HAL
open science

Les technologies de l'information et de la communication pour le maintien à domicile des personnes âgées.

Amandine Dubois

To cite this version:

Amandine Dubois. Les technologies de l'information et de la communication pour le maintien à domicile des personnes âgées.. [Stage] 2010. inria-00551748

HAL Id: inria-00551748

https://inria.hal.science/inria-00551748

Submitted on 4 Jan 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Nancy-Université
Université Nancy 2
UFR mathématiques et informatique

MÉMOIRE DE DEUXIÈME ANNÉE DE MASTER
SCIENCES COGNITIVES

Les technologies de l'information et de la communication pour le maintien à domicile des personnes âgées

Présenté par :

Amandine Dubois

Encadré par :

Christine Bourjot
et
François Charpillet

31 août 2010

Table des matières

1 Introduction **1**

1.1 La dépendance des personnes âgées 1

1.2 Les nouvelles technologies 2

2 Description du laboratoire d'accueil **7**

3 Présentation du problème **9**

3.1 Contexte 9

3.1.1 Les chutes chez les personnes âgées 9

3.1.2 La marche [23] 11

3.2 Cahier des charges 12

3.3 Etat de l'art 12

3.4 Description du système développé par l'équipe MAIA 15

3.4.1 Reconstruction du mouvement d'une personne 15

3.4.2 Reconstruction de la position des pas 17

4 Evaluation du système **21**

4.1 Objectifs 21

4.2 Sujets 21

4.3 Matériels 21

4.4 Procédure 22

4.5 Variables prises en compte 24

4.6 Résultats 25

4.6.1 Tests avec la variable « longueur » 25

4.6.2 Test avec la variable « durée des pas » 30

4.7 Inconvénients et avantages du système développé par l'équipe MAIA 31

4.7.1 Les inconvénients du système 31

4.7.2 Avantages du système 32

4.8 Conclusion et perspectives 34
4.8.1 Conclusion 34
4.8.2 Perspectives 34

5 Bilan **37**
5.1 Remarques liées au déroulement du stage 37
5.2 Remarques en rapport avec la formation sciences cognitives 39

Table des figures

1 Polygone de sustentation 11

2 (a) accéléromètre, (b) gyroscope, (c) goniomètre 13

3 (a) plate-forme de force, (b) tapis actimétrique, (c) télémètre 14

4 (d) Vicon 14

5 L'image originale (a) est transformée en « image silhouette » (b) par soustraction de l'arrière plan 16

6 Le modèle humanoïde 3D 16

7 Evaluation de la ressemblance entre l'image observée et l'hypothèse 17

8 Exemple de suivi d'un sujet s'asseyant 18

9 Exemple de suivi d'un sujet s'accroupissant 19

10 Exemple de suivi de la hauteur des chevilles (courbe rouge : pied droit, courbe bleue : pied gauche) 20

11 Salle d'expérimentation 22

12 Méthode pour retracer les pas 23

13 Longueur des pas droits et gauches 25

14 Comparaison des longueurs en situation « canne » 27

15 Comparaison des durées en situation « normale » 30

16 (a) bonne extraction de la silhouette, (b) mauvaise extraction de la silhouette 32

17 Image silhouette 33

1 Introduction

1.1 La dépendance des personnes âgées

L'un des sujets majeurs des prochaines années en France sera le vieillissement de la population ainsi que la dépendance de ces personnes qui en découlera.
Preuve en est, en 2009 l'état considère la dépendance comme le cinquième risque au niveau du système de protection sociale, après le risque de maladie professionnelle et d'accidents du travail, de maladies, de vieillesse et le risque lié à la famille.

En gériatrie on définit la dépendance comme « l'incapacité partielle ou totale pour effectuer les activités de la vie quotidienne » [1]. Il existe de nombreuses échelles pour évaluer le niveau de dépendance comme l'indice de Katz, le test de Lawton (ces deux échelles sont décrites dans l'article [18]). Une des plus utilisées est la grille AGGIR (autonomie gérontologique groupes iso ressources) testant la capacité d'une personne à réaliser seule les 10 activités suivantes [18] :

- Cohérence : converser et/ou se comporter de façon logique et censée ;
- Orientation : se repérer dans le temps, les moments de la journée et dans les lieux ;
- Toilette du haut et du bas du corps : assurer son hygiène corporelle ;
- Habillage (haut, moyen, bas) : s'habiller, se déshabiller ;
- Alimentation : se servir et manger les aliments préparés ;
- Elimination : assurer l'hygiène de l'élimination urinaire et fécale ;
- Transfert : se lever, se coucher, s'asseoir ;
- Déplacements à l'intérieur : avec ou sans canne, déambulateur, fauteuil roulant ;
- Déplacements à l'extérieur : à partir de la porte d'entrée sans moyen de transport ;
- Communication à distance : utiliser les moyens de communication (téléphone, alarme, sonnette...).

Ainsi les individus sont classés en six groupes GIR (groupes iso-ressources), GIR 1 et 2 étant les personnes les plus dépendantes ne pouvant plus sortir de leur lit et/ou ayant perdu leur autonomie mentale.

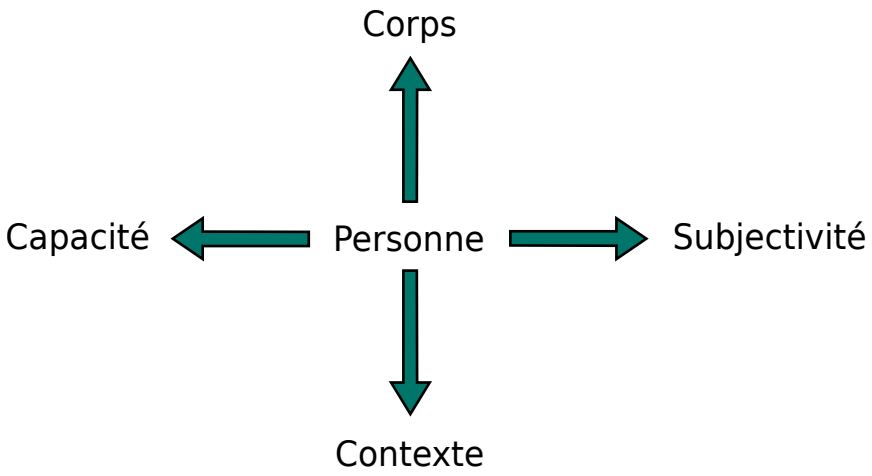
L'ampleur du phénomène de la dépendance peut être constatée grâce aux prévisions réalisées par l'INSEE en 2004 :

- la population des 75 ans et plus sera multipliée par 2,5 entre 2000 et 2040 pour atteindre plus de 10 millions de personnes ce qui devrait faire augmenter automatiquement le nombre de personnes dépendantes ;
- 1 200 000 personnes seront dépendantes en 2040 contre 800 000 aujourd'hui.

Une des conséquences directes de ces chiffres sera l'impossibilité pour les maisons de retraite d'accueillir toutes les personnes dépendantes. Une des solutions est le recours aux nouvelles technologies. Financièrement il sera plus intéressant pour les personnes âgées de s'équiper en matériel technologique que de rentrer dans une maison de retraite. A l'achat, les dispositifs peuvent être une charge importante mais l'investissement est rentable en comparaison du coût mensuel de la maison de retraite (1500€ minimum par mois). De

plus les maisons de retraite ont l'inconvénient d'éloigner la personne âgée de chez elle, de modifier ses habitudes, ce qui peut avoir des répercussions néfastes au niveau psychologique.

L'un des risques est, pour les constructeurs, de créer des outils technologiques trop perfectionnés en oubliant la cible visée, les personnes âgées. En effet, pour créer des dispositifs correspondants au plus près des personnes âgées, il est nécessaire de respecter le schéma suivant :



Pour qu'un dispositif technologique soit adapté à une personne, il doit respecter quatre éléments (de la personne) : ses aspects biologiques (le corps), ses capacités (physiques et mentales), son contexte (l'environnement dans lequel vit la personne) et son point de vue (ses besoins, ses attentes, son vécu du handicap...) appelé la subjectivité. La tâche d'adapter la technologie aux personnes âgées est d'autant plus compliquée que cette population est très diversifiée de part leur âge, leur niveau d'acceptation aux technologies, leur problème de santé, leur lieu d'habitation (différences entre les personnes habitant dans un village ou dans une ville : médecin, commerces proches...), le soutien qu'ils peuvent obtenir de leur entourage, leur niveau de dépendance (leur appartenance au groupe GIR)...

1.2 Les nouvelles technologies

Il existe de nombreux dispositifs destinés aux besoins des personnes âgées (PA). Mais on peut considérer primordiaux les dispositifs répondant aux problèmes de dépendance. Comme nous l'avons dit dans l'introduction, les dix activités de la grille AGGIR peuvent être considérées comme significatives pour déterminer si une personne est dépendante.

Le tableau ci-après est un récapitulatif de l'état de l'art des technologies en France, en Europe et à l'international en fonction de chaque activité citée dans la grille AGGIR. Cette méthode de classification nous permettra de connaître les dispositifs répondant directement à la problématique de la dépendance.

Activité	France	Europe	International
Cohérence			**Japon** *PARO* [8] : robot bébé phoque répondant aux appels et aux caresses de la PA, et permettant de lutter contre les maladies neurodégénératrices. *Fujitsu* [13] : robot ourson créé pour divertir et apaiser les PA. *Ifbot* [6] : robot capable de soutenir une conversation. *Mamoru* [6] : robot aidant les PA à retrouver des objets égarés ou de leur rappeler des évènements (comme prendre ses médicaments). **Australie et Japon** [7] *Matilda* interprète les expressions du visage et communique.
Orientation			
Toilette [5]	Barre et poignée d'appui pour la salle bains/baignoire à porte/revêtement antidérapant pour baignoire et douche/siège de douche pour éviter la position debout prolongée/lavabo à hauteur réglable/miroir grossissant pour le rasage par exemple/loupe mains libres pour mieux se couper les ongles/éponges montées sur tiges pour se laver les membres inférieurs sans avoir à se baisser.		
Habillage			
Alimentation	Service de repas à domicile « capteur de soif » [4] électronique qui rappelle à l'ordre en cas de déshydratation		Les bras robotisés aident à la prise de nourriture dans une assiette et sont capables de la tendre au niveau de la bouche de la personne : *JACO* développé au **Canada** *My Spoon* développé au **Japon** [3]
Elimination	WC à hauteur réglable		

Transfert			**Japon** *RI-Man* [14] : robot humanoïde mesurant 1,52m capable de voir, entendre, sentir et porter les êtres humains. *HAL-5* [3] : exosquelette du membre inférieur et supérieur pouvant être utilisé par une tierce personne pour porter sans effort les PA lors du passage lit-fauteuil roulant. *Lit-robotisé* : lit modulable dont une partie se transforme en véritable fauteuil roulant électrique pour faciliter le passage lit/fauteuil.
Déplacement (intérieur et extérieur)	*Top Chair* [9] : fauteuil roulant électrique permettant de monter les escaliers. *Accéléromètre* : détecteur de chute. *Fauteuil roulant électrique automatisé* transportant les personnes d'un endroit à l'autre, capable de se repérer dans un espace cartographié et de se déplacer en évitant les obstacles. *Déambulateur.* *Chariot de course automatisé* aidant la personne à transporter ses courses.	**Allemagne** *Care-O-Bot III* [2] : robot aidant à la marche, capable de naviguer de manière autonome dans un environnement intérieur.	**Japon** *WL-16 RIII Walkbot* : fauteuil avec deux jambes reproduisant la marche bipède, conçu pour le franchissement d'obstacles comme les escaliers. *Hubo FX-1* [11] : robot fauteuil bipède. *Honda Walking Assist* [12] : exosquelettes de membres inférieurs aidant à la déambulation.

