par les capteurs. L'axe principal d'amélioration semble être la prise en compte du surcout énergétique des individus post-AVC ou l'identification des activités physiques.

L'enjeu est primordial, puisqu'en l'absence d'outils valides et fiables d'évaluation du niveau d'AP des patients après un AVC, la connaissance de leur niveau d'AP et la mise en évidence des bénéfices des interventions dans le domaine de l'activité physique, est compromise.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

1. The world health report 2002 - Reducing Risks, Promoting Healthy Life, World Health Organization.
2. Benjamin EJ, Blaha MJ, Chiuve SE, Cushman M, Das SR, Deo R, et al. Heart Disease and Stroke Statistics—2017 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation* [Internet]. 7 mars 2017 [cité 18 janv 2021];135(10). Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0000000000000485>
3. CDC - 2014 BRFSS Survey Data and Documentation [Internet]. [cité 18 janv 2021]. Disponible sur: [https://www.cdc.gov/brfss/annual\\_data/annual\\_2014.html](https://www.cdc.gov/brfss/annual_data/annual_2014.html)
4. Lopez AD, Mathers CD, Ezzati M, Jamison DT, Murray CJ. Global and regional burden of disease and risk factors, 2001: systematic analysis of population health data. *The Lancet*. mai 2006;367(9524):1747-57.
5. Béjot Y, Touzé E, Jacquin A, Giroud M, Mas J-L. Épidémiologie des accidents vasculaires cérébraux. *Med Sci (Paris)*. août 2009;25(8-9):727-32.
6. Accident Vasculaire Cérébral - Agenre Régionale de Santé Ile de France [Internet]. Disponible sur: <https://www.iledefrance.ars.sante.fr/accidents-vasculaires-cerebraux-avc#:~:text=En%20France%2C%20environ%20150%20000,qui%20gardent%20des%20s%C3%A9quelles%20lourdes>
7. Bonita R, Mendis S, Truelsen T, Bogousslavsky J, Toole J, Yatsu F. The global stroke initiative. *Lancet Neurol*. juill 2004;3(7):391-3.
8. Accident Vasculaire Cérébral - Dossier d'information, INSERM.
9. La prévention et la prise en charge des accidents vasculaires cérébraux en France, Rapport du Ministère de la Santé et des Sports, Juin 2009.
10. Weltgesundheitsorganisation, éditeur. Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé: CIF. Genève; 2001. 304 p.
11. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance*. Vol. 4th Revised edition edition. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins; 1996. 900 p.
12. Recondo, Jean De. *Sémiologie du système nerveux : Du symptôme au diagnostic*. Vol. 2e ed. Paris. Paris: Flammarion Médecine; 2004. 624 p.
13. Winstein CJ, Stein J, Arena R, Bates B, Cherney LR, Cramer SC, et al. Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* [Internet]. juin 2016 [cité 24 janv 2021];47(6). Disponible sur: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STR.0000000000000098>
14. Hendricks HT, van Limbeek J, Geurts AC, Zwartz MJ. Motor recovery after stroke: A systematic review of the literature. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. nov 2002;83(11):1629-37.
15. Daviet J-C. Facteurs prédictifs du devenir vital et fonctionnel d'une cohorte d'hémiplégiques vasculaires : conséquences sur les modalités de prise en charge. :138.
16. Kerkhoff G, Munssinger U, Meier EK. Neurovisual Rehabilitation in Cerebral Blindness. *Archives of Neurology*. 1 mai 1994;51(5):474-81.
17. Paciaroni, M.Agnelli, G.Caso, V.Bogousslavsky, J. Manifestations of Stroke *Frontiers of Neurology and Neuroscience*. Karger. 2012. 206 p.
18. Delavaran H, Jönsson A-C, Lökvist H, Iwarsson S, Elmståhl S, Norrving B, et al. Cognitive function in stroke survivors: A 10-year follow-up study. *Acta Neurol Scand*. sept

2017;136(3):187-94.

19. Jørgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, Olsen TS. Recovery of walking function in stroke patients: The Copenhagen stroke study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. janv 1995;76(1):27-32.
20. Bohannon RW, Morton MG, Wikholm JB. Importance of four variables of walking to patients with stroke: *International Journal of Rehabilitation Research*. sept 1991;14(3):246-50.
21. Hutin E, Pradon D, Barbier F, Bussel B, Gracies J-M, Roche N. Walking velocity and lower limb coordination in hemiparesis. *Gait & Posture*. juin 2012;36(2):205-11.
22. Beyaert C, Vasa R, Frykberg GE. Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*. nov 2015;45(4-5):335-55.
23. World Health Organization. *Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé*. Genève: Organisation mondiale de la santé; 2010.
24. Organisation mondiale de la santé. *Comment éviter une crise cardiaque ou un accident vasculaire cérébral: protégez-vous avant qu'il ne soit trop tard*. Genève: Organisation mondiale de la santé; 2006.
25. Gordon NF, Gulanick M, Costa F, Fletcher G, Franklin BA, Roth EJ, et al. Physical Activity and Exercise Recommendations for Stroke Survivors: An American Heart Association Scientific Statement From the Council on Clinical Cardiology, Subcommittee on Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention; the Council on Cardiovascular Nursing; the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism; and the Stroke Council. *Circulation*. 27 avr 2004;109(16):2031-41.
26. Moore JL, Roth EJ, Killian C, Hornby TG. Locomotor Training Improves Daily Stepping Activity and Gait Efficiency in Individuals Poststroke Who Have Reached a "Plateau" in Recovery. *Stroke*. janv 2010;41(1):129-35.
27. Mudge S, Barber PA, Stott NS. Circuit-Based Rehabilitation Improves Gait Endurance but Not Usual Walking Activity in Chronic Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. déc 2009;90(12):1989-96.
28. Weltgesundheitsorganisation, éditeur. *Prévention des maladies chroniques un investissement vital*. Genève: Organisation mondiale de la Santé; 2006. 183 p.
29. Goldstein LB, Bushnell CD, Adams RJ, Appel LJ, Braun LT, Chaturvedi S, et al. Guidelines for the Primary Prevention of Stroke: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. févr 2011;42(2):517-84.
30. Billinger SA, Arena R, Bernhardt J, Eng JJ, Franklin BA, Johnson CM, et al. Physical Activity and Exercise Recommendations for Stroke Survivors: A Statement for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. août 2014;45(8):2532-53.
31. Prescription d'activité physique et sportive Accidents vasculaires cérébraux, HAS.
32. Alexandrino GM, Damásio J, Canhão P, Gerales R, Melo TP, Correia C, et al. Stroke in sports: a case series. *J Neurol*. août 2014;261(8):1570-4.
33. Rand D, Eng JJ, Tang P-F, Jeng J-S, Hung C. How Active Are People With Stroke?: Use of Accelerometers to Assess Physical Activity. *Stroke*. janv 2009;40(1):163-8.
34. Matthews CE, Chen KY, Freedson PS, Buchowski MS, Beech BM, Pate RR, et al. Amount of Time Spent in Sedentary Behaviors in the United States, 2003-2004. *American Journal of Epidemiology*. 14 mars 2008;167(7):875-81.
35. Detrembleur C, Dierick F, Stoquart G, Chantraine F, Lejeune T. Energy cost,

