



Université Lille 2
Droit et Santé

UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE - LILLE 2
FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG

Année : 2012

**THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE**

**Le LOCOMETRE® : Analyse des paramètres spatio-temporels de la
marche.**

Présentée et soutenue publiquement le 19 Novembre 2012

au Pôle Formation de la Faculté

Par *François Legrain*

Jury

Président : Monsieur le Professeur André THEVENON

Assesseurs : Monsieur le Professeur François PUISIEUX

Monsieur le Professeur Luc DEFEBVRE

Madame le Docteur Vinciane PARDESSUS

Directeur de Thèse : Monsieur le Docteur Cédric GAXATTE

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION

1.1 Epidémiologie de la chute

1.2 La marche

1.2.1 Définitions

1.2.2 Neurophysiologie de la marche

1.2.3 Définitions et cycle de marche

1.2.4 Paramètres de la marche

1.2.5 Evaluation détaillée de la marche

1.2.6 Troubles de la marche

a. Classification

b. Troubles de la marche et chutes

c. Rééducation des troubles de la marche

1.2.7 Modification de la marche avec l'âge

1.2.8 Indication d'un bilan de marche

2. PATIENTS ET METHODE

2.1 Objectifs de l'étude

2.2 Déroulement de la consultation de la chute

2.3 Locomètre

2.4 Données à 6 mois

3. RESULTATS

- 3.1 Analyse comparative des paramètres de marche entre les patients ayant un trouble de la marche et les patients ayant une marche « normale ou sénile »
- 3.2 Analyse spécifique des paramètres de marche
- 3.3 Analyse spécifique des paramètres de marche chez les patients ayant une marche sénile ou normale
- 3.4 Analyse spécifique des paramètres de marche : devenir à 6 mois (ensemble de la population)
- 3.5 Analyse spécifique des paramètres de marche : devenir à 6 mois (patients ayant une marche normale ou une marche sénile)

4. DISCUSSION

- 4.1 Principaux résultats
- 4.2 Facteurs influençant les paramètres de marche
- 4.3 Paramètres de marche et risque de chute
- 4.4 Limites
- 4.5 Autres techniques d'analyse de marche

5. CONCLUSION

6. BIBLIOGRAPHIE

7. ANNEXES

1. INTRODUCTION

1.1 Epidémiologie de la chute

Les chutes chez la personne âgée représentent un important problème de santé publique et sont associées à une augmentation de la morbi-mortalité. Elles favorisent également les admissions en institution (Dolinak, 2008).

Un tiers des personnes âgées à domicile et la moitié des personnes âgées institutionnalisées chutent chaque année. L'incidence est 1,5 fois plus grande chez la femme que chez l'homme.

Par ailleurs, l'incidence des chutes augmente avec l'âge, passant de 9% par an chez les 50-59 ans à 38% par an chez les plus de 80 ans (Dolinak, 2008).

Plus de 80% des chutes sont sans gravité, mais 5% à 10 % des chutes sont responsables de traumatismes crâniens ou de plaies cutanées, et dans 5% des cas, de fractures (Dolinak, 2008). Ainsi, 95 % des fractures de hanche, 97% des fractures de l'humérus et 100% des fractures du poignet sont la conséquence d'une chute.

Les chutes sont la conséquence, la plupart du temps, de l'interaction de plusieurs facteurs.

Les facteurs de risque de chute identifiés chez la personne âgée peuvent être divisés en plusieurs catégories (HAS, 2005 ; American Geriatric Society, 2001) :

- les facteurs précipitants :

- Age > 80 ans
- Santé et état fonctionnel : difficulté dans les activités de la vie quotidienne et mobilité réduite
- Antécédents de chute
- Peur de tomber
- Pathologies spécifiques : Maladie de Parkinson, démence, dépression, arthrose, incontinence
- Troubles locomoteurs et neuromusculaires : diminution de la force musculaire, troubles posturaux, troubles de l'équilibre
- Baisse de l'acuité visuelle
- Prise de médicaments : polymédication (> à 4 médicaments), psychotropes

- les facteurs prédisposants :

- Comportementaux : consommation d'alcool, sédentarité, malnutrition
- Environnementaux : utilisation d'une aide technique, habitat mal adapté
- Lipothymies, syncopes (hypo TA orthostatique...)

1.2 La Marche

1.2.1 Définitions

La marche est le mode de locomotion naturel de l'Homme, lui permettant de combiner le maintien de l'équilibre debout et la propulsion (Gasq, 2009). Elle est un phénomène complexe qui met en jeu le corps tout entier. Cependant, la marche reste parfois fonctionnellement précaire : asymétrique, inesthétique, fatigante, peu sécurisante avec un risque de chute accru.

En effet, la sécurité du mouvement est un facteur indispensable à la répétition de ce mouvement, elle est un facteur motivant psychologiquement. Sa perte ou son altération est responsable de troubles fonctionnels et psychoaffectifs (notion de handicap).

Elle met en jeu des processus complexes. La marche est une activité automatique nécessitant le maintien d'un équilibre dynamique ainsi qu'une organisation motrice hiérarchisée et synchronisée.

1.2.2 Neurophysiologie de la marche

La marche correspond à une activation musculaire cyclique, automatique et coordonnée, pouvant être modulée par le contrôle volontaire notamment lors de

situations de changement de direction ou d'augmentation/réduction de la vitesse de marche.

La marche suppose un contrôle postural dynamique efficient : un sujet ne pouvant maintenir une position érigée stable sera dans l'incapacité de marcher sans aide technique. Le contrôle postural est assuré par la mise en jeu du système proprioceptif, du système vestibulaire, du système visuel et du système cérébelleux.

Les différentes activations des muscles des membres inférieurs sont sous le contrôle du générateur spinal de marche ; celui-ci étant lui-même contrôlé par les structures supra-segmentaires du système nerveux central. Il correspond à un regroupement de neurones en réseau, localisé au niveau lombaire et présentant une activité électrique rythmique spontanée. Le générateur spinal de marche assure l'activation cyclique et coordonnée des différents muscles pour obtenir une marche efficiente.

Le générateur spinal de marche n'est pas l'unique élément permettant la commande de la marche. On retiendra, de manière simplifiée, l'implication des aires locomotrices supra-spinales, des noyaux de la base (striatum ventral), du cortex associatif fronto-pariétal et du cervelet.

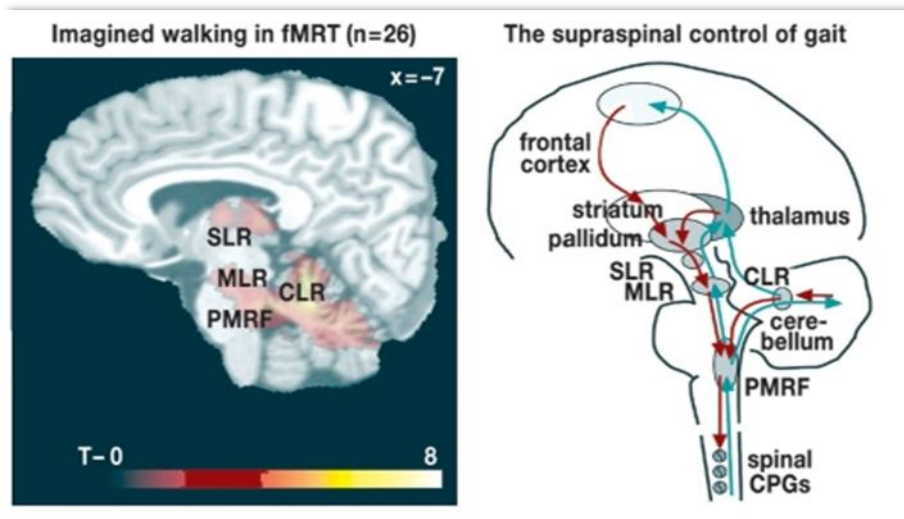


Figure 1: Principales structures impliquées dans l'organisation de la marche (Kemoun, 2012)

1.2.3. Définition et Cycle de marche (Gasq, 2009)

La marche met en jeu de manière combinée et alternée, les deux membres inférieurs. Elle est caractérisée par une succession de phases de doubles appuis et d'appuis unipodaux, le corps restant en permanence en contact avec le sol par au moins un appui unilatéral, ce qui différencie la marche de la course (Gasq, 2009).

La description du cycle de marche est codifiée sur le plan international et constitue la base de la description d'une marche normale ou pathologique. Le cycle de marche de chaque membre inférieur comprend une phase d'appui et une phase oscillante.

Un cycle de marche, pour un membre, est défini comme la durée qui va de la survenue d'un événement particulier, habituellement le contact du pied, jusqu'à la prochaine apparition du même événement sur le même membre (par exemple, du contact du pied gauche au prochain contact du même pied). Nous utilisons ici le terme contact du pied (foot contact) et non contact du talon (heel contact) car, dans certaines pathologies, d'autres parties du pied, comme les orteils, peuvent entrer en contact avec le sol en premier. Le cycle de marche a sa propre durée mais celle-ci peut être un paramètre important en soi. Le cycle de marche est habituellement normalisé de sorte que le contact initial du pied représente 0% (début du cycle de marche) et que le contact suivant du même pied, 100% (fin du cycle de marche).

On distingue deux phases différentes :

- La **phase d'appui** qui correspond à la période où le pied est en contact avec le sol. Le début correspond au contact initial (contact pied/sol) et la fin correspond au décollement des orteils (perte du contact). Elle s'étend de 0% à 60% du cycle de marche.

La phase de mise en charge (période de 0% à 10% du cycle de marche) débute lorsque le pied droit entre en contact avec le sol (0% à 2%) alors que le membre inférieur gauche touche encore le sol et correspond donc au premier appui bipodal. Son rôle est de transférer le poids du corps vers la jambe en phase d'appui, d'absorber les chocs et de conserver la vitesse de marche tout en maintenant l'équilibre (Perry, 1993).

La phase de milieu d'appui (période de 10% à 30% du cycle de marche) permet au corps d'avancer au-dessus du pied en appui et se termine quand le centre de masse du corps est aligné avec l'avant pied. C'est la première moitié de l'appui unipodal.

La phase de fin d'appui (période de 30% à 50% du cycle de marche) correspond à la deuxième moitié de l'appui unipodal. Le centre de masse du corps passe en avant de l'appui. La phase se termine au contact du pied opposé avec le sol.

La phase pré-oscillante (période de 50% à 60% du cycle de marche). Cette phase correspond au deuxième appui bipodal. Son rôle est de propulser le corps vers l'avant avec le transfert de poids vers la jambe en phase d'appui.

- La **phase oscillante** où le pied n'est plus en contact avec le sol et qui permet l'avancée du membre inférieur. Le début correspond au décolllement des orteils et la fin au contact initial suivant du même pied. Elle s'étend de 60% à 100% du cycle de marche.

La phase de début d'oscillation (période de 60% à 73% du cycle de marche) correspond au premier tiers de la phase oscillante. Elle se termine quand le pied droit passe à côté du pied gauche. Le rôle de cette phase et des deux suivantes est de permettre l'avancée du membre oscillant sans qu'il ait de contact avec le sol.

La phase de milieu d'oscillation (période de 73% à 86% du cycle de marche) correspond au deuxième tiers de la phase oscillante. Elle se termine quand la jambe est verticale.

La phase de fin d'oscillation (période de 86 à 100% du cycle de marche) correspond au troisième tiers de la phase oscillante. Elle se termine lorsque le pied droit entre à nouveau en contact avec le sol.

Le cycle de marche complet comporte donc deux phases de double appui (correspond à 20% du cycle), une phase d'appui unipodal (correspond à 40% du cycle) et une phase oscillante (correspond à 40% du cycle).

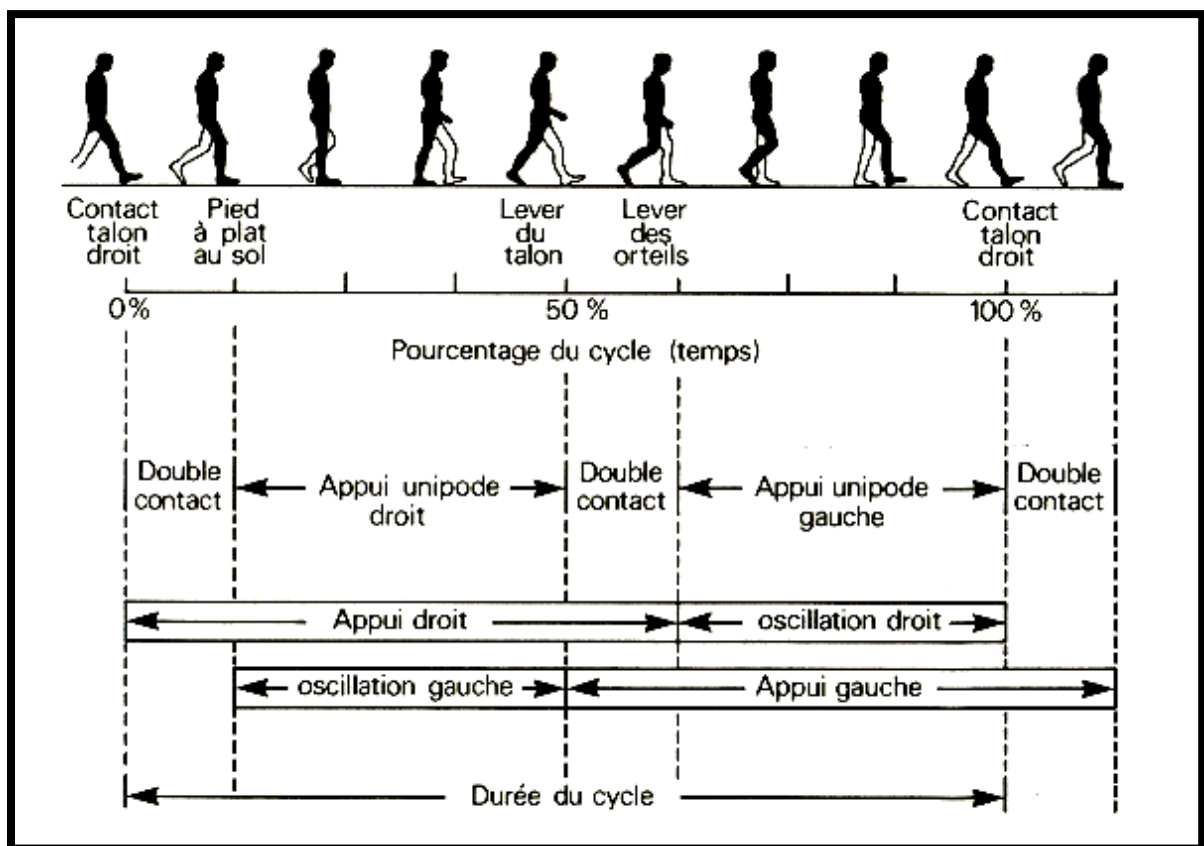


Figure 2: Le cycle de marche et ses différentes phases (Viel, 2000).

Les avancées réalisées par les cliniciens et chercheurs dans la description et la compréhension de la marche « normale » ont permis de se pencher sur la marche « pathologique » dans l'espoir de mieux la comprendre et de corriger ses effets. Les études dont l'intérêt se porte sur les modifications du cycle avec l'âge (Whittle, 2002; Mills, 2001), sur l'analyse de la variabilité de la marche de chaque individu (Stolze, 1998), ou sur le développement de techniques informatisées de la marche sont toutes essentielles pour comprendre les caractéristiques spécifiques de la marche.

1.2.3 Paramètres de la marche

Plusieurs paramètres ont été proposés pour caractériser la marche, c'est-à-dire son déroulement dans le temps et dans l'espace.

Les principaux paramètres spatiaux sont :

- Le pas correspond à la progression vers l'avant du pied oscillant par rapport au pied portant.

On peut définir :

- La longueur du pas : distance (en mètres) de progression vers l'avant du pied oscillant par rapport à l'autre. Autrement

dit, la longueur du pas gauche correspond à la distance séparant les deux talons lors du temps du double appui de réception gauche. La longueur du pas est utilisée comme outil de dépistage concernant le risque de chute (Kirkwood, 2010).

- La largeur du pas: distance (en mètres) entre l'axe de progression et la partie médiane du talon.
 - L'angle de pas (en degrés) : correspond à l'angle ouvert en avant formé entre l'axe de progression et l'axe du pied.
-
- L'enjambée correspond à 2 pas, c'est-à-dire à la distance (en mètres) entre deux contacts au sol du même membre inférieur. Cette longueur étant corrélée à la longueur des membres inférieurs, elle augmente progressivement avec la croissance de l'enfant. Chez des sujets jeunes, la longueur de l'enjambée (de talon à talon) est nettement supérieure à 1 mètre. Plus tard dans la vie, le vieillissement des articulations et les inconforts qui en résultent ont pour conséquence une réduction de la longueur du pas, et donc de l'enjambée, et une accélération de fréquence pour conserver la même vitesse de déplacement.