Communication	Téléphone ralentissant le débit de parole. *Ordissimo* : ordinateur avec une interface simplifiée [10]. *Boîte à pharmacie équipée d'un ordinateur* [4] vérifiant la prise régulière des médicaments et émettant un son si le patient commet une erreur. *Le pilulier hebdomédic* [20] : distributeur automatique de médicaments signalant par téléphone au centre médicalisé la non prise d'un médicament. *Médaillon* [20] : dispositif de télé-assistance permettant d'alerter les professionnels ou les proches au moindre problème, comme le système Biotel.

A la suite de ce tableau nous pouvons émettre plusieurs remarques.

Tout d'abord, il y a peu de technologies existantes pour répondre aux problèmes de la cohérence, du transfert, de l'habillage, de l'orientation, considérés pourtant comme des activités indispensables pour qu'une personne reste autonome. Toutefois d'autres dispositifs existent, ne pouvant être classés dans aucune des cases du tableau précédent car n'étant pas considérés comme facteurs de dépendance. Il s'agit des dispositifs aidant aux tâches ménagères comme les robots aspirateurs (trilobite, electrolux, iRobot ROOMBA...), les robots tondeuses (Automower, Robomow) ou encore les robots humanoïdes capables de charger un lave vaisselle, de nettoyer le sol (Ready Bot, ARMAR, Twenty One, HRP-2)...

Ensuite nous pouvons constater le retard important de la France (et plus généralement de l'Europe) en matière d'innovation technologique par rapport au Japon. Alors que les japonais en sont déjà au stade de la commercialisation, la France serait plutôt dans la phase expérimentale. Ceci peut s'expliquer par une différence de culture, les japonais accordant beaucoup d'importance à ce que les personnes restent indépendantes. Ainsi, nous comprenons naturellement leur attrait pour le développement de robots, avec divers rôles, pour pallier les problèmes de dépendance.

Certaines études se sont intéressées à la question de l'utilité de ces robots. Une étude américaine a montré que les personnes en contact avec des robots-animaux sont plus gaies, se montrent moins hostiles envers le personnel soignant et communiquent également plus. La présence d'un compagnon agit comme un catalyseur améliorant la santé physiologique et le bien-être émotionnel de la personne.

Maintenir les personnes âgées plus longtemps à domicile est donc une priorité dont la France prend conscience petit à petit. D'ailleurs de nombreux instituts commencent à s'y intéresser comme les CHU (Nice, Grenoble, Limoges, Toulouse), ou encore les instituts de recherche (INRIA, CNES...).

C'est dans ce contexte, autour du développement des technologies adaptées aux personnes âgées, que s'est déroulé mon stage de 5 mois. Dans la suite du rapport, nous décrirons dans un premier temps, dans la partie 2 le laboratoire d'accueil dans lequel j'ai évolué, puis la problématique à l'origine de ce stage sera présentée dans la section 3. Enfin dans la partie 4, sera énuméré en détails le protocole expérimental mis en place pour évaluer le système développé par MAIA et que j'étais donc chargée de mettre en œuvre.

2 Description du laboratoire d'accueil

J'ai effectué mon stage dans l'équipe de recherche MAIA (MAchine Intelligente Autonome) qui résulte d'un projet commun entre l'INRIA, le CNRS, l'INPL, l'université Henri Poincaré et l'université de Nancy 2. Cette équipe, dirigée par M François Charpillet, a été formée en 1998 et est constituée d'une trentaine de personnes dont onze chercheurs permanents.

Le domaine de recherche de l'équipe MAIA est l'intelligence artificielle. Les deux principaux axes de recherche sont :

- les systèmes complexes et les systèmes multi-agents permettant d'étudier les comportements émergents dans un groupe constitué d'agents réactifs ;
- la prise de décision dans l'incertain consistant à interpréter une activité (médicale, coopératives, ...) en observant ses effets sur l'environnement.

Mon stage s'inscrit dans le cadre de cette deuxième problématique pour la surveillance des personnes âgées à domicile puisqu'il s'agit d'estimer au cours du temps les paramètres de marche d'une personne. Ce projet a été financé par le programme Tecsan (technologies pour la santé) de l'ANR (l'agence nationale de la recherche) et la région lorraine.

3 Présentation du problème

3.1 Contexte

Un des buts de l'équipe MAIA est de permettre aux personnes âgées de rester plus longtemps à leur domicile en les rendant autonomes. Une des principales préoccupations en ce qui concerne la sécurisation des personnes âgées chez elles, est de leur éviter les chutes.

3.1.1 Les chutes chez les personnes âgées

Nous pouvons distinguer deux facteurs de chute [15] :

- les facteurs prédisposants ;
- les facteurs précipitants.

Les facteurs prédisposants correspondent aux facteurs de risque neurologique (par exemple la maladie de Parkinson), neuromusculaires, ostéoarticulaires et visuels. Le tableau 2 est un récapitulatif de l'ensemble des facteurs prédisposant à la chute.

1- Affections neurologiques

- **Affections neurologiques centrales**
  - Atteintes corticales : vasculaire, dégénérative, tumorale
  - Atteintes sous-corticales :
    dégénérative : maladie de Parkinson, Steele-Richardson
    vasculaire : artériopathies hypertensives, hydrocéphalie à pression normale
  - Atteintes du tronc cérébral, cérébelleuse et vestibulaire : insuffisance vertébro-basilaire, affections de l'oreille interne
- **Affections neurologiques périphériques**
  - Etroitesses canalaires : myélopathie cervicarthrosique, canal lombaire étroit
  - Myélopathies : sclérose combinée de la moëlle
  - Affections radiculaires (sciatique) et tronculaires (paralysie du sciatique poplité externe)
  - Polyneuropathies : toxique, médicamenteuse

2 - Affections neuromusculaires

- Myopathies thyroïdiennes, cortisoniques, ostéomalaciques
- Pseudopolyarthrite rhizomélique
- Myasthénie

3 - Affections ostéo-articulaires

- **Affections du rachis :** cyphose dorsale ostéoporotique, arthrose cervicale
- **Affections articulaires des membres inférieurs**
  - coxofémorales : coxarthrose
  - genoux : gonarthrose avec laxité capsulo-ligamentaire, chondrocalcinose
  - cheville : atteintes musculotendineuses responsables d'une limitation de la dorsiflexion
  - pied : pathologies de la statique (hallux valgus, pied creux antérieur, avant-pied plat), arthropathies microcristallines

4 - Autres affections

- **Atteintes visuelles :** diminution de l'acuité ou du champ visuel (cataracte, glaucome chronique, dégénérescence maculaire liée à l'âge)
- Inhibition motrice des syndromes dépressifs
- Diminution de l'adaptation à l'effort : insuffisance cardiaque, bronchopneumopathie chronique, anémie, ...
- Dénutrition protéinoénergétique sévère
- Diminution de la vigilance (psychotropes)

TABLE 2 – Facteurs de risque prédisposant à la chute

Les facteurs précipitants quant à eux correspondent aux éléments qui déclenchent la chute. Ils sont de deux sortes, les facteurs précipitants intrinsèques et extrinsèques.

Les facteurs précipitants intrinsèques répertoriés en 3 correspondent à des évènements pathologiques pouvant favoriser la chute comme des malaises, des pertes de connaissances, des AVC...
Quant aux facteurs extrinsèques détaillés en 4, ce sont des facteurs liés à l'environnement (chaussures inadaptées, tapis...).

Causes cardiaques	Causes vasculaires	Causes neurologiques
- Troubles du rythme paroxystiques supra-ventriculaires et ventriculaires - Troubles de la conduction (BAV 2 et 3) - Infarctus du myocarde - Embolie pulmonaire - Sténose aortique serrée	- Hypotension orthostatique - Malaise vago-vagal - Hypersensibilité sino-carotidienne - Drop-attack - Vol sous-clavier	- Accident vasculaire cérébral - Etat confusionnel - Hématome sous-dural - Crise convulsive **Causes métaboliques** - Hypo et hyper kaliémie - Hypoglycémie - Hypercalcémie

Table 3 – Les facteurs précipitants intrinsèques de la chute

Habillement	Conditions locales dangereuses ou inadaptées
- Chaussures inadaptées - Vêtements trop longs **Mobilier** - Fauteuil, lit trop haut ou trop bas **Obstacles au sol** - Tapis, fils électriques - Carrelage ou revêtement de sol irrégulier ou décollé	- Mauvais éclairage - Baignoire glissante - Sol humide ou glissant - Toilettes inadaptées

Table 4 – Les facteurs précipitants extrinsèques de la chute

L'importance des chutes peut être constatée en observant les chiffres suivants [15] :

- 1/3 des sujets de plus de 65 ans et la moitié de ceux de plus de 85 ans font une ou plusieurs chutes par an ;
- en France 12 mille personnes décèdent, par an, suite à une chute soit plus de morts que par accidents de la route ;
- 40 % des sujets âgés hospitalisés pour chute sont ensuite orientés vers une institution ;
- le risque de mortalité est multiplié par quatre dans l'année qui suit la chute quelle que soit la gravité de la chute ;
- le coût annuel médical des chutes est considérable : environ 2 milliards d'euros pour la France.

Nous comprenons donc l'intérêt pour cette problématique. Pour comprendre la chute chez les personnes âgées, nous devons connaître les principes sous-jacents à la marche. En d'autres termes, qu'est-ce que marcher ?

3.1.2 La marche [23]

La marche est un cas particulier de mouvement. Elle requiert un temps d'apprentissage durant les premiers mois de la vie pour ensuite devenir automatique. La marche peut être définie comme l'action de se déplacer vers un but, dans le plan antéro-postérieur, par l'intermédiaire d'une succession d'appuis unipodaux et bipodaux. Elle nécessite l'intégrité des voies motrices, cérébelleuses, vestibulaires et des afférences proprioceptives (informe de la position des articulations et des membres dans l'espace). Les afférences issues de la face plantaire sont particulièrement importantes pour la marche.

De plus, deux fonctions sont indispensables pour tout mouvement, il s'agit de la posture et de l'équilibre.

- La posture se définit comme étant la position des segments corporels les uns par rapport aux autres à un moment donné. Elle résulte d'une activité musculaire permanente (tonus musculaire).
- L'équilibre quant à elle est la fonction qui permet le maintien de la posture, un corps est en équilibre si son centre de gravité (G) se trouve à la verticale du polygone de sustentation (comme illustré sur la figure 1). Le polygone de sustentation est la zone au sol délimitée par les points d'appuis du corps. Un quadrupède a donc plus de dispositions naturelles à se maintenir debout en équilibre qu'un bipède.

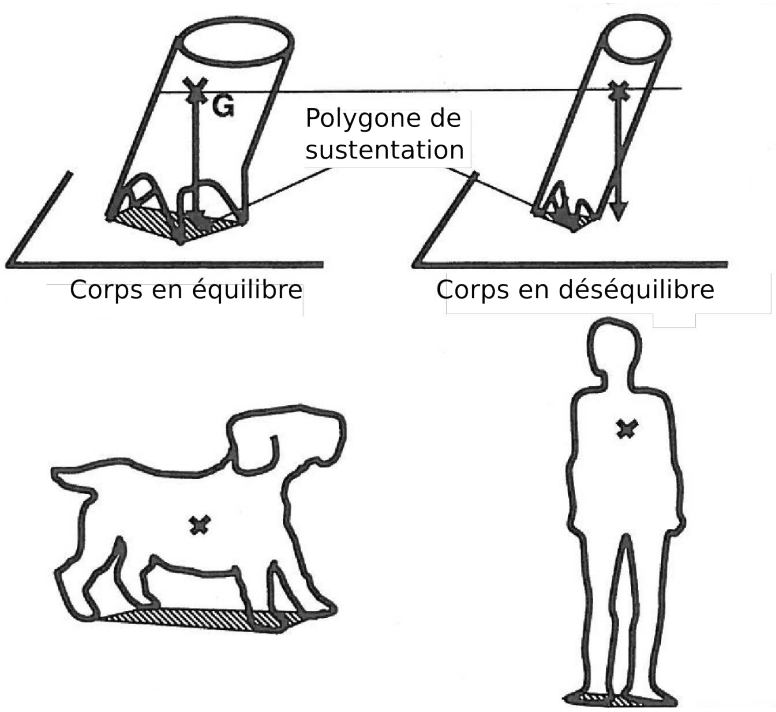


FIGURE 1 – Polygone de sustentation

Durant la marche, la personne est en permanence en position de « déséquilibre ». Son

centre de gravité se projette généralement en dehors de son polygone de sustentation, d'où la nécessité d'une activité posturale constante pour contrebalancer l'instabilité causée par la marche. Ainsi le sujet évite la perte d'équilibre pouvant entraîner une chute.

