

**Validité de critère et fidélité d'une nouvelle
méthode d'évaluation basée sur la
photographie numérique pour la mesure de
l'amplitude articulaire de mouvement de
l'épaule chez le travailleur âgé atteint d'une
tendinopathie de la coiffe des rotateurs**

Par
Serigne Falilou Diop

Maîtrise en gérontologie (R)

Mémoire présenté à la Faculté des lettres et sciences humaines en vue de
l'obtention du grade de maître es arts (M.A.) en gérontologie

Sherbrooke, septembre, 2017

© Serigne Falilou Diop, 2017

Ce mémoire intitulé :

Validité de critère et fidélité d'une nouvelle méthode d'évaluation basée sur la photographie numérique pour la mesure de l'amplitude articulaire de mouvement de l'épaule chez le travailleur âgé atteint d'une tendinopathie de la coiffe des rotateurs

Présenté par :

Serigne Falilou Diop

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Dre Marie-Hélène Milot

Dre Thérèse Audet

Dr Patrick Boissy, Directeur de recherche

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : Problématique.....	3
1 Troubles musculo-squelettiques (TMS) et le travailleur âgé	3
2 TMS et complexe articulaire de l'épaule.....	5
2.1 Anatomie du complexe articulaire de l'épaule.....	6
2.2 Amplitudes de mouvements du complexe articulaire de l'épaule.....	7
2.2.1 Mouvement de flexion.....	8
2.2.2 Mouvement d'extension	9
2.2.3 Mouvement d'abduction.....	9
2.2.4 Mouvement d'adduction.....	9
2.2.5 Mouvement de rotation interne ou médiale.....	10
2.2.6 Mouvement de rotation externe ou latérale.....	10
2.3 Influence de l'âge sur l'amplitude de mouvement de l'épaule.....	10
2.4 Tendinopathie de la coiffe des rotateurs et déficits d'AAM	12
CHAPITRE II : Recension des écrits.....	15
1 Méthodes de mesure d'AAM de l'épaule.....	15
1.1 Description des instruments de mesure	15
1.1.1 Goniomètre	15
1.1.2 Inclinomètre.....	18
1.1.3 Estimation visuelle.....	19
1.1.4 Mesures linéaires	19
1.1.5 Photographie	20
1.1.6 Électrogoniomètres	21
1.1.7 Centrales inertielles.....	22
1.1.8 Systèmes optiques de capture de mouvement.....	23
1.2 Qualités métrologiques des méthodes de mesure de l'AAM	24
1.2.1 Goniomètre	25
1.2.2 Inclinomètre.....	27
1.2.3 Estimation visuelle.....	29

1.2.4	Mesures linéaires	31
1.2.5	Photographie	32
1.2.6	Centrales inertielles.....	33
1.2.7	Systèmes optiques.....	34
1.3	Sommaire de la recension.....	35
CHAPITRE III : Technique de mesure basée sur la photo de patrons de points		37
CHAPITRE IV : Question de recherche et objectifs.....		41
1	Question de recherche	41
2	Objectifs	41
CHAPITRE V : Méthodologie.....		42
1	Devis et description de l'étude	42
2	Phase I de l'étude	43
2.1	Participants	43
2.2	Méthodes et instruments de mesure d'AAM de l'épaule	44
2.2.1	Photographie numérique	45
2.2.2	Inclinomètre (application Gyroscope de l'iPod)	47
2.2.3	Centrale inertielle Xsens	48
2.2.4	Système optique Optotrak 3020.....	50
2.3	Conditions expérimentales et collecte de données	51
3	Phase II de l'étude	55
3.1	Participants	55
3.2	Méthodes et instruments de mesure d'AAM de l'épaule	57
3.3	Conditions expérimentales et collecte de données	57
4	Plan d'analyse.....	60
5	Considérations éthiques.....	61
CHAPITRE V : Résultats.....		62
1	Étude de la validité de critère des instruments de mesure.....	62
1.1	Données socio-démographiques et cliniques des participants.....	62
1.2	Validité de critère des différentes méthodes	63
1.3	Comparaison des validités de critère des différentes méthodes	72
2	Étude de la fidélité de la méthode photo et de l'inclinomètre.....	75

2.1	Données socio-démographiques et cliniques des participants.....	75
2.2	Résultats des tests de fidélité.....	76
2.2.1	Corrélation des mesures de la méthode photo	76
2.2.2	Corrélation des mesures de l'inclinomètre	77
2.2.3	Fidélité des mesures.....	79
	CHAPITRE VI : Discussion.....	80
1	Validité de critère des mesures d'AAM avec la méthode photo	81
2	Degré de fidélité de la méthode photo et de l'inclinomètre	84
2.1	Fidélité intra-évaluateur	84
2.2	Fidélité inter-évaluateurs	86
3	Forces et limites de l'étude.....	88
3.1	Forces	88
3.2	Limites.....	89
4	Perspectives de recherche.....	91
	CHAPITRE VII : Conclusions	94
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	97

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Changements d'amplitude de mouvement de la naissance à l'âge de 84 ans...	11
Tableau 2: Points de repères et alignement du goniomètre dans la mesure d'amplitude de mouvement de l'épaule	17
Tableau 3: Sommaire des différentes caractéristiques des méthodes de mesure d'AAM.	36
Tableau 4: Statistiques descriptives des données socio-démographiques et cliniques des participants asymptomatiques	63
Tableau 5: Moyennes de la différence entre la photo et Optotrak selon le mouvement et l'amplitude	66
Tableau 6: Moyennes de la différence entre la centrale inertielle et la mesure étalon selon le mouvement et l'amplitude.....	69
Tableau 7: Moyennes de la différence entre l'inclinomètre et la mesure étalon selon le mouvement et l'amplitude.....	72
Tableau 8: Statistiques descriptives des données socio-démographiques et cliniques des patients avec tendinopathie de l'épaule.....	75
Tableau 9: Fidélité intra et inter-évaluateurs de la méthode photo et de l'inclinomètre	79

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Tendons des muscles de la coiffe des rotateurs.....	6
Figure 2 : Les mouvements de l'épaule et leurs axes de rotation.....	8
Figure 3 : Goniomètre universel	16
Figure 4: Inclinomètres (A : Digital, B : Application sur téléphone intelligent).....	18
Figure 5: Règle et ruban à mesurer	19
Figure 6: Application DrGoniometer.....	21
Figure 7: Détermination des angles relatifs sur des photographies de patron de points au cours du mouvement d'abduction de l'épaule	38
Figure 8: Reconnaissance automatique du patron de points et calcul de décomposition en valeurs singulières.....	39
Figure 9: Brassard d'un patron de point (A) et appareil photo numérique Nikon (B)....	45
Figure 10: Application Gyroscope (inclinomètre).....	48
Figure 11: Trousse Xsens (Centrale inertielle)	49
Figure 12: Système optique de capture de mouvement Optotrak 3020 (A : caméras, B : marqueurs, C : unité de contrôle).....	50
Figure 13: Dispositif de mesure d'AAM comprenant un patron de points, un module Xsens et des marqueurs d'Optotrak	53
Figure 15: Graphiques de dispersion et de Bland et Altman de la méthode photo par rapport à la mesure étalon selon les amplitudes de mouvement	65
Figure 16: Graphiques de dispersion et de Bland et Altman entre la centrale inertielle Xsens et la mesure étalon selon les amplitudes de mouvement.....	68
Figure 17: Graphiques de dispersion et de Bland et Altman entre l'inclinomètre (iPod) et la mesure étalon.....	71
Figure 18: Moyenne et écart-type des différences de mesure des trois systèmes avec le système étalon selon l'amplitude de mouvement.....	74
Figure 19: Graphiques de dispersion et droite de régression des essais de la méthode de photographie de patrons de points en intra et inter-évaluateurs.....	77
Figure 20: Graphiques de dispersion et droite de régression des essais de l'inclinomètre en intra et inter-évaluateurs.....	78

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AAM : Amplitude articulaire de mouvement

AHRS : Attitude and Heading Reference System

CCI : Coefficient de corrélation intra-classe

CdRV : Centre de Recherche sur le Vieillissement

CMD : Changement minimal détectable

CURE : Clinique Universitaire de Réadaptation de l'Estrie

DASH : Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand

EQCOTESST : Enquête québécoise sur des conditions de travail d'emploi et de santé et de sécurité du travail

ETC : Équivalent temps complet

ETM : Erreur type de mesure

TMS : Troubles musculo-squelettiques

REMERCIEMENTS

J'adresse mes remerciements à toutes les personnes qui ont de près ou de loin contribué à la réalisation de ce mémoire.

En premier, je remercie mon Directeur de mémoire, Monsieur Patrick Boissy, pour sa grande disponibilité, sa patience et ses précieux conseils tout au long de ce travail.

Un grand merci aux ingénieurs et techniciens du laboratoire de biomécanique du Centre de Recherche sur le Vieillissement, particulièrement à Mathieu Hamel pour son apport au combien précieux dans la mise en place du protocole de recherche et à Antoine Guillérand qui a supervisé et participé avec une main de maître à la collecte et à l'extraction des données.

Je voudrai témoigner ma reconnaissance et ma gratitude à toutes les personnes qui m'ont volontairement " épaulé " en acceptant de participer à cette étude. Sans elles, ce travail n'aurait pas pu être réalisé. Qu'elles soient assurées de nos sincères remerciements.

Merci à Mme Lise Trottier et à Mr Modou Sène les statisticiens qui ont supervisé les analyses statistiques tout au long de ce travail.

Finalement, merci à ma famille "ma raison de vivre" pour la patiente et le soutien, ce travail porte aussi votre empreinte.

INTRODUCTION

Ce projet a pour but de décrire et valider une nouvelle méthode d'évaluation de l'amplitude articulaire de mouvement (AAM) dans un contexte de troubles musculo-squelettiques (TMS) de l'épaule chez le travailleur âgé. Bien qu'actuellement il existe en clinique et en laboratoire plusieurs méthodes de mesure d'AAM, les données sur leur validité et leur fidélité sont sujettes à discussion. Les recherches sur l'amélioration des qualités métrologiques de ces méthodes ou sur la création de nouvelles méthodes de mesure sont donc d'actualité et c'est dans cette optique que ce projet a été réalisé.

La présentation de ce mémoire s'articulera selon les chapitres suivants :

Dans le chapitre I, nous évoquerons brièvement dans un premier temps l'anatomie fonctionnelle du complexe articulaire de l'épaule et les rôles des différentes structures qui le composent dans sa mobilisation. Nous traiterons ensuite de la problématique des TMS au niveau des épaules chez les personnes âgées et la place qu'occupe la mesure des AAM dans l'évaluation de ces troubles.

Le chapitre II sera constitué de la recension des écrits relatifs à la question de l'évaluation de l'AAM de l'épaule et inclura la description de la nouvelle méthode d'évaluation de l'AAM proposée. D'une part, les principaux instruments de mesure d'AAM de l'épaule utilisés en clinique et en recherche seront décrits et illustrés. Par la suite, les résultats d'études portant sur les qualités métrologiques de ces instruments seront présentés et les avantages et limites de leurs utilisations énoncées. Finalement, la méthode d'évaluation proposée sera décrite. Cette méthode est basée sur l'utilisation de photographies

numériques de patrons de points et d'un algorithme d'estimation de pose de caméra. Les principes sous-jacents à cette approche seront exposés brièvement.

Le chapitre III présentera la question de recherche et les objectifs spécifiques de ce projet.

Le chapitre IV décrira la méthodologie adoptée pour atteindre les objectifs proposés. Le projet est constitué de deux phases. Une première phase sur la validité de critère de l'approche proposée, une deuxième phase sur la fidélité inter et intra-évaluateur de l'approche proposée. La méthodologie propre à chacune de ces phases sera exposée.

Le chapitre V présentera les résultats expérimentaux de chacune des phases de ce projet.

Le chapitre VI mettra en contexte les résultats obtenus par rapport aux objectifs énoncés et la littérature et discutera de leur portée. Les forces et limites des travaux réalisés seront discutées. Une perspective de recherche pour des travaux futurs sera proposée.

Le chapitre VII présentera les conclusions du projet.

CHAPITRE I : Problématique

1 Troubles musculo-squelettiques (TMS) et le travailleur âgé

Le nombre de personnes souffrant de pathologies chroniques liées à l'âge et aux conditions de travail ne cesse de croître.¹ Parmi ces maladies, les troubles musculo-squelettiques (TMS) font partie des atteintes les plus courantes surtout chez les personnes âgées.^{1,2} Les TMS sont un ensemble de symptômes et d'atteintes inflammatoires ou dégénératives qui concernent les segments corporels suivants : le cou, le dos, les membres supérieurs et inférieurs.³ Ils touchent diverses structures telles que les tendons, les muscles, les ligaments, les gaines synoviales et les articulations en incluant les disques intervertébraux. Les nerfs et la circulation connexe à ces structures peuvent également être affectés.⁴ La douleur et/ou la perte de fonction sont des manifestations courantes de ces atteintes.^{3,5,6} Ils sont parmi les causes majeures d'absentéisme au travail.^{7,8} En effet, les TMS expliquent 38 % des lésions professionnelles et plus de 40 % des coûts d'indemnisation des travailleurs.⁹ Au Canada, la valeur estimée du temps productif perdu en raison des invalidités de longue durée attribuables aux TMS s'élève à 12,6 milliards de dollars canadiens, ce qui représente environ 39 % des coûts d'invalidité de longue durée.¹⁰ Selon l'EQCOTESST (enquête québécoise sur des conditions de travail d'emploi et de santé et de sécurité du travail), les TMS liés au travail se définissent comme des douleurs musculo-squelettiques importantes, dérangeant les activités, ressenties souvent ou tout le temps au cours des douze mois précédant l'enquête et perçues comme entièrement ou partiellement liées au travail principal.¹¹

Il est très difficile d'avoir les chiffres exacts de la prévalence des TMS dans la population générale et plus particulièrement chez les personnes âgées.^{1,8,12} Cependant, ils restent les maladies professionnelles les plus fréquentes dans les pays développés et ils constituent un enjeu majeur en matière de santé au travail.⁷ Au Québec, entre 1998 et 2007, 46 400 nouveaux cas de TMS (également appelés lésions articulaires dues au travail répétitif) ont été déclarés en moyenne chaque année. Ils représentent en moyenne 35% de l'ensemble des lésions professionnelles soit plus d'une lésion sur trois. En 2006, le taux d'incidence des TMS était de 15,4 pour 1000 travailleurs équivalent temps complet (ETC) pour l'ensemble du Québec.³ Également l'EQCOTESST souligne qu'en 2007, près de 732 000 travailleurs et travailleuses du Québec étaient aux prises avec au moins un TMS attribué au travail. C'est une personne au travail sur cinq qui est ainsi atteinte d'un TMS lié au travail.¹¹ Il faut également souligner que certaines conditions comme le travail répétitif, les efforts physiques trop intenses et les postures contraignantes peuvent augmenter le risque de survenue de TMS.^{1,11}

Parmi les travailleurs, ceux en âge avancé sont plus à risque de développer des TMS en comparaison avec leurs collègues plus jeunes.¹³ Même s'il n'y a pas d'âge précis à partir duquel un employé est considéré comme un travailleur âgé¹⁴, le terme est le plus souvent utilisé pour désigner la population des personnes actives de 50 ans et plus n'ayant pas atteint l'âge de la retraite.¹⁵ Certaines études ciblent elles les 45 ans et plus.¹⁴ La définition officielle du Bureau International du Travail (BIT) ne fait cependant pas explicitement mention de l'âge; les travailleurs âgés regroupent ainsi " tous ceux qui, parce qu'ils avancent en âge, sont susceptibles de rencontrer des difficultés en matière d'emploi et de profession ".¹⁵ Un grand nombre de TMS sont attribuables aux mouvements répétitifs dans

le temps. Ainsi, un travailleur âgé est susceptible de signaler davantage de TMS, puisque son état a pu évoluer pendant plus longtemps.¹⁶ Même s'il est avéré que l'âge est un facteur de risque majeur de survenue de TMS au travail, la tendance actuelle est que les travailleurs gardent leurs activités professionnelles le plus longtemps possible, au-delà de l'âge chronologique de la retraite, augmentant ainsi les risques de survenue de TMS.^{13,17,18} D'après les projections de Statistique Canada, en 2021, près d'un actif sur quatre (environ 24%) pourrait avoir 55 ans ou plus, soit la plus forte proportion jamais enregistrée.¹⁹ Aux États-Unis, 49% des travailleurs sont âgés de 45 à 55 ans avec une réduction spectaculaire du ratio entre jeunes et vieux travailleurs. Dans un sondage réalisé en 2013 toujours aux États-Unis, 37% des répondants ont dit qu'ils s'attendent à travailler après l'âge de 65 ans contre seulement 22% en 2003 et 16% en 1995.²⁰

2 TMS et complexe articulaire de l'épaule

Le complexe articulaire de l'épaule est fréquemment touché^{21,22} dans les TMS du fait qu'il effectue des milliers de mouvements lors des gestes de la vie quotidienne et au travail.²² Les douleurs de l'épaule représentent la troisième cause de douleurs musculo-squelettiques après le rachis et le genou.^{22,23} Elles constituent un problème médical et socio-économique important dans la société et peuvent conduire à une incapacité de travail et/ou d'effectuer des activités domestiques et de loisirs.^{12,24} Les sections qui suivent font un bref rappel de l'anatomie fonctionnelle du complexe articulaire de l'épaule, mais également de ces différentes AAM et du rôle de l'âge dans l'exécution des mouvements au niveau de l'épaule.

2.1 Anatomie du complexe articulaire de l'épaule

Parmi toutes les articulations du corps, le complexe articulaire de l'épaule a la plus grande amplitude de mouvement et il est à l'origine des mouvements du bras. Il est constitué d'os, de ligaments, de tendons et de muscles qui assurent une connexion entre le bras et le torse.²⁵⁻³⁰ L'épaule se compose de trois os qui sont la clavicule, la scapula ou omoplate et l'humérus.^{29,31} Les mouvements de l'épaule sont assurés par cinq articulations dont trois vraies (gléno-humérale, acromio-claviculaire et sterno-claviculaire) et deux espaces de glissement (sous acromial et scapulo-thoracique).^{32,33} Les muscles de l'épaule et leurs tendons contribuent à la fois à la mobilité et à la stabilité de l'épaule. Ils se répartissent en deux couches : profonde et superficielle.³⁴ La couche profonde est constituée d'un groupe de quatre muscles dont les tendons forment la coiffe des rotateurs (**Figure 1**).

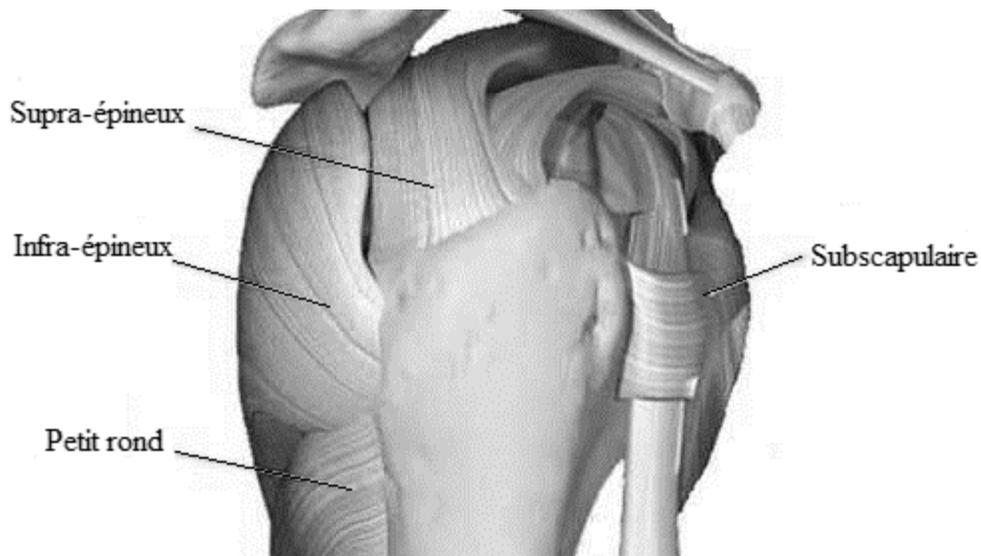


Figure 1 : Tendons des muscles de la coiffe des rotateurs

<http://www.docteurphilipperoure.com/rupture-tendons>

Le tendon du muscle supra-épineux est le plus souvent affecté lors d'une rupture de la coiffe des rotateurs, mais aussi en cas de tendinite ou de dégénérescence au niveau de l'épaule.^{35,36} Il joue un rôle majeur dans les mouvements d'abduction et de flexion.³⁷ Le muscle subscapulaire intervient quant à lui dans l'exécution des mouvements de rotation interne et d'adduction de l'épaule, il est aussi stabilisateur avant de la tête humérale.^{35,37} Le troisième muscle de la coiffe est l'infra-épineux qui se termine par une insertion tendineuse sur le trochiter de la face postérieure de l'humérus.^{35,38} Il assure la rotation externe avec le muscle petit rond et participe à l'abduction du bras.³⁹ Le muscle petit rond permet la rotation externe du bras et la stabilisation en arrière de la tête humérale.³⁷ La coiffe des rotateurs joue un rôle important dans la stabilité active de l'épaule en maintenant et centrant la tête humérale dans la cavité glénoïde;^{40,41} également elle assure la plupart des mouvements de l'épaule.^{34,39} La couche superficielle est composée du muscle deltoïde qui intervient dans la mobilité de l'épaule en apportant la puissance,^{35,37} du muscle trapèze qui est un muscle élévateur et stabilisateur de l'épaule^{35,38} et enfin du muscle grand pectoral qui intervient dans les mouvements d'adduction, d'antépulsion et de rotation interne de l'épaule.³⁷

2.2 Amplitudes de mouvements du complexe articulaire de l'épaule

L'amplitude de mouvement est l'arc de mouvement qui se produit dans une articulation ou une série d'articulations, en d'autres termes c'est à la fois la distance qu'une articulation peut parcourir et son angle de mouvement.^{37,39} Il en existe deux types : l'amplitude de mouvement actif qui est le mouvement que le sujet peut effectuer lui-même, sans aucune

intervention de l'examineur et l'amplitude de mouvement passif qui est le mouvement que l'examineur effectue sans participation du sujet qui reste détendu et ne joue aucun rôle actif dans la production du mouvement.³² La position de départ pour la mesure de toutes amplitudes de mouvement, à l'exception des mouvements de rotations interne et externe, est la position anatomique.⁴² Le complexe articulaire de l'épaule permet entre autres mouvements, des mouvements d'abduction et d'adduction, de flexion et d'extension, de rotation interne et externe (**Figure 2**).

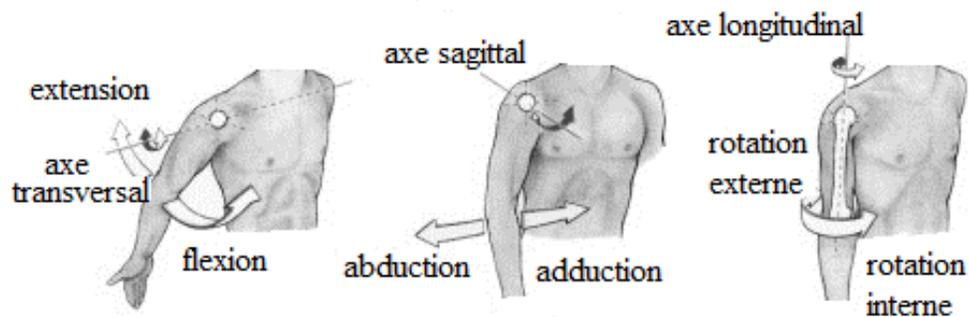


Figure 2 : Les mouvements de l'épaule et leurs axes de rotation
http://www.corpshumain.ca/muscle_articulation.php#L'épaule

2.2.1 Mouvement de flexion

Il a une amplitude maximale de 180° dans l'axe transversal de l'épaule.^{37,42} Pour réaliser le mouvement, les faisceaux antérieur et moyen du deltoïde, le biceps brachial, le grand pectoral et le coraco-brachial vont mobiliser les articulations gléno-humérale, acromio-claviculaire, sterno-claviculaire et scapulo-thoracique. L'implication de l'articulation gléno-humérale seule donne une amplitude maximale de 60° alors que quand elle est associée à un mouvement de la scapula et une inclinaison du rachis, l'angle de l'épaule peut atteindre son maximum c'est-à-dire 180°.^{42,43}

2.2.2 Mouvement d'extension

Son amplitude maximale ne dépasse généralement pas 60° dans l'axe transversal.⁴² Elle est assurée presque exclusivement par l'articulation gléno-humérale avec implication des muscles grand rond, grand dorsal, longue portion du triceps brachial, faisceau postérieur du deltoïde. Il faut noter que la scapula joue un rôle important en majorant le déplacement de l'articulation gléno-humérale de 20° à 60°.⁴³

2.2.3 Mouvement d'abduction

Le bras se déplace dans le plan frontal autour d'un axe antéro-postérieur (axe sagittal) et son amplitude peut atteindre 180°.^{37,42} Grâce à l'action synergique de plusieurs muscles (deltoïde, supra-épineux, dentelé antérieur et trapèze), les articulations gléno-humérale, acromio-claviculaire, sterno-claviculaire, scapulo-thoracique et sous-acromiale impriment le mouvement d'abduction. L'abduction entre 0-30° est assurée uniquement par l'articulation gléno-humérale; associée à un mouvement de la scapula et une inclinaison du rachis, l'amplitude articulaire peut atteindre 160° à 180°.⁴³

2.2.4 Mouvement d'adduction

L'amplitude de ce mouvement d'épaule ne se mesure habituellement pas, car l'adduction correspond au retour à la position zéro (de départ) après un mouvement d'abduction.⁴²

Néanmoins son amplitude maximale peut atteindre 10° autour de l'axe sagittal.³⁷ Plusieurs

muscles, notamment le grand pectoral, la longue portion triceps brachial, le grand rond, le grand dorsal et le court chef du biceps brachial, entrent en jeu dans la mobilisation de l'articulation gléno-humérale qui est la seule impliquée de l'exécution du mouvement.⁴³

2.2.5 Mouvement de rotation interne ou médiale

Il se fait à partir de l'articulation gléno-humérale avec implication des muscles subscapulaire, grand pectoral, long chef du biceps brachial, faisceau antérieur du deltoïde, grand rond et grand dorsal. L'angle maximal qui peut être mesuré varie entre 70° et 90° dans l'axe longitudinal.^{42,43}

2.2.6 Mouvement de rotation externe ou latérale

Le mouvement peut atteindre une amplitude maximale de 90° dans l'axe longitudinal de l'épaule. Le mouvement nécessite la mobilisation de l'articulation gléno-humérale et des muscles infra-épineux, petit rond et du faisceau postérieur du deltoïde.^{42,43}

2.3 Influence de l'âge sur l'amplitude de mouvement de l'épaule

L'AAM de l'épaule varie selon les individus et est influencé par de multiples facteurs comme l'âge, le sexe, les conditions physiques et la nature du mouvement (actif ou passif), mais aussi par la maladie.^{5,42,44}

Avec le processus de vieillissement, il se produit des transformations corporelles notables. En effet, il y a une réduction de la masse osseuse, musculaire maigre et de tous les tissus conjonctifs. Parallèlement il y a une augmentation de la masse grasseuse correspondante. Ces transformations contribuent à la diminution de l'amplitude de mouvement^{32,44-46} comme le montre le **Tableau 1**. Cette perte d'amplitude peut atteindre 20 à 30% entre les âges de 30 et 70 ans.⁴⁶ Mais selon des auteurs comme Macedo et Magee, même si l'âge a un effet sur l'amplitude de mouvement articulaire celui-ci est petit.⁴⁷

Mouvement	0-2 ans	18 mois-19 ans	20-54 ans	60-84 ans
Flexion	172°-180°	168° ± 4°	165° ± 5°	165° ± 10°
Extension	79°-89°	68° ± 8°	57° ± 8°	44° ± 12°
Abduction	177°-187°	185° ± 4°	183° ± 9°	165° ± 19°
Rotation interne	72°-90°	71° ± 5°	67° ± 4°	63° ± 15°
Rotation externe	123°	108° ± 7°	100° ± 8°	81° ± 15°

Tableau 1: Changements d'amplitude de mouvement de la naissance à l'âge de 84 ans³²

Doriot et Wang ont étudié l'effet de l'âge sur l'amplitude de mouvement maximale des principales articulations du membre supérieur. Un total de quarante et un participants (vingt-deux jeunes âgés de 25 à 35 ans et dix-neuf participants âgés de 65 à 80 ans) ont participé à l'étude. Au niveau de l'épaule, les participants jeunes avaient des amplitudes de mouvements significativement plus grandes que celles des personnes âgées avec des différences moyennes de 15° en flexion, 1° en extension, 10° en abduction et 10° en rotation externe. Pour ce qui est du mouvement de rotation interne, les participants âgés offraient des angles de déplacement plus grands de 3° en moyenne.⁴⁸

Également, une autre étude menée par Barnes et al. s'est intéressée aux effets de l'âge et du sexe sur l'amplitude de mouvement d'épaule. Ils ont mesuré les mouvements actifs et passifs de flexion, d'extension, d'abduction, de rotations interne et externe de deux cent quatre-vingts sujets âgés de 4 à 70 ans. Les résultats montrent ici aussi que l'amplitude de mouvement diminuait avec l'âge pour tous les mouvements mesurés à l'exception du mouvement de rotation interne, qui augmente avec l'âge. Les sujets féminins avaient significativement de plus grandes amplitudes que ceux de sexe masculin pour tous les mouvements mesurés.⁵

2.4 Tendinopathie de la coiffe des rotateurs et déficits d'AAM

La tendinopathie de la coiffe des rotateurs est la plainte la plus courante dans les cliniques orthopédiques;⁴⁰ elle représente 50 à 85% de toutes les atteintes à l'épaule.⁴⁹ Son incidence est de 87 pour 100 000 personnes par années et elle est plus élevée chez les personnes âgées (198 pour 100 000).⁵⁰ Cette tendinopathie consiste en une atteinte des tendons des muscles de la coiffe des rotateurs, principalement du muscle sus-épineux.²³ Son étiologie est multifactorielle et peut être attribuée à des facteurs extrinsèques et/ou intrinsèques. Pour ce qui est des facteurs extrinsèques, un des mécanismes le plus couramment retrouvé est un conflit entre les tendons de la coiffe des rotateurs et l'acromion au niveau de l'espace sous-acromial. Ce conflit est appelé syndrome d'accrochage ou d'abutement de l'épaule. Un autre mécanisme extrinsèque est constitué par la compression de la surface articulaire postérieure des tendons entre la tête humérale et la cavité glénoïde en dehors d'un rétrécissement de l'espace sous-acromial. Les facteurs intrinsèques qui contribuent à

la genèse de la TCR sont entre autres l'avancement en âge qui entraîne une perte d'élasticité et une diminution de la force de traction des tendons, une mauvaise vascularisation et des altérations des propriétés biologiques et mécaniques de ces tendons. La nature variée de ces mécanismes indique que la TCR n'est pas une entité homogène.⁵¹

Cette coiffe a un rôle très important dans la stabilisation de l'articulation gléno-humérale, instable par nature.²³ En cas d'atteinte tendineuse, il peut alors se produire le syndrome de l'arc douloureux qui est une douleur localisée au niveau de l'épaule et survenant lors des mouvements d'abduction entre 60° et 120°. Il traduit un conflit sous-acromial qui reste la cause la plus fréquente de douleurs de l'épaule chez l'adulte.^{22,23,52,53} Cette douleur peut s'accompagner d'une raideur articulaire ou d'une restriction de mobilité.²³ Un examen clinique est alors nécessaire pour poser le diagnostic d'un déficit d'amplitude articulaire.