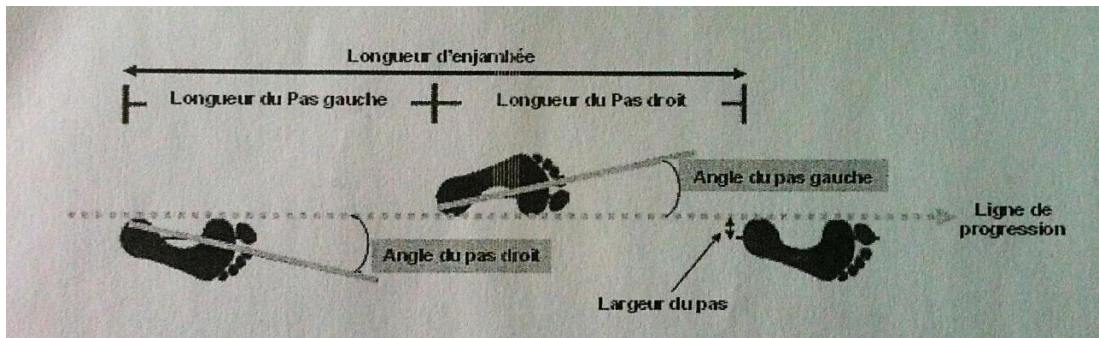


Figure 3: Principaux paramètres spatiaux du cycle de marche

Les principaux paramètres temporels sont :

- La cadence de marche : correspond au nombre de pas par minute.
- La vitesse de marche (en mètres par seconde) : déterminée par une relation mathématique entre la cadence de marche (enjambées/min) et la longueur d'enjambée (mètres). Celle-ci est la suivante :

$$\text{Vitesse de marche (m/s)} = (\text{Longueur d'enjambée} \times \text{cadence}) / 120$$

Une autre manière de déterminer la vitesse de marche est de chronométrer le temps mis par le sujet pour parcourir une distance donnée.

-
-
- Le temps d'appui bipodal (en secondes) correspond à la durée moyenne des temps de double appui lors du cycle de marche. Il peut également être exprimé en % du cycle de marche.
 - Le temps d'appui unipodal (en seconde ou en % du cycle de marche) correspond à la durée moyenne du temps d'appui unipodal lors d'un cycle de marche droit ou gauche. Le temps d'appui unipodal d'un côté correspond au temps oscillant controlatéral.
 - En l'absence de pathologie, la marche est dite « symétrique » en termes de paramètres spatio-temporels, chez l'homme comme chez la femme, chez le sujet jeune comme chez la personne âgée.

1.2.4 Evaluation détaillée de la marche

De nombreux dispositifs permettent l'étude de la marche sous ses différents aspects, complétant l'observation de la marche par l'œil humain. Les dispositifs d'analyse les plus répandus actuellement peuvent être classés selon la nature des informations fournies :

- Mesure des variables spatio-temporelles (longueur d'enjambée / durée / cadence / vitesse de marche / variabilité de la marche / variabilité de la longueur d'enjambée / symétrie du pas)

-
-
- Analyse du mouvement
 - Analyse des forces
 - Analyse de l'activité musculaire (électromyographie)
 - Analyse de l'appui plantaire (podoscopes électroniques)

La mesure des paramètres spatio-temporels a été développée par Marey dès la fin du siècle dernier avec le chronographe. Ce système a permis à Marey d'étudier les phases d'oscillations et d'appuis au cours de la marche dans les escaliers ou pendant la course. Ce même principe d'enregistrement des appuis au sol a été repris plus récemment dans de nombreux dispositifs plus ou moins automatisés.

Les dispositifs de mesures actuels permettent d'obtenir certains ou l'ensemble des paramètres spatio-temporels du cycle de marche :

- Le chronométrage du sujet sur une distance donnée permet d'obtenir la vitesse de marche. La consigne donnée au sujet (ex : « marchez lentement », « marchez à votre rythme habituel », « marchez rapidement ») est très importante puisqu'elle détermine l'allure. On distingue essentiellement la vitesse spontanée et la vitesse maximale.

-
-
- Les systèmes baropodométriques par capteurs plantaires: il s'agit de semelles embarquées dans les chaussures, constituées d'un nombre important de capteurs qui donnent des informations précises sur le profil des pressions plantaires durant les phases d'appui. Ils ne donnent pas la longueur du pas ni la largeur. Ils permettent de caractériser des anomalies podologiques et d'orienter la confection d'orthèses plantaires. Les principaux dispositifs sont F-Scan®, Footscan® et Emed®.
 - Les systèmes filaires (Locomètre®/Walkmeter®) : l'avant ou l'arrière du pied du patient est relié par un fil à un enregistreur de mouvement pendant une dizaine de mètres de marche. Ce système donne l'ensemble des paramètres spatio-temporels de la marche (cadence de marche, longueur du pas, régularité du pas, vitesse de marche) à l'exception de la largeur du pas. (Annexe 7)
 - Les tapis ou piste de marche : Ils permettent l'analyse de l'ensemble des paramètres spatio-temporels du cycle de marche, y compris la largeur du pas. Le tapis de marche le plus utilisé, à l'heure actuelle, est probablement le système GAIT-Rite®. Ce système correspond à un tapis de marche dans lequel sont disposés de très nombreux capteurs de force (mesure des pressions plantaires).

-
-
- L'accéléromètre tri-axial : Cette méthode d'évaluation est basée sur l'utilisation d'accéléromètres, pour détecter respectivement les accélérations linéaires, angulaires et les inclinaisons, en différents points du corps.
 - L'analyse optocinétique, ou 3D: Cette technique est apparue plus récemment dans les laboratoires d'analyse du mouvement et associe plusieurs systèmes d'acquisition : le dispositif d'analyse cinématique composé de 6 caméras infrarouges, les plates-formes de force placées dans le sol et l'électromyogramme qui renseigne sur l'activité musculaire. Les principaux dispositifs sont Vicon®, Motion Analysis® et Elite®.

« Les résultats des études montrent dans l'ensemble que les mesures informatisées des paramètres temporo-spatiaux de la marche ont une bonne reproductibilité. Toutefois, une attention particulière doit être apportée dans l'évaluation des paramètres points/zones d'appui et angles d'ouverture du/des pieds, dont la reproductibilité est moindre. Ainsi, dans les cas où une analyse plus affinée de ces paramètres est nécessaire, le recours à d'autres méthodes pourrait être préconisé. À vitesse lente, la reproductibilité de l'ensemble des paramètres est également moindre, ce qui est à prendre en considération pour les patients jeunes, les patients âgés et les patients ayant des anomalies de la marche importantes. » (HAS 2006)

1.2.5 Troubles de la marche

On parle de trouble de la marche lorsqu'un individu marche plus lentement que les autres individus au même âge (« normes »), ou lorsqu'il présente une ou plusieurs anomalies qualitatives de locomotion, comme un trouble de l'initiation de la marche, un trouble de l'équilibre dynamique (Jahn, 2010). Le diagnostic d'un trouble de la marche repose avant tout sur une analyse séméiologique fine. Mais indépendamment d'un trouble de la marche évident, plusieurs paramètres de marche se modifient avec l'âge. La vitesse de marche spontanée diminue normalement d'environ 1% par an à partir de 60 ans (Jahn, 2010), et le déclin observé de la vitesse de marche maximale est encore plus important. La prévalence des troubles de la marche est estimée à 35% chez les personnes de plus de 70 ans (Verghese, 2006).

Les différences entre marche normale et marche pathologique aident à comprendre les processus de la marche. La marche pathologique se caractérise presque toujours par une réduction de la longueur du pas, régulièrement associée à une augmentation de la durée de double appui : le maintien de l'équilibre postural primerait sur la vitesse de progression chez les individus ayant une marche pathologique, comme d'ailleurs chez les personnes âgées (Gouelle, 2012).

a. Classification

Les troubles de la marche constituent un facteur de risque de chute indépendant, traduisant volontiers une ou plusieurs pathologies sous-jacentes (neurologiques, rhumatologiques ...) (Paragas, 2000). Les troubles de la marche peuvent être classés en fonction de leur description séméiologique ou en fonction de leur déficit. Plusieurs auteurs ont proposé des classifications des troubles de la marche.

La classification des troubles de la marche proposée par Nutt et Marsden (Nutt, 1993) classe les troubles de la marche en fonctions des perturbations pouvant affecter les niveaux supérieur, intermédiaire ou inférieur. Dans ce schéma, les perturbations du niveau inférieur impliquent les organes périphériques de la locomotion (par exemple, l'arthrose, une myopathie, une polyneuropathie) ; les perturbations du niveau intermédiaire concernent les voies efférentes et afférentes sensori-motrices du système nerveux central (par exemple, une hémiparésie après un AVC, un syndrome extrapyramidal ou une incoordination due à un dysfonctionnement du cervelet), et les perturbations du plus haut niveau impliquent un déficit du contrôle cortical de la marche. Cette classification à trois niveaux ne fournit qu'une aide limitée en pratique clinique.

La classification d'Alexander et Goldberg (Alexander et Goldberg, 2005) (Annexe 1) est très utilisée en pratique pour caractériser les troubles de la marche. Dans cette classification, on distingue 3 niveaux de déficit sensitivo-moteur.

Le niveau 1 « *faible* » qui regroupe,

- La **marche ataxique sensitive** (atteinte du système vestibulaire, des voies de la sensibilité profonde et des nerfs périphériques) : marche instable, talonnante, non coordonnée surtout à l'occlusion des yeux ;
- La **marche douloureuse** due à l'arthrose. C'est un individu qui boite et qui esquive le pas ;
- La **marche déficitaire périphérique due à une myopathie ou à une neuropathie**. C'est la marche déficitaire avec des signes d'atteinte musculaire, démarche dandinante ou marche déficitaire avec signes neurogènes périphériques (claudication radiculaire du canal lombaire étroit ou steppage unilatéral par compression du nerf péronier ou steppage bilatéral dans le cadre de polyneuropathie).

Le niveau 2 « *Modéré* » qui regroupe,

- La **marche de l'hémiplégique et de l'hémiparétique**. C'est une démarche avec spasticité et fauchage du membre inférieur. Il y a frottement du bord externe du pied et de la pointe contre le sol. Le membre inférieur décrit un arc de cercle à concavité interne ;
- La **marche du paraplégique et du paraparétique**. L'hypertonie pyramidale fixe en extension les membres inférieurs qui sont posés alternativement en avant par une inclinaison de rotation du tronc du côté opposé (c'est une démarche de gallinacé). Parfois l'adduction des cuisses

entraîne à chaque pas un croisement des membres inférieurs (c'est la démarche en ciseaux) ;

- **La marche parkinsonienne.** La marche du syndrome parkinsonien est caractérisée par un syndrome parkinsonien associé à des perturbations de la marche très souvent associées à des troubles de l'équilibre. Tout d'abord, il existe un retard à l'initiation de la marche. Ensuite, le pas est raccourci et traînant. La cadence de marche est irrégulière. En effet, il existe des accélérations soudaines de la cadence de marche appelées festinations pouvant être responsables de chutes. Le polygone de sustentation n'est pas élargi.

Le freezing correspond à une interruption brutale de la marche avec piétinement, de survenue spontanée ou provoquée par un stimulus visuel (par exemple, le franchissement d'un obstacle) et se rencontre dans cette pathologie.

On observe également une perte du balancement d'un ou des membres supérieurs ainsi qu'un demi-tour décomposé.

Les autres causes de marche à petits pas sont l'hydrocéphalie à pression normale et le syndrome pseudo-bulbaire. La marche à petits pas se rencontre également dans la « démarche sénile ».

- **La marche ataxique cérébelleuse.** Marche ébrieuse, faite d'embardees. En station debout, il existe des oscillations et un élargissement du polygone de sustentation.

Le niveau 3 « *Haut* » qui regroupe,

- **La marche sénile.** L'attitude du sujet est caractérisée par une flexion de la tête, du tronc et des membres. La marche est précautionneuse, caractérisée par une vitesse diminuée, un raccourcissement de la longueur du pas et de l'enjambée, une réduction des amplitudes de mouvements de cheville, genoux, et hanches, ainsi qu'une moindre dissociation des ceintures et du ballant du bras, une diminution de la hauteur du pas (pas rasants voire traînants), une augmentation de la largeur du pas, une augmentation de l'angle du pas, ainsi que par une augmentation des temps d'appuis bipodaux. La cadence du pas est longtemps stable et régulière. La peur de tomber joue un rôle important.
- **La marche frontale.** Difficulté à initier le mouvement, petits pas traînants, polygone de sustentation élargi. Les membres inférieurs s'entrecroisent avec piétinement sur place.

Les autres types de marche de cette classification regroupent,

- **Les marches non étiquetées,**
- **La marche normale,**
- **La marche impossible.**

Si les outils d'analyse de marche peuvent aider au diagnostic d'un trouble de la marche, les médecins expérimentés sont capables de classer correctement les troubles de la marche par la simple observation. Certains auteurs préfèrent classer les troubles de la marche sur la base de l'observation clinique, tels que proposés par Snijders et al. (Annexe 2), car une telle classification est plus facile à appliquer en pratique.

Les facteurs favorisant les troubles de la marche, indépendamment des classifications, sont multiples ; on peut citer notamment l'anxiété, la dépression, la consommation d'alcool, la prise de psychotropes, le déclin cognitif, etc.

De nombreuses maladies neurologiques s'accompagnent de troubles de la marche. Ainsi, dans les démences de type Alzheimer, la prévalence des troubles de la marche et l'équilibre est estimée entre 9% et 52% (Manckoundia, 2008), cette variabilité traduisant possiblement des stades différents de la maladie, ou des outils différents d'évaluation. Les troubles de la marche, apparaissent avec une prévalence de plus de 71% dans la démence vasculaire, et semblent être un indicateur précoce de cette démence dans laquelle marche frontale, hémiparétique et une marche instable sont souvent décrites. Les troubles de la marche (et les chutes) sont également fréquents dans la démence à corps de Lewy, la démence de la maladie Parkinson, la démence associée à la paralysie supra-nucléaire progressive (PSP), l'atrophie multisystématisée (AMS). L'équilibre et l'évaluation de la marche chez le sujet dément sont basés en pratique, essentiellement, sur l'analyse de la vitesse de

marche, le Timed-Up-and-Go et les tests de double tâche (interaction réciproque de la fonction cognitive et de la marche).

b. Troubles de la marche et chutes

Depuis 1979 (Imms et Edhom, 1979), il est suggéré que la variabilité de certains paramètres du cycle de marche pourrait être associée aux chutes chez les personnes âgées. La variabilité de la longueur du pas et d'enjambée chez le patient chuteur était déjà signalée en 1980 (Guimaraes et Isaacs, 1980). Plusieurs auteurs ont montré que l'asymétrie du pas était également un bon indicateur du risque de chute (Blanc, 1999 ; Dewar et Judge, 1980 ; Giakas et Baltzopoulos, 1997).

Nayak et Gabell ont établi que la variabilité anormale des paramètres spatio-temporels chez l'adulte âgé peut être considéré comme pathologique (Gabell, 1984). La variabilité des paramètres de la marche est désormais utilisée comme facteur prédictif des chutes (Hausdorff, 2007). Il semble également exister un risque de chute accrue lié à une variabilité du temps de rotation lors des demi-tours (Auvinet, 1997).

La longueur du pas ou de l'enjambée et la fréquence ne sont pas reconnues comme pertinentes pour prédire le risque de chutes selon certains auteurs (Auvinet, 1997). Les données concernant la vitesse de marche sont encore discutées. Pour certains auteurs, la vitesse de marche n'influence pas le risque de chute, alors qu'elle

constitue un facteur pronostique de déclin fonctionnel et de chute pour d'autres (Viccaro, 2011).

Les épreuves en double tâche sont particulièrement pertinentes pour l'analyse de la marche. Parfois, un trouble de la marche n'est détecté qu'à l'aide d'épreuves en double tâche (stop walking when talking test, ...) ; un trouble de la marche dans les épreuves en double tâche qui traduit un trouble dysexécutif, s'accompagne volontiers d'un déclin cognitif, et est associée fréquemment à la survenue de chutes (Toulotte, 2006). Cela se manifeste volontiers par une diminution de l'allure et un raccourcissement de la longueur du pas entraînant une altération de la stabilité de la marche (Kemoun, 2012). Le risque de tomber est d'autant plus important quand ces patients ont peur de tomber.

c. Rééducation des troubles de la marche

L'analyse de la marche permet de guider la prise en charge rééducative, de déterminer les techniques les plus adéquates visant à prévenir ou corriger le schéma de marche altéré, le but étant de rendre la marche la plus fonctionnelle possible : sûre, harmonieuse, avec un minimum d'aides techniques, peu fatigante et dans une moindre mesure la plus esthétique possible.

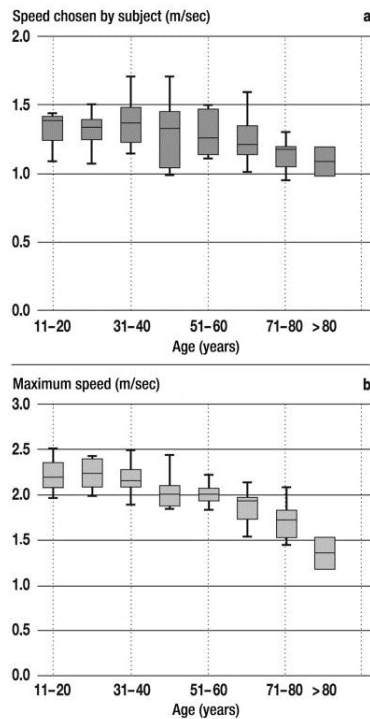


Figure 4: Modification de la vitesse de marche en fonction de l'âge (Jahn et al, 2010. Gait Disturbances in Old Age)

1.2.6 Modification de la marche avec l'âge

Les modifications des paramètres de marche peuvent se produire dans le cadre du processus naturel du vieillissement, s'accompagnant volontiers d'un risque accru de chute (Melissa, 2005). La réduction de la vitesse de marche est le principal changement lié à l'âge selon certains auteurs (Bohannon, 1997; D'Angeli-Chevassut & Gaviria, 1994; Hageman & Blanke, 1986; Larish et al, 1987; Maki, 1997; Nigg et al, 1994). Cependant, des résultats contradictoires ont été publiés. Dahlstedt (1977) a examiné 15 articles concernant la vitesse de

marche chez l'adulte et a trouvé des vitesses de marche allant de 1,3 à 1,5 m/s pour les femmes âgées et de 1,3 à 1,6 m/s pour les hommes âgés. La réduction de la vitesse de marche commencerait à l'âge de 60 ans (Costes-Salmon, 1999) ou 70 ans (Judge, 1996). La réduction de la vitesse de marche serait de 0.1% à 0.7% par an (Oberge, 1993). Cette baisse de la vitesse de marche peut atteindre un taux de 12% à 16% après 70 ans (Judge, 2010).