De nombreuses études se sont intéressées à comprendre les modifications de la marche avec l'âge. Ainsi on peut citer une diminution de la vitesse de marche, de la longueur de pas, un déclin musculaire avec une perte de force musculaire (de 2% par an après 65 ans) et l'augmentation du temps de double appui (temps qui s'écoule entre le moment d'attaque de la cheville d'un pied et le moment du lever de l'orteil de l'autre pied). Au cours du vieillissement les informations visuelles prennent une place plus importante que les afférences proprioceptives ou vestibulaires. De même, une étude de 50 sujets âgés de plus de 60 ans a montré une corrélation étroite entre l'âge et l'altération de la sensibilité plantaire. Cette étude a aussi révélé une corrélation entre l'âge et l'altération de la posture. L'altération de la sensibilité plantaire et de la posture sont des facteurs déterminants dans les chutes des personnes âgées. Toutefois bien d'autres facteurs sont à considérer lorsque l'on cherche à expliquer les chutes des personnes âgées, comme un défaut de perception du déséquilibre ou un retard de déclenchement des activités réflexes.

3.2 Cahier des charges

Ainsi l'équipe MAIA s'est donnée comme objectif de concevoir un système d'analyse du mouvement permettant de prédire la chute. Ce système devra vérifier plusieurs critères :

1. décision finale d'un éventuel risque de chute pour la personne ne doit pas reposer sur l'avis subjectif d'un spécialiste mais doit se baser sur des indicateurs fiables,
2. doit s'adapter aux domiciles,
3. ne doit nécessiter aucune autre personne,
4. doit pouvoir être utilisé sans capteurs portés par la personne,
5. doit respecter un coût réduit.

3.3 Etat de l'art

De nombreux systèmes existent pour prévenir les éventuels risques de chute, notamment les tests utilisés en clinique comme les tests de Berg, Tinetti etc... Ces tests consistent à demander à la personne de réaliser des exercices simulant des mouvements de la vie quotidienne. Ainsi, le gériatre pourra évaluer la qualité de l'équilibre du sujet. L'inconvénient de ces tests est que le verdict final repose essentiellement sur un avis subjectif (celui du médecin). En cela les tests ne correspondent pas aux critères du projet MAIA.

D'autres techniques, n'induisant pas le problème de la décision subjective, consistent à utiliser des capteurs, illustrés en figure 2, que la personne porte sur elle comme :

(a) (b) (c)

FIGURE 2 – (a) accéléromètre, (b) gyroscope, (c) goniomètre

- les accéléromètres déterminant l'inclinaison du corps et détectant ainsi la chute d'une personne ;
- les gyroscopes mesurant la vitesse de rotation du segment sur lequel ils sont fixés ;
- les goniomètres permettant d'évaluer l'amplitude des flexions et des extensions des articulations durant la marche.

Le problème de toutes ces techniques est qu'il faut que la personne âgée « pense » à les utiliser. L'un des critères du projet MAIA est de ne pas perturber la vie des personnes âgées, c'est pourquoi ces capteurs ne répondent pas aux exigences de l'équipe.

Un autre type de dispositifs peut être cité, il s'agit des systèmes passifs externes, représentés à la figure 3, comme :

- la plate-forme de force, composée de quatre capteurs de force posés au sol sur lesquels marche le sujet ; ainsi il est possible de détecter les moments exacts du contact pied-sol et de levée du pied durant la marche ;
- les tapis actimétriques, la personne doit marcher sur un tapis pouvant ainsi calculer plusieurs paramètres (comme la longueur des pas, la vitesse ...) ;
- le télémètre mesurant la vitesse instantanée de la marche d'une personne et la fréquence de ses pas ;
- les systèmes optiques de suivi de mouvements à base de marqueurs (comme le VICON, figure 4) consiste à positionner, en certains points clés du corps, des marqueurs réfléchissant un signal infrarouge émis par les caméras ; ainsi la position 3D des différentes parties du corps est évaluée.

Toutefois l'installation de ces systèmes ne peut être envisagée dans un domicile notamment à cause de leur coût et de leur l'encombrement.

Nous pouvons conclure en disant qu'aucune des techniques existantes pour détecter la chute des personnes âgées n'est en adéquation avec les recommandations du projet MAIA

(a) (b) (c)

FIGURE 3 – (a) plate-forme de force, (b) tapis actimétrique, (c) télémètre

(d)

FIGURE 4 – (d) Vicon

comme le montre le tableau suivant [22] :

	Tests cliniques	Systèmes avec capteurs	Systèmes passifs externes
Objectivité des tests utilisés	Non	Oui	Oui
Adaptabilité au domicile	Oui	Oui	Non
Absence de capteurs encombrants	Oui	Non	Non
Absence d'une tierce personne	Non	Oui	Oui
Coût réduit	Oui	Non	Non
Estimation de plusieurs paramètres	Non	Non	Oui

C'est pour pallier ce manque que l'équipe MAIA a développé un système d'analyse du mouvement (fournissant divers paramètres comme la position 3D de la cheville, de la jambe...) sans utiliser de capteurs, mais juste par l'intermédiaire de caméras. Pour comprendre ce système il nous est nécessaire de consacrer une partie à son explication.

3.4 Description du système développé par l'équipe MAIA

Le but de cette partie n'est pas d'expliquer exactement les détails de l'algorithme, mais d'en comprendre son fonctionnement général (plus de détails pouvant être trouvés à la référence [21]). L'objectif est, comme nous l'avons déjà précisé, d'arriver à reconstruire le mouvement d'une personne en estimant sa position dans l'espace à chaque instant.

3.4.1 Reconstruction du mouvement d'une personne

On filme le sujet avec une ou plusieurs caméras. Ensuite à partir de ces images réelles, on soustrait les ombres de la personne et le fond, pour ainsi obtenir uniquement la silhouette, comme sur la figure 5. Nous l'appellerons par la suite « l'image silhouette ».

L'étape suivante, de reconstruction globale du mouvement du sujet dans la pièce, s'effectue en générant une collection d'hypothèses sur la pose de la personne à partir d'un modèle humanoïde 3D identique à la figure 6 et en projetant ces configurations 3D dans les plans images des différentes caméras.

Ces hypothèses projetées sont alors comparées à « l'image silhouette » comme illustré à la figure 7.

(a) **(b)**

FIGURE 5 – L'image originale (a) est transformée en « image silhouette » (b) par soustraction de l'arrière plan

FIGURE 6 – Le modèle humanoïde 3D

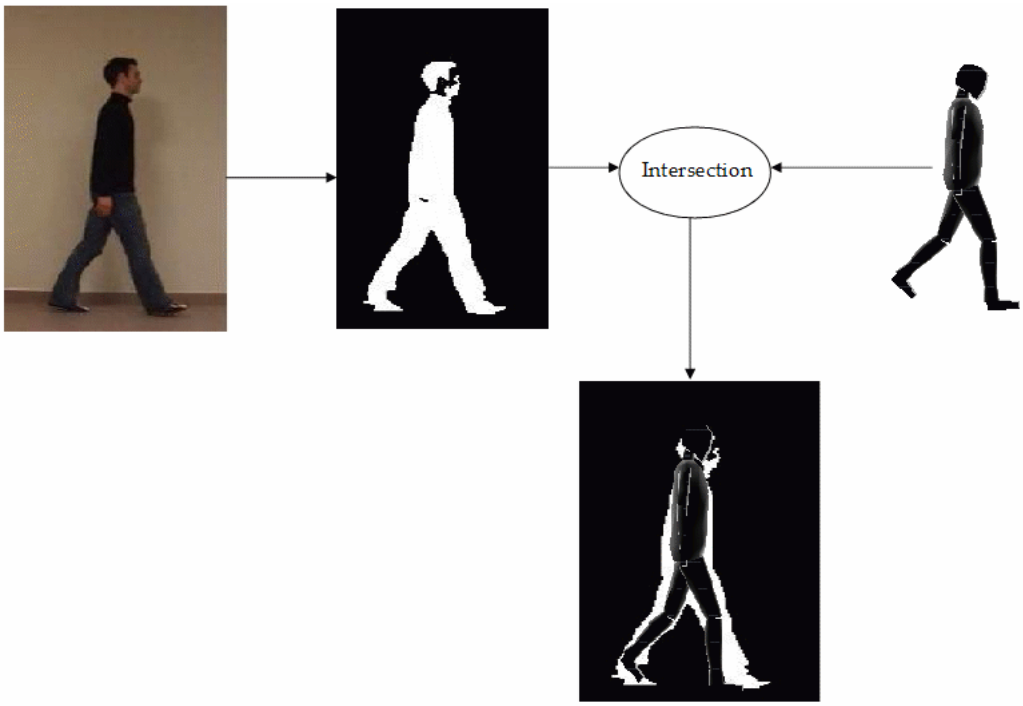


FIGURE 7 – Evaluation de la ressemblance entre l'image observée et l'hypothèse

Ainsi l'hypothèse correspondant le plus à « l'image silhouette » est conservée. Les figures 8 et 9 sont des exemples de suivi de mouvement dans deux situations particulières. Dans la première, la personne s'assoit et dans la seconde, la personne s'accroupit.

L'algorithme, une fois le mouvement reconstruit, peut évaluer la position des pas.

3.4.2 Reconstruction de la position des pas

La marche se caractérise par une succession de pas durant lesquels au moins l'un des deux pieds est en contact avec le sol, alors que le second se déplace. La position verticale de la cheville permet de mettre en évidence ce phénomène. Celle-ci peut donc être utilisée de façon simple pour reconstruire la position et la durée des pas. En effet, le pied le plus bas peut être considéré comme fixe et en contact avec le sol. Sa position moyenne peut donc être calculée sur toute la durée de contact avec le sol afin de reconstruire la position des pas. Un exemple de reconstruction de la position verticale des chevilles au cours du temps est donné sur la figure 10. Ainsi à partir de la position et de la durée des pas, nous pouvons extraire différents paramètres comme la longueur des pas, la vitesse de marche...

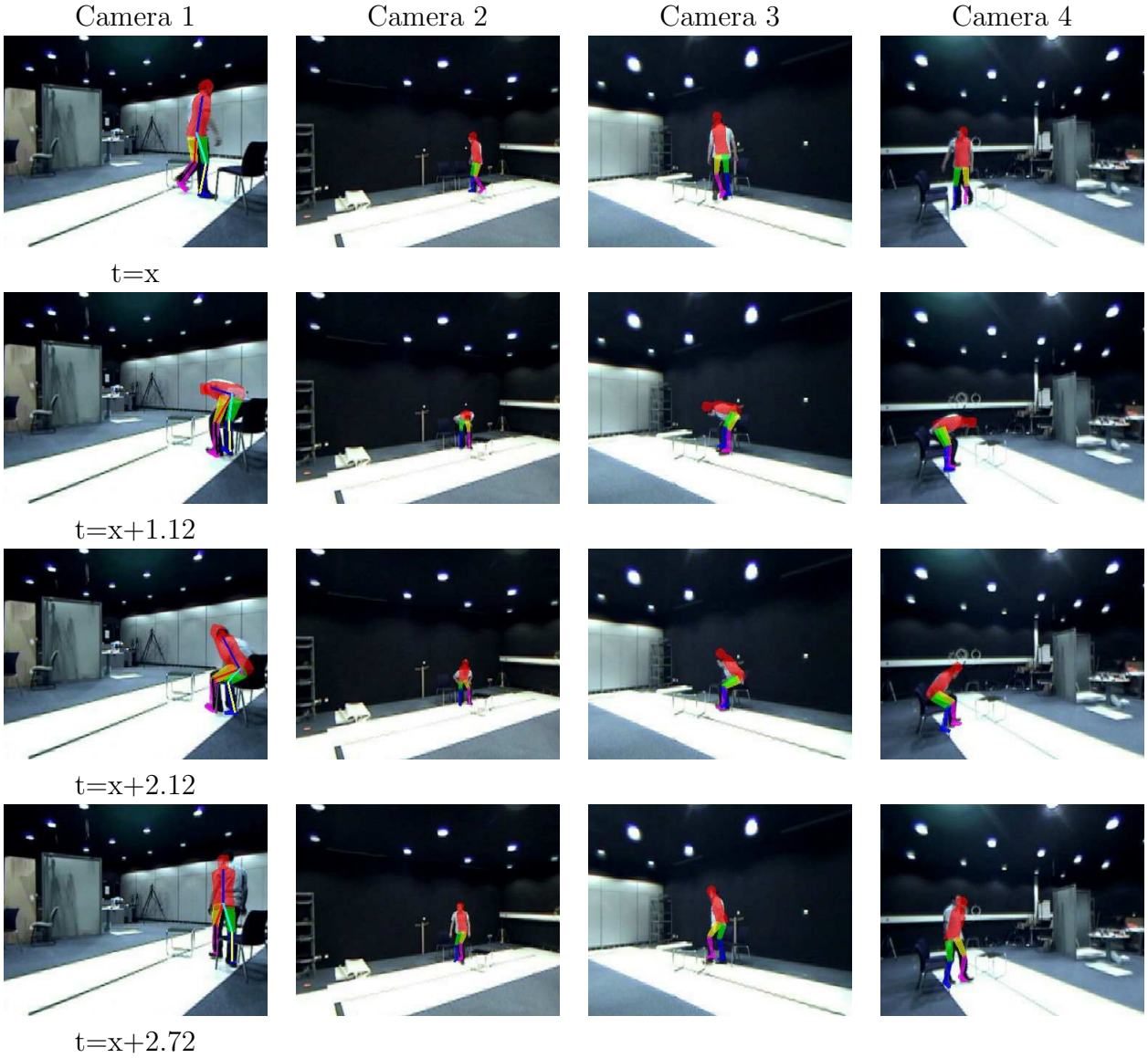


FIGURE 8 – Exemple de suivi d'un sujet s'asseyant

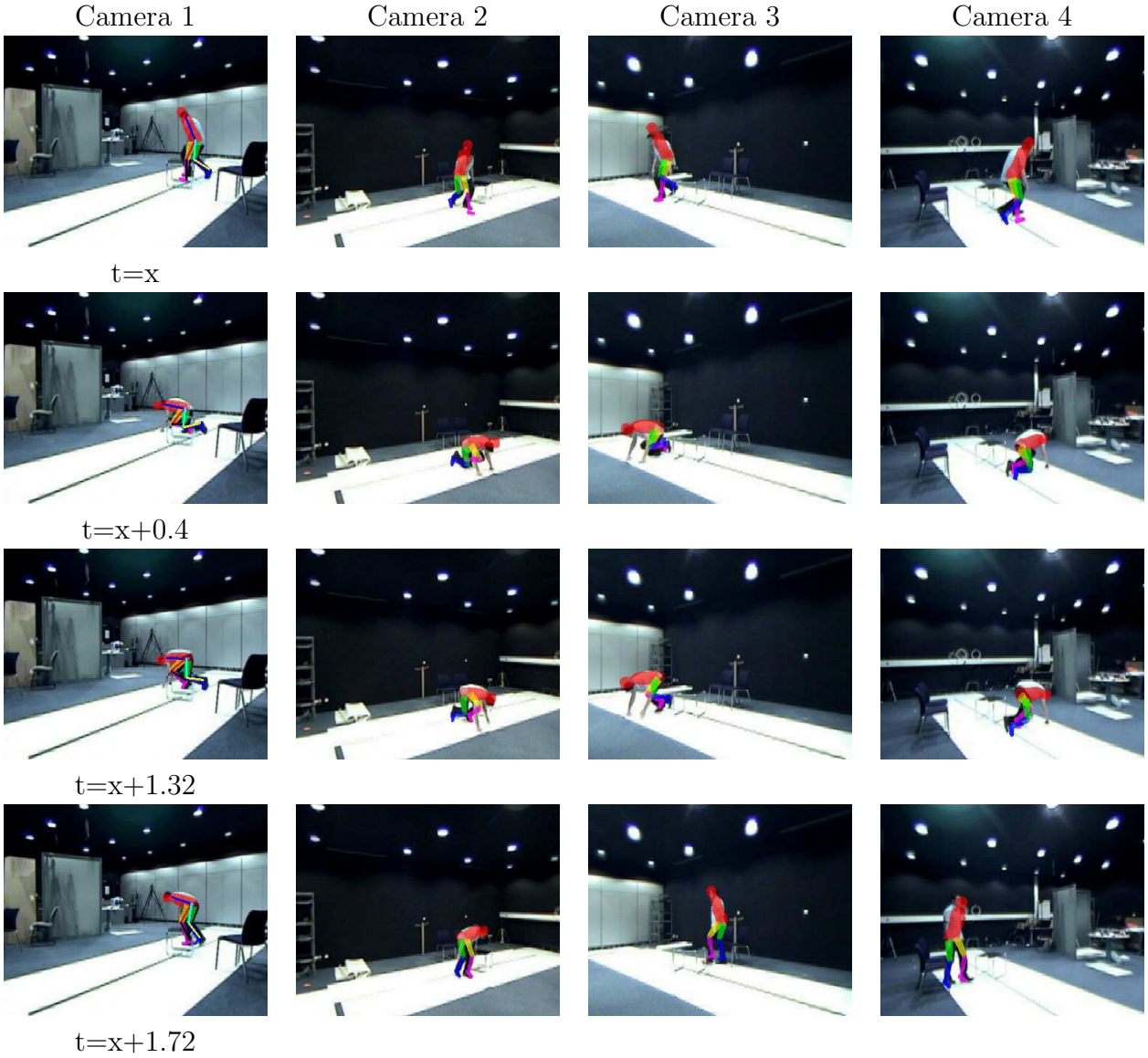


FIGURE 9 – Exemple de suivi d'un sujet s'accroupissant

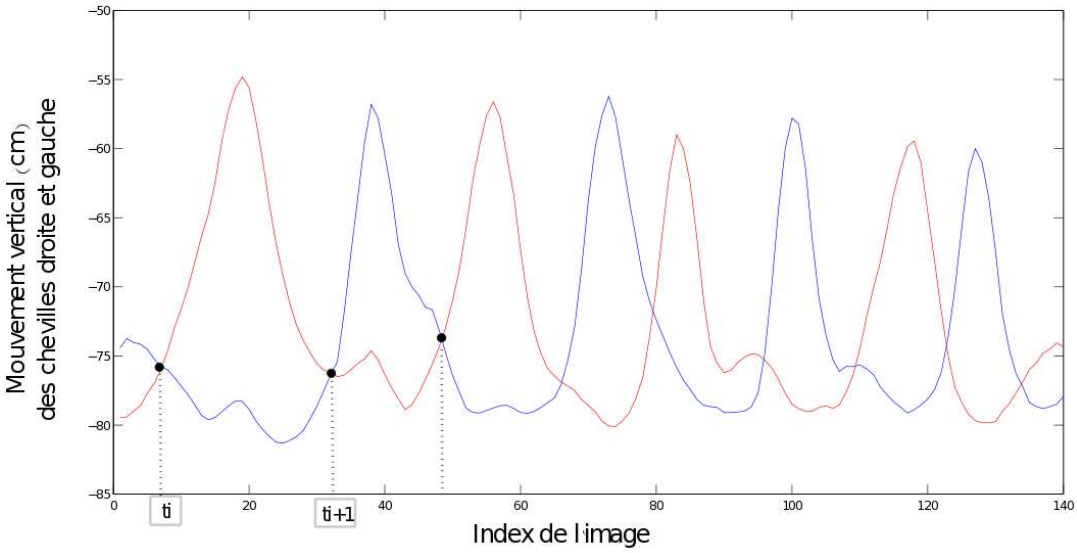


FIGURE 10 – Exemple de suivi de la hauteur des chevilles (courbe rouge : pied droit, courbe bleue : pied gauche)

4 Evaluation du système

4.1 Objectifs

L'objectif était de vérifier la justesse et la précision du système développé au sein de l'équipe MAIA.

L'algorithme est capable de fournir des paramètres comme la longueur des pas, le temps d'appui, la position dans l'espace de la cheville, du torse, des jambes... Pour vérifier la qualité du système nous devions comparer les valeurs des paramètres obtenues par l'algorithme avec leurs valeurs réelles.

De plus nous avons testé la justesse et la précision de l'algorithme dans différentes situations. Nous avons opté pour des situations dans lesquelles une personne âgée pourrait se retrouver : une personne avec une canne, un déambulateur, habillée d'une jupe, d'une robe de chambre, en présence d'une autre personne, dans la situation où des obstacles sont présents...

4.2 Sujets

Nous avons fait passer l'expérience à 7 sujets, dont 3 filles et 4 garçons, âgés de 20 à 55 ans.

4.3 Matériels

Pour réaliser l'expérience nous avons utilisé :

- 1 salle vide ;
- 4 caméras ;
- 1 chaise ;
- 1 canne ;
- 1 déambulateur ;
- 1 stylo ;
- 1 jupe longue (en dessous des genoux) ;
- 1 robe de chambre (à hauteur des genoux) ;
- des bandes de papiers de 6,40 m de longueur et de 1m de largeur ;
- de l'encre ;
- des chaussures de différentes pointures.

4.4 Procédure

Nous avons effectué l'expérience dans une salle où deux bandes blanches étaient placées côte à côte sur le sol. Un sujet pouvait réaliser deux allers sur une bande.
La configuration de la salle était celle de la figure 11 :

FIGURE 11 – Salle d'expérimentation

Tout d'abord nous avons placé le sujet au bout de la bande posée au sol. Puis afin d'informer chacun des participants de notre principal objectif et de la suite de l'expérience, nous leur avons lu à chacun la même consigne :

« Bonjour, vous vous trouvez dans une pièce où 4 caméras sont installées. Mais ne vous inquiétez pas les images resteront confidentielles. Je vais vous demander de positionner votre pied droit en avant et de marcher le long de la bande blanche. Ensuite je vous demanderai de recommencer cette tâche un certain nombre de fois dans des conditions différentes. De plus je positionnerai sous vos semelles des tampons imbibés d'encre, permettant de retracer le trajet que vous aurez effectué.
Est ce que vous avez compris ce que je viens d'expliquer ?
Avez vous des questions ? »

Après la lecture de la consigne, nous informions le sujet que l'expérience pouvait débuter.
Nous posions alors sous l'avant et l'arrière de sa chaussure un tampon imbibé d'encre pour marquer la trace de ses pas sur le papier posé au sol comme illustré à la figure 12. Nous pouvons retrouver des méthodes de marquage au sol similaires dans la littérature, citons Georges Gilles de la Tourette [16] qui, pour enregistrer les modifications de la marche, utilisa une technique comparable. Cette technique a l'avantage d'être simple à mettre en

place, peu coûteuse, et ne requiert aucun appareil.
Ensuite nous lui demandions de réaliser les 13 situations décrites ci-dessous, en sachant que l'ordre de passage des différentes situations variait selon les sujets. Ainsi deux sujets n'effectuaient pas une situation identique exactement au même endroit dans la pièce.