L'examen clinique des TMS de l'épaule inclut très souvent des manœuvres permettant d'évaluer la coiffe des rotateurs et les conflits sous acromiaux.^{54,55} Il existe plus d'une centaine de tests dont les plus connus sont les tests de Neer et Welsh, de Hawkins, de Yocum et la mesure d'amplitude articulaire.²³ Cette dernière compte parmi les tests les plus pertinents en clinique d'où la nécessité d'avoir des systèmes de mesure efficaces et précis afin de pouvoir détecter d'éventuelles restrictions d'amplitude de mouvement secondaires à une pathologie ou de la douleur.⁵⁵ La mesure de l'amplitude de mouvement est essentielle dans la recherche d'un diagnostic, mais également dans l'évaluation des effets du traitement, la surveillance et l'analyse de l'évolution d'une condition ou d'une pathologie.^{55,56} Au niveau de l'épaule cette mesure peut être faite en utilisant un certain nombre d'instruments de mesure (la règle ou le ruban à mesurer,⁵⁷ la photographie,⁵⁸ les

capteurs de mouvement,⁵⁹ le goniomètre et l'inclinomètre⁶⁰) ou une estimation visuelle.⁶¹ Plusieurs sources d'erreurs peuvent altérer la validité et la fidélité de ces méthodes d'évaluation d'amplitude articulaire.⁶² Actuellement, aucune des méthodes de mesure d'AAM utilisées en clinique ne possède des qualités métrologiques faisant l'unanimité et c'est pour cette raison que nous présentons une méthode innovante. Le chapitre qui suit présente les méthodes de mesure d'AAM utilisées en clinique et en recherche ainsi que les résultats des études sur leurs qualités métrologiques.

CHAPITRE II : Recension des écrits

Dans ce chapitre, nous ferons une description des principales méthodes de mesure d'AAM utilisées en clinique et en recherche. Nous verrons ensuite les résultats d'études relatives aux qualités métrologiques de ces méthodes de mesure.

1 Méthodes de mesure d'AAM de l'épaule

Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer les amplitudes de mouvement.⁴² Dans les sections qui suivent, nous allons en détailler quelques-unes.

1.1 Description des méthodes de mesure

1.1.1 Goniomètre

Le terme goniomètre est dérivé de deux mots grecs, *gonia* signifiant angle et *metron* signifiant mesure. Par conséquent, la goniométrie se réfère à la mesure des angles, en particulier la mesure des angles créés au niveau des articulations humaines par les os.⁴²

Le goniomètre est l'instrument de mesure le plus utilisé pour évaluer les amplitudes de mouvements. Il en existe plusieurs types, mais celui dit standard ou universel est le plus utilisé pour mesurer les articulations au niveau des membres supérieurs et inférieurs, mais aussi au niveau de la colonne vertébrale.^{32,42,63,64} Des modèles adaptés aux petites articulations sont aussi disponibles.⁴²

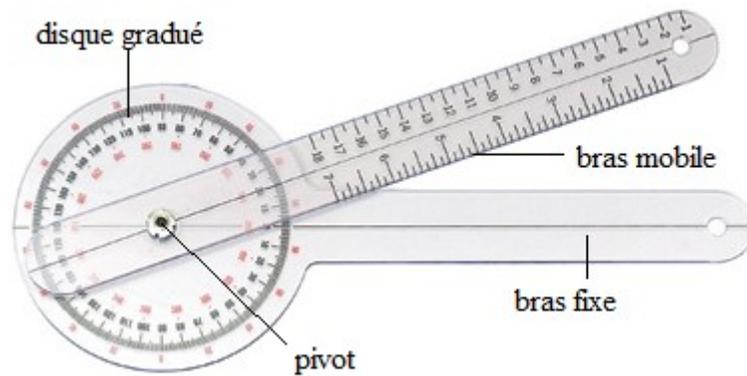


Figure 3 : Goniomètre universel

Il est généralement en plastique transparent et se compose d'un corps qui est un disque gradué sur 360° (**Figure 3**) ou 180° pour certains modèles, ressemblant à un rapporteur et de deux bras dont un fixe et un autre mobile pouvant pivoter autour du disque. Chacun des bras mesure 20 cm alors que le disque a un diamètre qui varie entre 10 et 15 cm.^{32,65} Pour effectuer une mesure d'angle (**Tableau 2**), l'examineur prédétermine au moins trois points de repère osseux pour aligner le disque et les deux bras du goniomètre avec les segments de l'articulation à mesurer. La branche fixe est généralement alignée avec la ligne médiane du segment proximal (fixe) de l'articulation tandis que la branche mobile est placée le long de l'os mobile (distal) de l'articulation. La position décubitus (dorsal et/ou ventral) est souvent utilisée pour effectuer des mesures d'AAM avec le goniomètre.⁴²

	Flexion	Extension	Abduction/Adduction*	Rotation interne/externe
Position initiale	DD, bras le long du corps, paume vers l'avant	DV, bras le long du corps, paume vers le bas	DD, bras le long du corps, paume vers l'avant	DD, épaule en abduction 90°, coude fléchi 90°, avant-bras perpendiculaire au support (0° supination et pronation, paume face aux pieds)
Axe du goniomètre	face latérale tête humérale, ≈2,5 cm sous la face latérale PA	face latérale tête humérale, ≈2,5 cm sous la face latérale PA	milieu face antérieure du PA	sur le PO (coude)
Bras fixe	parallèle à la ligne médiane du tronc	parallèle à la ligne médiane du tronc	parallèle à la ligne médiane de la face antérieure du sternum	parallèle ou perpendiculaire au support
Bras mobile	parallèle à l'axe longitudinal de l'humérus	parallèle à l'axe longitudinal de l'humérus	parallèle à l'axe longitudinal de l'humérus	parallèle à l'axe longitudinal de l'ulna
Position finale	humérus déplacé en antérieur et vers le haut	humérus déplacé en postérieur et vers le haut	humérus déplacé latéralement en horizontal	paume vers les pieds (RI) ou vers la tête (RE)

Tableau 2: Points de repères et alignement du goniomètre dans la mesure d'amplitude de mouvement de l'épaule (DD = décubitus dorsal, DV = décubitus ventral, PA = processus acromial, PC = processus coracoïde, RI = rotation interne, RE = rotation externe)

Adduction* : le mouvement se produit dans le plan frontal autour d'un axe antéro-postérieur. Il n'est généralement pas mesuré parce que c'est le retour à la position de départ à partir de l'abduction complète.⁴²

L'angle que décrivent les deux branches entre la position de départ et la position finale du segment mobile de l'articulation donne le degré de l'AAM.^{32,42,43,57,62,66} Parfois l'angle de départ du goniomètre ne correspond pas à l'angle 0° du mouvement, dans ce cas il faut soustraire à l'amplitude finale l'angle initial du goniomètre pour obtenir l'amplitude de mouvement réelle.³²

1.1.2 Inclinomètre

Cet instrument est actuellement très utilisé par les praticiens et une des raisons est qu'il en existe plusieurs types (**Figure 4**) allant de l'inclinomètre digital, à bulle ou de simples applications sur téléphone intelligent.³² Le terme inclinomètre regroupe tous les outils de mesure dont la calibration et le point de référence reposent sur la constante universelle de la gravité. La ligne d'horizon (ou horizontale) est l'angle 0° de l'instrument.^{32,67}

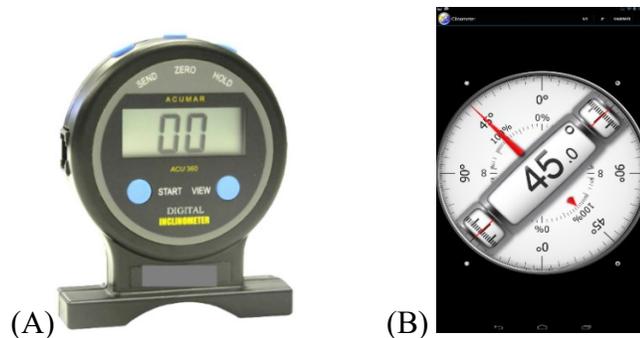


Figure 4: Inclinomètres (A : Digital, B : Application sur téléphone intelligent)

L'inclinomètre peut être plus facile à utiliser que le goniomètre dans certaines situations parce qu'il n'a pas besoin d'être aligné avec les repères osseux ou centré sur l'axe de mouvement, ce qui réduit le risque d'erreur due à l'estimation de plusieurs points de repère anatomiques.^{32,42} Cependant, il est essentiel que le segment proximal de l'articulation à mesurer soit positionné verticalement ou horizontalement afin d'obtenir des mesures précises, autrement, des ajustements doivent être effectués pour déterminer la mesure.⁴² Il faut noter que l'inclinomètre n'est pas adapté pour mesurer l'amplitude de mouvement des petites articulations et sa stabilité est fortement affectée si l'instrument est posé sur du tissu mou (obésité, œdème).³²

Pour effectuer une mesure, l'examineur attache ou maintient avec une main l'instrument sur le segment distal de l'articulation à mesurer.⁶² L'angle entre l'axe longitudinal du segment et la ligne de gravité est l'amplitude de mouvement articulaire.

1.1.3 Estimation visuelle

Historiquement, les premiers rapports sur les procédures d'évaluation de l'amplitude de mouvement ont suggéré d'utiliser l'estimation visuelle.³² Cependant du point de vue scientifique les résultats obtenus manquent de rigueur ce qui fait qu'elle n'est pas si prisée en recherche. Elle est parfois utilisée en raison de contraintes de temps dans les examens médicaux, mais aussi pour suppléer le goniomètre si les repères osseux ne sont pas visibles ou palpables.^{62,68}

1.1.4 Mesures linéaires

L'un des outils le plus simple pour mesurer les amplitudes de mouvement est le ruban ou la règle à mesurer (**Figure 5**).

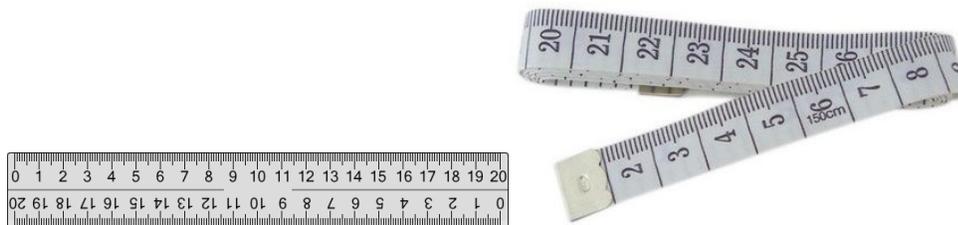


Figure 5: Règle et ruban à mesurer

L'outil est facile à utiliser, mais un des aspects négatifs est que la mesure est exprimée en centimètre alors que la plupart des systèmes utilisés donne des mesures en degré.^{32,56} La mesure s'effectue en choisissant tout d'abord deux points de repère anatomiques ou un repère anatomique et un autre sur un support fixe (le support où le patient est assis ou couché).³² La différence de longueur entre les positions initiale et finale du segment de membre donne l'AAM. Cette mesure est fortement influencée par la morphologie du sujet évalué. C'est l'une des principales sources d'erreur de cette méthode.⁶⁹

1.1.5 Photographie

Le principe de cette méthode d'évaluation d'AAM repose sur la photographie numérique de l'articulation à évaluer en début et en fin de mouvement.⁷⁰ Des repères sont placés manuellement sur les images prises afin de déterminer l'angle formé.^{62,71} Une autre manière de procéder est de mettre des marques sur des repères anatomiques prédéfinis et ensuite prendre les photographies en début et en fin de mouvement.⁷⁰ Dans les deux cas les angles formés sont mesurés à l'aide d'un goniomètre.^{20,70}

Avec l'émergence des téléphones intelligents, il s'est développé des applications ayant pour objectifs de fournir une mesure rapide et simple de l'AAM en combinant tous les avantages du goniomètre et de la photographie.^{72,73} L'application DrGoniometer (**Figure 6**) est la première à être validée. Il est d'une utilisation facile et consiste à positionner sur la photo ou la vidéo obtenue via la caméra du téléphone un goniomètre virtuel représenté par deux ou trois marqueurs visibles sur l'écran. L'image est prise par rapport à une

référence perpendiculaire au niveau du sol. L'évaluateur choisit ensuite l'amplitude et le mouvement respectif à mesurer à partir d'une liste (par ex., flexion ou extension de l'épaule), puis prend simplement une photo du membre, l'enregistre, mesure l'angle et observe la valeur.⁷³



Figure 6: Application DrGoniometer

1.1.6 Électrogoniomètres

Les électrogoniomètres sont apparus dans les années 1950 (introduit par Karpovich et Karpovich en 1959). Ils convertissent le mouvement angulaire de l'articulation en un signal électrique⁴². Ils sont principalement utilisés en recherche pour des mesures dynamiques des articulations.³² L'électrogoniomètre est une version électronique du goniomètre classique, avec une polyvalence accrue, car elle permet la mesure dynamique du déplacement angulaire des articulations dans un mouvement plane.^{74,75} La plupart des appareils ont deux bras, semblables à ceux du goniomètre universel, qui sont attachés aux

segments proximal et distal de l'articulation à mesurer. Un potentiomètre est raccordé aux deux bras. Les changements de position du segment de membre provoquent la résistance du potentiomètre pour le faire varier. Le changement résultant de la tension peut être utilisé pour indiquer l'amplitude de mouvement articulaire.^{32,75} Bien que les électrogoniomètres soient capables de mesurer les amplitudes de mouvement sur plusieurs plans simultanément, le coût de ces dispositifs et les compétences requises pour leur manipulation font qu'ils sont principalement utilisés en recherche.^{32,74}

1.1.7 Centrales inertielles

Une centrale inertielle ou centrale à inertie est un système de capture de mouvement constitué d'unités (modules) qui renferment des accéléromètres mesurant l'accélération linéaire, des gyroscopes (pour les vitesses angulaires) et des capteurs magnétiques qui permettent de définir l'orientation des modules par rapport à la gravité et au champ magnétique terrestre.²⁷ La mesure de mouvement inertielle repose sur la détermination d'une orientation absolue exprimée dans un système de coordonnées global, basé sur la gravité et le Nord magnétique. Pour ce faire, ces systèmes utilisent des données provenant de capteurs inertiels (accéléromètres, gyroscopes et magnétomètres) qui, combinées avec un algorithme de fusion (par exemple filtre de Kalman), permettent la détermination de l'orientation globale du module. La fusion de ces trois types de capteurs inertiels avec un algorithme de fusion est appelée AHRS (Attitude and Heading Reference System).⁷⁶ Ces systèmes inertiels présentent un problème de dérive des angles causé par l'intégration des vitesses angulaires fournies par les gyromètres ainsi qu'un problème de

dérive de la position engendré par la double intégration de l'accélération fournie par les accéléromètres.⁷⁷ Il existe plusieurs modèles de centrales inertielles dans le marché (Xsens, APDM, MotionPro, Inertial Labs...).

1.1.8 Systèmes optiques de capture de mouvement

Ces systèmes sont largement utilisés en recherche pour évaluer la cinématique des articulations (jambe, coude, épaule) de manière non invasive.^{27,78} Cette capture consiste en l'enregistrement des mouvements afin de les reproduire ou bien de les analyser.⁷⁷ Le principe repose sur des mesures de la lumière émise ou réfléchié par les marqueurs.⁷⁹ Les mesures d'AAM se font en plaçant des marqueurs sur les segments de membres et les caméras enregistrent leurs positions.⁷⁷ Selon le type de marqueurs, ces systèmes peuvent être divisés en deux catégories : les systèmes passifs qui utilisent des marqueurs qui reflètent la lumière vers le capteur (caméras) et les systèmes actifs qui utilisent des marqueurs émetteurs de lumière détectable par les capteurs.⁷⁹ L'utilisation de ces systèmes de manière appropriée se heurte à plusieurs obstacles. En effet, il peut exister un problème de perte de visibilité des marqueurs qui peuvent être masqués lors de certains mouvements les rendant ainsi indétectables par les caméras. Le nombre et la position des marqueurs limitent de ce fait les AAM. Également ces systèmes sont très sensibles à la luminosité de la pièce où ils sont installés. La capture se fait dans une zone préalablement calibrée afin de pouvoir corriger les imperfections de mesure pouvant exister (l'espace de capture d'AAM est réduit à cette zone). Enfin, leur utilisation réelle requiert des moyens de calcul importants.^{77,80}

1.2 Qualités métrologiques des méthodes de mesure de l'AAM

La notion de qualités métrologiques renvoie aux concepts de fidélité et de validité qui sont des caractéristiques essentielles de tout instrument de mesure. La fidélité se rapporte à la capacité de l'instrument à mesurer d'une fois à l'autre un même objet de façon constante (reproductibilité), les résultats des mesures doivent alors être semblables dans des situations comparables. Cette fidélité est dite intra-évaluateur si elle détermine le degré auquel un observateur obtient la même classification à plusieurs occasions de mesure du même évènement. Quant à la fidélité inter-évaluateurs, elle est le degré auquel deux observateurs ou plus obtiennent les mêmes résultats sur le même évènement observé. La fidélité doit nécessairement s'accompagner d'une bonne validité qui désigne le degré selon lequel un instrument mesure bien ce qu'il est censé mesurer. La validité de critère représente le degré d'association entre un instrument de mesure ou une technique et un autre instrument indépendant susceptible de mesurer le même phénomène ou concept. Le critère, c'est la deuxième mesure qui sert à évaluer le même concept et à déterminer le degré de corrélation.⁸¹ En cinématique humaine, le degré de validité des mesures d'un instrument est fonction de son erreur de mesure. Ainsi, McGinley et al. affirment qu'une erreur de mesure de 2° ou moins peut être considérée comme largement acceptable, car de telles erreurs sont probablement trop petites pour nécessiter une prise en compte explicite lors de l'interprétation des données. Des erreurs de 2° à 5° sont également susceptibles d'être considérées comme acceptables, mais peuvent nécessiter une prise en compte dans l'interprétation des données. Par contre, des erreurs de mesure supérieures à

5° devraient susciter des inquiétudes et peuvent être assez importantes pour induire en erreur l'interprétation clinique.⁸²

1.2.1 Goniomètre

Plusieurs études se sont intéressées à la fidélité intra et inter-évaluateurs du goniomètre dans l'évaluation de l'AAM de l'épaule. La plupart d'entre elles ont montré de manière très évidente que la fidélité intra-évaluateur du goniomètre est meilleure que celle inter-évaluateurs,⁴² mais également que cette fidélité varie selon le mouvement mesuré et selon le sujet.⁸³

Nadeau et al. avaient, dans leur recherche, étudié la fidélité et la validité de critère concomitante du goniomètre standard par rapport à un système optique d'analyse de mouvement en 3D (Optotrak 3020). Deux physiothérapeutes avaient évalué chacun les mouvements d'élévation, de rétraction et de protraction actives des épaules dominantes et non dominantes de trente participants asymptomatiques âgés de 26 à 63 ans (quinze hommes et quinze femmes). Leurs résultats des tests de fidélité intra-évaluateur montraient une bonne fidélité pour les mouvements d'élévation et de rétraction de l'épaule (CCI = 0,78-0,79 en élévation et CCI = 0,50-0,79 en rétraction) et une fidélité modérée à bonne pour le mouvement de protraction. Les ETM étaient significatives ($p < 0,05$) à 2,7°-3,9°, ce qui signifie une différence de mesures entre le goniomètre et le système optique. Concernant la fidélité inter-évaluateurs du goniomètre, elle était bonne pour le mouvement d'élévation (CCI = 0,59-0,75), faible à modérée en rétraction de l'épaule (CCI = 0,46-

0,57) et enfin faible pour le mouvement de protraction de l'épaule (CCI = 0,32-0,44). L'étude de la validité de critère du goniomètre, uniquement faite sur le mouvement d'élévation de l'épaule, montrait une bonne validité avec un coefficient de corrélation de Pearson calculés sur la moyenne de deux mesures répétées égal à 0,67-0,74 ($p < 0,01$).²⁵

Une étude comparative de la fidélité des deux types de goniomètres (bras courts et bras larges) a été réalisée par Riddle et al. sur un échantillon de cent participants répartis en deux groupes égaux. Seize physiothérapeutes avaient effectué les mesures et les résultats montraient d'excellentes fidélités intra-évaluateurs dans la mesure passive de l'AAM de flexion, d'extension, d'abduction, d'adduction, de rotations interne et externe de l'épaule avec des CCI variant de 0,87 à 0,99. Par contre leurs fidélités inter-évaluateurs étaient faibles pour les mouvements d'abduction, d'adduction, d'extension et de rotation interne (CCI = 0,26-0,55). Cette étude montre que les mesures goniométriques des mouvements de l'épaule semblent être très fiables lorsqu'ils sont pris par les mêmes évaluateurs, et ceci quelle que soit le type de goniomètre utilisé, mais aussi le degré de fidélité inter-évaluateurs dépend du type de mouvement.⁶³

Mullaney et al. ont étudié la fidélité du goniomètre standard dans la mesure active d'amplitudes de mouvements de flexion, de rotations interne et externe des deux épaules. Deux physiothérapeutes expérimentés ont réalisé les mesures sur vingt patients (neuf hommes et onze femmes) âgés de 18 à 79 ans. La fidélité intra-évaluateur était excellente pour les deux évaluateurs (CCI = 0,91-0,99) avec une variabilité des mesures comprise entre 3° et 9°. Pour ce qui est de la fidélité inter-évaluateurs elle variait de 0,62 à 0,95 avec des limites de concordances plus grandes que celles des CCI intra-évaluateur (limites

de concordance = 7°-20°). Ces résultats prouvent une fois de plus que le goniomètre a une meilleure fidélité intra-évaluateur qu'inter-évaluateurs, mais aussi les mesures obtenues ont une très grande variabilité pouvant aller à plus de 20°. ⁸⁴

Le goniomètre, même s'il demeure l'instrument de mesure le plus utilisé dans l'évaluation des amplitudes de mouvement d'épaule, il n'en est pas pour autant le plus fidèle et le plus juste à donner les vraies mesures. Plusieurs sources d'erreurs peuvent entacher la validité des mesures obtenues. Premièrement les repères osseux pour l'alignement des bras de l'instrument sont estimés visuellement et sont sources d'imprécision. ^{32,85} Au niveau de l'épaule, les deux branches du goniomètre sont initialement alignées sur le même segment (le bras) ce qui a pour effet de laisser la branche fixe dans le vide, donc non aligné, quand le sujet déplace le bras. Enfin il faut nécessairement centrer le pivot du disque du goniomètre sur l'axe du mouvement. ⁸⁵

1.2.2 Inclinomètre

Comme pour le goniomètre, plusieurs études ont été faites sur la fidélité des différents types d'inclinomètres utilisés en clinique. La validité de critère de l'instrument n'a pas fait l'objet de beaucoup de publications.

Des auteurs comme Kolber et al. ont fait plusieurs publications sur la fidélité de plusieurs types d'inclinomètres dans la mesure d'amplitude de mouvement d'épaule. Dans une de celles-ci, ils ont testé les qualités métrologiques d'un inclinomètre numérique et d'un

goniomètre universel dans l'évaluation du mouvement d'élévation actif de l'épaule. Pour ce faire, deux examinateurs ont évalué trente jeunes participants asymptomatiques. Les résultats des tests de Bland et Altman suggèrent l'absence de biais (différence des moyennes est égale à zéro) entre les deux évaluateurs et les limites de concordance à 95% montrent également que la différence de mesure entre les deux instruments varie entre -10° et 8° pour le premier évaluateur et -11° et 11° pour le deuxième évaluateur. Les tests de fidélité ont montré que l'inclinomètre a une excellente fidélité intra-évaluateur mais aussi inter-évaluateurs (CCI = 0,88-0,89) avec des erreurs types de mesure à $3,4^{\circ}$ et un changement minimal détectable à 4° .⁶⁰

Werner et al. ont étudié la fidélité et la validité d'un inclinomètre (application sur téléphone intelligent) dans la mesure d'amplitude articulaire d'épaule de vingt-quatre participants sains et quinze patients post-opérés par comparaison à une mesure étalon (goniomètre) et l'estimation visuelle. Cinq évaluateurs ont réalisé les mesures. Leurs résultats révèlent que l'application inclinomètre donne une meilleure fidélité inter-évaluateurs (CCI = 0,80) que la mesure étalon (CCI = 0,69) et l'estimation visuelle (CCI = 0,61). Les auteurs concluent leur étude en affirmant que l'application a une fidélité pour mesurer l'amplitude de mouvement de l'épaule en comparaison avec un goniomètre standard.⁸⁶

Dans l'étude de Winter et al., deux physiothérapeutes ont mesuré les mouvements passifs d'abduction et de rotation externe de cent cinquante-cinq patients souffrant de douleur à l'épaule. Les résultats ont montré que le CCI pour la fidélité inter-évaluateurs de l'inclinomètre variait entre 0,28 et 0,83 pour le mouvement d'abduction de l'épaule

avec des limites de concordances de $0,8 \pm 19,6$, et $CCI = 0,56-0,90$ pour le mouvement de rotation externe (limites de concordance = $-4,6 \pm 18,8$). En conclusion de l'étude, les auteurs affirment que si des patients sont individuellement évalués par deux observateurs, des différences d'amplitude de mouvement de moins de 20 à 25° ne peuvent pas être distinguées de l'erreur de mesure de l'inclinomètre.⁸⁷

L'inclinomètre, même s'il semble avoir de meilleures qualités métrologiques que le goniomètre, présente des limites sur son degré de fidélité inter-évaluateurs.

1.2.3 Estimation visuelle

Une étude menée par Awan et al. a comparé les fidélités de l'estimation visuelle et de l'inclinomètre numérique dans la mesure de l'amplitude du mouvement de rotation interne de l'épaule auprès de cinquante-six jeunes athlètes de dix-huit ans au plus sans pathologie au niveau des épaules. Les moyennes des mesures d'angle de l'estimation visuelle ($60,6 \pm 10,9^\circ$) étaient significativement ($p = 0,001$) inférieures à celles de l'inclinomètre ($91,2 \pm 15,4^\circ$). Néanmoins, la fidélité intra-évaluateur était bonne pour l'estimation visuelle ($CCI = 0,63-0,71$), similaire à celle de l'inclinomètre ($CCI = 0,64-0,71$). De manière générale, la fidélité inter-évaluateurs était inférieure à la fidélité intra-évaluateur pour toutes les mesures ($CCI = 0,51-0,65$ pour l'estimation visuelle et $CCI = 0,62-0,66$). L'analyse des résultats de l'étude nous pousse à croire que même si les deux méthodes semblent avoir de bonnes fidélités, ils ne sont pas interchangeables simplement du fait qu'il peut exister une différence de mesure d'angle de plus de 30° entre elles.⁵⁵

Avec une cohorte de dix-sept participants âgés de 29 à 74 ans, tous souffrant de pathologie au niveau de l'épaule, Hayes et al. ont évalué la fidélité de l'estimation visuelle dans la mesure des mouvements passifs de l'épaule. Pour les mouvements de flexion, d'abduction et de rotation externe, la fidélité intra-évaluateur était bonne, respectivement de 0,59 (0,28-0,85); 0,60 (0,30-0,86) et 0,67 (0,38-89). Par contre ici, contrairement à l'étude précédente, la fidélité inter-évaluateurs semble légèrement meilleure que celle intra-évaluateur pour les mouvements de flexion (CCI = 0,70), d'abduction (CCI = 0,66).²⁶

Des auteurs comme Terwee & al. ont, dans leurs travaux, étudié la fidélité inter-évaluateurs de l'estimation visuelle dans l'évaluation de l'amplitude de mouvement de patients souffrant de douleurs unilatérales de l'épaule. Deux physiothérapeutes ayant respectivement trois et dix ans d'expérience ont fait les évaluations de deux cent une paires d'épaules. Les résultats montrent que les CCI étaient acceptables ($> 0,70$) pour les mouvements d'élévation active et passive, d'abduction et de rotation externe passives. Par contre, le coefficient de corrélation était faible ($\leq 0,49$) pour le mouvement d'adduction passive. Également le niveau de concordance des mesures (différence moyenne entre les examinateurs à 1,96 déviation standard) était bas entre l'élévation active et passive, respectivement $-43,4^\circ$ à $39,8^\circ$ et $-46,7^\circ$ à $41,5^\circ$ (entre les côtés douloureux et sains).⁶¹

Si certains auteurs affirment que l'œil humain est hautement capable d'estimer avec précision l'AAM,^{54,88} ils ne s'accordent pas sur l'influence que l'expérience de l'observateur peut avoir. Les auteurs Blonna et al. insistent sur le rôle hautement significatif que peut avoir l'expérience de l'évaluateur pour une bonne fidélité de la mesure des mouvements de flexion et d'extension du coude. En effet, ils ont trouvé qu'avec les mesures effectuées par des observateurs expérimentés (chirurgiens), les ICC étaient très élevés (0,96 en extension et 0,93 en flexion). Les EMS étaient faibles, de -1°

à 1° avec une limite de concordance supérieure de 11° (IC à 95%: 8° à 14°). Cependant, l'accord était médiocre entre observateurs inexpérimentés (étudiants) et expérimentés (chirurgiens) (ICC: 0,38-0,51, EMS: 8° à 18°, limite de concordance supérieure: 32° à 40°).⁵⁴ Malgré tout cela, l'estimation visuelle des angles des articulations n'est pas souhaitable si l'on recherche une bonne précision des mesures.⁸⁹

1.2.4 Mesures linéaires

Ces techniques de mesure manquent actuellement de protocoles d'essai reconnus et de données normatives, car ils peuvent être affectés par la morphologie corporelle de chaque individu.⁵⁶

Toujours dans l'étude de Nadeau et al.²⁵, les résultats des tests de validité de critère avaient montré une différence de mesure significative entre le ruban à mesurer et le système étalon dans l'évaluation du mouvement d'élévation de l'épaule. Une différence moyenne de 1,25 cm était notée entre les deux systèmes. Pour le mouvement de rétraction de l'épaule, il n'y avait aucune différence entre le ruban à mesurer et les données du système de référence ($p > 0,05$). Les coefficients de corrélation de Pearson étaient significatifs pour le mouvement d'élévation ($r = 0,69-0,91$; $p < 0,01$) et le mouvement de rétraction ($r = 0,38-0,43$; $p < 0,05$) de l'épaule mesuré avec le ruban. Pour la fidélité, de manière générale elle était bonne pour le mouvement d'élévation (CCI = 0,78-0,91; ETM = 0,7-1,1 cm).