Certains auteurs rapportent une réduction de la vitesse de marche chez le patient âgé chuteur (Oberge, 1993 ; Judge, 1993 et 2010) quand d'autres ne retrouvent pas de différence (Hausdorff, 1995). La réduction de la vitesse de marche n'est pas un prédicteur du risque de chute dans une population plus modérément mobile (Maki, 1997).

La perte de vitesse est souvent la conséquence d'une réduction de la longueur du pas (Murray et al, 1969 ; Winter, 1990) et parfois d'une diminution de fréquence (Coste-Salmon, 1999; D'Angeli-Chevassut et Gaviria, 1994; Auvinet, 2003).

Néanmoins, plusieurs études n'identifient pas de modification de la fréquence d'enjambée à un âge avancé (Judge, 1996; Oberg et al, 1993). La fréquence du cycle de marche est, en revanche, corrélée, de façon négative avec la longueur des membres inférieurs (Murray et al, 2007). Pour une même vitesse de marche, plus la longueur des membres inférieurs est faible plus la fréquence du cycle de marche augmente et ce, de manière plus importante chez les femmes que chez les hommes (D'Angeli-Chevassut et Gaviria, 1994 ; Gabell et Nayak, 1984).

1.2.7 Indication d'un bilan de marche

Les paramètres spatio-temporels sont des descripteurs de la marche validés, dont certaines variations minimales ne sont pas accessibles à l'œil humain. Leur mesure permet d'objectiver les performances du sujet en termes de vitesse de marche, de cadence de marche, longueur du pas et temps d'appui. Il est également possible de dépister une éventuelle asymétrie entre les deux membres inférieurs (temps d'appui plus important d'un côté, longueur du pas asymétrique). Ces dispositifs sont adaptés à une évaluation de routine pour caractériser de manière globale la marche, car l'examen est aisé et rapidement réalisé, avec obtention immédiate des résultats. Il est possible d'effectuer ces examens avec ou sans aide technique, avec ou sans chaussure, ce qui permet de réaliser une évaluation relativement écologique.

Le Locomètre® est utilisé pour évaluer l'importance d'un déficit de la marche chez un sujet atteint (HAS, 2006):

- d'anomalies du vieillissement en gériatrie,
- d'affections neurologiques (hémiparésie, maladie de parkinson, hydrocéphalie à pression normale, pathologies cérébelleuses, myasthénie, myopathies, déficits proprioceptifs),
- d'affections rhumatismales (pathologie inflammatoire ou dégénérative de la colonne vertébrale ou des membres inférieurs),
- d'affections orthopédiques (processus dégénératifs nécessitant la mise en place de prothèses),
- de troubles de développement en pédiatrie (malformations de l'appareil locomoteur).
- avant et après traitement médicamenteux, par injection, appareillage, chirurgie et traitement rééducatif.

Les déficiences motrices touchent environ 8 millions de personnes en France, se traduisant par des limitations d'activité et des restrictions de mobilité. Cela concerne toutes les tranches d'âge, mais la prévalence des troubles concerne en majorité les personnes les plus âgées (HAS 2006).

2. PATIENTS ET METHODE

2.1 Objectifs de l'étude

L'objectif principal de l'étude était de rechercher une association entre les paramètres de la marche analysés par le Locomètre® et les caractéristiques de la population se présentant en évaluation multidisciplinaire de la chute.

L'objectif secondaire était de rechercher une association entre les paramètres de la marche analysés par le Locomètre® et les données de suivi à 6 mois concernant la récurrence de chutes, le nombre de chute, la survenue d'une fracture, une institutionnalisation.

Population étudiée :

Tous les patients s'étant présentés à la consultation de la chute entre 2007 et 2010, et ayant bénéficié d'une analyse de la marche en locométrie ont été inclus.

Dans un second temps, nous avons réalisé une analyse en sous-groupe, en excluant tous les patients avec un trouble de la marche évident cliniquement (boiterie, syndrome parkinsonien, séquelle AVC, etc...) pour ne garder que ceux avec une marche "normale" ou "sénile" (telle que décrite dans la classification d'Alexander et Goldberg).

2.2 Déroulement de la consultation de la chute

La consultation de la chute du CHRU de Lille a été créée en 1995 au sein de l'Hôpital gériatrique Les Bateliers.

Cette consultation a pour but de faire une évaluation globale et pluridisciplinaire des patients âgés chuteurs. Ces patients sont adressés à la consultation par des médecins généralistes, des médecins spécialistes (hospitaliers ou non).

Ils bénéficient de l'intervention de plusieurs intervenants :

- Tout d'abord, le gériatre recueille par l'interrogatoire, les données sociales, les antécédents, la liste de médicaments. Il évalue le nombre de chutes, les circonstances de la ou des chutes, le retentissement de ces chutes (traumatismes, peur de chuter, peur de sortir). Puis, il procède à l'examen clinique avec une attention plus particulière sur l'examen cardio-vasculaire et rhumatologique. Il prend note également de la continence, des déficits sensoriels éventuels. La recherche d'hypotension orthostatique est systématique.
- Ensuite, le neurologue évalue les fonctions cognitives par l'interrogatoire et la réalisation du MMSE (Mini Mental State Examination), réalise un examen neurologique approfondi avec étude de la force musculaire, de la sensibilité profonde et superficielle, des réflexes ostéo-tendineux et cutanés plantaires,

recherche de mouvements involontaires ; ensuite il évalue la coordination motrice, l'oculomotricité, la déglutition ; il recherche un syndrome vestibulaire ou cérébelleux ; il observe la station debout les yeux ouverts puis fermés, la marche. L'équilibre est également testé en appui unipodal et par des manœuvres de déstabilisation (ex : poussée sternale).

- Le médecin rééducateur réalise un examen centré sur les capacités fonctionnelles et locomotrices du patient (ajustements posturaux, équilibre, transferts et déplacements). Il évalue l'autonomie du patient (échelles ADL (Activities of Daily Living), IADL (Instrumental Activities of Daily Living), l'équilibre et recherche à l'anamnèse les facteurs de chute environnementaux. Eventuellement, une ergothérapeute se déplace au domicile du patient pour apprécier au mieux les capacités du patient dans son lieu de vie habituel.
- Un bilan ophtalmologique permet de préciser les pathologies ophtalmologiques intervenant dans le risque de chute (DMLA, cataracte, diplopie...).
- Une diététicienne évalue l'état nutritionnel, en précisant les apports caloriques de chaque patient, les apports calciques. Des propositions d'adaptation diététiques sont faites au patient, en fonction des résultats.

-
-
- Une assistante sociale rencontre le patient, et souvent un ou plusieurs proches qui l'accompagne. Elle évalue les aides déjà en place à domicile, la nécessité d'aides supplémentaires et les modalités pratiques de mise en place.

Tous les éléments recueillis par les différents intervenants sont notés dans un dossier patient commun et le gériatre réalise un courrier de synthèse qu'il adresse au médecin traitant et aux différents intervenants médicaux prenant en charge le patient. Il y précise les facteurs de risque de chute identifiés, et les recommandations pratiques, thérapeutiques et environnementales visant à réduire le risque de chute. Si nécessaire, il propose la réalisation d'examens complémentaires. C'est au médecin traitant, au patient et à son entourage de modifier les facteurs qui peuvent l'être. Seule la prescription de séances de kinésithérapie est rédigée par le médecin rééducateur si le patient justifie d'une prise en charge rééducative. De façon systématique, le patient est revu à 6 mois par le gériatre.

Données recueillies :

Toutes les informations ont été recueillies dans le dossier commun de la consultation de la chute. Les données ont été retranscrites en variable binaire ou numérique.

Nous avons relevé :

- L'âge
- Le sexe
- Les conditions de vie (domicile/institution)
- L'autonomie selon l'échelle ADL (Katz, 1970)
- Le MMSE (Folstein, 1975) ; arbitrairement, le diagnostic de démence a été retenu pour un MMS ≤ 24 ou lorsque les patients avait un diagnostic connu de démence avant la consultation, ainsi que les patients pour lesquels un diagnostic de démence a été porté dans les 6 mois suivant la consultation (indépendamment du score MMSE).
- L'indice de masse corporelle (IMC)
- L'utilisation d'une aide technique de marche
- Le nombre de chutes dans les six mois précédents la consultation
- La peur de tomber
- La survenue de fractures dans les suites des chutes
- Les antécédents médicaux : diabète, arthrose, dépression, troubles de l'acuité visuelle, démence, maladie de Parkinson
- Le nombre de médicaments
- La nature des médicaments (Psychotropes, Antidépresseurs, Benzodiazépines)
- La survenue d'évènements à 6 mois :
 - Chutes
 - Nombres de chutes
 - Fractures
 - Institutionnalisation

2.3 Locomètre® (SATEL)

Le Locomètre®, décrit et mis au point par l'équipe de Paul Bessou dans les années 80 au laboratoire de physiologie de la faculté de Médecine de Toulouse, est un dispositif permettant de recueillir des données numériques et graphiques des principaux paramètres spatio-temporels de la marche.

Le principe de cette méthode, inspiré de la machine de Jules Etienne Marey, repose sur l'enregistrement du déplacement longitudinal de chaque pied au cours d'un parcours de marche. Le déplacement de pied est transmis, par un fil inextensible, à un capteur optique. Le fil est maintenu en tension par un moteur électrique qui exerce une force de rappel dont la tension mécanique est maintenue constante par asservissement électronique. Les signaux de sortie de chaque capteur optique, proportionnels à la longueur de déplacement de chaque pied, sont transmis à un ordinateur. Ainsi, les variations d'intensité du circuit de mesure sont proportionnelles aux déplacements sagittaux de chacun des deux pieds.

A partir des signaux de sortie de chaque capteur optique, l'ordinateur fournit instantanément à l'écran la courbe de déplacement des deux pieds en fonction du temps. L'examen qualitatif de la courbe permet d'apprécier la régularité de la progression des pieds au cours des différents cycles de marche successifs ainsi que la symétrie des longueurs ou des temps qui caractérisent des cycles de marche. Les mouvements de chaque pied sont enregistrés par un codeur optique avec une

résolution spatiale inférieure au millimètre et une résolution temporelle de l'ordre de quelques millisecondes.



Figure 5: LOCOMETRE® (SATEL)

Le Locomètre® ne nécessite pas de local particulier, ni de temps de préparation du sujet. Il est simple à mettre en œuvre. L'épreuve ne comporte aucun risque et la mesure peut être répétée rapidement plusieurs fois. De plus, cette méthode permet la mesure des variables spatiotemporelles de la marche des deux membres inférieurs simultanément et donc l'étude de la symétrie droite / gauche.

A l'aide d'algorithmes basés sur des recherche de seuils de vitesse, l'ordinateur va détecter le début et la fin de chacune des phases du cycle de marche et va donner un tableau des principaux paramètres spatio-temporels du cycle de marche :

- Paramètres spatiaux : Longueur de l'enjambée / Longueur du pas.

-
-
- Paramètres temporels : Temps de balancement / Temps d'appui / Temps de double appui / Temps de ramener des pas / Temps de passage des pas / Cadence totale de marche.
 - Paramètres de vitesse : Vitesse de marche / Vitesse moyenne et maximum de balancement / Vitesse de ramener et de passage des pas.

Un des avantages majeurs de cette technique est de permettre très rapidement la mesure des paramètres spatio-temporels sur plusieurs cycles de marche successifs et simultanément des deux côtés au cours d'un même parcours de marche. Cela permet l'analyse des asymétries spatiales et temporelles de la marche ainsi que la régularité des cycles.

PARAMÈTRES SPATIO-TEMPORELS DE LA MARCHÉ

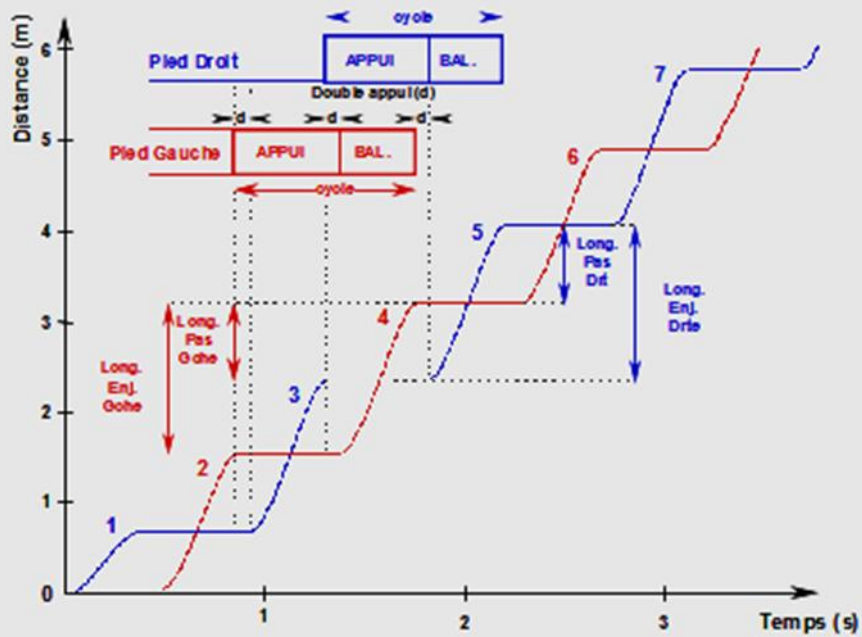


Figure 6: Paramètres spatio-temporels du cycle de marche illustrés à partir des courbes du Locomètre® (Annexe 5).

Pour des raisons pratiques, seules les données suivantes ont été relevées à partir du Locomètre® dans notre travail :

- La vitesse de marche (mètres/seconde)
- La variabilité de la vitesse de marche (%) = $\text{écart-type} / \text{moyenne} * 100$
- La longueur d'enjambée (mètres)
- La variabilité de la longueur d'enjambée (%) = $\text{écart-type} / \text{moyenne} * 100$
- La cadence de marche (nombres d'enjambées/min)
- La symétrie des pas (%) = $\text{Abs} [(\text{pas droit} - \text{pas gauche})] / \text{pas moyen}$

2.4 Données à 6 mois

Les données suivantes ont été relevées :

- La survenue de chute
- Le nombre de chutes
- La survenue de fractures
- L'institutionnalisation

2.5 Analyse statistique

Nous avons, dans un premier temps, analysé les caractéristiques de la population rencontrée en consultation. Nous avons analysé les paramètres de marche dans la population générale et dans la population « marche normale ou sénile ». Les données de suivi à 6 mois ont également été regardées dans les deux populations.

Dans un second temps, les paramètres de marche ont été analysés individuellement en fonction des caractéristiques de la population:

- Le sexe
- Les pathologies pouvant influencer sur la marche (Démence, Diabète, Arthrose, Dépression, Maladie de Parkinson, Troubles de l'acuité visuelle)
- Certains facteurs psycho-sociaux (la peur de tomber, l'utilisation d'une aide technique de marche)
- Les chutes

-
-
- La prise de psychotropes, d'antidépresseurs, d'antalgiques

Le but est de rechercher une association entre les caractéristiques et les paramètres de marche d'une population donnée.

Analyse statistique:

- Le Test de Student a été utilisé pour comparer 2 groupes selon une variable numérique pour un échantillon $n > 30$.
- Le Test de Mann Whitney a été utilisé pour un échantillon $n < 30$.

Toutes les données ont été analysées avec un niveau de signification de 0,05.

3. RESULTATS

3.1 Analyse comparative des paramètres de marche entre les patients ayant un trouble de la marche et les patients ayant une marche « normale ou sénile »

L'étude a été réalisée sur un échantillon de 167 patients, à prédominance féminine (sexe ratio F/H = 2,9/1), dont la moyenne d'âge est de 79,5 ans. Cette population présente des pathologies multiples fréquemment rencontrées à cet âge : 57% des patients souffrent d'arthrose, 35% de dépression, 17% de diabète, 13% de la maladie de Parkinson et 30% ont un déficit visuel.

Plus de 80% de cette population vivent à leur domicile et 1/3 utilise une aide technique de marche.

Plus de 85 % des patients reçoivent un traitement comprenant au moins 4 médicaments.

Seuls 14.5% (n=24) des patients dans ce travail étaient considérés par le clinicien comme ayant une marche normale. 28% des patients avaient une marche sénile (n=47) et 57.5% un autre trouble de la marche (n=96).