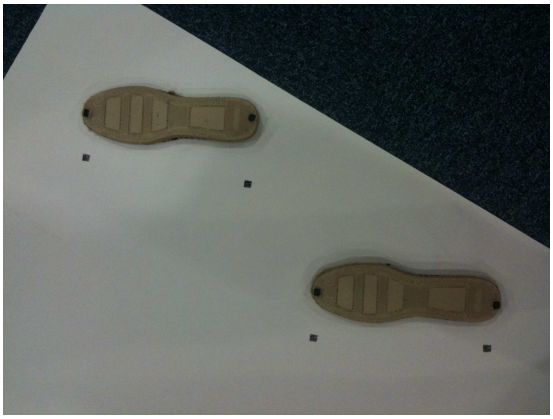


FIGURE 12 – Méthode pour retracer les pas

1. marcher en ligne droite « normalement » ;
2. marcher « normalement » jusqu'au milieu du parcours et revenir ;
3. marcher en ramassant le stylo se trouvant au sol au milieu du parcours ;
4. marcher en effectuant des grands pas ;
5. marcher en effectuant des petits pas ;
6. marcher en ligne droite en portant une jupe (pour les filles) / une robe de chambre (pour les garçons) ;
7. marcher avec une canne ;
8. marcher avec un déambulateur ;
9. marcher avec une autre personne à côté de vous ;
10. marcher avec une canne et une jupe (pour les filles) / canne et robe de chambre (pour les garçons) ;
11. marcher avec un déambulateur et une jupe (pour les filles) / déambulateur et robe de chambre (pour les garçons) ;
12. marcher dans la pièce où un obstacle (une chaise) sera ajouté ;
13. marcher jusqu'à la chaise se trouvant au milieu du parcours, s'asseoir et continuer son chemin en marchant toujours « normalement ».

Faire la différence entre une jupe et une robe de chambre permet de savoir si l'algorithme donne de bons résultats dans le cas où une moitié des jambes est seulement visible (robe de chambre portée par les garçons) et dans le cas où les jambes sont peu perceptibles (jupe

longue des filles).
La situation 12 vise à dégrader le champs de vision des caméras.
Nous pouvons remarquer que la situation 9 n'est couplée avec aucune autre car nous pensions que l'algorithme ne prendrait en compte qu'une seule personne. Le couplage avec d'autres situations n'apporterait pas plus d'informations que si la personne était seule.

Avant de réaliser l'expérience nous avons effectué un pré-test. C'est à dire que nous avons fait passer l'expérience à deux personnes. Cette vérification nous a permis de valider l'expérience et de constater qu'elle était réalisable en pratique.

4.5 Variables prises en compte

Nous nous sommes intéressés à identifier les variables intéressantes pour la détection de chutes.
Nous pouvons évoquer l'étude de 2003 d'Auvinet *et al* [17] pour laquelle 53 personnes âgées marchaient, dont 20 était considérées comme « chuteurs », sur un parcours de 40 mètres. Les auteurs ont pris en compte, dans leur étude, cinq variables considérées comme caractéristiques de la marche :

1. la vitesse de marche en m/s,
2. la fréquence des pas en Hz,
3. la longueur des pas en m,
4. la symétrie des pas,
5. la régularité des pas.

Ils ont ainsi pu constater que les variables vitesse, fréquence et longueur des pas prennent des valeurs plus réduites chez le groupe des « chuteurs ». Cependant ces variables ne sont pas des indicateurs fiables pour prédire les chutes. L'irrégularité des longueurs des pas est en revanche considérée comme une variable pertinente pour la prédiction des chutes. Donc, au vu de cette expérience, nous pouvons remarquer qu'il est intéressant de savoir si notre système est capable de fournir les longueurs et la durée des pas des sujets car, à partir de celles-ci, nous pouvons obtenir les variables citées précédemment.

Pour conclure, quatre variables ont été retenues dans le cadre de notre expérience :

1. la longueur réelle des pas calculée à l'aide des traces laissées sur le papier ; nous avons défini la longueur d'un pas comme étant la distance entre les deux talons lors de l'appui sur le sol (voir la figure 13) ;
2. la longueur des pas estimée par le système développé par MAIA ; les longueurs sont extraites à partir de la trajectoire des chevilles dans l'espace 3D estimée par l'algorithme ;

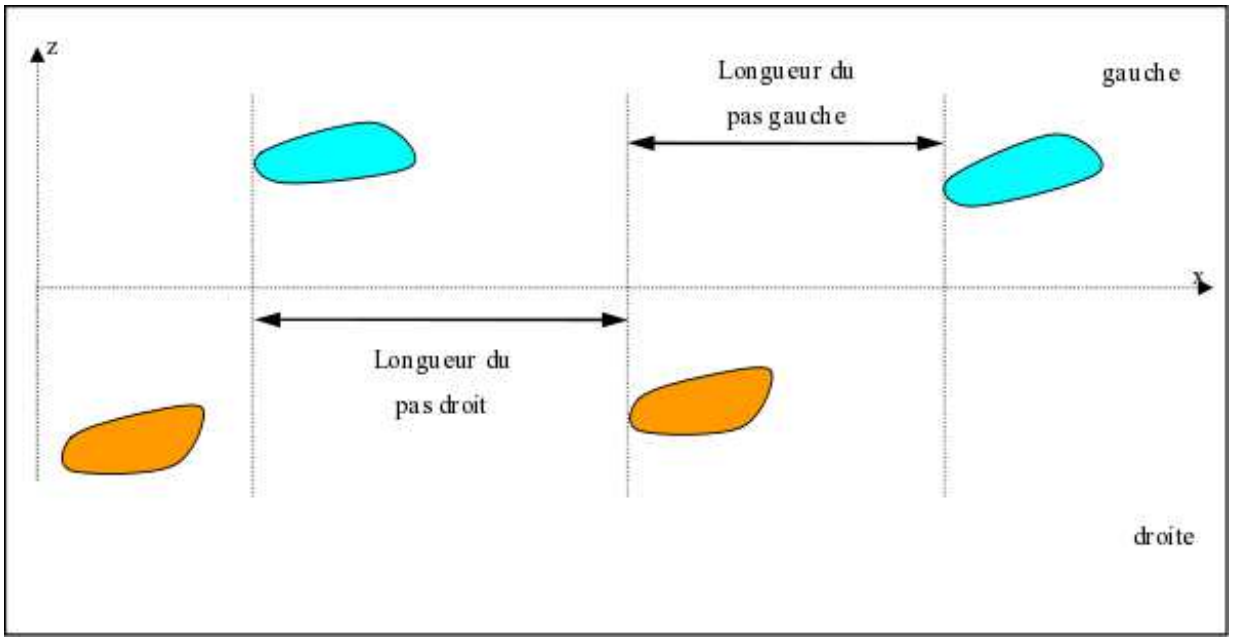


FIGURE 13 – Longueur des pas droits et gauches

3. la durée du pas réelle calculée grâce à l'analyse des vidéos faite sur le logiciel Noldus (logiciel pour l'analyse du comportement) ; nous avons considéré la durée du pas comme étant le temps qui s'écoule entre les instants de contact avec le sol des talons ;
4. la durée du pas estimée par le système.

4.6 Résultats

Pour effectuer les différents tests statistiques nous avons opté pour le logiciel SPSS (logiciel souvent utilisé pour l'analyse statistique). Les boîtes à moustaches quant à elles sont réalisées sous Matlab.

4.6.1 Tests avec la variable « longueur »

Comparaison entre la longueur réelle et la longueur estimée par l'algorithme

Pour chaque situation (marche normale, petits pas...) nous avons effectué une comparaison entre deux variables, entre la longueur réelle des pas et la longueur des pas estimée par le système, pour quatre sujets. Nous avons fait le choix d'analyser, non pas les données de la totalité des sujets que nous possédions, mais les données de quatre sujets (deux filles, deux garçons) car l'analyse des vidéos par le système prend du temps. Cependant lorsqu'il

était difficile de conclure sur une éventuelle différence significative ou non des résultats nous recommencions le test en prenant les données des sept sujets.

Avant de comparer nos deux échantillons nous avons vérifié l'homogénéité de leur variance en effectuant un test de Fisher-Snedecor. Dans le cas où l'égalité entre les variances des deux échantillons n'était pas contredite nous pouvions alors, pour comparer nos deux échantillons, réaliser un test de Student pour deux échantillons appariés. A l'inverse, dans le cas où les variances des deux échantillons n'étaient pas égales, nous utilisions alors le test de Wilcoxon.

Nous présentons les différents tests dans un tableau récapitulatif.

Situations	Résultats au test de Fisher-Snedecor	Résultats au test de Student ou au test de Wilcoxon	Moyenne lr - Moyenne le	Coefficient de variation
Normale	Non homogénéité des variances	P-value = 0,09	-6,39	CVlr = 16,75% CVle = 33,58%
Grand pas	Non homogénéité des variances	P-value = 0,93	0,38	CVlr = 9,70% CVle = 36,18%
Petit pas	Non homogénéité des variances	P-value = 0,71	-6,37	CVlr = 29,52% CVle = 49,26%
Robe	Non homogénéité des variances	P-value (h) = 0,97 P-value (f) = 0,61	-6,59(h) -32,42(f)	CVlr(h) = 7,51% CVle(h) = 96,44% CVlr(f) = 6,41% CVle(f) = 116,26%
Obstacle	Non homogénéité des variances	P-value = 0,17	-11,83	CVlr = 15,61% CVle = 53,31%
Canne	Non homogénéité des variances	P-value = 0,86	0,85	CVlr = 17,56% CVle = 53,28%
Déambulateur	Homogénéité des variances	P-value = 0,00	-12,56	CVlr = 68,34% CVle = 55,45%
Canne, Robe	Non homogénéité des variances	P-value (h) = 0,67 P-value (f) = 0,07	-5,89(h) -9,46(f)	CVlr(h) = 18,66% CVle(h) = 37,64% CVlr(f) = 12,74% CVle(f) = 44,32%
Robe, Déambulateur	(h)Non homogénéité des variances (f) Homogénéité des variances	P-value (h) = 0,37 P-value (f) = 0,01	-33,29(h) -15,65(f)	CVlr(h) = 13,08% CVle(h) = 74,15% CVlr(f) = 66,51% CVle(f) = 41,48%

LR : Variable longueur réelle

LE : Variable longueur estimée

(h) : données des sujets hommes

(f) : données des sujets femmes

CV : Coefficient de variation = $(\frac{Ecart-type}{Moyenne}) \times 100$

La situation où le sujet devait marcher au côté d'une autre personne ne figure pas dans les résultats car le modèle 3D se raccroche tantôt au sujet, tantôt à l'autre personne.

L'hypothèse nulle H0 (c'est à dire l'hypothèse d'une égalité entre les variables) est rejetée dans les cas suivants :

- lorsque les filles portent une canne et une robe ;
- lorsque les filles portent un déambulateur et une robe ;
- lorsque les sujets utilisent un déambulateur.

L'hypothèse nulle H0 de la situation « normale » est presque rejetée.