1.2.5 Photographie

Toujours dans l'étude menée par Hayes et al. concernant la fidélité des méthodes de mesures d'AAM au niveau de l'épaule, les résultats révélaient que la fidélité de la photographie, de manière générale, était bonne aussi bien en intra-évaluateur (CCI = 0,56-0,61) qu'en inter-évaluateurs (CCI = 0,62-0,73) pour les mouvements de flexion, d'abduction et de rotation externe de l'épaule. Par comparaison celles du goniomètre étaient de CCI = 0,53-0,65 en intra-évaluateur et CCI = 0,64-0,69 en inter-évaluateurs pour les mêmes mouvements. Les EMS variaient de 11° à 23° (test intra-évaluateur) et de 14° à 25° (test inter-évaluateurs), ce qui met en évidence les variations considérables qui existent dans la précision des mesures.²⁶

Des auteurs comme O'Neill et al. ont fait examiner des photographies numériques d'amplitude de mouvement de dix-sept patients ayant subi une intervention chirurgicale pour un traumatisme de l'épaule à deux médecins et deux physiothérapeutes. Leurs résultats montrent que la méthode photographie numérique offre une excellente fidélité dans l'évaluation de mouvements de flexion (CCI = 0,97), d'abduction (CCI = 0,99), de rotation externe (CCI = 0,75) et de rotation interne (CCI = 0,93) au niveau de l'épaule.⁵⁸

À côté des appareils photographiques numériques classiques, il est également possible d'utiliser certaines propriétés des téléphones intelligents pour mesurer les AAM. Une étude visant à déterminer la fidélité et la validité d'une application photo sur téléphone intelligent appelée DrGoniometer dans la mesure active du mouvement de rotation externe

de l'épaule par rapport au goniomètre universel a été réalisée par Mitchell et al. (2014). Quatre-vingt-quatorze participants sans pathologie de l'épaule avaient été évalués. Les fidélités intra-évaluateur et inter-évaluateur de l'application étaient excellentes avec respectivement des CCI de 0,81 (0,72-0,87) et 0,92 (0,85-0,96) sensiblement identique à celui du goniomètre universel qui étaient de 0,82 (0,74-0,88) et 0,91(0,64-0,97). La validité de critère de la méthode photo par rapport au goniomètre universel était également excellente avec un CCI de 0,93 (0,42-0,98). Cette méthode photo a l'avantage d'être simple d'utilisation avec des résultats comparables à ceux d'un goniomètre universel et de permettre un enregistrement des mesures.⁷²

1.2.6 Centrales inertielles

Un système inertiel comme Xsens est capable d'estimer les angles de flexion et d'extension des articulations avec une excellente validité de critère (coefficient de corrélation > 0,96) en comparaison avec le système Optotrak.⁷⁸ Des auteurs comme Ha et al. soutiennent que les centrales inertielles Xsens offrent une bonne validité de mesure et en raison de leurs tailles, leurs coûts et leurs portabilités, elles sont adaptées pour être utilisées en dehors des laboratoires.⁹⁰

El-Gohary et McNames ont étudié la précision des mesures d'angle du système de capture de mouvement APDM comparativement à un système optique de référence. Ils ont évalué les mouvements de flexion/extension, abduction/adduction des épaules, mais également les mouvements de flexion/extension, abduction/adduction des coudes de 8 participants.

Leurs résultats montrent qu'en moyenne il y a une erreur d'angle (root-mean-squared error) de moins de 7° (4,4° à 6,5°) pour toutes les amplitudes de mouvement (épaule et coude) avec un coefficient de corrélation élevé ($r \geq 0,95$).²⁷

Comme pour les systèmes optiques, les centrales inertielles sont surtout utilisées dans la recherche à cause des contraintes de coût et de leur relative complexité d'opération.

1.2.7 Systèmes optiques

Les systèmes optiques sont les outils les plus précis pour mesurer un mouvement²⁷ et Optotrak est, sans doute, actuellement le système de mesure le plus fiable en matière d'évaluation d'amplitude de mouvement. En effet, dans une étude, les auteurs States et al. avaient effectué avec Optotrak, vingt-quatre mesures d'angle d'une équerre de charpentier qui avait une configuration semblable à celle que pouvait être les articulations de l'épaule, du coude et du poignet. Les mesures étaient hautement précises avec des moyennes de 0,001° à 0,13° et un écart-type de 0,0196°. La fidélité des mesures d'angle était également excellente (moyenne des mesures : $89,63 \pm 0,04^\circ$). Comparativement aux autres systèmes de mesure utilisant les mêmes principes (WATSMART, Motion Analysis, Ariel, CODA, Elite, Peak, Qualisys et Vicon) Optotrak reste le système le plus précis.⁹¹ Chaque marqueur d'Optotrak est automatiquement et individuellement suivi avec une précision de 0,1 mm et une résolution de 0,01 mm.²⁵ Du fait de cette haute précision, beaucoup de chercheurs utilisent ses données comme mesure étalon. Néanmoins ces systèmes ne sont pas considérés comme appropriés pour une utilisation en clinique en raison de leurs coûts élevés et également du fait qu'ils nécessitent une importante logistique.⁹²

1.3 Sommaire de la recension

Cette recension nous a permis de voir que malgré l'abondance des outils et des méthodes de mesure d'amplitude articulaire, la problématique de leur précision, fiabilité, validité et accessibilité demeure. Il existe des instruments très précis dans l'évaluation de l'amplitude de mouvement, mais qui coûtent cher (systèmes optiques de capture de mouvement, centrales inertielles) et d'autres plus accessibles, mais dont les caractéristiques métrologiques sont controversées (inclinomètre, goniomètre, estimation visuelle). Un autre constat secondaire à cette recension est qu'il n'existe quasiment pas d'études s'intéressant à la validité de critère concomitante des instruments de mesure d'amplitude de mouvement, c'est-à-dire la comparaison de leurs résultats de mesure avec une mesure étalon. Aucune étude ne s'est intéressée aux erreurs systématiques affectant la validité de la mesure. L'emphase des recherches faites sur les qualités métrologiques a été centrée sur les erreurs aléatoires affectant la fidélité intra et inter-évaluateurs. Conséquemment, il n'existe pas d'instruments de mesure d'amplitude de mouvement qui fassent l'unanimité chez les chercheurs et les cliniciens pour la mesure de l'amplitude de mouvement de l'épaule. Il est donc nécessaire de développer de nouveaux outils de mesure très précis, valides, fiables, peu onéreux et facilement utilisables par le plus grand nombre. Les principales caractéristiques des méthodes de mesure d'AAM sont résumées dans le **Tableau 3**.

Systèmes de mesure	Fidélité		Validité de critère	Coût	Accessibilité clinique	Utilisation	Temps nécessaire pour une mesure
	Intra-juge	Inter-juges					
Goniomètre	bonne	faible	faible	abordable	grande	facile	peu
Inclinomètre	bonne	modérée	indéterminée	abordable	grande	facile	peu
Estimation visuelle	modérée	faible	indéterminée	gratuit	grande	facile	peu
Mesures linéaires	bonne	faible	faible	abordable	grande	facile	peu
Photographie	bonne	bonne	indéterminée	variable	grande	facile	peu
Centrales inertielles	excellente	excellente	excellente	onéreux	très peu	complexe	beaucoup
Électrogoniomètre	excellente	excellente	indéterminée	onéreux	très peu	complexe	beaucoup
Systèmes optiques	excellente	excellente	excellente	onéreux	très peu	complexe	beaucoup

Tableau 3: Sommaire des différentes caractéristiques des méthodes de mesure d'AAM

CHAPITRE III : Technique de mesure basée sur la photo de patrons de points

Nous venons de voir que malgré le nombre assez important d'outils de mesure d'AAM mis à la disposition des cliniciens et des chercheurs, leurs limites font en sorte qu'il y a toujours place à réfléchir et à développer de nouvelles méthodes de mesure plus adaptées aux besoins des cliniciens plus particulièrement. C'est dans cette optique que nous allons présenter la méthode de photographie de patrons de points.

Des avancées récentes dans le traitement d'image associé à des capacités augmentées des capteurs utilisés dans les appareils de photographie numérique permettent d'envisager une approche de mesure d'amplitude de mouvement novatrice avec des applications cliniques des plus intéressantes notamment dans l'évaluation des AAM de l'épaule. Le texte qui suit présente brièvement les principes et le fonctionnement de l'approche de mesure à l'étude dans ce projet.

Un patron de points, qui se présente sous une forme d'un domino noir parsemé de petits points blancs, est positionné sur le segment de membre mobile à évaluer (**Figure 7**). À l'aide d'un appareil photo, les images des positions initiale (début du mouvement) et finale (fin du mouvement) du patron de points sont prises. Suite à la capture des photos incorporant le patron de points sur le segment corporel, celles-ci sont traitées et manipulées en différé sur un ordinateur à l'aide d'un algorithme pour extraire l'orientation en 3 dimensions du patron de points qui apparaît dans l'image.

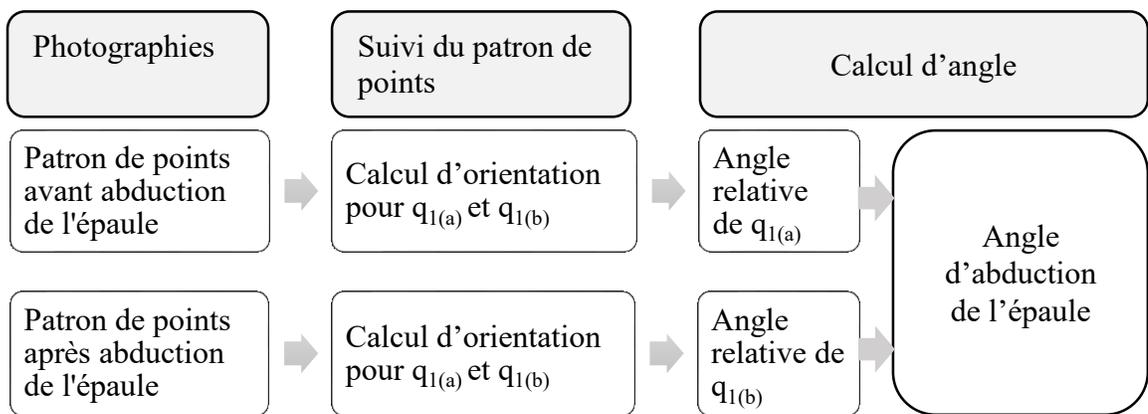
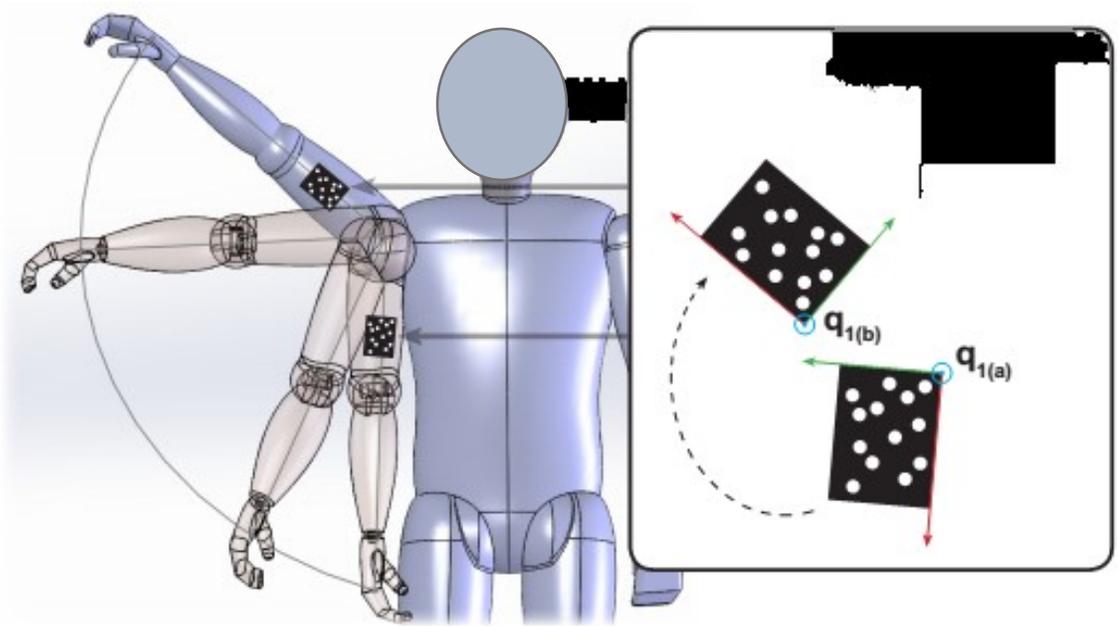


Figure 7: Détermination des angles relatifs sur des photographies de patron de points au cours du mouvement d'abduction de l'épaule

L'algorithme utilisé pour déterminer l'orientation du patron de points dans une photo a été adapté des travaux de George Vogiatzis et Carlos Hernández (<http://www.george-vogiatzis.org/calib/>). Il permet la reconnaissance automatique de patron de points dans une image ou une photographie. Son fonctionnement repose sur l'identification de chaque cercle composant le patron de points. Puisque tous les cercles sont situés sur un même plan, l'angle que forme ce plan par rapport à l'appareil photo aura l'effet de déformer les

cercles et les rendra « ovale ». Il est donc possible de déterminer mathématiquement l'angle de l'appareil photo en calculant l'angle de projection dans les 3 dimensions. Ce principe repose sur la décomposition en valeurs singulières ou Singular Value Decomposition en anglais (SVD) (**Figure 8**).

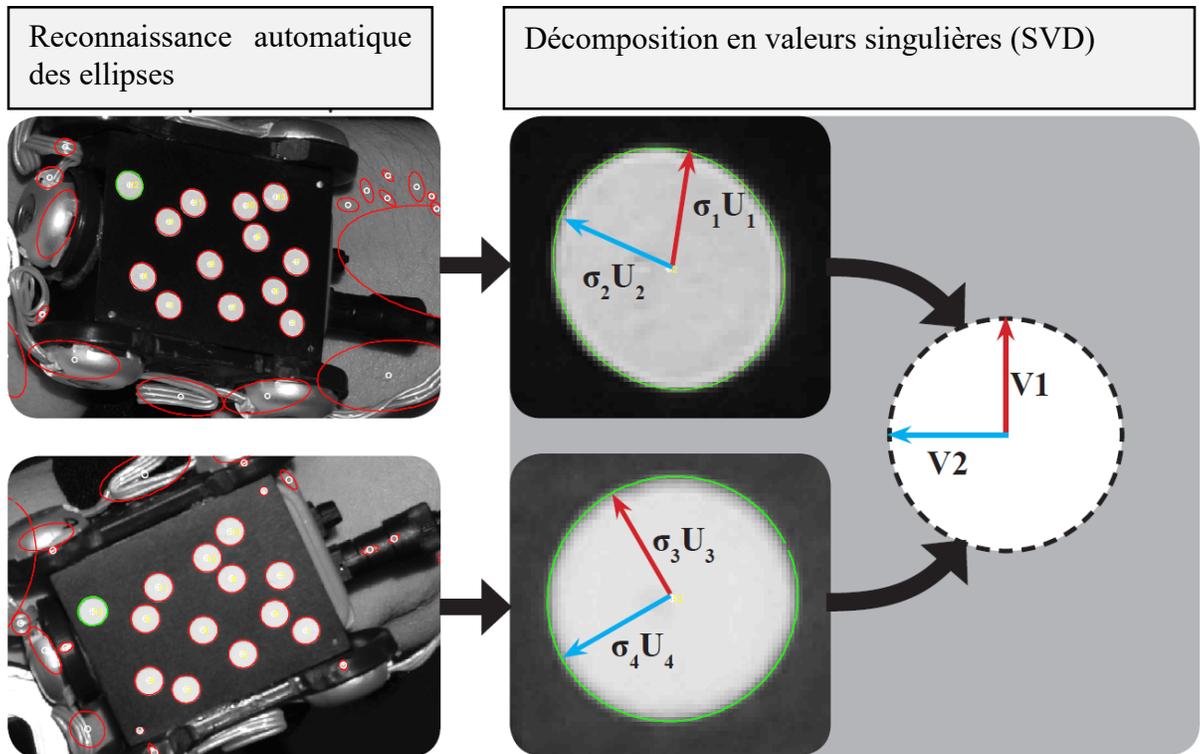


Figure 8: Reconnaissance automatique du patron de points et calcul de décomposition en valeurs singulières

La reconnaissance automatique de formes géométriques comme les ellipses est réalisée à l'aide d'une banque d'outils propriétaires de MATLAB[®] et dédiée au traitement de l'image. La fonction nommée « *regionprops.m* » permet de trouver toutes ellipses contenues dans une image et en extraire des paramètres comme la position, la longueur de l'axe majeur/mineur, l'angle, etc.. Avec ces paramètres, l'algorithme procède à la décomposition en valeurs singulières.⁹³ Cette technique permet de trouver la

transformation (rotation/compression/étirement) qui a été appliquée à un cercle afin de créer une ellipse. Plus précisément, cela nous permet de trouver la transformation nécessaire pour passer des vecteurs $U1/U2$ vers $V1/V2$, mais aussi d' $U3/U4$ vers $V1/V2$.

$$A = U\Sigma V^T$$

$$U = \begin{bmatrix} -\cos\theta & \sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 \\ 0 & \sigma_2 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} -\cos\theta & \sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

Le même procédé est appliqué à tous les autres points du patron. Considérant que la position des cercles sur le patron est connue et que tous les cercles sont coplanaires, il est possible d'optimiser la transformation effectuée à chacun d'eux afin d'arriver à un alignement parfait du patron « photo » vers le patron « original ». Cette optimisation (méthode des moindres carrés) permet d'extraire le vecteur 3D de rotation du patron de points ainsi que son vecteur de translation 3D. Des évaluations préliminaires de la justesse des estimés d'orientation obtenue à partir de photographies numériques de patrons de points sur des structures fixes (morceaux de bois) et de l'algorithme proposé ont démontrés la viabilité d'utiliser cette approche pour des mesures d'amplitude de mouvements sur des humains (différences de moins d'un degré sur la mesure de l'orientation obtenues par rapport à un système optique de mesure).

CHAPITRE IV : Question de recherche et objectifs

1 Question de recherche

La question de recherche pour cette étude se présente comme suit :

Est-ce que la nouvelle méthode d'évaluation de l'AAM de l'épaule à partir de photographies numériques de patrons de points est valide et fidèle?

2 Objectifs

Cette étude se déroule en deux phases avec des objectifs spécifiques pour chacune d'elles :

Phase I

1. Déterminer la validité de critère de la méthode de photographie numérique de patrons de points par rapport à une mesure étalon.
2. Comparer les validités de critère de la méthode de photographie numérique de patrons de points avec celles d'un inclinomètre numérique et d'une centrale inertielle utilisés en clinique.

Phase II

3. Déterminer la fidélité (intra et inter-évaluateurs) de la mesure de la méthode de photographie numérique de patrons de points et de l'inclinomètre numérique en conditions cliniques auprès de patients atteints de tendinopathie de la coiffe des rotateurs (TCR).

CHAPITRE V : Méthodologie

1 Devis et description de l'étude

Dans cette étude, nous avons fait une recherche méthodologique en utilisant un devis descriptif corrélationnel afin de déterminer la validité et la fidélité de la nouvelle méthode d'évaluation de l'amplitude de mouvement. Ce type de devis, comme son nom l'indique, permet de décrire et d'explorer des relations entre des variables (ici nos systèmes de mesure). L'étude s'est déroulée en deux phases. Nous avons évalué tout d'abord la validité de critère de la photographie numérique de patrons de points, de la centrale inertielle et de l'inclinomètre dans la mesure de l'amplitude articulaire d'épaules de participants sains. Notre mesure étalon (de référence) a été obtenue à partir d'un système optique de capture de mouvement. Trois types de mouvements actifs de l'épaule ont été évalués (l'abduction, la flexion et la rotation externe). Ces trois mouvements entraînent le plus de douleur en cas de TCR d'où le choix de les évaluer dans cette étude. Dans la deuxième phase, nous avons déterminé les fidélités intra et inter-évaluateurs de la photo numérique et de l'inclinomètre toujours dans la mesure de l'amplitude de mouvement de l'épaule, mais cette fois-ci chez des patients souffrant de tendinopathie de la coiffe des rotateurs.

Dans les sections qui suivent, nous allons détailler, selon la phase, notre stratégie de recrutement des participants à l'étude, s'en suivra ensuite une description des méthodes de mesure d'AAM. Les conditions expérimentales et de collecte de données seront également expliquées.

2 Phase I de l'étude

2.1 Participants

Pour cette phase de validation de notre méthode de mesure, vingt-cinq participants volontaires asymptomatiques de différentes tranches d'âge ont fait l'objet d'une évaluation des amplitudes de mouvement de leurs épaules droites. Considérant que les objectifs de la première phase sont avant tout de nature descriptive et ne sont pas basés sur des hypothèses, il n'a pas été jugé nécessaire de faire un calcul de taille d'échantillon à priori. À titre de référence, les données de la littérature qui décrivent les qualités métrologiques d'instrument de mesure à partir d'approches de validation biomécanique portent généralement sur des échantillons entre quinze et trente participants.

Pour être inclus dans l'étude, le participant devait être âgé de 18 ans ou plus. Il ne devait pas souffrir de douleurs ou de pathologies au niveau de l'épaule comme une tendinopathie, une luxation ou fracture, etc. Le participant devait pouvoir exécuter les mouvements que l'examineur lui demandait de faire à l'amplitude indiquée.

Les participants avaient été recrutés avec une stratégie d'échantillonnage par choix raisonné, non probabiliste parmi le personnel et les étudiants du Centre de Recherche sur le Vieillissement (CdRV). Notre première approche avait consisté à faire le tour des bureaux du CdRV afin de présenter sommairement notre projet de recherche aux personnes rencontrées. Si de l'intérêt était montré, alors un formulaire de consentement

(**Annexe 1**) où figure la description détaillée de l'étude et la nature de la participation leur était remis par l'étudiant responsable de l'étude. Un délai raisonnable d'une semaine maximale leur avait été laissé afin qu'ils puissent lire, comprendre et signer le document. Également, nous étions disposés à répondre à d'éventuels questionnements de leur part concernant l'étude. Cette stratégie de recrutement avait pour avantage d'éviter le déplacement de participants, car la collecte de données se faisait dans l'enceinte même du CdRV. Nous avons également mis en contribution nos connaissances (amis, famille, voisinage) pour compléter le nombre de participants.

Les évaluations d'amplitude de mouvement et la collecte de données de cette phase ont été effectuées par l'étudiant responsable du projet de Maîtrise, aidé d'un technicien de laboratoire. Trois semaines de collectes de données ont été nécessaires pour recruter et évaluer l'ensemble des participants asymptomatiques. Une séance de prise de mesure durait en moyenne quarante-cinq minutes.

2.2 Méthodes et instruments de mesure d'AAM de l'épaule

Pour cette première phase, nous nous sommes servis, en plus de notre méthode de mesure basée sur la photographie, de trois autres instruments d'évaluation d'amplitude de mouvement utilisés en clinique ou en recherche. La section qui suit donne des informations sur leur composition, leur fonctionnement et comment les mesures d'AAM de l'épaule ont été extraites pour être comparées.

2.2.1 Photographie numérique

Les outils qui composent cette méthode de mesure sont un appareil photographique numérique et des patrons de points (**Figure 9**).

L'appareil photographique numérique est de marque Nikon série D5300. Il est munit d'un capteur d'images CMOS au format DX de 24,2 mégapixels et d'un système autofocus haute densité de 39 points avec 9 capteurs en croix.⁹⁴ Quant au patron de points, il est constitué d'amas de petits cercles blancs au nombre de 13, mesurant 6 mm de diamètre chacun et disposés sur un domino noir de 5 x 3,7 cm. Un brassard permet de le fixer sur le segment de membre mobile à mesurer.

Dans cette étude, nous avons utilisé un deuxième brassard de patron de points pour servir de référence, car la comparaison entre les méthodes de mesure nécessitait la création d'un référentiel absolu c'est-à-dire un patron de points placé sur un segment fixe qui sert de repère aux autres systèmes de mesure.



Figure 9: Brassard d'un patron de point (A) et appareil photo numérique Nikon (B)

Pour prendre les photographies utilisées par l'algorithme d'estimation de pose de caméra afin de déduire le changement d'orientation relative entre les deux positions, l'appareil était mis en mode automatique « A » avec une obturation de 7.1. Dans ce mode d'utilisation, le focus est fait automatiquement selon une zone d'intérêt identifiée et le flash intégré est toujours en fonction afin d'assurer obtenir des images d'excellentes qualités de façon reproductible. Le changement d'orientation des deux patrons de points entre les positions de mesure (changement relatif entre la position de départ et la position finale) a été calculé à partir de leurs vecteurs 3D. L'angle obtenu est exprimé en quaternion qui est un vecteur à quatre éléments pouvant être utilisé pour encoder toute rotation dans un système de coordonnées en 3D. Techniquement, un quaternion est composé d'un élément réel et de trois éléments complexes. Même si les mathématiques pour déterminer les quaternions peuvent être compliquées, néanmoins ils offrent une technique de mesure alternative qui ne souffre pas du phénomène de blocage de cardan (Gimbal lock) à l'instar des angles d'Euler. En plus les quaternions sont moins intuitifs que les angles d'Euler.⁹⁵ Pour plus de commodité, les angles sont convertis en degré sans considération pour le plan de mouvement. Avant de prendre des photos, l'évaluateur s'assurait d'avoir les deux patrons de points sur la même ligne de champs, c'est-à-dire une ligne imaginaire reliant les deux patrons de points sur un même plan. Le focus de l'appareil photo est placé sur le patron de point qui sert de référence.

2.2.2 Inclinomètre (application Gyroscope de l'IPod)

Cet instrument de mesure est constitué d'un IPod touch de 5^e génération contenant un accéléromètre et un gyroscope à trois axes qui se comporte comme un inclinomètre http://www.st.com/web/catalog/sense_power/FM89/SC1288/PF250373. C'est cette fonction gyroscope (voir **Figure 10**) qui a été utilisée pour réaliser les mesures d'angle. Concrètement, la mesure d'un objet se fait selon une orientation en 3D en utilisant une combinaison de rotations autour de trois axes différents (le Pitch, le Roll et le Yaw). Le Roll intervient dans la rotation gauche-droite, le Pitch pour la rotation avant-arrière et le Yaw pour la rotation sur lui-même. Dans la présente étude, les données du Pitch ont été utilisées pour évaluer les mouvements d'abduction et de flexion, alors que celles du Yaw avaient servi pour les mesures du mouvement de rotation externe de l'épaule. Pour chaque mouvement, le changement d'orientation selon les axes propres au mouvement mesuré (changement relatif entre la position de départ et la position finale) est utilisé pour calculer l'amplitude articulaire du mouvement réalisé. L'amplitude articulaire est exprimée en degré sans considération pour le plan de mouvement.



Figure 10: Application Gyroscope (inclinomètre)

2.2.3 Centrale inertielle Xsens

Un autre système utilisé pour effectuer des mesures d'AAM est la trousse Xbus de Xsens (**Figure 11**). C'est un système portable léger, qui intègre le Xbus Master et des modules de Xsens XM-B-XB3 permettant une mesure ambulatoire du mouvement humain. Chaque module de Xsens est muni d'un accéléromètre, d'un gyromètre et d'un magnétomètre. Le module, contrôlé et alimenté par le Xbus Master, fournit un libre mouvement en 3D permettant le calcul d'angle de déplacement.



Figure 11: Trousse Xsens (Centrale inertielle)

Le Xbus Master envoie des données numériques à partir du module, via un boîtier Wireless (sans fil), à un ordinateur portable où les données sont enregistrées à l'aide du logiciel MT Manager.⁹⁶ Le module, fixé sur un serment de membre, fournit une accélération linéaire, une vitesse angulaire et des mesures d'intensité de champ magnétique. Avec un algorithme spécifique, le module donne une estimation de l'orientation du segment de membre par rapport à un cadre général de référence. Le changement d'orientation entre les positions de mesures (changement relatif entre la position de départ et la position finale) est utilisé pour calculer l'amplitude articulaire du mouvement réalisé. L'amplitude articulaire est exprimée initialement en quaternion puis transformée en degré sans considération pour le plan de mouvement.