Caractéristiques	Ensemble des patients (n=167) (%)	Patients ayant une marche normale ou sénile (n'=71) (%)	Patients avec un trouble de la marche (n=96) (%)	P
Démographiques :				
Age				
< 65 ans	5 (3%)	1 (1%)	4 (4%)	ns
65-74 ans	46 (28%)	20 (29%)	26 (27%)	ns
75-84 ans	89 (53%)	37 (52%)	52 (54%)	ns
≥ 85 ans	27 (16%)	13 (18%)	14 (15%)	ns
moyen	79,4 ans	79,6 ans		ns
Sexe (F/H)	124/43 (2,9/1)	59/12 (4,9/1)	65/31 (2,1/1)	ns
Médicales :				
-Dépression	59 (35%)	22 (31%)	37 (38%)	ns
-Arthrose	96 (57%)	45 (63%)	51 (53%)	ns
-Diabète	29 (17%)	9 (13%)	20 (21%)	ns
-Démence	41 (n'=166) (25%)	17 (n'=70) (24%)	24 (25%)	ns
-Maladie de parkinson	21 (n'=166) (13%)	2 (n'=70) (3%)	19 (20%)	<0,05
-Déficit visuel	52 (n'=166) (31%)	23 (n'=70) (33%)	29 (30%)	ns
-MMS (moyenne)	25,2	25,1		ns
Psycho-sociales :				
-Patient vivant en institution	12 (n'=166) (7%)	2 (n'=71) (3%)	10 (10%)	ns
-Sort				
-Utilisation d'une aide technique de marche	136 (n'=164) (83%)	56 (n'=69) (81%)	80 (83%)	ns
-ADL (moyenne/médiane)	60 (n'=166) (36%)	23 (n'=70) (33%)	37 (38%)	ns
	5,58/6 (n=158)	5,65/6 (n=64)	5,53/6	ns
Thérapeutiques :				
-Nb de médicaments (moyenne/écart type)	7,5 ± 3	7,5 ± 3	7,5 ± 3	ns
-Nb de médicaments >4	144 (86%)	62 (87%)	82 (85%)	ns
-Prise d'au moins 1 antalgique	82 (49%)	33 (46%)	49 (51%)	ns
-Prise d'au moins 2 antalgiques	42 (25%)	15 (21%)	27 (28%)	ns
-Prise de benzodiazépines	53 (32%)	25 (35%)	28 (29%)	ns
-Prise d'au moins un antidépresseur	55 (33%)	21 (30%)	34 (35%)	ns
-Prise d'au moins un psychotrope	101 (60%)	43 (60%)	58 (60%)	ns
Facteurs de risque de chutes :				
-Nombre de chutes dans les 6 mois (moyenne/médiane)	2,52/1	2,18/1	2,77/2	ns
-Nb chutes ≥ 2	83 (50%)	32 (45%)	51 (53%)	ns
-Peur de tomber	124 (74%)	53 (75%)	71 (74%)	ns
-Séjour au sol > 1heure	26 (n'=146) (18%)	9 (n'=63) (14%)	17 (n=83) (20%)	ns
Données à 6 mois :				
-Nb de chute à 6 mois	57 (n'=140) (41%)	22 (n'=62) (35%)	35 (n'=78) (44%)	ns
-Fracture à 6 mois	11 (n'=140) (8%)	5 (n'=62) (8%)	6 (n'=78) (8%)	ns
-Institutionnalisation à 6 mois	6 (n'=144) (4%)	2 (n'=63) (3%)	4 (n'=81) (5%)	ns
Locomètre :				
-Vitesse de marche (moyenne/médiane)	2,32/2,22	2,48/2,42	2,20/2,13	ns
-Variation de la vitesse de marche en % (moyenne/médiane)	11,3 %	11,3 %	11,3 %	ns
-Cadence de marche (pas/min)	97,7/99	98,87/99	96,8/99	ns
-Enjambée en mètres (moyenne/médiane)	0,77/0,76	0,81/0,83	0,74/0,72	< 0,05
-Variation d'enjambée en %	9,83 %	9,43 %	10,1 %	ns
-Asymétrie du pas	26,9%	22,9 %	29,9 %	ns

Tableau 1: Caractéristiques de la population

3.2 Analyse spécifique des paramètres de marche

Les différents paramètres de marche sont analysés en fonction des différentes caractéristiques de cette population. La somme des échantillons est parfois inférieure à 167 en raison de données manquantes.

TOUS PATIENTS

Variabes	Femmes (n=124)	Hommes (n=43)	P
-Vitesse de marche (m)	2,3 +/- 0,84	2,38 +/- 1,01	ns
-Variation Vitesse (%)	11,81 +/- 6,23	9,83 +/- 5,14	ns
-Cadence (pas/min)	97,98 +/- 18,55	96,88 +/- 16,79	ns
-Enjambée (m)	0,76 +/- 0,21	0,80 +/- 0,29	ns
-Variation Enjambée (%)	10,29 +/- 6,29	10,29 +/- 4,55	ns
-Asymétrie du Pas (%)	29,03 +/- 34,64	29,03 +/- 23,84	ns

Variabes	Arthrose (n=96)	Absence d'arthrose (n=71)	P
-Vitesse de marche (m)	2,35 +/- 0,9	2,29 +/- 0,87	ns
-Variation Vitesse (%)	11,7 +/- 6,51	10,76 +/- 5,29	ns
-Cadence (pas/min)	97,43 +/- 16,66	98,07 +/- 19,94	ns
-Enjambée (m)	0,78 +/- 0,24	0,76 +/- 0,22	ns
-Variation Enjambée (%)	10,09 +/- 6,26	9,50 +/- 5,49	ns
-Asymétrie du Pas (%)	26,26 +/- 35,32	27,78 +/- 28,04	ns

Variabes	Diabète (n=29)	Absence de diabète (n=138)	P
-Vitesse de marche (m)	2,27 +/- 1,01	2,33 +/- 0,86	ns
-Variation Vitesse (%)	12,08 +/- 6,61	11,14 +/- 5,9	ns
-Cadence (pas/min)	96,48 +/- 20,46	97,96 +/- 17,6	ns
-Enjambée (m)	0,75 +/- 0,26	0,78 +/- 0,23	ns
-Variation Enjambée (%)	8,98 +/- 4,74	10,02 +/- 6,15	ns
-Asymétrie du Pas (%)	24,72 +/- 32,11	27,37 +/- 32,49	ns

Variabes	Troubles visuels (n=52)	Absence de troubles visuels (n=114)	P
-Vitesse de marche (m)	2,26 +/- 0,86	2,34 +/- 0,89	ns
-Variation Vitesse (%)	11,03 +/- 6,46	11,47 +/- 5,83	ns
-Cadence (pas/min)	95,96 +/- 15,12	98,46 +/- 19,35	ns
-Enjambée (m)	0,77 +/- 0,23	0,77 +/- 0,23	ns
-Variation Enjambée (%)	9,88 +/- 6,8	9,88 +/- 5,52	ns
-Asymétrie du Pas (%)	24,11 +/- 27,92	28,32 +/- 34,31	ns

Variabes	Dépression (n=59)	Absence de dépression (n=108)	P
-Vitesse de marche (m)	2,25 +/- 0,82	2,36 +/- 0,92	ns
-Variation Vitesse (%)	11,35 +/- 5,91	11,28 +/- 6,1	ns
-Cadence (pas/min)	97,37 +/- 20,24	97,88 +/- 16,86	ns
-Enjambée (m)	0,75 +/- 0,19	0,78 +/- 0,25	ns
-Variation Enjambée (%)	9,94 +/- 5,53	9,78 +/- 6,17	ns
-Asymétrie du Pas (%)	22,64 +/- 25,08	29,24 +/- 35,28	ns

Variabes	Démence (n=41)	Absence de démence (n=125)	P
-Vitesse de marche (m)	2,16 +/- 0,92	2,37 +/- 0,87	ns
-Variation Vitesse (%)	12,22 +/- 5,94	11,05 +/- 6,04	ns
-Cadence (pas/min)	101 +/- 20,26	96,58 +/- 17,31	ns
-Enjambée (m)	0,70 +/- 0,24	0,79 +/- 0,23	<0,05
-Variation Enjambée (%)	10,64 +/- 5,45	9,63 +/- 6,08	ns
-Asymétrie du Pas (%)	31,49 +/- 38,08	25,53 +/- 30,36	ns

Variabes	Maladie de parkinson (n=21)	Absence de maladie de parkinson (n=145)	P
-Vitesse de marche (m)	2,42 +/- 1,25	2,30 +/- 0,82	ns
-Variation Vitesse (%)	11,3 +/- 5,81	11,34 +/- 6,07	ns
-Cadence (pas/min)	97,57 +/- 20,08	97,7 +/- 17,9	ns
-Enjambée (m)	0,78 +/- 0,3	0,77 +/- 0,22	ns
-Variation Enjambée (%)	9,85 +/- 6,73	9,88 +/- 5,83	ns
-Asymétrie du Pas (%)	26,79 +/- 29,54	27,04 +/- 32,91	ns

VARIABLES	PATIENTS VIVANT EN INSTITUTION (n=12)	PATIENTS VIVANT AU DOMICILE (n=154)	P
-Vitesse de marche (m)	2,19 +/- 0,92	2,33 +/- 0,88	ns
-Variation Vitesse (%)	12,38 +/- 4,67	11,21 +/- 6,14	ns
-Cadence (pas/min)	98,42 +/- 21,59	97,6 +/- 17,9	ns
-Enjambée (m)	0,72 +/- 0,23	0,78 +/- 0,23	ns
-Variation Enjambée (%)	13,33 +/- 8,34	9,59 +/- 5,67	ns
-Asymétrie du Pas (%)	33,3 +/- 35,49	26,53 +/- 32,23	ns

VARIABLES	Sort (n=136)	Ne sort pas (n=29)	P
-Vitesse de marche (m)	2,33 +/- 0,89	2,29 +/- 0,87	ns
-Variation Vitesse (%)	11,06 +/- 5,77	11,36 +/- 5,86	ns
-Cadence (pas/min)	95,84 +/- 17,72	106,8 +/- 17,86	<0,05
-Enjambée (m)	0,78 +/- 0,23	0,72 +/- 0,27	ns
-Variation Enjambée (%)	9,6 +/- 5,82	10,09 +/- 5,67	ns
-Asymétrie du Pas (%)	25,55 +/- 27,99	33,94 +/- 48,55	ns

VARIABLES	PATIENTS UTILISANT UNE AIDE TECHNIQUE (n=60)	PAS D'AIDE TECHNIQUE (n=106)	P
-Vitesse de marche (m)	2,3 +/- 0,84	2,38 +/- 1,01	<0,05
-Variation Vitesse (%)	11,81 +/- 6,23	9,83 +/- 5,14	<0,05
-Cadence (pas/min)	97,98 +/- 18,55	96,88 +/- 16,79	<0,05
-Enjambée (m)	0,76 +/- 0,21	0,80 +/- 0,29	<0,05
-Variation Enjambée (%)	10,29 +/- 6,29	10,29 +/- 4,55	ns
-Asymétrie du Pas (%)	29,03 +/- 34,64	29,03 +/- 23,84	ns

VARIABLES	Séjour au sol > 1 h (n=26)	Séjour au sol < 1 h (n=120)	P
-Vitesse de marche (m)	2,16 +/- 0,86	2,34 +/- 0,87	ns
-Variation Vitesse (%)	11,62 +/- 6,11	11,68 +/- 6,14	ns
-Cadence (pas/min)	99,35 +/- 21,09	97,2 +/- 18,0	ns
-Enjambée (m)	0,72 +/- 0,24	0,78 +/- 0,22	ns
-Variation Enjambée (%)	10,07 +/- 5,99	9,99 +/- 5,83	ns
-Asymétrie du Pas (%)	27,47 +/- 28,69	24,76 +/- 28,71	ns

VARIABLES	Prise d'au moins un antalgique (n=82)	Pas d'antalgique (n=85)	P
-Vitesse de marche (m)	2,29 +/- 0,81	2,35 +/- 0,95	ns
-Variation Vitesse (%)	11,80 +/- 6,33	10,82 +/- 5,7	ns
-Cadence (pas/min)	97,54 +/- 18,11	97,86 +/- 18,14	ns
-Enjambée (m)	0,76 +/- 0,21	0,78 +/- 0,25	ns
-Variation Enjambée (%)	10,42 +/- 6,36	9,28 +/- 5,47	ns
-Asymétrie du Pas (%)	25,41 +/- 31,63	28,36 +/- 33,14	ns

VARIABLES	Prise de psychotrope (n=101)	Pas de psychotrope (n=66)	P
-Vitesse de marche (m)	2,28 +/- 0,9	2,39 +/- 0,85	ns
-Variation Vitesse (%)	11,49 +/- 6,03	11,01 +/- 6,03	ns
-Cadence (pas/min)	96,82 +/- 19,43	99,05 +/- 15,81	ns
-Enjambée (m)	0,76 +/- 0,23	0,78 +/- 0,24	ns
-Variation Enjambée (%)	9,83 +/- 5,52	9,85 +/- 6,56	ns
-Asymétrie du Pas (%)	25,50 +/- 28,22	29,07 +/- 37,93	ns

VARIABLES	Au moins 2 chutes (n=83)	Moins de 2 chutes (n=84)	P
-Vitesse de marche (m)	2,38 +/- 0,93	2,27 +/- 0,83	ns
-Variation Vitesse (%)	11,33 +/- 5,59	11,27 +/- 6,45	ns
-Cadence (pas/min)	98,87 +/- 18,8	96,55 +/- 17,35	ns
-Enjambée (m)	0,78 +/- 0,23	0,77 +/- 0,23	ns
-Variation Enjambée (%)	9,66 +/- 5,1	10,02 +/- 6,68	ns
-Asymétrie du Pas (%)	25,89 +/- 32,65	29,92 +/- 32,2	ns

VARIABLES	Peur de tomber (n=124)	Absence de peur de tomber (n=43)	P
-Vitesse de marche (m)	2,23 +/- 0,8	2,59 +/- 1,04	<0,05
-Variation Vitesse (%)	11,33 +/- 5,95	11,21 +/- 6,28	ns
-Cadence (pas/min)	97,48 +/- 19,08	98,33 +/- 14,97	ns
-Enjambée (m)	0,74 +/- 0,22	0,85 +/- 0,26	<0,05
-Variation Enjambée (%)	10,07 +/- 5,88	9,17 +/- 6,11	ns
-Asymétrie du Pas (%)	28,41 +/- 32,99	22,58 +/- 30,35	ns

Tableau 2: Analyse des paramètres de la marche chez les tous les patients

	Age (n=167)	Nb de chute (n=167)	Nb de médicaments (n=167)	Indice de masse corporel (BMI) (n'=159)	MMS (n'=143)	ADL (n'=158)	Nb de chute à 6 mois (n'=140)
Vitesse de marche	ns	ns	p<0,01*	p<0,01*	p<0,05	p<0,01	ns
Variation de la vitesse de marche	p<0,05	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cadence	ns	ns	p<0,05*	p<0,01*	ns	ns	ns
Enjambée	ns	ns	p<0,05*	p<0,05*	p<0,01*	p<0,01	ns
Variation d'enjambée	p<0,01	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Asymétrie du pas	ns	ns	ns	ns	p<0,05*	ns	ns

Tableau 3 : Analyse des paramètres de la marche chez les tous les patients (variables numériques)

***corrélation inverse**

3.3 Analyse spécifique des paramètres de marche chez les patients ayant une marche sénile ou normale

La population sélectionnée correspond à un échantillon de 71 patients

MARCHE SENILE OU NORMALE

Variabes	Femmes (n=59)	Hommes (n=12)	P
-Vitesse de marche (m)	2,46 +/- 0,85	2,62 +/- 0,76	ns
-Variation Vitesse (%)	12,14 +/- 7,24	7,29 +/- 3,30	<0,05
-Cadence (pas/min)	99,41 +/- 15,85	96,25 +/- 10,05	ns
-Enjambée (m)	0,8 +/- 0,22	0,90 +/- 0,25	ns
-Variation Enjambée (%)	10,12 +/- 6,43	6,1 +/- 3,33	<0,05
-Asymétrie du Pas (%)	24,62 +/- 32,16	14,53 +/- 12,00	ns

Variabes	Arthrose (n=45)	Absence d'arthrose (n=26)	P
-Vitesse de marche (m)	2,45 +/- 0,89	2,55 +/- 0,72	ns
-Variation Vitesse (%)	11,93 +/- 8,00	10,27 +/- 4,63	ns
-Cadence (pas/min)	97,49 +/- 14,31	101,3 +/- 16,18	ns
-Enjambée (m)	0,85 +/- 0,25	0,83 +/- 0,18	ns
-Variation Enjambée (%)	9,72 +/- 7,13	8,95 +/- 4,16	ns
-Asymétrie du Pas (%)	20,88 +/- 32,26	26,42 +/- 25,53	<0,05

Variabes	Diabète (n=9)	Absence de diabète (n=62)	P
-Vitesse de marche (m)	2,24 +/- 0,60	2,53 +/- 0,86	ns
-Variation Vitesse (%)	10,46 +/- 4,12	11,45 +/- 7,3	ns
-Cadence (pas/min)	105,6 +/- 12,31	97,9 +/- 15,21	ns
-Enjambée (m)	0,72 +/- 0,22	0,83 +/- 0,22	ns
-Variation Enjambée (%)	8,94 +/- 4,13	9,51 +/- 6,45	ns
-Asymétrie du Pas (%)	29,19 +/- 44,94	22,44 +/- 27,56	ns

Variabes	Troubles visuels (n=23)	Absence de troubles visuels (n=47)	P
-Vitesse de marche (m)	2,49 +/- 0,9	2,47 +/- 0,81	ns
-Variation Vitesse (%)	12,11 +/- 8,77	11,06 +/- 5,99	ns
-Cadence (pas/min)	96,00 +/- 13,26	100,2 +/- 15,9	ns
-Enjambée (m)	0,84 +/- 0,24	0,80 +/- 0,22	ns
-Variation Enjambée (%)	10,5 +/- 8,22	9,04 +/- 4,94	ns
-Asymétrie du Pas (%)	15,3 +/- 13,59	26,88 +/- 34,99	ns

Variabes	Dépression (n=22)	Absence de dépression (n=49)	P
-Vitesse de marche (m)	2,45 +/- 0,72	2,51 +/- 0,88	ns
-Variation Vitesse (%)	10,39 +/- 5,00	11,74 +/- 7,69	ns
-Cadence (pas/min)	101,6 +/- 14,15	97,65 +/- 15,37	ns
-Enjambée (m)	0,80 +/- 0,18	0,83 +/- 0,24	ns
-Variation Enjambée (%)	8,69 +/- 4,98	9,77 +/- 6,68	ns
-Asymétrie du Pas (%)	20,84 +/- 29,25	23,84 +/- 30,45	ns

Variabes	Démence (n=17)	Absence de démence (n=53)	P
-Vitesse de marche (m)	2,28 +/- 0,7	2,54 +/- 0,86	ns
-Variation Vitesse (%)	12,06 +/- 7,11	11,2 +/- 6,99	ns
-Cadence (pas/min)	99,65 +/- 16,65	98,58 +/- 14,76	ns
-Enjambée (m)	0,75 +/- 0,17	0,84 +/- 0,23	ns
-Variation Enjambée (%)	9,91 +/- 6,01	9,39 +/- 6,30	ns
-Asymétrie du Pas (%)	34,4 +/- 47,04	19,45 +/- 21,56	ns

Variabes	Maladie de Parkinson (n=2)	Absence de Maladie de parkinson (n=68)	P
-Vitesse de marche (m)	3,11 +/- 3,05	2,46 +/- 0,75	ne
-Variation Vitesse (%)	8,2 +/- 4,81	11,5 +/- 7,04	ne
-Cadence (pas/min)	106,5 +/- 31,82	98,62 +/- 14,79	ne
-Enjambée (m)	0,87 +/- 0,69	0,81 +/- 0,21	ne
-Variation Enjambée (%)	5,4 +/- 3,54	9,64 +/- 6,23	ne
-Asymétrie du Pas (%)	12,75 +/- 11,81	23,38 +/- 30,45	ne

ne : non évaluable

Variabes	Patients vivant en institution (n=2)	Patients vivant au domicile (n=69)	P
-Vitesse de marche (m)	2,35 +/- 0,49	2,49 +/- 0,84	ns
-Variation Vitesse (%)	8,25 +/- 2,47	11,41 +/- 7,04	ns
-Cadence (pas/min)	104,0 +/- 2,83	98,72 +/- 15,21	ns
-Enjambée (m)	0,75 +/- 0,17	0,82 +/- 0,23	ns
-Variation Enjambée (%)	5,25 +/- 0,64	9,56 +/- 6,23	ns
-Asymétrie du Pas (%)	39,35 +/- 29,63	22,43 +/- 29,99	ns

Variabes	Sort (n=56)	Ne sort pas (n=13)	P
-Vitesse de marche (m)	2,56 +/- 0,88	2,24 +/- 0,59	ns
-Variation Vitesse (%)	11,04 +/- 6,78	10,15 +/- 4,99	ns
-Cadence (pas/min)	98,02 +/- 15,68	103,5 +/- 12,48	ns
-Enjambée (m)	0,84 +/- 0,23	0,72 +/- 0,19	ns
-Variation Enjambée (%)	9,08 +/- 5,99	8,95 +/- 5,14	ns
-Asymétrie du Pas (%)	21,98 +/- 26,19	45,15 +/- 45,15	ns

VARIABLES	PATIENTS UTILISANT UNE AIDE TECHNIQUE (n=23)	PAS D'AIDE TECHNIQUE (n=47)	P
-Vitesse de marche (m)	2,01 +/- 0,67	2,71 +/- 0,81	<0,05
-Variation Vitesse (%)	12,6 +/- 5,76	10,82 +/- 7,49	<0,05
-Cadence (pas/min)	95,78 +/- 15,36	100,3 +/- 14,94	ns
-Enjambée (m)	0,69 +/- 0,22	0,88 +/- 0,20	<0,05
-Variation Enjambée (%)	10,59 +/- 4,41	9,00 +/- 6,88	<0,05
-Asymétrie du Pas (%)	24,83 +/- 26,62	22,22 +/- 31,89	ns

VARIABLES	SÉJOUR AU SOL > 1 h (n=9)	SÉJOUR AU SOL < 1 h (n=54)	P
-Vitesse de marche (m)	2,21 +/- 0,96	2,50 +/- 0,76	ns
-Variation Vitesse (%)	12,56 +/- 6,25	11,54 +/- 7,22	ns
-Cadence (pas/min)	98,00 +/- 18,27	98,52 +/- 14,85	ns
-Enjambée (m)	0,73 +/- 0,25	0,82 +/- 0,21	ns
-Variation Enjambée (%)	10,78 +/- 6,93	9,56 +/- 6,19	ns
-Asymétrie du Pas (%)	29,87 +/- 37,05	20,33 +/- 25,05	ns

VARIABLES	PRISE D'AU MOINS UN ANTALGIQUE (n=33)	PAS D'ANTALGIQUE (n=38)	P
-Vitesse de marche (m)	2,52 +/- 0,76	2,46 +/- 0,90	ns
-Variation Vitesse (%)	12,31 +/- 7,78	10,47 +/- 6,15	ns
-Cadence (pas/min)	99,88 +/- 14,15	98,00 +/- 15,87	ns
-Enjambée (m)	0,82 +/- 0,20	0,81 +/- 0,24	ns
-Variation Enjambée (%)	10,24 +/- 6,77	8,74 +/- 5,62	ns
-Asymétrie du Pas (%)	15,01 +/- 14,16	28,78 +/- 37,61	<0,05

VARIABLES	PRISE DE PSYCHOTROPE (n=43)	PAS DE PSYCHOTROPE (n=28)	P
-Vitesse de marche (m)	2,39 +/- 0,85	2,64 +/- 0,79	ns
-Variation Vitesse (%)	11,88 +/- 6,96	10,48 +/- 7,01	ns
-Cadence (pas/min)	99,09 +/- 15,30	98,54 +/- 14,84	ns
-Enjambée (m)	0,79 +/- 0,22	0,87 +/- 0,22	ns
-Variation Enjambée (%)	9,84 +/- 5,93	8,82 +/- 6,62	ns
-Asymétrie du Pas (%)	23,07 +/- 28,82	22,67 +/- 32,04	ns

VARIABLES	Au moins 2 chutes (n=32)	Moins de 2 chutes (n=39)	P
-Vitesse de marche (m)	2,54 +/- 0,87	2,45 +/- 0,80	ns
-Variation Vitesse (%)	10,37 +/- 6,23	12,11 +/- 7,50	ns
-Cadence (pas/min)	99,41 +/- 17,28	98,44 +/- 13,09	ns
-Enjambée (m)	0,83 +/- 0,22	0,81 +/- 0,23	ns
-Variation Enjambée (%)	8,53 +/- 5,3	10,18 +/- 6,8	ns
-Asymétrie du Pas (%)	19,11 +/- 29,09	26,03 +/- 30,58	ns

VARIABLES	Peur de tomber (n=53)	Absence de peur de tomber (n=18)	P
-Vitesse de marche (m)	2,42 +/- 0,76	2,71 +/- 1,00	ns
-Variation Vitesse (%)	11,18 +/- 6,87	11,76 +/- 7,42	ns
-Cadence (pas/min)	98,66 +/- 15,1	99,50 +/- 15,19	ns
-Enjambée (m)	0,80 +/- 0,21	0,89 +/- 0,24	ns
-Variation Enjambée (%)	9,43 +/- 5,71	9,46 +/- 7,61	ns
-Asymétrie du Pas (%)	21,81 +/- 26,53	26,17 +/- 38,91	ns

VARIABLES	Marche sénile (n=47)	Marche normale (n=24)	P
-Vitesse de marche (m)	2,30 +/- 0,80	2,85 +/- 0,77	<0,05
-Variation Vitesse (%)	11,73 +/- 6,96	10,53 +/- 7,05	ns
-Cadence (pas/min)	97,81 +/- 15,01	101,0 +/- 15,13	ns
-Enjambée (m)	0,76 +/- 0,22	0,93 +/- 0,18	<0,05
-Variation Enjambée (%)	9,92 +/- 5,86	8,49 +/- 6,81	ns
-Asymétrie du Pas (%)	24,77 +/- 28,34	19,26 +/- 33,09	ns

Tableau 4: Analyse des paramètres de la marche chez les patients ayant une marche normale ou sénile.

	Age (n=71)	Nb de chute (n=71)	Nb de médicaments (n=71)	Indice de masse corporel (BMI) (n'=70)	MMS (n'=59)	ADL (n'=64)	Nb de chute à 6 mois (n'=62)
Vitesse de marche	ns	ns	ns	p<0,05*	ns	ns	ns
Variation de la vitesse de marche	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cadence	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Enjambée	ns	ns	ns	p<0,05*	ns	ns	ns
Variation d'enjambée	p<0,05	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Asymétrie du pas	ns	ns	ns	ns	p<0,01*	ns	ns

Tableau 5 : Analyse des paramètres de la marche chez les patients ayant une marche normale ou sénile (variables numériques)

* corrélation inverse

3.4 Analyse spécifique des paramètres de marche : devenir à 6 mois (ensemble de la population)

Les données de suivi sont disponibles pour 140 des 167 patients.

Variabes	Chutes à 6 mois (n=57)	Pas de chute à 6 mois (n=83)	P
-Vitesse de marche (m)	2,38 +/- 0,88	2,31 +/- 0,81	ns
-Variation Vitesse (%)	10,72 +/- 5,61	10,82 +/- 5,06	ns
-Cadence (pas/min)	101,7 +/- 17,07	97,1 +/- 16,58	ns
-Enjambée (m)	0,78 +/- 0,26	0,77 +/- 0,20	ns
-Variation Enjambée (%)	9,48 +/- 5,59	9,8 +/- 5,81	ns
-Asymétrie du Pas (%)	30,55 +/- 37,39	25,92 +/- 30,43	ns

Variabes	Fractures à 6 mois (n=11)	Pas de fractures à 6 mois (n=129)	P
-Vitesse de marche (m)	2,43 +/- 1,25	2,33 +/- 0,80	ns
-Variation Vitesse (%)	12,04 +/- 4,38	10,67 +/- 5,34	ns
-Cadence (pas/min)	112,8 +/- 18,68	97,8 +/- 16,25	ns
-Enjambée (m)	0,73 +/- 0,37	0,78 +/- 0,21	ns
-Variation Enjambée (%)	10,76 +/- 5,42	9,58 +/- 5,74	ns
-Asymétrie du Pas (%)	25,47 +/- 25,89	28,00 +/- 34,03	ns

Variabes	Institutionnalisation à 6 mois (n=6)	Pas d'institutionnalisation à 6 mois (n=134)	P
-Vitesse de marche (m)	2,41 +/- 0,57	2,33 +/- 0,84	ns
-Variation Vitesse (%)	12,18 +/- 3,82	10,73 +/- 5,33	ns
-Cadence (pas/min)	114,3 +/- 9,05	98,15 +/- 16,73	ns
-Enjambée (m)	0,70 +/- 0,15	0,78 +/- 0,23	ns
-Variation Enjambée (%)	12,67 +/- 4,21	9,46 +/- 5,67	ns
-Asymétrie du Pas (%)	43,67 +/- 62,71	27,16 +/- 31,47	ns

Tableau 6: Analyse des paramètres de la marche : devenir à 6 mois (ensemble de la population)

3.5 Analyse spécifique des paramètres de marche : devenir à 6 mois (patients ayant une marche normale ou une marche sénile)

Variabes	Chutes à 6 mois (n=22)	Pas de chute à 6 mois (n=40)	P
-Vitesse de marche (m)	2,27 +/- 0,69	2,48 +/- 0,79	ns
-Variation Vitesse (%)	11,26 +/- 7,25	10,62 +/- 5,66	ns
-Cadence (pas/min)	95,82 +/- 10,68	99,50 +/- 16,60	ns
-Enjambée (m)	0,79 +/- 0,20	0,81 +/- 0,20	ns
-Variation Enjambée (%)	9,57 +/- 6,16	8,78 +/- 4,84	ns
-Asymétrie du Pas (%)	27,89 +/- 42,36	20,81 +/- 23,10	ns

Variables	Fractures à 6 mois (n=5)	Pas de fractures à 6 mois (n=57)	P
-Vitesse de marche (m)	1,84 +/- 0,72	2,45 +/- 0,75	ns
-Variation Vitesse (%)	12,66 +/- 2,96	10,69 +/- 6,41	ns
-Cadence (pas/min)	103,2 +/- 12,11	97,75 +/- 15,00	ns
-Enjambée (m)	0,59 +/- 0,20	0,82 +/- 0,20	ns
-Variation Enjambée (%)	11,16 +/- 4,50	8,88 +/- 5,37	ns
-Asymétrie du Pas (%)	16,40 +/- 7,83	23,93 +/- 32,38	ns

Variables	Institutionnalisation à 6 mois (n=2)	Pas d'institutionnalisation à 6 mois (n=61)	P
-Vitesse de marche (m)	2,04 +/- 0,59	2,41 +/- 0,76	ns
-Variation Vitesse (%)	12,50 +/- 3,25	10,72 +/- 6,27	ns
-Cadence (pas/min)	113,5 +/- 2,12	97,82 +/- 14,67	ns
-Enjambée (m)	0,60 +/- 0,18	0,81 +/- 0,21	ns
-Variation Enjambée (%)	12,95 +/- 2,76	8,87 +/- 5,32	ns
-Asymétrie du Pas (%)	9,00 +/- 6,65	24,40 +/- 31,64	ns

Tableau 7: Analyse des paramètres de la marche: devenir à 6 mois

4. DISCUSSION

4.1 Principaux résultats

Les principaux résultats de ce travail laissent apparaître :

- Une prévalence élevée des troubles de la marche (appréciée par le clinicien) de 86 % (Tableaux 1 et 4). Ces données sont proches de celles retrouvées quelques années plus tôt dans une population similaire de patients rencontrés en consultation de la chute. (Guillochon, 2009).
- Plusieurs facteurs modifient significativement la vitesse de marche. L'utilisation d'une aide technique, la peur de tomber, un IMC élevé, un déclin cognitif apprécié par le MMS, la dépendance appréciée par l'échelle ADL, le nombre de médicaments diminuent significativement la vitesse de marche (Tableaux 2, 3, 4, 5).
- La démence, la peur de tomber, un IMC élevé, la dépendance, le nombre de médicaments sont associés à une diminution de la longueur d'enjambée (Tableaux 2, 3, 4, 5).
- Le nombre de médicaments et l'IMC sont associés à une cadence de pas moins élevée. A l'inverse, et de manière étonnante, les patients ne sortant plus de chez eux ont une cadence de pas accélérée (Tableaux 2, 3, 4, 5).

-
-
- Seul l'âge influence la variabilité de la vitesse de marche et la variabilité de la longueur d'enjambée dans cette population de patients âgés chuteurs ou à risque de chute (Tableaux 3 et 5).
 - Dans ce travail, seuls la vitesse de marche (diminuée) et la longueur d'enjambée (diminuée également) sont différentes entre le groupe des patients ayant une marche « sénile » et le groupe des patients ayant une marche « normale »
 - Aucun des paramètres de marche évalués par le Locomètre® n'est prédictif de la survenue d'évènements à 6 mois (chute, fracture, institutionnalisation) (Tableaux 6 et 7).

4.2 Facteurs influençant les paramètres de la marche

Les facteurs pouvant influencer la marche sont nombreux dans la littérature, certains facteurs pouvant modifier un ou plusieurs paramètres de marche.

Dans plusieurs pathologies neurologiques, les paramètres de marche peuvent être modifiés significativement :

- La Maladie de Parkinson,
- L'hydrocéphalie à pression normale,
- le syndrome pseudo-bulbaire,

- Les accidents vasculaires cérébraux (Hémiplégie, Hémiparésie, etc.)

- Les Démences (Alzheimer, Vasculaire, à corps de Lewy)

Les trois premières pathologies neurologiques précédemment citées entraînent principalement une diminution de la longueur du pas et de l'enjambée associée à une cadence de marche irrégulière (Gasq, 2009). La variabilité de la vitesse de marche est augmentée (Gasq, 2009).

La modification des paramètres de marche dans les accidents vasculaires cérébraux dépend du type d'AVC ainsi que de sa gravité.

Dans la démence, il semble exister une augmentation de la longueur du pas et de l'enjambée, une augmentation de la vitesse de marche associée à une augmentation de la largeur du pas (Goldberg, 2005 ; Beauchet, 2008). Il a été démontré que la déficience cognitive légère (appréciée par le MMS) pouvait diminuer la vitesse de marche (Ambrose, 2010). Gillain et coll ont montré récemment qu'une analyse des paramètres de la marche à l'aide du Locometrix®, en simple tâche comme en double tâche, permettait de distinguer les groupes de patients atteints de maladie d'Alzheimer, de ceux atteints d'un déclin cognitif léger, et de ceux sans déclin cognitif (Gillain, 2009). Quasiment l'ensemble des paramètres de la marche différaient selon les groupes (vitesse de marche, cadence, longueur du pas, régularité et symétrie du pas).

Locomotrix[®] parameters in a single-task paradigm (TS).

	Control group (<i>m</i> ± S.D.)	MCI group (<i>m</i> ± S.D.)	AD group (<i>m</i> ± S.D.)
Speed (m/s)	1.4 ± 0.13 (a)	1.22 ± 0.15 (a, b)	1.02 ± 0.36 (b)
Stride frequency (Hz)	1 ± 0.08 (a)	0.9 ± 0.05 (b)	0.95 ± 0.17 (a, b)
Stride length (m)	1.41 ± 0.10 (a)	1.36 ± 0.13 (a, b)	1.13 ± 0.45 (b)
Regularity (dimensionless)	276 ± 35 (a, b)	287 ± 29 (a)	227 ± 82 (b)
Symmetry (dimensionless)	202.79 ± 31.06 (a)	224 ± 25 (a)	209 ± 77 (a)
Stops	0 ± 0 (a)	0 ± 0 (a)	0 ± 0 (a)

A different letter represents a significant difference ($p < 0.05$) between the groups.

Locomotrix[®] parameters in a dual-task paradigm (TS).