- mechanical work, and efficiency of hemiparetic walking. *Gait Posture*. oct 2003;18(2):47-55.
36. Platts MM, Rafferty D, Paul L. Metabolic Cost of Overground Gait in Younger Stroke Patients and Healthy Controls: *Medicine & Science in Sports & Exercise*. juin 2006;38(6):1041-6.
  37. Westerterp KR, Wouters L, van Marken Lichtenbelt WD. The Maastricht Protocol for the Measurement of Body Composition and Energy Expenditure with Labeled Water. *Obesity Research*. mars 1995;3:49-57.
  38. Human energy requirements: report of a joint FAO/ WHO/UNU Expert Consultation. 2004.
  39. Prelack K, Yu YM, Dylewski M, Lydon M, Keaney TJ, Sheridan RL. Measures of Total Energy Expenditure and Its Components Using the Doubly Labeled Water Method in Rehabilitating Burn Children. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. mars 2017;41(3):470-80.
  40. Crouter SE, Schneider PL, Karabulut M, Bassett DR. Validity of 10 Electronic Pedometers for Measuring Steps, Distance, and Energy Cost: *Medicine & Science in Sports & Exercise*. août 2003;35(8):1455-60.
  41. Fini NA, Holland AE, Keating J, Simek J, Bernhardt J. How Physically Active Are People Following Stroke? Systematic Review and Quantitative Synthesis. *Physical Therapy*. juill 2017;97(7):707-17.
  42. Crouter SE, Churilla JR, Jr DRB. Estimating energy expenditure using accelerometers. *Eur J Appl Physiol*. 2006;12.
  43. Drenowatz C, Eisenmann JC. Validation of the SenseWear Armband at high intensity exercise. *Eur J Appl Physiol*. mai 2011;111(5):883-7.
  44. Lane ND, Miluzzo E, Lu H, Peebles D, Choudhury T, Campbell AT. A Survey of Mobile Phone Sensing. *IEEE Communications Magazine*. 2010;11.
  45. Bob Hessling. Validity and Reliability [Internet]. Disponible sur: <http://www.sfu.ca/personal/archives/richards/Zen/show4/sld001.html>
  46. Marin B Daviet. Validation et qualités métrologique d'une échelle d'évaluation. :26.
  47. Midy F. Validité et fiabilité des questionnaires d'évaluation de la qualité de vie: une étude appliquée aux accidents vasculaires cérébraux. :44.
  48. Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res*. juin 1999;8(2):135-60.
  49. Giavarina D. Understanding Bland Altman analysis. *Biochemia Medica*. :11.
  50. Bonita R, Solomon N, Broad JB. Prevalence of Stroke and Stroke-Related Disability: Estimates From the Auckland Stroke Studies. *Stroke*. oct 1997;28(10):1898-902.
  51. Michael K. Fatigue and Stroke. *Rehabilitation Nursing*. mai 2002;27(3):89-94.
  52. Nicholson S, Greig C, Sniehotta F, Johnston M, Lewis S, McMurdo M, et al. Quantitative data analysis of perceived barriers and motivators to physical activity in stroke survivors. *J R Coll Physicians Edinb*. 2018;47(3):231-6.
  53. Nicholson S, Sniehotta FF, van Wijck F, Greig CA, Johnston M, McMurdo MET, et al. A Systematic Review of Perceived Barriers and Motivators to Physical Activity after Stroke. *International Journal of Stroke*. juill 2013;8(5):357-64.
  54. English C, Manns PJ, Tucak C, Bernhardt J. Physical Activity and Sedentary Behaviors in People With Stroke Living in the Community: A Systematic Review. *Physical Therapy*. 1 févr 2014;94(2):185-96.
  55. Compagnat M, Mandigout S, Chaparro D, Daviet JC, Salle JY. Validity of the Actigraph GT3x and influence of the sensor positioning for the assessment of active energy expenditure during four activities of daily living in stroke subjects. *Clinical Rehabilitation*. 2018;9.



56. Compagnat M, Daviet JC, Batcho CS, David R, Salle JY, Mandigout S. Quantification of energy expenditure during daily living activities after stroke by multi-sensor. *Brain Injury*. 24 août 2019;33(10):1341-6.
57. Whiting PF. QUADAS-2: A Revised Tool for the Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies. *Ann Intern Med*. 18 oct 2011;155(8):529.
58. Cooper H., Hedges L.V., Valentine J.C. *The handbook of research synthesis and meta-analysis*. 2009. (2nd edition Sage, New York).
59. Wolfgang Viechtbauer. *Conducting Meta-Analyses in R with The metafor Package*. 2010.
60. Vanroy C, Vissers D, Cras P, Beyne S, Feys H, Vanlandewijck Y, et al. Physical activity monitoring in stroke: SenseWear Pro2 Activity accelerometer versus Yamax Digi-Walker SW-200 Pedometer. *Disability and Rehabilitation*. sept 2014;36(20):1695-703.
61. Fini NA, Burge AT, Bernhardt J, Holland AE. Two Days of Measurement Provides Reliable Estimates of Physical Activity Poststroke: An Observational Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. mai 2019;100(5):883-90.
62. Compagnat M, Mandigout S, Batcho CS, Vuillerme N, Salle JY, David R, et al. Validity of wearable actimeter computation of total energy expenditure during walking in post-stroke individuals. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* [Internet]. août 2019 [cité 11 oct 2019]; Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877065719301113>
63. Faria GS, Polese JC, Ribeiro-Samora GA, Scianni AA, Faria CDCM, Teixeira-Salmela LF. Validity of the accelerometer and smartphone application in estimating energy expenditure in individuals with chronic stroke. *Braz J Phys Ther*. 2019;23(3):236-43.
64. Haeuber E, Shaughnessy M, Forrester LW, Coleman KL, Macko RF. Accelerometer monitoring of home- and community-based ambulatory activity after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. déc 2004;85(12):1997-2001.
65. Kramer SF, Johnson L, Bernhardt J, Cumming T. Validity of Multisensor Array for Measuring Energy Expenditure of an Activity Bout in Early Stroke Survivors. *Stroke Research and Treatment*. 2018;2018:1-8.
66. Lee J-Y, Kwon S, Kim W-S, Hahn SJ, Park J, Paik N-J. Feasibility, reliability, and validity of using accelerometers to measure physical activities of patients with stroke during inpatient rehabilitation. *Oyeyemi AL, éditeur. PLOS ONE*. 31 déc 2018;13(12):e0209607.
67. Mahendran N, Kuys SS, Downie E, Ng P, Brauer SG. Are Accelerometers and GPS Devices Valid, Reliable and Feasible Tools for Measurement of Community Ambulation After Stroke? *Brain Impairment*. sept 2016;17(2):151-61.
68. Mandigout S, Lacroix J, Ferry B, Vuillerme N, Compagnat M, Daviet J-C. Can energy expenditure be accurately assessed using accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring in post-stroke patients in the subacute phase? *European Journal of Preventive Cardiology*. déc 2017;24(18):2009-16.
69. Manns PJ, Haennel RG. SenseWear Armband and Stroke: Validity of Energy Expenditure and Step Count Measurement during Walking. *Stroke Res Treat*. 2012;2012:247165.
70. Moore SA, Hallsworth K, Bluck LJC, Ford GA, Rochester L, Trenell MI. Measuring Energy Expenditure After Stroke Validation of a Portable Device. *Stroke*. 6 janv 2012;43(6):1660-2.
71. Bravata DM, Smith-Spangler C, Sundaram V, Gienger AL, Lin N, Lewis R, et al. Using Pedometers to Increase Physical Activity and Improve Health: A Systematic Review. *JAMA*. 21 nov 2007;298(19):2296.

72. Schneller MB, Pedersen MT, Gupta N, Aadahl M, Holtermann A. Validation of five minimally obstructive methods to estimate physical activity energy expenditure in young adults in semi-standardized settings. *Sensors (Basel)*. 13 mars 2015;15(3):6133-51.
73. Welk GJ, McClain JJ, Eisenmann JC, Wickel EE. Field validation of the MTI Actigraph and BodyMedia armband monitor using the IDEEA monitor. *Obesity (Silver Spring)*. avr 2007;15(4):918-28.
74. Plasqui G. Smart approaches for assessing free-living energy expenditure following identification of types of physical activity. *Obes Rev*. févr 2017;18 Suppl 1:50-5.
75. O'Driscoll R, Turicchi J, Beaulieu K, Scott S, Matu J, Deighton K, et al. How well do activity monitors estimate energy expenditure? A systematic review and meta-analysis of the validity of current technologies. *Br J Sports Med*. 7 sept 2018;bjsports-2018-099643.
76. Brage S, Ekelund U, Brage N, Hennings MA, Froberg K, Franks PW, et al. Hierarchy of individual calibration levels for heart rate and accelerometry to measure physical activity. *J Appl Physiol (1985)*. août 2007;103(2):682-92.

## Annexes

---

Annexe 1. QUADAS-2 : Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies.....	68
Annexe 2. Analyse des biais selon QUADAS-2 .....	69
Annexe 3. Schématisation des biais selon QUADAS-2.....	70

## Annexe 1. QUADAS-2 : Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies

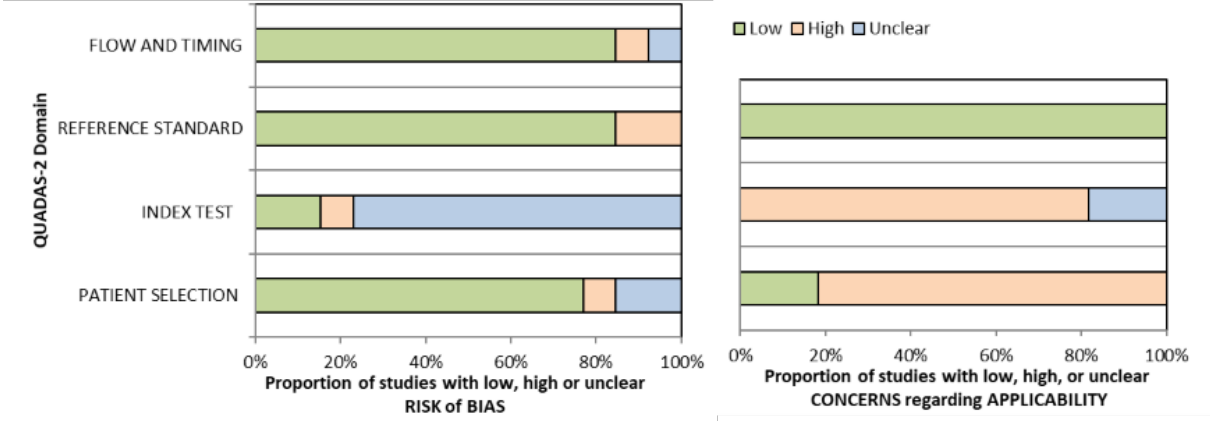
*Table 1. Risk of Bias and Applicability Judgments in QUADAS-2*

Domain	Patient Selection	Index Test	Reference Standard	Flow and Timing
Description	Describe methods of patient selection Describe included patients (previous testing, presentation, intended use of index test, and setting)	Describe the index test and how it was conducted and interpreted	Describe the reference standard and how it was conducted and interpreted	Describe any patients who did not receive the index tests or reference standard or who were excluded from the 2 × 2 table (refer to flow diagram) Describe the interval and any interventions between index tests and the reference standard
Signaling questions (yes, no, or unclear)	Was a consecutive or random sample of patients enrolled? Was a case-control design avoided? Did the study avoid inappropriate exclusions?	Were the index test results interpreted without knowledge of the results of the reference standard? If a threshold was used, was it prespecified?	Is the reference standard likely to correctly classify the target condition? Were the reference standard results interpreted without knowledge of the results of the index test?	Was there an appropriate interval between index tests and reference standard? Did all patients receive a reference standard? Did all patients receive the same reference standard? Were all patients included in the analysis?
Risk of bias (high, low, or unclear)	Could the selection of patients have introduced bias?	Could the conduct or interpretation of the index test have introduced bias?	Could the reference standard, its conduct, or its interpretation have introduced bias?	Could the patient flow have introduced bias?
Concerns about applicability (high, low, or unclear)	Are there concerns that the included patients do not match the review question?	Are there concerns that the index test, its conduct, or its interpretation differ from the review question?	Are there concerns that the target condition as defined by the reference standard does not match the review question?	

## Annexe 2. Analyse des biais selon QUADAS-2

	<b>PATIENT SELECTION</b>	<b>INDEX TEST</b>	<b>REFERENCE STANDARD</b>	<b>FLOW AND TIMING</b>
Faria et al, 2019	Low	Unclear	Low	Low
Compagnat et al, 2019	Low	Unclear	Low	Low
Vanroy et al, 2014	Low	High	High	Low
Fini et al, 2019	Unclear	Low	Low	Low
Compagnat et al, 2019	Low	Unclear	Low	Low
Compagnat et al, 2018	Low	Unclear	Low	Low
Haeuber et al, 2004	Low	Low	Low	Low
Kramer et al, 2018	High	Unclear	High	Low
Lee et al, 2018	Low	Unclear	Low	Unclear
Mahendran et al, 2016	Unclear	Unclear	Low	High
Mandigout et al, 2017	Low	Unclear	Low	Low
Manns et al, 2012	Low	Unclear	Low	Low
Moore et al, 2012	Low	Unclear	Low	Low

**Annexe 3. Schématisation des biais selon QUADAS-2**



## Serment d'Hippocrate

---

En présence des maîtres de cette école, de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je dispenserai mes soins sans distinction de race, de religion, d'idéologie ou de situation sociale.

Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser les crimes.

Je serai reconnaissant envers mes maîtres, et solidaire moralement de mes confrères. Conscient de mes responsabilités envers les patients, je continuerai à perfectionner mon savoir.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir de l'estime des hommes et de mes condisciples, si je le viole et que je me parjure, puissé-je avoir un sort contraire.

## Evaluation du niveau de validité des capteurs portatifs d'activité physique : Méta-analyse

---

Introduction : Evaluer le niveau d'activité physique post-AVC avec des outils fiables est primordial pour connaître le mode de vie des patients afin de lutter contre la sédentarité. Cette méta-analyse a pour but d'évaluer le niveau de validité des capteurs portatifs pour l'estimation de la dépense énergétique dans cette population.

Méthode : Une recherche systématique de la littérature a été réalisée dans les différentes bases de données. Nous avons inclus les études étudiant le niveau de validité des capteurs portatifs dans l'estimation de la dépense énergétique, en comparaison avec les méthodes de référence. Une méta-analyse des paramètres de validité recueillis a été effectuée.

Résultats : 13 études ont été incluses pour l'analyse statistique, avec un total de 335 patients. Peu de capteurs portatifs présentent un niveau de validité proche de celui des méthodes de référence, avec une hétérogénéité des estimations en fonction des capteurs et activité (biais moyen à la marche -0.24 (IC95% -0.68 ; 0.20 ;  $p < 0.01$ ) ; biais moyen pour activités de vie quotidienne -1.24 (IC95% -1.73 ; -0.76 ;  $p = 0$ )). Le niveau de fiabilité des mesures recueillies est meilleur via les multi-senseurs (COR 0.86 ; IC95% 0.67 ; 0.94 ;  $p < 0.01$ ).

Discussion : Les capteurs d'activité physique possèdent un faible niveau de validité avec les méthodes de référence pour l'estimation de la dépense énergétique, chez les patients post-AVC, avec une fiabilité hétérogène dans leurs mesures en fonction des appareils. Il semble essentiel de poursuivre les études visant à améliorer leur validité afin de pouvoir employer des outils valides pour promouvoir l'activité physique après un AVC.

---

Mots-clés : accident vasculaire cérébral, activité physique, dépense énergétique, capteurs portatifs

## Assessment of the validity of portable physical activity monitors : A meta-analysis

---

Introduction : Assessing the level of physical activity in post-stroke patients with reliable tools is essential, in order to know the lifestyle of patients in order to fight against sedentary lifestyle. The aim of this meta-analysis is to assess the validity of portable sensors for estimating energy expenditure in this population.

Method : We carried out a systematic search of the literature in the various databases. We included studies investigating the level of validity of handheld sensors in estimating energy expenditure, in comparison with reference methods. A meta-analysis of the collected validity parameters was performed.

Results : 13 studies were included for statistical analysis, with a total of 335 patients. Only few portable monitors had a level of validity close to the reference methods, with heterogeneous assessment depending on the sensors and the type of activity (mean bias for walking -0.24 (CI95% -0.68; 0.20;  $p < 0.01$ ); mean bias for activities of daily life -1.24 (CI95% -1.73; -0.76;  $p = 0$ )) The reliability of the measurements collected was better with multi-sensors (COR 0.86; CI95% 0.67; 0.94;  $p < 0.01$ ).

Discussion : Physical activity monitor have a low level of validity with reference methods for estimating energy expenditure in post-stroke patients, with heterogeneous reliability in their measurements depending on the device. Further studies to improve their validity seem essential in order to use valid tools to promote physical activity after stroke.

---

Keywords : stroke, physical activity, energy expenditure, portable monitors