2.2.4 Système optique Optotrak 3020

Les mesures d'angle qui ont servi de données de référence pour les trois systèmes présentés plus haut ont été obtenues à l'aide d'Optotrak 3020 (**Figure 12**). C'est un système d'analyse de mouvement en 3D fabriqué par le NDI (Northern Digital Inc., Ontario), utilisant la technologie optique active (dynamique) pour mesurer la position et l'orientation de marqueurs au sein d'un grand volume de mesure. Il se compose de quatre barres de senseurs (unités comprenant trois caméras pré-calibrées chacune) et de marqueurs (diodes émettrices de lumière infrarouge) placés sur le sujet.²⁵ Par contre, il y a une diminution significative de cette précision lorsque la distance entre les marqueurs et la caméra dépasse les 3 m recommandés par le fabricant.⁹⁷

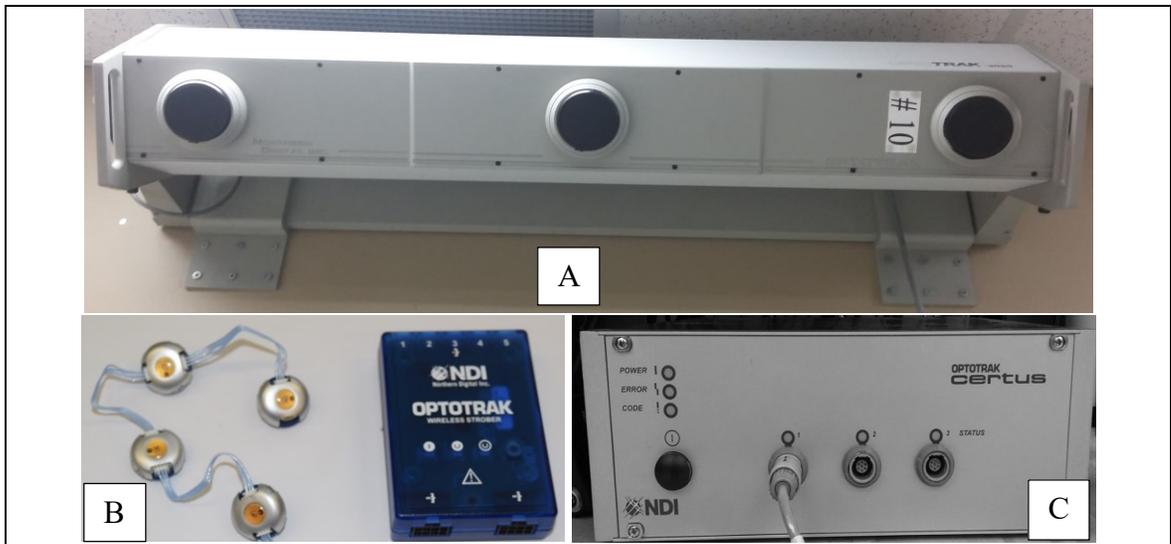


Figure 12: Système optique de capture de mouvement Optotrak 3020 (A : caméras, B : marqueurs, C : unité de contrôle)

Pour cette étude, nous avons observé une distance de 2 m entre les marqueurs et les caméras. L'acquisition des données s'est faite avec le logiciel NDI First Principe v.1.2.4 à une fréquence de 100 Hz. Le changement d'orientation entre les positions de mesures (changement relatif entre la position de départ et la position finale) est utilisé pour calculer l'amplitude articulaire du mouvement réalisé. L'amplitude articulaire est exprimée initialement en quaternion puis transformée en degré. Tous les traitements de données ont été réalisés sur Matlab[®] 2015a (de MathWorks).

2.3 Conditions expérimentales et collecte de données

Des mesures d'AAM de l'épaule dominante de vingt-cinq sujets asymptotiques ont été faites avec les quatre systèmes en même temps.

- **Préparation du participant à la séance d'évaluation**

Avant le début des mesures d'AAM, un certain nombre de renseignements sont recueillis sur le participant à savoir l'âge, le sexe et les caractères anthropométriques (masse, taille, périmètre brachial). L'évaluateur fait ensuite une démonstration des gestes à faire durant la mesure d'AAM afin de permettre au participant de mieux comprendre le déroulement de la collecte.

- **Attitude du participant et positionnement des systèmes de mesure**

La position de départ (neutre) est identique pour l'évaluation des mouvements d'abduction et de flexion. Le participant est en position assise sur une chaise sans accoudoir, l'axe du

dos perpendiculaire à celui de la jambe, le bras pendant le long du corps, l'avant-bras et la main en supination (main ouverte et paume vers l'avant) et enfin le regard à l'horizontale (tête immobile). L'axe de l'humérus est tracé sur le plan sagittal et frontal antérieur et postérieur. Ensuite, une ligne de 4 cm est tracée en proximal de l'apophyse styloïde du radius (face antérieure de l'avant-bras).

En abduction, l'IPod est positionné de manière à l'aligner avec l'axe de l'humérus dans le plan sagittal (latéral du bras), environ au tiers moyen de la diaphyse de l'humérus. Le dispositif comprenant le module Xsens, le patron de points mobile et les cinq marqueurs d'Optotrak (**Figure 13**) est fixé sur le bord inférieur du bras à 2 cm au-dessus de l'épicondyle latéral de l'humérus (latéral du bras). Cette combinaison permet d'éliminer les effets du mouvement de la peau et d'avoir une synergie de mouvement entre les trois systèmes (Xsens, photo et Optotrak). Le patron de points qui sert de référence est placé sur la face temporo-pariétale du crâne du côté homolatéral à l'épaule mesurée (**Figure 14 A**). L'exécution du mouvement d'abduction consiste à lever le bras sur le côté en maintenant la paume de la main vers l'avant.

Pour le mouvement de flexion de l'épaule, l'IPod s'aligne avec l'axe de l'humérus dans le plan frontal (antérieur du bras), environ au tiers moyen de la diaphyse de l'humérus, tandis que le dispositif comprenant le module Xsens, le patron de points mobile et les marqueurs d'Optotrak est placé sur le bord inférieur du bras à 2 cm au-dessus de l'épicondyle latéral de l'humérus (latéral du bras). Comme en abduction, le patron de points référence est fixé avec un bandeau sur la face temporo-pariétale du crâne du côté

homolatéral à l'épaule évaluée. Le mouvement se fait en tirant le bras vers l'avant, paume de la main vers le haut.

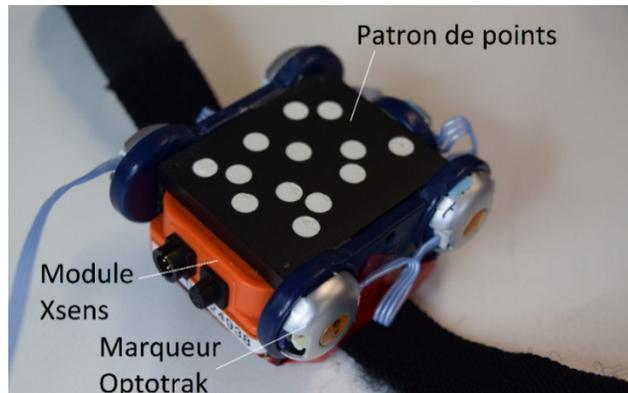


Figure 13: Dispositif de mesure d'AAM comprenant un patron de points, un module Xsens et des marqueurs d'Optotrak

Pour évaluer le mouvement de rotation externe de l'épaule, le participant reste assis sur la chaise l'axe du dos perpendiculaire à celui de la jambe, le bras le long du corps, le coude fléchi à 90° et collé au corps, l'avant-bras et la main en supination (main ouverte et paume vers le haut) parallèle à la cuisse homolatérale et enfin les genoux fléchis à 90°. Ce positionnement en supination de l'avant-bras permet la capture de deux patrons de points dans la même photo, mais également aux capteurs du système optique d'être détectés en même temps par les caméras. L'IPod est positionné sur la face antérieure de l'avant-bras à 4 cm au-dessus de l'apophyse styloïde du radius. Le dispositif Xsens, patron de points mobile et marqueurs Optotrak est fixé sur le bord inférieur de l'apophyse styloïde du radius sur la face antérieure de l'avant-bras alors que le patron de points référence est placé sur la face antérieure de la cuisse du côté homolatéral à l'épaule mesurée. Le mouvement consiste à tourner le bras vers l'extérieur en maintenant la paume de la main vers le haut et le coude bien collé au corps (**Figure 14 B**). Ces dispositions des patrons de points ont pour objectifs de les rendre visibles tous les deux sur chaque cliché.

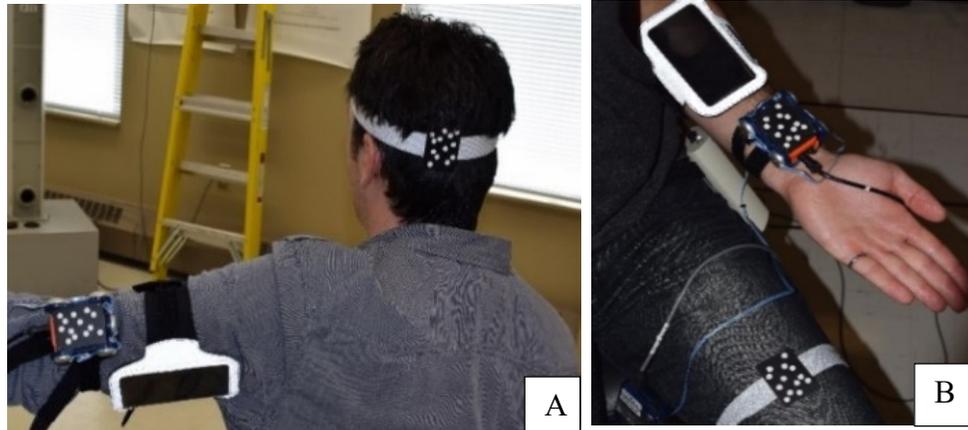


Figure 14: Positionnement des 4 systèmes de mesures sur le participant (A : mouvements d'abduction et de flexion; B : mouvement de rotation externe)

- **Prises de mesure**

L'étudiant prend les photos des patrons de points et dicte les chiffres des paramètres Roll, Pitch et Yaw de l'écran de l'iPod au technicien de laboratoire qui est aussi chargé de prendre les mesures avec Optotrak et Xsens. Le technicien note sur une fiche les essais réalisés (**Annexe 2**). L'ordre d'exécution des trois mouvements est fixe (abduction, flexion, rotation externe) et c'est le technicien qui demande au participant de faire successivement deux amplitudes de déplacement du bras. Par exemple abduction à la moitié de l'amplitude disponible puis à l'amplitude maximale. Cet ordre est aussi fixe pour tous les mouvements. Le bras du sujet revient à la position neutre (initiale) entre chaque déplacement. Pour chaque participant nous avons 18 mesures (3 mouvements X 2 amplitudes X 3 essais) pour un total de 450 mesures pour l'ensemble des 25 participants. Les quatre instruments de mesure sont utilisés en concomitance afin de réduire les biais et de permettre la comparaison des différents résultats.

- **Déroulement d'une collecte de données**

La collecte de données a lieu au niveau du laboratoire d'analyse de mouvement du CdRV.

Après la mise en place des quatre systèmes de mesure d'amplitude de mouvement, la collecte se déroule comme suit:

- ✓ Début : position neutre du bras du participant
- ✓ Début enregistrements Xsens et Optotrak
- ✓ Prise de la photo initiale des patrons de points
- ✓ Lecture initiale des mesures de l'IPod (Roll, Pitch, Yaw)
- ✓ Exécution du mouvement demandé
- ✓ Position finale du bras
- ✓ Prise de la photo finale des patrons de points
- ✓ Lecture des mesures finales de l'IPod
- ✓ Arrêt des enregistrements de Xsens et d'Optotrak
- ✓ Fin de l'essai

Cet enchainement est répété trois fois pour chaque type de mouvement.

3 Phase II de l'étude

3.1 Participants

Les participants de la phase II étaient des patients adultes souffrant de tendinopathie de la coiffe des rotateurs cliniquement diagnostiquée selon des critères établis (travailleurs âgés de 55 ans et plus avec TCR). Ont été exclues de l'étude les personnes présentant une pathologie de l'épaule d'origine neurologique ou vasculaire, les individus pour lesquels les mouvements actifs ou passifs de l'épaule étaient contre-indiqués. Tous les participants devaient être aptes à comprendre les consignes avant leur recrutement dans le projet.

L'hypothèse qui a été testée était que les fidélités intra-évaluateur et inter-évaluateurs obtenues (valeurs de CCI) pour deux évaluateurs certifiés avec les deux techniques de mesure seraient supérieures à un seuil clinique établi (CCI de 0,50 qui est la valeur inférieure de fidélité acceptée dans la littérature). Cette hypothèse nous a servi pour calculer notre taille d'échantillon à l'aide du logiciel WinPepi version 11.50. En effet, pour un objectif de $CCI \geq 0,75$ avec seuil minimal de 0,50, vingt-deux participants et deux évaluateurs sont nécessaires afin d'atteindre une puissance minimale de 80%. Vu qu'une seule séance de deux prises de mesures était nécessaire, il n'y avait pratiquement pas de risque d'abandon de la part des participants.

Les participants avaient été recrutés avec une stratégie d'échantillonnage par choix raisonné, non probabiliste parmi la clientèle de la Clinique Universitaire de Réadaptation de l'Estrie - CURE de l'Université de Sherbrooke. Les grandes lignes de notre projet d'étude ont été brièvement présentées aux patients fréquentant ladite structure et répondant à nos critères d'inclusion. Les patients qui avaient montré un intérêt à participer à la recherche ont été mis en rapport avec l'étudiant responsable de l'étude pour des explications supplémentaires sur la recherche. Avant le début de l'évaluation, les participants avaient préalablement signé le formulaire de consentement prévu à cet effet (**Annexe 3**). Nous avons atteint notre quota de participants avec les seuls patients suivis à la Clinique Universitaire de Réadaptation de l'Estrie.

Deux évaluateurs, une étudiante en physiothérapie et un étudiant en ergothérapie, avaient fait chacun les mesures des trois mouvements d'épaule à l'étude (abduction, flexion et rotation externe) avec la méthode photo de patrons de points et l'inclinomètre. Après avoir

signé le formulaire de consentement prévu à cet effet (**Annexe 4**), les deux évaluateurs avaient reçu une formation standardisée sur la mise en place des protocoles de mesure avec l'inclinomètre qui se présente sous la forme d'une application appelée Gyroscope installée sur un iPod et le système de photographie numérique de patrons de points. Plusieurs séances de tests et de rodage des protocoles avaient été organisées pour leur permettre de mieux se familiariser avec les outils de mesure.

3.2 Méthodes et instruments de mesure d'AAM de l'épaule

Dans cette phase II, nous avons travaillé avec la méthode de photographie de patrons de points et l'inclinomètre (iPod) décrits dans la phase I.

3.3 Conditions expérimentales et collecte de données

- **Préparation du participant à la séance d'évaluation**

Des informations relatives à l'âge, au sexe et aux caractères anthropométriques (masse, taille, périmètre brachial) du participant ont été notées afin de déterminer les caractéristiques générales et socio-démographiques de ce dernier. Ensuite, le participant était appelé à faire une auto-évaluation de son incapacité au niveau de l'épaule grâce au questionnaire DASH (**Annexe 5**). Ce questionnaire permet une cotation des incapacités reliées à une atteinte aux membres supérieurs selon deux composantes : la première porte sur l'incapacité et les symptômes avec 30 questions pour un score de 1 à 5 et la seconde

comporte deux modules optionnels, sur le travail et sur le sport ou la musique (4 questions par module, score de 1 à 5, le score de 5 étant la normalité).⁹⁸

Avant et pendant le déroulement de l'évaluation, un certain nombre d'explications et de directives ont été données aux participants. Il s'agit tout d'abord de l'échelle visuelle analogue de la douleur qui consiste à coter l'intensité de la douleur ressentie. Pendant l'évaluation il était demandé au participant de coter son niveau de douleur à plusieurs reprises. Il devait donc donner un chiffre sur une échelle de 0 à 10 où « 0 » signifie l'absence de douleur et « 10 », la pire douleur que vous pouvez imaginer. Ensuite le niveau de douleur attendu pendant l'évaluation leur était expliqué c'est-à-dire à chaque essai, le participant devait arrêter le mouvement lorsque la douleur augmentait d'une unité par rapport à sa condition de base pour des raisons éthiques, mais aussi pour ne pas engendrer davantage de souffrance. Par exemple, s'il ne ressentait aucune douleur à la position de départ, il arrêterait le mouvement dès l'apparition d'une douleur, soit à 1/10. Si une douleur était déjà présente au repos, par exemple à 2/10, alors il arrêterait le mouvement lorsque la douleur augmentait de 1/10 par rapport à l'intensité de départ, donc à 3/10. Au cas où le mouvement ne provoquait pas de douleur, alors le participant se rendait jusqu'à la fin de l'amplitude du mouvement.

Les mouvements évalués dans cette phase sont les mêmes que ceux de la première phase de l'étude. Pour le mouvement d'abduction, le participant est assis au fond de la chaise, le dos en appui sur le dossier, les genoux fléchis à 90°, le regard droit vers l'avant, le bras positionné le long du corps, le coude complètement droit et la paume de la main vers l'avant. L'exécution du mouvement consiste à lever le bras sur le côté en maintenant la

paume de votre main vers l'avant. Cette même position de départ est reconduite pour le mouvement de flexion, mais cette fois-ci le pouce est vers l'avant. L'exécution du mouvement de flexion consiste à lever le bras vers l'avant et le pouce vers le haut. Enfin pour le mouvement de rotation externe, le participant est toujours assis au fond de la chaise avec le dos en appui sur le dossier et les genoux fléchis à 90°, le regard droit vers l'avant, le bras positionné le long du corps, le coude fléchi à 90° et collé contre le corps, l'avant-bras parallèle à la cuisse avec la paume de la main vers le haut. Le mouvement consiste à tourner le bras vers l'extérieur en maintenant la paume de la main vers le haut et le coude bien collé au corps.

- **Positionnement des systèmes**

Le positionnement des systèmes (patrons de points et IPod) est identique à celui de la phase I du projet.

- **Prise de mesure avec les systèmes**

La prise de mesure avec les deux méthodes est assez semblable à celle de la première phase et les données sont consignées sur une fiche de collecte (**Annexe 6**).

- ✓ Début : position neutre du bras du participant
- ✓ Prise de la photo initiale des patrons de points
- ✓ Lecture initiale des mesures de l'IPod (Roll, Pitch, Yaw)
- ✓ Exécution du mouvement demandé
- ✓ Position finale du bras (amplitude maximale sans dépasser 1/10 de la douleur)
- ✓ Prise de la photo finale des patrons de points
- ✓ Lecture des mesures finales de l'IPod
- ✓ Fin de l'essai

- **Rotation des évaluateurs**

Au cours d'une collecte, deux participants sont installés dans deux salles distinctes où les évaluateurs s'alternent pour prendre les mesures. Dans la salle 1 l'évaluateur 1 prend les mesures pendant que le deuxième évaluateur en fait pareil dans la salle 2. À la fin du premier essai, les deux évaluateurs s'échangent de salles. Ainsi, deux participants sont évalués simultanément et chaque participant est évalué deux fois par le même évaluateur. Au total nous avons, pour chaque évaluateur, 132 mesures (22 sujets X 3 mouvements X 2 essais).

4 Plan d'analyse

La stratégie d'analyse des données visait à répondre aux objectifs formulés. Les analyses ont été faites en grande partie avec le logiciel SPSS version 24 d'IBM Corporation, USA pour le calcul des moyennes et écarts-types, mais aussi des coefficients de corrélation r de Pearson et intra-classe.

Dans la phase I, qui est descriptive, des graphiques de dispersion de point avec droite de régression linéaire et Bland-Altman ont été tracés à l'aide du logiciel GraphPad Prism 7 (Software, Inc., Californie, USA). La validité de critère (valeur absolue de la différence de mesure entre les méthodes et la mesure étalon), les limites de concordance à 95% qui sont la moyenne de la différence ± 2 écarts-types ont été calculées. Également le changement minimum détectable (CMD) a été calculé avec la formule suivante :

$$CMD_{90\%} = 1,645 ET\sqrt{2(1 - r)}$$

(CMD : changement minimum détectable, ET : écart-type, r : coefficient de corrélation de Pearson)

Pour la phase II de l'étude, les coefficients de corrélation intra-classe (CCI) modèles aléatoire à un facteur et aléatoire à deux facteurs/cohérence absolue sont calculés pour déterminer respectivement la fidélité intra-évaluateur et la fidélité inter-évaluateurs. Le CCI est une statistique descriptive qui permet de mesurer le degré d'association entre deux variables. Il varie entre 0 et 1 et est notamment utilisé pour évaluer la fidélité intra et inter-évaluateurs. Un CCI inférieur à 0,5 signifie un degré de fidélité faible, de 0,5 à 0,75 la fidélité est considérée comme modérée à bonne et un CCI supérieur ou égal à 0,75 marque une fidélité excellente.⁹⁹

5 Considérations éthiques

Les deux phases de cette étude ont été approuvées par le comité d'éthique à la recherche du CIUSSS Estrie CHUS (**Annexe 7**) et tous les participants ont signé un formulaire de consentement éclairé. Les photos prises dans le cadre de cette étude ne permettent pas d'identifier le participant et servent uniquement à des fins de mesure d'amplitude de mouvement avec la nouvelle méthode. Les deux patrons de points qui sont pris en photo sont disposés de sorte que le visage du patient n'apparaisse dans aucun cas sur les clichés. Dans la deuxième phase, nous avons travaillé avec des patients souffrant de tendinopathie de la coiffe des rotateurs et les mouvements qu'ils ont eu à faire correspondent à ceux qui se font dans le cadre d'une évaluation clinique et n'ont pas engendré plus d'inconvénients.

En tout temps, les participants étaient libres d'arrêter leur participation à l'étude sans avoir à justifier leur décision et sans crainte de représailles. Les données personnelles des participants sont gardées confidentielles.

CHAPITRE V : Résultats

Nous présenterons dans ce chapitre tout d'abord les résultats des analyses statistiques relatives à la détermination de la validité de critère de la nouvelle méthode photo, de la centrale inertielle et de l'inclinomètre par rapport à la mesure étalon. Ensuite, nous détaillerons les résultats des tests de fidélité des mesures avec la méthode photo et l'inclinomètre.

1 Étude de la validité de critère des instruments de mesure

1.1 Données socio-démographiques et cliniques des participants

Un total de vingt-cinq personnes sans pathologie ni douleur de l'épaule a participé à cette phase de validation des méthodes de mesure. Ils avaient tous signé préalablement le formulaire de consentement prévu à cet effet. L'échantillon était composé en majorité d'étudiants et de personnel du Centre de Recherche sur le Vieillessement. Les femmes étaient au nombre de treize contre douze hommes avec des âges variant de 19 à 52 ans (moyenne $30,92 \pm 10,05$ ans). Les données socio-démographiques et cliniques sont résumées dans le **Tableau 4**.

Sexe	Nombre	Âge (ans) Moyenne (ET)	Masse (kg) Moyenne (ET)	Taille (cm) Moyenne (ET)	IMC (kg/m ²) Moyenne (ET)	PB (cm) Moyenne (ET)
Femmes	13	32,00 (9,23)	70,15 (14,70)	164,62 (6,73)	25,77 (5,51)	28,23 (3,49)
Hommes	12	29,75 (11,15)	80,33 (15,94)	175,17 (6,34)	25,83 (4,09)	29,75 (2,77)
Total	25	30,92 (10,05)	75,04 (15,86)	169,68 (8,37)	25,80 (4,78)	28,96 (3,19)

Tableau 4: Statistiques descriptives des données socio-démographiques et cliniques des participants asymptomatiques (PB : périmètre brachial; IMC : indice de masse corporelle, ET : écart-type)

1.2 Validité de critère des différentes méthodes

- **Photographie numérique de patrons de points**

Les premières analyses effectuées pour avoir un aperçu des résultats sur la validité de critère des mesures d'amplitude articulaire avec la méthode de photographie numérique de patrons de points par rapport à la mesure étalon étaient des graphiques de dispersion avec droites de régression et de Bland et Altman (**Figure 15**).

Sur les graphiques de dispersion, qui constituent une illustration de la relation linéaire entre les mesures de la méthode photo et du système étalon, il existait une relation linéaire positive entre les deux méthodes pour toutes les AAM. La majorité des points étaient agglomérés très près des droites de régression révélant une forte corrélation, ce que confirment du reste les coefficients de corrélation de Pearson ($r = 0,97-0,99$). La pente de la droite dispersion pour le mouvement de rotation externe était très proche de 45°,

signifiant une concordance quasi parfaite entre les mesures de la photo et du système étalon. Sur les graphiques de Bland et Altman, les différences moyennes (biais) de chaque AAM étaient proches de zéro, respectivement de $1,3^\circ$; $0,4^\circ$ et $1,0^\circ$ pour les mouvements d'abduction, de flexion et de rotation externe. Les valeurs positives des biais montraient que la méthode photo avait tendance à donner des mesures d'angle légèrement plus grandes que celles de la mesure étalon. L'analyse des limites de concordances, qui renseigne sur le degré de variance des mesures des deux systèmes, montrait que l'erreur de mesure de la méthode photo lors du mouvement de rotation externe était très faible avec des limites assez étroites entre $-2,4^\circ$ et $4,5^\circ$. Par contre, les variations étaient plus grandes en abduction ($-6,5^\circ/9,1^\circ$) et en flexion ($-10,3^\circ/11,1^\circ$).

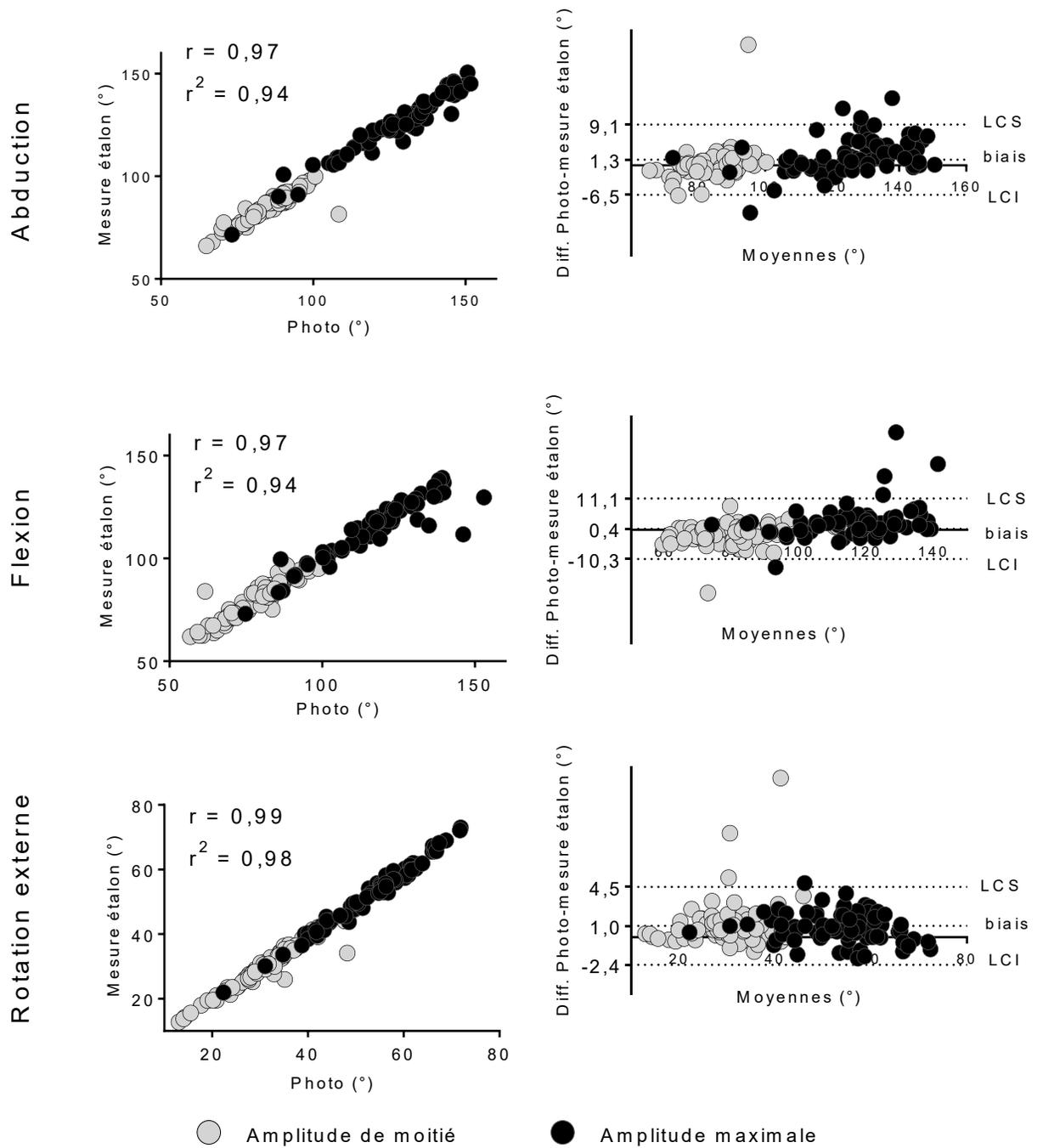


Figure 15: Graphiques de dispersion et de Bland et Altman de la méthode photo par rapport à la mesure étalon selon les amplitudes de mouvement (r = coefficient de corrélation de Pearson, LCS = limite de concordance supérieure, LCI = limite de concordance inférieure)

Les résultats de la validité des mesures, c'est-à-dire la moyenne en valeur absolue des différences d'angles entre la méthode photo et la mesure étalon, ainsi que l'ETM, le CMD et le coefficient de corrélation r de Pearson sont présentés dans le **Tableau 5**. La validité des mesures d'angle de la méthode photo était inférieure à 4° pour toutes les AAM. Les meilleurs résultats avaient été obtenus avec les mesures d'amplitude de moitié ($1,9 \pm 2,0^\circ$ en abduction; $2,7 \pm 2,1^\circ$ en flexion et $1,3 \pm 1,3^\circ$ en rotation externe). L'ETM était très faible et variait de $0,08^\circ$ à $0,87^\circ$ tandis que le $CMD_{90\%}$ indiquait que des changements supérieurs ou égaux à $0,80^\circ$ en abduction; à $0,97^\circ$ en flexion et à $0,18^\circ$ en rotation externe étaient nécessaires pour être certains à 90% que ces changements n'étaient pas dus à l'ETM.

Mouvement	Amplitude	Différence Photo-Optotrak Moyenne (ET) $^\circ$	ETM $^\circ$	CMD $^\circ_{90\%}$	r
Abduction	Combiné	2,6 (2,0)	0,35	0,80	0,97
	Moitié	1,9 (2,0)	0,49	1,14	0,94
	Maximum	3,4 (3,1)	0,54	1,25	0,97
Flexion	Combiné	3,2 (2,4)	0,41	0,97	0,97
	Moitié	2,7 (2,1)	0,36	0,85	0,97
	Maximum	3,8 (3,9)	0,87	2,03	0,95
R. Externe	Combiné	1,3 (0,8)	0,08	0,18	0,99
	Moitié	1,3 (1,3)	0,18	0,43	0,98
	Maximum	1,3 (0,8)	0,08	0,18	0,99

Tableau 5: Moyennes de la différence entre la photo et Optotrak selon le mouvement et l'amplitude (ET = écart-type, ETM = erreur type de mesure, CMD = changement minimal détectable)

- **Centrale inertielle Xsens**

D'excellentes corrélations étaient notées entre les mesures de la centrale inertielle et du système étalon ($r = 0,99$) avec une relation linéaire fortement positive sur les graphiques de dispersion (**Figure 16**). Les biais étaient très proches de zéro, respectivement de $-0,2^\circ$ ($-3,4^\circ/3,0^\circ$) en abduction, $-0,3^\circ$ ($-2,6^\circ/2,0^\circ$) en flexion et $-0,1$ ($-3,1/2,8$) en rotation externe. Également les limites de concordance étaient étroites signifiant une faible variance des mesures de la centrale inertielle par rapport à la mesure étalon.