	Control group (<i>m</i> ± S.D.)	MCI group (<i>m</i> ± S.D.)	AD group (<i>m</i> ± S.D.)
Speed (m/s)	1.3 ± 0.14 (a)	1.05 ± 0.21 (b)	0.74 ± 0.26 (c)
Stride frequency (Hz)	0.94 ± 0.07 (a)	0.81 ± 0.13 (b)	0.81 ± 0.23 (a, b)
Stride length (m)	1.38 ± 0.15 (a)	1.30 ± 0.12 (a)	1 ± 0.42 (b)
Regularity (dimensionless)	258 ± 38 (a)	224 ± 47 (a)	139 ± 81 (b)
Symmetry (dimensionless)	250 ± 35 (a)	216 ± 21 (a)	206 ± 61 (a)
Stops	0 ± 0 (a)	0.07 ± 0.27 (a)	0.17 ± 0.41 (a)

A different letter represents a significant difference ($p < 0.05$) between the groups.

Les paramètres de marche peuvent également être modifiés par certaines pathologies rhumatologiques. L'arthrose, en particulier la gonarthrose et la coxarthrose, très fréquente, peut entraîner une diminution de la longueur du pas, de l'enjambée, de la vitesse de marche associée à une augmentation de la cadence de marche (Yahia, 2007). Ces modifications semblent résulter essentiellement d'une diminution des amplitudes articulaires associées à la douleur. En effet, un travail a récemment montré une amélioration des paramètres de marche chez les sujets souffrant d'arthrose suite à un traitement par AINS (anti-inflammatoire non stéroïdiens) (Boyer, 2012).

Certaines pathologies psychologiques ou psychiatriques peuvent également altérer la marche, indépendamment de la prise de médicaments psychotropes. Ainsi, la dépression est associée à une diminution de la vitesse de marche (Brandler, 2011 ; Sanders, 2012).

La peur de tomber est également un facteur pouvant affecter certains paramètres du cycle. Elle est fréquente chez le patient âgé, d'autant plus si le patient est chuteur (Gaxatte, 2011). Plusieurs études ont montré qu'il existait une diminution de la vitesse de marche, de la longueur du pas, de la longueur d'enjambée, une augmentation de la largeur du pas et du temps de double appui (Melissa, 2005).

Des facteurs environnementaux comme le chaussage ou l'utilisation d'aide technique peuvent également modifier la marche. Comme cela a déjà été rapporté, les patients utilisant une aide technique de marche, c'est-à-dire une canne ou un déambulateur, modifient plusieurs paramètres du cycle de marche. Nous retrouvons ces données dans notre travail avec des patients qui marchent plus lentement, et présentent une diminution significative ($p < 0,05$) de la cadence du pas et de la longueur de l'enjambée. A l'inverse, la variabilité de la vitesse de marche augmente. Dans notre échantillon, l'asymétrie du pas et la variation d'enjambée ne sont pas modifiés. Une limite à cette interprétation tient au fait que le patient n'a pas forcément réalisé l'analyse locométrique de la marche avec son aide technique.

L'utilisation de médicaments peut modifier les paramètres de la marche. En effet, le nombre de médicaments, dans notre étude, influence la marche. Plus le nombre de médicaments est important plus la vitesse de marche, la longueur d'enjambée et la cadence diminuent. Ces modifications des paramètres de la marche traduisent vraisemblablement en grande partie la comorbidité des patients. Les médicaments psychotropes peuvent influencer les paramètres de la marche (Poujol, 2010). Comme nous l'avons indiqué plus haut, l'utilisation d'AINS dans l'arthrose peut

améliorer les paramètres de la marche en particulier la vitesse de marche (Boyer, 2012).

4.3 Paramètres de la marche et risque de chute

Aucun des paramètres de marche analysés dans cette étude n'ont pas permis de mettre en évidence de corrélation significative avec le risque de chute, qu'il s'agisse du nombre de chutes dans les 6 mois précédant la consultation ou du nombre de chutes dans les 6 mois suivant la consultation.

Ces données sont pour certaines discordantes de ce qui est habituellement rapporté. Plusieurs paramètres du cycle de marche sont en effet jugés pertinents par plusieurs études pour prédire le risque de chute.

Ainsi l'asymétrie du pas serait un bon indicateur du risque de chute (Blanc et al, 1999 ; Dewar et Judge, 1980 ; Giakas et Baltzopoulos, 1997). Notre étude n'a pas permis de mettre en évidence cette corrélation même si l'asymétrie du pas est dans ce travail un paramètre pouvant augmenter en présence d'arthrose, avec la prise d'antalgiques ou encore lors d'une diminution du MMS (Tableaux 2,3 et 5).

La longueur du pas à un pouvoir discriminant plus important que la vitesse de marche pour prédire le risque de chute (Melissa, 2005), alors que pour d'autres auteurs, la longueur du pas ou de l'enjambée et la fréquence ne sont pas reconnues comme pertinentes pour prédire le risque de chutes (Auvinet, 1997). On notera

cependant qu'une diminution de l'enjambée ou de la longueur du pas (enjambée = 2 pas) est une stratégie pour diminuer la vitesse de marche.

La même controverse existe avec la vitesse de marche. Pour certains, elle n'influence pas le risque de chute, alors qu'elle constitue un facteur pronostique de déclin fonctionnel et de chute pour d'autres (Viccaro, 2011). Delbaere et coll. (2010) ont analysé l'influence de plusieurs paramètres physiologiques (contraste de luminosité visuelle, proprioception, force musculaire, temps de réaction et contrôle postural) et psychologiques (Falls Efficacy Scale International – FES-I) associés au risque de chute sur les différents paramètres de la marche. Dans ce travail, les paramètres physiologiques sus-cités sont associés à la diminution de la vitesse de marche, alors que l'appréhension de la chute (appréciée par la FES-I) est associée à l'altération de tous les paramètres de la marche (diminution de la vitesse de marche, diminution de l'enjambée, augmentation du temps de double appui).

Avec l'âge, la marche devient plus lente et les pas plus courts. La modification de ces 2 paramètres est a priori sensée accroître la stabilité à la marche, et donc limiter le risque de chute. Dans un travail d'Espy ayant analysé ces 2 paramètres de manière indépendante, il semble néanmoins qu'à la fois une marche plus rapide et une diminution de la longueur du pas diminuent le risque de chute, et qu'à l'inverse, une vitesse de marche plus lente entraîne une augmentation du nombre de chutes et une diminution de l'équilibre (Imms, 1979 ; Espy, 2010). En outre, chez des jeunes adultes, une marche intentionnellement plus lente induit des changements similaires à ceux observés dans le vieillissement, à savoir une diminution de la longueur du pas

et de l'enjambée, une augmentation des temps d'appuis unipodaux, et une diminution des amplitudes articulaires des hanches, des genoux et des chevilles.

Il est vraisemblable que la modification de ces 2 paramètres (diminution de la longueur du pas et réduction de la vitesse de marche) soit liée à la fois au vieillissement physiologique, et à la peur de tomber lorsqu'elle est présente.

La variabilité des paramètres de marche (variabilité de la vitesse, variabilité de la longueur d'enjambée) semble associée à la stabilité de la marche (Beauchet, 2009) et au risque de chute (Guimarães et Isaacs, 1980, Kressig, 2008). La variabilité des paramètres de marche, notamment en double tache, est d'autant plus grande qu'il existe un déclin cognitif (Gillain, 2010). Il semble également exister un risque de chute accrue lié une variabilité du temps de rotation (Auvinet, 1997).

4.4 Limites

Une des limites tient à la population étudiée, qui est une population de patients âgés voire très âgés, souvent multichuteurs. Peu de données sur des patients similaires sont disponibles dans la littérature.

Les principales limites tiennent aux paramètres analysés par le locomètre® et à la fiabilité des mesures. L'analyse en deux dimensions mesure les paramètres spatiaux et temporels du cycle de marche, mais n'apporte aucune information sur la qualité du mouvement lors de sa réalisation : par exemple, nous ne savons pas si le

mouvement a été effectué correctement ou produit avec compensation. Le Locomètre® ne mesure pas le déplacement du pied dans le plan sagittal. Ainsi, le « fauchage » d'un hémiparétique n'apparaîtra pas sur ce type d'enregistrement.

Le locomètre nécessite d'être vérifié avant chaque utilisation, afin de vérifier la tension des fils, et ainsi limiter le risque d'erreur d'analyse. Néanmoins, en dépit de cette vérification, certaines valeurs rendues par le locomètre apparaissaient aberrantes (ex : valeurs négatives de la longueur du pas, chez des patients considérés comme ayant une marche normale). L'analyse de la marche chez les patients réalisant des tous petits pas (<20cm) était également particulièrement difficile, le locomètre étant parfois incapable de préciser si le patient avait passé le pas ou non. La présence d'un enregistrement vidéo aurait permis de corriger certaines valeurs. Ces imprécisions de mesure de l'appareil ne nous ont pas permis d'exploiter les données sur les temps d'appui unipodaux et bipodaux, et nous rendent très prudents quant aux autres résultats présentés.

Une des limites tient à la passation même du test de marche. Les consignes de passation (marche de son pas habituel) n'ont peut-être pas toujours été bien comprises et/ou respectées par le patient. Nous n'avons pas la donnée quant à l'utilisation ou non d'une aide technique de marche lors de la passation.

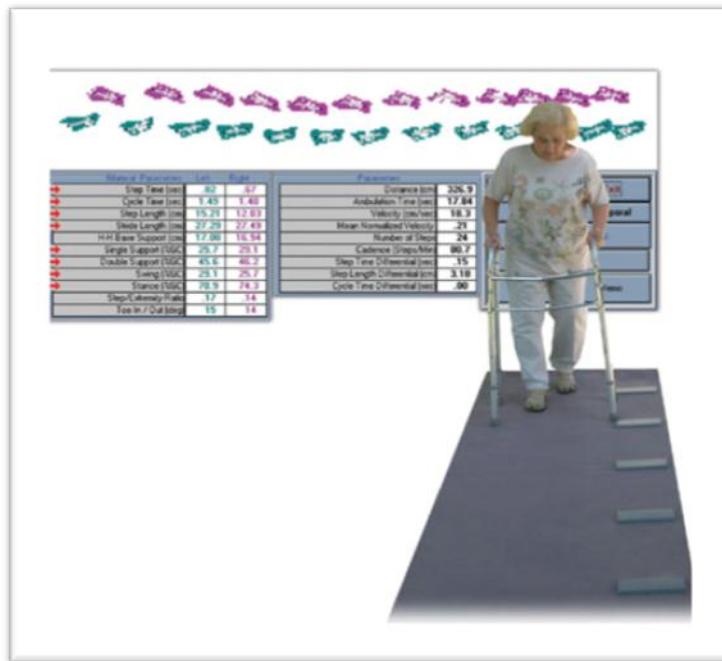
Enfin, nous n'avons pas effectué d'analyse en double tâche, analyse qui semble a priori plus pertinente pour déterminer la variabilité de la marche et le risque de chute.

4.5 Autres techniques d'analyse de la marche

La classification d'Alexander et Goldberg (Alexander et Goldberg, 2005) (Annexe 1) est très utilisée en pratique pour caractériser les troubles de la marche. Les paramètres spatio-temporels sont des descripteurs de la marche validés mais certaines variations minimales ne sont pas accessibles à l'œil humain et nécessitent donc une analyse complémentaire par un dispositif d'analyse.

- Les tapis ou piste de marche : Ils permettent l'analyse de l'ensemble des paramètres spatio-temporels du cycle de marche. Le tapis de marche le plus utilisé est probablement le Gait-Rite®. Ce système correspond à un tapis de marche dans lequel sont disposés de très nombreux capteurs de force (mesure des pressions plantaires), couplé à un système vidéo.

Ce système ne nécessite aucune préparation spécifique du patient. Il permet l'utilisation de canne, béquilles ou déambulateurs, ainsi que le port d'orthèses. Il exploite des données résultant de plusieurs pas et cycles de marche augmentant la fiabilité des mesures. Ce système est simple d'utilisation, dispose d'un logiciel d'exploitation approfondi permettant la gestion de bases de données et la réalisation de rapports. Ce système est largement utilisé par les équipes publiant sur les troubles de la marche et la chute.



- L'accéléromètre tri-axial : Les accéléromètres sont des appareils permettant d'enregistrer l'accélération, et qui permettent principalement l'étude des mouvements d'un point du corps. Des développements technologiques récents ont permis la production d'appareils portatifs de coût faible, permettant grâce à des capteurs, une analyse fiable de la marche et de l'équilibre. Le principe est de disposer sur un point du corps, un accéléromètre triaxial, composé de trois accéléromètres montés à angle droit les uns des autres. L'analyse en fonction du temps des signaux sur les trois axes fournit les composantes 3-D de la vitesse du point et une seconde analyse, les composantes de son déplacement dans l'espace. Les accéléromètres peuvent mesurer des paramètres simples de marche tels que les durées et symétries des enjambées et vitesse de marche. L'enregistrement des accélérations au niveau du tronc apporte une information générale sur la variabilité ou la régularité de la marche. Les perturbations et les événements remarquables de la marche, les risques de

chute, la boiterie peuvent être ainsi identifiés comme par exemple chez le sujet âgé, coxarthrosique ou parkinsonien.

- Les systèmes baropodométriques par capteurs plantaires : « L'analyse baropodométrique de la marche est l'unique méthode dynamique quantitative permettant l'analyse de la répartition des pressions plantaires et des appuis dans des pathologies neurologiques, orthopédiques, malformatives, et métaboliques. Réservée aux cas difficiles, cette évaluation est indispensable pour mieux orienter la décision thérapeutique et/ou le choix d'appareillages, de chaussures ou orthèses, et permettre le suivi des patients » (HAS, 2007).

- L'analyse optocinétique, ou 3D : Cette technique d'analyse du mouvement associe plusieurs systèmes d'acquisition, le dispositif d'analyse cinématique composé de six caméra infra-rouge, les plates-formes de force permettant de calculer des variables biomécaniques et l'électromyogramme qui analyse l'activité musculaire. Cette technique est proposée depuis quelques années dans la prise en charge chirurgicale du handicap chez l'enfant.

Ce système est utilisé notamment au CHU de Toulouse (Scandella, Ursei, Gasq) et au CHU de Nantes (Perrovin-Verbe, Dubois)

- Les Smartphones sont des appareils très courants dans la vie quotidienne qui ont un haut-accéléromètre tri-axial. Similaire aux accéléromètres développés antérieurement, les Smartphones peuvent être utilisés pour évaluer les

caractéristiques de la marche. Une étude récente indique qu'un Smartphone avec une application analyse de la marche a la capacité de quantifier les paramètres de marche avec un degré de précision qui est comparable à celle de l'accéléromètre tri-axial (Nishiguchi, 2012). Trente jeunes adultes sains ont participé à cette étude. Ils marchaient à 20 m à leur vitesse privilégiée, et leurs accélérations du tronc ont été mesurées à l'aide d'un Smartphone et un accéléromètre tri-axial qui a été fixé sur le processus épineux de L3 (3^{ème} vertèbre lombaire). Une application analyse de la marche et a été installé dans un Smartphone pour mesurer l'accélération. Après le traitement du signal, les paramètres de la marche de chaque borne de mesure ont été calculés: la fréquence maximale (PF), moyenne quadratique (RMS), le pic d'autocorrélation (AC), et le coefficient de variation (CV) des intervalles de pointe d'accélération. Une uniformité remarquable a été observée dans la fidélité de tous les résultats des paramètres de la marche obtenus par le Smartphone ($p < 0,001$). Tous les résultats des paramètres de la marche obtenus par le Smartphone ont montré des corrélations statistiquement significatives avec les résultats des mêmes paramètres obtenus par l'accéléromètre tri-axial (Nishiguchi, 2012).

5. CONCLUSION

La prévalence des troubles de la marche est importante (86%) dans la population étudiée. Ces troubles sont la conséquence de nombreux facteurs (vieillesse, pathologies neurologiques, rhumatologiques, psychiatriques, facteurs médicamenteux, facteurs environnementaux) et sont associés au risque de chute.

L'analyse des paramètres de la marche dans cette population âgée chuteuse confirme des données connues. L'utilisation d'une aide technique, la peur de tomber, un IMC élevé, un déclin cognitif apprécié par le MMS, la dépendance appréciée par l'échelle ADL, le nombre de médicaments diminuent significativement la vitesse de marche. La démence, la peur de tomber, un IMC élevé, la dépendance, le nombre de médicaments sont associés à une diminution de la longueur d'enjambée

Dans ce travail, seul l'âge influence la variabilité de la vitesse de marche et la variabilité de la longueur d'enjambée.

Aucun des paramètres de marche analysés dans cette étude n'ont pas permis de mettre en évidence de corrélation significative avec le risque de chute, qu'il s'agisse du nombre de chutes dans les 6 mois précédant la consultation ou du nombre de chutes dans les 6 mois suivant la consultation.

De nombreux dispositifs d'analyse des paramètres de la marche permettent l'étude de la marche sous ses différents aspects, complétant l'observation de la marche par l'œil humain. Le Locomètre®, dispositif filaire utilisé dans cette étude a montré certaines limites dans l'analyse de la marche. D'autres dispositifs tendent à se développer dans les centres de rééducation et permettent une analyse globale de la

marche comme l'analyse de la marche en 3D, même si le système GAIT-Rite® reste le dispositif d'analyse le plus utilisé actuellement.

6. BIBLIOGRAPHIE

Alexander NB. Définition et épidémiologie des troubles de chutes et de la démarche. Dans: Sirven JI, Malamut BL, éditeurs. *Neurologie clinique de la personne âgée*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2002. pp 108-116.