Pour ces situations nous pouvons conclure que la moyenne de l'échantillon des longueurs estimées est significativement différente de celle de l'échantillon de longueur réelle, au seuil de confiance de 0,05.

L'hypothèse nulle H0 n'est pas rejetée pour toutes les autres situations. En d'autres termes, dans les autres cas, la moyenne de l'échantillon des longueurs estimées n'est pas significativement différente de celle de l'échantillon de longueurs réelles.

Cependant, bien qu'il n'y ait pas de différence significative dans les situations citées précédemment, on peut voir que, et cela pour chaque situation, la variabilité des longueurs estimées calculée par le coefficient de dispersion est très significativement plus élevée que la variabilité des longueurs réelles. Donc la variabilité de la part du système est importante. Pour constater cette variabilité nous pouvons réaliser une boîte à moustache avec une des situations expérimentales, la situation « sujet avec canne » est représentée figure 14.

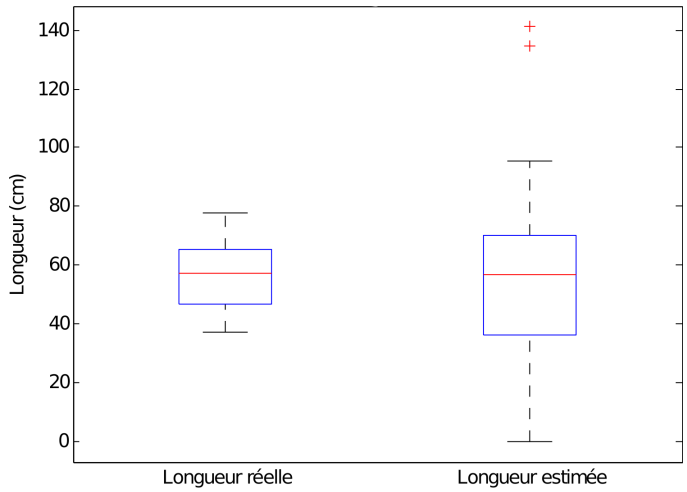


FIGURE 14 – Comparaison des longueurs en situation « canne »

La seule situation où la variabilité de la longueur estimée et de la longueur réelle est comparable est la situation où le sujet emploie un déambulateur. En regardant les résultats de plus près nous ne pouvons pas conclure que le système est moins variable que dans les autres situations mais plutôt, la marche réelle avec déambulateur est plus variable que dans les autres situations.

Un autre constat peut-être fait, le système a tendance à surestimer les longueurs de pas comme nous pouvons le constater grâce à la colonne « Moyenne lr - Moyenne le » du tableau récapitulatif précédent.

Une des situations était : pour les filles de porter une longue jupe et pour les garçons une robe de chambre arrivant au-dessus des genoux. D'après les résultats contenus dans le tableau récapitulatif, nous pouvons observer que la variabilité et la surestimation sont plus grandes dans le cas de la longue jupe des filles, de même dans cette situation le p-value est moins important. L'algorithme a donc visiblement plus de difficultés à retracer les mouvements pour les filles portant une jupe longue. Cela est peut être dû à la jupe cachant plus les jambes que la robe de chambre ou/et dû au fait que les filles et les garçons font des pas de longueurs significativement différentes. Cette différence de longueurs de pas selon le sexe a été constatée en effectuant une ANOVA sur les sujets.

Plusieurs raisons peuvent expliquer l'imprécision des valeurs et notamment la grande variabilité pour les longueurs estimées par l'algorithme :

- l'algorithme lui-même : il arrive que l'algorithme ne détecte pas un pas et, dans ce cas là, la longueur estimée est très grande et correspond à l'assemblage de deux pas ;
- le calibrage des caméras : le calibrage permet de déterminer la position relative dans l'espace des caméras ;
- un problème dans l'extraction du fond.

Pour pallier ce dernier problème, une autre méthode d'extraction de la silhouette a été développée.

Comparaison entre l'ancienne et la nouvelle méthode d'extraction du fond

L'ancienne méthode d'extraction consistait à extraire la silhouette en soustrayant le fond en prenant une image particulière (la dernière). La nouvelle méthode développée consiste à effectuer une moyenne de toutes les images de la vidéo pour ainsi obtenir l'image de fond sans la personne.

Nous avons donc lancé les analyses des vidéos (en situation normale) avec cette nouvelle méthode. Puis nous avons effectué une nouvelle analyse statistique dans le but de comparer les résultats obtenus avec l'ancienne méthode d'extraction et les résultats de la nouvelle méthode. Nous obtenons les résultats suivants suite à un test de Student pour deux échantillons appariés :

Situations	Résultats au test de Student	Moyenne av - Moyenne nv	Coefficient de variation
Nouvelle méthode	P-value = 0,78	2,44	CVav = 39,98% CVnv = 66,44%

av : Longueurs estimées pour l'ancienne version
nv : Longueurs estimées pour la nouvelle version

L'hypothèse nulle H0 n'est pas rejetée, pour t = 0,78 , avec un seuil de confiance de 0,05. Nous pouvons donc conclure que la moyenne des longueurs obtenues pour l'ancienne version n'est pas significativement différente de celle des longueurs obtenues avec la nouvelle version, au seuil de confiance de 0,05. Donc les deux versions ne sont pas significativement différentes.

De plus nous pouvons remarquer que le coefficient de variation sur les valeurs de la nouvelle analyse (66,44%) est bien supérieur au coefficient de l'ancienne version (39,98%). Par contre on remarque que la nouvelle version sur-estime moins la longueur des pas que l'ancienne version.

Le problème de l'ancienne version était la variabilité importante des résultats et la sur-estimation des longueurs, or la nouvelle version aggrave l'un des deux problèmes.
Donc, malgré une nouvelle version théoriquement plus fiable pour l'extraction de silhouettes, nous n'avons pas pu démontrer la justesse de l'estimation des longueurs de cette nouvelle version.

Comparaison entre les différentes situations que le sujet a expérimenté

Nous avons également effectué une autre série de tests. Il s'agissait cette fois-ci de savoir si le système pouvait détecter une différence d'une situation à l'autre, une différence entre « grand pas » et « petit pas », entre « canne » et « normale »...
Pour cela nous testons si une différence au niveau des longueurs de pas existe entre la situation « normale » et « petit pas ». Dans l'avenir il faudrait effectuer ce test pour chaque situation deux à deux. Nous avons effectué un test de Student pour deux variables indépendantes, les variances étant homogènes. Le tableau ci-dessous correspond à la comparaison entre les longueurs réelles :

$$P - Value = 0,0002014$$

Variable	Moyenne	Ecart type	Médiane	Minimum	Maximum
Pas normaux réels	57,80	9,59	53,60	45,50	81,00
Petits pas réels	43,47	13,24	43,05	22,20	60,40

Les moyennes des longueurs réelles pour la situation « normale » et « petits pas » sont significativement différentes, au seuil de confiance de 0,05.
Le tableau ci-dessous correspond cette fois à la comparaison entre les longueurs estimées des pas normaux et des petits pas :

$$P - Value = 0,007607$$

Variable	Moyenne	Ecart type	Médiane	Minimum	Maximum
Pas normaux estimés	66,30	26,51	53,79	27,72	129,00
Petit pas estimés	46,22	20,43	41,62	25,99	96,60

Le système estime également les moyennes des longueurs comme étant significativement différentes entre les deux situations.

Donc le système a détecté, d'après les longueurs, un changement de situation.

4.6.2 Test avec la variable « durée des pas »

La durée d'un pas est un paramètre extrait de la base de donnée de l'algorithme à la fin de mon stage. C'est pourquoi dans cette partie, n'ayant pas eu le temps d'analyser toutes les situations, nous ne nous consacrerons qu'à la situation où le sujet marche normalement.

Pour comparer les temps des pas estimés par l'algorithme avec les temps réels, nous effectuons un test de Wilcoxon car les variances ne sont pas homogènes.
Ainsi nous obtenons une p-value=0,1703 avec un seuil de confiance de 0,05.

Tout comme pour les longueurs, nous pouvons constater que le système fournit des durées de pas significativement plus variables que les durées réelles comme le montre la figure 15.

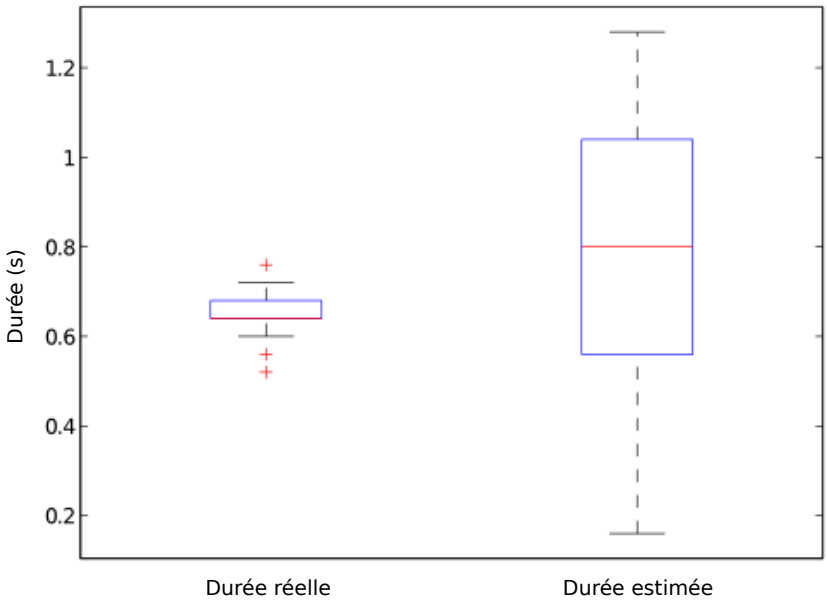


FIGURE 15 – Comparaison des durées en situation « normale »

4.7 Inconvénients et avantages du système développé par l'équipe MAIA

4.7.1 Les inconvénients du système

L'expérience nous a permis de constater plusieurs défauts du système d'analyse des mouvements développé par l'équipe MAIA. Nous allons citer ces défauts par rapport à chaque étape de l'expérience.

Tout d'abord, nous avons déjà repéré quelques défauts du système suite aux résultats de l'analyse statistique :

- le système ne peut suivre les mouvements que d'une seule personne à la fois ;
- les longueurs et durées des pas sont estimées par l'algorithme avec une variabilité beaucoup plus grande que les valeurs réelles, et ceci pour toutes les situations réalisées dans l'expérience ;
- l'algorithme surestime les longueurs et durées de pas, et ceci pour toutes les situations.

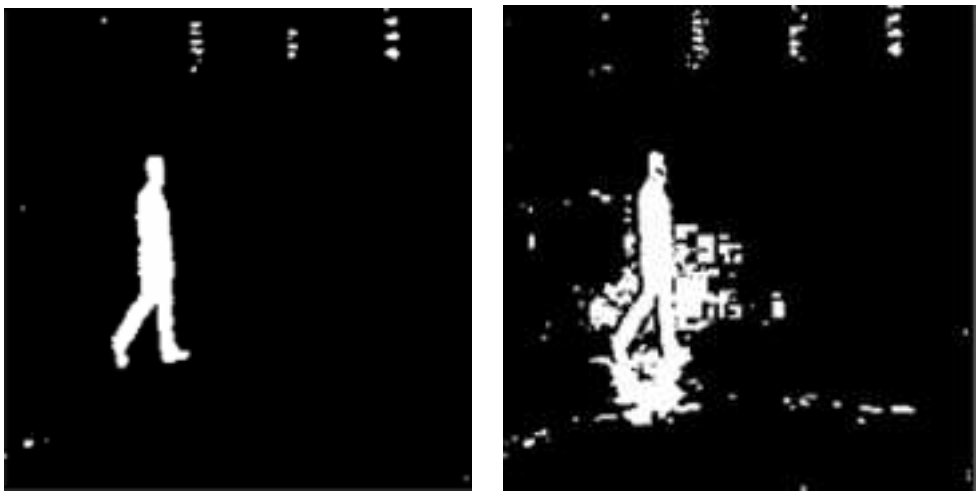
Ensuite, la mise en place du système (l'installation des caméras dans la pièce) a été une étape fastidieuse et longue nécessitant au minimum deux personnes. De plus, une fois installées, les caméras ne doivent plus être bougées, faute de devoir refaire la calibration. Or, on peut facilement s'imaginer que dans une maison, une personne bouge malencontreusement une des caméras (en réalisant les tâches ménagères par exemple).

Au niveau de l'analyse des vidéos, quelques problèmes ont pu être détectés. Tout d'abord, l'analyse ne se fait pas en temps réel mais après l'enregistrement. Concernant la durée de traitement, 15 minutes en moyenne sont nécessaires pour analyser une vidéo de 10 secondes. Puis l'étape consistant à extraire le fond dépend de variables extrinsèques comme :

- la façon dont est habillé le sujet ;
- l'éclairage de la pièce.

Ainsi, les résultats peuvent assez vite être dégradés. Sur la figure 16, il est possible d'observer deux extractions de fond. Sur l'une d'entre elles nous pouvons constater que la silhouette est plutôt correctement extraite (a) ce qui n'est pas le cas de la seconde (b). De plus, nous pouvons admettre les erreurs du système qui doit évaluer la position du corps à partir de l'image silhouette figure 17. Même pour l'œil humain, il est difficile de distinguer la jambe droite de la jambe gauche.
Une dernière remarque peut être formulée. Nous devions lancer chaque analyse une par une alors qu'il serait possible d'automatiser cette étape pour gagner du temps et par la même occasion la rendre utilisable par toutes les personnes autres que les concepteurs.

Enfin nous pouvons préciser que le système n'est aujourd'hui pas utilisable par tout le monde, seuls les concepteurs peuvent l'utiliser.



(a) (b)

FIGURE 16 – (a) bonne extraction de la silhouette, (b) mauvaise extraction de la silhouette

4.7.2 Avantages du système

Certaines contraintes du système développé par MAIA ont été respectées et constituent des atouts non négligeables comme :

- l'objectivité pour déterminer les éventuelles chutes ;
- l'absence de capteurs encombrants ;
- l'absence d'une tierce personne.

Par contre il n'est pas encore actuellement possible de savoir si les exigences suivantes seront respectées :

- le coût réduit ;
- l'adaptabilité au domicile : le nombre de caméras pourrait poser problème.

L'expérience effectuée lors de mon stage a toutefois permis de révéler d'autres points positifs.

Tout d'abord le modèle 3D n'est peut-être pas exactement positionné sur le sujet mais dans toutes les situations (marche normale, avec canne...) l'algorithme localise la personne. C'est à dire que le modèle 3D détecte et se positionne sur la personne. Ce constat est intéressant dans le cas où l'objectif serait de localiser la personne dans une pièce, l'algorithme peut en effet remplir cette tâche.

Ensuite l'analyse statistique a révélé que l'algorithme était capable de repérer les changements de situation d'une personne. Comme nous l'avons vu, il est capable en tout cas de détecter lorsqu'un sujet passe de la situation « marche normale » à « marche avec petits pas ». L'objectif du projet étant de prévenir les chutes, nous pouvons donc imaginer que, grâce à l'algorithme, nous savons si la marche de la personne est dégradée ou en tout cas différente.

FIGURE 17 – Image silhouette

D'autres vidéos que celles effectuées dans l'expérience ont été réalisées. Mais, comme elles n'ont pas été analysées statistiquement, nous avons décidé de ne pas les faire figurer dans le rapport. Cependant ces vidéos supplémentaires révèlent d'autres qualités sur l'algorithme. C'est pourquoi il est intéressant de les évoquer dans cette partie.

Ces vidéos ont été réalisées dans le but d'observer comment se comportait l'algorithme dans les situations suivantes :

1. le sujet s'assoit ;
2. le sujet s'accroupit ;
3. le sujet saute sur une jambe ;
4. le sujet tombe ;
5. des obstacles (chaises, tables, canapé) sont installés dans la pièce.

Visuellement on remarque que le modèle 3D se positionne sur la personne dans les quatre premières situations.

Dans la cinquième situation le sujet n'est pas toujours visible, échappant par moment à plusieurs caméras. Nous remarquons alors visuellement que le modèle 3D a du mal à se positionner exactement sur le sujet, cependant le modèle récupère assez facilement une fois que le sujet devient à nouveau visible par les caméras.

4.8 Conclusion et perspectives

4.8.1 Conclusion

Tout le monde peut se sentir un jour concerné par la perte d'autonomie, que ce soit pour l'un de ses proches ou pour soi-même. La technologie pour les personnes âgées est donc une problématique qui intéresse de nombreuses personnes et est porteuse pour l'avenir.

Le stage, effectué dans l'équipe MAIA, portait sur le thème des technologies de l'information et de la communication permettant le maintien à domicile des personne âgées en perte d'autonomie. L'objectif de mon intervention était d'évaluer un système d'analyse de la marche développé par l'équipe. La dégradation de la marche chez les personnes âgées est un facteur important de perte d'autonomie ayant pour conséquence une aggravation du risque de chutes. Le système a justement été conçu dans le but d'arriver à prédire cette dégradation et, par la même, de prédire les risques de chutes en estimant à chaque instant la position dans l'espace de la personne, et en particulier de ses jambes, à partir des images provenant d'une ou plusieurs caméras. Le système ne sort pas d'images mais un ensemble de mesures caractéristiques de la marche comme les longueurs ou la durée des pas. Le travail d'évaluation du système, effectué durant le stage, a permis de révéler ses nombreux inconvénients et avantages, mais a également permis de définir des améliorations à envisager par la suite. Plus précisément, l'expérience a montré que les paramètres (longueurs et durées des pas) estimés par l'algorithme ne donnaient pas de résultats concluants, mais cette évaluation n'est qu'un point d'étape dans la conception du système. Celui-ci a d'autres atouts qui pourront être approfondis par la suite, comme arriver dans diverses situations à localiser le sujet.

4.8.2 Perspectives

L'une des premières choses à faire est de pallier les défauts révélés par l'expérience et répertoriés dans la partie 4.7.1 « Les inconvénients du système » (comme la surestimation et la variabilité des valeurs estimées, le temps d'analyse des vidéos...). Une fois les modifications effectuées, il sera alors possible de continuer à évaluer le système.

La prochaine étape dans l'évaluation est de tester la robustesse du système. C'est à dire que nous soumettrons le système à des situations plus réalistes. Nous analyserons les capacités de l'algorithme à détecter les pas d'un sujet marchant dans une pièce meublée. Un appartement expérimental a été construit au sein du LORIA. Ainsi il sera possible d'intégrer des caméras dans l'habitat pour pouvoir tester le système. Il faudrait également déterminer le nombre idéal de caméras pour analyser une scène.

De plus il sera nécessaire de tester le système sur des sujets âgés puisqu'il est impossible de se mettre à leur place. Par exemple les sujets « normaux » marchant avec une canne ou un déambulateur ne se servent pas de ces accessoires comme le ferait une personne âgée.

De même la marche « normale » des sujets de l'expérience ne peut pas être comparée à la marche « normale » des personnes âgées. Les longueurs de pas de la marche « normale » des personnes âgées sont inférieurs aux longueurs de pas des sujets plus jeunes. De plus nous ne pouvons pas affirmer que la marche des sujets soit réaliste dans une expérience de courte durée où les personnes se sentent filmées.

Dans notre expérience, nous avons pris en compte, comme paramètres utiles dans la détection de chute, la longueur et la durée des pas. Il faudrait donc se renseigner auprès de médecins pour savoir, par exemple, si ces indicateurs sont nécessaires et suffisants pour l'estimation des risques de chutes.

Un autre élément qui s'avère indispensable pour ce projet est de se poser la question de l'utilisabilité du système auprès des personnes âgées. Il faut pouvoir rendre le système « facile d'utilisation ». C'est d'ailleurs la définition même de l'utilisabilité selon les normes ISO : « degré selon lequel un produit peut être utilisé, par des utilisateurs identifiés » [19]. Selon la norme ISO 9241 le terme d'utilisabilité regroupe trois propriétés d'un produit, l'efficacité, l'efficience et la satisfaction :

- l'efficacité se réfère à la capacité d'un dispositif à atteindre (ou pas, dans ce cas il s'agit d'inefficacité) un objectif donné ;
- l'efficience est la capacité de produire une tâche donnée avec le minimum d'efforts ;
- la satisfaction correspond au niveau du confort ressenti par l'utilisateur lorsqu'il utilise un produit (tant au niveau de ses qualités matérielles que de l'esthétique). Cet aspect subjectif est difficilement mesurable.

Des travaux récents ont ajouté à cette norme deux autres composantes, l'apprenabilité et la mémorisation :

- l'apprenabilité est la facilité d'apprentissage de son utilisation ;
- la mémorisation est la consolidation plus ou moins stable des connaissances en mémoire pour leur usage ultérieur.

Ces deux notions sont importantes puisqu'il est difficilement concevable qu'un système facile à utiliser puisse être difficile à apprendre.

Pour recentrer la question de l'utilisabilité sur notre projet, nous pouvons signaler que le problème du système actuel développé par MAIA est qu'il suit la logique des concepteurs (des ingénieurs) mais pas encore celle de l'utilisateur. Il n'est donc utilisable pour l'instant que par quelques personnes et un grand nombre d'étapes n'est réalisable qu'en effectuant de nombreuses actions. Il faudrait à l'avenir automatiser chaque étape. Durant mon stage plusieurs étapes ont déjà été automatisées facilitant ainsi leur réalisation. Cependant il reste encore aujourd'hui des actions réalisables uniquement par les concepteurs et non pas par un « non initié ».

Toutefois l'utilisabilité n'est pas la seule notion à prendre en compte dans la conception d'un système, car le fait de satisfaire les critères d'utilisabilité ne garantit en rien leur utilité et leur acceptabilité.

Tout d'abord pour répondre à la question de l'utilité, il est nécessaire de définir les

besoins des utilisateurs. Le projet MAIA était de répondre au problème des chutes à domicile des personnes âgées en leur fournissant un système permettant de prévenir le risque de chutes. L'effort a porté essentiellement dans le développement d'un système générique de capture du mouvement. Ce système reste ouvert pour servir de multiples applications. Dans le cadre de ce stage nous avons évalué son potentiel pour la mesure des longueurs de pas. Au vu des difficultés à extraire les bonnes longueurs de pas, l'objectif du système pourrait être réorienté plus vers la détection de chute, en d'autres termes prévenir une tierce personne en cas de chute réelle de la personne âgée. De même, le système dans sa version actuelle pourrait finalement être plus adapté à une installation dans un milieu hospitalier ou dans une maison de retraite, au vu du coût de revient et du nombre de caméras nécessaires.
Une autre orientation du dispositif peut-être formulée, celle de l'évaluation thérapeutique. En effet aujourd'hui pour valider l'efficacité au niveau comportemental d'un traitement (médicamenteux) ou d'une rééducation, aucune méthode n'existe. Avec ce dispositif il serait possible d'observer en plaçant quelques caméras au domicile du patient si celui-ci subit des modifications comportementales, suite à la prise d'un traitement, ou s'il continue à appliquer les conseils de rééducation des médecins. Car généralement, dans le cas de la rééducation, les patients au bout d'un certain temps (quelques mois) n'appliquent plus les conseils des médecins, ce qui a des conséquences sur le traitement médical. Ceci peut être considéré comme une perte de temps pour les médecins et une perte d'argent pour la sécurité sociale. Le système développé par l'équipe MAIA pourrait être utilisé dans ce contexte. Donc on constate qu'actuellement l'utilité d'un tel système n'est pas encore complètement définie en terme d'objectifs. Or, en fonction des orientations retenues, le produit ne sera pas développé exactement de la même façon.

Ensuite, l'acceptabilité quant à elle englobe l'utilité et l'utilisabilité sans pour autant que l'acceptation d'un système soit limitée à ces deux aspects. D'autres variables, comme le prix, peuvent jouer un rôle. Dans ce projet il s'agira de savoir quel regard portent les personnes âgées sur l'installation dans leur domicile de plusieurs caméras. Seront-elles rassurées d'avoir un tel dispositif à leur service ou au contraire se sentiront elles « espionnées » ? Par ailleurs la technologie sera plus acceptée si elle ne supplante pas le contact humain dont a besoin la personne âgée pour supporter son handicap et la solitude.

Donc réfléchir sur l'utilisabilité, l'acceptabilité et l'utilité s'avère indispensable pour l'avenir de la conception du système développé par l'équipe MAIA. Une méthode pour répondre à ces questions serait par exemple, dans un premier temps, de réaliser un questionnaire ou des entretiens auprès de personnes âgées ou d'utilisateurs potentiels.

5 Bilan

5.1 Remarques liées au déroulement du stage

Le travail que j'ai effectué durant mon stage peut être divisé en deux parties (non indépendantes l'une de l'autre) :

- un travail d'évaluation ;
- un travail de conception.

Dans la suite je décrirai ce que j'ai réalisé durant le stage en fonction de ces deux parties.

Le travail d'évaluation

Avant de commencer directement l'évaluation du système j'ai réalisé l'étude bibliographique présentée dans ce rapport. Je me suis intéressée, dans cette étude, aux technologies existantes pour le maintien à domicile des personnes âgées ainsi qu'aux dispositifs permettant de prédire les chutes.

Une des difficultés pour concevoir l'expérience a été de décider des paramètres caractéristiques de la marche à prendre en compte, et surtout de trouver une méthode permettant d'obtenir les valeurs réelles de ces paramètres. D'autant plus, qu'effectuant mon stage dans un laboratoire d'informatique, les méthodes d'évaluation, que je proposais, paraissaient inhabituelles.

Ensuite, avant de réaliser l'expérience, il a fallut, dans l'ordre, définir des scénarios pour l'expérience (les 13 situations que le sujet devait réaliser comme « faire des grand pas », « utiliser une canne » ...), décider du nombre de sujets nécessaires, installer la salle et s'assurer que l'expérience était réalisable grâce à un pré-test.

Après l'expérience il a fallu dépouiller les résultats. Cela consistait à mesurer un par un, sur les bandes de papiers, les longueurs de pas des 7 sujets dans les 13 situations. De même, les vidéos ont été analysées pour récolter les durées des pas pour chaque sujet et chaque situation. L'analyse statistique a ainsi pu être réalisée. Chaque scénario (situation) a fait l'objet d'un test statistique. Dans le cas où les résultats n'étaient pas satisfaisants, nous essayions (avec les concepteurs du système) de trouver une explication et nous modifiions ce que nous pensions être la cause. Cela donnait lieu à de nouvelles analyses statistiques. Il s'avère qu'au fur et à mesure du stage, le travail demandé se révéla être plus orienté vers la conception qu'une simple évaluation d'un dispositif, comme mes encadrants l'avaient prévu. Participer à un travail de conception est plus intéressant et enrichissant mais, en même temps, la tâche devient plus complexe.

Le travail de conception

Le fait qu'un objectif de mon stage ait évolué (transformation de l'évaluation en conception) laisse à penser que ce stage s'est déroulé trop tôt dans l'évaluation du système. Cependant cela a permis de révéler certains problèmes qui n'auraient pas été visibles sans la réalisation de l'expérience.

A mon arrivée le système n'était utilisable que par leurs créateurs. J'avais donc, à ce moment là, le rôle de l'utilisateur novice, ce qui a permis d'avoir un premier aperçu du travail de conception qu'il y avait encore a fournir. Ainsi, la première préoccupation a été d'automatiser certaines étapes pour pouvoir utiliser le système plus facilement.

A chaque avancée dans le protocole expérimental, des problèmes apparaissaient, notamment parce que le système est en cours de développement. Ces problèmes étaient de natures diverses :

- la calibration de quatre caméras a posé problème (cela avait été fait jusqu'à 3 caméras, mais pas 4) ;
- l'obligation de placer les caméras à l'horizontal du sol, car nous avions penché les caméras et cela ne donnait pas de bons résultats ;
- pour analyser une vidéo, la technique nécessite d'extraire l'image de fond pour ne garder que la silhouette de la personne ; mais pour réaliser ceci, il fallait que la personne sorte du champ de vision des caméras, or la disposition de la salle ne le permettait pas ; il a donc fallu trouver une nouvelle technique informatique de reconstruction du fond ;
- l'expérience que j'ai définie prenait en compte la variable « durée des pas », or ce paramètre n'était pas fourni par l'algorithme, il a donc fallu trouver une méthode pour extraire cette information ;
- il fallait plusieurs heures pour acquérir puis traiter une vidéo de quelques secondes ; aujourd'hui cette même vidéo peut être réalisée et traitée en 20 minutes.

Cette liste de problèmes n'est pas exhaustive mais permet de constater que leur diversité a conduit à faire appel à des connaissances aussi bien en programmation, qu'en stéréovision... C'est pourquoi une partie de mon stage s'est effectuée en collaboration avec un ingénieur informaticien, permettant ainsi d'avancer dans le projet. De plus, se trouvant être l'un des concepteurs du système d'analyse de la marche, il a pu apporter des améliorations en même temps que nous rencontrions des problèmes dans l'évaluation du système.

Mon stage a également permis de créer une base de données utile pour la poursuite du projet. Cette base contient :

- des vidéos réalisées sur les 7 sujets dans les différentes situations ;
- les bandes de papier sur lesquelles les sujets ont marché ;
- les longueurs de pas mesurées à partir des bandes de papier ;
- les durées de pas mesurées à partir des vidéos.

Mais d'autres paramètres utiles dans l'analyse de la marche peuvent également être déduis de cette base de données : la vitesse de marche, la régularité des pas... Ainsi, à l'avenir,

lorsque les concepteurs apporteront des modifications sur l'algorithme, il leur sera alors possible de reprendre la base de données et de la comparer avec les valeurs estimées par la nouvelle version de l'algorithme. Ce stage a donc permis de fournir une méthode directe pour constater les effets d'une modification dans le code de l'algorithme.

5.2 Remarques en rapport avec la formation sciences cognitives

Les compétences acquises durant la formation en sciences cognitives m'ont permis de mener à bien une étude expérimentale du début jusqu'à la fin, c'est à dire en la concevant et en la réalisant.

Cependant, une des étapes a été difficile à mettre en œuvre : la partie concernant l'analyse statistique. Lors de mon cursus universitaire, nous avons appris quel test statistique utiliser dans tel ou tel cas mais nous n'avons jamais réellement mis en pratique ces connaissances notamment en utilisant un logiciel de statistiques. Ceci aurait pu faciliter et améliorer l'analyse statistique effectuée lors de ce stage.

La formation, de part son côté pluridisciplinaire, permet de nous faciliter l'intégration au sein d'un environnement spécialisé qui n'est pas le nôtre à la base, notamment dans un milieu informatique. De plus le master, pour valider les UE, privilégie les projets de travail en équipe. Les étudiants dans le master sciences cognitives viennent de tout horizon (neurosciences, psychologie, informatique ...), ce qui est formateur grâce aux travaux en commun. Nous apprenons à travailler ensemble et à se comprendre. Cela apporte une certaine facilité par la suite pour intégrer d'autres groupes.
Les projets réalisés en master ont également un autre avantage, celui d'apprendre à être autonome. Ainsi durant le stage, j'ai eu une grande liberté pour mener l'étude et mettre en place le protocole, ce qui n'a pas été un frein dans l'évolution du travail fourni, mais cela m'a permis de prendre des initiatives.

Je pense donc que la formation m'a fourni assez de compétences pour réaliser ce stage mis à part certains manques, comblés au fur et à mesure de l'expérience au sein du laboratoire et de l'aide que m'ont apporté l'équipe MAIA et d'anciens enseignants de la promotion. Surtout le cursus a apporté une façon de penser et de réagir, permettant de s'adapter facilement à un environnement qui n'est pas forcément le nôtre à la base.

Références

[1] http ://geriatrie.webs.com/lautonomiedpendance.htm.

[2] http ://www.altivis.fr/le-care-o-bot-un-robot-allemand.html.

[3] http ://www.altivis.fr/les-robots-vont-revolutionner-l.html.

[4] http ://www.capgeris.com/articles-350/nouvelles-technologies-et-personnes-agees -une-alliance-necessaire-en-progression-permanente-a9906.htm.

[5] http ://www.cercleseniors.com/index.php ?app=10&th=3&fic=7.

[6] http ://www.gerontechnologie.net/les-robots-de-compagnie-pour-personnes-agees.

[7] http ://www.gerontechnologie.net/matilda-la-soeur-du-robot-de-compagnie-papero-se-destine-aux-personnes-agees/311214.

[8] http ://www.gerontechnologie.net/paro-le-robot-bebe-phoque-pour-les-personnes-agees.

[9] http ://www.handicap.org/spip.php ?page=fiche&f_fauteuil_id=308.

[10] http ://www.ordissimo.com/.

[11] http ://www.pcinpact.com/actu/news/36855-hubo-fx1-kaist-albert-einstein-robot-robotiq.htm.

[12] http ://www.robotblog.fr/exosquelettes/walking-assist-device-les-jambes-robots -de-honda-1048.

[13] http ://www.senioractu.com/japon-fujitsu-presente-un-robot-ourson-pour-aider -les-personnes-agees_a12261.html.

[14] http ://www.senioractu.com/ri-man-un-robot-japonais-qui-pourrait-venir-en-aide-aux-personnes-agees_a5466.html.

[15] *Corpus de Gériatrie Chapitre 4*, volume 1. Le collège national des enseignants en gériatrie, 2000.

[16] J.-M. André, J. Paysant, N. Martinet, J.-M. Beis et C. Beyaert : Georges Gilles de la Tourette, initiateur de l'enregistrement de la marche dans les maladies du système nerveux. *Revue neurologique*, 2001.

[17] B. Auvinet, G. Berrut, C. Touzard et L. Moutel : Gait abnormalities in elderly fallers. *Journal of aging and physical activity*, 2003.

[18] C. Benaim, J. Froger, B. Compan et J. Pélissier : Evaluation de l'autonomie de la personne âgée. *Elsevier*, 2005.

[19] Eric Branzier et Javier Barcenilla : *Concevoir un produit facile à utiliser*. Editions d'Organisation, 2003.

[20] Xuan Hoa Binh Le : *Reconnaissance des comportements d'une personne âgée vivant seule dans un habitat intelligent pour la santé*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier de grenoble, 2008.

[21] Cédric Rose, Jamal Saboune et François Charpillet : Reducing particle filtering complexity for 3D motion capture using dynamic Bayesian networks. *In AAAI'08 : Proceedings of the 23rd national conference on Artificial intelligence*, pages 1396–1401. AAAI Press, 2008.

[22] Jamal Saboune : *Développement d'un système passif de suivi 3D du mouvement humain par filtrage particulaire.* Thèse de doctorat, Université de technologie de Troyes, 2008.

[23] Philippe Villeneuve : *Pied, équilibre et posture.* Frison-Roche, 1996.