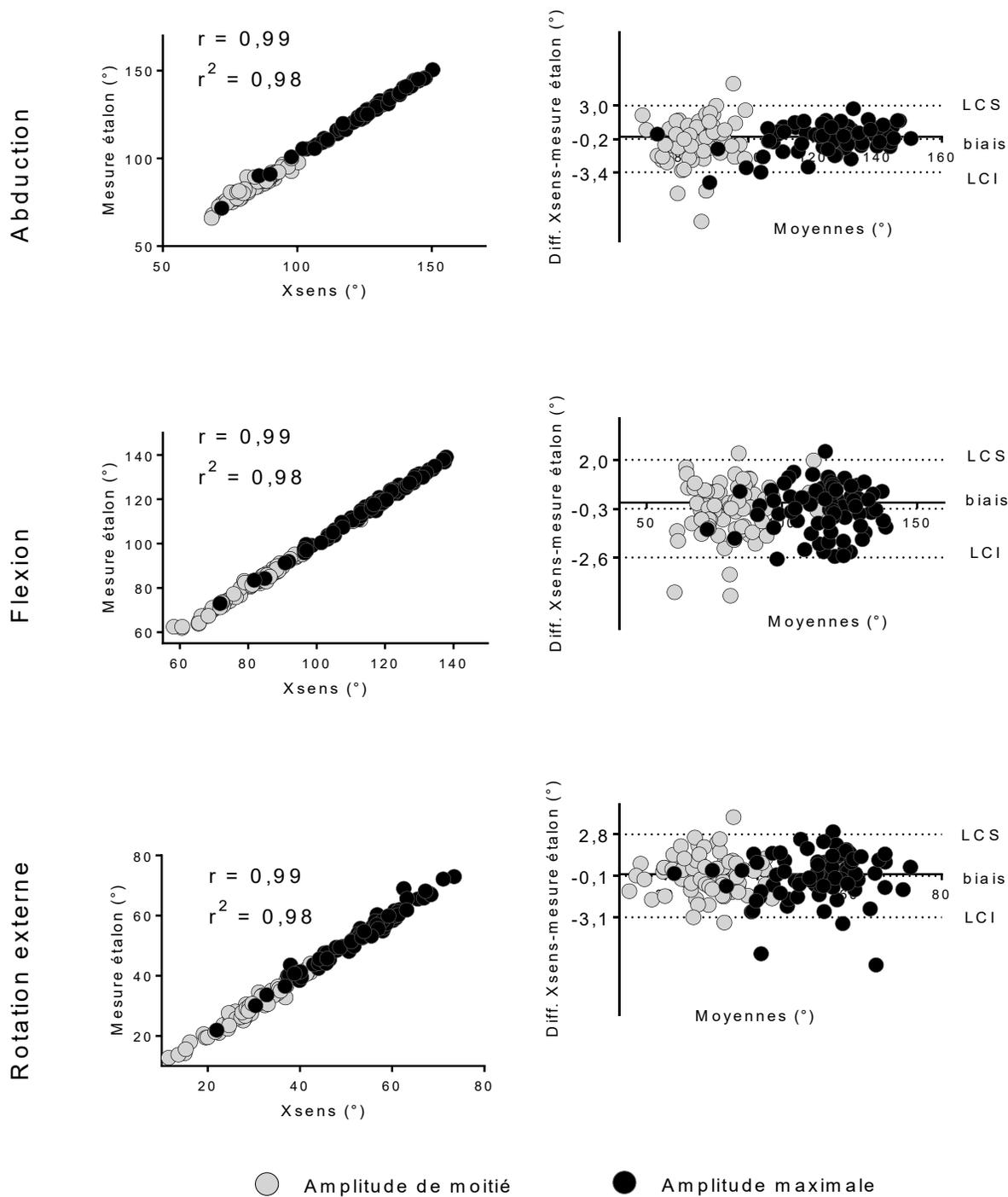


Figure 16: Graphiques de dispersion et de Bland et Altman entre la centrale inertielle Xsens et la mesure étalon selon les amplitudes de mouvement (r = coefficient de corrélation de Pearson, LCS = limite de concordance supérieure, LCI = limite de concordance inférieure)

En ce qui concerne la validité de la mesure de la centrale inertielle Xsens par rapport à la mesure étalon, celle-ci était excellente, ne dépassant pas 1,2°. La méthode offrait quasiment les mêmes degrés de validité aussi bien pour les amplitudes de moitié que maximale. L'ETM ($\leq 0,14^\circ$) et le CMD ($\leq 0,33^\circ$) étaient presque nuls confirmant aussi l'excellente corrélation entre les deux méthodes de mesure (**Tableau 6**).

Mouvement	Amplitude	Différence Xsens-Optotrak Moyenne (ET)°	ETM°	CMD° _{90%}	r
Abduction	Combiné	1,2 (0,6)	0,06	0,14	0,99
	Moitié	1,4 (1,0)	0,14	0,33	0,98
	Maximum	0,9 (0,5)	0,05	0,12	0,99
Flexion	Combiné	0,9 (0,4)	0,04	0,09	0,99
	Moitié	0,9 (0,5)	0,05	0,12	0,99
	Maximum	0,9 (0,4)	0,04	0,09	0,99
R. Externe	Combiné	1,1 (0,4)	0,04	0,09	0,99
	Moitié	1,1 (0,5)	0,05	0,12	0,99
	Maximum	1,2 (0,7)	0,07	0,16	0,99

Tableau 6: Moyennes de la différence entre la centrale inertielle et la mesure étalon selon le mouvement et l'amplitude (ET = écart-type, ETM = erreur type de mesure, CMD = changement minimal détectable)

- **Application Gyroscope de l'iPod (inclinomètre)**

L'inclinomètre offrait un moins bon degré de corrélation avec la mesure étalon ($r = 0,82-0,99$) comparativement aux deux premières méthodes de mesure. Nous remarquons une large dispersion des points autour de la droite de régression pour les mouvements d'abduction et de flexion (**Figure 17**). Par contre, les mesures de cette méthode étaient parfaitement corrélées avec celles de la mesure étalon dans l'évaluation du mouvement de rotation externe.

L'analyse des graphiques de Bland et Altman montrait une grande variabilité entre les résultats des mesures des deux méthodes selon le mouvement évalué. En effet, il n'existait pas de bonne concordance des mesures en abduction comme le prouvent la valeur très différente de zéro du biais ($-8,5^\circ$) et les limites de concordance ($-19,3^\circ/2,3^\circ$). Aussi pour le mouvement de flexion de l'épaule, même si le biais était proche de zéro ($-0,3^\circ$), les valeurs des limites de concordances inférieure ($-13,8^\circ$) et supérieure ($13,2^\circ$) révélaient une très grande variabilité des mesures de l'inclinomètre par rapport à la mesure étalon. Une concordance acceptable était retrouvée entre les mesures des deux méthodes dans l'évaluation du mouvement de rotation externe de l'épaule avec un biais égal à $-1,5^\circ$ et des limites de concordance de $-4,7^\circ$ à $1,8^\circ$.

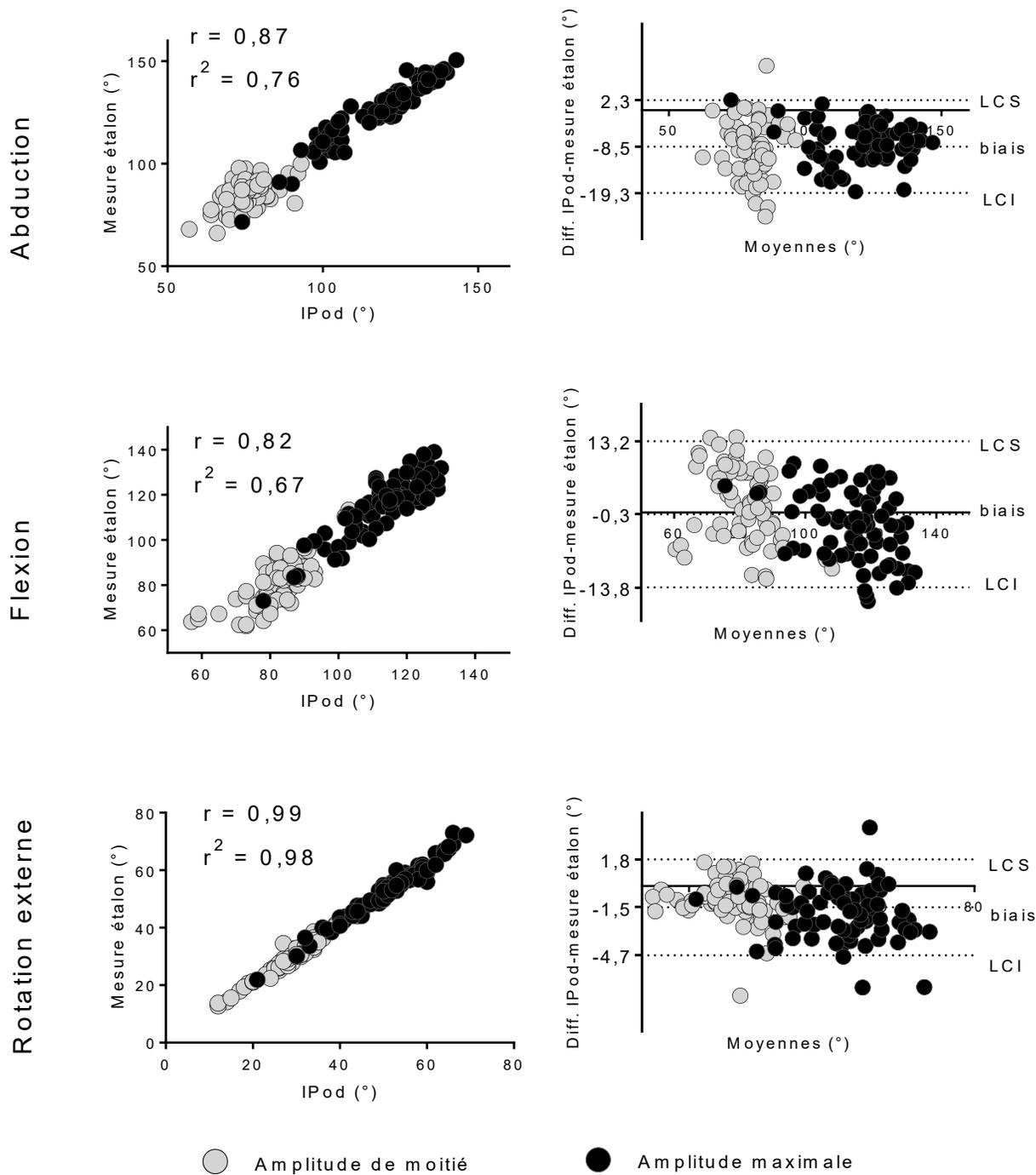


Figure 17: Graphiques de dispersion et de Bland et Altman entre l'inclinomètre (IPod) et la mesure étalon (r = coefficient de corrélation de Pearson, LCS = limite de concordance supérieure, LCI = limite de concordance inférieure)

Comme avec les résultats des tests de corrélation et de concordance, les résultats de la validité de critère des mesures de l'inclinomètre étaient, selon le mouvement évalué, plus ou moins bons (**Tableau 7**). En abduction cette validité était de $8,7 \pm 4,3^\circ$, contre $5,8 \pm 2,8^\circ$ en flexion et $1,7 \pm 0,9^\circ$ en rotation externe. Le CMD pouvait varier de $0,19^\circ$ à $8,52^\circ$ selon l'AAM évaluée.

Mouvement	Amplitude	Différence IPod-Optotrak Moyenne (ET) °	ETM°	CMD° _{90%}	r
Abduction	Combiné	8,7 (4,3)	1,55	3,61	0,87
	Moitié	9,5 (5,4)	3,66	8,52	0,54
	Maximum	7,8 (4,2)	0,94	2,18	0,95
Flexion	Combiné	5,8 (2,8)	1,19	2,76	0,82
	Moitié	5,9 (3,3)	1,51	3,52	0,79
	Maximum	5,7 (3,6)	1,25	2,90	0,88
R. Externe	Combiné	1,7 (0,9)	0,09	0,21	0,99
	Moitié	1,3 (0,8)	0,08	0,19	0,99
	Maximum	2,1 (1,2)	0,12	0,28	0,99

Tableau 7: Moyennes de la différence entre l'inclinomètre et la mesure étalon selon le mouvement et l'amplitude (ET = écart-type, ETM = erreur type de mesure, CMD = changement minimal détectable)

1.3 Comparaison des validités de critère des différentes méthodes

Conformément à nos objectifs de recherche, nous avons fait la comparaison de la validité de mesure de la méthode photo avec celles des deux autres systèmes (inclinomètre et centrale inertielle). Les résultats sont représentés sous forme d'histogrammes à la **Figure 18**. Nous remarquons que les moyennes combinées de la photo, respectivement $2,6^\circ$ en

abduction, 3,2° en flexion et 1,3° en rotation externe faisaient environ le double de celles de la centrale inertielle Xsens (1,2°; 0,9° et 1,1°). Néanmoins, cette validité de la méthode photo de patrons de points était meilleure que celle de l'application inclinomètre couramment utilisée en pratique (8,7° en abduction; 5,8° en flexion et 1,7° en rotation externe).

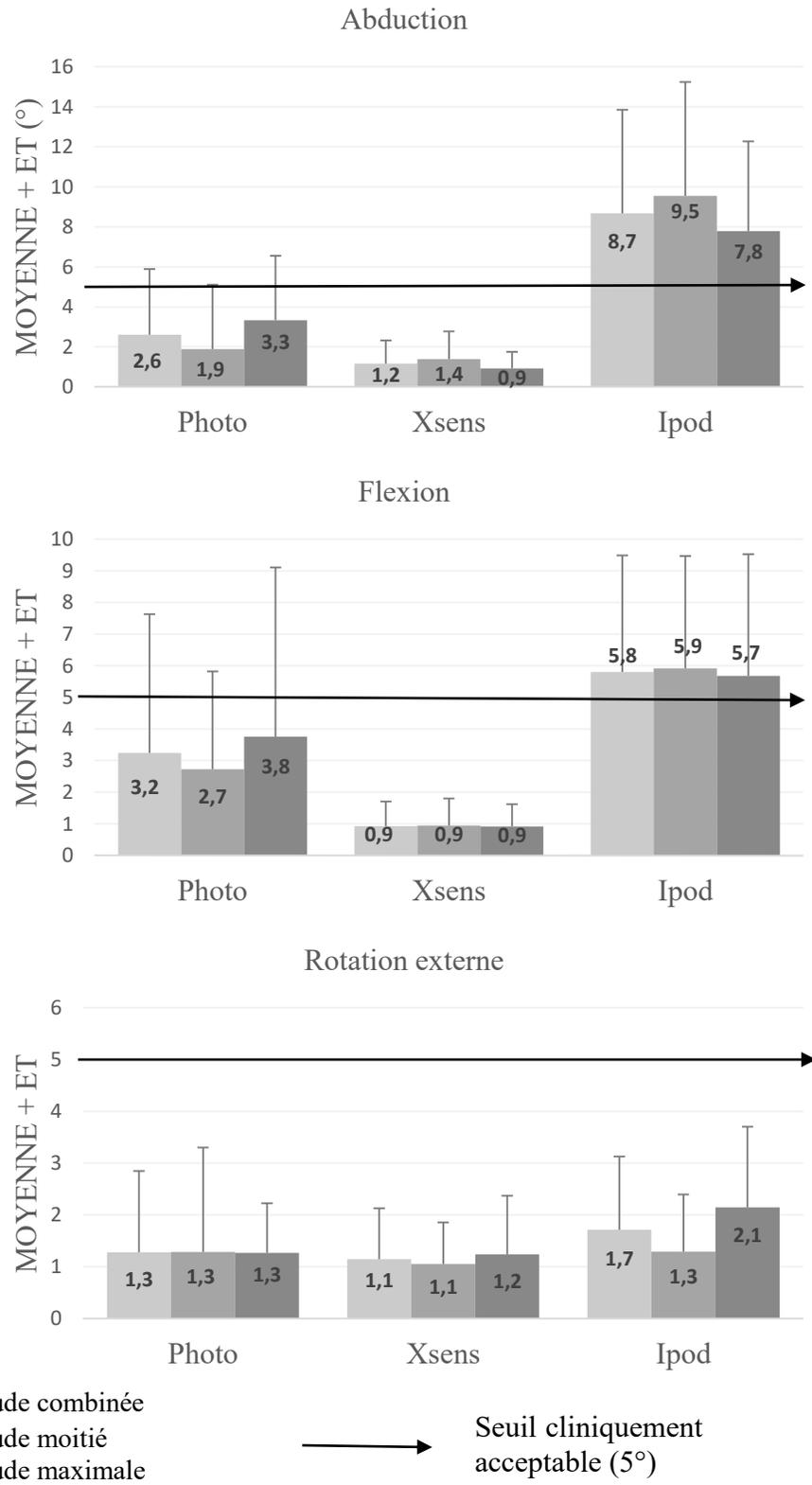


Figure 18: Moyenne et écart-type des différences de mesure des trois systèmes avec le système étalon selon l'amplitude de mouvement

2 Étude de la fidélité de la méthode photo et de l'inclinomètre

2.1 Données socio-démographiques et cliniques des participants

Pour cette deuxième phase de l'étude, un échantillon composé de vingt-deux patients souffrant de tendinopathie de la coiffe des rotateurs avait été évalué (seize droitiers et six gauchers). Les femmes étaient au nombre de quatorze et les hommes huit, l'âge moyen était de $60,86 \pm 11,47$ ans avec un IMC = $28,12 \pm 3,15$ kg/m². Les scores sur l'incapacité et les symptômes de l'épaule mesurés avec le questionnaire DASH étaient quasi similaires entre les femmes ($37,70 \pm 20,28\%$) et les hommes ($36,34 \pm 18,11\%$) (**Tableau 8**). Sur les vingt-deux patients, quinze avaient une tendinopathie liées au moins à une atteinte du tendon du muscle sus-épineux. Ces participants avaient été recrutés parmi les patients suivis à la CURE. Ils avaient tous signé le formulaire de consentement avant leur participation à l'étude.

Sexe	Nombre	Âge (ans) Moyenne (ET)	Masse (kg) Moyenne (ET)	Taille (cm) Moyenne (ET)	IMC (kg/m ²) Moyenne (ET)	PB (cm) Moyenne (ET)	DASH (%) Moyenne (ET)
Femmes	14 (10 D, 4 G)	59,86 (10,47)	69,71 (6,06)	158,43 (5,99)	27,85 (2,99)	28,86 (2,28)	37,70 (20,28)
Hommes	8 (6 D, 2 G)	62,63 (13,62)	86,63 (14,80)	173,63 (6,70)	28,59 (3,57)	29,38 (2,82)	36,34 (18,11)
Total	22 (16 D, 6 G)	60,86 (11,47)	75,86 (12,85)	163,95 (9,65)	28,12 (3,15)	29,05 (2,44)	37,38 (19,52)

Tableau 8: Statistiques descriptives des données socio-démographiques et cliniques des patients avec tendinopathie de l'épaule (D : droitier; G : gaucher; PB : périmètre brachial; IMC : indice de masse corporelle, DASH : Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Score, ET : écart-type)

2.2 Résultats des tests de fidélité

L'objectif de recherche de la deuxième phase était de déterminer les degrés de fidélité des mesures de la méthode photo et de l'inclinomètre dans l'évaluation des AAM de l'épaule. Comme pour la phase de validation, nous nous sommes servis tout d'abord des graphiques de dispersion avec droite de régression pour avoir une illustration des degrés de corrélation des mesures intra et inter-évaluateurs selon la méthode utilisée.

2.2.1 Corrélation des mesures de la méthode photo

Les résultats des tests de corrélation entre les essais (mesures) d'un même évaluateur et entre évaluateurs avec la méthode photo sont illustrés sur la **Figure 19**. De manière générale, les corrélations intra et inter-évaluateurs étaient excellentes avec un $r = 0,77-0,87$ pour l'évaluateur A, $r = 0,83-0,91$ pour l'évaluateur B et $r = 0,80-0,87$ en inter-évaluateurs.

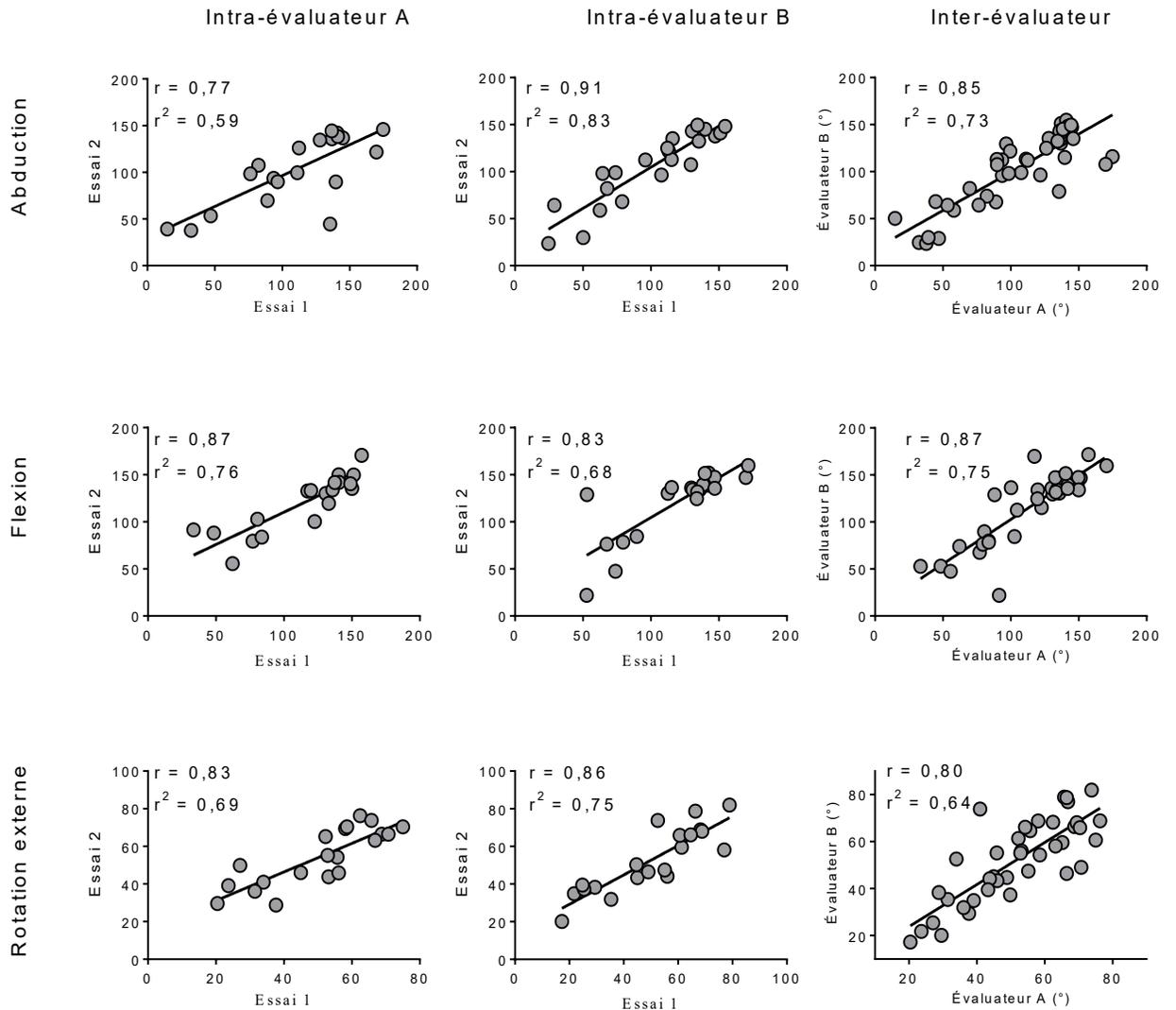


Figure 19: Graphiques de dispersion et droite de régression des essais de la méthode de photographie de patrons de points en intra et inter-évaluateurs

2.2.2 Corrélation des mesures de l'inclinomètre

Sur la **Figure 20**, qui représente les graphiques de dispersion de l'inclinomètre, nous remarquons une excellente corrélation des essais intra-évaluateur et inter-évaluateurs pour les mouvements d'abduction ($r = 0,88-0,93$) et de flexion ($r = 0,81-0,92$) de l'épaule. Par

contre, pour les mesures du mouvement de rotation externe, les corrélations étaient pour l'évaluateur A ($r = 0,68$) et l'évaluateur B ($r = 0,59$).

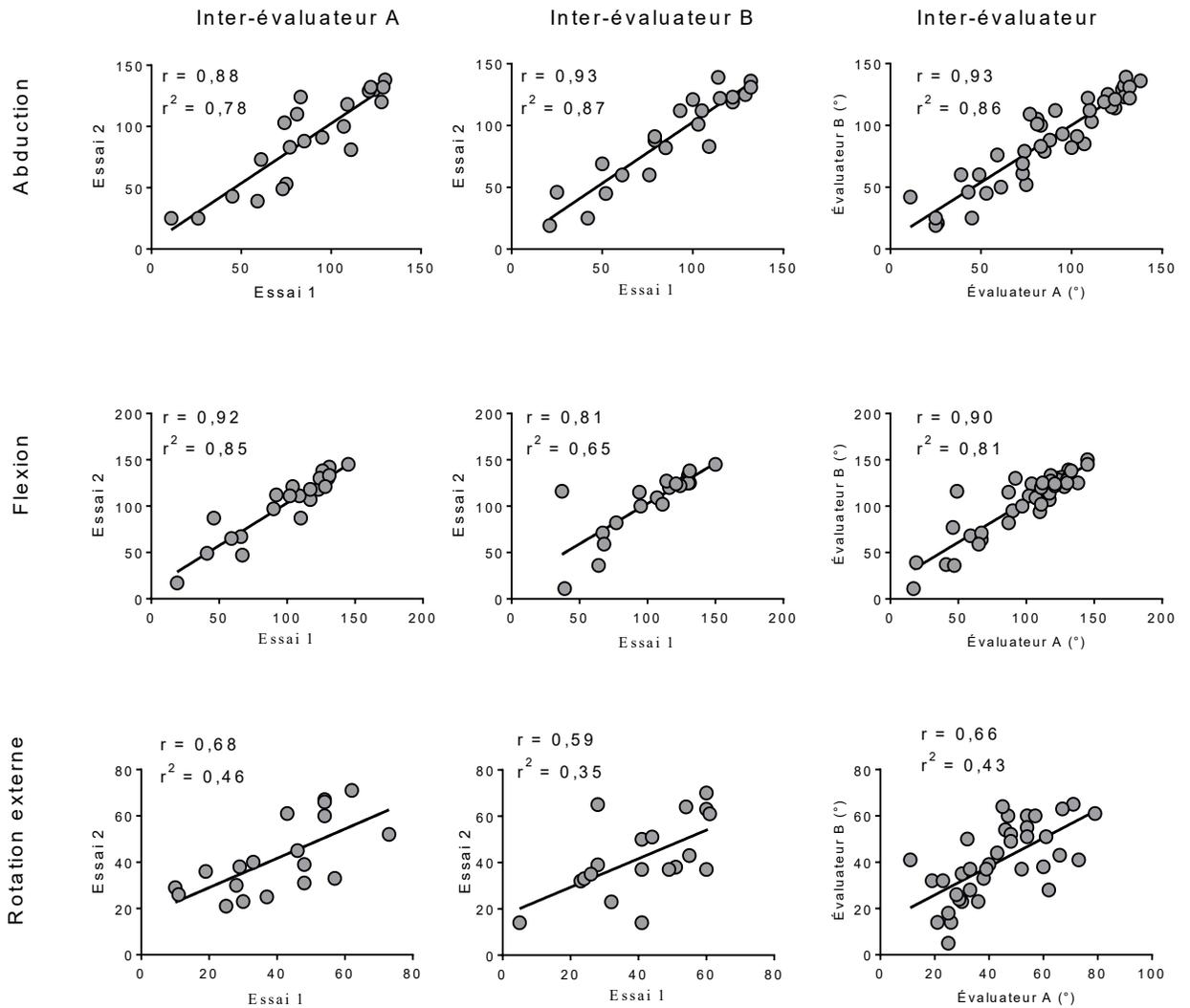


Figure 20: Graphiques de dispersion et droite de régression des essais de l'inclinomètre en intra et inter-évaluateurs

2.2.3 Fidélité des mesures

Les résultats des tests de fidélité des mesures de la méthode photo et de l'inclinomètre sont présentés sous forme de tableaux de CCI (IC_{95%}). Pour chacun des deux évaluateurs, il existait une bonne à excellente fidélité intra-évaluateur avec la méthode photo. Les CCI variaient respectivement de 0,75 à 0,84 pour l'évaluateur A et de 0,83 à 0,91 pour l'évaluateur B (**Tableau 9**).

	Photo			IPod		
	Fidélité inter-évaluateurs CCI (IC _{95%})	Fidélité intra-évaluateur A CCI (IC _{95%})	Fidélité intra-évaluateur B CCI (IC _{95%})	Fidélité inter-évaluateurs CCI (IC _{95%})	Fidélité intra-évaluateur A CCI (IC _{95%})	Fidélité intra-évaluateur B CCI (IC _{95%})
Abduction	0,86 (0,75-0,92)	0,75 (0,49-0,89)	0,91 (0,80-0,96)	0,93 (0,87-0,96)	0,88 (0,74-0,95)	0,93 (0,84-0,97)
Flexion	0,86 (0,76-0,92)	0,84 (0,65-0,93)	0,83 (0,64-0,93)	0,90 (0,80-0,94)	0,92 (0,83-0,97)	0,81 (0,60-0,92)
R. externe	0,80 (0,66-0,89)	0,81 (0,58-0,92)	0,86 (0,68-0,94)	0,65 (0,42-0,80)	0,69 (0,36-0,86)	0,60 (0,23-0,82)

Tableau 9: Fidélité intra et inter-évaluateurs de la méthode photo et de l'inclinomètre (CCI = coefficient de corrélation intra-classe, IC_{95%} = intervalle de confiance à 95%)

Pour la fidélité intra-évaluateur de l'inclinomètre, les CCI étaient excellents (0,81-0,93) pour les mouvements d'abduction et de flexion, par contre ils étaient modérés pour le mouvement de rotation externe (0,60-0,69). Les tests de fidélité inter-évaluateurs montraient que la méthode photo donnait d'excellents CCI pour chacun des mouvements (CCI = 0,80-0,86) alors que l'inclinomètre offrait une fidélité inter-évaluateurs modérée pour le mouvement de rotation externe (CCI = 0,65).