Ambrose AF , Noone ML , Pradeep TB , B Johnson , Salam KA , Verghese J. Gait and cognition in older adults: Insights from the Bronx and Kerala. *Ann Indian Acad Neurol*. 2010; 13(Suppl 2):S99-S103.

American Geriatrics Society, British Geriatrics Society, and American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Falls. Guideline for the prevention of falls in older persons. *J Am Geriatr Soc* (2001); 49:664–672.

Auvinet B, Berrut G, Touzard C, Moutel L, Collet N, Chaleil D, Barrey E. Gait abnormalities in elderly fallers. *Journal of Aging an Physical Activity*, 2003; 11:40-52.

Auvinet B, Chaleil D, Barrey E. Analyse de la marche humaine dans la pratique hospitalière par une méthode accélérométrique. *Rev Rhum [Ed. Fr.]* 1999; 66:447-57.

Beauchet O, Dubost V, Herrmann F, Rabilloud M, Gonthier R, Kressig RW. Relationship between dual-task related gait changes and intrinsic risk factors for falls among transitional frail older adults. *Aging Clin Exp Res*. 2005 Aug; 17(4):270-5.

Beauchet O, Allali G, Berrut G, Hommet C, Dubost V, Assal F. Gait analysis in demented subjects: Interests and perspectives. *Neuropsychiatr Dis Treat*. 2008 Feb;4(1):155-60.

Beauchet O, Allali G, Annweiler C, Bridenbaugh S, Assal F, Kressig RW, Herrmann FR. Gait variability among healthy adults: low and high stride-to-stride variability are both a reflection of gait stability. *Gerontology*. 2009 ;55(6):702-6.

Bessou P, Dupui P, Montoya R, Pagès B. Simultaneous recording of longitudinal displacements of both feet during human walking. *Journal physiologie* 1988; 83: 102-110.

Blanc P, Blanchon MA, Beauchet O, Gontier R. Est-il légitime d'effectuer une campagne de prévention des chutes chez des sujets autonomes à domicile ? *L'Année Gériatrique*. Paris: Serdi; 2000: 67-85.

Blanc P, Balmer C, Landis T, Vingerhoets F. Temporal parameters and patterns of the foot roll over during walking : Normative data for healthy adults. *Gait and posture*, 1999; 10:97-108.

Blanke DJ, Hageman PA. Comparison of gait of young men and elderly men. *Phys Ther*. 1989; 69(2):144-8.

Bohannon RW. Comfortable and maximum walking speed of adults age 20-79 years: Reference value and determinants. *Age of Ageing*, 1997; 26: 15-19.

Boyer KA, Angst MS, Asay J, Giori NJ, Andriacchi TP Sensitivity of gait parameters to the effects of anti-inflammatory and opioid treatments in knee osteoarthritis patients. *J Orthop Res*. 2012 Jul; 30(7):1118-24.

Brandler TC, Wang C, Oh-Park M, Holtzer R, Verghese J. Depressive symptoms and gait dysfunction in the elderly. *J AM Geriatr Psychiatry*. 2011; 20 (5): 425-32.

Chamberlin ME, Fulwider BD, Sanders SL, Medeiros JM. Does fear of falling influence spatial and temporal gait parameters in elderly persons beyond changes associated with normal aging? *J Gerontol* 2005; 60:1163–7.

CIR Systems I. The GAIT-Rite Electronic Walkway Measurements & Definitions. 2006 [cited 2009 1 June]. Available from:

http://www.gaitrite.com/Downloads/GAITRite_Measurement_Definitions.pdf.

Costes-Salmon MC, Lafont Ch et al. Comparaison de la marche de sujets jeunes et de sujets âgés par analyse kymographique. In Jacquot JM, Stubel D, Pélissier J. eds. La chute de la personne âgée. Paris : *Masson* ; 1999:53-63.

Dahlstedt S. Slow pedestrians: walking speeds and walking habits of old aged people. Stockholm: *The Swedish Council for Building Research*, Report R2: 1978, 1977.

D'Angeli-chevassut M and Gaviria M. La marche humaine, description et repères sémantiques. In Pelissier J and Brun V (Eds.), *La marche humaine et sa pathologie* ; *Masson* 1994; 9-20.

Delbaere K, Close JC, Mikolaizak AS, Sachdev PS, Brodaty H, Lord SR. The Falls Efficacy Scale International (FES-I). A comprehensive longitudinal validation study. *Age Ageing* 2010; 39:210–6.

Delbaere K, Crombez G, van Haastregt JC, Vlaeyen JW. Falls and catastrophic thoughts about falls predict mobility restriction in community-dwelling older people: a structural equation modeling approach. *Aging Ment Health* 2009;13:587–92.

Diop M, Rahmani A, Calmels P, Gautheron V, Belli A, Geysant A, Cottalorda J. Influence de la vitesse et de l'âge sur la variabilité intrasujet des forces de réaction et des paramètres spatio-temporels de la marche de l'enfant sain. *Ann Med Phys Readapt.* 2004; 47 (2) :72-80

Dolinak D. Review of the significance of various low force fractures in the elderly. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology* (2008); 29: 99-105.

Espy DD, Yang F, Bhatt T, Pai YC. Independent influence of gait speed and step length on stability and fall risk. *Gait Posture* 2010 Jul;32(3):378-82

Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res.* 1975 Nov; 12(3):189-98.

Gabell A, Nayak US. The effect of age on variability in gait. *J Gerontol* 1984; 39:662-6.

Gasq D, Molinier F, Lafosse JM. *Physiologie, méthodes d'explorations et troubles de la marche*. 2009.

Gaxatte C, Nguyen T, Chourabi F, Salleron J, Pardessus V, Delabrière I, Thévenon A, Puisieux F. Fear of falling as seen in the Multidisciplinary falls consultation. *Ann Phys Rehabil Med*. 2011 Jun;54(4):248-58

Giakas G, Baltzopoulos V. A comparison of automatic filtering techniques applied to biomechanical walking data. *J Biomech*. 1997; 30(8):847-50.

Gillain S, Warzee E, Lekeu F, Wojtasik V, Maquet D, Croisier JL, Salmon E, Petermans J. The value of instrumental gait analysis in elderly healthy, MCI or Alzheimer's disease subjects and a comparison with other clinical tests used in single and dual-task conditions. *Ann Phys Rehabil Med*. 2009 Jul;52(6):453-74.

Gouelle, F. Mégrot, A. Yelnik et al. Évaluation de la stabilité dynamique de marche: Un score spatio-temporelle des paramètres basée, E139. *Dans les Annales de médecine physique et de réadaptation* ; 2011.

Guillochon A, Crinquette C, Gaxatte C, Pardessus V, Bombois S, Deramecourt V, Boulanger E, Puisieux F. Neurological diseases detected in the Lille Multidisciplinary Falls Consultation. *Rev Neurol (Paris)*. 2010; 166(2):235-41.

Guimaraes RM, Isaacs B. Characteristics of the gait in old people who fall. *Int Rehabil Med* 1980; 2: 177–80.

Hausdorff JM. Gait dynamics, fractals and falls: finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. *Hum Mov Sci* 2007; 26: 555–89.

Hausdorff JJ. Gait variability: methods, modeling and meaning. *J Neuroeng Rehabil*. 2005; 2: 19.

Hausdorff, J. M., Peng, C. K., Ladin, Z., Wei, J. Y., & Goldberger, A. L. (1995). Is walking a random walk? Evidence for long-range correlations in stride interval of human gait. *Journal of Applied Physiology*, 78, 349–358.

Hausdorff JM, Edelberg HK, Mitchell SL, Goldberger AL, Wei JY. Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly fallers. *Arch Phys Med Rehabil* 1997; 78: 278–83.

Haute Autorité de Santé. Recommandations pour la pratique clinique : prévention des chutes accidentelles chez la personne âgée. Novembre 2005 (<http://www.has-sante.fr>).

Haute Autorité de Santé. Analyse tridimensionnelle de la marche sur plate-forme de force. Novembre 2006 (<http://www.has-sante.fr>).

Haute Autorité de Santé. Analyse instrumentale de la cinématique de la marche. Juin 2007 (<http://www.has-sante.fr>).

Holtzer R, J Verghese, Xue X, RB Lipton. Processus cognitifs liés à la vitesse de marche: Résultats de l'étude du vieillissement Einstein. *Neuropsychologie*. 2006; 20 :215-23.

Imms FJ, Edholm OG. The assessment of gait and mobility in the elderly. *Age Ageing* 1979;8: 261-7.

Judge J, Davis R, Ounpuu S. Step length reductions in advanced age: the role of ankle and hip kinetics. *Journal of Gerontology* 1996; 51: M303-M312.

Jahn K, Zwergal A, Schniepp R. Gait disturbances in old age: classification, diagnosis, and treatment from a neurological perspective. *Dtsch Arztebl Int*. 2010; 107(17):306-15.

Katz S, Downs TD, Cash HR, Grotz RC. Progress in development of the index of ADL. *Gerontologist*. 1970 Spring; 10(1):20-30

Kemoun G, Une classification des troubles de la marche du sujet âgé peut-elle être proposée ? Communication orale aux Journées Annuelles de la *Société Française de Gériatrie et de Gérontologie*. Paris, octobre 2012.

Kirkwood RN, de Souza Moreira B, Vallone ML, Mingoti SA, Dias RC, Sampaio RF, Jahn. Step length appears to be a strong discriminant gait parameter for elderly females highly concerned about falls: a cross-sectional observational study. *Physiotherapy*. 2011 Jun; 97(2):126-31.

Kressig RW, Gregor RJ, Oliver A, Waddell D, Smith W, O'Grady M, et al. Temporal and spatial features of gait in older adults transitioning to frailty. *Gait Posture* 2004; 20: 30–5.

Kressig RW, Herrmann FR, Grandjean R, Michel JP, Beauchet O. Gait variability while dual-tasking: fall predictor in older inpatients? *Aging Clin Exp Res*. 2008 Apr; 20(2):123-30.

Larish DD, Martin PE, Mungiole M. Characteristics patterns of gait in the healthy old. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1987, 515, 18-32.

Latt MD, Menz HB, Fung VS, Lord SR. Walking speed, cadence and step length are selected to optimize the stability of head and pelvis accelerations. *Exp Brain Res* 2008; 184: 201–9.

Laufer Y. Effect of age on characteristics of forward and backward gait at preferred and accelerated walking speed. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2005; 60: 627–32.

Maki BE. Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear. *J Am Geriatr Soc* 1997; 45: 313-20.

Manckoundia P, Mourey F, Pfitzenmeyer. Gait and dementias. *Ann Readapt Med Phys*. 2008 Nov; 51(8):692-700.

Marey, B.E. Le mouvement. *Masson*; 1894.

Mills PM, Barrett RS. Swing phase mechanics of healthy young and elderly men. *Hum Mov Sci.* 2001; (4-5):427-46.

Murray M.P, Peterson R.M. Weight distribution and weight-shifting activity during normal standing posture. *Phys;Ther*, 1973;53: 741-748.

Nigg BM, Fisher V, Ronsky JL. Gait characteristics as a function of age and gender. *Gait and posture*, 2, 213-220.

Nishiguchi S, Yamada M, Nagai K, Mori S ,Kajiwara Y, Sonoda T, Yoshimura K , Yoshitomi H, Ito H, Okamoto K, Ito T, Muto S, Ishihara T, Aoyama T. Reliability and validity of gait analysis by android-based smartphone. *Telemed J E Health*.2012.

Nutt JG. Classification des troubles de la marche et de l'équilibre. *Adv Neurol.* 2001; 87: 135-41.

Nutt, JG., Marsden CD, & Thompson PD (1993). Human walking and higher-level gait disorders, particularly in the elderly. *Neurology*, 43, 268–279.

Oberg T, Karsznia A, Ogerg K. Basic gait parameters: Reference data for normal subjects, 10-79 years of age. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 1993, 81, 991-994.

Paragas LK, Varin J, Berenter R. Use of gait patterns to reveal possible disorders in the geriatric patient. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2000; 90(4):183-93.

Perry J, Bontrager EL, Bogey RA, Gronley JK, Barnes LA. The Rancho EMG analyzer: a computerized system for gait analysis. *J Biomed Eng.* 1993; 15(6):487-96.

Poujol L, Annweiler C, Allali G, Fantino B, Beauchet O. Effect of psychoactive medication on gait variability in community-dwelling older adults: a cross-sectional study. *J Am Geriatr Soc.* 2010 Jun;58(6):1207-8.

Sanders JB , Bremmer MA , Deeg DJ , Beekman AT. Do Depressive Symptoms and Gait Speed Impairment Predict Each Other's Incidence? A 16-Year Prospective Study in the Community. *J Am Geriatr Soc.* 2012; 60(9):1673-80.

Snijders AH, van de Warrenburg BP, N Giladi, Bloem BR. Neurologiques troubles de la marche chez les personnes âgées.: Approche clinique et la classification . *Lancet Neurol* 2007; 6: 63-74.

Stolze H, Kuhn-Bushbeck JP, Mondwurf C. Retest reliability of spatiotemporal gait parameters in children and adults. *Gait & Posture*, 1998; 7: 125-130.

Toulotte C, Thevenon A, Watelain E, Fabre C. Identification of healthy elderly fallers and non-fallers by gait analysis under dual-task conditions. *Clin Rehabil.* 2006 Mar; 20(3):269-76.

Viccaro LJ , Perera S , Studenski SA. Is timed up and go better than gait speed in predicting health, function, and falls in older adults? *J Am Geriatr Soc.* 2011; 59(5):887-922012;18(4):292-6.

Viel E, La marche humaine, la course et le saut : biomécanique, explorations, normes et dysfonctionnement. *Le point en rééducation et APS volume 9.* Editions Masson, 2000.

Vergheze J, Ambrose AF, Lipton RB, et Wang C. Anomalies de la démarche neurologiques et le risque de chutes chez les personnes âgées. *J Neurol* 2010; 257; 392-398.

Whittle MW. Gait analysis: an introduction (third edition). *Oxford: Butterworth-Heinemann.* 2002.

Winter DA, Patla AE, Frank JS, Walt SE. Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. *Phys Ther.*1990; 70(6):340-7.

7. ANNEXES

Gait disorders vary according to the level of sensorimotor deficit		
LEVEL	DEFICIT/CONDITION	GAIT CHARACTERISTICS
Low	Peripheral sensory ataxia: posterior column, peripheral nerves, vestibular and visual ataxia	Unsteady, uncoordinated (especially without visual input), tentative, "drunken"
	Peripheral motor deficit due to arthritis (antalgic gait, joint deformity)	Avoids weight-bearing on affected side; shorter stance phase Painful hip may produce Trendelenburg gait (trunk shift over affected side) Painful knee is flexed Painful spine produces short, slow steps and decreased lumbar lordosis Non-antalgic features Include contractures, deformity-limited motion, buckling with weight-bearing Kyphosis and ankylosing spondylosis produce stooped posture Unequal leg length can produce abnormal trunk and pelvic motion, including Trendelenburg gait
	Peripheral motor deficit due to myopathic and neuropathic conditions (weakness)	Pelvic girdle weakness produces exaggerated lumbar lordosis and lateral trunk flexion (Trendelenburg and "waddling" gait) Proximal motor neuropathy produces waddling and foot slap Distal motor neuropathy produces distal weakness, especially ankle dorsiflexion and "foot drop," which may lead to exaggerated hip flexion, knee extension, foot lifting (steppage gait), and foot slap
Middle	Spasticity from hemiplegia, hemiparesis	Leg swings outward and in semi-circle from hip (circumduction); knee may hyperextend (genu recurvatum); ankle may show excessive plantar flexion and inversion (equinovarus); with less paresis, some may only lose arm swing and only drag or scrape the foot
	Spasticity from paraplegia, paresis	Circumduction of both legs; steps are short, shuffling, and scraping; when severe, hip adducts so that knees cross in front of each other (scissoring)
	Parkinsonism	Small and shuffling steps, hesitation, acceleration (festination), falling forward (propulsion), falling backward (retropulsion), moving the whole body while turning (turning en bloc), no arm swinging
	Cerebellar ataxia	Wide-based gait with increased trunk sway, irregular stepping, staggering (especially on turns)
High	Cautious gait	Fear of falling with appropriate postural responses, normal to widened gait base, shortened stride, slower, turning en bloc
	Frontal-related or white-matter lesions: cerebrovascular lesions, normal-pressure hydrocephalus	Frontal gait disorder: difficulty initiating gait; short, shuffling gait, like parkinsonian, but with wider base, upright posture, arm swing, leg apraxia, and "freezing" when turning or when attention is diverted May also have cognitive, pyramidal, urinary disturbances

[Annexe 1: Alexander and Goldberg. Cleveland Clinic Journal Of Medicine 2005](#)

Elements of the clinically based diagnostic work-up		
Main features of gait	Specific gait or balance test*	Associated symptoms and signs
Antalgic gait	Reduced stance phase on affected limb Limping	Pain Limited range of movements
Paretic/hypotonic gait	High stepping Dropping foot Waddling	Trendelenburg's sign Lower motor neuron features (eg, weakness, atrophy, low to absent tendon reflexes)†
Spastic gait	Circumduction Intermittent abduction of ipsilateral arm with each step Foot dragging: audible "scuffing toe" Scissoring; bilateral circumduction	Pyramidal syndrome Anterior-medial side of the shoe sole worn out
Vestibular gait	Deviation to one side	Vestibular features (eg, nystagmus, abnormal tilting test)
Sensory ataxic gait	Staggering, wide based	Disturbed proprioception
Cerebellar ataxic gait	Staggering, wide based	Cerebellar ataxia (eg, dysarthria, hypermetria, nystagmus)
Dyskinetic gait	Extra movements that affect gait	Features of dystonia, chorea, myoclonus or tics
Hypokinetic-rigid gait	Shuffling (slow speed, short stride, rigidity, reduced step height) Hesitation and freezing	Hypokinetic-rigid features (eg, bradykinesia, resting tremor)
Cautious gait	"Walking on ice"; slow, wide base, short steps Striking improvement with external support	Postural instability (mild to moderate) Excessive fear of falling
Higher level gait disorder	Severe balance impairment (no rescue reactions with the pull test; "falling like a log") Inadequate synergies Inappropriate or bizarre foot placement Crossing of the legs Leaning into wrong direction when turning or standing Variable performance (influenced by environment and emotion) Hesitation and freezing (ignition failure)	Abnormal interaction with environment (eg, trouble adapting with walking aids; no benefit from cues) Sometimes better able to perform cycling leg movements while recumbent (gait "apraxia") Depression Frequent falls

A clinically based diagnosis for each gait syndrome can usually be reached with a systematic approach: first, a description of the core gait features; next, the use of specific gait or balance tests; and finally, a search for associated symptoms and signs. *Simple diagnostic tests that can be done at the bedside include: providing external support (eg, a walking aid); imposing secondary tasks while walking (dual or multiple tasking); eye closure; walking backwards; influence of external cues (visual, auditory; or mental). †Peripheral neuropathy and radiculopathy are among the most common causes of gait difficulties in the elderly.

Table 1: Main features of specific gait syndromes

Annexe 2: Classification de Snijders, 2007

Analyse des paramètres spatio-temporels de la marche Satel Locomètre

Patient : XXXXXXXXXX
Date de naissance : 09/09/1933
N° Sécurité Sociale : -
ID Code :
Pathologie :

Prescripteur : SATEL Posturologie
Tél:

Bilan de Marche - Examen N° 3 du 05/09/2006 à 14H 57mn

Conditions d'examen : Sans

Calculs relatifs aux cycles D5 G6 D7 G8 D9 G10 D11 G12

I. Efficacité locomotrice :		Normes	Ecart
* La vitesse de marche est de :	2,87 Km/h.	4,56	- 37 %
On relève une perte d'efficacité locomotrice de : 37 %.			
* Cette perte est due à :			
- une réduction de la longueur d'enjambée de :	19 %		
- une réduction de la cadence de marche de :	22 %		

II. Organisation spatiale du cycle locomoteur :		Normes	Ecart
* Les pas ont une longueur de :	0,51 mètres à gauche	0,65	- 22 %
	0,54 mètres à droite.	0,65	- 16 %

Ces valeurs peuvent être considérées comme physiologiques.

III. Organisation temporelle du cycle locomoteur :			
* Le cycle locomoteur est organisé :			
- à gauche de :	64 % de temps d'appui	61 %	+ 4 %
	36 % de temps de balancement	39 %	- 7 %
- à droite de :	65 % de temps d'appui	61 %	+ 6 %
	35 % de temps de balancement	39 %	- 10 %

Le sujet privilégie les phases d'appui au détriment des phases de balancement par rapport à la Norme.

* L'analyse des temps de double-appui montre que :
les appuis bipodaux sont supérieurs à la norme mais sont symétriques.

* L'analyse des temps d'appui mono-podaux montre que :
les appuis sont allongés mais symétriques.

IV. Commentaire :
Cadence soutenue

Analyse des paramètres spatio-temporels de la marche Satel Locomètre

Patient : XXXXXXXXXX
 Date de naissance : 09/05/1933
 N° Sécurité Sociale : -
 ID Code :
 Pathologie :

Prescripteur : SATEL Posturologie
 Tél:

Résultats de l'enregistrement N° 3 du 05/09/2006 à 14H 57mn

Conditions d'examen : Sans

Calculs relatifs aux cycles D5 G6 D7 G8 D9 G10 D11 G12

Paramètres cinétiques	Mesures	Ecart/Normes	Normes
Vitesse de marche (m/mn)	47,89 ±2,53	- 37 %	76,08 ±9,30
Vitesse de marche (m/s)	0,80 ±0,04	- 37 %	1,27 ±0,15
Vitesse de marche (km/h)	2,87 ±0,15	- 37 %	4,56 ±0,56
Cadence de la marche (enj/mn) (enjambées/mn)	90,23 ±0,00	- 22 %	115,77 ±9,34
Longueur d'enjambée (m)	1,06 ±0,05	- 19 %	1,31 ±0,07

	Pied Gauche	Pied Droit	% Asymétrie	
Longueur				
Pas (m)	0,51 ±0,02 - 22 %	0,54 ±0,03 - 16 %	6 %	0,65 ±0,04
Durée				
Cycle (s)	1,33 ±0,03 + 30 %	1,32 ±0,03 + 29 %	1 %	1,03 ±0,08
Appui total (s)	0,85 ±0,03 + 35 %	0,86 ±0,02 + 37 %	1 %	0,63 ±0,06
% Appui total / cycle	63,84 ±0,70 + 4 %	64,91 ±1,07 + 6 %		61,21 ±1,07
Appui bipodal (s)	0,19 ±0,02 + 58 %	0,20 ±0,01 + 65 %		0,12 ±0,02
% Appui bipodal / cycle	14,22 ±0,90 + 25 %	14,90 ±0,85 + 31 %		11,41 ±2,21
Balancement				
Durée (s)	0,48 ±0,00 + 21 %	0,47 ±0,02 + 16 %	4 %	0,40 ±0,02
% Balancement / cycle	36,16 ±0,70 - 7 %	35,09 ±1,07 - 10 %		38,78 ±2,07
Ramener				
Durée (s)	0,26 ±0,00 + 54 %	0,24 ±0,01 + 44 %		0,17 ±0,01
% Ramener / balancement	54,41 ±1,15 + 21 %	52,70 ±1,66 + 17 %		44,93 ±2,18
Passage				
Durée (s)	0,22 ±0,01 + 5 %	0,22 ±0,01 + 5 %		0,21 ±0,02
% Passage / balancement	45,59 ±1,15 - 17 %	47,30 ±1,66 - 14 %		55,06 ±2,18
Vitesse des différentes phases du cycle				
Moy balancement (m/s)	2,18 ±0,11 - 33 %	2,30 ±0,12 - 30 %		3,28 ±0,26
Max balancement (m/s)	3,23 ±0,58 - 30 %	3,30 ±0,47 - 28 %		4,60 ±0,41
Ramener (m/s)	2,07 ±0,12 - 44 %	2,15 ±0,11 - 41 %		3,67 ±0,28
Passage (m/s)	2,32 ±0,12 - 22 %	2,47 ±0,14 - 17 %		2,96 ±0,29

Analyse des paramètres spatio-temporels de la marche Satel Locomètre

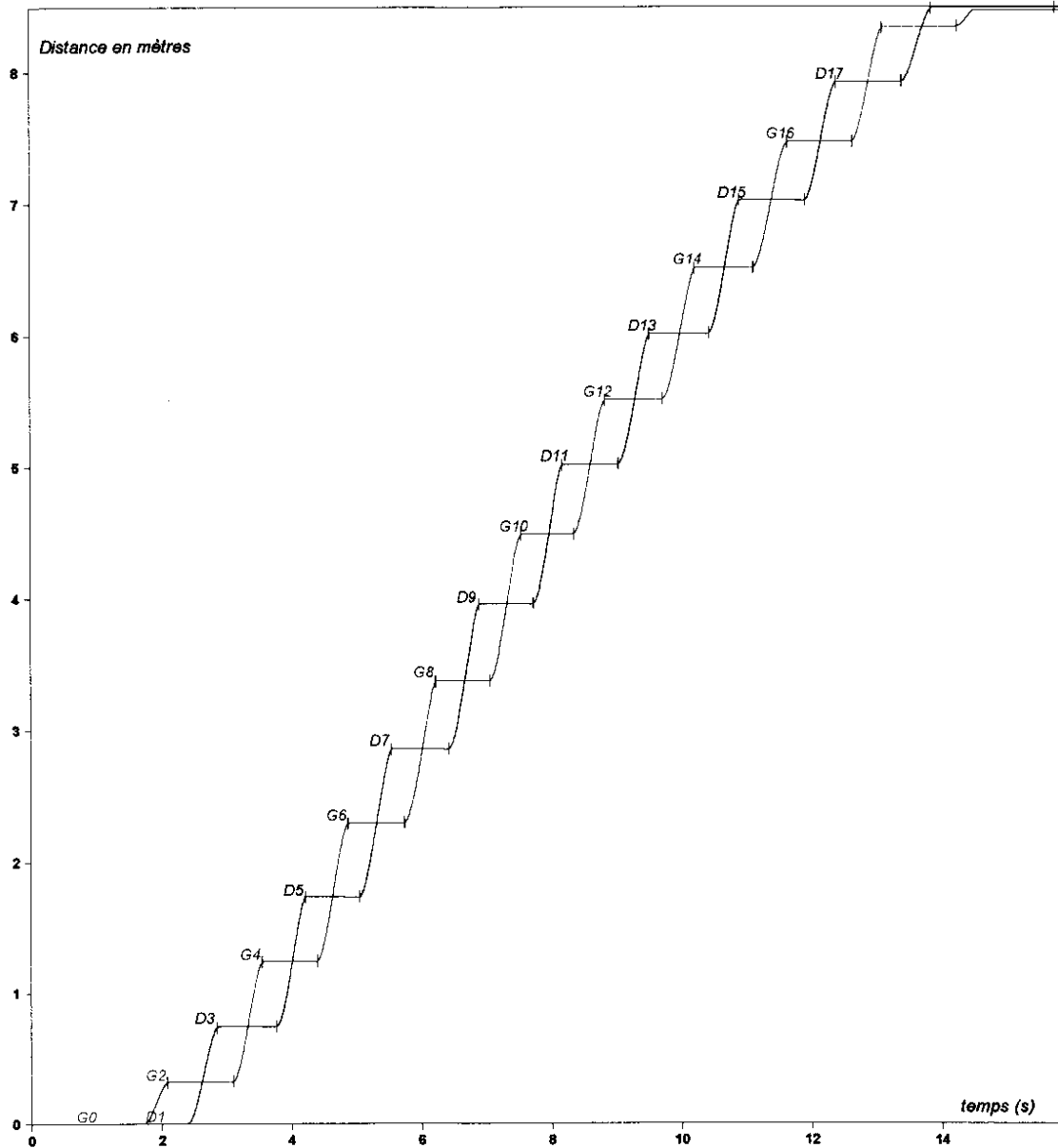
Patient : ██████████
Date de naissance : 09/03/1933
N° Sécurité Sociale : -
ID Code :
Pathologie :

Prescripteur : SATEL Posturologie
Tél:

Locogramme N° 3 du 05/09/2006 à 14H 57mn

Conditions d'examen : Sans

Calculs relatifs aux cycles D5 G6 D7 G8 D9 G10 D11 G12



Analyse des paramètres spatio-temporels de la marche Satel Locomètre

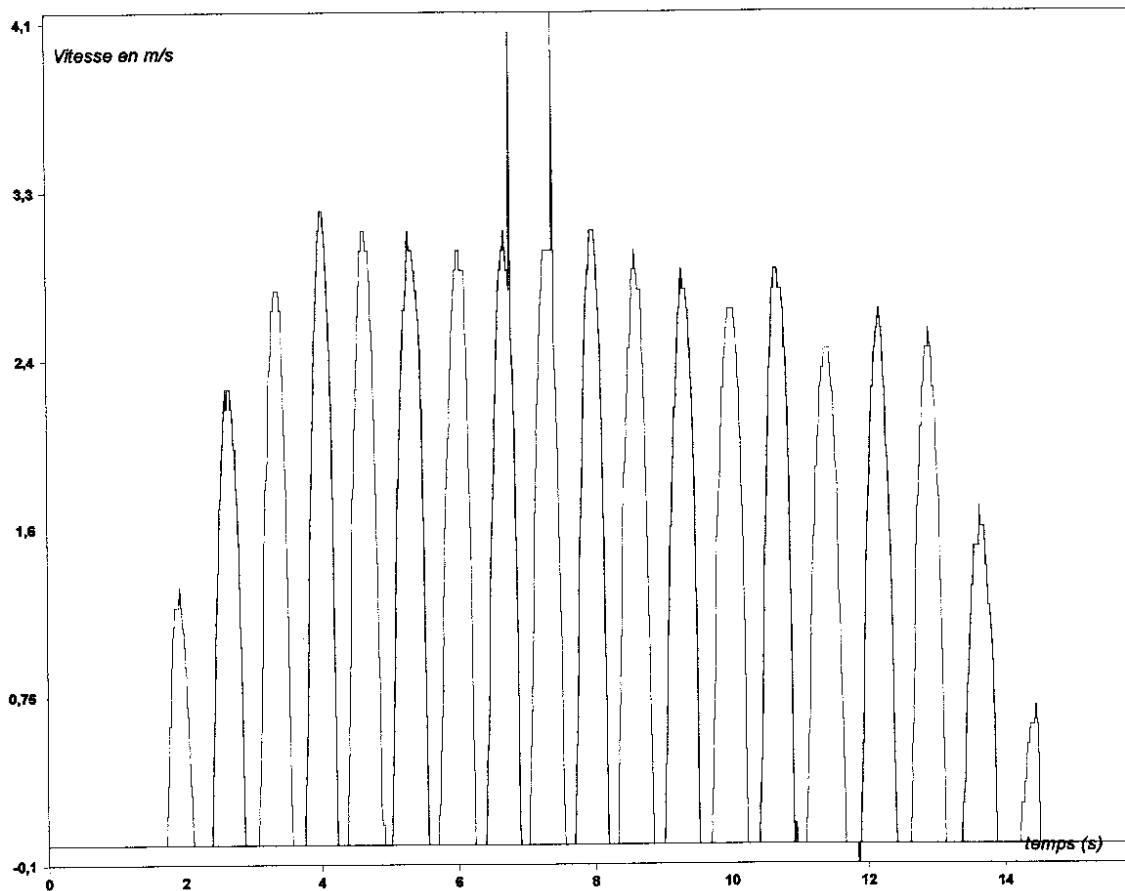
Patient : XXXXXXXXXX
Date de naissance : 09/09/1933
N° Sécurité Sociale : -
ID Code :
Pathologie :

Prescripteur : SATEL Posturologie
Tél:

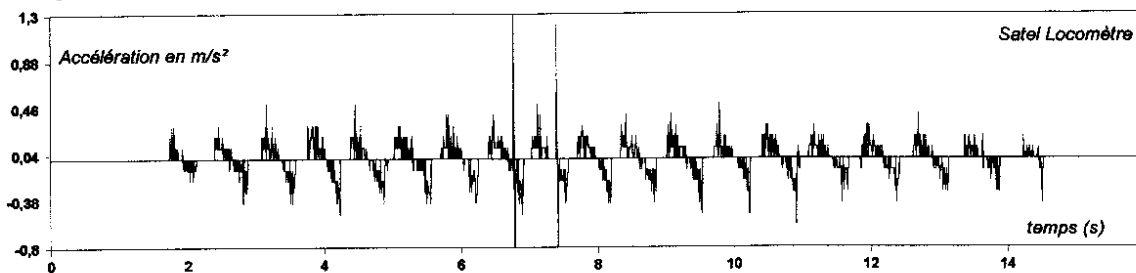
Courbe des vitesses N° 3 du 05/09/2006 à 14H 57mn

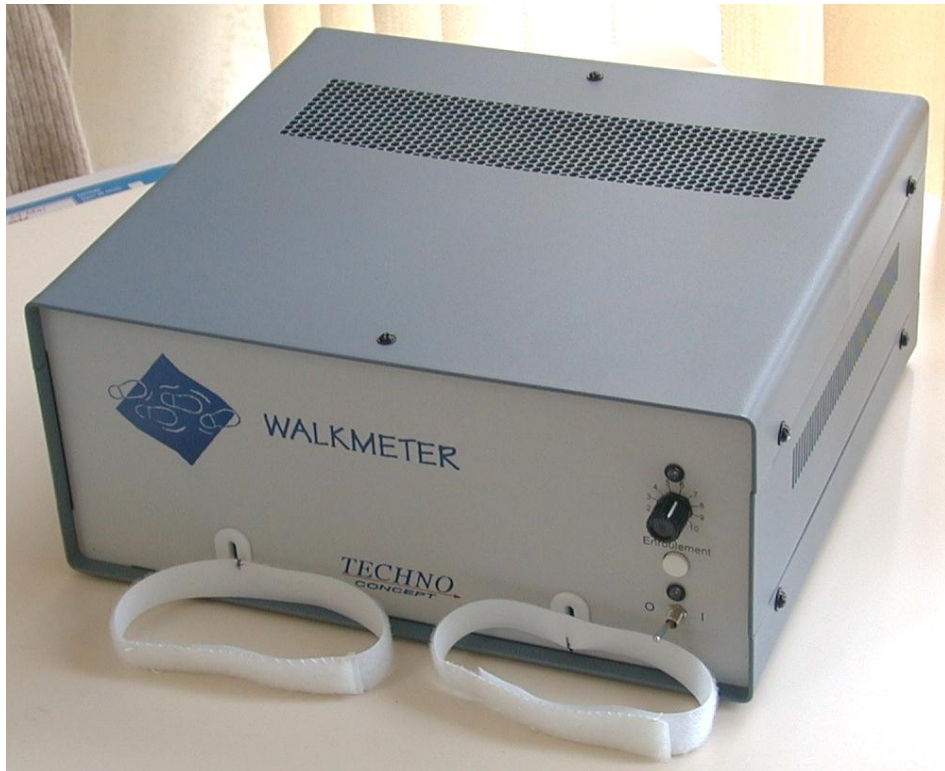
Conditions d'examen : Sans

Calculs relatifs aux cycles D5 G6 D7 G8 D9 G10 D11 G12



Courbe des accélérations





Annexe 7 : Walkmeter® (autre dispositif filaire)