CHAPITRE VI : Discussion

La mesure de l'amplitude de mouvement est une partie intégrante de l'examen clinique de l'épaule et est aussi utilisée dans des contextes de recherche comme mesure de résultats. Pour que cette évaluation réponde aux besoins cliniques et de recherche, les instruments utilisés doivent avoir d'excellentes qualités métrologiques. Il faut dire que jusqu'à présent, très peu d'études se sont intéressées aussi bien à la fidélité qu'à la validité des mesures de ces instruments. Pour rappel, les premiers objectifs de notre étude étaient d'évaluer la validité de critère des mesures de la méthode basée sur la photographie numérique de patrons de points. Cette validité était ensuite comparée à celles d'un inclinomètre et d'une centrale inertielle déjà utilisés en clinique. Dans un second temps, la fidélité de la nouvelle méthode de mesure devait être déterminée et comparée à celle de l'inclinomètre dans un contexte clinique auprès de patients avec TCR.

Le plan de notre discussion des résultats s'articulera comme suit : 1) nous présenterons les points saillants de nos résultats sur la validité de critère des mesures de la méthode photo pour ensuite les discuter par rapport aux données des deux autres méthodes (inclinomètre et centrale inertielle) et des études sur le même sujet, 2) Nous analyserons et discuterons les résultats de la fidélité de mesure de la méthode photo et de l'inclinomètre, 3) un rappel des principaux constats secondaires à notre recension des écrits sur la problématique de la mesure de l'AAM de l'épaule avec les instruments les plus utilisés en clinique sera fait.

1 Validité de critère des mesures d'AAM avec la méthode photo

L'évaluation de l'AAM de l'épaule par la photographie numérique de patrons de points n'a jamais été étudié auparavant. Notre présente étude constitue donc la première faisant que nos résultats ne pourront pas être discutés avec des données de travaux antérieurs. Néanmoins la comparaison de nos résultats avec ceux des systèmes de mesure déjà existants en clinique est possible et c'est autour de cela que va tourner notre discussion.

Les résultats de la validité de critère des mesures de la méthode photographie numérique de patrons de points étaient assez bons pour chacun des mouvements évalués. Tout d'abord les valeurs de la moyenne des différences (biais) entre la photo et la mesure étalon étaient de $1,3^\circ$ en abduction, de $0,4^\circ$ en flexion et de $1,0^\circ$ en rotation externe. Même si ces biais sont proches de zéro, c'est-à-dire de la valeur donnée par le système étalon, les limites de concordances suggéraient que les différences de mesures pouvaient être grandes ($-6,5^\circ$ à $9,1^\circ$ en abduction; $-10,3^\circ$ à $11,1^\circ$ en flexion et $-2,4^\circ$ à $4,5^\circ$ en rotation externe). Les coefficients de corrélations r de Pearson étaient excellents pour l'ensemble des mouvements ($r = 0,97-0,99$) avec des ETM $< 1^\circ$ ($0,08^\circ-0,87^\circ$). Ces résultats montrent donc une bonne concordance et une excellente corrélation des mesures entre la méthode photo et la mesure étalon.

Les résultats des tests de validité de critère des mesures d'AAM de la méthode photo (amplitude combinée) étaient respectivement de $2,6 \pm 2,0^\circ$ en abduction; $3,2 \pm 2,4^\circ$ en flexion et $1,3 \pm 0,8^\circ$ en rotation externe. Cela signifie que les erreurs de mesure de la

méthode photo (comprises entre 1,3° et 3,2°) sont cliniquement acceptables, car sous le seuil de 5°. ⁸² Il faut souligner que cette validité de critère des mesures de la photo est plus grande quand l'évaluation porte sur les petites amplitudes, en d'autres termes l'erreur de mesure est moins importante avec les petites AAM. Il n'en demeure pas moins que des degrés de validité de 3,4° en abduction maximale et 3,8° en flexion maximale sont très intéressants en clinique sachant que ces deux mouvements peuvent atteindre une amplitude de 180°. En somme, la photographie de patrons de points peut être considérée comme étant une méthode valide en clinique pour évaluer l'AAM de l'épaule.

Par comparaison, l'étude de Nadeau et al. dont le but était de déterminer la validité de critère des mesures du goniomètre universel et du ruban à mesurer dans l'évaluation des mouvements d'élévation et de rétraction de l'épaule, avait donné des résultats respectifs de 2,7° et 1,25 cm par rapport à la même mesure étalon. La moyenne d'angle pour le mouvement d'élévation de l'épaule mesurée avec le goniomètre était de $28,6 \pm 5,1^\circ$ pour un degré de validité de 2,7°. Dans notre étude, le mouvement de rotation externe de moitié mesuré avec la méthode photo avait une moyenne d'angle de $30,8 \pm 7,4^\circ$ pour un degré de validité de 1,3°. Nous remarquons que pour des amplitudes sensiblement égales, la méthode photo donne des mesures deux fois plus justes que le goniomètre universel. La conclusion des auteurs était que le goniomètre et le ruban à mesurer n'avaient pas une bonne validité de critère pour évaluer le mouvement d'élévation de l'épaule. Notre méthode de mesure, basée sur la photo de patrons de points, offre donc une meilleure validité des mesures que le goniomètre qui demeure toujours l'instrument le plus utilisé en clinique pour évaluer les AAM au niveau de l'épaule. Sans jeter le discrédit sur l'étude de Nadeau et al., elle aurait eu plus de pertinence si également les autres AAM de l'épaule

comme l'abduction, la flexion, l'extension avaient été évaluées. Cette étude est la seule à déterminer la validité de critère du goniomètre universel et du ruban à mesurer par rapport à un système optique de capture de mouvement.²⁵

D'autres auteurs ont étudié la validité concurrente des instruments de mesure. C'est le cas de Kolber et Hannay qui avaient comparé les validités des mesures de l'inclinomètre digital et du goniomètre universel dans l'évaluation de l'AAM active de l'épaule de trente participants asymptomatiques. Ils avaient trouvé que la validité de critère des mesures entre les deux instruments était excellente avec un CCI $\geq 0,85$. Les limites de concordance à 95% suggéraient que la différence de mesure entre l'inclinomètre et le goniomètre se situait entre 2° et 20°. Dans cette étude, pour déterminer le degré de validité des mesures, les auteurs avaient utilisé le calcul du CCI qui, il faut le souligner, n'est pas la meilleure statistique pour déterminer une validité de mesure. La preuve, malgré la forte corrélation entre les mesures des deux instruments, nous voyons qu'il peut exister une différence de mesure pouvant aller jusqu'à 20° faisant la preuve de la non-interchangeabilité des instruments.¹⁰⁰

Dans notre étude, la comparaison des résultats des tests de validité de critère de la méthode photo avec ceux de la centrale inertielle Xsens et de l'inclinomètre (IPod) montrait une meilleure validité pour la centrale inertielle dans tous les plans de mouvement (0,9°-1,2°). C'est avec l'IPod que les moins bons résultats ont été relevés (8,7° en abduction et 5,8° en flexion). La centrale inertielle reste l'outil le plus valide en clinique pour évaluer l'AAM de l'épaule, mais du fait de sa complexité d'utilisation et de son coût assez onéreux, elle demeure très peu accessible au plus grand nombre de praticiens. La méthode

photo pourrait donc être un bon substitut aux centrales inertielles vu la simplicité de son principe d'utilisation, facilement adoptable en clinique.

2 Degré de fidélité de la méthode photo et de l'inclinomètre

2.1 Fidélité intra-évaluateur

La fidélité intra-évaluateur des mesures de la méthode photo était excellente pour les deux évaluateurs quel que soit le mouvement testé (CCI évaluateur A = 0,75-0,84 et CCI évaluateur B = 0,83-0,91). Par contre, avec l'IPod, seule la fidélité des mesures intra-évaluateurs des mouvements d'abduction et de flexion était excellente (CCI = 0,81-0,93). Ces résultats de la fidélité intra-évaluateur de la photo sont comparables aux résultats de certaines études utilisant un goniomètre universel ou un inclinomètre numérique. Une de ces études est celle de Kolber et Hannay qui visait également à déterminer la fidélité intra-évaluateur du goniomètre et de l'inclinomètre dans la mesure des mouvements actifs de l'épaule de participants asymptotiques. Les auteurs avaient trouvé des CCI de 0,97 (0,94-0,98) en abduction; 0,95 (0,90-0,98) en flexion et 0,94 (0,87-0,97) en rotation externe avec le goniomètre. Résultats presque semblables à ceux de l'inclinomètre avec des CCI de 0,97 (0,94-0,98) en abduction; 0,95 (0,90-0,98) en flexion et 0,98 (0,96-0,99) en rotation externe. Au regard des résultats, le goniomètre universel et l'inclinomètre numérique peuvent être considérés comme des instruments ayant une bonne fidélité intra-évaluateur malgré une validité de mesure discutable.

Dans le cas des évaluations passives des mouvements de l'épaule, la plupart des études ont montré de moins bons résultats de fidélité intra-évaluateur par rapport aux évaluations actives. Des auteurs comme Dougherty et al. avaient trouvé des fidélités modérées à bonnes avec un inclinomètre numérique dans l'évaluation des mouvements passifs de l'épaule. Les CCI étaient de 0,73 (0,61-0,82) en abduction; 0,82 (0,74-0,88) et 0,66 (0,52-0,77) en rotation externe de l'épaule.¹⁰¹ D'autres auteurs comme Hayes et al. avaient prouvé, quant à eux, que les degrés de fidélité intra-évaluateur du goniomètre universel étaient modérés dans le cadre d'une mesure passive de mouvements de l'épaule avec des CCI de 0,58 (0,27-0,85) en abduction; 0,53 (0,21-0,82) en flexion et 0,65 (0,36-0,88) en rotation externe.²⁶ En somme le degré de fidélité intra-évaluateur d'un instrument de mesure dépend de la nature active ou passive de l'évaluation et du type de mouvement mesuré.

Si nous revenons aux résultats de notre étude, l'inclinomètre (IPod) avait une excellente fidélité intra-évaluateur pour les mouvements d'abduction et de flexion de l'épaule (CCI = 0,81-0,93). Par contre, la fidélité intra-évaluateur était modérée pour le mouvement de rotation externe avec un CCI qui variait de 0,60 à 0,69. Cette moins bonne fidélité de l'inclinomètre dans l'évaluation du mouvement de rotation externe de l'épaule pouvait s'expliquer par la non-standardisation de la position de départ du mouvement. En effet, l'IPod était positionné en horizontale sur la face antérieure de l'avant-bras, coude fléchi à 90° et bras accolé au tronc. La position de départ de l'avant-bras a possiblement varié d'un essai à l'autre, car il semble très difficile de repositionner le membre à la même position neutre. Cela a eu comme conséquence de donner de très grandes variances d'AAM d'un essai à l'autre chez le même participant. Ce problème ne s'est pas posé avec les

mouvements d'abduction et de flexion, car en position neutre (de départ), le bras du participant était pendant sur la verticale donc facilement reproductible. Nous supposons que si l'appareil et le segment de membre étaient positionnés sur la verticale chez un patient en décubitus dorsal, les résultats des tests de fidélité auraient été meilleurs. Pour vérifier nos dires, nous avons analysé l'étude de Mitchell et al. qui avait pour objectif d'évaluer la fidélité d'une application inclinomètre sur iPhone nommée GetMyROM. Les auteurs avaient évalué le mouvement actif de rotation externe de l'épaule de quatre-vingt-quatorze participants asymptomatiques. Les mesures étaient faites chez des sujets en décubitus dorsal, l'inclinomètre accolé à l'avant-bras en position verticale. Les résultats des tests de fidélité intra-évaluateur étaient bons avec un CCI de 0,79 (0,70-0,86)⁷² alors que pour le même mouvement de rotation externe, nous avons trouvé des CCI de 0,60 à 0,69.

2.2 Fidélité inter-évaluateurs

Les degrés de fidélité inter-évaluateurs obtenus avec la méthode photo étaient excellents pour les mouvements d'abduction et de flexion (CCI = 0,86), mais également de rotation externe (CCI = 0,80). Cela signifie une bonne concordance des résultats de mesures d'AAM entre les deux évaluateurs. Si nous comparons ces résultats avec ceux de l'IPod, nous remarquons que ce dernier a une fidélité inter-évaluateurs légèrement plus grande que celle de la photo pour les mouvements d'abduction (CCI = 0,93) et de flexion (CCI = 0,90), mais plus faible pour le mouvement de rotation externe (CCI = 0,65). Si la méthode photo est en capable de mesurer l'ensemble des AAM de l'épaule avec une bonne fidélité

inter-évaluateurs, il serait hasardeux d'en dire de même de l'IPod vu sa faible fidélité dans l'évaluation du mouvement de rotation externe. Dans la même étude de Mitchell et al., les résultats des tests de fidélité inter-évaluateurs de l'inclinomètre étaient excellents avec des CCI qui variaient de 0,92 à 0,94.⁷²

Dans un de leurs travaux sur les qualités métrologiques des systèmes de mesure d'AAM, les chercheurs Werner et al. avaient étudié la fidélité inter-évaluateurs d'une application inclinomètre sur iPhone (Clinometer) dans l'évaluation des AAM de l'épaule. Cinq évaluateurs avaient mesuré les mouvements de vingt-quatre participants sans pathologies au niveau de l'épaule et quinze avec des symptômes cliniques. L'inclinomètre avait donné de bons résultats de fidélité avec des CCI de 0,72 en abduction; 0,75 en flexion; 0,86 en rotation externe et 0,81 en rotation interne. Ici aussi, comme dans l'étude de Mitchell et al., le participant était en décubitus dorsal, l'iPhone placé sur l'avant-bras en position verticale.⁸⁶ Si les applications inclinomètres sur téléphones intelligents semblent simples d'utilisation et d'une assez bonne fidélité, il demeure néanmoins qu'elles ne sont pas adaptées pour évaluer certains mouvements chez une personne en position assise.

Dépendamment des études, il existe une grande variabilité des résultats des tests de fidélité de l'inclinomètre. Comme le montre les résultats de la revue systématique de van de Pol, van Trijffel et Lucas (2010) sur la fidélité inter-évaluateurs des outils de mesure d'AAM du membre supérieur, le CCI de l'inclinomètre numérique peut varier de 0,27 à 0,84 en abduction; 0,54 à 0,94 en flexion et 0,41 à 0,90 en rotation externe de l'épaule.¹⁰²

3 Forces et limites de l'étude

3.1 Forces

Cette étude, qui constitue une première, possède un certain nombre de points forts qui méritent d'être soulignés.

- **La validité de critère des instruments de mesure testée par rapport à un système étalon de haute précision**

L'étude que nous avons menée est une des rares à évaluer et à comparer la validité de critère d'instruments de mesure par rapport à une mesure étalon de haute précision. La recension des écrits sur les qualités métrologiques des instruments de mesure d'AAM a permis de constater que la grande majorité des travaux de recherche se limitait à la détermination du degré de fidélité intra ou inter-évaluateurs des instruments. Les quelques rares études sur la validité de critère de ces instruments de mesure ont utilisé comme mesure étalon des systèmes qui eux-mêmes n'ont pas été validés. Actuellement, les systèmes optiques de capture de mouvement en 3D sont les méthodes les plus précises pour étudier et évaluer le mouvement humain et c'est la raison pour laquelle nous avons utilisé dans notre étude un d'entre eux en l'occurrence le système Optotrak 3020.

- **La taille et les caractéristiques des échantillons**

En recherche quantitative, la taille d'échantillon joue un rôle important pour la validation des résultats. Dans l'optique d'une généralisation des résultats de la recherche, il demeure

important d'avoir une bonne taille d'échantillon avec des caractéristiques très représentatives de la population cible. Une des forces de l'étude est constituée par la bonne taille d'échantillon de chacune des deux phases et cela a permis d'effectuer correctement les analyses statistiques conformément à nos objectifs de recherche. Ainsi, la première phase, qui servait à valider les systèmes de mesure, a été effectuée sur un échantillon très représentatif de notre population cible avec des adultes (hommes et femmes) sans pathologie ou douleur au niveau des épaules et âgés de 19 à 54 ans. Quant à l'étude de la fidélité des méthodes de mesure en contexte clinique, nous avons évalué les mouvements d'épaule des travailleurs âgés chez qui une TCR a été diagnostiquée et documentée.

- **L'évaluation de l'AAM à partir d'images de patrons de points**

Cette étude a permis le développement d'une méthode de mesure permettant d'évaluer les AAM avec un simple appareil photo combinée avec des patrons de points. Mieux encore, cette nouvelle méthode donne des résultats plus justes et plus fidèles que la plupart des instruments utilisés actuellement en clinique pour mesurer les amplitudes de mouvement.

3.2 Limites

Comme toute recherche scientifique, cette étude présente aussi un certain nombre de limites qui n'altèrent en rien ses résultats et conclusions. Au contraire, leur identification permet de parfaire les études futures sur le sujet.

- **Mesures d'AAM limitées uniquement à l'épaule**

Tout d'abord, les évaluations d'AAM ont été uniquement faites sur le complexe articulaire de l'épaule faisant en sorte que nous ne sommes pas en mesure de prédire si les mêmes résultats de validité de critère et de fidélité seront obtenus sur d'autres articulations.

- **Validité testée au laboratoire sur des participants asymptomatiques**

La validité de critère des systèmes de mesure a été testée au laboratoire dans un environnement contrôlé, uniquement sur des participants sans pathologie ou douleur au niveau de l'épaule. Nous avons pris l'option de travailler avec des participants asymptomatiques afin de tester la validité des mesures selon différentes amplitudes de mouvement (petite et grande) sans risque d'être limité par la douleur.

- **Absence de validité écologique**

L'utilisation de systèmes électroniques pour mesurer des AAM ne se fait pas sans un certain impact sur l'environnement. La nouvelle méthode que nous avons présentée dans cette étude se base sur l'exploitation d'images prises à partir d'un appareil photo numérique, ensuite les images sont traitées en différé par ordinateur. Les appareils numériques (appareils photographiques, téléphones, ordinateurs...) du fait de leur durée de vie limitée et de leur rapide obsolescence, sont sources d'une forte production de déchets. Les avancées technologiques font que l'appareil le plus récent offre plus de fonctionnalités et de puissance en termes de performance et de qualité d'image. La précision de cette nouvelle méthode d'évaluation d'AAM dépend fortement de la qualité de l'image prise ce qui peut avoir pour conséquence le renouvellement relativement

fréquent de l'appareil photographique pour suivre les progrès technologiques. En somme, la méthode photo a un impact écologique plus marqué comparativement aux méthodes actuellement utilisées en clinique pour mesurer les AAM.

- **Dispositifs de mesure trop encombrants**

Dans la première phase de l'étude, les quatre systèmes de mesure, à savoir la photo de patrons de points, l'inclinomètre, la centrale inertielle et le système optique, ont été utilisés en même temps. Cela a pu avoir comme conséquence, en plus d'être trop encombrant pour le participant, d'augmenter les risques de survenues d'erreurs de mesure. Cette option d'effectuer les mesures en même temps était retenue pour nous assurer que l'ensemble des systèmes était soumis aux mêmes conditions et à réduire aussi la durée de la collecte de données.

4 Perspectives de recherche

Plusieurs perspectives de recherche sont possibles avec cette nouvelle méthode d'évaluation d'AAM à partir de photographies de patrons de points.

- **Remplacement de l'appareil photo numérique par un téléphone intelligent**

Cette technique de mesure d'amplitude pourrait être transférée sur téléphone intelligent vu que ces appareils intègrent des caméras qui fournissent des images de haute qualité, mais aussi possèdent des fonctionnalités très développées. Le remplacement de l'appareil photo par la caméra du téléphone intelligent contribuera à diminuer le coût de la méthode

et la rendra encore plus accessible au plus grand nombre. L'intégration dans les téléphones intelligents d'applications capables de détecter les changements d'angle des patrons de points permettra de faire directement l'analyse des images afin de déterminer l'amplitude de mouvement. Des tests préliminaires que nous avons effectués afin de voir la validité des mesures d'AAM à partir d'images prises avec un téléphone intelligent sont trop prometteurs et pourraient constituer la prochaine étape de cette étude.

- **Évaluation des AAM des petites articulations**

Actuellement, seuls certains types de goniomètres sont adaptés pour mesurer les AAM des petites articulations du corps. L'utilisation de la méthode photo pourrait être une piste très intéressante pour faire cette évaluation des petites articulations. Pour se faire, des patrons de points de petite taille vont être utilisés sur ces articulations et avec l'aide de la fonction zoom de l'appareil photo, des images d'une grandeur et résolution pourraient être obtenues.

- **Validité de la méthode photo dans un contexte clinique**

La méthode photo, même si elle donne de bons résultats en laboratoire, reste à être validée en conditions cliniques sur différentes populations. Cela va permettre de mieux documenter les qualités métrologiques de la méthode chez les patients avec atteintes articulaires. Le principe de fonctionnement de cette méthode est très simple et nécessite un temps relativement court pour former les évaluateurs. Une fois les photos du patron de points prises et transférées sur un ordinateur, les résultats des mesures d'angle sont obtenus en quelques secondes. Cette méthode permet de prendre des mesures d'angle dans

différentes positions, il suffit tout simplement que l'image du patron de points fixé sur un segment de membre puisse être capturée en position initiale et finale. Également, du fait que la nouvelle méthode ne tient pas compte de constante de gravité et de l'alignement à un repère osseux, elle offre plus d'opportunités et de possibilités de mesure d'angle que les outils les plus utilisés actuellement en clinique (goniomètre et inclinomètre).

- **Mesures dynamiques d'AAM à partir de vidéos de patrons de points**

Il serait aussi intéressant de voir les possibilités de réaliser des mesures dynamiques d'AAM à partir d'une vidéo de patron de points fixé sur un segment de membre. Dans une vidéo, il défile plus de vingt-cinq images par seconde. En réalisant une vidéo du patron de points fixé sur le membre qui se déplace, il pourrait être possible ensuite de déterminer l'angle de déplacement du patron de points sur chaque image par rapport à la position de départ.

CHAPITRE VII : Conclusions

Que ce soit dans le domaine de la recherche ou en clinique, l'évaluation des amplitudes de mouvement est une étape très importante qui nécessite l'utilisation de systèmes de mesure de bonnes qualités métrologiques.

En clinique, le goniomètre universel reste l'instrument le plus utilisé pour évaluer l'AAM de l'épaule malgré le fait qu'il ne soit pas parfois très adapté pour bien mesurer certains de ces mouvements. En effet, du fait de sa conception, la branche fixe ne s'aligne plus sur un repère osseux (humérus) au cours de l'exécution des mouvements de flexion et d'extension de l'épaule. Ce fait constitue une importante source d'erreur pouvant altérer les données sur la validité de la mesure. Également le choix des repères osseux pour le positionnement des deux bras et du disque du goniomètre est aussi problématique, car ce choix ne repose que sur l'appréciation de l'examineur. Du point de vue des qualités métrologiques, le goniomètre ne dispose pas d'une bonne validité de critère et sa fidélité (intra et inter-évaluateurs) est modérée voire faible dans certaines études. L'autre instrument très utilisé en clinique est l'inclinomètre. Il donne de meilleurs résultats de fidélités intra et inter-évaluateurs que le goniomètre, mais n'est pas adapté pour évaluer certains mouvements de l'épaule. L'utilisation de méthodes empiriques comme l'estimation visuelle d'AAM ne repose sur aucune base scientifique pour donner des mesures d'angle fiables et précises.

Les méthodes de mesure les plus précises ne se retrouvent malheureusement que dans les laboratoires de recherche. Il faut dire que le contexte clinique n'est pas adapté pour recevoir de tels dispositifs très onéreux, complexes d'utilisation et nécessitant beaucoup de temps de manipulation. Les recherches sur l'amélioration des systèmes de mesure déjà existants ou sur la création de nouvelles méthodes de mesure d'AAM sont plus que jamais d'actualité.

Ce projet de mémoire entre dans ce contexte de mise en œuvre de nouveaux systèmes de mesure de hautes précisions, simples d'utilisation et d'une grande accessibilité. La nouvelle méthode d'évaluation de l'amplitude de mouvement que nous avons présenté se base sur des photographies numériques de patrons de points. L'objectif premier de l'étude était de déterminer la validité de critère de la méthode photo par rapport à une mesure étalon. Les résultats ont démontré que cette nouvelle méthode photo possède une bonne validité de critère, comparable à celle obtenue avec une centrale inertielle et bien mieux que celle d'une application inclinomètre. À la lumière de ces résultats, la méthode photo pourrait très bien être un substitut aux centrales inertielles dans la mesure d'AAM, car ces dernières restent onéreuses et complexes d'utilisation.

L'objectif de la deuxième phase de l'étude était de déterminer la fidélité de la mesure de la méthode de photographie numérique de patrons de points et de l'inclinomètre numérique en conditions cliniques auprès de patients atteints de tendinopathie de la coiffe des rotateurs. Suite à l'analyse des résultats, il apparaît que la méthode photo possède une bonne fidélité qui lui permet de bien évaluer les amplitudes de mouvement au niveau de

l'épaule. L'inclinomètre quant à lui semble donner de bons résultats de fidélité que pour certains mouvements de l'épaule (abduction et flexion).

Bien que la nouvelle méthode basée sur la photographie de patrons de points ait démontré une bonne validité de critère et une bonne fidélité, son devenir et sa place dans le domaine de l'évaluation de l'AAM repose sur l'accueil qui lui sera réservé par les cliniciens et les chercheurs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Bugajska, J. & Sagan, A. Chronic musculoskeletal disorders as risk factors for reduced work ability in younger and ageing workers. *International journal of occupational safety and ergonomics : JOSE* **20**, 607-615 (2014).
2. Kennedy, C.A., *et al.* Systematic review of the role of occupational health and safety interventions in the prevention of upper extremity musculoskeletal symptoms, signs, disorders, injuries, claims and lost time. *Journal of occupational rehabilitation* **20**, 127-162 (2010).
3. Michel, C., *et al.* Portrait national des troubles musculosquelettiques (TMS) 1998-2007:TMS sous surveillance *Institut National de Santé Publique du Québec* (2010).
4. Swann, J. Ageing and musculoskeletal disorders. *Nursing & Residential Care* **14**, 642-645 (2012).
5. Barnes, C.J., Van Steyn, S.J. & Fischer, R.A. The effects of age, sex, and shoulder dominance on range of motion of the shoulder. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* **10**, 242-246 (2001).
6. Roquelaure, Y., *et al.* Risk factors for upper-extremity musculoskeletal disorders in the working population. *Arthritis and rheumatism* **61**, 1425-1434 (2009).
7. Vanwonderghem, K., Yoopat, P. & Maes, C. Musculoskeletal disorders: a new approach. *Work* **41 Suppl 1**, 2293-2298 (2012).
8. Lacerda, E.M., *et al.* Prevalence and associations of symptoms of upper extremities, repetitive strain injuries (RSI) and 'RSI-like condition'. A cross sectional study of bank workers in Northeast Brazil. *BMC public health* **5**, 107 (2005).
9. Aptel, M. & St-Vincent, M. Ampleur des TMS en Europe et au Québec.
10. Durand, M.-J., *et al.* Revue réaliste sur les bases théoriques des programmes de réadaptation incluant le milieu de travail.
11. Vézina, M., *et al.* *Enquête québécoise sur des conditions de travail d'emploi et de santé et de sécurité du travail (EQCOTSST): sommaire*, (IRSST, 2011).
12. Luime, J.J., *et al.* Prevalence and incidence of shoulder pain in the general population; a systematic review. *Scandinavian journal of rheumatology* **33**, 73-81 (2004).
13. Hamberg-van Reenen, H.H., van der Beek, A.J., Blatter, B.M., van Mechelen, W. & Bongers, P.M. Age-related differences in muscular capacity among workers. *International archives of occupational and environmental health* **82**, 1115-1121 (2009).
14. McGraw, K.O. & Wong, S.P. Forming inferences about some intraclass correlation coefficients. *Psychological Methods* **1**, 30-46 (1996).
15. Goff, J.M.L., Höpflinger, F. & Hagmann, H.M. *Les trajectoires des travailleurs âgés sur le marché du travail en Suisse et en Europe: analyse socio-démographique*, (Réalités sociales, 1999).
16. Roy, R. Troubles musculosquelettiques liés au travail. *Le Médecin du Québec* **39**, 49-57 (2004).

17. C.H. De Zwart, M.H.W.F.-D.B. Senior Workers in the Dutch Construction Industry: A Search for Age-Related Work and Health Issues. *Experimental Aging Research* **25**, 385-391 (1999).
18. Burnay, N. Les paradoxes de l'âge au travail. *Les politiques sociales* **3 et 4**(2008).
19. Martel, L., Caron-Malenfant, E., Vézina, S. & Bélanger, A. Projections de la population active au Canada, 2006-2031. *L'Observateur économique canadien* **20**, 3-1 (2007).
20. Chapleau, J. Amplitude de mouvement du coude, développement d'une méthode de mesure radiographique et identification des facteurs influents. (Canada, North America, 2013).
21. Greiving, K., *et al.* Incidence, prevalence, and consultation rates of shoulder complaints in general practice. *Scandinavian journal of rheumatology* **41**, 150-155 (2012).
22. Lewis, J.S. Rotator cuff tendinopathy. *British journal of sports medicine* **43**, 236-241 (2009).
23. Srour, F., Dumontier, C., Loubière, M. & Barette, G. Évaluation clinique et fonctionnelle de l'épaule douloureuse. *EMC-Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation* (2013).
24. van der Heijden, G.J.M.G. <van der Heijden-1999-Shoulder disorders_a sta.pdf>. *Baillière's Clinical Rheumatology* **13**, 287-309 (1999).
25. Nadeau, S., *et al.* Active movement measurements of the shoulder girdle in healthy subjects with goniometer and tape measure techniques: a study on reliability and validity. *Physiotherapy theory and practice* **23**, 179-187 (2007).
26. Hayes, K., Walton, J.R., Szomor, Z.R. & Murrell, G.A. Reliability of five methods for assessing shoulder range of motion. *The Australian journal of physiotherapy* **47**, 289-294 (2001).
27. El-Gohary, M. & McNames, J. Shoulder and Elbow Joint Angle Tracking With Inertial Sensors. *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING* **59**, 2635-2641 (2012).
28. Murray, I.R., Goudie, E.B., Petrigliano, F.A. & Robinson, C.M. Functional Anatomy and Biomechanics of Shoulder Stability in the Athlete. *Clinics in sports medicine* **32**, 607-624 (2013).
29. Terry, G.C.C., T M. Functional Anatomy of the shoulder. *Journal of athletic training* **35**, 248-255 (2000).
30. Norris, C. SHOULDER IMPINGEMENT. *SportEX Dynamics*, 21-28 (2014).
31. Beauthier, J.P., Lefèvre, P. & Leurquin, F. *Traité d'anatomie: De la théorie à la pratique palpatoire*, (De Boeck Supérieur, 1990).
32. Reese, N.B. & Bandy, W.D. *Joint Range of Motion and Muscle Length Testing*, (Elsevier Health Sciences, 2016).
33. Aswad, R. & George, R. L'épaule : une histoire de souplesse. *Kinésithérapie, la Revue* **16**, 35-42 (2016).
34. Labriola, J.E., Lee, T.Q., Debski, R.E. & McMahon, P.J. Stability and instability of the glenohumeral joint: the role of shoulder muscles. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons ... [et al.]* **14**, 32S-38S (2005).
35. Bain, G.I., Itoi, E., Di Giacomo, G. & Sugaya, H. *Normal and Pathological Anatomy of the Shoulder*, (Springer Berlin Heidelberg, 2015).

36. Gosling, J.A., Harris, P.F., Whitmore, I., Willan, P.L.T. & Dhem, A. *Anatomie humaine: Atlas en couleurs*, (De Boeck Supérieur, 2003).
37. Blaimont, P. & Taheri, A. *Biomécanique de l'épaule: De la théorie à la clinique*, (Springer, 2006).
38. Di Giacomo, G., Pouliart, N., Costantini, A. & de Vita, A. *Atlas of Functional Shoulder Anatomy*, (Springer Milan, 2008).
39. Lugo, R., Kung, P. & Ma, C.B. Shoulder biomechanics. *European journal of radiology* **68**, 16-24 (2008).
40. Balg, F. Les tendinopathies de l'épaule: un éventail de pathologies. *Le clinicien*, 67-72 (2007).
41. Dufour, M. Dossier: Rafraîchissement de mémoire sur l'anatomo-biomécanique de l'épaule. *Reminders on shoulder anatomy and biomechanics (English)* **16**, 24-34 (2016).
42. Norkin, C.C. & White, D.J. *Measurement of joint motion: a guide to goniometry*, (F.A. Davis, Philadelphia, 2003).
43. Clarkson, H.M. *Musculoskeletal Assessment: Joint Range of Motion and Manual Muscle Strength*, (Lippincott Williams & Wilkins, 2000).
44. Holland, G.J., Tanaka, K., Shigematsu, R. & Nakagaichi, M. Flexibility and Physical Functions of Older Adults: A Review. *Journal of Aging & Physical Activity* **10**, 169-206 (2002).
45. Williams, G.N., Higgins, M.J. & Lewek, M.D. Aging Skeletal Muscle: Physiologic Changes and the Effects of Training. *Physical therapy* **82**, 62-68 (2002).
46. Adams, K., O'Shea, P. & O'Shea, K.L. Aging: its effects on strength, power, flexibility, and bone density. *Strength & Conditioning Journal* **21**, 65-76 (1999).
47. Macedo, L.G. & Magee, D.J. Effects of age on passive range of motion of selected peripheral joints in healthy adult females. *Physiotherapy Theory & Practice* **25**, 145-164 (2009).
48. Doriot, N. & Wang, X. Effects of age and gender on maximum voluntary range of motion of the upper body joints. *Ergonomics* **49**, 269-281 (2006).
49. Tekavec, E., *et al.* Population-based consultation patterns in patients with shoulder pain diagnoses. *BMC musculoskeletal disorders* **13**, 238-238 (2012).
50. White, J.J.E., *et al.* An epidemiological study of rotator cuff pathology using The Health Improvement Network database. *THE BONE & JOINT JOURNAL* **96**, 350-353 (2014).
51. Seitz, A.L., McClure, P.W., Finucane, S., Boardman, N.D., 3rd & Michener, L.A. Mechanisms of rotator cuff tendinopathy: intrinsic, extrinsic, or both? *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)* **26**, 1-12 (2011).
52. Blanchet, R. L'épaule, évaluation de base. *Le Médecin du Québec* **38**, 35-42 (2003).
53. Coste, J. & Noël, E. Examen programmé de l'épaule. *Kinésithérapie, la Revue* **16**, 43-47 (2016).
54. Blonna, D., Zarkadas, P.C., Fitzsimmons, J.S. & O'Driscoll, S.W. Accuracy and inter-observer reliability of visual estimation compared to clinical goniometry of the elbow. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* **20**, 1378-1385 (2012).

55. Awan, R., Smith, J. & Boon, A.J. Measuring shoulder internal rotation range of motion: A comparison of 3 techniques. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* **83**, 1229-1234 (2002).
56. Hanney, W.J., Kolber, M.J. & Marshall, J.S. The reliability of clinical measurements designed to quantify shoulder mobility. *Physical Therapy Reviews* **16**, 413-422 (2011).
57. Edgar, D., Finlay, V., Wu, A. & Wood, F. Goniometry and linear assessments to monitor movement outcomes: are they reliable tools in burn survivors? *Burns : journal of the International Society for Burn Injuries* **35**, 58-62 (2009).
58. O'Neill, B.J., *et al.* Digital photography for assessment of shoulder range of motion: A novel clinical and research tool. *International journal of shoulder surgery* **7**, 23-27 (2013).
59. Picerno, P., *et al.* Ambulatory assessment of shoulder abduction strength curve using a single wearable inertial sensor. *Journal of rehabilitation research and development* **52**, 171-180 (2015).
60. Kolber, M.J., Fuller, C., Marshall, J., Wright, A. & Hanney, W.J. The reliability and concurrent validity of scapular plane shoulder elevation measurements using a digital inclinometer and goniometer. *Physiotherapy theory and practice* **28**, 161-168 (2012).
61. Terwee, C.B., *et al.* Interobserver Reproducibility of the Visual Estimation of Range of Motion of the Shoulder. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* **86**, 1356-1361 (2005).
62. Chapleau, J. Amplitude de mouvement du coude : Développement d'une méthode de mesure radiographique et identification des facteurs influents (2012).
63. Riddle, D.L., Rothstein, J.M. & Lamb, R.L. Goniometric reliability in a clinical setting. Shoulder measurements. *Physical therapy* **67**, 668-673 (1987).
64. Johnson, L.B., *et al.* Validity and reliability of smartphone magnetometer-based goniometer evaluation of shoulder abduction - A pilot study. *Manual therapy* (2015).
65. Carey, M., Laird, D., Murray, K., & Stevenson, J. Reliability, validity, and clinical usability of a digital goniometer. *Work* **36**, 55-66 (2010).
66. Carey, M.A., Laird, D.E., Murray, K.A. & Stevenson, J.R. Reliability, validity, and clinical usability of a digital goniometer. *Work* **36**, 55-66 (2010).
67. Poichotte, E. Inclinomètre et standardisation des mesures d'amplitude articulaire. *Kinésithér Scient* **460**, 37-43 (2005).
68. Schiefer, C., Kraus, T., Ellegast, R.P. & Ochsmann, E. A technical support tool for joint range of motion determination in functional diagnostics - an inter-rater study. *Journal of occupational medicine and toxicology* **10**, 16 (2015).
69. Chibnall, J.T., Duckro, P.N. & Baumer, K. The influence of body size on linear measurements used to reflect cervical range of motion. *Physical therapy* **74**, 1134-1137 (1994).
70. Corben, T., Lewis, J.S. & Petty, N.J. Contribution of lumbar spine and hip movement during the palms to floor test in individuals with diagnosed hypermobility syndrome. *Physiotherapy theory and practice* **24**, 1-12 (2008).
71. Naylor, J.M., *et al.* Validity and reliability of using photography for measuring knee range of motion: a methodological study. *BMC musculoskeletal disorders* **12**, 77 (2011).

72. Mitchell, K., Gutierrez, S.B., Sutton, S., Morton, S. & Morgenthaler, A. Reliability and validity of goniometric iPhone applications for the assessment of active shoulder external rotation. *Physiotherapy Theory & Practice* **30**, 521-525 (2014).
73. Vercelli, S., Sartorio, F., Bravini, E. & Ferriero, G. DrGoniometer: a reliable smartphone app for joint angle measurement. *British journal of sports medicine* (2016).
74. da Silva Camassuti, P.A., *et al.* Inter-rater, intra-rater and inter-instrument reliability of an electrogoniometer to measure wrist range of motion. *Hand Therapy* **20**, 3-10 18p (2015).
75. Bronner, S., Agraharasamakulam, S. & Ojofeitimi, S. Reliability and validity of electrogoniometry measurement of lower extremity movement. *Journal of medical engineering & technology* **34**, 232-242 (2010).
76. Lebel, K., Boissy, P., Hamel, M. & Duval, C. Inertial measures of motion for clinical biomechanics: comparative assessment of accuracy under controlled conditions-effect of velocity. *PloS one* **8**, e79945 (2013).
77. Aloui, S. Université de Grenoble (2013).
78. Zhang, J.T., Novak, A.C., Brouwer, B. & Li, Q. Concurrent validation of Xsens MVN measurement of lower limb joint angular kinematics. *Physiological measurement* **34**, N63-69 (2013).
79. Richards, J.G. The measurement of human motion: A comparison of commercially available systems. *Human Movement Science* **18**, 589-602 (1999).
80. Andreadis, A., *et al.* Real-time motion capture technology on a live theatrical performance with computer generated scenery. in *Informatics (pci), 2010 14th panhellenic conference on* 148-152 (IEEE, 2010).
81. Fortin, F. & Gagnon, J. *Fondements et étapes du processus de recherche : méthodes quantitatives et qualitatives*, (Montréal (Québec) Canada : Chenelière Éducation, [2010]. 2e édition., 2010).
82. McGinley, J.L., Baker, R., Wolfe, R. & Morris, M.E. Review: The reliability of three-dimensional kinematic gait measurements: A systematic review. *Gait & posture* **29**, 360-369 (2009).
83. Gajdosik, R.L. & Bohannon, R.W. Clinical Measurement of Range of Motion. *Review of Goniometry Emphasizing Reliability and Validity* **67**, 1867-1872 (1987).
84. Mullaney, M.J., McHugh, M.P., Johnson, C.P. & Tyler, T.F. Reliability of shoulder range of motion comparing a goniometer to a digital level. *Physiotherapy theory and practice* **26**, 327-333 (2010).
85. Fish, D.R. & Wingate, L. Sources of goniometric error at the elbow. *Physical therapy* **65**, 1666-1670 (1985).
86. Werner, B.C., *et al.* Validation of an innovative method of shoulder range-of-motion measurement using a smartphone clinometer application. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* **23**, e275-e282 (2014).
87. de Winter, A.F., *et al.* Inter-observer reproducibility of measurements of range of motion in patients with shoulder pain using a digital inclinometer. *BMC musculoskeletal disorders* **5**, 18 (2004).
88. Rachkidi, R., *et al.* Is visual estimation of passive range of motion in the pediatric lower limb valid and reliable? *BMC musculoskeletal disorders* **10**, 126 (2009).

89. Abu-Rajab, R.B., Marsh, A., Young, D. & Rymaszewski, L.A. Visual estimation of joint angles at the elbow. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology* **20**, 463-467 (2010).
90. Ha, S.M., Kwon, O.Y., Weon, J.H., Kim, M.H. & Kim, S.J. Reliability and validity of goniometric and photographic measurements of clavicular tilt angle. *Manual therapy* **18**, 367-371 (2013).
91. States, R.A. & Pappas, E. Precision and repeatability of the Optotrak 3020 motion measurement system. *Journal of medical engineering & technology* **30**, 11-16 (2006).
92. Ha, T.H., Saber-Sheikh, K., Moore, A.P. & Jones, M.P. Measurement of lumbar spine range of movement and coupled motion using inertial sensors - a protocol validity study. *Manual therapy* **18**, 87-91 (2013).
93. Akritas, A.G. & Malaschonok, G.I. Applications of singular-value decomposition (SVD). *Mathematics and computers in simulation* **67**, 15-31 (2004).
94. Thomas, J.D. Nikon D5300 Digital Field Guide. (Wiley, Hoboken, 2014).
95. Goldman, R. Understanding quaternions. *Graphical models* **73**, 21-49 (2011).
96. Saber-Sheikh, K., Bryant, E.C., Glazzard, C., Hamel, A. & Lee, R.Y. Feasibility of using inertial sensors to assess human movement. *Manual therapy* **15**, 122-125 (2010).
97. Schmidt, J., Berg, D.R., Ploeg, H.-L. & Ploeg, L. Precision, repeatability and accuracy of Optotrak® optical motion tracking systems. *International Journal of Experimental and Computational Biomechanics* **1**, 114-127 (2009).
98. Fayad, F., Mace, Y. & Lefevre-Colau, M.M. Les échelles d'incapacité fonctionnelle de l'épaule : revue systématique. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique* **48**, 298-306 (2005).
99. Cohen, J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement* **20**, 37-46 (1960).
100. Kolber, M.J. & Hanney, W.J. The reliability and concurrent validity of shoulder mobility measurements using a digital inclinometer and goniometer: a technical report. *International journal of sports physical therapy* **7**, 306-313 (2012).
101. Dougherty, J., Walmsley, S. & Osmotherly, P.G. Passive range of movement of the shoulder: a standardized method for measurement and assessment of intrarater reliability. *Journal of manipulative and physiological therapeutics* **38**, 218-224 (2015).
102. van de Pol, R.J., van Trijffel, E. & Lucas, C. Inter-rater reliability for measurement of passive physiological range of motion of upper extremity joints is better if instruments are used: a systematic review. *Journal of Physiotherapy* **56**, 7-17 (2010).

Annexe 1: Formulaire de consentement (Participants de la Phase I)



FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT A LA RECHERCHE SUJETS SAINS

Titre du projet: Validité de critère et fidélité d'une nouvelle méthode d'évaluation de l'amplitude de mouvement basée sur la photographie numérique chez des patients avec tendinopathies de la coiffe des rotateurs de l'épaule

Numéro du projet : 2016-1383

Chercheur principal: **Patrick Boissy**, PhD
Professeur titulaire,
Service d'orthopédie, département de chirurgie
Faculté de médecine et des sciences de la santé, Université
de Sherbrooke
Chercheur, centre de recherche sur le vieillissement, CSSS-
IUGS
Institut Interdisciplinaire d'innovation technologique,
Université de Sherbrooke

Chercheurs associés: **Yannick Tousignant-Laflamme**, pht, PhD
Professeur agrégé,
Directeur du programme de physiothérapie
École de réadaptation, Université de Sherbrooke

Seigne Falilou Diop, Étudiant
Maîtrise en Gériologie (R), Université de Sherbrooke

POUR INFORMATION

Du lundi au vendredi entre 8h et 16h, vous pouvez communiquer avec :

Dr Patrick Boissy ch. principal

Tél :

Mr Serigne Falilou Diop étudiant

Tél :

Nous sollicitons votre participation à un projet de recherche parce que nous recrutons des personnes adultes ne souffrant pas de pathologies de l'épaule en vue d'évaluer leur amplitude articulaire avec un nouveau système de mesure. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent. Si vous acceptez de participer au projet de recherche, vous devrez signer le formulaire de consentement à la fin du présent document et nous vous en remettrons une copie pour vos dossiers.

Ce formulaire d'information et de consentement vous explique le but de ce projet de recherche, les procédures, les risques et inconvénients ainsi que les avantages, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin. Il peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions nécessaires au chercheur responsable du projet ou aux autres personnes affectées au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

NATURE ET OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

La tendinopathie de l'épaule, qui fait partie des troubles musculo-squelettiques, est la plainte la plus courante dans les cliniques orthopédiques. Pour poser son diagnostic, un examen clinique comprenant la mesure de l'amplitude articulaire est nécessaire.

Malheureusement il n'existe pas d'instruments de mesure d'amplitude de mouvement qui fassent l'unanimité chez les chercheurs et les cliniciens. Des avancées récentes dans le traitement d'image associé à des capacités augmentées des capteurs utilisés dans les appareils de photographie numérique permettent d'envisager une approche de mesure d'amplitude de mouvement novatrice avec des applications cliniques des plus intéressantes notamment dans l'évaluation des amplitudes de mouvements de l'épaule.

Ce projet de recherche a pour buts, premièrement, d'évaluer la validité de critère de ce nouvel instrument de mesure d'amplitude de mouvement articulaire basé sur la photographie numérique de patrons de points par rapport à une mesure étalon et deux autres instruments de mesure (inclinomètre et centrale inertielle) utilisés en clinique. Dans un second temps cette recherche vise à déterminer la fidélité intra et inter-juges de la photographie numérique et de l'inclinomètre en conditions cliniques de mesures auprès de patients atteints de tendinopathie de l'épaule. Nous aurons besoin de 25 participants sains dans la première phase du projet.

DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

Si vous acceptez de participer à l'étude, vous devrez vous présenter au Centre de Recherche sur le Vieillissement (CdRV) pour une séance de mesure d'amplitude de mouvement d'épaule.

Visite de sélection :

Durant cette visite, d'une durée approximative de 30 minutes, nous procéderons à plusieurs examens et procédures qui détermineront si vous êtes admissible à l'étude. En cas d'admissibilité, un formulaire de consentement vous sera remis et vous aurez un délai d'une semaine au maximum pour le signer.

Visite de participation :

Après votre consentement, vous serez convoqué pour une deuxième visite de collecte de données. Le personnel de l'étude recueillera des données anthropométriques (poids, taille, périmètre brachial) et votre âge.

Cette participation :

- Nécessitera une séance de prise de mesure d'une durée de 90 minutes au maximum.

- Consistera à exécuter les mouvements d'épaule qu'un évaluateur vous indiquera. Ces mouvements sont la flexion, l'extension, l'abduction et la rotation externe selon trois degré d'amplitude (au 1/3 de l'amplitude disponible, au 2/3 et pour finir à l'amplitude maximale). Avant le début des manœuvres des dispositifs non invasifs et légers, composés de deux brassards et d'un bandeau, seront fixés sur un bras ou avant-bras, une cuisse et sur la tête.

Une prise de mesure se déroulera comme suit :

- Début : position neutre du bras du participant
- Début enregistrement Xsens et Optotrak
- Prise de la photo initiale des patrons de points
- Lecture initiale des mesures de l'IPod (Roll, Pitch, Yaw)
- L'évaluateur indique au patient le mouvement à faire et quelle amplitude à atteindre
- Position finale du bras
- Prise de la photo finale des patrons de points
- Lecture des mesures finales de l'IPod
- Arrêt des enregistrements de Xsens et d'Optotrak
- Fin de l'essai

Cet enchainement est répété trois fois pour chaque type de mouvement.

COLLABORATION DU PARTICIPANT

- Éviter de porter des objets métalliques (bijoux, téléphone) pendant l'évaluation.
- Porter un pantalon de préférence pour faciliter la fixation du patron de points sur la cuisse.
- Porter un habit sans manche (ou avec manche courte) le jour de l'évaluation.

RISQUES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Le risque de survenue de douleurs au niveau de l'épaule est minime voire quasi inexistant.

INCONVÉNIENTS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Votre participation à la recherche ne devrait pas comporter d'inconvénients si ce n'est le fait de donner de votre temps.

AVANTAGES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Vous ne retirerez aucun bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche. Toutefois, les résultats obtenus pourraient contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine de l'évaluation des amplitudes articulaires.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET POSSIBILITÉ DE RETRAIT DU PROJET DE RECHERCHE

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision au chercheur responsable du projet ou à l'un de ses assistants.

Votre décision de ne pas participer à ce projet de recherche ou de vous en retirer n'aura aucune conséquence sur la qualité des soins et des services auxquels vous avez droit ou sur vos relations avec le chercheur responsable du projet et les autres intervenants.

Toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement de l'étude qui pourrait affecter votre décision de continuer d'y participer vous sera communiquée sans délai.

Si vous vous retirez de l'étude ou en êtes retiré, l'information médicale déjà obtenue dans le cadre de l'étude sera conservée aussi longtemps que nécessaire pour assurer la sécurité des patients et rencontrer les exigences réglementaires.

ARRÊT DU PROJET DE RECHERCHE

Le chercheur responsable de l'étude et le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS peuvent mettre fin à votre participation, sans votre consentement, pour les raisons suivantes :

- Si de nouveaux développements scientifiques surviennent indiquant qu'il est de votre intérêt de cesser votre participation;
- Si le chercheur responsable du projet pense que cela est dans votre meilleur intérêt;
- Si vous ne respectez pas les consignes du projet de recherche;
- S'il existe des raisons administratives d'abandonner l'étude.

CONFIDENTIALITÉ

Durant votre participation à ce projet, le chercheur responsable ainsi que son personnel recueilleront et consigneront dans un dossier de recherche les renseignements vous concernant. Seuls les renseignements nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet seront recueillis. Ces renseignements peuvent comprendre vos antécédents médicaux et chirurgicaux, vos données anthropométriques.

Tous les renseignements recueillis demeureront strictement confidentiels dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité des renseignements, vous ne serez identifié que par un numéro de code. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservée par le chercheur responsable du projet de manière sécuritaire.

Les données en elles-mêmes ou combinées aux données provenant d'autres projets, pourront être partagées avec les organismes réglementaires canadiens ou d'autres pays ou avec les partenaires commerciaux du commanditaire. Ce transfert d'information implique que vos données pourraient être transmises dans d'autres pays que le Canada. Cependant, le commanditaire respectera les règles de confidentialité en vigueur au Québec et au Canada, et ce, dans tous les pays. Ces données seront conservées pendant 25 ans par le chercheur responsable et le commanditaire.

De plus, les données du projet pourraient servir à obtenir l'approbation de mise en marché du médicament à l'essai par les organismes réglementaires autorisés. Elles pourraient aussi servir pour d'autres analyses de données reliées au projet ou pour l'élaboration de projets de recherches futurs.

Les données pourront être publiées dans des revues spécialisées ou faire l'objet de discussions scientifiques mais il ne sera pas possible d'identifier les participants.

À des fins de surveillance et de contrôle, votre dossier de recherche ainsi que vos dossiers médicaux pourront être consultés par une personne mandatée par le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS ou par l'établissement, par une personne mandatée par des organismes publiques autorisés ainsi que par des représentants du commanditaire. Toutes ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

À des fins de protection, notamment afin de pouvoir communiquer avec vous rapidement, vos noms et prénoms, vos coordonnées et la date de début et de fin de votre participation au projet seront conservés pendant un an après la fin du projet dans un répertoire sécurisé maintenu par le chercheur.

Vous avez le droit de consulter votre dossier de recherche pour vérifier les renseignements recueillis, et les faire rectifier au besoin et ce, aussi longtemps que le chercheur responsable du projet ou le CHUS détiennent ces informations. Cependant, afin de préserver l'intégrité scientifique du projet, vous pourriez n'avoir accès à certaines de ces informations qu'une fois le projet terminé.

Les photographies qui seront prises pour la mesure de l'amplitude de mouvement avec un appareil photographique numérique ne seront publiées en aucune manière et qu'elles ne servent qu'à des fins d'évaluation d'amplitude articulaire.

COMPENSATION

Vous ne recevrez aucune compensation pour votre participation à ce projet de recherche. Les frais de déplacement ou de stationnement ne seront pas remboursés.

DROITS DU PARTICIPANT ET INDEMNISATION EN CAS DE PRÉJUDICE

Si vous deviez subir quelque préjudice que ce soit dû à votre participation au projet de recherche, vous recevrez tous les soins et services requis par votre état de santé, sans frais de votre part.

En acceptant de participer à cette étude, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, le commanditaire ou l'établissement où se déroule ce projet de recherche de leurs responsabilités civile et professionnelle.

FINANCEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

Le chercheur a reçu un financement du Centre de Recherche sur le Vieillissement dans le cadre du projet de mémoire de son étudiant.

PERSONNES-RESSOURCES

Si vous avez des questions concernant votre participation au projet de recherche SVP vous référer à l'encadré de la page 1.

Pour toute question concernant vos droits en tant que participant à ce projet de recherche ou si vous avez des plaintes ou des commentaires à formuler vous pouvez communiquer avec le Commissaire aux plaintes et à la qualité des services du CIUSSS de l'Estrie-CHUS au numéro suivant : [REDACTED].

SURVEILLANCE DES ASPECTS ÉTHIQUES

Le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS a approuvé ce projet de recherche et en assure le suivi. De plus, nous nous engageons à lui soumettre pour approbation toute révision et toute modification apportée au protocole de recherche ou au formulaire d'information et de consentement.

Si vous désirez rejoindre l'un des membres de ce comité vous pouvez communiquer avec le Service de soutien à l'éthique de la recherche du CHUS au numéro [REDACTED].

CONSENTEMENT

Je déclare avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement, particulièrement quant à la nature de ma participation au projet de recherche et l'étendue des risques qui en découlent. Je reconnais qu'on m'a expliqué le projet, qu'on a répondu à toutes mes questions et qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre une décision.

Je consens librement et volontairement à participer à ce projet.

OUI NON

Nom du participant (lettres moulées)	Signature du participant	Date
---	--------------------------	------

Nom de la personne qui obtient le consentement (lettres moulées)	Signature de la personne qui obtient le consentement	Date
--	---	------

ENGAGEMENT DU CHERCHEUR

Je certifie qu'on a expliqué au participant les termes du présent formulaire d'information et de consentement, que j'ai répondu aux questions que le participant avait à cet égard et que j'ai clairement indiqué qu'il demeure libre de mettre un terme à sa participation, et ce, sans préjudice.

Je m'engage à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement et à en remettre copie signée au participant..

Nom du chercheur (lettres moulées)	Signature du chercheur	Date
---------------------------------------	------------------------	------

Annexe 2: Fiche de collecte de données (Phase I)

										<input type="checkbox"/> Reset	
Date/Heure											
Mouvement	<input type="checkbox"/> Abduction			<input type="checkbox"/> Flexion			<input type="checkbox"/> Extension			<input type="checkbox"/> R. Ext	
Amplitude	<input type="checkbox"/> Moitié					<input type="checkbox"/> Maximale					
Essai	Xsens	Optotrak	App numérique		IPod						
			début	fin	début			Fin			
					Roll	Pitch	Yaw	Roll	Pitch	Yaw	
Essai n°1											
Essai n°2											
Essai n°3											
(Essai n°4)											
<u>Commentaires:</u>											

Annexe 3: Formulaire de consentement (Participants de la Phase II)



FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT A LA RECHERCHE SUJETS AVEC TENDINOPATHIE

Titre du projet: Validité de critère et fidélité d'une nouvelle méthode d'évaluation de l'amplitude de mouvement basée sur la photographie numérique chez des patients avec tendinopathies de la coiffe des rotateurs de l'épaule

Numéro du projet : 2016-1383

Chercheur principal: **Patrick Boissy**, PhD
Professeur titulaire,
Service d'orthopédie, département de chirurgie
Faculté de médecine et des sciences de la santé, Université de Sherbrooke
Chercheur, centre de recherche sur le vieillissement, CSSS-IUGS
Institut Interdisciplinaire d'innovation technologique,
Université de Sherbrooke

Chercheurs associés: **Yannick Tousignant-Laflamme**, pht, PhD
Professeur agrégé,
Directeur du programme de physiothérapie
École de réadaptation, Université de Sherbrooke

Serigne Falilou Diop, Étudiant
Maîtrise en Gériologie (R), Université de Sherbrooke

POUR INFORMATION

Du lundi au vendredi entre 8h et 16h, vous pouvez communiquer avec :

Dr Patrick Boissy ch. principal Tél : [REDACTED]

Mr Serigne Falilou Diop étudiant Tél : [REDACTED]

Nous sollicitons votre participation à un projet de recherche parce que nous recrutons des travailleurs âgés de 50 ans ou plus souffrant de tendinopathies de l'épaule en vue d'évaluer leur amplitude de mouvement avec un nouveau système de mesure. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent. Si vous acceptez de participer au projet de recherche, vous devrez signer le formulaire de consentement à la fin du présent document et nous vous en remettrons une copie pour vos dossiers.

Ce formulaire d'information et de consentement vous explique le but de ce projet de recherche, les procédures, les risques et inconvénients ainsi que les avantages, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin. Il peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions nécessaires au chercheur responsable du projet ou aux autres personnes affectées au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

NATURE ET OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

La tendinopathie de l'épaule, qui fait partie des troubles musculo-squelettiques, est la plainte la plus courante dans les cliniques orthopédiques. Pour poser son diagnostic, un examen clinique comprenant la mesure de l'amplitude articulaire est nécessaire.

Malheureusement il n'existe pas d'instruments de mesure d'amplitude de mouvement qui fassent l'unanimité chez les chercheurs et les cliniciens. Des avancées récentes dans le traitement d'image associé à des capacités augmentées des capteurs utilisés dans les appareils de photographie numérique permettent d'envisager une approche de mesure d'amplitude de mouvement novatrice avec des applications cliniques des plus intéressantes notamment dans l'évaluation des amplitudes de mouvements de l'épaule.

Ce projet de recherche a pour buts, premièrement, d'évaluer la validité de critère de ce nouvel instrument de mesure d'amplitude de mouvement articulaire basé sur la photographie numérique de patrons de points par rapport à une mesure étalon et deux autres instruments de mesure (inclinomètre et centrale inertielle) utilisés en clinique. Dans un second temps cette recherche vise à déterminer la fidélité intra et inter-juges de la photographie numérique et de l'inclinomètre en conditions cliniques de mesures auprès de patients atteints de tendinopathie de l'épaule. Nous aurons besoin de 22 patients dans la phase II du projet pour déterminer la fidélité de l'instrument de mesure.

DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

Si vous acceptez de participer à l'étude, vous devrez vous présenter à la Clinique Universitaire de Réadaptation de l'Estrie - CURE pour une séance de mesure d'amplitude de mouvement d'épaule.

Visite de sélection :

Durant cette visite, d'une durée approximative de 30 minutes, nous procéderons à plusieurs examens et procédures qui détermineront si vous êtes admissible à l'étude. En cas d'admissibilité, un formulaire de consentement vous sera remis et vous aurez un délai d'une semaine au maximum pour le signer. Également le personnel de l'étude recueillera des données médicales de base.

Visite de participation :

Après votre consentement, vous serez convoqué pour une deuxième visite de collecte de données.

Votre participation :

- Nécessitera une séance de prise de mesures durant laquelle deux évaluateurs vous demanderont, tour à tour, d'exécuter les mouvements de flexion, d'extension, d'abduction et de rotation externe de l'épaule atteinte jusqu'en fin d'amplitude articulaire disponible sans dépasser 1/10 de douleur et de garder cette position. Avant le début des manœuvres des dispositifs non invasifs et légers, composés de deux brassards et d'un bandeau seront fixés sur un bras ou avant-bras, une cuisse et sur la tête.

Une prise de mesure se déroulera comme suit :

- Début : position neutre du bras du participant
 - Prise de la photo initiale des patrons de points
 - Lecture initiale des mesures de l'IPod (Roll, Pitch, Yaw)
 - L'évaluateur indique au patient le mouvement à faire
 - Position finale du bras (amplitude maximale sans dépasser 1/10 de la douleur)
 - Prise de la photo finale des patrons de points
 - Lecture des mesures finales de l'IPod
 - Fin de l'essai
- Ne devra pas dépasser 120 minutes.

Cet enchaînement est répété deux fois pour chaque type de mouvement.

COLLABORATION DU PARTICIPANT

- Porter un habit sans manche (ou avec manche courte) le jour de l'évaluation.
- Porter un pantalon de préférence pour faciliter la fixation du patron de points sur la cuisse.

RISQUES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Vous pourriez sentir une douleur au niveau de l'épaule durant les manœuvres mais cette douleur ne devrait pas dépasser 1/10 sur l'échelle visuelle analogique.

INCONVÉNIENTS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Les mouvements que vous aurez à faire correspondent à ceux qui se font dans le cadre d'une évaluation clinique et n'engendreront pas plus d'inconvénients.

Le fait de donner de votre temps aussi peut constituer un inconvénient.

AVANTAGES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Vous ne retirerez aucun bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche. Toutefois, les résultats obtenus pourraient contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine de l'évaluation des amplitudes articulaires.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET POSSIBILITÉ DE RETRAIT DU PROJET DE RECHERCHE

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel

moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision au chercheur responsable du projet ou à l'un de ses assistants.

Votre décision de ne pas participer à ce projet de recherche ou de vous en retirer n'aura aucune conséquence sur la qualité des soins et des services auxquels vous avez droit ou sur vos relations avec le chercheur responsable du projet et les autres intervenants.

Toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement de l'étude qui pourrait affecter votre décision de continuer d'y participer vous sera communiquée sans délai.

Si vous vous retirez de l'étude ou en êtes retiré, l'information médicale déjà obtenue dans le cadre de l'étude sera conservée aussi longtemps que nécessaire pour assurer la sécurité des patients et rencontrer les exigences réglementaires.

ARRÊT DU PROJET DE RECHERCHE

Le chercheur responsable de l'étude et le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS peuvent mettre fin à votre participation, sans votre consentement, pour les raisons suivantes :

- Si de nouveaux développements scientifiques surviennent indiquant qu'il est de votre intérêt de cesser votre participation;
- Si le chercheur responsable du projet pense que cela est dans votre meilleur intérêt;
- Si vous ne respectez pas les consignes du projet de recherche;
- S'il existe des raisons administratives d'abandonner l'étude.

CONFIDENTIALITÉ

Durant votre participation à ce projet, le chercheur responsable ainsi que son personnel recueilleront et consigneront dans un dossier de recherche les renseignements vous concernant. Seuls les renseignements nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet seront recueillis. Ces renseignements peuvent comprendre vos antécédents médicaux et chirurgicaux.

Tous les renseignements recueillis demeureront strictement confidentiels dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité des renseignements, vous ne serez identifié que par un numéro de code. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservée par le chercheur responsable du projet de manière sécuritaire.

Les données en elles-mêmes ou combinées aux données provenant d'autres projets, pourront être partagées avec les organismes réglementaires canadiens ou d'autres pays ou avec les partenaires commerciaux du commanditaire. Ce transfert d'information implique que vos données pourraient être transmises dans d'autres pays que le Canada. Cependant, le commanditaire respectera les règles de confidentialité en vigueur au Québec et au Canada, et ce, dans tous les pays. Ces données seront conservées pendant 25 ans par le chercheur responsable et le commanditaire.

De plus, les données du projet pourraient servir à obtenir l'approbation de mise en marché du médicament à l'essai par les organismes réglementaires autorisés. Elles pourraient aussi servir pour d'autres analyses de données reliées au projet ou pour l'élaboration de projets de recherches futurs.

Les données pourront être publiées dans des revues spécialisées ou faire l'objet de discussions scientifiques mais il ne sera pas possible d'identifier les participants.

À des fins de surveillance et de contrôle, votre dossier de recherche ainsi que vos dossiers médicaux pourront être consultés par une personne mandatée par le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS ou par l'établissement, par une personne mandatée par des organismes publics autorisés ainsi que par des représentants du commanditaire. Toutes ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

À des fins de protection, notamment afin de pouvoir communiquer avec vous rapidement, vos noms et prénoms, vos coordonnées et la date de début et de fin de votre participation au projet seront conservés pendant un an après la fin du projet dans un répertoire sécurisé maintenu par le chercheur.

Vous avez le droit de consulter votre dossier de recherche pour vérifier les renseignements recueillis, et les faire rectifier au besoin et ce, aussi longtemps que le chercheur responsable du projet ou le CHUS détiennent ces informations. Cependant, afin de préserver l'intégrité scientifique du projet, vous pourriez n'avoir accès à certaines de ces informations qu'une fois le projet terminé.

Les photographies qui seront prises pour la mesure de l'amplitude de mouvement avec un appareil photographique numérique ne seront publiées en aucune manière et qu'elles ne servent qu'à des fins d'évaluation d'amplitude articulaire.

COMPENSATION

Nous vous rembourserons les frais encourus pour le déplacement et le stationnement jusqu'à un maximum de 20 \$.

DROITS DU PARTICIPANT ET INDEMNISATION EN CAS DE PRÉJUDICE

Si vous deviez subir quelque préjudice que ce soit dû à votre participation au projet de recherche, vous recevrez tous les soins et services requis par votre état de santé, sans frais de votre part.

En acceptant de participer à cette étude, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, le commanditaire ou l'établissement où se déroule ce projet de recherche de leurs responsabilités civile et professionnelle.

FINANCEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

Le chercheur a reçu un financement du Centre de Recherche sur le Vieillessement dans le cadre du projet de mémoire de son étudiant.

PERSONNES-RESSOURCES

Si vous avez des questions concernant votre participation au projet de recherche SVP vous référer à l'encadré de la page 1.

Pour toute question concernant vos droits en tant que participant à ce projet de

recherche ou si vous avez des plaintes ou des commentaires à formuler vous pouvez communiquer avec le Commissaire aux plaintes et à la qualité des services du CIUSSS de l'Estrie-CHUS au numéro suivant : [REDACTED]

SURVEILLANCE DES ASPECTS ÉTHIQUES

Le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS a approuvé ce projet de recherche et en assure le suivi. De plus, nous nous engageons à lui soumettre pour approbation toute révision et toute modification apportée au protocole de recherche ou au formulaire d'information et de consentement.

Si vous désirez rejoindre l'un des membres de ce comité vous pouvez communiquer avec le Service de soutien à l'éthique de la recherche du CHUS au numéro [REDACTED].

CONSENTEMENT

Je déclare avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement, particulièrement quant à la nature de ma participation au projet de recherche et l'étendue des risques qui en découlent. Je reconnais qu'on m'a expliqué le projet, qu'on a répondu à toutes mes questions et qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre une décision.

Je consens librement et volontairement à participer à ce projet.

OUI NON

Nom du participant (lettres moulées)	Signature du participant	Date
---	--------------------------	------

Nom de la personne qui obtient le consentement (lettres moulées)	Signature de la personne qui obtient le consentement	Date
--	---	------

ENGAGEMENT DU CHERCHEUR

Je certifie qu'on a expliqué au participant les termes du présent formulaire d'information et de consentement, que j'ai répondu aux questions que le participant avait à cet égard et que j'ai clairement indiqué qu'il demeure libre de mettre un terme à sa participation, et ce, sans préjudice.

Je m'engage à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement et à en remettre copie signée au participant..

Nom du chercheur (lettres moulées)	Signature du chercheur	Date
---------------------------------------	------------------------	------

Annexe 4: Formulaire de consentement (Évaluateurs)



FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT A LA RECHERCHE ÉVALUATEURS

Titre du projet: Validité de critère et fidélité d'une nouvelle méthode d'évaluation de l'amplitude de mouvement basée sur la photographie numérique chez des patients avec tendinopathies de la coiffe des rotateurs de l'épaule

Numéro du projet : 2016-1383
Chercheur principal: **Patrick Boissy**, PhD
Professeur titulaire,
Service d'orthopédie, département de chirurgie
Faculté de médecine et des sciences de la santé, Université de Sherbrooke
Chercheur, centre de recherche sur le vieillissement, CSSS-IUGS
Institut Interdisciplinaire d'innovation technologique,
Université de Sherbrooke

Chercheurs associés: **Yannick Tousignant-Laflamme**, pht, PhD
Professeur agrégé,
Directeur du programme de physiothérapie
École de réadaptation, Université de Sherbrooke

Seigne Falilou Diop, Étudiant
Maîtrise en Gérontologie (R), Université de Sherbrooke

POUR INFORMATION

Du lundi au vendredi entre 8h et 16h, vous pouvez communiquer avec :

Dr Patrick Boissy ch. principal

Tél : [REDACTED]

Mr Serigne Falilou Diop étudiant

Tél : [REDACTED]

Nous sollicitons votre participation à un projet de recherche parce que nous recrutons des évaluateurs (physiothérapeute ou thérapeute en réadaptation physique) pour mesurer les amplitudes de mouvements d'épaule de patients avec tendinopathie de la coiffe des rotateurs. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent. Si vous acceptez de participer au projet de recherche, vous devrez signer le formulaire de consentement à la fin du présent document et nous vous en remettrons une copie pour vos dossiers.

Ce formulaire d'information et de consentement vous explique le but de ce projet de recherche, les procédures, les risques et inconvénients ainsi que les avantages, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin. Il peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions nécessaires au chercheur responsable du projet ou aux autres personnes affectées au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

NATURE ET OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

La tendinopathie de l'épaule, qui fait partie des troubles musculo-squelettiques, est la plainte la plus courante dans les cliniques orthopédiques. Elle se manifeste par une douleur pouvant s'accompagner d'une raideur articulaire ou d'une restriction de mobilité. Un examen clinique est alors nécessaire pour poser le diagnostic d'un déficit d'amplitude articulaire.

Il n'existe pas d'instruments de mesure d'amplitude de mouvement qui fassent l'unanimité chez les chercheurs et les cliniciens. Des avancées récentes dans le traitement d'image associé à des capacités augmentées des capteurs utilisés dans les appareils de photographie numérique permettent d'envisager une approche de mesure d'amplitude de mouvement novatrice avec des applications cliniques des plus intéressantes notamment dans l'évaluation des amplitudes de mouvements de l'épaule.

Ce projet de recherche a pour buts, premièrement, d'évaluer la validité de critère de ce nouvel instrument de mesure d'amplitude de mouvement articulaire basé sur la photographie numérique de patrons de points par rapport à une mesure étalon et deux autres instruments de mesure (inclinomètre et centrale inertielle) utilisés en clinique. Dans un second temps cette recherche vise à déterminer la fidélité intra et inter-juges de la photographie numérique et de l'inclinomètre en conditions cliniques de mesures auprès de patients atteints de tendinopathie de l'épaule. Deux évaluateurs seront nécessaires pour faire les mesures d'amplitude des 22 participants de la phase II du projet.

DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

Votre participation à cette recherche :

- Se déroulera à la Clinique Universitaire de Réadaptation de l'Estrie - CURE.
- Consistera à évaluer les amplitudes de mouvement de l'épaule de 22 patients souffrant de tendinopathie de la coiffe des rotateurs à l'aide de deux systèmes de mesure constitués de l'application gyroscope de l'iPod et d'un appareil photo numérique combiné à des patrons de points. Vous demanderez aux participants d'exécuter les mouvements de flexion, d'extension, d'abduction et de rotation externe de l'épaule jusqu'en fin d'amplitude articulaire disponible sans dépasser 1/10 de douleur et de garder cette position. Chaque mouvement sera mesuré à deux reprises. Lorsque nécessaire, du feedback sera donné aux participants s'il y a compensation. Vous prendrez alors la mesure avec l'iPod et l'appareil photo et l'annoncera à un observateur qui la notera sur la feuille prévue à cet effet.

Une prise de mesure se déroulera comme suit :

- Début : position neutre du bras du participant.
 - Prise de la photo initiale des patrons de points.
 - Lecture initiale des mesures de l'IPod (Roll, Pitch, Yaw).
 - L'évaluateur indique au patient le mouvement à faire.
 - Position finale du bras (amplitude maximale sans dépasser 1/10 de la douleur).
 - Prise de la photo finale des patrons de points.
 - Lecture des mesures finales de l'IPod.
 - Fin de l'essai.
- Nécessitera 6 séances de prises de mesure et pour chaque séance vous aurez à évaluer 4 participants. Environ 30 minutes seront nécessaires pour évaluer un participant.

Avant le début de la collecte de données, vous recevrez une formation sur la manipulation des deux systèmes de mesures. La durée de votre participation sera d'environ 6 semaines.

RISQUES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Cette étude ne comporte pas de risque particulier.

INCONVÉNIENTS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Votre participation à la recherche ne devrait pas comporter d'inconvénients si ce n'est le fait de donner de votre temps.

AVANTAGES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Vous ne retirerez aucun bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche. Toutefois, les résultats obtenus pourraient contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine de l'évaluation des amplitudes articulaires.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET POSSIBILITÉ DE RETRAIT DU PROJET DE RECHERCHE

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision au chercheur responsable du projet ou à l'un de ses assistants.

ARRÊT DU PROJET DE RECHERCHE

Le chercheur responsable de l'étude, l'organisme subventionnaire (**ou** le commanditaire) et le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS peuvent mettre fin à votre participation, sans votre consentement, pour les raisons suivantes :

- Si le chercheur responsable du projet pense que cela est dans votre meilleur intérêt;
- Si vous ne respectez pas les consignes du projet de recherche;

- S'il existe des raisons administratives d'abandonner l'étude.

CONFIDENTIALITÉ

Durant votre participation à ce projet, le chercheur responsable ainsi que son personnel recueilleront et consigneront dans un dossier de recherche les renseignements vous concernant. Seuls les renseignements nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet seront recueillis.

Tous les renseignements recueillis demeureront strictement confidentiels dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité des renseignements, vous ne serez identifié que par un numéro de code. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservée par le chercheur responsable du projet de manière sécuritaire.

Les données en elles-mêmes ou combinées aux données provenant d'autres projets, pourront être partagées avec les organismes réglementaires canadiens ou d'autres pays ou avec les partenaires commerciaux du commanditaire. Ce transfert d'information implique que vos données pourraient être transmises dans d'autres pays que le Canada. Cependant, le commanditaire respectera les règles de confidentialité en vigueur au Québec et au Canada, et ce, dans tous les pays. Ces données seront conservées pendant 25 ans par le chercheur responsable et le commanditaire.

De plus, les données du projet pourraient servir à obtenir l'approbation de mise en marché du médicament à l'essai par les organismes réglementaires autorisés. Elles pourraient aussi servir pour d'autres analyses de données reliées au projet ou pour l'élaboration de projets de recherches futurs.

Les données pourront être publiées dans des revues spécialisées ou faire l'objet de discussions scientifiques mais il ne sera pas possible d'identifier les participants.

À des fins de surveillance et de contrôle, votre dossier de recherche ainsi que vos dossiers médicaux pourront être consultés par une personne mandatée par le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS ou par l'établissement, par une personne mandatée par des organismes publiques autorisés ainsi que par des représentants du commanditaire. Toutes ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

À des fins de protection, notamment afin de pouvoir communiquer avec vous rapidement, vos noms et prénoms, vos coordonnées et la date de début et de fin de votre participation au projet seront conservés pendant un an après la fin du projet dans un répertoire sécurisé maintenu par le chercheur.

Vous avez le droit de consulter votre dossier de recherche pour vérifier les renseignements recueillis, et les faire rectifier au besoin et ce, aussi longtemps que le chercheur responsable du projet ou le CHUS détiennent ces informations. Cependant, afin de préserver l'intégrité scientifique du projet, vous pourriez n'avoir accès à certaines de ces informations qu'une fois le projet terminé.

COMPENSATION

Vous recevrez un montant de 36 \$/heure de participation en compensation des frais encourus et des contraintes subies pendant votre participation à ce projet de recherche.

DROITS DU PARTICIPANT ET INDEMNISATION EN CAS DE PRÉJUDICE

Si vous deviez subir quelque préjudice que ce soit dû à votre participation au projet de recherche, vous recevrez tous les soins et services requis par votre état de santé, sans frais de votre part.

En acceptant de participer à cette étude, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, le commanditaire ou l'établissement où se déroule ce projet de recherche de leurs responsabilités civile et professionnelle.

FINANCEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

Le chercheur a reçu un financement du Centre de Recherche sur le Vieillissement dans le cadre du projet de mémoire de son étudiant.

PERSONNES-RESSOURCES

Si vous avez des questions concernant votre participation au projet de recherche SVP vous référer à l'encadré de la page 1.

Pour toute question concernant vos droits en tant que participant à ce projet de recherche ou si vous avez des plaintes ou des commentaires à formuler vous pouvez communiquer avec le Commissaire aux plaintes et à la qualité des services du CIUSSS de l'Estrie-CHUS au numéro suivant : [REDACTED].

SURVEILLANCE DES ASPECTS ÉTHIQUES

Le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS a approuvé ce projet de recherche et en assure le suivi. De plus, nous nous engageons à lui soumettre pour approbation toute révision et toute modification apportée au protocole de recherche ou au formulaire d'information et de consentement.

Si vous désirez rejoindre l'un des membres de ce comité vous pouvez communiquer avec le Service de soutien à l'éthique de la recherche du CHUS au numéro [REDACTED].

CONSENTEMENT

Je déclare avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement, particulièrement quant à la nature de ma participation au projet de recherche et l'étendue des risques qui en découlent. Je reconnais qu'on m'a expliqué le projet, qu'on a répondu à toutes mes questions et qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre une décision.

Je consens librement et volontairement à participer à ce projet.

OUI NON

Nom du participant <i>(lettres moulées)</i>	Signature du participant	Date
--	--------------------------	------

Nom de la personne qui obtient le consentement <i>(lettres moulées)</i>	Signature de la personne qui obtient le consentement	Date
---	---	------

ENGAGEMENT DU CHERCHEUR

Je certifie qu'on a expliqué au participant les termes du présent formulaire d'information et de consentement, que j'ai répondu aux questions que le participant avait à cet égard et que j'ai clairement indiqué qu'il demeure libre de mettre un terme à sa participation, et ce, sans préjudice.

Je m'engage à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement et à en remettre copie signée au participant.

Nom du chercheur <i>(lettres moulées)</i>	Signature du chercheur	Date
--	------------------------	------

Annexe 5: Questionnaire DASH

Le

QuickDASH

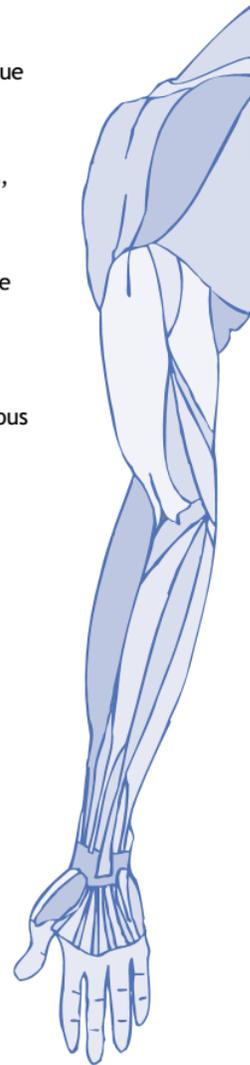
INSTRUCTIONS

Ce questionnaire porte sur vos symptômes ainsi que sur votre capacité à réaliser certaines activités.

En vous basant sur votre condition de la dernière semaine, veuillez répondre à toutes les questions, en encerclant le numéro approprié.

Si vous n'avez pas eu l'occasion de réaliser une activité au cours de la dernière semaine, faites de votre mieux pour choisir la réponse qui serait la plus juste.

Répondez en vous basant sur votre capacité à réaliser la tâche sans vous soucier de comment vous l'effectuez ou de quelle main vous utilisez pour réaliser l'activité.



Questionnaire QuickDASH sur les incapacités reliées à une atteinte aux membres supérieurs

Évaluez votre capacité à faire les activités suivantes au cours de la dernière semaine en encerclant le numéro dans la colonne appropriée. Répondez en vous basant sur votre capacité à réaliser la tâche sans vous soucier de comment vous l'effectuez ou de quelle main vous utilisez pour réaliser l'activité.

	Pas de difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté sévère	Incapable
1. Ouvrir un pot neuf ou fermé serré.	1	2	3	4	5
2. Faire de gros travaux ménagers (ex.: laver les murs, laver les planchers).	1	2	3	4	5
3. Transporter un sac d'épicerie ou un porte-document (valise).	1	2	3	4	5
4. Laver votre dos.	1	2	3	4	5
5. Utiliser un couteau pour couper des aliments.	1	2	3	4	5
6. Activités de loisirs durant lesquelles vous bougez votre bras librement (ex.: jouer au frisbee, au badminton, etc.).	1	2	3	4	5

	Pas du tout	Un peu	Moyennement	Beaucoup	Extrêmement
7. Au cours de la dernière semaine, dans quelle mesure votre problème au bras, à l'épaule ou à la main a-t-il nui à vos activités sociales habituelles avec votre famille, amis, voisins ou groupes? (encercler un chiffre)	1	2	3	4	5

	Pas limité du tout	Légèrement limité	Moyennement limité	Très limité	Incapable
8. Au cours de la dernière semaine, avez-vous été limité dans votre travail ou dans vos autres activités habituelles à cause de votre problème au bras, à l'épaule ou à la main? (encercler un chiffre)	1	2	3	4	5

Évaluez la sévérité des symptômes suivants au cours de la dernière semaine. (encercler un chiffre)

	Aucune	Légère	Modérée	Sévère	Extrême
9. Douleur au bras, à l'épaule ou à la main.	1	2	3	4	5
10. Picotements (fourmillements) au bras, à l'épaule ou à la main.	1	2	3	4	5

	Pas de difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté sévère	Tellement de difficulté que je ne peux pas dormir
11. Au cours de la dernière semaine, dans quelle mesure avez-vous eu de la difficulté à dormir à cause de votre douleur au bras, à l'épaule ou à la main? (encercler un chiffre)	1	2	3	4	5

$$\text{COTATION DU QuickDASH INCAPACITÉ/SYMPTÔME} = \left(\frac{\text{somme des valeurs choisies}}{\text{nombre de questions répondues}} - 1 \right) \times 25$$

Un score du QuickDASH ne peut pas être calculé s'il y a plus qu'une réponse manquante.

© Institute for Work & Health 2006. All rights reserved.

Questionnaire QuickDASH sur les incapacités reliées à une atteinte aux membres supérieurs

MODULE TRAVAIL (OPTIONNEL)

Les questions suivantes portent sur l'impact de votre problème au bras, à l'épaule ou à la main sur votre capacité à travailler (incluant « tenir maison » si cela est votre principale occupation).

Indiquez quel est votre travail même si votre problème au bras, à l'épaule ou à la main vous empêche de le réaliser actuellement : _____

Je n'ai pas de travail. (Ne répondez pas à cette section.)

Encercliez le numéro qui décrit le mieux votre capacité physique au cours de la dernière semaine. Si vous n'avez pas eu l'occasion de réaliser votre travail au cours de la dernière semaine, faites de votre mieux pour choisir la réponse qui serait la plus juste. Avez-vous eu de la difficulté à :

	Pas de difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté sévère	Incapable
1. utiliser la même technique de travail que d'habitude?	1	2	3	4	5
2. faire votre travail habituel à cause de votre douleur au bras, à l'épaule ou à la main?	1	2	3	4	5
3. faire votre travail aussi bien que vous l'auriez voulu?	1	2	3	4	5
4. passer le même nombre d'heures que d'habitude à réaliser votre travail?	1	2	3	4	5

MODULE SPORTS/MUSIQUE (OPTIONNEL)

Les questions suivantes portent sur l'impact de votre problème au bras, à l'épaule ou à la main sur la pratique d'un instrument de musique, d'un sport ou des deux. Si vous pratiquez plus d'un sport ou d'un instrument (ou les deux), répondez en considérant l'activité qui est la plus importante pour vous.

Indiquez le sport ou l'instrument qui est le plus important pour vous peu importe si votre problème au bras, à l'épaule ou à la main vous empêche de le réaliser actuellement : _____

Je ne pratique pas un sport ou un instrument. (Ne répondez pas à cette section.)

Encercliez le numéro qui décrit le mieux votre capacité physique au cours de la dernière semaine. Si vous n'avez pas eu l'occasion de réaliser cette activité au cours de la dernière semaine, faites de votre mieux pour choisir la réponse qui serait la plus juste. Avez-vous eu de la difficulté à :

	Pas de difficulté	Difficulté légère	Difficulté moyenne	Difficulté sévère	Incapable
1. utiliser la même technique que d'habitude pour pratiquer votre instrument ou sport?	1	2	3	4	5
2. pratiquer votre instrument ou sport habituel à cause de la douleur au bras, à l'épaule ou à la main?	1	2	3	4	5
3. pratiquer votre instrument ou sport habituel aussi bien que vous l'auriez voulu?	1	2	3	4	5
4. passer le même nombre d'heures que d'habitude à pratiquer votre instrument ou sport?	1	2	3	4	5

COTATION DES MODULES OPTIONNELS : Additionnez les valeurs encerclées; divisez par 4 (nombre d'items); soustraire 1; multipliez par 25.

Un score au module optionnel ne peut pas être calculé si des items ne sont pas répondus.

© Institute for Work & Health 2006. All rights reserved.

© Institute for Work & Health 2006. All rights reserved.

French Canadian translation courtesy of Durand et al, Université de Sherbrooke, Longueuil, Canada

Annexe 6: Fiche de collecte de données (Phase II)

ABDUCTION				
Levez le bras sur le côté en maintenant la paume de votre main vers l'avant	Position	Appareil Photo	IPod	Douleur (/10)
	Initiale			
	Finale			

FLEXION				
Levez le bras vers l'avant en maintenant le pouce de votre main vers le haut	Position	Appareil Photo	IPod	Douleur (/10)
	Initiale			
	Finale			

ROTATION EXTERNE				
Tournez le bras vers l'extérieur en maintenant la paume de votre main face vers le haut et le coude bien collé au corps	Position	Appareil Photo	IPod	Douleur (/10)
	Initiale			
	Finale			

Annexe 7: Autorisation du Comité d'éthique



Le 04 avril 2016

Pr Patrick Boissy
Orthopédie
CIUSSS de l'Estrie - CHUS

OBJET: Autorisation de réaliser la recherche suivante:

2016-1383

Validité de critère et fidélité d'une nouvelle méthode d'évaluation de l'amplitude de mouvement basée sur la photographie numérique chez des patients avec tendinopathies de la coiffe des rotateurs

Pr Boissy,

Il nous fait plaisir de vous autoriser à réaliser la recherche identifiée en titre au Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de l'Estrie - Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke.

Cette autorisation vous est accordée sur la foi des documents que vous avez déposés auprès de notre établissement, ainsi que sur l'approbation obtenue du CÉR du CHUS qui établit que votre projet de recherche a fait l'objet d'un examen éthique dont le résultat est positif. Si le CÉR vous informe pendant le déroulement de cette recherche d'une décision négative portant sur l'acceptabilité éthique de cette recherche, vous devrez considérer que la présente autorisation de réaliser la recherche dans notre établissement est, de ce fait, révoquée à la date que porte l'avis du CÉR.

Cette autorisation vous permet de réaliser la recherche au CSSS-IUGS, à l'Hôtel-Dieu de Sherbrooke et à l'Hôpital Fleurimont.

Cette autorisation de réaliser la recherche suppose également que vous vous engagez :

1. à vous conformer aux demandes du CÉR évaluateur, notamment pour le suivi éthique continu de la recherche;
2. à rendre compte au CÉR évaluateur et au signataire de la présente autorisation du déroulement du projet, des actes de votre équipe de recherche, s'il en est une, ainsi que du respect des règles de l'éthique de la recherche;
3. à respecter les moyens relatifs au suivi continu qui ont été fixés par le CÉR évaluateur;
4. à conserver les dossiers de recherche pendant la période fixée par le CÉR évaluateur, après la fin du projet, afin de permettre leur éventuelle vérification;
5. à respecter les normes administratives en vigueur dans l'établissement

La présente autorisation peut être suspendue ou révoquée par notre établissement en cas de non-respect des conditions établies. Le CÉR évaluateur en sera alors informé.

Vous consentez également à ce que notre établissement communique aux autorités compétentes des renseignements personnels qui sont nominatifs au sens de la loi en présence d'un cas avéré de manquement à la conduite responsable en recherche de votre part lors de la réalisation de cette recherche.

Nous vous invitons à entrer en communication avec nous pendant le déroulement de cette recherche dans notre établissement, si besoin est. Vous pouvez aussi solliciter l'appui de notre CÉR en vous adressant à Mme Caroline Francoeur, poste 13473, pour obtenir les conseils et le soutien voulu.

Vous souhaitant tout le succès escompté dans le déroulement de cette étude, nous vous prions d'agréer l'expression de nos sentiments les meilleurs.



Sylvain Bernier, M.A.P., Ph.D.
Directeur administratif de la recherche
Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux
de l'Estrie - Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke