



# Réseau de capteurs sans fil comportementaux pour l'aide au maintien à domicile par la surveillance en habitat intelligent

Asma Ben Hadj Mohamed

## ► To cite this version:

Asma Ben Hadj Mohamed. Réseau de capteurs sans fil comportementaux pour l'aide au maintien à domicile par la surveillance en habitat intelligent. Ordinateur et société [cs.CY]. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2015. Français. <NNT : 2015TOU20077>. <tel-01330973>

**HAL Id: tel-01330973**

**<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01330973>**

Submitted on 13 Jun 2016

**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.



# THÈSE

En vue de l'obtention du

## DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse - Jean Jaurès

Cotutelle internationale avec l'université de Sfax (TUNISIE)

---

**Présentée et soutenue par :**

**Asma BEN HADJ MOHAMED**

**le 29 Septembre 2015**

**Titre :**

Réseau de capteurs sans fil comportementaux pour l'aide au maintien à domicile par la surveillance en habitat intelligent

---

**École doctorale et discipline ou spécialité :**

ED MITT : Domaine STIC : Réseaux, Télécoms, Systèmes et Architecture

**Unité de recherche :**

UMR 5505 UT2-IRIT

**Directeur/trice(s) de Thèse :**

Pr. Thierry VAL

Pr. Abdennaceur KACHOURI

**Jury :**

Pr. Anne WEI ( Rapporteur)

Pr. Leila AZZOUZ SAIDANE (Rapporteur)

Pr. Lotfi KAMMOUN (Examineur)

Dr. Laurent ANDRIEUX (Co-encadrant invité)

## **Remerciement**

*Avant de commencer ce mémoire, je tiens à exprimer mes remerciements à mes directeurs de thèse, M. **Thierry Val**, professeur à l'Institut Universitaire de Technologie de Blagnac rattaché à l'université de Toulouse et M. **Abdennaceur Kachouri**, professeur à l'université de Sfax.*

*Ces deux hommes sont directement responsables du bon déroulement de mes travaux. Grâce à leur grande patience, leurs compréhensions, leurs attentions et les nombreuses discussions professionnelles et personnelles que nous avons eues, j'ai su trouver des pistes et amener ce travail à sa fin.*

*Je tiens aussi à remercier également à mon co-encadrant scientifique de thèse, M. **Laurent Andrieux**, Maître de Conférences à l'Institut Universitaire de Technologie de Blagnac. J'ai énormément appris à ses côtés. Au-delà de ses grandes qualités scientifiques, j'ai beaucoup apprécié ses qualités humaines, en particulier l'écoute, le partage et la compréhension.*

*J'exprime ma gratitude à M<sup>me</sup> **Leila Saidane**, professeure à l'université de Tunis la Manouba, ainsi qu'à M<sup>me</sup> **Anne Wei**, professeure au CNAM de Paris pour avoir accepté de juger mes travaux en tant que rapporteurs. Je tiens à exprimer ma reconnaissance à M. **Lotfi Kammoun**, professeur de l'université de Sfax, pour avoir accepté de présider ce jury.*

*Une thèse est un travail assez personnel qui s'inscrit toutefois dans une équipe. Je remercie donc tous mes collègues doctorants, tous les membres temporaires ou permanents que j'ai croisés au cours de cette expérience au Laboratoire **IRIT** équipe **IRT**, et au laboratoire d'Electronique et des Technologies de l'Information (**LETI**) à Sfax. Ils m'ont beaucoup apporté pendant ces dernières années tant au niveau professionnel qu'au niveau personnel. J'ai eu la chance de rencontrer des collègues à qui je tiens beaucoup comme: **Adrien, Réjane, Ibrahim, Mahamat, Adel, Sabri** et tant d'autres...auxquels je dois aussi de bons moments de sincérité et de complicité. Enfin, j'exprime toute ma gratitude à ma famille: mes parents, mon frère et ma sœur qui ont supporté avec moi les bons et les mauvais moments et qui m'ont donné la force d'aller au bout de cette aventure.*

*A mes chers parents...*

*A mon frère et ma sœur...*

*A tous ceux qui ont crus en moi durant ce long chemin...*

## Table des matières

Introduction générale .....	1
Contexte et problématique.....	1
Contribution.....	2
Organisation du mémoire.....	2
Chapitre 1 .....	4
Le vieillissement et l'aide au maintien à domicile : état de l'art .....	4
1.1 Introduction .....	4
1.2 Le vieillissement de la population.....	5
1.2.1 Les facteurs démographiques .....	5
1.2.1.1 Diminution du taux de mortalité.....	6
1.2.1.2 Diminution du taux de natalité .....	8
1.2.1.3 Augmentation de l'espérance de vie à la naissance .....	8
1.2.2 Le facteur économique.....	10
1.2.3 Le facteur politique .....	10
1.2.4 Les facteurs sociaux et culturels .....	10
1.2.4.1 Dans les pays développés.....	10
1.2.4.2 Dans les pays en développement.....	11
1.3 Augmentation de la population âgée.....	11
1.3.1 En Europe.....	11
1.3.2 Au Canada.....	13
1.3.3 Aux Etats-Unis .....	14
1.3.4 Dans les pays en voie de développement .....	14
1.4 Les conséquences.....	15
1.4.1 Les économies et les dépenses en santé.....	15
1.4.2 Les conséquences sociologiques .....	17
1.4.3 Les troubles de santé .....	18
1.5 L'aide au maintien à domicile.....	18
1.5.1 Les maisons de retraite ou EHPAD.....	19
1.5.2 Les solutions industrielles.....	20
1.5.3 Les projets de recherche .....	21
1.5.3.1 Le projet HOMECARE.....	21
1.5.3.2 Le projet DOMUS .....	21

1.5.3.3 Le projet « Guardian Angels ».....	22
1.5.3.4 Le projet WISDOM .....	22
1.5.3.5 Comparaison et discussion des solutions existantes .....	23
1.6 Solutions aux risques de détection de chutes .....	29
1.6.1 Différentes approches et méthodes .....	30
1.6.1.1 Les systèmes portés .....	30
1.6.1.2 Systèmes non-portés.....	30
1.6.1.3 Les techniques d'apprentissage.....	32
1.6.1.4 Méthodes analytiques.....	32
1.6.2 Comparaison des principales approches des méthodes de détection de chute ...	33
1.7 Attente des personnes âgées .....	34
1.8 Cahier de charge de l'application : étude des besoins .....	35
1.9 Conclusion.....	36
Chapitre 2 .....	37
Etude et mise en œuvre préalable d'un réseau de capteurs vidéo pour la surveillance à domicile .....	37
2.1 Introduction .....	37
2.1.1 3DomoHelpNet : description du projet .....	38
2.1.2 Objectifs .....	38
2.1.3 Contributions visées .....	38
2.2 Les réseaux de capteurs dans les applications médicales.....	39
2.2.1 Introduction .....	39
2.2.2 Les capteurs vidéo classiques .....	41
2.2.2.1 Les capteurs CCD (Charge-Coupled Device).....	41
2.2.2.1.1 Généralités .....	41
2.2.2.1.2 Principe de fonctionnement.....	41
2.2.2.2 Les capteurs CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor).....	42
2.2.2.2.1 Généralités .....	42
2.2.2.2.2 Principe de fonctionnement.....	42
2.2.2.3 Comparaison .....	43
2.2.2.4 Bilan et analyse sur les capteurs CCD et CMOS .....	43
2.2.3 Les capteurs vidéo intelligents .....	45
2.2.4 Justification du choix du capteur vidéo .....	47

2.3 Le capteur Kinect.....	48
2.3.1 Description .....	48
2.3.2 Caractéristiques techniques.....	48
2.3.2.1 Capteur .....	48
2.3.2.2 Champ de vision.....	48
2.3.2.3 Flux de données .....	49
2.3.2.4 Système de suivi du squelette .....	49
2.3.2.5 Fonctionnalités logicielles .....	49
2.3.2.6 Reconstruction de l'image 3D avec la Kinect.....	50
2.3.3 Différentes versions matérielles .....	51
2.4 Mise en œuvre et tests préliminaires du réseau de Kinect pour la surveillance.....	52
2.4.1 Choix de la topologie réseau LAN .....	53
2.4.1.1 Ethernet .....	53
2.4.1.2 Courant Porteurs en Ligne.....	53
2.4.1.3 WiFi.....	55
2.4.1.4 WiFi maillé 802.11s.....	56
2.4.2 Etude et mise en place du réseau WiFi maillé.....	57
2.4.2.1 OLSR ou Optimized Link State Routing Protocol .....	57
2.4.2.1.1 Principe.....	57
2.4.2.1.2 Test du routage OLSR.....	58
2.4.2.2 Test du relais 802.11.s.....	60
2.4.2.3 Transport des données Kinect par le réseau WiFi maillé : technologie USB over IP 62	
2.4.2.3.1 Intérêts .....	62
2.4.2.3.2 Mise en place .....	62
2.4.2.4 Analyse des performances en conditions réelles.....	63
2.4.2.5 Résultat et conclusion .....	64
2.5 Le bus logiciel IVY .....	64
2.6 Conclusion.....	65
Chapitre 3 .....	67
La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile.....	67
3.1 Introduction .....	67
3.2 La reconnaissance de gestes .....	68

3.2.1 Principes de la reconnaissance de gestes avec la Kinect .....	69
3.2.1.1 Les gestes statiques .....	69
3.2.1.1.1 Le geste onde ou "hello" .....	69
3.2.1.1.2 La détection d'une position des mains .....	73
3.2.1.1.3 Le geste défilement à droite (Swip to right) .....	75
3.2.1.1.4 Le geste de défilement vers le haut et vers le bas.....	75
3.2.1.1.5 Le geste Push -Pull .....	77
3.2.1.2 Les gestes complexes ou dynamiques.....	78
3.2.1.2.1 L'algorithme Dollar One Recognizer (\$1) .....	79
3.3 La commande du domicile.....	80
3.3.1 Le bus domotique EIB/KNX .....	82
3.3.1.1 Architecture du réseau KNX.....	82
3.3.1.2 Topologie.....	83
3.3.1.3 Principe de transmission des données au niveau MAC .....	83
3.3.1.4 Structure de trame KNX.....	84
3.3.1.5 Accès externe à un réseau KNX.....	85
3.3.2 Interconnexion IP-KNX.....	85
3.4 Problème temporel lié à la synthèse vocale.....	86
3.4.1 Cas du pilotage de la lumière.....	86
3.4.2 Cas du pilotage de la télévision.....	87
3.5 Testbed et résultats.....	88
3.6 La reconnaissance faciale.....	94
3.7 Analyse des performances.....	95
3.8 Conclusion.....	97
Chapitre 4 .....	98
Détection de chute et communication d'une alerte à travers le réseau de Kinect .....	98
4.1. Introduction .....	98
4.2. Définition de la chute.....	98
4.3. L'algorithme 3D Bounding Box initial .....	99
4.3.1. Principe .....	99
4.3.2. Calcul de la chute à partir des vitesses de la boite .....	100
4.3.3. Justifications du choix de 3D Bounding BOX.....	101
4.3.3.1. Avantages .....	101

4.3.3.2. Fiabilité.....	102
4.3.4. Modifications apportées.....	102
4.4. Implémentation du 3D Bounding Box modifié.....	103
4.4.1. Difficultés rencontrés.....	103
4.4.1.1. Classes utilisés.....	103
4.4.1.2. Le Model View-View Model.....	106
4.4.2. Organigramme de fonctionnement.....	107
4.5. Tests et courbes de variations de vitesse.....	109
4.5.1. Algorithme initial.....	109
4.5.2. Notre algorithme modifié : résultats.....	111
4.6. Interconnexion de plusieurs Kinect pour la détection de chute.....	117
4.6.1. Le bus logiciel IVY.....	118
4.6.1.1. Fonctionnement.....	119
4.6.1.2. Topologie de multi-caméras.....	119
4.6.2. Mise en place et communication de messages.....	121
4.6.3. Résultat et test de connexion.....	123
4.7. Evaluation du coût de la solution.....	123
4.8. Position par rapport aux autres solutions.....	124
4.9. Limitations et discussion.....	127
4.10. Bilan de la détection de chute.....	128
5. Conclusion générale et perspectives.....	129
5.1 Conclusion.....	129
5.2 Perspectives.....	131
Bibliographie.....	133

## Table des figures

Figure 1. Taux de mortalité dans le monde en 2009[2].....	6
Figure 2. Principales causes de mortalité dans le monde en 2012 estimées en pourcentage millions [3] .....	6
Figure 3. Décès annuels en France métropolitaine aux cours du siècle [4] .....	7
Figure 4. Taux de natalité par continent en 2013 [5][6][7] .....	8
Figure 5. Evolution de l'espérance de vie dans le monde selon les continents [8] .....	9
Figure 6. Evolution de l'espérance de vie en France métropolitaine selon le sexe [4] .....	9
Figure 7. Espérance de vie à la naissance selon les revenus [9] .....	10
Figure 8. Pourcentage de personnes âgées de 65 ans et plus en 2008 et les prévisions en 2040, - 2011[12][13].....	12
Figure 9. Pyramide des populations EU-27, 1991-2011 et prévisions 2011- 2060 [12].....	13
Figure 10. Population de 65 ans et plus, Canada, données historiques (1971-2011) et projections (2012-2061) en pourcentage, 2010[15] .....	13
Figure 11. Population américaine âgée de 65 ans et plus, 2010-2050[19] .....	14
Figure 12. Dépenses de santé annuelles par tranche d'âge de 10 ans en 2008 (consultations, médicaments, hôpital) [22].....	16
Figure 13. Taux de présences de troubles cognitifs chez les personnes âgées au Canada [27] ....	18
Figure 14. Exemple de l'habitat intelligent proposé par le projet DOMUS [35] .....	22
Figure 15. Causes de chutes et blessures liées pour les adultes de 65 ans et plus au Canada 2009-2010[46].....	29
Figure 16. Avantages et inconvénients des systèmes de détection de chute.....	31
Figure 17. Architecture et technologies de la médecine sans fil [65].....	40
Figure 18. Exemples de capteurs sans fil utilisés en médecine.....	40
Figure 19. Principe de fonctionnement des capteurs CCD [74] .....	42
Figure 20. Architecture des capteurs <b>CMOS</b> [76].....	43
Figure 21. Exemples de caméra intégrant des capteurs CMOS .....	44
Figure 22. Architecture d'un système de vision classique .....	45
Figure 23. Composition d'un capteur intelligent .....	46
Figure 24. Composants de la Kinect [85] .....	48
Figure 25. Champs de vision de la Kinect [86] .....	49
Figure 26. Fonctionnement du capteur Kinect [86].....	51
Figure 27. Topologie globale du réseau <i>IP</i> de Kinect.....	54
Figure 28. Topologie centralisée dite « avec infrastructure ».....	56
Figure 29. Topologie et chemins <i>WiFi</i> maillés.....	57
Figure 30. Principe d'OLSR .....	58
Figure 31. Test du routage <i>OLSR</i> .....	58
Figure 32. Temps de réponse jusqu'au nœud "1" .....	59
Figure 33. Diffusion des requêtes 802.11s .....	60
Figure 34. Aperçu de la topologie du réseau .....	60
Figure 35. Deuxième aperçu de la topologie du réseau.....	61
Figure 36. Etat de connexion .....	61
Figure 37. Schéma global du transfert des données des Kinects .....	62
Figure 38. Jperf : Accès direct entre les PC1 et PC2 .....	63

Figure 39. Accès avec saut entre les PC2 et PC3.....	64
Figure 40. Architecture globale du réseau de Kinects .....	65
Figure 41. Classification générale des gestes .....	68
Figure 42. Langage des signes chez les personnes sourdes et muettes [104] .....	69
Figure 43. Geste "onde"[105].....	70
Figure 44. Principe de développement basé sur les événements.....	71
Figure 45. Problématique de la programmation basée sur les événements.....	72
Figure 46. Détection de squelette : comparaison entre Kinect 1 et Kinect 2 .....	73
Figure 47. Exemple d'image de squelette [106].....	74
Figure 48. Combinaison de l'image de profondeur avec le squelette.....	74
Figure 49. Organigramme de commande de la lumière au sein de la Maison intelligente .....	76
Figure 50. Traitement du geste de défilement haut/bas .....	77
Figure 51. Principe de détection du geste <i>Push &amp; Pull</i> .....	78
Figure 52. Modèles reconnus par l'algorithme \$1[107] .....	79
Figure 53. Plan de la Maison Intelligente de Blagnac [96] .....	81
Figure 54. Architecture d'une installation KNX.....	82
Figure 55. Topologie d'un réseau KNX [117].....	83
Figure 56. Composition d'un télégramme <i>EIB/KNX</i> [114].....	84
Figure 57. Interconnexion réseaux <i>IP/KNX</i> .....	86
Figure 58. Problème de synthèse vocale quel que soit le nombre d'images traitées.....	87
Figure 59. Cas du geste <i>Push and Pull</i> .....	88
Figure 60. Kinect déployée à l'entrée de la maison intelligente de Blagnac .....	89
Figure 61. Geste <i>Push</i> en images couleurs .....	90
Figure 62. Geste <i>push</i> en images 3D .....	90
Figure 63. Geste <i>push</i> en images type squelette.....	91
Figure 64. Geste <i>Pull</i> en images couleurs.....	91
Figure 65. Geste <i>Pull</i> en images 3D .....	92
Figure 66. Pilotage des lumières (image 3D).....	92
Figure 67. Pilotage des lumières: images type squelette.....	93
Figure 68. Pilotage des lumières : images couleurs .....	93
Figure 69. Pilotage des lumières: images type squelette.....	94
Figure 70. Echantillonnage de l'UC.....	95
Figure 71. Arborescence d'appel des fonctions.....	96
Figure 72. Echantillonnage des fonctions.....	96
Figure 73. Fonctions faisant le plus de travail individuel.....	96
Figure 74. Variations dimensionnelles de la <i>3D Bounding Box</i> selon les mouvements .....	100
Figure 75. Pseudo code de l'algorithme <i>3D Bounding Box</i> .....	101
Figure 76. Algorithme <i>3D Bounding Box</i> modifié .....	103
Figure 77. Graphe des dépendances de la partie détection de chute .....	104
Figure 78. Les classes et les méthodes de <i>Kinect.DHN.Toolbox.BOX</i> .....	105
Figure 79. Classe <i>ContextBox</i> .....	105
Figure 80. Composition du dictionnaire <i>boundingSkeleton</i> .....	106
<b>Figure 81. Model View-View Model</b> .....	107
Figure 82. Organisation de la mémoire.....	107
Figure 83. Organigramme de la détection de chute .....	108

Figure 84. Variation des dimensions de la boîte au cours d'une chute [122] .....	109
Figure 85. Variation de la vitesse de <b>WD</b> [122] .....	109
Figure 86. Variation de la vitesse de H [122] .....	110
Figure 87. 100 triplets de valeurs de seuils de vitesse et nombre d'images représentés par des cercles et estimés par une recherche aléatoire [122] .....	110
Figure 88. Mouvement normal A .....	111
Figure 89. Variation des dimensions de la boîte du mouvement A .....	112
Figure 90. Mouvement plus rapide B .....	112
Figure 91. Variations des dimensions du mouvement B .....	112
Figure 92. Variation des vitesses du mouvement B .....	113
Figure 93. Imprimé écran de la sortie des valeurs de vitesse lors du mouvement B ( <i>Vhd, Wwd, ID personne, fall detected</i> ) .....	113
Figure 94. Exemple de chute 1 .....	113
Figure 95. Variation de la boîte pour la chute 1 .....	114
Figure 96. Valeurs de vitesse pour la chute 1 .....	114
Figure 97. Exemple de chute 2 .....	114
Figure 98. Variation de la boîte pour la chute 2 .....	115
Figure 99. Valeurs de vitesse pour la chute 2 .....	115
Figure 100. Exemple de chute 3 .....	115
Figure 101. Variation de la boîte pour la chute3 .....	116
Figure 102. Variation de vitesse pour la chute 3 .....	116
Figure 103. Augmentation de la zone de détection .....	117
Figure 104. Principe de la communication d'une chute .....	118
Figure 105. 4 <sup>ème</sup> agent .....	119
Figure 106. Communication entre les Kinects .....	120
Figure 107. Fonctionnement du quatrième agent .....	121
Figure 108. Vérification de la connexion des machines au réseau local .....	122
Figure 109. Préparation de l'interface <i>IVYProb</i> .....	122

## Liste des tableaux

Tableau 1. Nombre de suicides aux états unis en 2005 par genre et tranche d'âge [26] .....	17
Tableau 2. Coût des maisons de retraite en France Métropolitaine [30] .....	20
Tableau 3. Exemples de dispositifs, solutions et projets de recherches pour l'aide au maintien à domicile et comparaison .....	24
Tableau 4. Différentes approches de détection de chute .....	33
Tableau 5. Réflexion sur les capteurs en 2012[77] .....	45
Tableau 6. Comparaison entre plusieurs technologies de capteurs vidéo .....	47
Tableau 7. Comparaison entre les différentes versions du périphérique Kinect .....	52
Tableau 8. Comparaison entre les normes sans fil [91] .....	55
Tableau 9. Table du routage .....	59
Tableau 10. Estimation du coût de la solution .....	124

## **Glossaire**

**ADSL:** Asymmetric Digital Subscriber Line

**AP:** Access Point

**BCU :** Bus coupler Unit

**CAN :** Convertisseur Analogique Numérique

**HD :** Hight Definition

**CIA :** Central Intelligence Agency

**CMOS :** Complementary Metal Oxide Semiconductor

**CCD :** Charge-Coupled Device

**CNRS:** Centre national de la recherche scientifique

**CPL:** Courant Porteur en Ligne

**CPU :** Central Processing Unit

**CR:** compteur de routage

**CRE :** Centre de Réadaptation de l'Estrie

**CRISS :** centre de recherché interdisciplinaire des approches sociales de la santé

**CSMA/CA :** Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

**cURL :** cUniform Resource Locator

**DLL :** Dynamic Link Library

**DOMUS :** DOfotique et informatique Mobile à l'Université de Sherbrooke.

**DSRL:** digital signal lens Reflex

**EDF :**Electricité De France

**EIB :** European Installation Bus

**EN :** European Norm

**FET :** Future and Emerging Technologies

**FPS:** Frame Per Seconde

**GPS :** Global Positioning System

**GSM :** Global System for Mobile Communications

**HMM :** Hidden Marcov Model

**HTTP :** HyperText Transfer Protocol

**INED**: Institut national d'études démographiques

**INEPS** : Institut National d'Education et de Prévention pour la Santé

**INSEE** : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

**IR** : Infra-Rouge

**IRSS**: Institut de Recherché en Sciences de la Santé

**ISO** : International Standardization Organization

**IUT** : Institut universitaire de Technologie

**IVY**: Bus logiciel / middleware (pas d'acronyme)

**Kinect** : KINetic Connect

**KNX** : KoNneX

**LAAS** : Laboratoire d'Analyse et Architecture des Systèmes

**LAN** : Local Area Network

**MAC** : Media Access Control

**MI** : Maison intelligente

**MOS** : Metal Oxide Semiconductor

**MVVM**: Modem View-View Model

**NF** : Normalisation Française

**OLSR** : Optimized Link State Routing protocol

**OMS** : Organisation mondiale de la santé

**ONU** : Organisation des Nations unies

**PC** : Personnel Computer

**RCSF** : Réseaux de Capteurs Sans fil

**RFID**: Radio Frequency Identification

**RGB** : Red Green Blue

**RJ11** : Registered jack 11

**SDK** : Software Development Kit

**SiO2** : Dioxyde de Silicium

**SOC** : System On Chip

**SVM** : Support Vector Machine

**TC:** Topology Control

**TCP/IP :** Transmission Control Protocol/Internet Protocol

**TOR:** Tout Ou Rien

**UC :** Unit Calculator

**UE:** Union Européenne

**UNICEF :** United Nations of International Children's Emergency Fund

**UNIPSO :** union des entreprises à profil social

**USB :** Universel Standard BUS

**WIFI:** Wireless Fidelity

**WLAN:** Wireless Local Area Network

**XBOX:** Video game console manufactured and distributed by Microsoft

**XML :** Extensible Markup Language

# Introduction générale

## Contexte et problématique

Comme chaque étape de la vie de l'être humain, le vieillissement a un grand intérêt au niveau scientifique (médical, sociologique, sécurité...). Les années d'expérience ont permis aux séniors d'acquérir la sagesse et la philosophie de la vie. Mais au fil des années, les capacités physiques et psychologiques de l'individu se dégradent. Sa difficulté à mener une vie active normale fait alors émerger de nouveaux besoins particuliers. Une personne âgée reste sensible physiquement et moralement, avec des besoins d'attention particulière, d'affection et surtout de contrôle continu. Ces dernières années, plusieurs facteurs démographiques, sociologiques et culturels, ont altéré les relations entre les générations, en particulier dans les pays développés. Les relations familiales sont de plus en plus faibles, les jeunes étant de moins en moins disponibles car devant faire leur vie ailleurs. Ainsi, les parents âgés se retrouvent seuls ou bien dans des maisons de retraites appelées aussi *EHPAD (Etablissement d'Hébergement pour Personnes Agées Dépendantes)*. Dans les deux cas, un contrôle continu de l'état de santé des séniors est nécessaire. Ce contrôle est mieux assuré en maison de retraite grâce aux médecins et aux aides-soignants présents la plupart du temps. En revanche, la personne âgée doit souvent utiliser la quasi-totalité de sa retraite pour y résider. D'autres personnes âgées préfèrent rester tranquilles chez elles et employer des infirmiers et assistantes de vie. Cette solution n'est toutefois pas idéale non plus car, d'un côté, elle peut s'avérer très onéreuse et d'un autre côté, elle est assez intrusive pour le respect de la vie privée.

De ce fait, plusieurs travaux de recherches se sont orientés vers une nouvelle thématique qu'on appelle «l'aide au maintien à domicile». C'est dans ce contexte que se positionne notre travail de thèse.

Nous nous intéressons, dans ces travaux, au maintien des personnes âgées seules à leur domicile. En effet, face à l'évolution technologique en informatique et en électronique, les réseaux de capteurs ont connu une grande expansion pour les systèmes de communication et les applications de surveillance. Grâce à leur taille réduite et leur faible consommation, ils sont facilement déployés dans l'environnement des patients, pour assurer un contrôle efficient de leur état de santé, ainsi que les risques accidentels auxquels ils sont confrontés dans leur vie quotidienne.

Dans notre cas, nous déployons un réseau de capteurs 3D qui détecte et suit la personne en temps réel, dans le but de reconnaître ses gestes pour commander son domicile, mais aussi détecter une chute et envoyer une alerte via le réseau.

## **Contribution**

Ce travail a été réalisé en étudiant les solutions proposées dans le marché de la domotique et les avancées dans les travaux de recherches. La contribution apportée est de concevoir un système autonome à coût réduit, par rapport aux solutions existantes qui aident, assistent et donc permettent le maintien de la personne à mobilité réduite chez elle. Nous nous sommes basés sur un périphérique conçu initialement pour les jeux vidéo et nous avons profité de la caméra 3D non intrusive qu'elle comporte. De ce fait, la surveillance des personnes âgées reste non intrusive et ne dévoile en aucun cas leur intimité, même si elles sont surveillées 24h/24h. La deuxième contribution est de profiter des bibliothèques du SDK du capteur pour tirer profit de la bonne conception de l'aspect IHM (Interaction Homme Machine). Cet aspect permettra à la personne surveillée de commander son domicile avec ses propres gestes sans devoir se déplacer ou utiliser des télécommandes, des écrans tactiles avec lesquels la plupart des seniors ne sont pas familiarisés. La troisième contribution de ce travail est l'amélioration apportée à l'approche de la détection de chute existante, ainsi que la réalisation d'un réseau de nœuds capteurs vidéo intelligents où la validation d'un événement est véhiculée à travers un bus logiciel virtuel.

## **Organisation du mémoire**

Ce mémoire de thèse comporte quatre chapitres.

Dans le premier, nous présentons un état de l'art sur le vieillissement, les principaux facteurs démographiques sociologiques et culturels qui ont orienté la population mondiale vers le vieillissement, les différents travaux proposés en domotique, ainsi qu'un état de l'art sur les approches de détection de chute. Nous clôturons ce chapitre par le cahier de charges de notre application déduite à partir des attentes des seniors.

Dans le deuxième chapitre, nous nous intéressons en premier temps aux réseaux de capteurs vidéo, en particulier le capteur Kinect dont nous nous sommes servis dans ce travail, tout en présentant l'argument de ce choix. Ensuite, nous étudions la mise en place d'un réseau IP de Kinect et nous testons le routage en concluant sur la technologie sans fil choisie.

Dans le troisième chapitre, nous présentons la partie liée à l'interaction des seniors avec leur environnement. Cette partie consiste à commander le domicile avec des gestes. Une telle tâche est intéressante à partir du moment où elle facilite certaines activités quotidiennes pour les personnes âgées ou à mobilité réduite, comme par exemple allumer/éteindre les lumières, la télévision, ouvrir/fermer les portes... Dans un premier temps, nous détaillons l'implémentation des gestes proposés, ainsi que les difficultés rencontrées liées à l'environnement de développement du capteur. Dans un second temps, nous nous intéressons au bus domotique utilisé pour réaliser la partie commande

de l'habitat, tout en expliquant son interconnexion avec le réseau IP. Nous montrons enfin la réalisation et les résultats du *TestBed* effectué.

Le quatrième et dernier chapitre porte sur la détection de chute, à domicile, des personnes âgées. Nous détaillons alors l'approche proposée avec les améliorations apportées et nous montrons les résultats de validation expérimentale. Nous testons ensuite la communication entre plusieurs capteurs à travers un bus logiciel virtuel, qui sert à centraliser les informations des différents capteurs 3D, et ainsi estimer la redondance des données et transmettre une alerte en cas de chute. Cette redondance de détection est utile pour confirmer la chute et éviter les fausses alertes. Nous concluons ce chapitre par les contributions apportées et les limitations du système.

Enfin, nous clôturons ce manuscrit de thèse par une conclusion générale et les perspectives à ce travail.

## Chapitre 1

### Le vieillissement et l'aide au maintien à domicile : état de l'art

#### 1. 1 Introduction

Un jour ou l'autre, nous serons tous vieux... Oui! Le troisième âge est l'étape ultime dans la vie que nous subissons avec le temps, plein de sagesse, d'expériences, de leçons et de carrières. Nous serons tous un jour à la retraite pour profiter des voyages, des moments, loin du travail, du stress, des responsabilités et des enfants qui ont déjà grandi ! Mais malheureusement, avec le temps, les maladies, la faiblesse physique, la perte de contrôle et même les problèmes cognitifs gâcheront cette joie et ce repos.

Au cours de ces dernières années, le pourcentage de la population âgée a augmenté remarquablement dans le monde entier. Cette constatation a engagé les chercheurs à étudier le phénomène et chercher des solutions permettant le suivi, le contrôle, la surveillance et l'aide au confort chez les vieilles personnes seules. Ainsi, une nouvelle thématique de recherche s'est développée, portant le nom « d'aide au maintien à domicile » que nous pouvons définir comme étant l'ensemble des moyens économiques, matériels et logiciels mis en œuvre pour assurer des bonnes conditions de vie quotidienne chez une personne âgée isolée et en perte d'autonomie.

Ce domaine devient de plus en plus intéressant vu l'élargissement de la population âgée ainsi que la modification des structures familiales, sans oublier les avantages qu'il apporte à nos aînés sur le plan financier et humain. Du point de vue humain, les personnes âgées et leurs proches sont souvent plus favorables au maintien à domicile qu'à une hospitalisation. Psychologiquement ou moralement, il est plus confortable pour ces personnes de rester seules chez elles tout en bénéficiant des moyens de contrôle et de surveillance médicaux discrets et imperceptibles qui leur assureront à la fois le sentiment de sécurité, de respect de la vie privée et d'autonomie. Sur le plan économique, le suivi d'une personne âgée maintenue dans son environnement habituel permettrait de diminuer les charges d'assistance aux personnes, en les traitants par un personnel spécialisé issu du milieu hospitalisé ou d'une maison de retraite ou bien encore d'une *EHPAD*.

Dans ce premier chapitre de thèse, nous soulignons statistiquement l'augmentation de la population âgée dans le monde en nous focalisant sur plusieurs pays représentatifs, les facteurs principaux de la progression de ces chiffres, les conséquences sociologiques et économiques ainsi que les solutions et les projets qui ont été proposés dans le cadre de travaux de recherches scientifiques. Nous concluons ce premier chapitre

par l'étude des besoins et la présentation du cahier de charge de notre application et travail de thèse.

## **1.2 Le vieillissement de la population**

La vieillesse correspond au dernier palier de la vie d'un individu qui succède à l'âge mûr. Un premier indice de cette transition est le retrait de la vie active et le début de la retraite. Souvent, on considère une personne comme étant « vieille » ou âgée à partir de l'âge de 65 ans, tandis que les symptômes de la vieillesse commencent à apparaître, un peu plus tôt, chez quelques-unes. À cette période de la vie, que l'on appelle troisième âge (et parfois quatrième âge lorsqu'on devient dépendant), le corps humain commence à perdre progressivement sa force musculaire, ainsi que ses capacités physiques et cognitives. La gérontologie est la science qui étudie le vieillissement dans son sens large y compris les dimensions démographiques, économiques, sociales, psychologiques, culturelles et anthropologiques. Elle englobe aussi la gériatrie qui est la médecine dédiée aux personnes âgées. Cette branche s'intéresse à l'étude et au traitement des signes physiques, mentaux et sociaux des patients âgés, englobant notamment la prévention, les traitements des cas aigus, des maladies chroniques et aussi la fin de vie.

La constatation majeure qui a inspiré cette idée de sujet de thèse est l'augmentation conséquente de la population âgée dans le monde, qui nécessite de réfléchir à des solutions innovantes et peu coûteuses. Avant de passer aux solutions envisagées, nous allons analyser le phénomène démographique via les statistiques et les facteurs majeurs qui ont créé ce phénomène ainsi que les projections dans le futur, envisagées par les principales nations, dans le but d'estimer l'intérêt des solutions que nous allons proposer.

### **1.2.1 Les facteurs démographiques**

Comme dans de nombreux domaines, les chercheurs ont proposé des moyens pour étudier les données démographiques. L'objectif est d'analyser, décrire et comprendre la situation démographique dans le monde, ce qui permet d'avoir une idée sur les transitions démographiques des pays et donc les besoins humains en santé, économie, services, etc. [1]. À partir de certains indicateurs statistiques, il est possible de prévoir l'évolution d'une population pour un intervalle de temps donné. L'analyse des statistiques démographiques se fait à travers des instituts et des spécialistes sous la tutelle de l'**ONU** [2]. Pour étudier le taux de vieillissement dans le monde, les démographes ont eu recours à trois indices majeurs que sont le taux de mortalité, le taux de fécondité et l'espérance de vie à la naissance.

### 1.2.1.1 Diminution du taux de mortalité

Le taux de mortalité correspond au nombre annuel de décès divisé par le nombre d'habitants de la population totale moyenne dans la même année. Cet indice varie d'un pays à l'autre et dépend également de la répartition par âge de la population. Le taux de mortalité dans le monde entier est représenté dans la Figure1 dessous.



Figure1. Taux de mortalité dans le monde en 2009[2]

Observé sur la figure 1, ce taux est plus élevé dans les pays du sud de l'Afrique et du nord de l'Asie que dans les pays d'Europe, d'Amérique et d'Australie. Les causes principales de décès dans le monde ont été publiées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) [3]selon des statistiques effectuées en 2012 et sont représentés sur la figure 2.

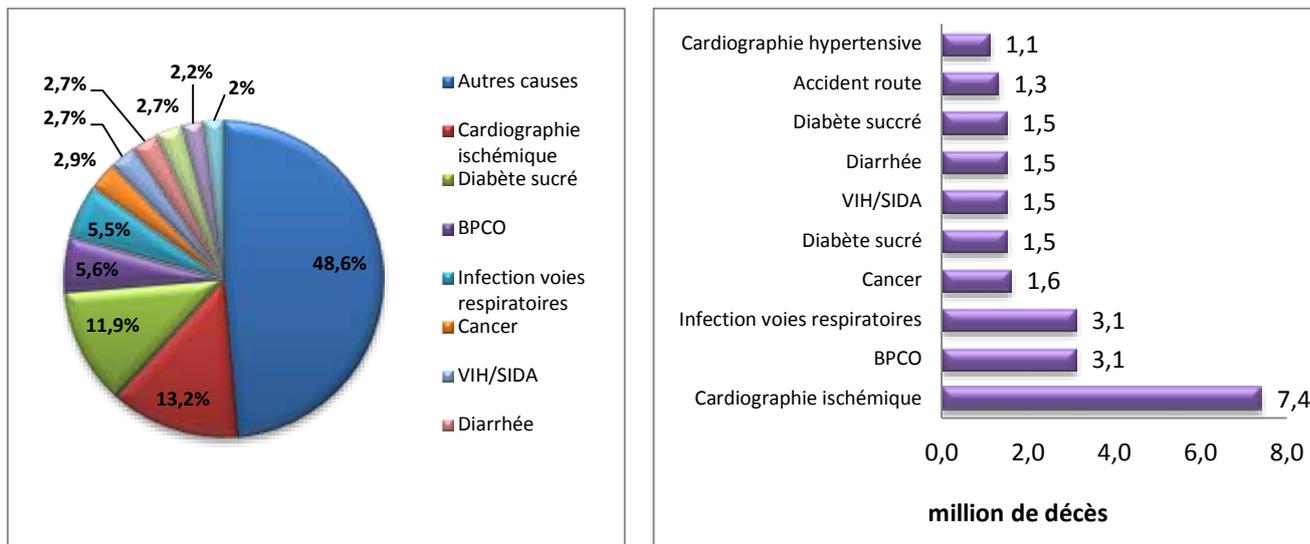


Figure 2. Principales causes de mortalité dans le monde en 2012 estimées en pourcentage millions [3]

Malgré le progrès continu des technologies médicales et l'amélioration des conditions sanitaires ces dernières années, les problèmes de santé n'ont pas cessé d'évoluer et de

causer beaucoup de décès. Environ la moitié des causes de mortalité dans le monde sont liées aux maladies et à des problèmes de santé comme la cardiopathie, le cancer, le SIDA, les infections ainsi que les accidents. Les autres cas de mortalité sont dus à diverses raisons telles la pauvreté, la famine, la malnutrition, la situation politique (guerres, terrorisme..), les conditions sanitaires, la violence, la criminalité, le suicide, la pollution et les catastrophes naturelles. En comparant le taux de mortalité relatif aux causes entre les années 2000 et 2012, nous constatons que le nombre de victimes de ce qu'on appelle « maladies de l'époque » telles que la cardiopathie, le cancer et le diabète sucré, ont augmenté remarquablement. Nous n'oublions pas toutefois les accidents de la route, liés à l'augmentation du nombre d'automobiles et l'utilisation fréquente des moyens de transport à notre époque.

En France, qui est le pays de référence de nos travaux de recherche pour les appliquer ensuite en domotique, le taux de mortalité a diminué de 830 000 /ans à 540 000/ans pendant un siècle comme le montre la Figure.

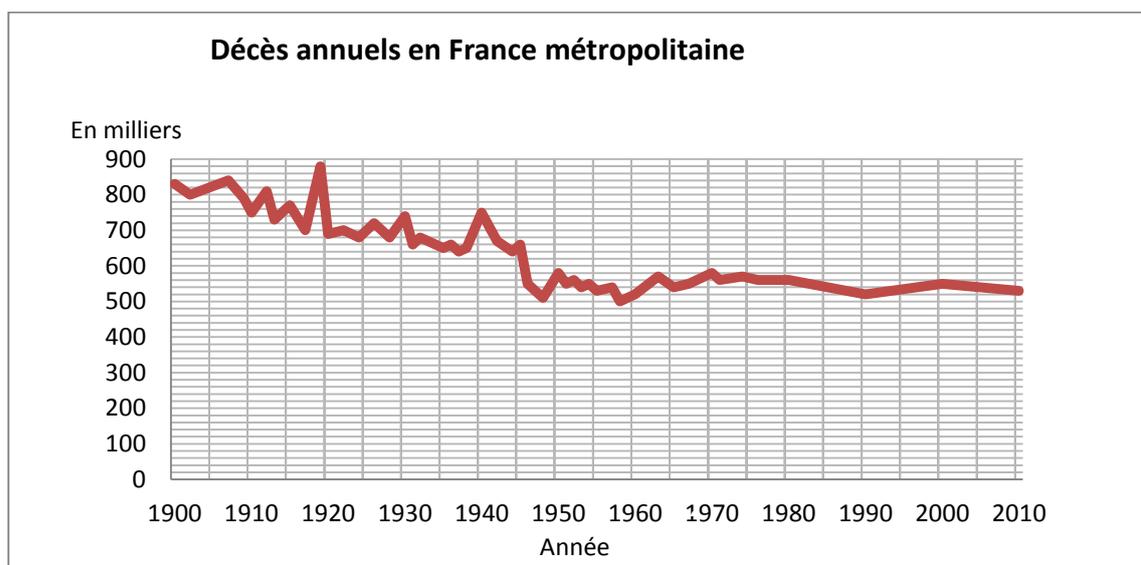


Figure 3. Décès annuels en France métropolitaine aux cours du siècle [4]

Cette baisse du taux de mortalité en France métropolitaine s'explique par le développement économique, technologique, sociologique et humain ainsi que la relative stabilité politique qu'a connu le pays depuis plusieurs années, ce qui a amené à une amélioration de l'état économique et donc à des conditions sanitaires et un niveau de vie meilleur.

### 1.2.1.2 Diminution du taux de natalité

Un deuxième indicateur statistique important pour l'étude démographique est le taux de natalité. Il est défini comme étant le nombre d'enfants nés vivants sur le nombre total moyen d'habitants dans la population pour une même année. Cet indicateur nous permet d'avoir une idée sur l'évolution démographique d'un territoire donné. Tout comme le taux de mortalité, il s'exprime en ‰. En jetant un œil sur les valeurs de cet indice dans le monde (voir Figure 4), nous observons que l'Afrique est le continent ayant le plus fort taux de natalité alors que l'Europe est le continent dont les pourcentages sont les plus bas.

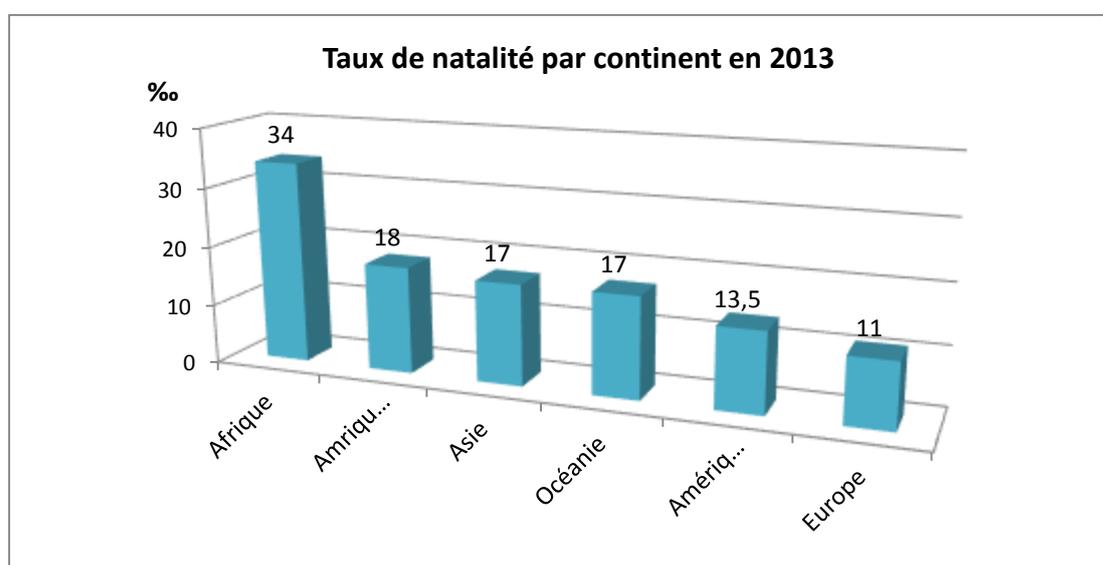


Figure 4. Taux de natalité par continent en 2013 [5][6][7]

Les facteurs de cette différence vont être expliqués ultérieurement dans les paragraphes 2.2, 2.3 et 2.4. La comparaison des taux de natalité et de décès nous permettent de connaître le taux d'excédent naturel dit aussi « solde naturel » qui représente le taux de croissance démographique applicable au mouvement naturel d'une population [4]. En France métropolitaine, ce taux a diminué depuis le début du 21<sup>ème</sup> siècle.

### 1.2.1.3 Augmentation de l'espérance de vie à la naissance

Un autre paramètre important dans ces études est l'espérance de vie à la naissance. Cet indice correspond à la durée de vie moyenne d'une population fictive qui vivrait toute son existence dans les conditions de mortalité de l'année considérée.

L'espérance de vie varie évidemment selon les territoires, les conditions de vie, les situations politiques et aussi selon le sexe. Les femmes ont l'espérance de vie la plus élevée (ce qui maintient la race humaine)[4].

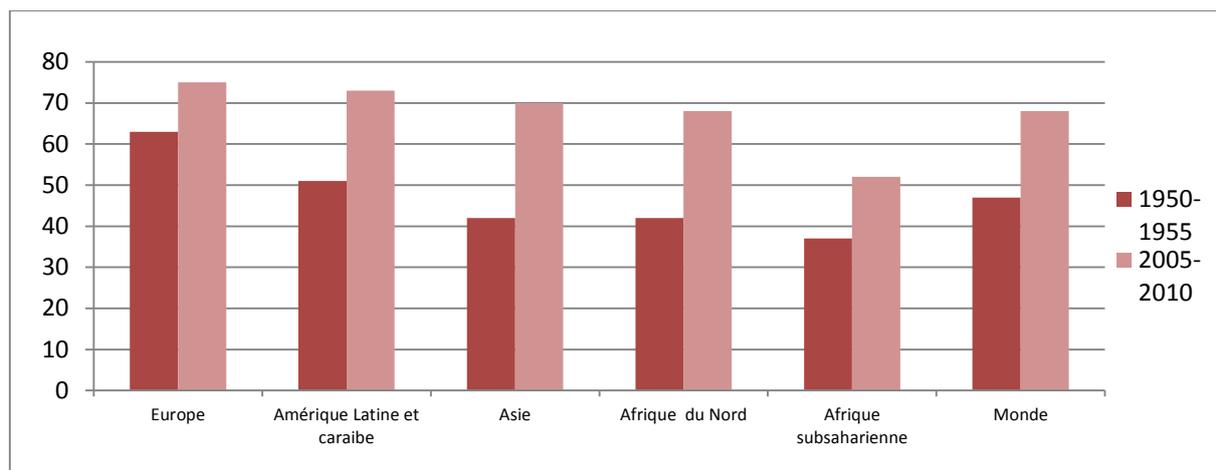


Figure 5. Evolution de l'espérance de vie dans le monde selon les continents [8]

Le Japon, l'Italie, la Suisse, et l'Australie occupent les premiers rangs avec des espérances de vie allant de 81,9 à 83,4 ans (au Japon). Les pays d'Afrique comme la République Démocratique du Congo, la Sierra Leone et le Centre Afrique sont classés parmi les derniers avec des valeurs inférieures à 49 ans. En France, cet indicateur valait 81,5 ans en 2012. Elle occupe la 20<sup>ième</sup> place dans le monde [4]. L'évolution de l'espérance de vie en naissance en France selon le sexe est représentée dans la figure 6. En conclusion, la diminution du taux de mortalité, a fait croître l'espérance de vie à la naissance. Associée à une baisse du taux de fécondité, ceci entraîne une augmentation du taux de la population âgée dans le monde. Bien que cette transition démographique varie d'un pays à un autre, elle est plus remarquable dans les pays développés que dans ceux en voie de développement à cause de plusieurs facteurs explicités ci-dessous, mais également d'autres facteurs économiques, politiques et sociaux culturels.

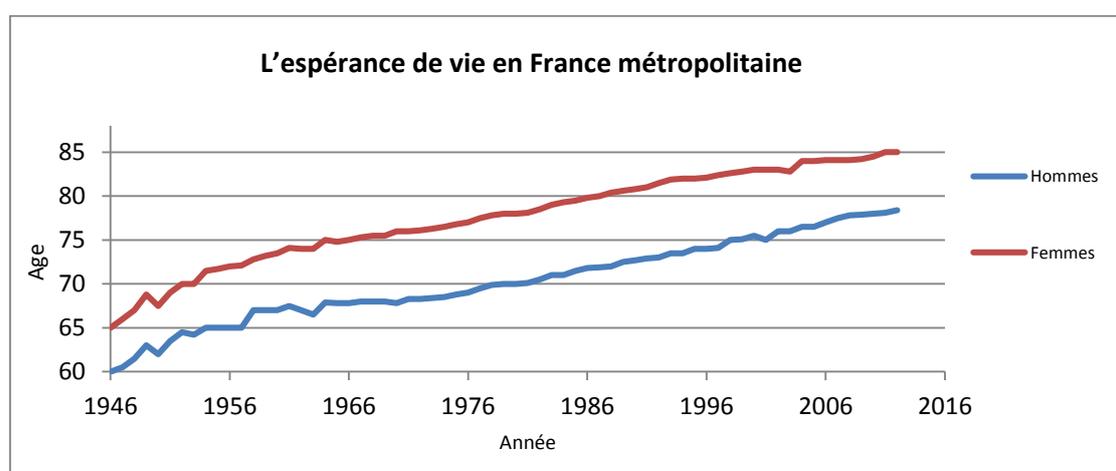


Figure 6. Evolution de l'espérance de vie en France métropolitaine selon le sexe [4]

### 1.2.2 Le facteur économique

Le facteur économique est très lié à l'espérance de vie des individus dans le monde. En effet, plus l'économie du pays est favorable, plus l'état est riche et capable d'assurer les besoins de sa nation, plus les conditions sanitaires, la nutrition et le contrôle médical sont efficaces, plus la situation financière des gens est confortable et donc plus le niveau de vie est meilleur. Une preuve de l'importance de ce facteur est présentée sur la figure 7 où l'on observe l'évolution de l'espérance de vie à la naissance entre les pays selon les revenus entre 1980 et 2010. On identifie un écart de 21 ans d'espérance de vie entre les pays à hauts revenus et les pays à bas revenus.

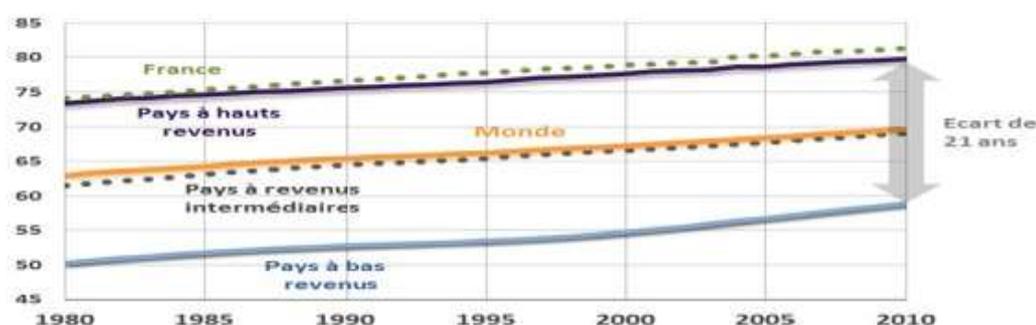


Figure 7. Espérance de vie à la naissance selon les revenus [9]

### 1.2.3 Le facteur politique

Il est évident que les territoires instables politiquement sont les territoires où le risque de décès est le plus élevé. Bien entendu, vivre au Canada, en France, en Turquie ou au Maroc, est différent de vivre en Irak, Afghanistan ou en République démocratique de Congo. En Syrie par exemple, l'OMS affirmait en 2010 que le pays avait atteint le niveau d'espérance de vie le plus haut jamais enregistré avec 75,7 ans. Mais dès l'année suivante, et le début de la guerre civile qui continue à sévir, la courbe s'est totalement effondrée [10].

### 1.2.4 Les facteurs sociaux et culturels

Parmi les autres facteurs majeurs dans la variation de taux de la population âgée d'un territoire, nous pouvons noter la culture ainsi que les coutumes et traditions. La différence de mentalité entre les pays développés et les pays en développement fait beaucoup de différence.

#### 1.2.4.1 Dans les pays développés

En plus de disposer de technologies médicales évoluées et d'un effectif de médecins relativement suffisant par rapport au nombre d'habitants, la population est consciente de l'utilisation des moyens de contraception, ainsi que la mentalité répandue qui met sur le

même pied d'égalité les hommes et les femmes, ce qui donne beaucoup d'importance à l'éducation des femmes et permet leur intégration par le travail dans la société. Par conséquent, les couples se limitent à un nombre réduit d'enfants et un niveau de vie relativement élevé.

#### **1.2.4.2 Dans les pays en développement**

En revanche, le tiers-monde vit dans un contexte socio-économique moins favorable à cause de la pauvreté, du niveau de vie dégradé, du chômage, du manque de moyens de traitement et de contrôle médical ainsi que la mentalité qui dévalorise relativement le rôle de la femme et la cantonne à avoir des enfants et à s'occuper d'eux. Non seulement les femmes restent à la maison, mais elles ont un intérêt à avoir un grand nombre d'enfants même si la situation financière des familles est relativement dégradée. Les parents pensent en effet que les enfants peuvent travailler à un certain âge et gagner l'argent nécessaire pour les aider.

### **1.3 Augmentation de la population âgée**

Les facteurs que nous venons de présenter précédemment ont augmenté la part de la population âgée. Même dans les pays du tiers-monde, bien que les taux de naissance et de décès soient relativement élevés, leur rythme est maintenant moins rapide et entraîne une allure décroissante de leurs courbes comparées aux années précédentes. Par conséquent, ils suivent aussi la transition de vieillissement, mais à un degré moindre que pour les pays développés.

#### **1.3.1 En Europe**

Dans notre étude, nous nous intéressons particulièrement au vieillissement dans les pays développés et en particulier en Europe. Ce continent « est la région du monde dont la démographie est la mieux étudiée » [11]. De ce fait, l'étude et l'observation de la démographie européenne et du taux de reproduction, sont facilitées. À partir de ces études, le concept général de révolution ou de « transition démographique » a été créé. En observant la Figure 8 qui représente le pourcentage de la population âgée de 65 ans et plus en Europe, nous relevons que les pays sont confrontés au vieillissement à divers degrés créant ainsi une carte de vieillissement de l'Union européenne.

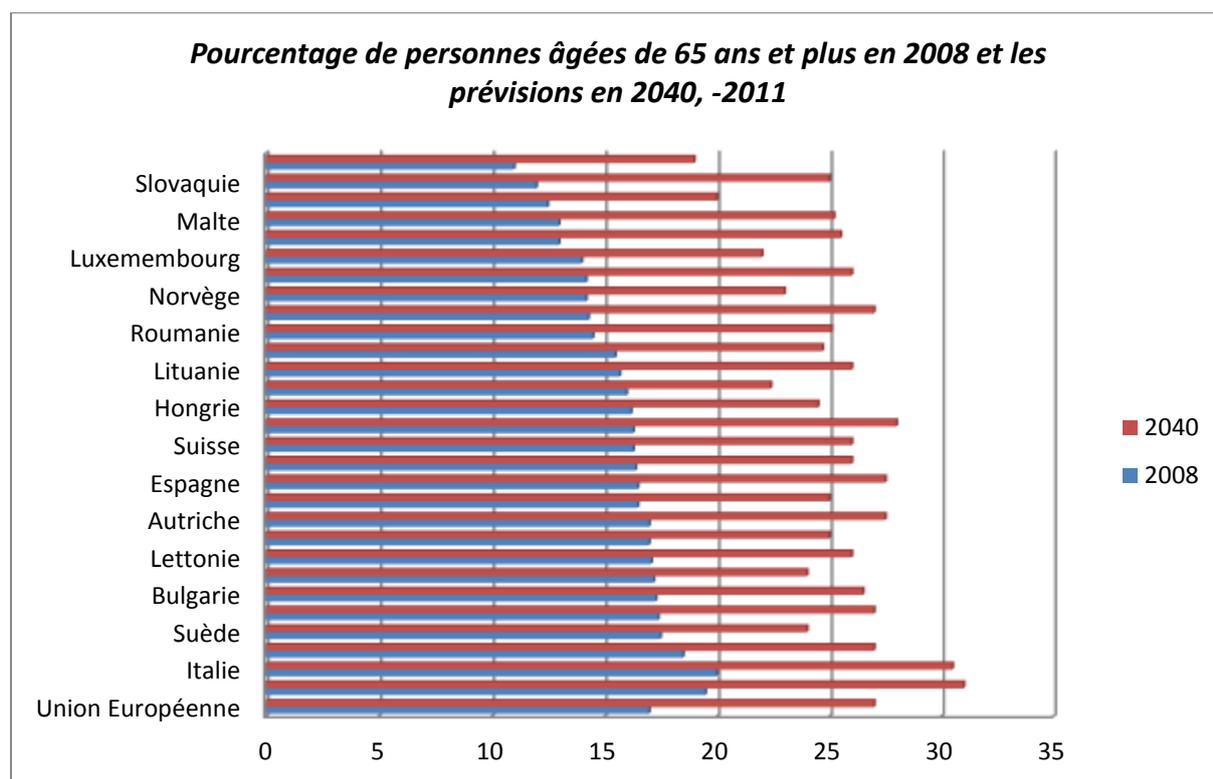


Figure 8. Pourcentage de personnes âgées de 65 ans et plus en 2008 et les prévisions en 2040, -2011[12][13]

Cette tendance se poursuit, en particulier en Europe de l'Ouest où le taux de la population âgée présente les valeurs les plus élevées. En 2011, l'Allemagne possédait le plus grand pourcentage de personnes âgées (20 %) et le plus faible pourcentage de jeunes (13,4%), contrairement à l'Irlande qui représentait 21,3 % des jeunes et 11,5% des personnes âgées [12]. Dans la même année, l'âge médian de la population dans l'Union Européenne (précisément de l'UE-27) était de 41,2 ans. Autrement dit, la population s'articulait autour de cet âge, la moitié était plus jeune que 41,2 ans et l'autre moitié plus vieille que 41,2 ans. Ceci nous amène à classer la population par tranche d'âge et par sexe. Cette structure appelée « pyramide démographique » est représentée dans la Figure. En comparant l'évolution entre les années 1991 et 2011 ainsi que les estimations de 2011 à 2060, nous voyons un élargissement très notable du sommet de la pyramide d'âge, ce qui signifie un vieillissement surtout chez les femmes de 85 ans et plus.

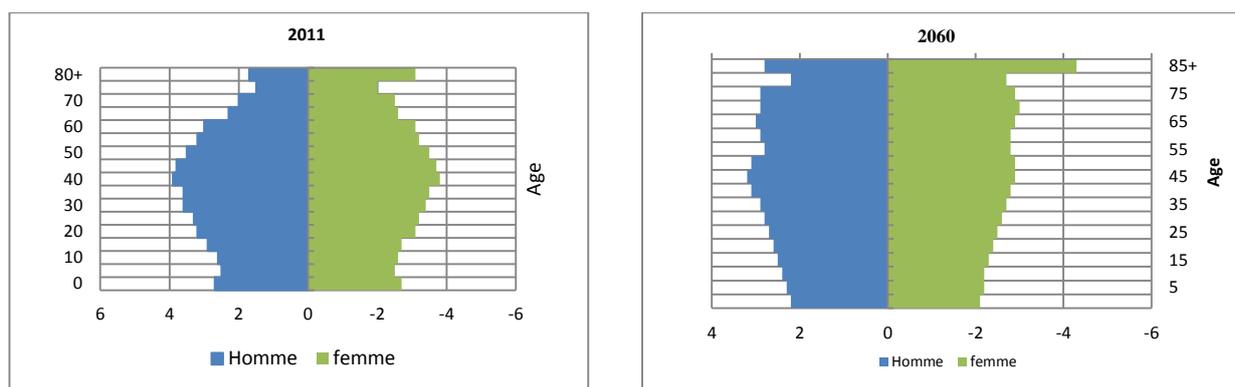


Figure 9. Pyramide des populations EU-27, 1991-2011 et prévisions 2011- 2060 [12]

La France métropolitaine comporte actuellement 66 millions d'habitants[13], le même scénario démographique devrait se poursuivre pour atteindre 70 millions d'habitants en 2050 dont 30% auront plus de 65 ans. Cette évolution continuera sur toute la période de la projection, mais avec un rythme de moins en moins rapide. Par conséquent, en 2045, le nombre de décès augmentera jusqu'à dépasser le nombre de naissances. Heureusement, le solde migratoire décompté de 100 000 entrées par an compense ce déficit naturel permettant ainsi la croissance démographique [14].

### 1.3.2 Au Canada

Les canadiens sont parmi les nations les plus confrontés au vieillissement, car les personnes âgées constituent la catégorie qui subit la croissance la plus rapide. Ceci est dû aux différents facteurs que nous avons déjà présentés. Selon [15], l'âge médian en 1971 était de 26,2 ans et a augmenté à 39,9 au bout de 40 ans.

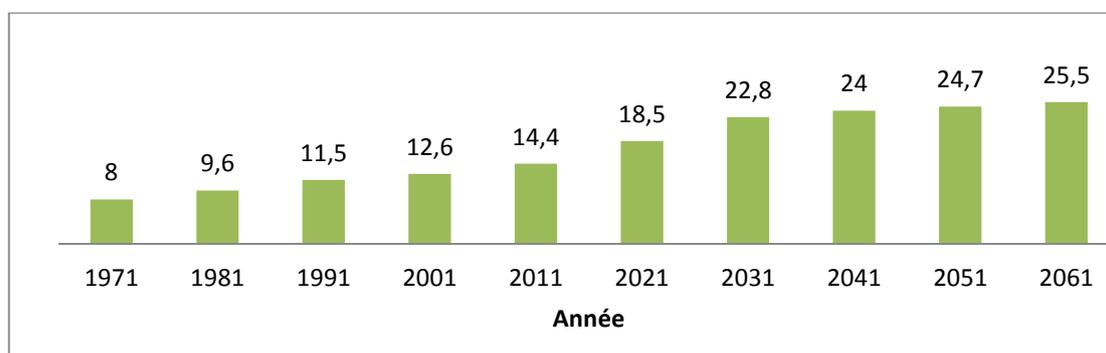


Figure 10. Population de 65 ans et plus, Canada, données historiques (1971-2011) et projections (2012-2061) en pourcentage, 2010[15]

Vu la maintenance de ce rythme de transition démographique, les projections estiment que le nombre de canadiens âgés de 65 ans et plus va croître en 25 ans pour atteindre 10,4 millions en 2036 et 25% de la population en 2061.

### 1.3.3 Aux Etats-Unis

Tout comme le reste des pays développés, les Etats-Unis constituent une société vieillissante [16]. En 2009, la population âgée aux Etats-Unis a compté 39,6 millions constituant 12,9% du total de la population. Bien entendu, un américain parmi huit a dépassé l'âge de 65 ans cette année-là. La croissance rapide enregistrée de cette catégorie projette les estimations en 2030 autour de 72,1 millions avec un pourcentage de 19% de la population [18]. Ce chiffre est estimé à croître jusqu'à 135% en 2050. L'âge médian a aussi connu une croissance de 35,3 à 37,2 ans entre 2000 et 2010[17]. La tranche de personnes âgées entre 45 ans et 64 ans compte 81,5 millions d'individus et constitue plus de 30% de la population depuis 2000.

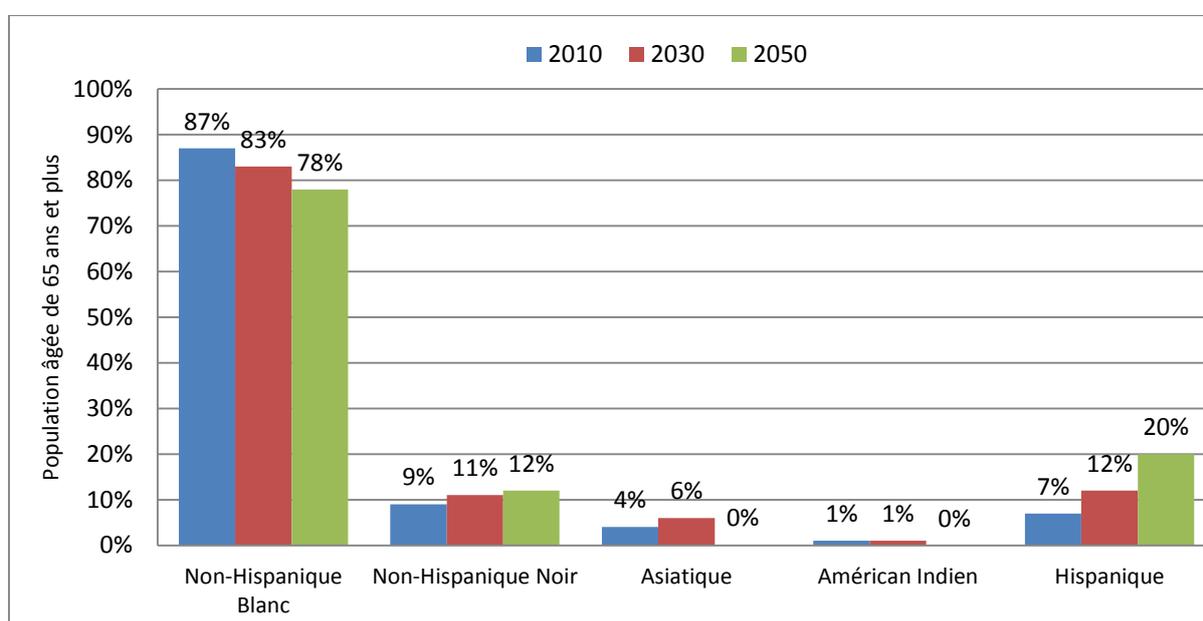


Figure 11. Population américaine âgée de 65 ans et plus, 2010–2050[19]

Malgré la diversité des origines des Américains aux Etats-Unis, les personnes subiront cette transition, mais avec des rythmes plus ou moins élevés. Une brève description des statistiques aux Etats-Unis selon les origines et sa projection en 2030 et 2050 est illustrée dans la Figure 11 ci-dessous.

### 1.3.4 Dans les pays en voie de développement

Les pays en développement ou les pays du tiers-monde subissent aussi cette transition à divers degrés et à un rythme beaucoup moins rapide que celui des pays développés comme les États-Unis, l'Europe ou Canada. La carte de vieillissement a commencé à évoluer depuis que le taux de mortalité des enfants a baissé relativement par rapport aux dernières décennies. Suite à cette diminution, l'espérance de vie à la naissance a augmenté. Dans le cas des pays du Maghreb, le taux de fécondité a baissé depuis le début du 21<sup>ème</sup> siècle. Le pourcentage des personnes âgées de 60 ans et plus

est déjà passé de 6% à 22,2 % en Algérie, de 6,4 à 20,6% au Maroc et de 8,4 à 24,6 % en Tunisie entre les années 1960 et 1998[20].

Durant cette période, la diminution du taux de mortalité infantile a amorcé proportionnellement l'élargissement de la tranche de la population âgée, mais d'une façon moins brutale que pour les pays occidentaux (Europe, Amérique, Australie). Ceci explique l'élargissement progressif du sommet de la pyramide démographique par tranche d'âge et par sexe. Les pays de l'Afrique noire et du Moyen-Orient sont considérés comme les pays les plus jeunes du monde. Depuis 20 ans, l'âge médian était de l'ordre de 17,4 ans et presque 45% de la population avait moins de 15 ans, alors que les personnes âgées de 60 ans et plus ne constituaient que 5% de la population. Malheureusement, les statistiques et les données chiffrées ne sont pas nombreuses dans ces pays.

## **1.4 Les conséquences**

Évidemment, une transition démographique influe sur la situation de la population sur plusieurs plans, comme l'aspect économique, social, financier, médical et même la psychologie des personnes concernées.

### **1.4.1 Les économies et les dépenses en santé**

Une première conséquence suite au vieillissement subi par de nombreux pays, est l'augmentation significative du taux de retraités, principalement en Europe et au Canada. Le nombre de personnes en situation de vie active a diminué. Ceci ne veut pas dire que le chômage diminue, mais plutôt que le taux de dépendance démographique a augmenté. Ce taux est défini comme étant la taille relative de la tranche de la population qui dépend des autres tranches (enfants, personnes âgées) par rapport à la taille de la tranche de la population qui la prend en charge. L'utilité de cet indicateur est de connaître le niveau de prise en charge de la catégorie non active par la catégorie active en âge de travailler (de 20 à 59 ans). Pour les seniors de 60 ans et plus rapporté aux jeunes de 20 à 59 ans, cet indice s'est dégradé (dans le sens de la réduction de la population active) au cours de la dernière décennie. En France métropolitaine, le ratio de dépendance est passé de 0,38 à 0,43 % entre 2000 et 2010. Les projections estiment sa valeur à 0,54 % en 2020, 0,67 % en 2040 et 0,73 % en 2060 si on maintient le taux de mortalité de l'année 2000[4].

La population inactive a augmenté suite au vieillissement de la population, et par voie de conséquence, les dépenses en santé. En réalité, il est humain d'adopter le comportement « plus on vieillit, plus on devient anxieux à propos de son état de santé ». Avec l'âge, les régimes alimentaires apparaissent, mais aussi les visites chez les médecins et les consultations au moindre problème. Les soins, les contrôles médicaux, les médicaments, l'hospitalisation, et les maisons de retraite (EHPAD) deviennent de plus en plus nécessaires. Il est tout de même à noter que cette catégorie de personne est la plus confrontée aux troubles de santé, aux accidents domestiques tels que les chutes, aux maladies liées au vieillissement (Alzheimer, attaques cardiaques...), aux problèmes

cognitifs, etc. Pour cette raison, les dépenses de santé ont considérablement augmenté dans les pays qui vieillissent le plus surtout grâce à la gratuité des soins permis par les régimes de sécurité sociale, et les mutuelles. Avec l'apparition des nouvelles technologies et le développement des maisons de retraite, les charges de soins sont de plus en plus chères. Ceci nous amène à dire que la croissance de la population âgée a un impact majeur sur le coût des soins.

Les américains sont les plus consommateurs en matière de soins de santé, âgés de 65 ans et plus, avec une moyenne de 25000 dollars par an selon les statistiques en 2008. Aux Etats-Unis plus de 1/6 de l'économie américaine est consacré à la santé. Le chiffre énorme de 2,7 milliards de dollars dépensés chaque année est en augmentation continue [21].

Sur le vieux continent, si nous prenons le cas typique de la France, selon des enquêtes réalisées par l'INSEE, «les personnes âgées de 60 ans ou plus (20 % de la population en 1991) consommaient ainsi 40 % des soins de ville. En particulier, le coût moyen de l'ordonnance semble étroitement lié à l'âge du patient, puisque le nombre et le prix total des médicaments augmentent avec celui-ci» [4].

La cause de cette augmentation brusque est surtout liée à l'engagement de la sécurité sociale qui prend en charge ces dépenses dans 75% des cas. Les frais sont ainsi financés par des prélèvements obligatoirement et les dépenses de santé ont tendance à exploser. Cette situation en France commence à inquiéter le législateur et l'a amené à se poser certaines questions sur les réelles sources de cette augmentation continue. Le vieillissement de la population menace directement le système économique et le système de sécurité sociale. Cette réflexion reste à pondérer et semble alarmiste selon certains spécialistes, qui pensent que la croissance des dépenses de santé est naturellement liée au niveau de vie qui s'est élevé de son côté. Les personnes dépensent pour leur bien-être comme pour leur nourriture, vêtements et logement. Plus le niveau de vie et le confort augmentent, plus la préoccupation de santé progresse.

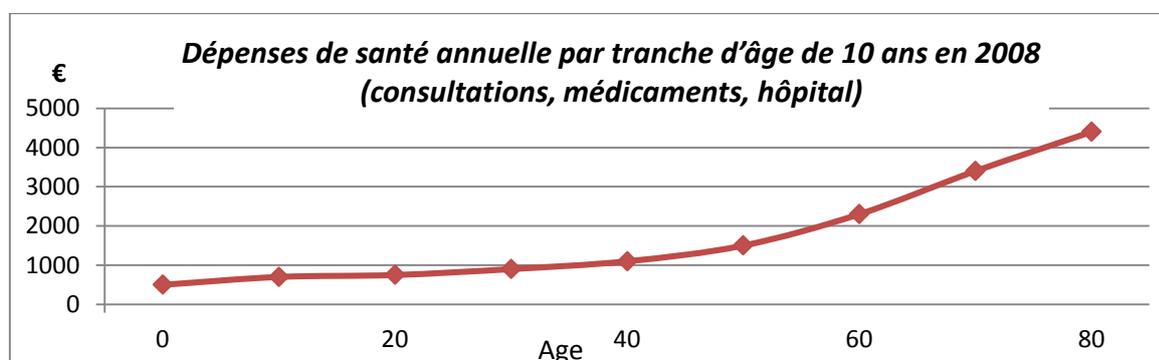


Figure 12. Dépenses de santé annuelles par tranche d'âge de 10 ans en 2008 (consultations, médicaments, hôpital) [22]

### 1.4.2 Les conséquences sociologiques

Il est évident que les relations familiales et sociales ne sont plus les mêmes qu'au siècle dernier. Vu les changements qu'ont subi les pays et le développement de la société, les personnes deviennent de plus en plus occupées dans leur travail, leurs projets ou leurs études. Les relations familiales sont devenues de moins en moins solides surtout avec l'évolution progressive des mentalités et l'indépendance qu'ont gagnée les jeunes à partir d'un certain âge et qui leur ont permis de vivre loin de leurs parents pour les études comme pour le travail. En France, parmi nos aînés, 41% n'ont presque plus de relations avec leurs enfants en 2014, contre seulement 38% en 2010. Une constatation très dure en termes de relation humaine qui prouve que les liens sociaux se dégradent peu à peu entre les générations. Évidemment, les structures familiales ont changé. Les parents et les grands-parents se trouvent seuls à un certain âge et non accompagnés. Ceci cause une désocialisation et crée dans certains cas des troubles neuropsychologiques, des dépressions et des troubles émotionnels. Dans ce même pays, 5 millions de personnes sont frappées par la solitude en 2014. Autrement dit, 1 français sur 8 est isolé socialement de son entourage y compris sa famille, ses voisins, ses amis et son milieu professionnel. L'isolation chez les personnes âgées de plus de 75 ans est en constante progression. En 2014, 27% des personnes âgées vivent cet isolement alors que le chiffre était à 16% en 2010[23]. Les psychologues expliquent qu'il s'agit d'un isolement choisi. Ceci veut dire que certaines personnes préfèrent vivre seules que d'être vues dans un état critique, dépendantes ou dans un fauteuil roulant par exemple. Le vieillissement touche aussi la santé mentale. En prenant de l'âge, nous ne réagissons pas tous de la même façon suite aux changements physiques, mentaux et intellectuels. Nous n'avons pas les mêmes capacités intellectuelles et physiques pour faire face au vieillissement. Certains acceptent le changement progressivement et s'adaptent aux situations. D'autres ont recours à l'alcoolisme ou même au suicide. Contrairement aux idées reçues, les cas de suicides augmentent chez les personnes âgées. En France, 28% des suicides en 2010 sont des personnes de plus de 65 ans selon une étude du centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès [24]. Aux Etats-Unis, plus de 30000 personnes se suicident chaque année selon des statistiques de 1991[25]. Le Tableau 1 présente le nombre de suicide en 2005. Les personnes âgées de plus de 65 ans représentent 16,5 % du taux de suicide dont 13% sont des hommes.

Tableau 1. Nombre de suicides aux états unis en 2005 par genre et tranche d'âge [26]

Age	5-14	15-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65-74	75+
<b>Hommes</b>	204	3489	4059	5053	5257	3241	1935	2603
<b>Femmes</b>	68	713	922	1483	1719	954	403	484
<b>Total</b>	272	4202	4981	6536	6976	4195	2338	3051

### 1.4.3 Les troubles de santé

Le vieillissement n'a pas que des conséquences économiques, sociologiques et psychiques, mais agit directement sur l'état de santé des gens. En plus des maladies chroniques telles que le diabète, les maladies inflammatoires et cardiaques, les personnes âgées doivent faire face aux problèmes cognitifs et aux risques de chutes. Les problèmes cognitifs commencent par la perte d'autonomie et l'incapacité à faire les actions physiques avec la même force. Certains souffrent de la maladie d'Alzheimer et d'autres maladies cérébrales dégénératives avec le temps. Au Canada, ces troubles touchent un canadien sur quatre, pour les personnes âgées de 65 ans et plus. Les données statistiques de l'année 2010 sont présentées dans la Figure 13. Ces chiffres devraient doubler dans les 30 prochaines années [27].

En France, le nombre de personnes atteintes de cette maladie est de l'ordre de 800000 français en 2011 et le nombre est supposé augmenter jusqu'à 1,2 millions de malades en 2020.

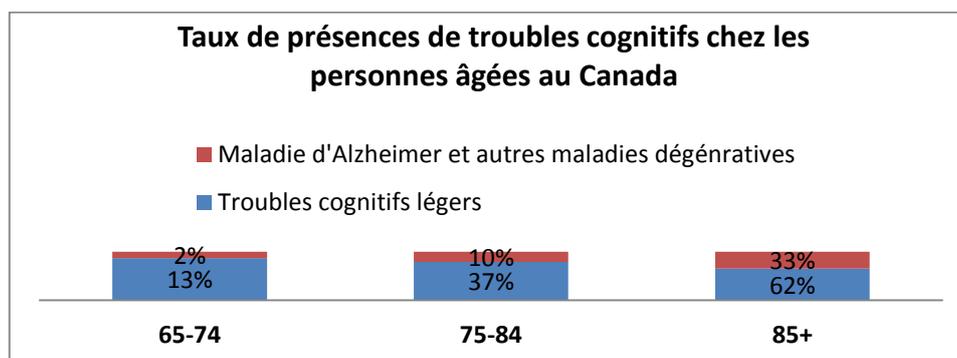


Figure 13. Taux de présences de troubles cognitifs chez les personnes âgées au Canada [27]

Vu la croissance continue du vieillissement de la population, et face à la modification des structures et des relations familiales, les chercheurs dans plusieurs pays ont commencé à envisager et proposer des solutions pour le bien-être de nos aînés. Le marché de l'assistance aux personnes en perte d'autonomie suit un essor non négligeable. Dans la troisième partie de ce chapitre, nous nous intéressons aux différentes solutions existantes dans le domaine du maintien à domicile, et présentons les principaux projets de recherches déjà élaborés ou en cours. Nous discutons au fur et à mesure de l'efficacité des solutions et des méthodes proposées, en nous focalisant particulièrement sur le domaine de la prévention ou détection de risques majeurs, comme les chutes chez les personnes âgées.

### 1.5 L'aide au maintien à domicile

Il est difficile de connaître la date exacte des premiers travaux sur la notion d'aide au maintien à domicile. Ce qui est sûr, c'est que cette idée a commencé à germer avec le

changement progressif des relations familiales. « On aurait sans doute étonné les gens des siècles passés en leur parlant d'une aide à domicile pouvant intervenir auprès d'un enfant, d'une famille en difficulté, d'un handicapé ou d'une personne âgée » affirme Bernard ESCALERE et Georges MALO dans leur article « Les fondements du maintien à domicile » [28]. Au début, le travail a commencé par la proposition de premiers services dans des contextes locaux, comme par exemple engager un aide-soignant qui s'occupe de la personne ayant besoin d'aide en lui donnant son médicament à l'heure, et qui s'occupe des soins d'hygiène. Néanmoins, avec le temps et le progrès technologique, en particulier dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil qui ont connu un fort développement aux niveaux électronique et télécommunication, les données ont désormais beaucoup changé. Ces nouvelles technologies ont considérablement amélioré le domaine de l'aide au maintien à domicile et lui ont apporté des changements radicaux, grâce à la miniaturisation et la réduction des coûts, mais aussi grâce à la grande variété des capteurs disponibles (mouvement, température, chutes, pressions, etc.).

Les industriels, en coopération avec les chercheurs et les sociologues essaient de trouver des solutions innovantes pour aider les personnes âgées en perte d'autonomie qu'elles soient à leur propre domicile ou dans une maison de retraite. Nous présentons dans cette partie les solutions les plus remarquables.

### **1.5.1 Les maisons de retraite ou EHPAD**

Les maisons de retraite constituent actuellement la solution la plus répandue en Europe, et en particulier en France. Ces dernières années, le service « bien vieillir » est en plein essor dans le secteur public tout comme dans celui du privé. Certaines familles pensent qu'il est plus rassurant et social pour leurs aînés proches d'être entourés de personnes du même âge et avoir en même temps les services nécessaires à leur bien-être comme la nourriture saine, la propreté des lieux, les soins d'hygiène et surtout le contrôle médical. Cette solution présente des avantages sociologiques dans le sens où le résident d'un EHPAD ne se sent pas isolé, mais à quel prix ? La France compte actuellement 16,5 millions de retraités dotés d'une pension moyenne de 1288€ par mois. Les statistiques de 2014 ont montré que seulement 39% des personnes âgées sont capables de payer les frais des maisons de retraite qui sont de 1857€ par mois en moyenne [29]. Ceci oblige la plupart à vendre leurs biens et à se faire aider financièrement par leurs descendants.

En tenant compte de l'augmentation continue de l'immobilier, de la nourriture et des médicaments, le prix des pensions au sein des maisons de retraite est censé croître encore plus. Si nous nous basons sur les statistiques démographiques qui estiment la croissance de cette population jusqu'à 30 % en 2060, il s'avère que la situation devient de plus en plus compliquée et préoccupante. De plus, certaines personnes préfèrent s'isoler en cas d'handicap, prendre de la distance par rapport aux autres en vieillissant, ou être plus tranquilles pendant leurs dernières phases de vie, ce qui n'est pas toujours possible dans les maisons de retraite.

Tableau 2. Coût des maisons de retraite en France Métropolitaine [30]

<b>Tarif hébergement</b> (personne autonome, à dépendance faible)				
	par jour		par mois	
<b>Moyenne</b>	60,89 €		1857 €	
<b>Minimum</b>	43,73 €		1333 €	
<b>Maximum</b>	122,26 €		3727 €	
	ILE DE-FRANCE		HORS IDF	
	par jour	par mois	par jour	par mois
<b>Moyenne</b>	80,5 €	2442 €	59,64 €	1818€
<b>Minimum</b>	61,45 €	1874 €	43,73 €	1334 €
<b>Maximum</b>	122,26 €	3729 €	122 €	3721 €

### 1.5.2 Les solutions industrielles

Du côté industriel, le marché d'aide au maintien à domicile continue d'évoluer. On trouve plusieurs appareils et dispositifs capables de collecter des données de la personne âgée ou de son environnement grâce à la technologie des capteurs sans fil et aux systèmes de télécommunications. Ces capteurs, qui sont généralement physiologiques ou de mouvement, deviennent de plus en plus miniatures. Ils sont facilement déployés dans l'environnement du patient ou attachés sur son corps. Nous trouvons des patches, des montres, des pendentifs ou des ceintures que porte la personne en perte d'autonomie pour mesurer des coordonnées biométriques telles que la tension, le rythme cardiaque ou même pour détecter une chute grâce à des accéléromètres.

D'autres compagnies fournisseurs d'infrastructure et d'installation électrique et numérique des bâtiments comme « Legrand » se sont engagées dans la domotique et l'aide au maintien à domicile. Étant leader du marché français, ce groupe constitué de partenaires médico-sociaux et industriels dirige le projet ICARE (projet de développement de services numériques pour la santé et l'autonomie). L'objectif est de déployer dans quatre départements français (Haute-Vienne, Loir-et-Cher, Corrèze et Creuse), l'apport des équipements technologiques innovants, et des solutions médico-sociales et organisationnelles aidant au maintien à domicile aux personnes en perte d'autonomie sur une période de deux ans. Ce projet est sponsorisé par le programme des investissements d'avenir et s'inscrit dans le cadre de l'appel à projets e-Santé n°2[31]. Il vise à mettre en place des solutions médico-sociales innovantes pour permettre de prendre en charge efficacement la dépendance de demain. Ce projet se positionne aujourd'hui comme une étape importante dans le développement d'une nouvelle filière industrielle, dans laquelle « Legrand » entend poursuivre son engagement et sa volonté

d'innover. Ce projet est actuellement en phase de mise en œuvre et devrait porter ses fruits dans quelques années.

### **1.5.3 Les projets de recherche**

#### **1.5.3.1 Le projet *HOMECARE***

Ce projet consiste à assurer une surveillance indoor pour les patients atteints de la maladie d'Alzheimer ou ceux présentant des troubles de mobilité. Dirigé par le laboratoire **LAASCNRS** et labellisé par l'Agence Nationale de la Recherche, le budget du projet est de 1,8 M € sur une période de 3 ans (2010-2013) [32]. La problématique majeure qu'il traite est la perte d'autonomie des personnes à travers un système complet de télésurveillance. Parmi les travaux réalisés dans ce projet, on peut citer le travail de *Yoann Charlon* [33] sur le patch électronique qui vise à surveiller l'état des patients et détecter le risque de chute. Le patch est couplé avec l'application de la semelle intelligente dont l'objectif est d'analyser l'état de santé de la personne à travers sa marche. Le système est aussi capable de localiser le patient dans son habitat et envoyer les informations à traiter par communication radio.

#### **1.5.3.2 Le projet *DOMUS***

C'est un projet qui est mis en œuvre au sein de l'Université de Sherbrooke au Canada [34] et porte le même nom que le laboratoire **DOMUS** «Domotique et informatique mobile». La thématique de recherche principale est l'informatique mobile pour les applications d'assistance cognitive et télé-vigilance dans les habitats intelligents. L'un des objectifs du laboratoire porte sur l'élaboration d'une plateforme matérielle et logicielle complète pour implémenter des services mobiles personnalisés capables d'être déployés dans des environnements variés. Le projet s'intéresse surtout aux malades souffrants de troubles cognitifs, d'une perte d'autonomie et de schizophrénie. Les personnes qui manquent d'encadrement et de soins suffisants pour leur assurer l'autonomie et la sécurité, sont la cible privilégiée du projet **DOMUS** qui conçoit des équipements et des appareils qui collectent des informations sur l'environnement et l'état des patients.

Techniquement, plusieurs capteurs de présence (**RFID**), métrologiques, de mouvement, de localisation (infrarouge), mais aussi d'actionneurs, sont déployés partout dans l'habitat pour mesurer les données de l'environnement (température, pression, odeurs, mouvement, son...). A l'aide d'interfaces informatiques développées et réparties dans toutes les pièces et de serveurs supportant les logiciels d'application, la personne saura si elle a pris ses médicaments, si elle a oublié un four allumé, en recevant des alertes sous forme de messages textuels, vocaux ou même des signaux lumineux. Le projet utilise également une infrastructure réseaux **KNX** qui supporte plusieurs protocoles comme *WiFi*, *ZigBee* et **CPL** ainsi qu'une passerelle *IP/KNX*, **ADSL**, réseau très haut débit et un réseau téléphonique multipoints.



Figure 14. Exemple de l'habitat intelligent proposé par le projet **DOMUS** [35]

### 1.5.3.3 Le projet « Guardian Angels »

Inspiré du rôle des anges gardiens, ce projet, vise à produire des capteurs miniatures autonomes en énergie, intégrés sur tout type de support et capables de collecter des données pour le suivi des différents paramètres liés à la santé et à l'environnement des personnes fragiles [36]. Les anges gardiens du futur se présentent sous forme de puces à forte miniaturisation (nanoélectronique) et à très faible consommation puisque chaque unité produit elle-même sa propre énergie à partir de l'environnement. Ces capteurs biomédicaux peuvent être déployés dans le corps, dans les fibres des vêtements, comme dans l'environnement. Le but est de consommer 100 fois moins que les capteurs ordinaires. Le projet a été présenté en 2011 sous le nom « *Guardian Angels for smarter life* » (Anges gardiens pour une vie plus intelligente) à la commission européenne pour le programme *Flagship* du **FET** qui accorde un million d'euros au meilleur programme de recherche scientifique sur une période de 10 ans. Le projet était parmi les six dernières candidatures nominées. Mais en 2013, la commission européenne a annoncé que les gagnants du concours sont les initiatives du « Graphene » et le « simulateur de cerveau humain » [37].

### 1.5.3.4 Le projet WISDOM

En partant de l'idée d'accueillir les personnes âgées en Wallonie en Belgique, ce projet développé sur 30 mois (2014-2016) en partenariat avec le Centre de Recherches Interdisciplinaires des approches Sociales de la Santé (**CRISS**) et l'Institut de Recherches en Sciences de la Santé (**IRSS**), vise à étudier et transférer les idées innovantes en matière de maintien à domicile pour garder les personnes âgées le plus longtemps chez elles. Le but est de surmonter les budgets élevés de service en ayant recours à des solutions innovantes alliées à des métiers qui gravitent autour du maintien à domicile et des aspects psycho-sociaux. La dernière phase du projet consiste à transférer la connaissance

Le vieillissement et l'aide au maintien à domicile : état de l'art

produite vers les acteurs des différentes disciplines en partenariat avec l'Union des entreprises à profit social (**UNIPSO**) qui parraine le projet [38].

#### **1.5.3.5 Comparaison et discussion des solutions existantes**

Un tableau comparatif des principales solutions et des projets de recherches cités, est représenté ci-dessous.

Tableau 3. Exemples de dispositifs, solutions et projets de recherches pour l'aide au maintien à domicile et comparaison

	Solutions	Equipements	Type d'intervention	Autonomie		Rapidité	Mobilité	Coût	Intrusif
				Secteur	Batterie				
Solutions commercialisées	<b>EMPATHE</b> 	Montre bracelet <b>GPS</b> Accéléromètre Podomètre module <b>GSM</b> capteur pouls chargeur <b>USB</b> interface <b>PC</b> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesurer :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rythme cardiaque</li> <li>- Température de la peau,</li> <li>- Humidité</li> <li>- Mouvement.</li> </ul> </li> <li>Envoyer les données au médecin.</li> </ul>	—	X  6h communication  36h de travail 64h en veille	Temps réel	Illimitée	155 \$	X
	<b>My Guardian package</b> [39] 	Passerelle internet sans fil 3 capteurs muraux Bracelet	Localiser la personne Mesurer sa température Détecter une chute	—	—	—	Réduite (surface de l'habitat)	< 1000 \$ et abonnement mensuel de 79,95 \$	X
	<b>Quiatil Esay</b> [39]	Connexion RTC avec double connectique <b>RJ11</b> + Veilleuse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Téléassistance conforme à la norme NF EN 50134</li> <li>Sécuriser le domicile en avertissant les secours en cas de danger</li> </ul>	X	X (72h)	Temps réel	Réduite (surface de l'habitat)	24,90 € à 34,90 € /mois	—

Le vieillissement et l'aide au maintien à domicile : état de l'art

									
	<p><b>BaltoProtect</b>[39]</p> 	<p>box (avec micro et haut-parleur) + détecteurs de présence</p>	<p>Reconnaissance des anomalies encas de délais d'attente plus long que d'habitude.  Envoi des alertes à des proches.</p>	<p>X</p>	<p>X (24h)</p>	<p>période d'apprentissage de plusieurs semaines</p>	<p>Réduite (surface de l'habitat)</p>	<p>39,90 €/mois</p>	<p>—</p>
	<p><b>VIVAGO 8001</b>[39]</p> 	<p>Montre bracelet</p>	<p>Appeler automatiquement les secours une fois que la personne est tombée et incapable d'appeler toute seule</p>	<p>—</p>	<p>X (Rechargeable)</p>	<p>Temps réel</p>	<p>Illimitée</p>	<p>45 €/mois ou 495 €/ans ou 990 €/2ans</p>	<p>X</p>
	<p><b>Bee</b></p>	<p>1 capteur Bee + 1 câble USB + adaptateurs</p>	<p>Aider les personnes atteintes de diabète à suivre leurs injections d'insuline et à contrôler la glycémie.</p>	<p>X (Câble spécifique)</p>	<p>X (Rechargeable)</p>	<p>Temps réel</p>	<p>Illimitée</p>	<p>69,99€</p>	<p>—</p>

Le vieillissement et l'aide au maintien à domicile : état de l'art

		<p>Envoyer les informations d'injection et les partager avec les proches ou les surveillants du patient.</p>						
<p><b>Lysbox</b></p> 	<p>Boitier NFC + Badge NFC + Accès internet</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lutter contre l'isolement dont souffrent certaines personnes âgées seules en perte d'autonomie.</li> <li>- Communiquer entre la personne et ses proches ou ses assistants équipés de badge.</li> </ul>	<p>—</p>	<p>X (piles)</p>	<p>Temps réel</p>	<p>Réduite (surface de l'habitat)</p>	<p>150€</p>	<p>—</p>
<p><b>Prise adaptée</b>[40]</p> 	<p>Prise électrique adaptée+levier</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Branchement et débranchement facile sans effort des appareils électriques</li> </ul>	<p>X</p>	<p>—</p>	<p>Temps réel</p>	<p>Réduite (surface de l'habitat)</p>	<p>72,53€</p>	<p>—</p>
<p><b>Le système Senior Cottage</b> [41][42]</p>	<p>lits d'hôpital + lève-malade +</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gites présentés comme un logement évolutif adapté à la perte</li> </ul>	<p>X</p>	<p>—</p>	<p>Temps réel</p>	<p>Réduite (surface de l'habitat)</p>	<p>49.000€ en fonction de la surface ou</p>	<p>—</p>

Le vieillissement et l'aide au maintien à domicile : état de l'art

		<p>arrivée d'oxygène + Téléphones adaptés + plan de travail à hauteur réglable</p>	<p>d'autonomie aux handicaps de la personne selon sa fragilité.</p>					<p>650 € par mois [43]</p>	
	<p><b>Le projet HOMECAR[32]</b></p> 	<p>Tag RF + Capteurs de mouvement + Accès internet</p>	<p>Système complet de Télésurveillance pour les personnes âgées (ou handicapées) atteints de la maladie d'Alzheimer</p>	X	—	<p>Phase d'apprentissage</p>	<p>Réduite (surface de l'habitat)</p>	<p>Budget du projet : 1,8 M€</p>	X
Projets de recherche	<p><b>Le projet DOMUS[34]</b></p> 	<p>Capteurs de mouvement + microphones+ PDA + Ecran tactile</p>	<p>Assistance cognitive, le suivi médical et la télé-vigilance auprès des personnes avec troubles cognitifs</p>	X	—	<p>Période d'apprentissage obligatoire</p>	<p>Réduite (surface de l'habitat)</p>	—	—
	<p><b>Le projet « Guardian Angels »[36]</b></p>	<p>puces électroniques biomédicaux et environnementaux à ultra-basse consommation</p>	<p>Système qui veille au bien-être et à la sécurité, pouvant même interpréter les émotions</p>	—	X	<p>Autonomie complète (dispositifs autoalimentés)</p>	<p>Illimitée</p>	<p>Budget 1 milliard € [37]</p>	—

Le vieillissement et l'aide au maintien à domicile : état de l'art

		<p>et auto-alimentées</p>							
	<p><b>Le projet WISDOM</b>[38]</p> 	<p>Capteurs + Patch + Caméra infrarouge</p>	<p>Maintien des personnes âgées à domicile</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>Réduite (surface de l'habitat)</p>	<p>Budget 582 971 €</p>	<p>X</p>
	<p><b>Projet CANET</b> [44][45][46]</p> 	<p>Une canne équipée de plusieurs capteurs</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surveillance des personnes âgées</li> <li>- Le réseau de capteurs surveillant utilisé est capable de localiser à tout moment la personne et collecter des informations sur ses signes vitaux (rythme cardiaque, pression etc.)</li> <li>- Assurer l'acheminement adéquat des données collectées dans la canne par les différents capteurs, vers un centre de contrôle</li> </ul>	<p>—</p>	<p>X</p>	<p>Temps réel</p>	<p>Réduite (surface de l'habitat)</p>	<p>—</p>	<p>—</p>

### 1.6 Solutions aux risques de détection de chutes

Comme nous l'avons vu dans les analyses statistiques, le risque de chute est un problème fréquemment rencontré chez les personnes âgées surtout quand elles sont seules à domicile. D'après les rapports des centres de contrôle des maladies et de prévention, et du centre national pour la prévention et le contrôle des blessures, les chutes sont les causes majeures des blessures chez les personnes âgées [45].

Les problèmes cognitifs et de perte d'autonomie peuvent amener à des accidents domestiques qui sont généralement des chutes causées soit par la faiblesse, soit par inattention des personnes âgées, soit par des ruptures osseuses pour les personnes atteintes d'ostéoporose. Les chutes constituent la cause principale d'hospitalisation des personnes âgées et plus de 60% de blessures graves selon [45]. Les causes de chutes sont diverses, selon des statistiques canadiennes [46]. Les différentes causes de chutes chez les canadiens de 65 ans et plus et les types de blessures liées sont représentés sur la figure 15. En Europe, durant l'année 1999, environ 20 millions de personnes âgées ont subi une chute, soit à leur domicile, soit dans une institution spécialisée selon [47]. A cause d'une non-détection à temps, ces chutes ont provoqué plus de 2 millions d'hospitalisation et environ 85 000 décès. Environ 30 % des personnes âgées de plus de 65 ans chutent au moins une fois chaque année, taux qui s'élève à 50 % après 80 ans. Entre 20 et 30 % des personnes ayant chuté souffrent de séquelles qui diminuent leur mobilité et leur autonomie, avec un risque accru de décès prématuré. De plus, 50% des personnes âgées ayant subi une chute, ont besoin d'aide pour se rétablir après. Même si l'incident n'est pas grave, un retard d'appel d'urgence et d'intervention des secours peut causer des dommages très importants [48]. Ces chiffres devraient diminuer avec l'émergence des nouvelles technologies et des moyens de communication qui assurent une intervention plus rapide en cas de problème, mais restent quand même trop importants et nécessitent l'amélioration des solutions existantes et la proposition de nouvelles méthodes plus efficaces.

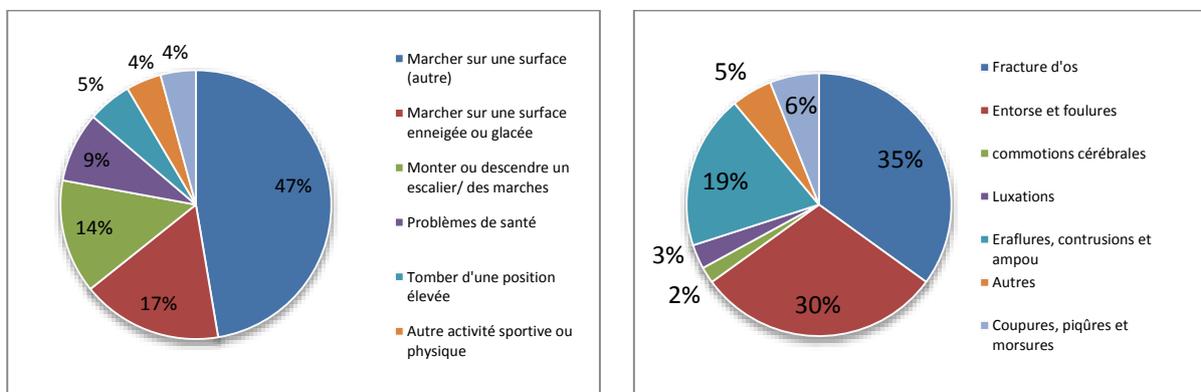


Figure 15. Causes de chutes et blessures liées pour les adultes de 65 ans et plus au Canada 2009-2010[46]

### **1.6.1 Différentes approches et méthodes**

La détection de chutes chez les patients âgés a été le sujet de plusieurs recherches et études. Durant une chute, la vitesse verticale du centre de gravité de l'objet ou de la personne concernée augmente et atteint un certain seuil. Pour la détection de chute, deux difficultés principales sont rencontrées dans les méthodes et les approches utilisées. La difficulté principale réside dans l'identification de ce seuil qui n'est pas toujours précis [49]. La deuxième difficulté réside dans la distinction de véritables chutes chez les personnes âgées [50]. Ceci nécessite une série de tests et de scénarii pour trouver la bonne valeur, ce qui dépend toujours des cas et des objets surveillés. Pour le cas ordinaire de personnes qui ne souffrent pas de maladie ou d'handicap, il est facile pour elles, dans la plupart du temps, de se ramener à l'équilibre et de se tenir debout. Toutefois, la situation est différente pour une personne âgée. L'inactivité est une première constatation après une chute qui démontre la véracité de la détection après une série de tests. En associant les recherches en médecine, en électronique et en réseaux, il est possible de concevoir des systèmes permettant de détecter les chutes. Plusieurs appareils et outils techniques ont été commercialisés dans ce domaine [39].

Nous avons classé les systèmes de détection de chute en deux catégories selon leur portabilité. Les avantages et les inconvénients de chaque classe sont représentés dans la figure 16.

#### **1.6.1.1 Les systèmes portés**

Les premiers se composent de capteurs plus ou moins faciles à porter, et fixés au corps des personnes dans le but de collecter également des informations biométriques du corps tels que : la tension, le rythme cardiaque, la pression artérielle, le rythme de marche. Un changement important de ces valeurs, correspond à une détérioration de l'état de santé de la personne qui peut conduire de façon prévisionnelle à une chute potentielle [51][52][53].

#### **1.6.1.2 Systèmes non-portés**

Ils se basent essentiellement sur des équipements fixes, en particuliers sur la surveillance vidéo. La mise en œuvre d'un tel système permet aux personnes de vivre en sécurité à la maison et aussi autonomes que possible, dans un environnement confortable.

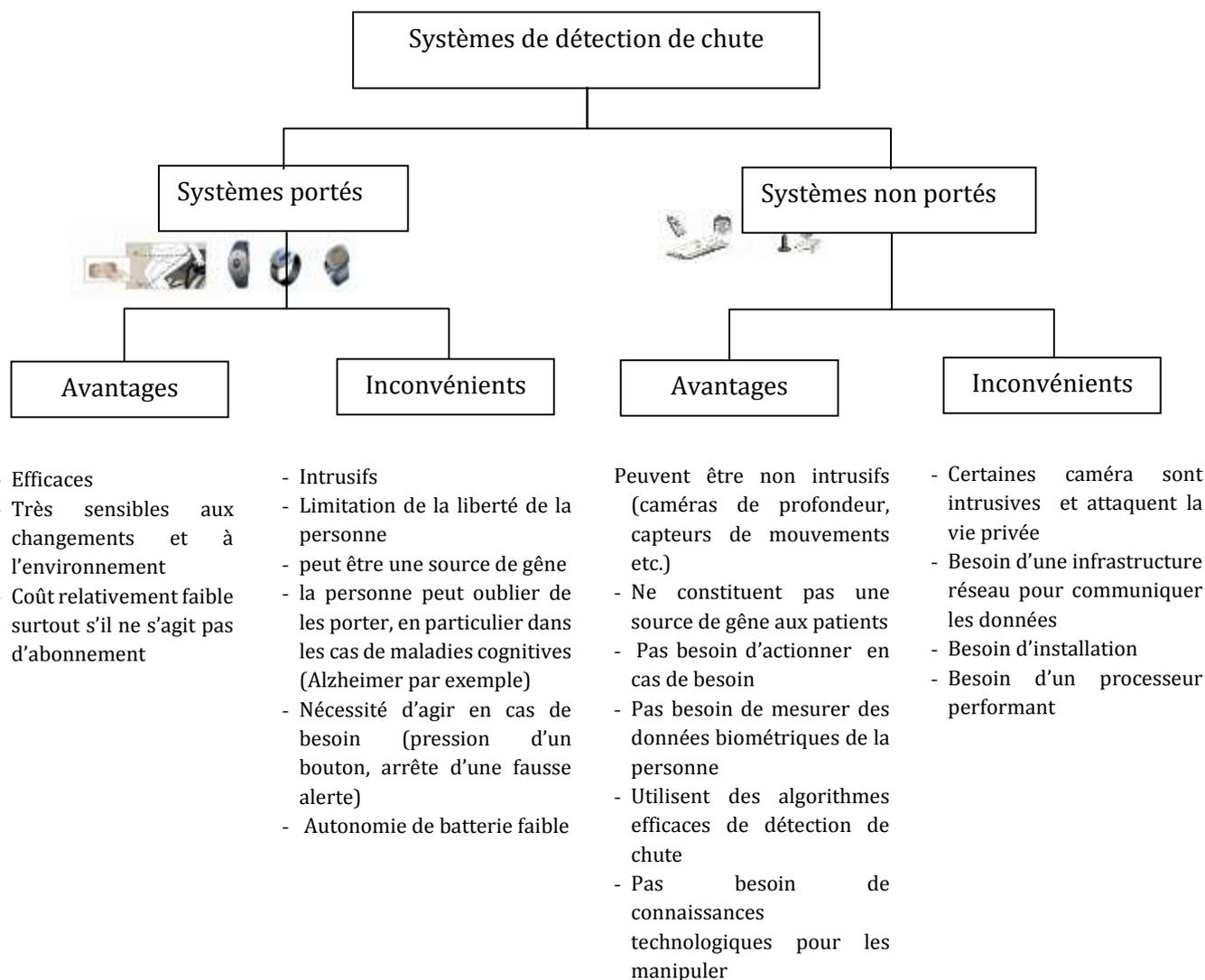


Figure 16. Avantages et inconvénients des systèmes de détection de chute

Leur objectif majeur est de détecter ou de prévenir l'apparition de situations inquiétantes ou critiques (en générant il s'agit d'un ensemble de messages et d'alarmes), en fonction de la gravité de la situation de la personne. Des techniques de systèmes non portés sont basées sur l'analyse de données provenant d'une multitude de capteurs installés dans le domicile du patient. Les images prises de la scène sont traitées et analysées en temps réel afin de détecter les chutes en appliquant des algorithmes et des méthodes d'apprentissage. Le système peut communiquer avec le réseau filaire ou sans fil. Cette même catégorie de systèmes divise en deux sous-catégories: les systèmes intrusifs et les systèmes non intrusifs. La première classe utilise une caméra vidéo couleur comme les

webcams. Bien que cette solution ne soit pas coûteuse et facile à mettre en œuvre, elle dispose d'un inconvénient majeur, qui est le non-respect de la vie privée. D'ailleurs, il est peu probable qu'une personne accepte la mise en place d'un tel système chez elle, en particulier dans la chambre, la salle de bain ou encore plus les toilettes, où malheureusement la plupart des chutes se produisent chez nos aînés [50]. Le mouvement de la personne suivie dans une scène 3D nécessite l'utilisation de techniques plus complexes, telles que l'utilisation de la stéréovision. Ce principe génère des données vidéo plus volumineuses à transférer par le réseau ultérieurement. Un autre problème se pose quand il s'agit d'un environnement non contrôlé, ou qui manque de luminosité. Dans certains cas, la personne est en dehors du champ de vision. Nous pouvons également considérer les systèmes de vidéosurveillance non intrusifs comme les plus évolués. Ils se basent sur des caméras de profondeur également appelées caméras 3D. Ils se composent souvent d'un émetteur infrarouge couplé à un capteur **CMOS** permettant de reconstruire une scène 3D où les pixels représentent une distance de la caméra à la place de couleurs. Cette technologie présente l'avantage de respecter la vie privée. De plus, elle est opérationnelle dans des milieux associés à de mauvaises conditions de luminosité et contraste.

Cependant, ces caméras nécessitent des méthodes plus complexes pour traiter les données à partir des images de profondeur qui représentent souvent un volume de données beaucoup plus grand que les simples images couleur. Ainsi, le traitement d'images de profondeur nécessite des processeurs puissants, et une mémoire de stockage plus grande. Par conséquent, le transfert des données en réseau n'est pas toujours possible.

Plusieurs approches et procédés ont été développés pour détecter la chute de personnes âgées. Parmi ces approches, nous recensons celles qui sont basées sur les techniques d'apprentissage et celles sur des méthodes analytiques.

### **1.6.1.3 Les techniques d'apprentissage**

Les premières sont considérées comme les méthodes les plus anciennes et sont basées sur des observations [54]. Il est possible de classer les mouvements du corps pendant les périodes d'apprentissage. Il est nécessaire de définir des critères de classification qui sont suffisamment importants et indépendants. On peut utiliser un réseau de neurones en suivant une période d'apprentissage supervisée. Ce réseau neuronal servira ensuite pour la classification automatique des mouvements futurs. La classification ne concerne que les cas rencontrés au cours de l'apprentissage.

### **1.6.1.4 Méthodes analytiques**

Leur concept général utilise plusieurs systèmes d'analyse des données. Nous allons nous focaliser sur celles utilisant les systèmes vidéo et les techniques de détection puisque notre sujet de recherche gravite autour de la surveillance vidéo. Souvent, que ce soit pour une caméra couleur ou une caméra 3D, le sol doit figurer dans la scène filmée,

car dans la plupart des cas, la chute d'un individu se termine au sol. Le traitement d'image consiste à extraire et affiner la forme du corps. Plusieurs approches analytiques se sont basées sur l'encadrement de la silhouette humaine avec une ellipse approchée. La variation des coordonnées de l'ellipse dans le temps représente les mouvements de la personne et sa trajectoire modélisée. Si elle est accompagnée d'une inactivité vers la fin du mouvement alors, il s'agit d'une chute.

### 1.6.2 Comparaison des principales approches des méthodes de détection de chute

Dans le Tableau 4 nous citons plusieurs approches majeures ainsi que les méthodes d'apprentissage et analytiques et nous discutons les résultats obtenus. Nous notons que les valeurs des précisions sont des résultats mentionnés par les auteurs et qui ont été conclus après une série de tests et d'expérimentations. La précision d'un algorithme consiste à déterminer à quel pourcentage il est capable de différencier une vraie chute d'une fausse (Le nombre de chutes détectées sur le nombre d'expériences effectuées).

Tableau 4. Différentes approches de détection de chute

Apprentissage		
Auteurs	Méthode	Résultat et discussion
[55]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Approche basée sur la variation de la forme humaine par vidéo.</li> <li>- Consiste à combiner une ellipse approximative autour du corps humain avec les histogrammes de projection de la silhouette segmentée et les changements temporels des positions de la tête.</li> <li>- Les vecteurs caractéristiques extraits sont ensuite fournis à une machine à vecteurs de support multi-classes dite SVM (Support Vector Machine) permettant de reconnaître les mouvements et détecter les chutes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 88,08 % de précision de reconnaissance</li> <li>- Le système est capable non seulement de détecter les chutes, mais aussi le type de chute (en avant, en arrière ou latérale).</li> </ul>
[56]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation d'une machine d'apprentissage où la personne est équipée d'étiquettes radio ou patch pour localiser les différentes parties du corps.</li> <li>- Les attributs considérés sont les emplacements de certaines parties du corps dans un système de coordonnées de référence qui sont fixes par rapport à l'environnement.</li> </ul>	<p>Une classification plus précise environ 95% en utilisant les SVM et comparant plusieurs algorithmes de machines d'apprentissage</p>
[57]	<p>Utilisation d'une seule caméra fixe montée au plafond dans le but de filmer la scène entière.</p> <p>Mettre l'accent sur le mouvement quotidien et non pas sur la chute comme la plupart des travaux de recherche effectués.</p> <p>Les mouvements filmés sont soustraits de l'arrière-plan en temps réel en utilisant la méthode des "pics d'action" « action peaks ».</p> <p>Le système est capable de classer chaque nouvelle action.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilité de détecter les actions quotidiennes avec un taux de détection qui dépasse 93% de précision, ce qui prouve que le système est efficace avec une seule caméra dans un environnement réel.</li> <li>- La contribution se base sur la création d'une signature unique pour chaque action quotidienne qui est ensuite traitée et apprise par les machines à vecteurs de support pour créer une base de données optimale.</li> </ul>

Approches analytiques		
Auteurs	Méthode	Résultat et discussion
[58]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Une approche basée sur le suivi du mouvement de la tête par le dessus.</li> <li>- Utilise un modèle d'ellipse et un filtre particulier pour améliorer les scènes encombrées de multiples sources d'éclairage</li> <li>- Consiste à extraire la trajectoire de la personne sur l'image.</li> <li>- Permet de connaître le lieu de l'activité de la personne, qui n'est pas nécessairement limitée au sol.</li> <li>- La méthode fournit des repères utiles pour la détection de chute.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Algorithme capable de détecter les chutes en dehors des zones habituelles d'activité (chaises, lits, canapés)</li> </ul>
[59]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation de caméras appelées <i>Map-Cam</i> (OMNI-caméras) qui utilisent le même principe de suivi de la tête mais combiné cette fois à des informations personnelles de la personne à surveiller (hauteur et largeur).</li> <li>- La méthode consiste à entourer le corps capturé par des rectangles, puis calculent les mouvements de la personne en observant la variation de ses deux dimensions (hauteur et largeur) en temps réel.</li> <li>- Ils ont introduit un nouveau système d'évaluation de critères pour mesurer la performance tels que la précision ou la sensibilité et un coefficient qu'ils appellent « Kappa ».</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nouvelle approche opérationnelle et précise jusqu'à 81 %.</li> <li>- Contribution dans le système d'évaluation des critères et le nouveau coefficient</li> <li>- Nécessité d'introduire des paramètres liés à la personne comme entrées au système</li> <li>-</li> </ul>
[60]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- utilisation du même concept de l'ellipse par une approche basée sur la forme humaine combinée avec l'historique de mouvement de l'image (<i>Motion History Image</i> ou <i>MHI</i>) pour analyser des séquences vidéo et extraire les chutes des activités quotidiennes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leurs résultats donnent une sensibilité de 88 % en détection de chute et un taux acceptable de fausse détection de 12 %.</li> </ul>
[61][62]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Une autre approche basée uniquement sur la trajectoire 3D de la tête et de sa vitesse.</li> <li>- Utilisation d'une ellipsoïde 3D pour représenter la tête et un algorithme itératif dit "POSIT" pour la localiser dans le corps.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les résultats sont performants à 66 %, mais il est nécessaire d'initialiser manuellement l'ellipse autour de la tête au début de l'algorithme.</li> </ul>
[63]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Détection temps réel de postures humaines par fusion d'images 3D.</li> <li>Développement d'un algorithme de fusion bas niveau de multiples capteurs de profondeur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contribution dans la technique de fusion bas niveau</li> <li>Résultats concluants au niveau de la précision des articulations reconstruites</li> <li>Solution lourde en termes de traitement d'image et communication réseau entre les différentes caméras, une solution plus légère est demandée</li> </ul>

### 1.7 Attente des personnes âgées

Les attentes des personnes âgées dans leur domicile se résument en un ou plusieurs outils qui leur permettent de vivre en sécurité avec des éléments le plus autonomes possible. Tout système discret, non intrusif, non gênant, à faible coût et capable de surveiller leur état de santé et alerter un proche ou un centre médical spécialisé dans les

plus brefs délais en cas d'urgence, semble très satisfaisant. Il est très important de souligner l'aspect respect de la vie privée de la personne et son confort ainsi que la facilité de manipulation et utilisation du système. A partir de ces exigences et des discussions à propos des différentes solutions précédemment citées, nos objectifs seront définis dans un cahier de charge pour combler les lacunes de certaines solutions existantes.

### **1.8 Cahier de charge de l'application : étude des besoins**

Après cette étude bibliographique et les analyses statistiques de la population âgée dans le monde, mais aussi suite à cet état de l'art des principaux systèmes d'aide au maintien à domicile et des technologies utilisées, nous avons eu l'idée de contribuer pour aider nos aînés en perte d'autonomie chez eux. En comparant les systèmes que nous avons critiqués dans l'étude bibliographique, et en nous focalisant sur les approches et les techniques de surveillance utilisées, nous avons identifié des verrous pour contribuer dans ce domaine, en concevant un système qui devra satisfaire aux besoins des personnes âgées en perte d'autonomie et répondra au cahier des charges suivant.

- Le système doit être autonome et surveiller chez elles en permanence l'état des personnes.
- Le système doit être non intrusif donc, ne pas capter les images réelles des personnes.
- Le système doit assurer un certain confort chez les personnes âgées, répondre à ses besoins et lui faciliter certaines tâches domestiques.
- Le système doit contrôler l'état de la personne en cas de chute et prendre des décisions en cas d'urgence (déclenchement d'une alarme, appel vers un centre distant ou un membre de la famille).
- Le système ne doit pas être trop coûteux ni difficile à installer (prix compétitif face aux technologies du marché).
- Le système ne doit pas être porté par la personne et limiter ainsi sa liberté de déplacement.
- Le système doit être capable de surveiller la personne dans une situation de mauvaise condition de luminosité ou même dans le noir absolu.
- Le système doit fonctionner et réagir en temps réel
- Il est préférable que le système soit capable de reconnaître la personne surveillée et la suivre dans ses mouvements, qu'elle soit seule à domicile ou entourée d'une ou deux autres personnes.

## **1.9 Conclusion**

Dans ce premier chapitre, nous avons analysé et décrit les cartes démographiques ainsi que les différents facteurs et conséquences du vieillissement de la population mondiale. En se basant sur des statistiques publiées, nous nous sommes intéressés à différents pays en particulier l'Europe et la France. Cette étude nous a permis de construire une problématique sur le futur de la population dans le monde à travers les projections et ainsi estimer l'importance des applications d'aide au maintien à domicile pour les générations futures.

Dans un deuxième temps, nous avons présenté des solutions existantes (solutions industrielles et issues de la recherche) pour aider les personnes à « bien vieillir ». Nous avons également discuté de l'utilité et des inconvénients de certains projets, que ce soit au niveau sociologique, industriel, ou recherche. Ces critiques nous ont ramené à étudier les besoins de la population utilisatrice de ce service, et à contourner plusieurs limites rencontrées, en identifiant ainsi le cahier des charges de notre thèse. Même si le but est identique, et comme les moyens d'y aboutir sont divers, nous avons comme objectif de nous démarquer de la communauté scientifique avec une solution simple, facile à embarquer, efficace et surtout respectant l'intimité des personnes en leur offrant la sensation de liberté et de sécurité.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter en détail notre solution, les techniques proposées, ainsi quelques outils matériels et logiciels utilisés.

## Chapitre 2

### Etude et mise en œuvre préalable d'un réseau de capteurs vidéo pour la surveillance à domicile

#### 2.1 Introduction

Dans le premier chapitre, nous avons présenté la situation démographique de la population mondiale qui dérive vers un fort vieillissement, ainsi que l'état de l'art du maintien à domicile. Ces études nous ont permis de relever la conclusion suivante : le monde entier subit un vieillissement mais à degrés divers. En même temps, la population âgée s'attend à plus de propositions qui répondent à ses besoins en termes de sécurité, confort et coût des services. En comparant les différentes solutions existantes dans le domaine, nous en avons déduit à la fin du premier chapitre, un cahier de charge soulignant les besoins de cette catégorie de personnes. Dans ce second chapitre, nous allons nous attacher à décrire notre idée de solution et la proposition d'un réseau de capteurs sans fil (RCSF) pour la surveillance dans un habitat intelligent.

En partant de l'objectif principal qui consiste à surveiller des personnes âgées seules chez elles et détecter les cas de chute auxquelles elles sont fortement confrontées, nous avons aussi accordé beaucoup d'attention à leur confort afin de faciliter certaines tâches domestiques. De plus, le respect de leur intimité pendant la surveillance est bien exigé. Des capteurs vidéos spécifiques déployés un peu partout dans le domicile et communicant entre eux semblent être une solution bien adaptée pour plusieurs raisons. D'un côté, elle permettra de contrôler la personne dans différents endroits en intérieur sans la gêner ou sans limiter sa liberté comme c'est le cas pour les capteurs biométriques attachés au corps. D'un autre côté, cette surveillance non intrusive qui protège l'identité des personnes et cache leur intimité, passe comme quasi inaperçue, ce qui n'est pas toujours le cas pour une surveillance avec des caméras ordinaires. L'idée de mettre en œuvre un réseau de capteurs vise à couvrir le maximum de zones de surveillance dans la maison. Ce réseau peut être étendu dans le cas d'un bâtiment plus grand ou une maison de retraite par exemple.

Avant de débiter ce chapitre, nous tenons à situer et présenter notre proposition associée aux contributions souhaitées, par rapport aux solutions existantes dans le même domaine.

### **2.1.1 3DomoHelpNet : description du projet**

Le nom 3DomoHelpNet signifie 3-Domotique Help Network. Il associe la technologie de caméras "3D" avec un réseau de capteurs "Network" pour la thématique d'aide au maintien à domicile "Domotique Help". Le projet 3DomoHelpNet se base sur un réseau de capteurs vidéo, sur lesquels tourne une application logicielle permettant de surveiller des personnes âgées dans leur habitat, d'identifier leurs gestes et de détecter les cas de chutes à partir des images 3-D collectées et via les réseaux de l'habitat, piloter des actionneurs de confort et d'alerte.

### **2.1.2 Objectifs**

L'objectif de notre solution est de surveiller l'état médical d'une personne âgée à mobilité réduite dans son milieu naturel et lui offrir la sensation de sécurité, indépendance et confort. Selon le cahier de charge que nous avons établis dans le premier chapitre, nous devons respecter les points suivants :

- le système permet de suivre la personne, la surveiller et détecter les cas de vraie chute
- le système doit confirmer l'action avant de la communiquer pour éviter les fausses alertes
- le système doit respecter la vie privée des patients et ne pas dévoiler leur identité
- le système doit apporter une aide au confort en facilitant le pilotage du domicile
- le système doit permettre d'alerter un centre d'appel ou des proches en cas de chute
- enfin, le système doit être le moins coûteux possible

### **2.1.3 Contributions visées**

Comparées aux autres solutions présentées dans le premier chapitre, nous pouvons résumer les contributions attendues de notre proposition dans les points suivants :

- utilisation d'une technologie performante et novatrice dans une application destinée à la domotique,
- détection et suivi de la personne à surveiller en la maintenant dans son milieu de vie habituel,
- les dispositifs utilisés ne sont pas intrusifs : ils ne gênent pas la mobilité des patients, ne limitent pas leur liberté, et respectent leurs vie privée,

- la surveillance est possible à l'intérieur de l'habitation quelques soient les conditions de luminosité (la nuit en particulier),
- apport du confort aux personnes à mobilité réduite en leur facilitant des tâches quotidiennes.

Pour réaliser ce réseau de capteurs, il est nécessaire de concevoir une architecture réseau adaptée à nos objectifs. Le choix du capteur vidéo doit être justifié selon les besoins de l'application et les technologies existantes. Pour cette raison, nous allons, dans un premier temps, souligner le rôle des réseaux de capteurs sans fil dans les applications médicales en particulier, ainsi que les limites rencontrées. Dans un deuxième temps, nous allons présenter les technologies existantes et justifier notre choix. Nous expliquerons par la suite l'étude préalable et la mise en œuvre de notre réseau et présenterons les premiers tests effectués.

## **2.2 Les réseaux de capteurs dans les applications médicales**

### **2.2.1 Introduction**

Le maintien à domicile fait partie intégrante du domaine de la santé. Il est important, pour les personnes âgées ou handicapées, de disposer d'un contrôle continu tiers sur elles-mêmes. Ce contrôle ne se fait pas obligatoirement en hôpital, mais peut également être assuré chez elles en parallèle à leur vie quotidienne. Les réseaux de capteurs n'ont pas manqué d'intérêt et d'utilisation en ce qui concerne la surveillance médicale et le domaine de la santé [64]. En médecine, nous trouvons plusieurs types de capteurs servant à collecter et contrôler les données biométriques liées aux pouls, à la tension et même aux signaux électriques du cerveau, pour conserver le patient en monitoring continu. Dans la plupart des cas, des réseaux de capteurs sans fil (**RCSF**) sont utilisés pour collecter les données vitales à partir du corps du patient. Ces données sont ensuite envoyées à un réseau (souvent basé sur la technologie protocolaire IP) à travers une passerelle pour être analysées et traitées par l'équipe médicale comme le montre la Figure 17.

## Etude et mise en œuvre préalable d'un réseau de capteurs vidéo pour la surveillance à domicile

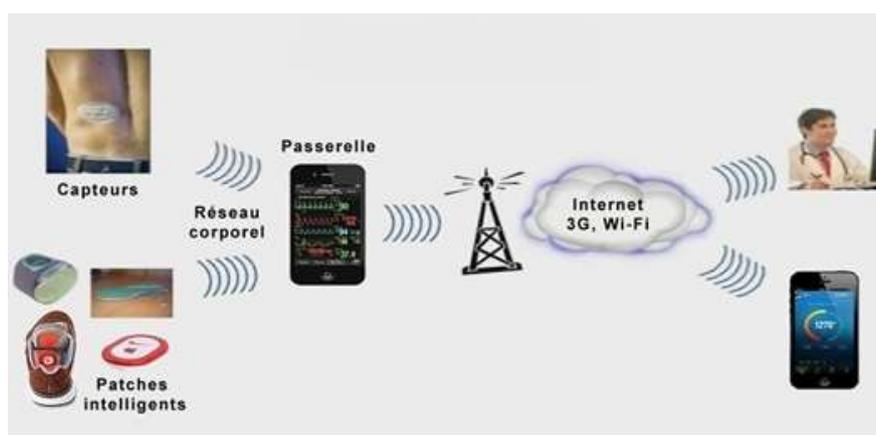


Figure 17. Architecture et technologies de la médecine sans fil [65]

Ces capteurs ont connu un développement considérable grâce à l'évolution de la micro et nanoélectronique, de la chimie [69]. Ce développement a permis de miniaturiser ces composants pour qu'ils puissent être implantés dans des milieux sensibles comme la peau, les yeux ou même le cerveau humain (voir Figure 18).

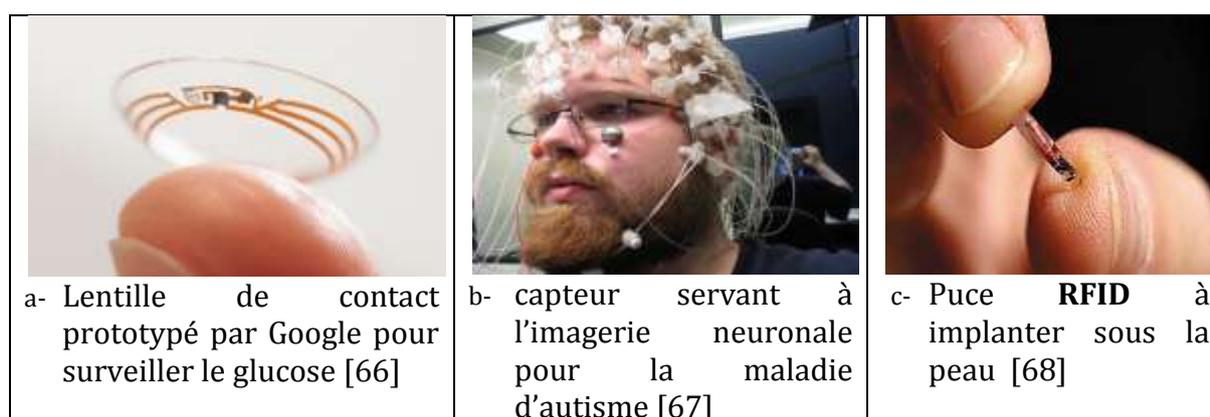


Figure 18. Exemples de capteurs sans fil utilisés en médecine

Bien qu'ils soient utilisés dans plusieurs domaines et qu'ils présentent plusieurs avantages liés à la miniaturisation, la mobilité et au déploiement dans milieux différents, les réseaux de capteurs sans fil sont confrontés à des limitations. Ces limitations sont essentiellement dues à la consommation d'énergie et l'autonomie de la batterie. Ce problème majeur a très souvent été un sujet de recherche majeur dont le but est d'optimiser la consommation des nœuds et donc augmenter l'autonomie des batteries [70][71][72]. Comme notre proposition s'intéresse aux réseaux de capteurs vidéo, nous allons expliquer succinctement le fonctionnement des capteurs d'images, ce qui nous servira ensuite pour décrire le capteur vidéo que nous avons retenu.

## 2.2.2 Les capteurs vidéo classiques

Les capteurs vidéo sont avant tout des capteurs d'images. Ils se divisent en deux grandes familles : la famille **CCD** (*Charge-Couple Device*) et la famille **CMOS** (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*).

### 2.2.2.1 Les capteurs CCD (*Charge-Coupled Device*)

#### 2.2.2.1.1 Généralités

Les capteurs **CCD** sont utilisés dans les caméras depuis plus de vingt ans. Par rapport aux capteurs **CMOS**, ils présentent de nombreux avantages qualitatifs, et notamment une meilleure sensibilité à la lumière. Cela se traduit par une meilleure qualité d'image en cas de sous-exposition. Les capteurs **CCD** sont toutefois plus chers en raison de leur procédé de fabrication et de la complexité de leur incorporation dans les caméras. De plus, un phénomène de traînée est susceptible de se produire lorsqu'un objet très clair (par exemple, une lampe ou les rayons du soleil) est présent dans la scène filmée. Il en résulte des traînées verticales en dessous et au-dessus de l'objet [73].

#### 2.2.2.1.2 Principe de fonctionnement

Dans un capteur de type **CCD**, chaque pixel est composé d'une zone photosensible (photodiode) connectée à des capacités **MOS** (Métal-Oxyde-Semi-conducteur). Un **CCD** transforme les photons lumineux qu'il reçoit en paires électron-trou par effet photoélectrique dans le substrat semi-conducteur, puis collecte les électrons dans le puits de potentiel maintenu à chaque photo-site (voir Figure 19). Le nombre d'électrons collectés est proportionnel à la quantité de lumière reçue. Physiquement, la lumière incidente crée dans chaque zone photosensible une quantité de charge proportionnelle à la quantité de lumière reçue. Après un certain temps d'accumulation des photo-charges (phase d'acquisition), les informations vont être véhiculées vers l'extérieur du capteur. Pour cela, les charges doivent être décalées d'une manière série à travers les capacités des lignes et des colonnes de la matrice. Ce décalage se fait par l'excitation des grilles (qui sont des bandes conductrices horizontales, isolées entre elles par une couche de **SiO<sub>2</sub>**) avec un jeu de variations de tension.

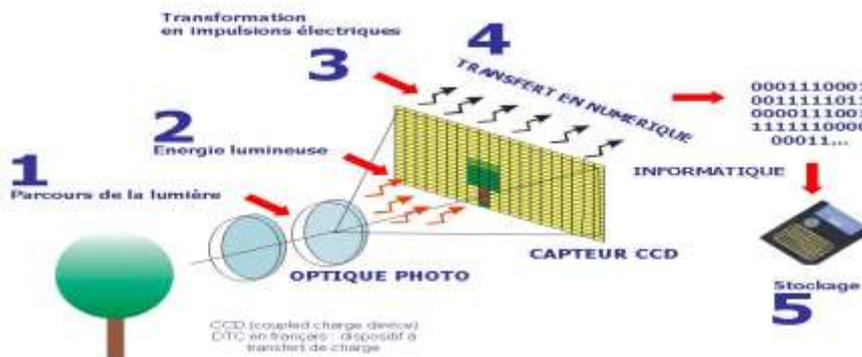


Figure 19. Principe de fonctionnement des capteurs CCD [74]

## 2.2.2.2 Les capteurs CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

### 2.2.2.2.1 Généralités

Bien que la technologie **CMOS** soit plus ancienne et très utilisée dans le domaine de la microélectronique, elle n'a réussi à trouver sa place sur le marché de l'image que vers la fin des années 90, grâce à l'évolution des produits multimédia. Aujourd'hui, le marché des capteurs **CMOS** pèse près d'un milliard de dollars et représente plus de 85 % des ventes de capteurs d'images dans le monde [75]. Grâce aux améliorations récentes apportées aux capteurs **CMOS**, leur qualité d'image se rapproche désormais de celle des capteurs **CCD**. Cependant, ils ne conviennent toujours pas pour les caméras nécessitant une qualité d'image maximale. Les capteurs **CMOS** permettent de réduire le prix global des caméras dans la mesure où ils intègrent tous les éléments nécessaires à la composition de ces dernières. Ils permettent également de produire des caméras de plus petite taille. Il existe des capteurs de grande taille fournissant des résolutions en méga pixels pour une variété de caméras réseau. L'une des limites actuelles des capteurs **CMOS** tient à leur faible sensibilité à la lumière. Si le problème ne se pose pas dans des conditions d'éclairage normal, il se manifeste en revanche dès que la luminosité diminue. Il en résulte une image soit très foncée, soit remplie de parasites.

### 2.2.2.2.2 Principe de fonctionnement

Le principe de base est similaire à celui des capteurs **CCD** puisque l'information optique est convertie en un signal électrique qui sera enfin acheminé vers l'extérieur du composant. Ce qui est différent ici est la structure de ce circuit qui est plus spécifique. Comme nous voyons dans la Figure 20, il existe des cellules photo-réceptrices et des transistors performants au sein du même système. Ceci permet une intégration globale plus poussée.

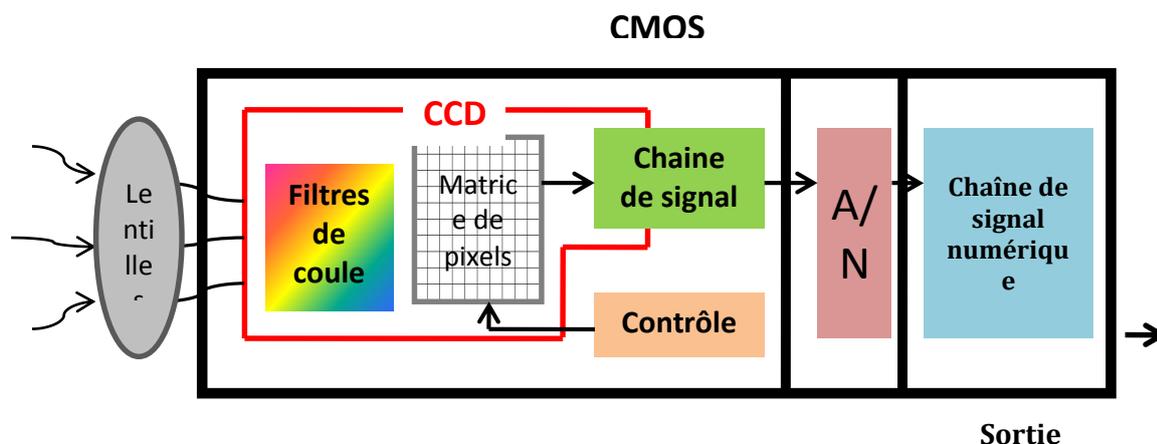


Figure 20. Architecture des capteurs CMOS [76]

A travers un décodeur de ligne, le séquenceur permet la lecture d'une ligne parmi les M lignes de la matrice. Les données de la matrice sont donc accessibles aléatoirement, par adressage. Des amplificateurs de colonne et un système de multiplexage améliorent alors la dynamique et aiguillent les données vers la sortie.

### 2.2.2.3 Comparaison

Nous pouvons conclure que pour un capteur CCD comme pour un CMOS, le principe de base (la phase de photo transduction) peut être considéré comme identique. La différence entre ces deux technologies réside dans le mode de transfert (ou de lecture) des données vers la sortie du circuit. Les capteurs CCD ont la particularité de transférer l'information, sous forme de charges analogiques, de pixel en pixel alors que les capteurs CMOS classiques transmettent des tensions ligne par ligne à travers des colonnes.

### 2.2.2.4 Bilan et analyse sur les capteurs CCD et CMOS

Les caméras CMOS sont présentées sur le marché depuis un certain temps déjà pour différents usages, alors que les capteurs CCD constituent l'équipement standard des caméras de télédiffusion. La technologie des imageurs CCD, connue pour sa qualité d'image irréprochable, est toujours la technologie la plus répandue dans le domaine de la vision industrielle, tandis que les imageurs CMOS arrivent enfin à maturité et offrent de nouvelles perspectives. Cependant, dans la plupart des cas, le choix entre CCD et CMOS n'est pas évident. Chaque technologie présente son lot d'avantages et de limitations.

Pour le capteur CCD, il présente de nombreux avantages qualitatifs, et notamment une meilleure sensibilité à la lumière. Cela se traduit par une meilleure qualité d'image en cas de sous-exposition. Par contre, il présente des limites : il est plus cher en raison de son procédé de fabrication non standard et de la complexité de son incorporation dans les caméras.

Les capteurs **CMOS** permettent de réduire le prix global des caméras dans la mesure où ils intègrent tous les éléments nécessaires à la composition de ces dernières. Ils permettent également de produire des caméras de plus petite taille. L'une des limites actuelles des capteurs **CMOS** tient à ses faibles sensibilités à la lumière. Par contre les avantages que présentent les capteurs d'images **CMOS** en termes de coût et consommation, ont permis l'intégration dans certains appareils modernes tels les caméras des *Smartphones* qui possèdent un dispositif intégré à une seule puce et proposent entre 4 à 12 Méga pixels au minimum (voir Figure 21). De plus, tous les appareils photo de type reflex numériques appelés **DSRL**<sup>1</sup>(*Digital Single-Lens Reflex*) et les caméras haut de gamme, utilisent un capteur unique **CMOS** avec un séparateur de couleur intégré. Nous trouvons aussi ce type de capteurs dans les nouvelles générations de caméras de diffusion 2/3", alors que le type **CCD** est dépassé par la technologie analogique.



Figure 21. Exemples de caméra intégrant des capteurs CMOS

---

<sup>1</sup>Digital Single-Lens Reflex: c'est un appareil photographique numérique utilisant un capteur numérique de grande taille et ayant une visée reflex et permettant de changer l'objectif

Tableau 5. Réflexion sur les capteurs en 2012[77]

	CMOS	CCD
Impliqué dans les dernières technologies	X	-
Capteur tout numérique	X	-
Grande valeur marchande	X	-
Vitesse d'horloge	Faible	Elevée
Fiabilité	Haute	Basse
Coûts de maintenance	Faible	Elevé
Puissance	Faible	Elevée

### 2.2.3 Les capteurs vidéo intelligents

La notion de capteur intelligent était au début de son apparition un peu exagérée car, le sens de cette description était dirigé vers des fonctionnalités spécifiques comme par exemple la capacité d'un capteur à s'adapter aux conditions lumineuses [79]. Dans un système de vision classique comme l'exemple de la Figure 22, le capteur d'images qui est constitué d'une matrice d'éléments photosensibles ( $M \times N$ ) est associé à un convertisseur analogique numérique mis à l'extérieur de la matrice de pixels et un processeur arithmétique qui joue le rôle d'unité de traitement numérique.

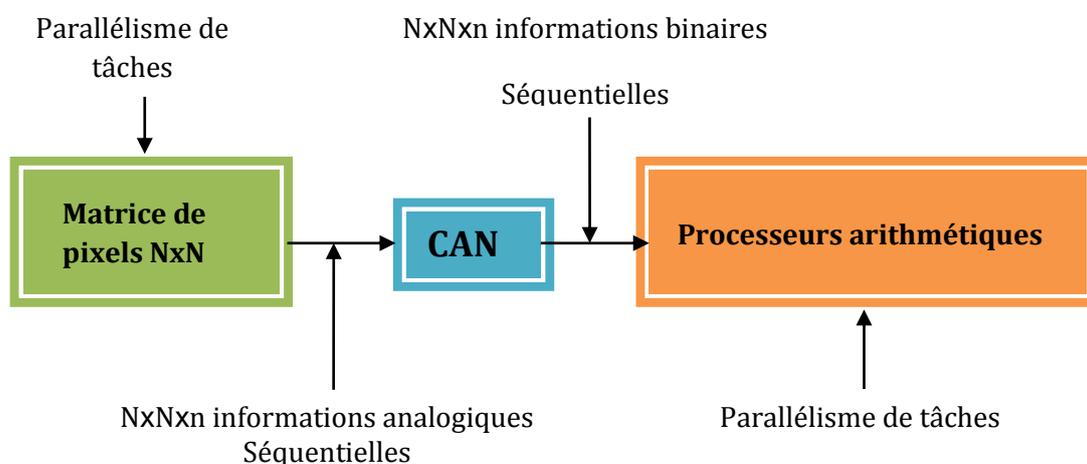


Figure 22. Architecture d'un système de vision classique

La limite de cette configuration est que les performances du traitement en temps réel sont freinées à cause du goulot d'étranglement entre le capteur d'images et le processeur arithmétique. En effet, au lieu de profiter de ce parallélisme naturel, le système classique sérialise les données analogiques de la matrice de pixels pour les injecter dans un CAN. Ensuite, les informations sont de nouveau parallélisées pour être traitées par plusieurs processeurs arithmétiques, et ceci affecte le traitement temps réel. Vu que la technologie CCD ne permet pas l'accès aléatoire et l'intégration de fonctions électroniques au niveau du pixel, la majorité des travaux qui existent aujourd'hui utilisent la technologie CMOS et

portent sur l'intégration d'une matrice photosensible et d'une unité de traitement. Les progrès des procédés de fabrication **CMOS** permettent la réalisation de capteurs avec une taille de pixel en deçà de 2 microns [79]. Cependant, l'utilisation d'un élément de traitement par pixel donne la possibilité de réaliser des calculs massivement parallèles. De nos jours, la capacité du capteur à interagir avec les éléments et les caractéristiques physiques de la scène observée ou de son environnement, plus l'introduction d'une unité de calcul miniaturisée définissent le capteur intelligent. On parle aussi de capteurs programmables et adaptatifs.

Nous pouvons présenter un capteur intelligent comme étant un système global composé de plusieurs sous-systèmes dont les fonctions sont clairement distinctes (un ou plusieurs capteurs, des conditionneurs associés, un organe de calcul interne et une interface de communication). Cette architecture est présentée sur la Figure 23[80].

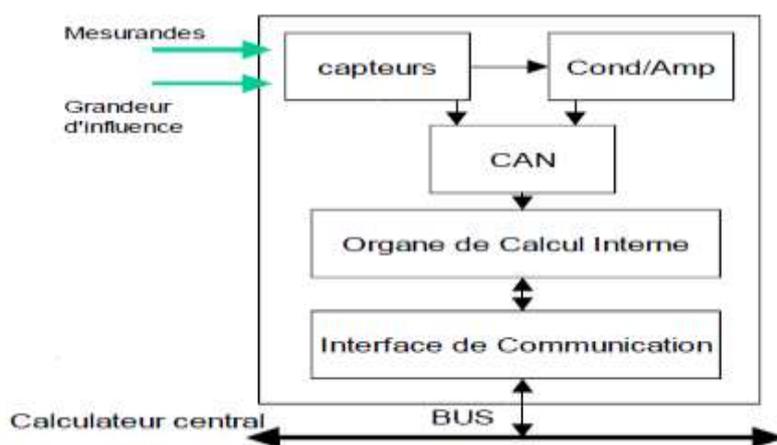


Figure 23.Composition d'un capteur intelligent

Ces capteurs intelligents constituent aujourd'hui un axe de recherches majeures et un sujet de développement industriel important, en particulier sur toutes les phases du procédé de fabrication. Les principales différences entre un capteur classique et un capteur intelligent résident dans la capacité de calcul interne et l'interface de communication bidirectionnelle. Le capteur intelligent fournit une mesure et d'autres services liés à la métrologie (auto-adaptabilité, remplacement des données manquantes, validation de mesure traitement du signal...), à la maintenance (auto-surveillance, autodiagnostic, contrôle à distance...) et à la mise en service (initialisation, mise en veille/réveil, configuration à distance...).

Plusieurs capteurs disponibles sur le marché de nos jours sont intelligents grâce au traitement numérique important qu'ils intègrent et aux diverses options dont ils disposent (comme par exemple : les appareils photos, les caméras **HD**, les caméscopes...). Cependant, nous devons garder en tête que, pour notre cas, nous devons utiliser une technologie à la fois non intrusive, performante et peu coûteuse.

Dans le Tableau 6, nous avons comparé les technologies les plus utilisées aujourd'hui.

Tableau 6. Comparaison entre plusieurs technologies de capteurs vidéo

	Leap Motion [82]	Motion-Zone [83]	WAVI-XTION [84]	Kinect [85]
				
Type capteur	Infrarouge	<b>CMOS</b>	<b>CMOS</b>	<b>CMOS</b>
Technologie	Temps de vol	Temps de vol	Temps de vol	Codage lumière
Zone de travail	rayon de 1 m	Non indiqué	1,5 m à 3,5 m	De 0,4 à 4,5 m
Fonctionnalités	Détecter les mouvements des mains Contrôler les PC et les Smartphones	25 jeux intégrés sans manettes, sans console Graphisme moyen Pas de logiciel pour développement	Permet les jeux sans manettes sur le PC Graphisme Moyen Fonctionnalités réduites Possibilité de développement avec un kit logiciel	Plusieurs jeux sans manettes Graphisme de haute qualité Possibilité de développement avec un kit logiciel
Coût	80\$	60€	\$250-\$300 selon les versions	100€-200€ selon la version

## 2.2.4 Justification du choix du capteur vidéo

A partir des comparaisons entre les familles **CCD** et **CMOS** et selon les technologies disponibles et les besoins de notre application, nous avons orienté notre choix sur le capteur vidéo Kinect face aux avantages qu'il représente par rapport aux autres capteurs. Ce périphérique, qui est initialement conçu pour les jeux vidéo, peut être utilisé dans d'autres applications y compris l'industrie, la robotique, l'éducation et la domotique. Grâce au kit logiciel (**SDK**) [84] fourni par Microsoft en version non commerciale, il dispose de plusieurs fonctionnalités et de bibliothèques facilitant le traitement des images capturées, la séparation des flux de squelette, de couleurs et de profondeur. Le capteur offre alors aux utilisateurs un terrain de créativité immense. Un autre avantage est la technologie 3D utilisée que nous détaillerons dans le paragraphe suivant. Cette technologie performante nous servira pour masquer l'identité des personnes à surveiller car il est possible actuellement de manipuler le flux de profondeur séparément. Une autre raison pour ce choix, est la distance de travail ou la zone de détection qui varie entre 0,4m et 4,5 m. Contrairement au capteur « *Leap Motion* » qui nécessite d'être très proche du capteur, cette distance semble raisonnable et bien adaptée pour une surveillance à domicile où il est possible de mettre 2 ou 3 capteurs dans une même pièce. L'interaction naturelle ou encore « *Natural Interaction* » en anglais, est l'opportunité de commander son appareil avec son propre corps sans un dispositif de contrôle intermédiaire (clavier, souris, manette, télécommande...). Cette fonctionnalité, ainsi que d'autres avantages, nous a amené à choisir la caméra 3D Kinect comme capteur vidéo pour notre application.

## 2.3 Le capteur Kinect

### 2.3.1 Description

Le capteur Kinect est un capteur vidéo constitué d'une barre horizontale reliée à une petite base avec un pivot motorisé, conçu pour être placé au-dessus ou en dessous de l'affichage vidéo (téléviseur, moniteur...). Le dispositif comporte une caméra **RGB**, un capteur de profondeur et un microphone multi-réseau (voir Figure 24).



Figure 24. Composants de la Kinect [85]

Le capteur de profondeur se compose d'un projecteur laser infrarouge combiné à un capteur **CMOS** infrarouge monochrome, qui capture des données vidéo infrarouge en 3D dans toutes les conditions de lumière ambiante. Le rayon de détection de ce capteur est réglable avec le **SDK** de Microsoft. Ce dernier est capable de calibrer automatiquement le capteur en fonction de l'environnement physique de l'utilisateur, pouvant accueillir la présence des meubles ou d'autres obstacles.

### 2.3.2 Caractéristiques techniques

#### 2.3.2.1 Capteur

- Lentilles détectant la couleur et la profondeur
- Micro à reconnaissance vocale
- Capteur motorisé pour suivre les déplacements

#### 2.3.2.2 Champ de vision

- Champ de vision horizontal : 57 degrés
- Champ de vue vertical : 43 degré
- Plage d'inclinaison physique :  $\pm 27$  degrés
- Zone de détection de profondeur : de 0,4 m à 4,5 m (selon les versions)

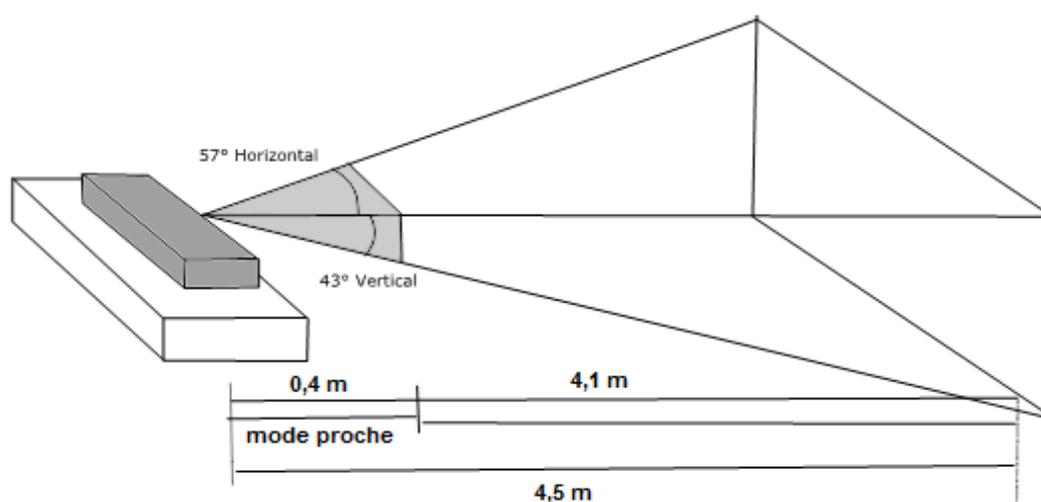


Figure 25. Champs de vision de la Kinect [86]

#### 2.3.2.3 Flux de données

- 320 × 240 profondeur 16-bit à 30 images / sec
- 640 × 480 couleur 32-bit à 30 images / sec
- 16-bit audio à 16 kHz

#### 2.3.2.4 Système de suivi du squelette

- Jusqu'à 6 personnes, dont 4 joueurs actifs (depuis le **SDK** 1.0 jusqu'à la version 1.8)
- 20 articulations par joueur actif

#### 2.3.2.5 Fonctionnalités logicielles

- Détection en mode proche : à partir de 40 cm du capteur (seulement avec la Kinect pour Windows)
- Kinect Fusion : fusion de l'image couleurs avec l'image en 3D
- Reconnaissance audio
- Reconnaissance de visage (uniquement sur les images couleurs)
- Possibilité de développement avec plusieurs langages (C++, c#, VB, Java)

### 2.3.2.6 Reconstruction de l'image 3D avec la Kinect

La plupart des technologies 3D utilisent une variété de méthodes qui peuvent être regroupées en une seule technique qui s'appelle « *temps de vol* » [93]. Elle utilise des impulsions de lumière et calcule la différence de temps entre l'impulsion et le retour vers le capteur. Quant au périphérique Kinect, il est basé sur une technologie logicielle développée par la société *PrimeSense* [88]. La Kinect interprète les informations sur la scène 3D obtenue à travers une lumière infrarouge structurée et projetée en continu. Ce système de scanner 3D appelé « *Light Coding* » ou « codage lumière » utilise une lumière infrarouge très proche de la lumière visible qui immerge la scène. Elle est qualifiée par ses concepteurs de « système sophistiqué d'algorithmes parallèles de calcul » qui décrypte les données IR en une image en profondeur grâce à un système sur puce **SOC** nommé PS1080 (voir Figure 26).

Cette technologie, comme le temps de vol, fonctionne quelles que soient les conditions d'éclairage de la scène. D'après la société, les fabricant qui utilisent le temps de vol doivent développer leur propre capteur **CMOS** [93]. Ils passent beaucoup de temps à aboutir à une certaine résolution. C'est une tâche difficile, alors que *PrimeSense* peut facilement jouer avec les paramètres comme la résolution, la gamme, le champ de vision... afin de l'adapter à différents scénarios, en utilisant des composants standards qui permettent non seulement une facilité de mise en production de masse, mais aussi de donner beaucoup de flexibilité dans la conception, lui permettant ainsi de fonctionner dans différents domaines.

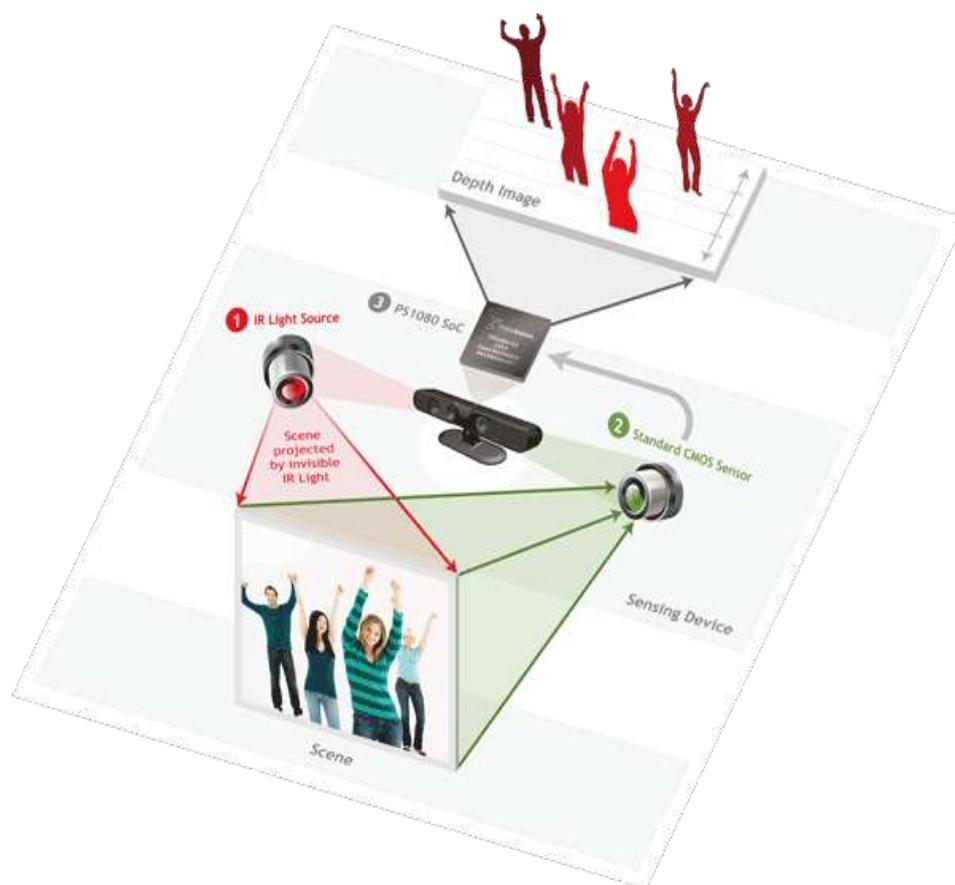


Figure 26. Fonctionnement du capteur Kinect [86]

### 2.3.3 Différentes versions matérielles

Le Tableau 7 présente les gammes du capteur Kinect et leurs détails techniques.

Plusieurs versions hardware du périphérique étaient présentes sur le marché. Les kits de développement logiciels (**SDK**), non pas cessé d'évoluer non plus et ont commencé de la version 1.0 beta jusqu'à la dernière version à ce jour-là (v1.8).

Tableau 7. Comparaison entre les différentes versions du périphérique Kinect

Propriétés	Kinect for XBOX	Kinect for Windows v1	Kinect for Windows v2.0
Champs de vision	57° H, 43° V	57° H, 43° V	70°H, 60° V
Interface de données	USB 2.0	USB 2.0	USB 3.0
Champs de profondeur	1.8m-4m	0.4m-4.0m	0.4m-4.5m
Flux de couleurs	640x480 à 30FPS	640x480 à 30FPS	1920x1080 à 30FPS
Flux de profondeur	320x240	320x240	512x424
Flux infrarouge	Non	Non	512x424
Flux audio	4 micros	4 micros	4 micros
Moteur d'inclinaison	Oui	Oui	Non
Nombre d'articulations	20	20	26
OS supporté	Win 7	Win 7, Win 8	Win 8
Mode proche	Non	Oui	Oui
Suivi de personnes	2	2	6
Prix	\$99	\$223	\$399

Dans notre travail, nous avons utilisé tout d'abord la Kinect pour Xbox puis la Kinect pour Windows v1 (dès sa sortie) avec la version 1.7 du **SDK**.

## 2.4 Mise en œuvre et tests préliminaires du réseau de Kinect pour la surveillance

Après cette présentation des capteurs vidéo et du périphérique choisi, nous passons à la mise en œuvre préliminaire de notre solution. Nous voulons créer un réseau de capteurs connectés par un réseau IP (Internet Protocol), dont l'objectif est de fournir une large couverture dans l'habitat, et pour permettre ainsi la transmission de données issues d'un ensemble de nœuds de type Kinect. Imaginons un habitat intelligent où les personnes à mobilité réduite sont surveillées 24h/24h, contre les chutes en particulier. Les personnes sont capables de contrôler leur domicile (allumer ou éteindre la lumière, ouvrir les portes, gérer la climatisation...) avec leurs propres gestes. Pour cela, il suffit que la personne soit dans la zone de couverture du réseau de capteurs vidéo et fasse le geste approprié au service demandé.

Afin de déployer ce réseau dans des bâtiments nécessitant une surveillance ou une assistance particulière pour les habitants, nous avons intérêt à élargir les zones de couverture en déployant le maximum de nœuds capteurs vidéo. Notre réseau IP de capteurs vidéo peut associer les technologies de communications les plus répandues. Nous pouvons imaginer une architecture de réseau hybride liant plusieurs nœuds capteurs avec différentes technologies de communications. Dans cette architecture représentée dans la

Figure 27, il est possible de concevoir un réseau **LANIP** (Local Area Network) de type Ethernet, **CPL** (Courant porteur en Ligne) ou un réseau sans fil maillé sur lequel on

peut utiliser les protocoles **OLSR** ou 802.11s. Grâce à un switch/routeur, l'ensemble peut être connecté à un WAN IP (Wireless Area Network) ou tout autre type de réseau (voir

Figure 27).

## 2.4.1 Choix de la topologie réseau LAN

### 2.4.1.1 Ethernet

Ethernet (aussi connu sous le nom IEEE 802.3) est le principal standard de transmission de données pour réseau local filaire. Le principe de transmission est le suivant : tous les ordinateurs d'un réseau Ethernet sont reliés à une même ligne de transmission, et la communication se fait à l'aide d'un protocole appelé CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*)<sup>2</sup>. Avec ce protocole, toute machine est autorisée à émettre sur la ligne à n'importe quel moment et sans notion de priorité entre les machines, si le médium est détecté libre. Ethernet est une technologie de réseau très utilisée. Elle présente l'avantage d'avoir un débit de transmission élevé (de 10 Mbits/s à 1 Gbits/s) et un coût d'installation réduit [89]. Les versions actuelles d'Ethernet sont basées sur des commutateurs ou switches, ce qui évite encore plus les collisions et favorise des débits utiles plus grands qu'en mode partagé.

### 2.4.1.2 Courant Porteurs en Ligne

La communication par courants porteurs en ligne (abréviation : **CPL**) permet de construire un réseau informatique sur le réseau électrique d'une habitation ou d'un bureau. Son principe consiste à superposer au courant électrique alternatif de 50 ou 60 Hz, un signal à plus haute fréquence et de faible énergie [90]. Ce deuxième signal se propage sur l'installation électrique et peut être reçu et décodé à distance. Ainsi, le signal **CPL** est reçu par tout récepteur ou *MoDem CPL* qui se trouve sur le même réseau électrique.

---

<sup>2</sup>Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection: c'est un protocole qui gère le partage de l'accès physique au réseau Ethernet, selon la norme IEEE802.3

Etude et mise en œuvre préalable d'un réseau de capteurs vidéo pour la surveillance à domicile

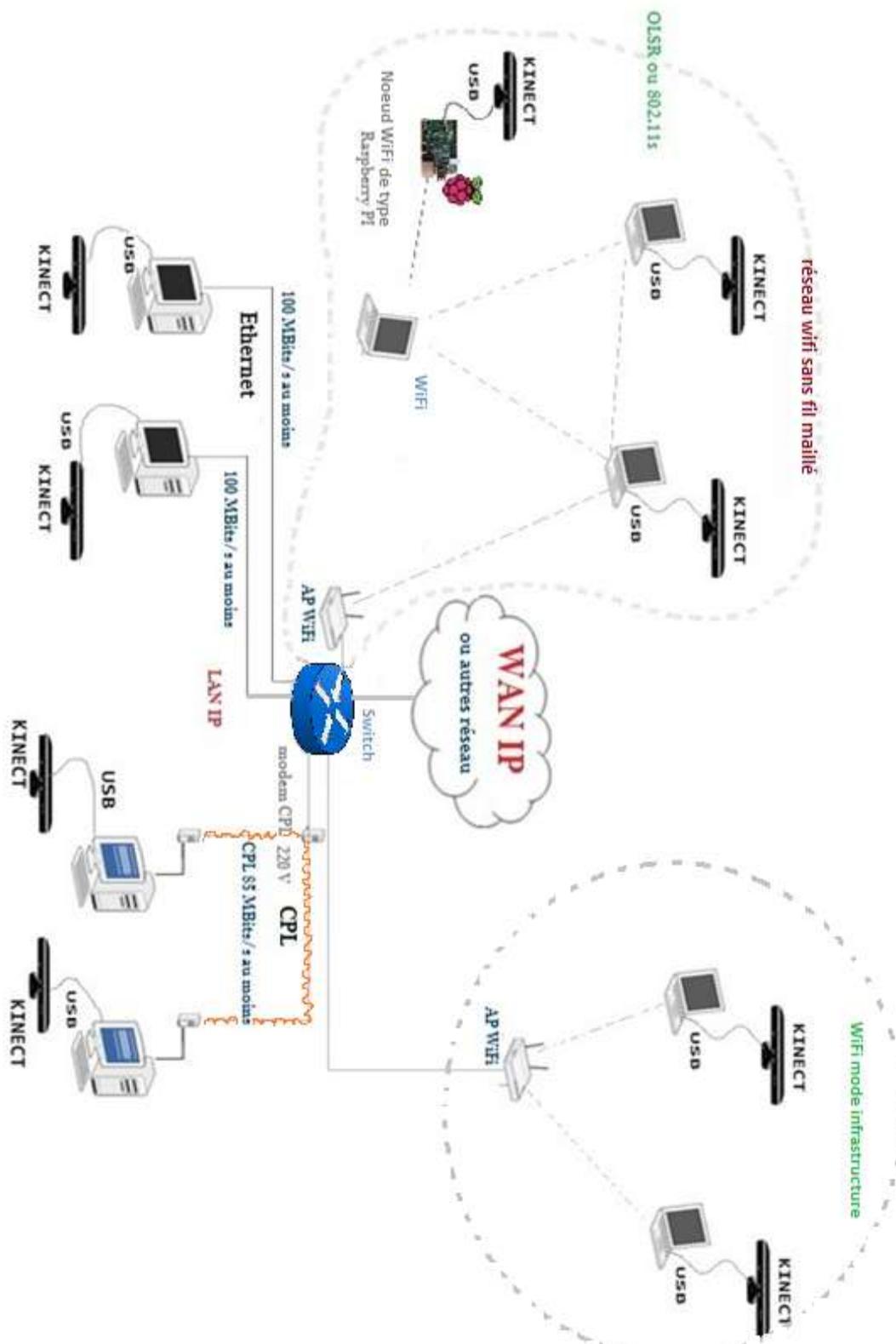


Figure 27. Topologie globale du réseau IP de Kinect

L'inconvénient majeur de cette technologie et que le réseau électrique n'est pas adapté au transport de hautes fréquences car il n'est pas blindé. En conséquence, la plus grande partie de l'énergie injectée par le modem **CPL** est rayonnée sous forme d'onde radio [90]. Suivant les normes, des débits de 80 à 200 Mbits/s sont néanmoins possibles.

### 2.4.1.3 WiFi

Les standards sans fil existants sont divers et varient en termes de complexité, coût et consommation d'énergie. Le choix dépend alors de l'application et des besoins. Parmi les technologies sans fil les plus répandues pour les réseaux de capteurs (Zigbee, Bluetooth et *WiFi*), nous avons choisi la norme *WiFi* face aux avantages qu'elle présente par rapport aux autres technologies (voir Tableau 8). Ce standard permet la transmission sans fil de données entre plusieurs appareils (ordinateurs, appareils mobiles...). Il bénéficie d'une portée importante ainsi qu'un débit de transmission élevé qui seront utiles pour notre application. Grâce aux normes *WiFi* 802.11, il est possible de créer des réseaux sans fil haut débit [91].

Tableau 8. Comparaison entre les normes sans fil [91]

Norme	ZigBee	Bluetooth	WiFi
IEEE	802.15.4	802.15.1	802.11 a/b/g/n
Mémoire requise	4-32 Kb	250 Kb+	1 Mb+
Autonomie des batteries	années	jours	heures
Nombre de nœuds	65 000+	7	32 ou +
Débit de transmission	250 Kbps	1 Mbps	11-54-300 Mbps
Portée	100m	10-100 m	300 m

Parmi le panel de version 802.11, les normes les plus répandues sont :

- 802.11b : norme historiquement la plus répandue. Débit théorique de 11Mbit/s et réel de 6Mbit/s. Portée de 300m environ.
- 802.11g : norme la plus répandue actuellement. Débit théorique de 54Mbit/s et réel de 25Mbit/s. Compatibilité ascendante avec 802.11b.
- 802.11n : norme plus récente. Débit théorique de 300 Mbits/s et réel de 100 Mbit/s. Utilisation de 8 canaux pour un débit maximal.

Ces normes *WiFi* 802.11 citées répondent toutes à une topologie centralisée (voir Figure 28). Une topologie ad-hoc existe également mais n'est pas adaptée à notre application.



Figure 28. Topologie centralisée dite « avec infrastructure »

Cette topologie a l'inconvénient d'être centralisée sur au moins un point d'accès qui, en cas de panne posera un problème au niveau du réseau. Néanmoins, d'autres normes existent, qui améliorent entre autre le débit, la portée et la compatibilité inter-normes. La plus adaptée à notre projet est une norme en cours d'élaboration mais néanmoins utilisable. Il s'agit de 802.11s ou *WiFi* maillé.

#### 2.4.1.4 WiFi maillé 802.11s

Cette version de *WiFi* permet de former une topologie maillée sans fil avec plusieurs points d'accès *WiFi*. Contrairement à une topologie classique avec une ou plusieurs stations de base et un ou plusieurs clients, tous les hôtes sont connectés de proche en proche sans hiérarchie centralisée et sans liens matériels. L'un des buts de cette architecture maillée est de palier à une éventuelle panne d'un point d'accès *WiFi* ou des liens associés. En effet, si une des bornes jouant le rôle de relai, vient à être inutilisable, les données passeront par une autre route, grâce à un protocole spécifique (voir Figure 29).

Cette norme sert aussi à faire transiter les informations sur une grande distance, en se servant des bornes intermédiaires entre le point de départ et le point d'arrivée. La norme 802.11s permet de créer des réseaux étendus, de faire évoluer rapidement et facilement la couverture, et offre une forte tolérance aux pannes, de par sa topologie qui autorise de nombreux chemins. Cette norme peut donc être utilisée pour couvrir une zone géographique importante, sans contraintes filaires.

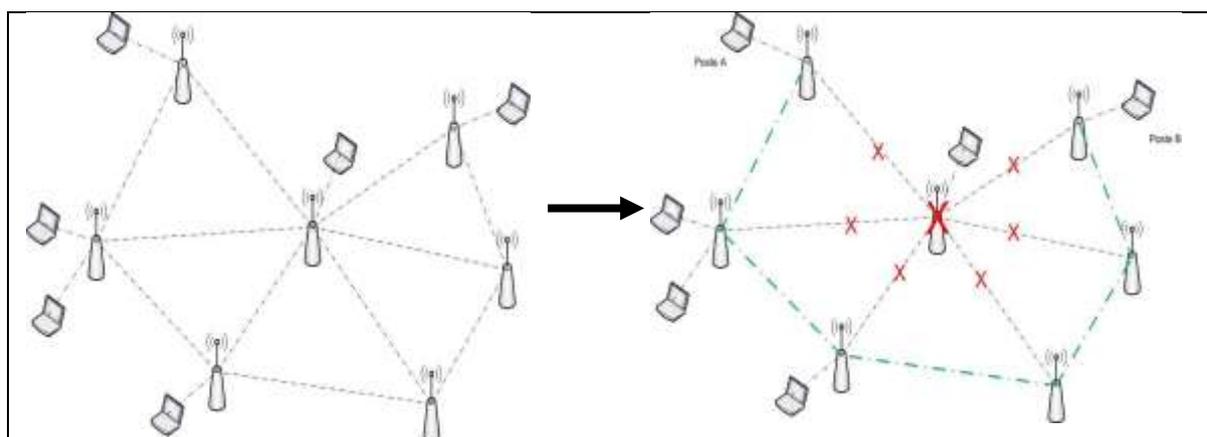


Figure 29. Topologie et chemins *WiFi* maillés

Nous avons donc choisi d'intégrer 802.11s dans l'éventail des architectures réseau potentielles puisqu'il permet de connecter différents appareils sans fil sans une architecture particulière. Ceci nous permettra d'étendre le réseau de Kinect dans les cas d'immeubles ou de maisons de retraite par exemple, ne disposant pas de liens filaire Ethernet, et où les liens **CPL** ne fonctionneraient pas bien.

## 2.4.2 Etude et mise en place du réseau WiFi maillé

L'une des problématiques majeures d'un réseau maillé sans fil basé sur 802.11 est la gestion des mailles et le relai ou routage à effectuer pour atteindre une destination à plus qu'un seul saut radio. Les réseaux maillés *WiFi* étant relativement récents, encore peu de protocoles sont potentiellement utilisables. On en compte actuellement deux principaux :

- **OLSR**
- 802.11s

### 2.4.2.1 OLSR ou *Optimized Link State Routing Protocol*

#### 2.4.2.1.1 Principe

**OLSR** est un protocole de routage (niveau 3) essentiellement destiné aux réseaux maillés ou mobiles [92]. Le principe consiste à utiliser des relais multipoints qui désignent tous les nœuds qui sont à deux sauts du nœud en question (Figure 30). Ces relais multipoints servent à construire des tables de routage en envoyant régulièrement des requêtes Hello et *Topology Control (TC)* au voisinage proche.

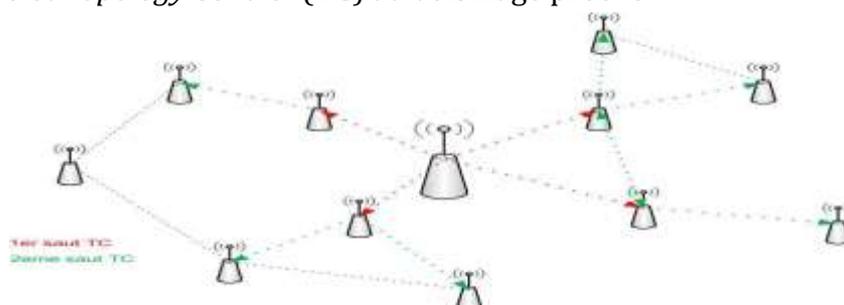


Figure 30. Principe d'OLSR

Pour ne pas surcharger le réseau, les requêtes Hello et TC ne sont envoyées qu'à deux sauts du nœud qui demande les informations.

#### 2.4.2.1.2 Test du routage OLSR

Afin de prouver le bon fonctionnement et tester ses capacités, nous avons mis en œuvre un réseau *WiFi* maillé basé sur le protocole **OLSR**. La configuration de ce protocole de routage sur le réseau maillé a été faite en utilisant des passerelles Linux et la distribution *olsrd* disponible sous cet OS. Une fois le protocole **OLSR** lancé sur les nœuds, nous éloignons les machines et nous les plaçons comme dans la Figure 31 .

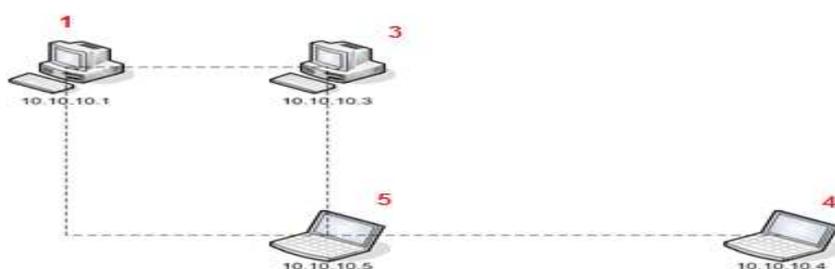


Figure 31. Test du routage *OLSR*

Le réseau maillé déployé est constitué de quatre machines. A chaque machine est attribuée une adresse IP comme montré sur la figure. Nous avons aussi indiqué les numéros des postes selon les adresses IP.

Il est à noter que les nœuds "1" et "3" sont placés dans la même pièce au premier étage du bâtiment recherche de l'IUT de Blagnac. Le nœud "5" est placée en rez-de-chaussée tandis que le nœud « 4 » est placé dans l'entrée du bâtiment de recherche.

Chaque PC exécute **OLSR** sur la distribution Linux Xubuntu 11.10-64 bits. Lors du test de routage, nous avons remarqué que :

- le PC "4" ne capte que le PC "5",
- le PC "5" capte tous les autres (1, 3, 4).

Une fois les quatre machines démarrées, un chemin de routage (*TraceRoute*) est calculé du PC "4" vers le PC "1". Les résultats concernant le temps de réponse sont présentés dans la Figure 32. Temps de réponse jusqu'au nœud "1". D'autres paramètres ont été mesurés en sortie du réseau de test (voir Tableau 9).

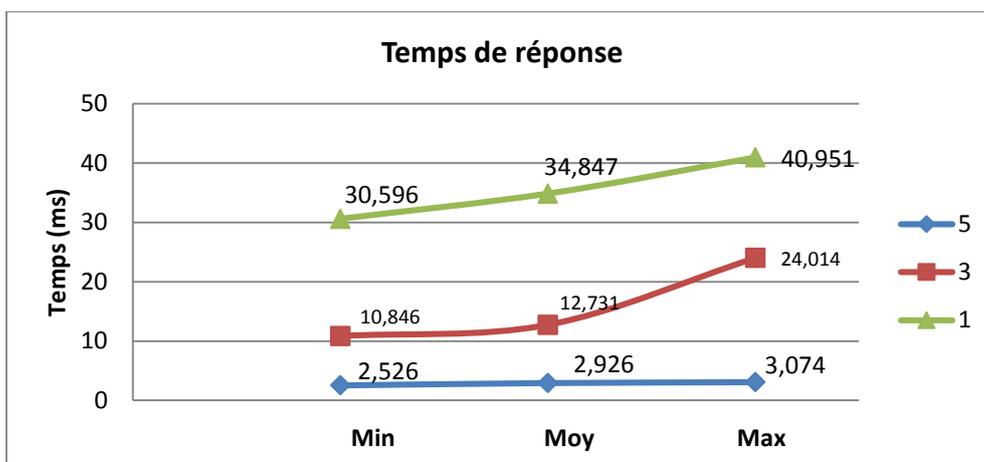


Figure 32. Temps de réponse jusqu'au nœud "1"

Tableau 9. Table du routage

Machine	Qualité du lien	ETX
5	0983/0.940	3.074
3	0.489/0.000	infini
<b>Saut 2-voisins</b>		
Adresse IP (2-sauts)	Adress IP (1-saut)	Coût total
5	10.10.10.3	infini
3	10.10.10.5	2.468
1	10.10.10.1	infini

D'autres métriques ont été également analysées comme :

- LQ : *Link Quality* (Qualité du lien)
- ETX : *Expected Transmission Count* : il s'agit du nombre de transmissions attendues.

Où :

$$ETX = \frac{1}{NLQ \times LQ} \quad (1)$$

Et :

- NLQ : *Neighbor Link Quality* : Qualité du lien du nœud voisin
- Total Cost = coût du chemin (= ETX)

Nous pouvons donc voir à partir de ce tableau que le poste 5 est directement joignable. Ce qui n'est pas le cas du poste 3. Mais il est possible de joindre le PC 3 en effectuant un saut par le poste 5.

À ce stade, nous avons implanté le protocole **OLSR**. Ce test nous a permis d'avoir une idée sur le temps de réponse de routage entre les nœuds ainsi que d'autres métriques réseaux comme la qualité des liens (*Link Quality*) et le nombre de transmissions attendues

(ETX). Ce dernier est infini quand deux machines ne sont pas à la portée l'une de l'autre : c'est le cas de la machine 4 qui ne peut pas accéder aux machine 1 et 3 directement, mais en faisant un saut sur la machine 5.

### 2.4.2.2 Test du relais 802.11s

Le routage d'**OLSR**, aussi appelé sélection de chemin, consiste à trouver la route optimale, il s'agit donc d'un protocole de niveau 3. Les protocoles de relais de 802.11s fonctionnent eux au niveau 2 du modèle OSI. Au début, la configuration cible d'un réseau 802.11s vise jusqu'à 32 entités participantes. Mais les configurations avec plus de nœuds restent possibles. Le protocole de relai consiste à utiliser un mécanisme de requêtes. Quand un point d'accès veut connaître le chemin vers un autre, il envoie en diffusion une requête de demande de chemin. Ce message sera diffusé de proche en proche jusqu'à atteindre le point d'accès désiré.

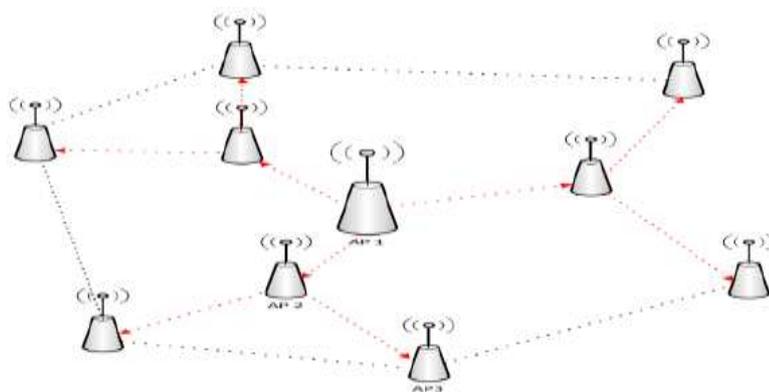


Figure 33. Diffusion des requêtes 802.11s

Pour tester le routage 802.11s, une configuration est nécessaire pour vérifier la compatibilité du noyau Linux et de la carte réseau avec la norme. Il est aussi nécessaire de configurer une interface virtuelle (que nous avons appelé mesh0) assignée à l'interface physique (**WLAN0**) et changer le canal d'émission afin de sortir les bandes d'émission du *WiFi* classique.

Un aperçu de la topologie du réseau est représenté à l'aide de la commande :  
iw dev mesh0 mpath dump :

```
root@PC-TP-69:~# iw dev mesh0 mpath dump
DEST ADDR      NEXT HOP      IFACE
00:1e:58:48:15:5f 00:00:00:00:00:00 mesh0
94:39:e5:a2:75:bd 94:39:e5:a2:75:bd mesh0
00:1e:58:48:15:13 00:1e:58:48:15:13 mesh0
```

Figure 34. Aperçu de la topologie du réseau

Dans cet imprimé d'écran, la première adresse MAC correspond au poste où on tape la commande. Il n'y donc pas de « *Next hop* » ou saut suivant. Les autres adresses sont des machines distantes et directement accessibles. Nous avons éloigné les postes et utilisé la même commande :

```
root@PC-TP-69:~# iw dev mesh0 mpath dump
DEST ADDR          NEXT HOP           IFACE
00:1e:58:48:15:5f  00:00:00:00:00:00 mesh0
94:39:e5:a2:75:bd  94:39:e5:a2:75:bd mesh0
00:1e:58:48:15:13  94:39:e5:a2:75:bd mesh0
```

Figure 35. Deuxième aperçu de la topologie du réseau

On aperçoit la même chose pour la première et la deuxième adresse MAC. En revanche, on voit que la troisième adresse n'est plus accessible directement et fait un saut sur la deuxième.

Il est possible de voir l'état de la connexion de chaque PC, leur puissance d'émission/réception, le débit négocié à la connexion et d'autres informations grâce à la commande : `iw dev mesh0 station dump` :

```
Station 00:1e:58:48:15:5f (on wlan0)
inactive time: 124 ms
rx bytes:      14516
rx packets:    102
tx bytes:      5836
tx packets:    27
signal:        -24 dBm
tx bitrate:    38.0 MBit/s
mesh plink:    ESTAB
```

Figure 36. Etat de connexion

Il est à noter que pour le fonctionnement de 802.11s, nous avons utilisé sur toutes les machines, les mêmes distributions et versions de noyaux. En effet, lorsque la version du noyau diffère, l'état du lien n'est pas ETAB (pour établie) mais LISTN (pour écoute).

Notre réseau sans fil maillé est donc configuré et fonctionne en répondant aux attentes. Comme nous l'avons expliqué auparavant, lors de la détection de la chute d'une personne, nous voulons accéder aux données Kinect appropriées et vérifier son l'état. Nous avons alors pensé à transporter ces données pour pouvoir y accéder à partir d'un autre nœud du réseau assez éloigné.

### 2.4.2.3 Transport des données Kinect par le réseau WiFi maillé : technologie USB over IP

Parmi les différentes solutions qui se présentaient à nous, nous avons tout d'abord décidé de centraliser le traitement informatique des données extraites des Kinects. Pour se faire, nous avons utilisé le système de communication **USB** over *IP* qui permet de transporter les trames **USB** directement sur un réseau *IP* par encapsulation.

#### 2.4.2.3.1 Intérêts

Afin de récupérer les données issues des différents capteurs Kinects et de les transférer à travers le réseau *WiFi* maillé, nous avons cherché des solutions permettant de passer le flux **USB** sur un réseau de type *IP*, le plus facile étant de mettre directement les trames **USB** dans les paquets *IP*. Nous avons essayé la technologie appelée **USB** over *IP*, gratuite et directement disponible sur la plupart des distributions Linux. Cette technologie permet le partage de périphériques **USB** sur le réseau avec leurs caractéristiques complètes (voir Figure 37). Pour encapsuler les données de la Kinect et les transmettre, le réseau *WiFi* maillé doit supporter la charge **USB**. A l'aide du programme "*WireShark*", nous avons mesuré le débit de flux des données Kinect via **USB**. Les résultats nous ont montré que ce débit était d'environ 180 Mbits/s.

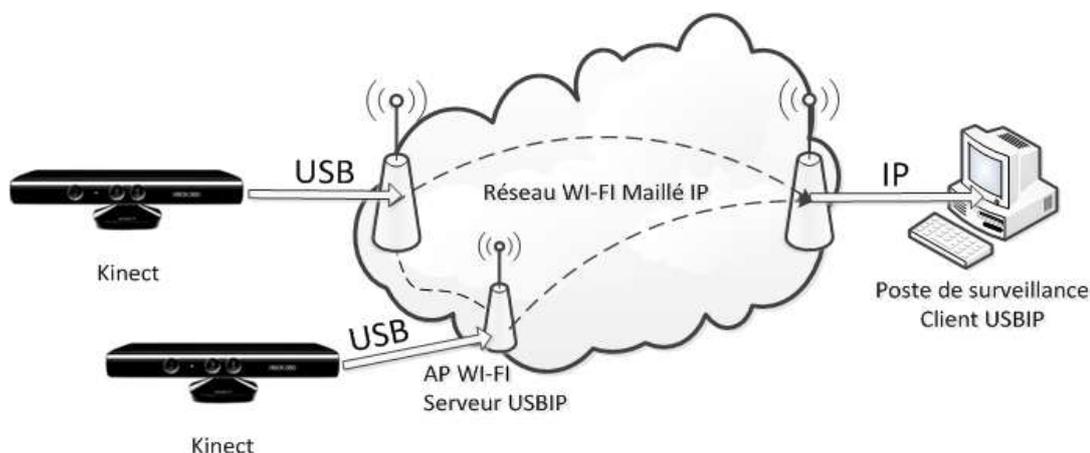


Figure 37. Schéma global du transfert des données des Kinects

#### 2.4.2.3.2 Mise en place

L'installation est à faire à la fois sur le point d'accès *WiFi* (un PC servant à la fois d'hôte Kinect et de point d'accès 802.11) qui va partager son périphérique USB et sur le poste de surveillance qui lui va récupérer les données issues du périphérique USB. Sur le serveur (AP *WiFi*), et pour partager le périphérique USB, il faut savoir que la Kinect est reconnue comme trois périphériques distincts par les systèmes Linux : un capteur d'image, un capteur de profondeur et un capteur audio. Il faut donc partager trois périphériques afin de récupérer la totalité des flux USB de la Kinect.

#### 2.4.2.4 Analyse des performances en conditions réelles

Afin de mesurer les performances du réseau *WiFi* maillé, et voir si les débits possibles sont compatibles avec les 180 Mbits/s nécessaires et mesurés ci-dessus pour l'USB over *IP*, nous avons utilisé le logiciel "iperf" pour charger et évaluer le réseau. Comme il s'agit d'une application console, il faut en plus installer Jperf afin d'avoir une interface graphique. De nombreux tests ont été effectués lors de cette évaluation, nous ne présenterons ici que les plus représentatifs. Pour ces tests, nous supposons un réseau *WiFi* maillé composé de trois machines :

- Nœud 1 d'adresse *IP* 192.168.10.1 (PC1)
- Nœud 2 : 192.168.10.2 (PC2)
- Nœud 3 : 192.168.10.3 (PC3)

Le premier test est effectué sur le PC2, le PC1 servira de serveur. La figure suivante représente les résultats des tests. Nous identifions en vert, la courbe de la bande passante induite vers le PC1 d'environ 19Mbit/s ; en rose, la courbe de la bande passante vers le PC2 d'environ 14Mbit/s.

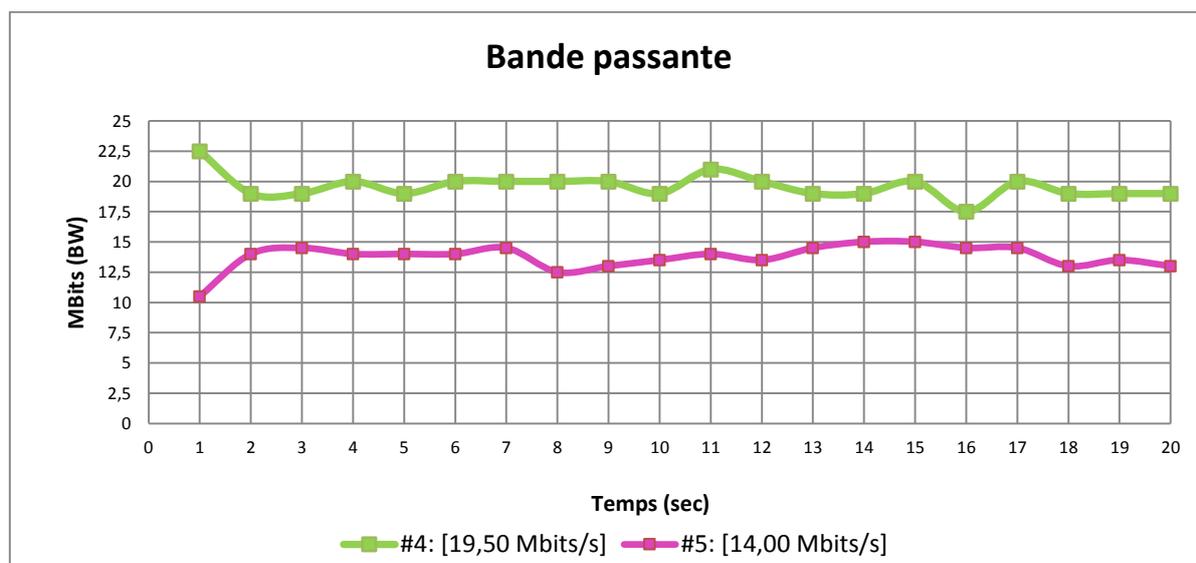


Figure 38. Jperf : Accès direct entre les PC1 et PC2

Le second test est réalisé sur le PC2, le PC3 servira de serveur. Comme le PC2 et le PC3 ne se voient pas, il y aura donc un saut effectué via le PC1. Nous identifions sur la figure suivante :

- En vert, la courbe de la bande passante vers le PC3 : environ 18Mbit/s
- En rose, la courbe de la bande passante vers le PC2 : environ 9Mbit/s

Nous avons pour ce réseau 802.11g, des débits théoriques de 54 Mbit/s, nous arrivons, sur la multitude des tests, à une moyenne de 18 Mbit/s effectifs.

Avec un saut, les débits sont donc encore plus faibles mais restent convenables pour une simple navigation Internet, mais pas pour notre besoin induit par USB over IP.

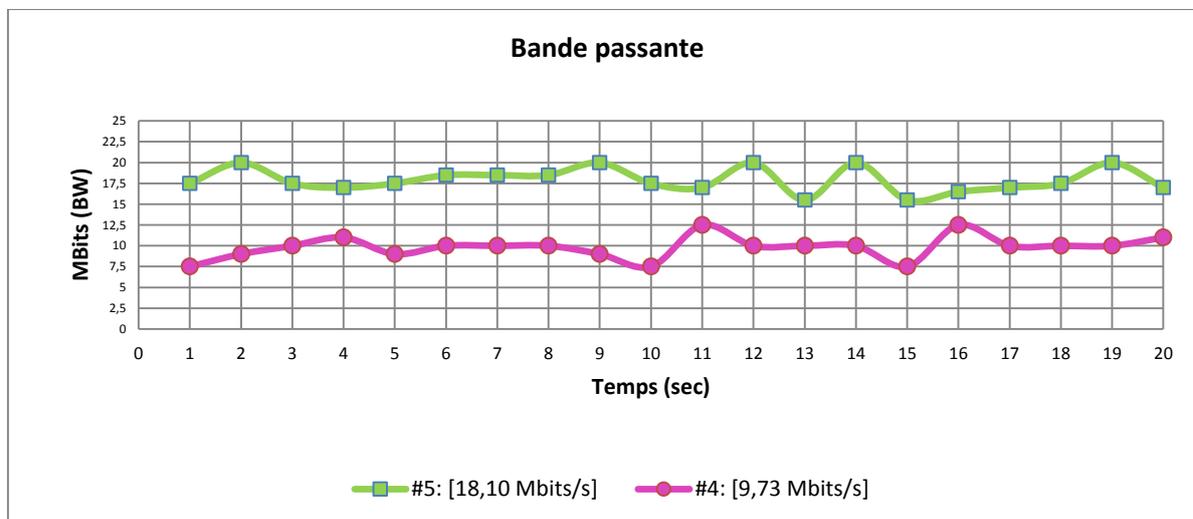


Figure 39. Accès avec saut entre les PC2 et PC3

#### 2.4.2.5 Résultat et conclusion

Les tests de performances nous ont montré que nous sommes bien loin de la bande passante nécessaire pour le flux de données Kinect à travers le *WiFi* maillé. La technologie est très facile à mettre en œuvre mais n'est pas adaptée à notre utilisation. En effet, elle a été pensée pour utiliser le réseau *IP* filaire (Ethernet) qui permet de faire transiter de grande quantité de données, telle que celles dont nous avons besoin pour transporter image, son et données issus des flux l'USB de la Kinect. Or dans notre cas, nous devons faire transiter parfois les données à travers un réseau *WiFi* maillé. Les débits d'un tel réseau ne sont pas suffisants pour permettre cet échange. Pour valider cette conclusion, nous avons fait plusieurs autres tests, dont le partage d'une souris d'un poste à un autre qui très bien fonctionné que l'on soit en réseau filaire Ethernet, **CPL** ou même *WiFi*. Le partage de la Kinect a fonctionné partiellement en réseau filaire Ethernet uniquement.

Nous verrons au chapitre suivant comment nous avons contourné cette difficulté en évitant de déporter l'analyse logicielle des flux USB des kinects et en utilisant des PC locaux pour chaque kinect.

### 2.5 Le bus logiciel IVY

Dans l'architecture topologique que nous proposons, deux grandes parties sont présentes. La première partie est constituée d'un réseau IP (Ethernet, **CPL**, *WiFi* ou *WiFi* maillé) constitué physiquement de machines auxquelles sont liés les capteurs vidéo, et que nous venons de tester. La deuxième partie concerne un réseau virtuel liant les nœuds

capteurs au travers d'un bus logiciel. Ce bus permettra d'échanger des requêtes entre les nœuds, connectés en tant qu'agents au bus, pour confirmer ou non la détection d'un événement précis (le cas d'une chute détectée) comme illustré sur la Figure 40 [125].

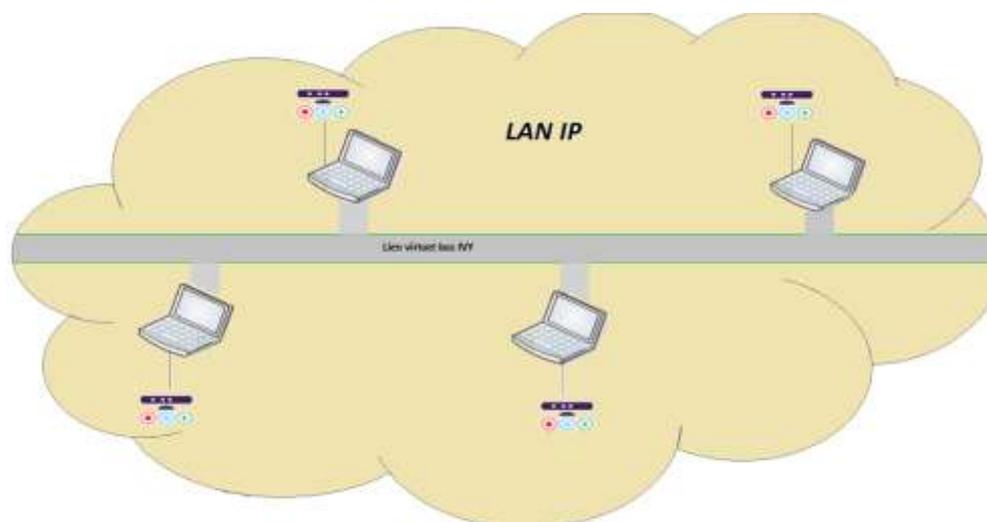


Figure 40. Architecture globale du réseau de Kinects

Nous décrivons en détails le fonctionnement et l'utilisation de ce bus dans le quatrième paragraphe du dernier chapitre.

## 2.6 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre de la thèse, nous avons introduit notre solution pour la surveillance des personnes âgées à domicile et nous avons présenté les technologies choisies. Pour cela, nous avons réalisé et testé un réseau de capteurs Kinect sans fil avec une topologie maillée.

Nous avons mis en œuvre un routage basé sur le protocole **OLSR** et nous avons testé ses performances. De plus, nous avons mis en place 802.11s et nous avons vérifié sa faisabilité et sa validité. Nous en avons déduit que le protocole **OLSR** a l'avantage d'un passage à l'échelle. Toutefois, dans le cas de déploiement de quelques nœuds, la norme 802.11s pourrait être plus pertinente. Nous avons obtenu et analysé le temps de réponse et la qualité des liens en utilisant **OLSR**. Ces mesures protocolaires nous donnent une idée des délais et de la qualité de la transmission sans fil entre nœuds.

Dans un deuxième temps, nous avons évalué la faisabilité de données Kinect encapsulées avec la technologie USB over *IP*. Pour ceci, nous avons mesuré le débit et la bande passante nécessaire de 180 Mbits/s. Les résultats démontrent qu'il est difficile de diffuser des données par le biais de notre réseau en raison de la bande passante trop gourmande de la Kinect sur USB.

Nous avons donc décidé de conserver le réseau *WiFi* et proposé une autre solution pour diffuser les données. Plusieurs voies sont possibles. Nous pouvons par exemple utiliser la norme 802.11n (ou même la norme 802.11ac future) qui permettrait des débits maximums de 450 Mbits/s. Nous pouvons aussi communiquer que les données utiles sous formes de textes ou d'alarmes à travers le réseau. C'est cette dernière piste qui a été choisie en utilisant le bus **IVY** pour centraliser les données.

Dans le chapitre 3, nous présenterons le traitement consistant à reconnaître les gestes et commander les actionneurs du domicile à travers un bus domotique **KNX** et une passerelle *IP/KNX*. Cette passerelle matérielle servira à transformer les trames *IP* issus des analyses, en télégrammes commandant les différents actionneurs pour répondre aux besoins de la personne.

## Chapitre 3

# La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

### 3.1 Introduction

Le premier et le deuxième chapitre de ce mémoire nous ont servis à identifier les problématiques dans le domaine de la domotique, comparer les solutions existantes et proposer une solution autonome et adaptable aux personnes à mobilité réduite avec une architecture de réseaux hétérogènes qui associe plusieurs technologies filaires et sans fil.

L'implémentation des normes 802.11s et **OLSR** *Routing Protocol* nous a donné une idée sur la faisabilité de la proposition et nous a permis de conclure que nous avons plusieurs pistes à choisir dans cette application : soit utiliser la norme 802.11s et ne communiquer que les données utiles à travers le réseau (sous forme de messages textuels), soit évoluer vers une norme sans fil à plus haut débit (comme la norme 802.11n) qui permettrait de supporter la charge des images de profondeur, soit utiliser des connections filaires (Ethernet ou **CPL**) dont le débit est assez élevé.

Dans ce troisième chapitre, nous allons décrire l'aspect *smart* ou « intelligent » de notre solution, avec bien entendu, la commande du domicile à travers les gestes. Cette tâche apparaît comme un atout pour le confort à domicile pour des personnes ordinaires et en bonne santé. En revanche, si on considère des personnes handicapées ou des personnes âgées à mobilité réduite, elle s'avère intéressante et quasi nécessaire. Etant donné l'état physique de ces personnes liées à cette catégorie, il n'y a pas plus fascinant que d'imaginer son domicile sous contrôle en bougeant par exemple une main ou en claquant les doigts. Certains travaux existent dans ce domaine et nous les avons cités dans le premier chapitre. Nous notons sur ce point, que la particularité de notre travail réside dans la simplicité d'utilisation de la solution pour les personnes âgées. Elles ne seront pas obligées d'appuyer sur des boutons, ou d'interagir avec des interfaces tactiles complexes et des technologies souvent compliquées pour la majorité d'entre elles.

Afin d'aboutir à notre but, nous allons décrire dans ce chapitre, l'application de reconnaissance de gestes que nous avons implémentée au sein de la maison intelligente de l'IUT de Blagnac [96], le bus domotique utilisé pour commander les actionneurs, ainsi que les méthodes utilisées et les résultats obtenus.

### 3.2 La reconnaissance de gestes

La reconnaissance des gestes a toujours été un sujet de recherche important pour classer les gestes et déterminer le comportement des personnes grâce au progrès immense de l'informatique et du traitement d'images [97]. Certains travaux ont été élaborés pour être appliqués en robotique via une interaction homme-machine [98]. Plusieurs algorithmes ont été développés sur cet axe de recherche. La plupart d'entre eux s'appliquent aux images 2D ou se basent sur les réseaux de neurones ou les modèles de *Marcov* cachés [99][100][101]. D'autres algorithmes utilisent la comparaison avec des gestes prédéfinis et proposent donc une base de données importante. Il existe également d'autres méthodes comme l'Analyse par Composante Principale (ACP) [102]. Cette méthode qui se base sur la diffusion géométrique en espace 3D, utilise une base de données légère où chaque élément est considéré comme une classe de gestes. Les gestes sont ensuite reconstruits à partir du nuage de points 3D, analysés et classés à l'aide d'une fonction de comparaison qui se base sur les transformées de distance 3D [102]. Cette méthode, bien qu'elle ait montré son potentiel, ne reste applicable qu'aux gestes des mains et des doigts. Dans notre cas, et avec notre matériel disponible (kinect), on ne peut que détecter une articulation de la main.

Les gestes eux-mêmes peuvent être classés selon plusieurs catégories : on peut trouver des gestes simples et des gestes plus complexes, à savoir des gestes statiques et des gestes dynamiques (voir Figure 41). Les gestes simples ou statiques sont définis par une position se référant à un point donnée ou à un axe dans l'espace (exemple : déplacer les mains vers la gauche, déplacer les mains vers la droite, en haut, en bas, position relative des mains par rapport à la tête, au centre de gravité, aux jambes, zoom avant, zoom arrière...).

Quant aux gestes dynamiques, ils sont généralement classés en deux catégories : les gestes *Unistroke* (utilisant un seul mouvement continue) et les gestes *Multistroke* (utilisant plusieurs mouvements en levant la main).

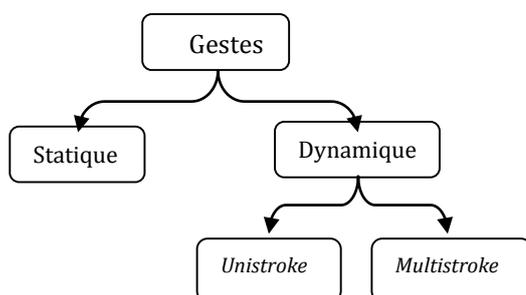


Figure 41. Classification générale des gestes

Nous devons signaler que initialement, nous ne nous intéressons pas aux différentes poses du corps humain, bien que cette idée n'ait pas manqué d'intérêt dans le contexte des habitats intelligents, avec des équipements électroniques qui se chargent

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

eux-mêmes de s'allumer et s'éteindre quand la personne est déjà présente (comme par exemple le cas du téléviseur *Bravia KDL* de Sony [103] qui s'éteint quand la personne cesse de le regarder). Un geste n'est pas défini aléatoirement. Il doit avoir une signification connue. Cette signification peut être une forme géométrique, une action sur une surface tactile (zoom, défilement) ou peut être également standardisée et reconnue dans une catégorie spécifique comme le langage des personnes sourdes et muettes (Figure 42).

Il est souvent nécessaire de choisir les bons gestes qui seront faciles à apprendre et à mémoriser par les personnes âgées, dans notre cas. Dans la partie suivante, nous expliquerons le travail sur les gestes avec le capteur vidéo Kinect.



Figure 42. Langage des signes chez les personnes sourdes et muettes [104]

### 3.2.1 Principes de la reconnaissance de gestes avec la Kinect

#### 3.2.1.1 Les gestes statiques

##### 3.2.1.1.1 Le geste onde ou "hello"

A moment de travail de cette partie avec la version 1.7 du SDK, il n'y avait pas de services de reconnaissance des gestes disponibles avec la Kinect. Il fallait donc créer notre propre bibliothèque qui permet de détecter automatiquement les mouvements. Comme nous l'avons expliqué, il existe beaucoup de solutions permettant de détecter un geste. Généralement, elles sont basées soit sur une recherche algorithmique ou sur des modèles (voir paragraphe 0). Notons que ces deux techniques ont de nombreuses variantes et perfectionnements.

Notre but étant de développer une application informatique, permettant de détecter et de reconnaître des gestes spécifiques, associés à une utilisation bien déterminée de l'environnement comme allumer/éteindre la lumière, allumer/éteindre la télévision, ouvrir/fermer les volets etc. La Kinect génère plusieurs flux de données : des images de profondeur, de couleurs, de squelettes et un flux audio. Pour la reconnaissance de gestes,

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

ce sont les images de squelette que nous allons traiter. Dans une image de squelette, il faut chercher et copier les squelettes de la scène dans le tableau de squelettes et chercher ensuite les positions des articulations de chaque squelette sur les axes (X, Y et Z) à la fréquence nominale de 30 images par seconde. Dans la terminologie utilisée avec le **SDK** de la Kinect, un geste est la position relative de certaines articulations pour un nombre donné d'images (ou frames en anglais). Ces coordonnées vont nous permettre par la suite de programmer les gestes. Prenons le geste d'onde comme exemple, représenté dans la Figure 43.

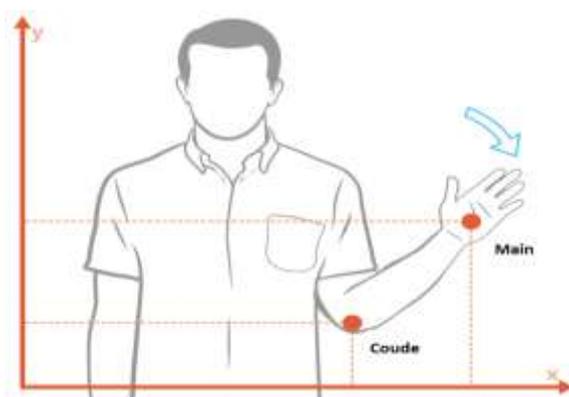


Figure 43. Geste "onde"[105]

Les personnes saluent en levant la main gauche ou droite et en la déplaçant de gauche à droite. Tout au long du geste, la main reste généralement au-dessus du coude et se déplace périodiquement de gauche à droite. Chaque position (gauche/droite) est une partie discrète du geste. Formellement, ces éléments sont appelés segments. Le premier segment devrait donc contenir les conditions : «la main au-dessus du coude » et « à droite de coude ». De même, le deuxième segment devrait contenir les conditions « main au-dessus du coude » et « gauche de coude ». Les répétitions consécutives des deux segments ci-dessus pendant au moins trois ou quatre fois consécutives dans le temps confirment ce geste ! Il est à noter que la méthode de mise à jour détermine si les conditions sont réunies pour un corps squelette donné. La détection est confirmée si toutes les conditions du segment sont atteintes, ou est infirmée si aucune des conditions n'est remplie. Bien que cette tâche paraisse relativement facile à implémenter, la difficulté réelle réside dans la gestion du nombre d'images par seconde. En effet, la programmation des applications avec la caméra Kinect se base sur le principe des événements (voir Figure 44).

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile



Figure 44. Principe de développement basé sur les événements

A chaque fois qu'un flux de données est prêt (couleur, profondeur, squelette, son ou les quatre ensembles), l'évènement *FrameReady* est exécuté. C'est dans le corps de cet évènement que l'on traite les données brutes pour :

- construire l'affichage des différents types d'images,
- accéder aux squelettes présents et chercher les coordonnées des articulations,
- implémenter les algorithmes et les méthodes,
- envoyer les requêtes http pour commander les actionneurs
- gérer les interruptions.

Il faut de plus comparer les données entre les images successives, traiter un scénario de positions, définir la durée des gestes en termes d'images et prévoir les interruptions en cas de rupture de scénario. Pour les images de profondeur (qui nous intéressent le plus dans notre travail), quel que soit la résolution des images, elles sont toujours exécutées à la fréquence de 30 Hz (30 FPS pour *Frame Per Second*). C'est la configuration interne du **SDK** de la Kinect que l'on ne peut pas modifier :

- *Résolution 320x240Fps30*
- *Résolution 640x480Fps30*
- *Résolution 80x60Fps30*

Si on implémente un traitement lourd au sein des événements, il sera appelé et exécuté à chaque fois qu'il y aura une image prête. Ceci risque de produire un problème temporel très probable : l'arrivée d'une nouvelle image dans le buffer alors que le traitement de la précédente n'est pas terminé (voir Figure 45).

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

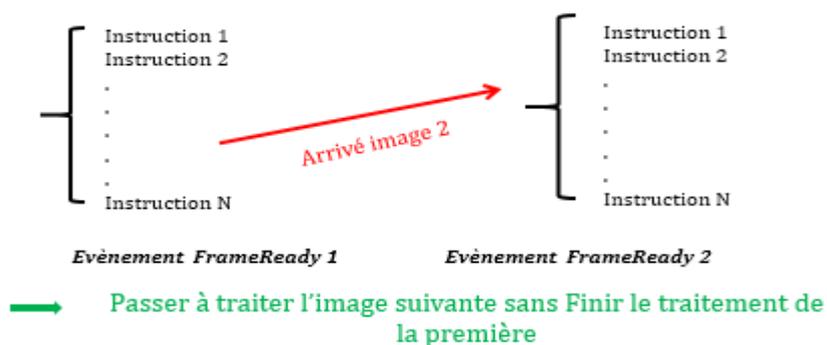


Figure 45. Problématique de la programmation basée sur les évènements

Une application qui exige beaucoup de traitements est alors ralentie au cours de son exécution et peut se bloquer, en particulier si on lui associe une synthèse vocale pour prononcer certains messages (un cas que nous allons traiter plus tard dans la partie 4). Pour résoudre ce problème, une solution est d'utiliser la technique du *Polling*<sup>3</sup>. Cette technique consiste à faire le traitement demandé et appeler l'image suivante une fois le traitement en cours terminé. Il faut donc définir le temps de traitement à l'avance. Autrement dit, il faut appeler l'image suivante après un certain temps défini en millisecondes, normalement plus long que le temps de traitement des données de la Kinect (33 ms habituellement). Cette méthode, contrairement à la précédente, ne se base pas sur les événements. Dans notre cas, nous nous étions déjà familiarisés avec la programmation basée sur les événements et nous avons développé plusieurs applications avec ce principe. Il n'était pas donc facile de changer brutalement de méthode de travail. De plus, pour utiliser le *Polling*, il faut choisir la durée pour appeler l'image suivante. Le choix de cette durée doit être un choix judicieux car une mauvaise valeur de timing peut affecter par la suite la détection de certains mouvements critiques (comme l'exemple d'une chute que nous verrons au chapitre 4). Nous avons trouvé une autre solution pour résoudre ce problème de temps d'exécution. La méthode du modulo consiste à manipuler les événements de telle sorte à lancer une exécution tous les N événements. La caméra continue à collecter les données et à générer les flux à une fréquence de 30 images par seconde, mais un événement tous les trois (par exemple), lance l'exécution du traitement. Ainsi, c'est comme si on travaille avec 10 images par seconde. En choisissant cette valeur N, nous pouvons adapter le nombre d'images et choisir la fréquence d'exécution de notre traitement sans perturber le fonctionnement de la solution développée, ni le temps de traitement. En résumé, nous pouvons dire qu'en travaillant avec la Kinect, on ne change pas la fréquence des images générées si on se base sur les événements (présence continue des trois flux de données), mais avec notre méthode, on peut choisir les images à traiter par alternance, ce qui réduit considérablement le temps d'exécution.

<sup>3</sup>C'est une technique de programmation utilisée par les processus qui consiste à une attente active d'une tâche lorsqu'une condition est vraie

### 3.2.1.1.2 La détection d'une position des mains

Ce geste statique est le plus simple et facile à utiliser par la personne âgée pour commander son domicile. A partir du flux d'images de squelettes, les informations liées à chaque personne sont copiées dans un tableau de type "*Skeleton*". Ce tableau nous permet par la suite d'enregistrer les coordonnées dans l'espace 3D de chaque personne détectée et y accéder en cas de besoin. Il est à noter que l'image du squelette de la personne avec ses différentes articulations (dites *joints* en anglais) n'était pas un outil graphique finalisé (même si il était disponible dès la version beta du **SDK**). Les bibliothèques fournies par le **SDK** nous proposent des classes et des méthodes pour accéder aux flux de données mais il faut construire ces images à partir des coordonnées des articulations et dessiner les liens entre eux, puis écrire le schéma qui correspond à l'application.

Le squelette humain est représenté par 20 articulations avec la Kinect pour Windows et la Kinect pour **XBOX**. Avec la Kinect 2 qui vient d'être commercialisée il y a quelques mois [106], 25 articulations sont détectées avec l'inclinaison et la forme de la main via trois états: ouvert, fermé, lasso (voir Figure 46).

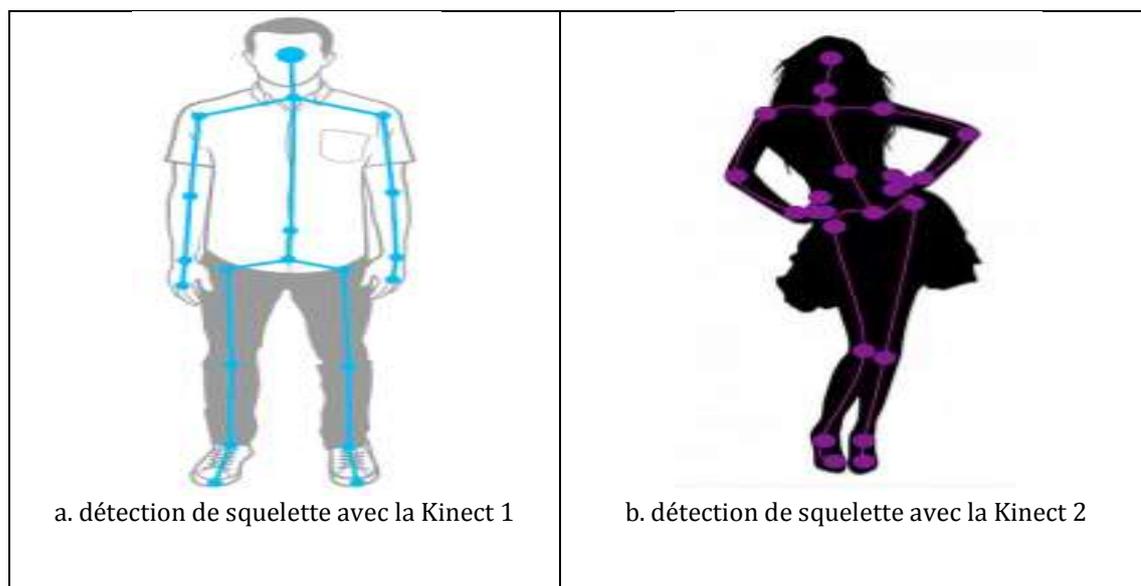


Figure 46. Détection de squelette : comparaison entre Kinect 1 et Kinect 2

Les images de squelette et de profondeur sont différentes. Les premières sont une représentation dans l'espace 3D des articulations. Un exemple illustrant une image de squelette avec la personne réelle est représenté dans la Figure 47.

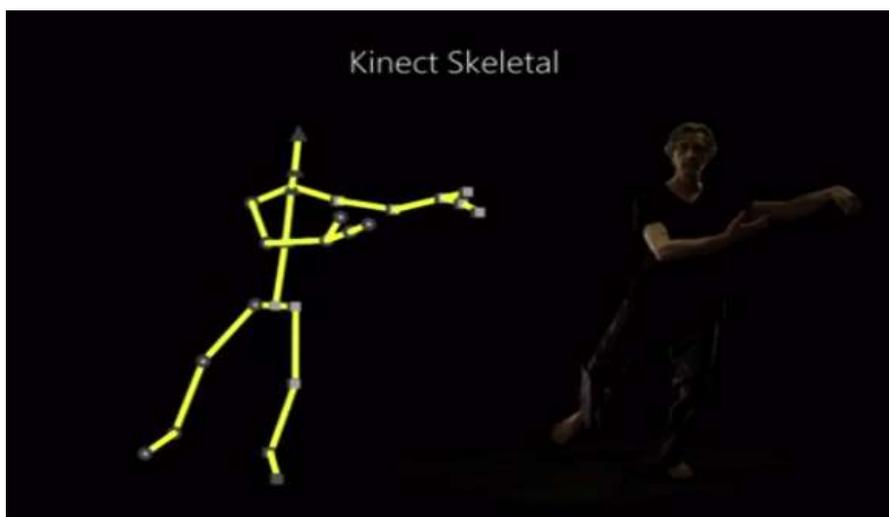


Figure 47. Exemple d'image de squelette [106]

Les images de profondeur représentent elles, la personne et les objets sous forme de silhouettes dont les couleurs diffèrent selon la distance à la kinect. On peut toutefois combiner l'image du squelette à l'image de profondeur pour obtenir un résultat comme présenté sur la Figure 48.



Figure 48. Combinaison de l'image de profondeur avec le squelette

La représentation des deux images est construite à partir de la projection des coordonnées de l'espace 3D à l'espace 2D. Autrement dit, un point  $P(x, y, z)$  dont les coordonnées sont représentées en mètres dans l'espace 3D, doit se transformer en un point  $P'(x, y)$  dont les coordonnées sont représentées en pixels dans l'espace 2D.

Les méthodes qui assurent la transformation d'un point 3D à un point 2D sont des méthodes propres au **SDK** de la classe *CoordinateMapper*. Ces méthodes sont [85]:

- *MapColorFrameToDepthFrame*
- *MapColorFrameToSkeletonFrame*
- *MapDepthFrameToColorFrame*
- *MapDepthFrameToSkeletonFrame*
- *MapDepthPointToColorPoint*

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

- *MapDepthPointToSkeletonPoint*
- *MapSkeletonPointToColorPoint*
- *MapSkeletonPointToDepthPoint*

Pour détecter des positions précises, nous avons défini l'organigramme de traitement présenté dans la Figure 49. Si les articulations des mains et de la tête sont suivies, le maintien d'une position précise pendant 2 secondes (60 images) allume ou éteint la lumière de l'entrée de la maison intelligente et génère un message vocal qui confirme l'action. Nous expliquerons dans la partie 0, comment les trames issues du résultat de détection de la Kinect vont passer à travers le bus domotique pour agir sur les actionneurs de la **MI**.

### **3.2.1.1.3 Le geste défilement à droite (Swip to right)**

Pour implémenter ce geste il faut suivre certaines contraintes comme :

- Chaque nouvelle position devrait être à la droite de la précédente.
- Chaque position ne doit pas dépasser en hauteur la première de plus d'une distance donnée (20 cm)
- Le temps entre la première et dernière position doit être compris entre deux valeurs bien définies
- Le geste doit être au moins 40 cm de long (par exemple)

Le geste défilement à gauche « *Swip To Left* » est basé sur les mêmes contraintes à l'exception de la direction du mouvement de « *Swip* ».

### **3.2.1.1.4 Le geste de défilement vers le haut et vers le bas**

Nous avons pensé à implémenter ce geste pour monter ou descendre le meuble haut de la cuisine. Cette action peut être très utile pour aider la personne à mobilité réduite à avoir accès à l'ensemble de la vaisselle et ustensiles sans aucune difficulté. Ce geste n'est pas une simple détection de positions de la main au-dessus ou en dessous de la tête, mais la succession d'une action répétitive au cours du temps de défilement vers le haut ou vers le bas qui obéissent aux mêmes contraintes du geste défilement sauf la direction. (Voir Figure 50).

# La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

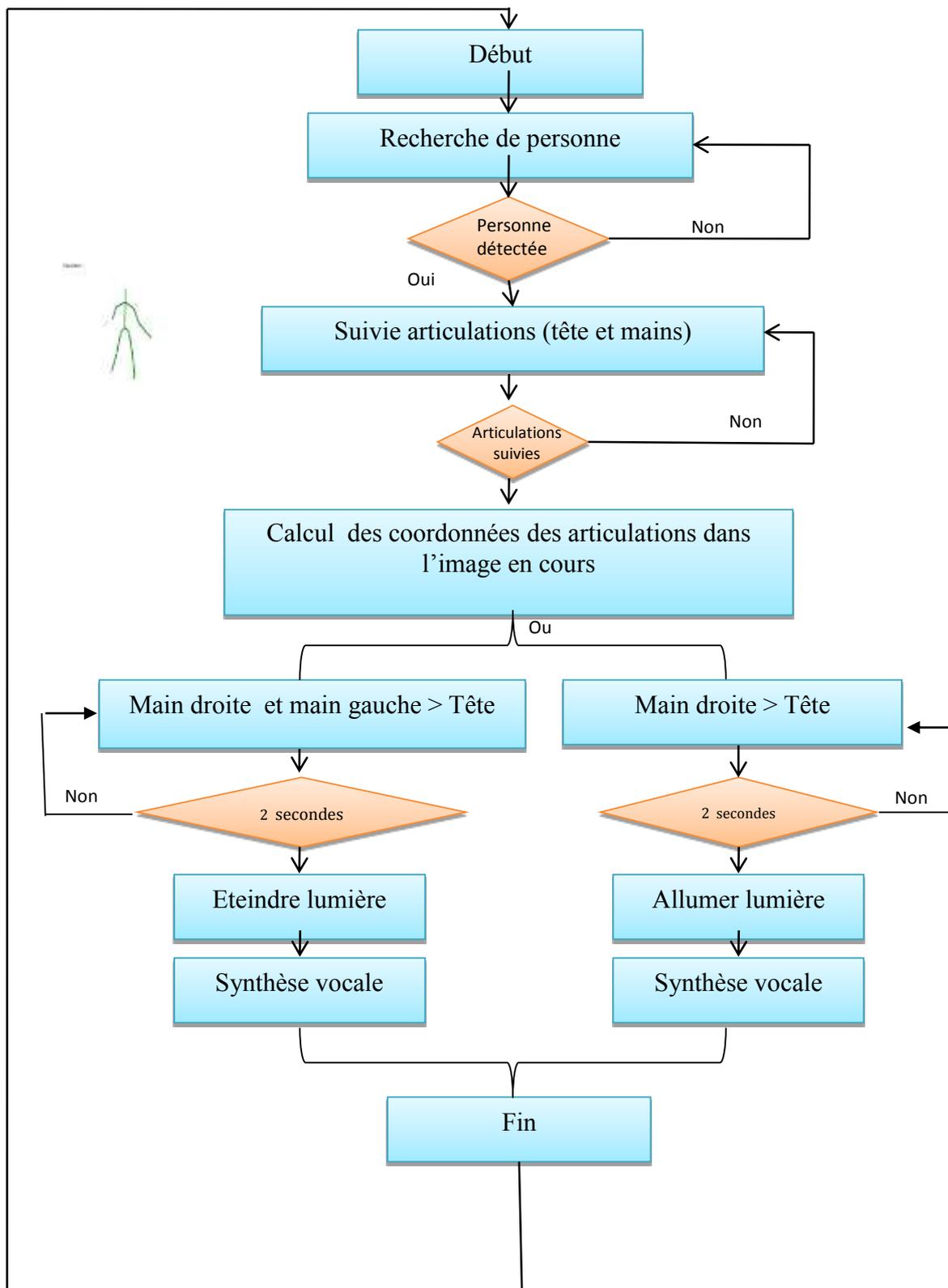


Figure 49. Organigramme de commande de la lumière au sein de la Maison intelligente

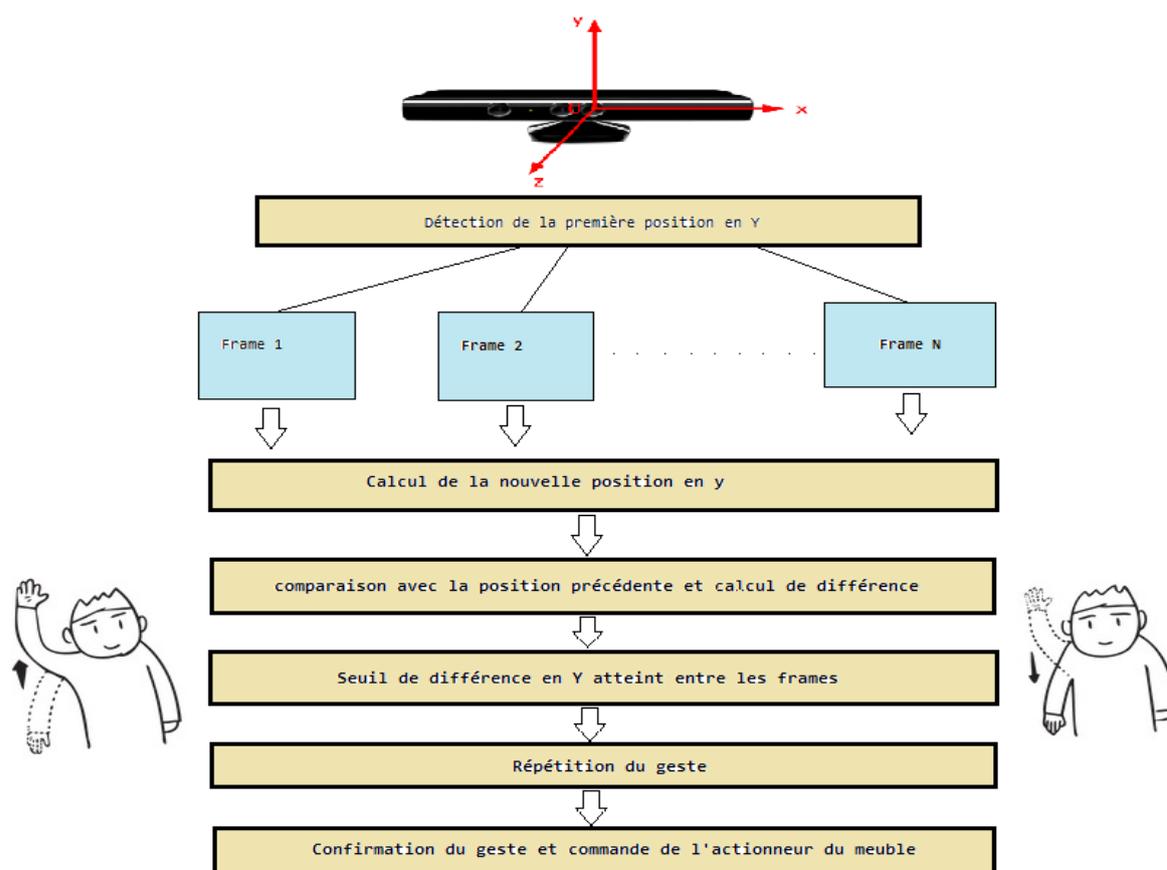


Figure 50. Traitement du geste de défilement haut/bas

### 3.2.1.1.5 Le geste Push -Pull

Ce geste se base sur le même principe que le geste précédent mais en calculant les coordonnées sur l'axe des Z, en tirant ainsi profit du capteur de profondeur. La Figure 51 détaille ce principe. Nous avons proposé une schématisation sous forme de pellicules où les images successives représentent le scénario des différentes possibilités (absence de personne, présence de personne, présence de personne mais sans le suivi des articulations, présence de personne avec le suivi d'articulation, calcul du seuil et confirmation du geste). Pour ceci, il est nécessaire de définir un seuil de distance et une longueur du geste en nombres d'images. Si les conditions nécessaires pour commencer la détection et le suivi sont réunies, alors le programme quitte le mode de veille principal, passe en mode détection et calcule la différence des positions entre les images au fur et à mesure que le geste est en train de se produire. Si au bout de la période du geste, une interruption arrive (par exemple, si la main n'est plus détectée ou suivie), le programme retourne en mode de veille jusqu'à une nouvelle détection.

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

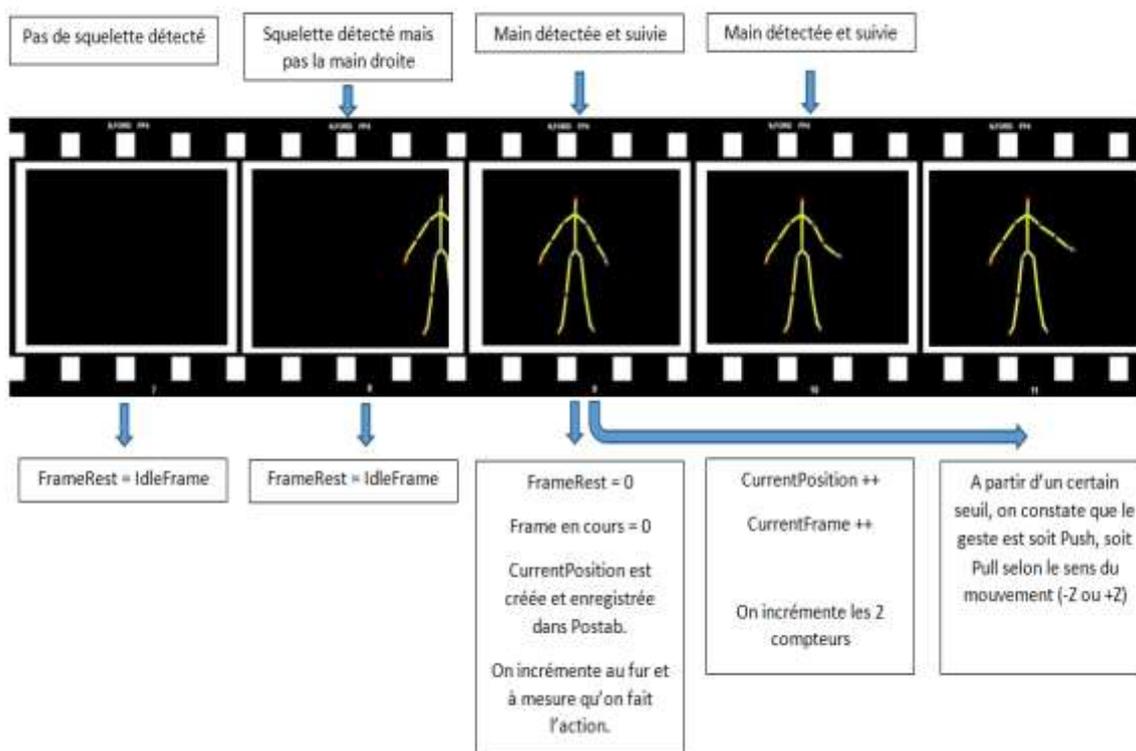


Figure 51. Principe de détection du geste *Push & Pull*

### 3.2.1.2 Les gestes complexes ou dynamiques

Les gestes dynamiques sont plus difficiles à étudier et implémenter. Il ne s'agit pas uniquement de positions ou d'orientations à déterminer mais plutôt d'étudier l'ensemble des positions établies. Afin d'aboutir à cet objectif, deux méthodes existent : la recherche basée sur des algorithmes, ou la recherche basée sur des modèles. L'approche algorithmique est l'approche classique, qui, à partir de certaines données relatives à l'image (comme des coordonnées ou un nuage de points) détermine si le geste effectué obéit à certaines conditions d'où la reconnaissance. L'approche basée sur les modèles, calcule plutôt la ressemblance entre le geste et des modèles existants à partir d'une base de données. La reconnaissance est conclue en atteignant un certain score (ou degré de ressemblance). Le principal défi est de choisir la méthode la plus appropriée. Les réseaux de neurones ou les modèles de Markov cachés (**HMM** pour *Hidden Markov Model*) sont très sophistiqués [99][100][101]. De plus, ils nécessitent un apprentissage et donc une période de temps avant d'être classés. Ceci rend ces types d'algorithmes moins pratiques pour le prototypage, dans lequel l'utilisateur ou le développeur veut définir ses propres formes reconnaissables enregistrables. En outre, ce niveau de sophistication conduit à une difficulté à la fois dans le débogage et la programmation. D'autres algorithmes tels que les algorithmes \$1 (*Dollar One Recognizer*) [107] et \$N (*Dollar N-Protractor*) [108][109], peuvent être mis en œuvre dans n'importe quel environnement, en particulier dans un contexte de prototypage rapide [109].

### 3.2.1.2.1 L'algorithme Dollar One Recognizer (\$1)

Un geste réalisé est défini par un ensemble de points. Ces points sont comparés à un second ensemble de points préalablement mémorisés. On devine très vite que la seule comparaison entre chacun de ces points n'est pas suffisante pour déterminer la "ressemblance" entre les ensembles : on parle du meilleur candidat qui s'approche le plus de l'ensemble des points à reconnaître. Les modèles servant à reconnaître les gestes sont des variations entre deux gestes faits par la même personne, mais à des vitesses différentes. Les gestes ne vont pas générer le même nombre de points et la comparaison n'est pas basée uniquement sur ce seul critère. D'autres problèmes se présentent, tels que l'orientation et l'échelle. Pour cette raison, l'algorithme de reconnaissance de gestes 1\$ a été construit. Il est insensible à tous ces types de variations. L'apprentissage d'un geste est effectué une seule fois, ce qui signifie qu'il ne nécessite qu'une seule passe pour créer un modèle, contrairement aux réseaux neuronaux et **HMM** [99][100]. Il convient également de noter que la reconnaissance de 1\$ ne considère que les mouvements "Unistroke", ce qui signifie qu'une figure unique est formée par un seul geste continu, contrairement aux mouvements "Multistroke". L'algorithme est capable de reconnaître des gestes prédéfinis, comme nous sommes capables de reconnaître une pièce d'un dollar, d'où le nom 1\$ (un dollar) [107]. Les modèles reconnus par l'algorithme sont représentés dans la Figure 52.

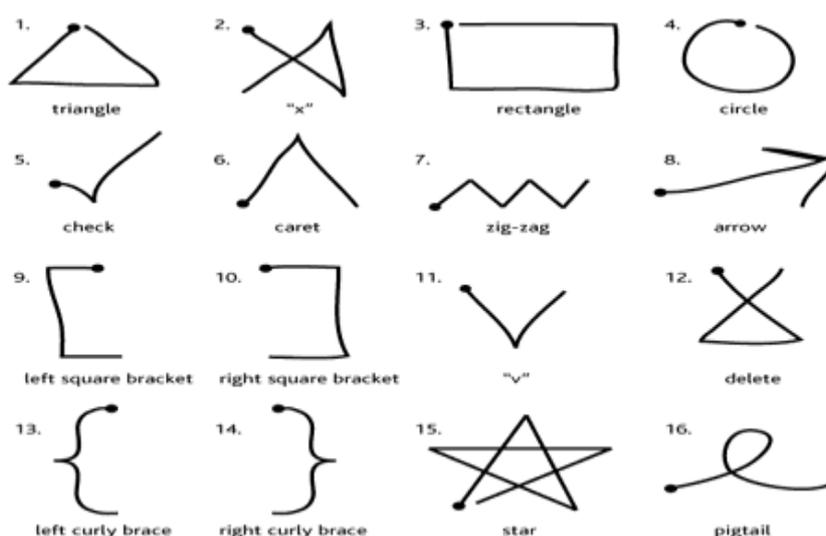


Figure 52. Modèles reconnus par l'algorithme \$1 [107]

L'algorithme consiste en quatre étapes. Les trois premières étapes sont effectuées pour créer des modèles pour la première fois ou pour les comparer dans l'avenir immédiat :

- pré-échantillonnage de la trajectoire du geste,
- rotation en fonction de l'angle indicatif,
- mise à l'échelle et décalage,
- recherche de l'angle optimal pour obtenir un meilleur score.

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

Chacune de ces étapes a une programmation bien définie avec des instructions pour calculer et manipuler les points du geste. Dans chacune, on distingue deux éléments principaux : les candidats qui sont les gestes à classer (élément noté C) et les modèles existants (élément noté T pour *Template*). La dernière étape de cet algorithme consiste à réaliser le calcul à l'aide de la fonction 1 de chaque candidat C aux différents modèles T pour trouver approximativement la distance "d" qui sépare les points correspondants.

$$d_i = \frac{\sum_{k=1}^n \sqrt{(C[k]_x - T_i[k]_x)^2 + (C[k]_y - T_i[k]_y)^2}}{N} \quad (2)$$

Le modèle  $T_i$  avec le minimum de distance de trajectoire à C correspond au résultat de la reconnaissance. Ce minimum de distance noté  $d_i^*$  est converti en un score entre [0..1] selon la formule 2 ci-dessous, sachant que "size" correspond à la longueur d'un côté du carré de référence qui a été utilisé dans l'étape 3 pour décaler les gestes. Ce score traduit la ressemblance entre un « candidat » et un modèle (Template).

$$Score = 1 - \frac{d_i^*}{\frac{1}{2} \sqrt{(size^2 + size^2)}} \quad (3)$$

Les gestes que nous avons implémentés ne seront pas utiles si nous ne les appliquons pas dans la vie quotidienne dans le but d'aider les personnes, en particulier les personnes âgées. Afin d'aboutir à cet objectif, nous devons trouver un moyen pour agir sur les actionneurs à partir des trames IP émises par chaque ordinateur traitant les flux de chaque caméra Kinect. Dans la partie suivante, nous allons présenter comment nous avons établi cette interconnexion réseau et comment générer un message vocal lors de la reconnaissance d'un des gestes précédemment présentés.

### 3.3 La commande du domicile

Il est à noter que nos tests et nos travaux ont été réalisés au sein de la Maison Intelligente de Blagnac. Cette maison présente un lieu de rencontre et de collaboration entre les scientifiques, qui étudient les nouvelles problématiques, et notamment les solutions face au vieillissement de la population ; les entreprises y déploient leurs technologies, et les étudiants tuteurés peuvent expérimenter et valider leurs acquis. A travers la maison intelligente, les chercheurs peuvent transférer les nouvelles technologies proposées en créant des nouvelles solutions qui peuvent être exploitées par les industriels. Quant aux étudiants, ils peuvent interagir avec les chercheurs et participer

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

au développement des solutions, ce qui leur donne l'opportunité de contacts et d'embauche dans des entreprises futures. La Figure 53 illustre le plan de la **MI** de Blagnac.



Figure 53. Plan de la Maison Intelligente de Blagnac [96]

Pour notre réalisation, une ou plusieurs caméras seront déployées dans chaque pièce de la maison pour détecter la personne à surveiller. Dans un premier temps, nous avons déployé une Kinect dans le *living* "D", une dans la cuisine "C" et une dernière dans le salon "B" sous le téléviseur. La commande du domicile se fait à travers les trames émises des capteurs qui agissent sur les actionneurs des équipements présents un peu partout dans la maison. Cette interface de communication est assurée par le bus domotique **KNX**[114]. Depuis plus de 20 ans, la domotique n'a pas cessé d'évoluer jusqu'à nos jours. Les bus domotiques ont un rôle simple et efficace qui se base sur le principe de la dissociation de la commande et de la puissance. Autrement dit, chacun des éléments du système qui fournit des informations (interrupteur, détecteur de présence, capteur de température, etc..) communique sur un bus de données indépendant du circuit de puissance qui fournit l'énergie électrique jusqu'aux prises de courant, points lumineux, volets, radiateurs..... L'avantage majeur de cette idée est la flexibilité de l'installation ainsi que la réduction des contraintes de câblage pour tous les équipements de commande (interrupteurs, détecteurs, etc.) [110]. Plusieurs bus existent de nos jours pour les installations électriques et la domotique. S'appuyant sur ce principe, le bus **KNX** est le seul standard ouvert dédié à la domotique, massivement implanté en Europe en particulier, et qui connaît depuis 20 ans de nombreuses améliorations, dont les dernières qui vont voir le jour et la disponibilité de liens variés : paire de cuivre, courants porteurs, et bientôt liaisons radio. C'est ce bus qui a été choisi dans la **MI** comme épine dorsale fédératrice de l'ensemble des équipements domotiques.

### 3.3.1 Le bus domotique *EIB/KNX*

L'association Konnex, qui regroupe des leaders spécialisés dans les installations électriques et les bâtiments tels que *Siemens* [111], *Legrand* [112] et *Schneider* [113] a créé le bus de terrain **KNX** [114]. Ce standard mondial d'automatisme pour les bâtiments normalisés **ISO** en 2003 [115], se base sur la technologie **EIB** (*European Installation Bus*). Etant un standard ouvert, ce bus est largement utilisé par les particuliers pour la domotique ainsi que dans le cadre professionnel à usage industriel ou tertiaire [116]. Parmi les plusieurs avantages qu'il offre aux utilisateurs, particuliers et professionnels, on note la flexibilité d'adaptation en cas de modification du bâtiment sans creuser les murs ou installer de nouveaux câblages. De plus, contrairement aux autres protocoles d'automatismes, il ne fonctionne pas en mode maître/esclave, chaque couple capteur/actionneur étant indépendant des autres. Il supporte également divers médias de communication tels que **LAN** Ethernet, la radio, le courant porteur et la paire de cuivre. Avec toutes ces opportunités, cette technologie apporte un confort non négligeable en simplifiant la vie quotidienne et surtout en sécurisant l'environnement *indoor* puisqu'elle permet de réagir vite et intelligemment face aux situations d'urgence en présence ou absence du propriétaire. Une telle solution est rentable et à faible coût d'installation.

#### 3.3.1.1 Architecture du réseau **KNX**

L'architecture de l'installation domotique **KNX** est représentée dans la figure 54. Le réseau regroupe les équipements électriques du domicile par l'intermédiaire de l'armoire électrique **EDF**. Par conséquent, on ne peut pas brancher n'importe quel équipement, mais plutôt des équipements conçus spécialement pour fonctionner avec **KNX**. Le réseau est composé de deux entités principales [117]:

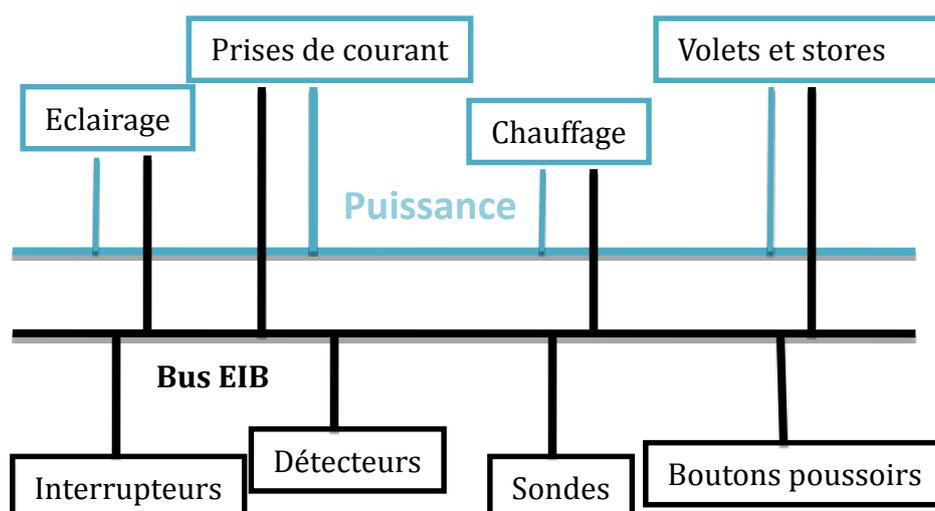


Figure 54. Architecture d'une installation KNX

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

- La couche EIB/KNX : cette couche permet aux différents nœuds du réseau de communiquer par liaison filaire ou sans fil. C'est une communication normalisée. S'il s'agit d'une installation filaire, une paire de cuivre simple assure le cheminement des données sans perturber ou être perturbé par le signal électrique 220V des câbles d'alimentation.
- Les **BCU** (*Bus Coupler Unit*): chaque **BCU** dans un nœud est responsable de la gestion de la communication via le réseau en codant et décodant les trames de données. C'est une interface matérielle et logicielle fournie par le fabricant afin de lier le système **KNX** avec les fonctions propres du produit.

### 3.3.1.2 Topologie

Les éléments d'une architecture **KNX** peuvent s'échanger des informations via des télégrammes transitant par le bus. Les participants sont organisés dans une topologie hiérarchisée (figure 55). Dans cette topologie, le réseau est composé d'une dorsale qui regroupe au maximum 15 Zones (colorée en vert dans la figure ci-dessous). Chacune de ces zones est constituée de plusieurs lignes (maximum 15) et chaque ligne est capable de regrouper 64 participants. Le choix du nombre de niveaux est fonction de la complexité de l'installation à réaliser.

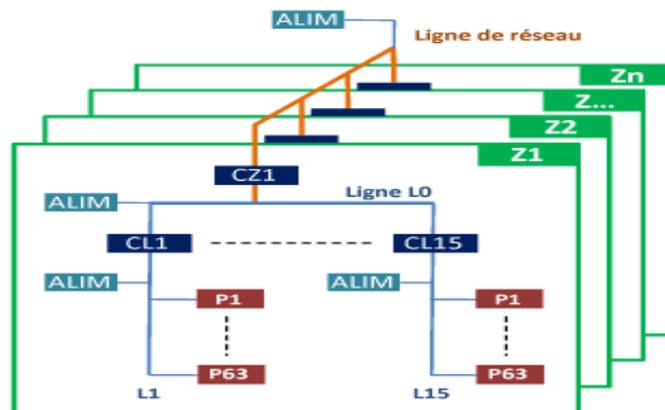


Figure 55. Topologie d'un réseau KNX [117]

### 3.3.1.3 Principe de transmission des données au niveau MAC

Après avoir abordé l'architecture et la topologie d'un réseau **KNX**, il est important de savoir comment se transmettent les données dans un tel réseau. La communication entre les différents équipements se fait en utilisant une méthode d'accès **proche** du très connu **CSMA/CA de WiFi** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) dans une variante mettant à profit la synchronisation des trames sur libération du canal, et la notion de bits dominants et récessifs où on travaille donc au niveau bit pour détecter les collisions pendant que l'on parle. Un nœud émettant un bit récessif (1) et entendant un bit dominant (0) sur le bus, se retire pour laisser le télégramme le plus prioritaire passer ; il retentera plus tard.

### 3.3.1.4 Structure de trame KNX

La Figure 56 illustre la composition d'une trame de données **EIB/KNX**. On parle plutôt de télégramme. Ce télégramme, est composé de plusieurs champs, chacun est composé de caractères de 8 bits. Nous commençons la description du plus général au plus détaillé.

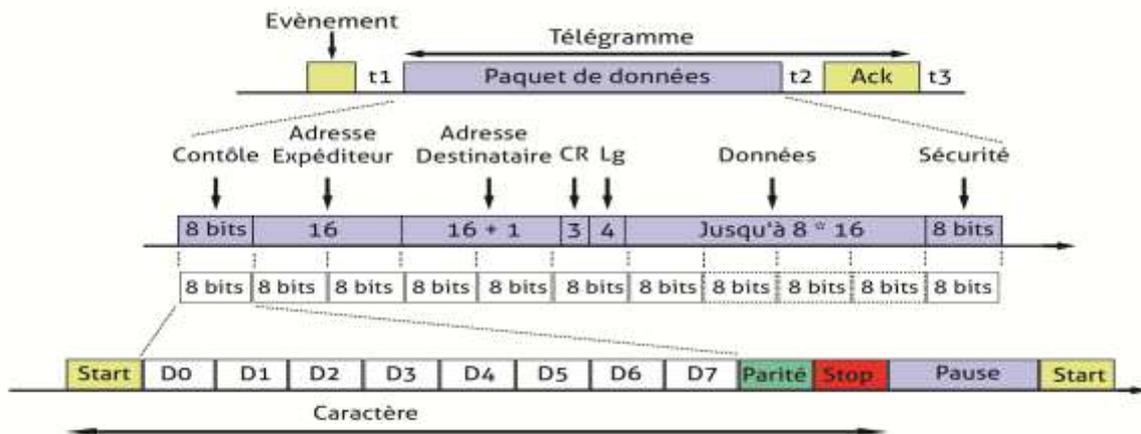


Figure 56. Composition d'un télégramme *EIB/KNX*[114]

Le premier champ est le champ de contrôle. Il indique s'il s'agit d'une première émission ou une réémission. Dans ce champ est indiqué également la priorité des données à transmettre car, si deux stations veulent émettre simultanément, celle qui est plus prioritaire accède immédiatement au bus alors que l'autre attendra pour émettre plus tard. Cette fonctionnalité est très utile en cas où on veut transmettre une donnée d'urgence relative à une détection d'incendie par exemple. Dans ce cas, il est plus urgent de transmettre les données venant du détecteur de fumée que celle de l'horloge par exemple. Les deux champs suivants correspondent à l'adresse de l'expéditeur et du destinataire sur le réseau. Chaque adresse est indiquée sur deux octets. Le champ suivant s'appelle **CR** et correspond au compteur de routage. Son rôle est d'empêcher le télégramme de tourner en boucle sur le réseau. De cette façon, chaque télégramme est détruit dès qu'il dépasse le nombre maximum de stations spécifié sur ce champ. Le champ LG de quatre octets, indique la longueur des données utiles qui seront transmises dans le champ suivant appelé "données". Finalement, le champ sécurité contient le résultat d'un calcul de parité pour vérifier la bonne réception des données. Le calcul de parité se fait d'abord à l'émission puis le récepteur le recalcule et vérifie qu'il correspond au même résultat envoyé par le récepteur. Si nous détaillons les caractères dans chaque champ, nous voyons que chaque caractère est émis avec un bit de « Start », un bit de stop et un bit de parité, comme pour une liaison série RS232. Les deux premiers bits servent à synchroniser le récepteur sur l'émetteur dans cette transmission asynchrone. Le bit de

La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

parité permet la détection d'erreurs, caractère par caractère. Le récepteur confirme, après chaque trame reçue, la bonne réception [117].

### 3.3.1.5 Accès externe à un réseau KNX

Un autre point intéressant qui présente un atout de plus pour le réseau **KNX** est la possibilité d'accéder au réseau depuis l'extérieur. Ceci permet aux particuliers de vérifier l'état de leur domicile lorsqu'ils sont absents. Cet accès est possible avec un routeur *IP* qui permet de piloter le réseau local **KNX** par un utilisateur à l'extérieur de ce dernier, via un réseau informatique comme Ethernet ou même Internet. Il est aussi possible d'utiliser une ligne téléphonique qui lie le système grâce à un modem **KNX**, ce qui permet d'y accéder de n'importe quelle région du monde, même dans les lieux ou habitations non équipées de l'**ADSL**, ce qui est encore courant chez les personnes âgées. Cette méthode est satisfaisante en terme de sécurité de communications (car il s'agit d'une liaison point à point) mais l'inconvénient est que le coût des communications est élevé alors que la vitesse de communication est lente (56 Kbits/s maximum). Une communication Internet directe permet également l'accès au réseau **KNX** si on dispose d'un serveur **WEB** sur l'installation **KNX** ciblée. Bien que cette méthode soit rapide et à faible coût de communication, le coût du matériel reste élevé. Enfin, il est possible de passer par une société tierce, ce qui peut être moins coûteux en terme de matériels mais exige un abonnement à ce fournisseur de service.

### 3.3.2 Interconnexion IP-KNX

Après avoir détaillé le standard **KNX** et présenté son mode de communication, nous allons présenter la mise en œuvre notre application. Nous avons proposé et réalisé le réseau illustré dans la Figure 57. Dans cette architecture, des caméras Kinect sont liées par USB à des ordinateurs, qui sont à leur tour liés en *IP* par *WiFi*, Ethernet ou **CPL** (cf. chapitre précédent sur les diverses solutions topologiques possibles). De l'autre côté, se situe le réseau **KNX** qui relie les capteurs aux actionneurs de la maison. L'installation des éléments **KNX** se fait à travers le logiciel *ETS v4* ou *v5* actuellement.

Lors de la détection d'un geste dans la maison intelligente, des requêtes **HTTP** sont exécutés à l'aide de **cURL**<sup>4</sup>. Ces requêtes gérées par le serveur *Apache* sont transmises à travers le réseau *IP* pour attaquer la passerelle *IP/KNX*. Les trames de données issues de l'application sont donc transformées en télégrammes **KNX** dont la structure est celle que nous avons présentée précédemment. Ces télégrammes vont piloter ainsi l'allumage et l'extinction d'une lampe connectée à un module **KNX** de sorties **TOR**, de la télévision, du meuble ou des volets. A chaque geste détecté est associée une action et une synthèse vocale déterminée grâce à la présence d'un serveur audio réactif à ces requêtes. Les

---

<sup>4</sup>Outil permettant de transférer des données de/vers un serveur web en utilisant certains protocoles comme FTP, FTPS, GOPHER, HTTP, HTTPS, POP3, SMTP, TELNET, TFTP...

La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

messages vocaux ont le rôle de confirmer les gestes détectés et les actions correspondantes déclenchées.



Figure 57. Interconnexion réseaux IP/KNX

### 3.4 Problème temporel lié à la synthèse vocale

La détection des gestes dont nous avons parlé et que nous avons implémentée, est traitée chaque 33 ms. Même en réduisant le nombre d'images par seconde, on se trouve face à un problème lors de la synthèse vocale. Ce problème est expliqué dans la Figure 58. Prenons l'exemple de la commande des lumières. On va noter "G1" le geste qui correspond à la détection des positions des mains pendant 2 secondes continues (main droite au-dessus de la tête, deux mains au-dessus de la tête) pour allumer ou éteindre la lumière respectivement.

#### 3.4.1 Cas du pilotage de la lumière

Nous pouvons réduire le nombre d'images à traiter par seconde de 30 à 3. Dans l'exemple de la Figure 58, nous avons pris les cas de 30 et 10 FPS. Un geste dure un minimum de temps. Dans le premier cas, chaque image est traitée. Dans le deuxième, 1 image sur 3 est traitée. Les images qui précèdent ne sont pas traitées jusqu'à la troisième mais chacune prend un temps d'affichage de 33 ms. A chaque fois qu'une image est traitée, le geste "G1" est détecté, le programme lance les requêtes pour piloter les actionneurs et générer la synthèse vocale. Le pilotage des actionneurs peut sans problème être exécuté plusieurs fois par seconde (allumer une lampe allumée ne pose pas de problème) mais la synthèse vocale nécessite un certain temps de lecture du message audio. Par conséquent, l'application bogue et le message ne s'entend pas. C'est le même problème pour le deuxième cas, car la lecture prend au moins une seconde pour dire "deux mains levées" ou "une main levée".

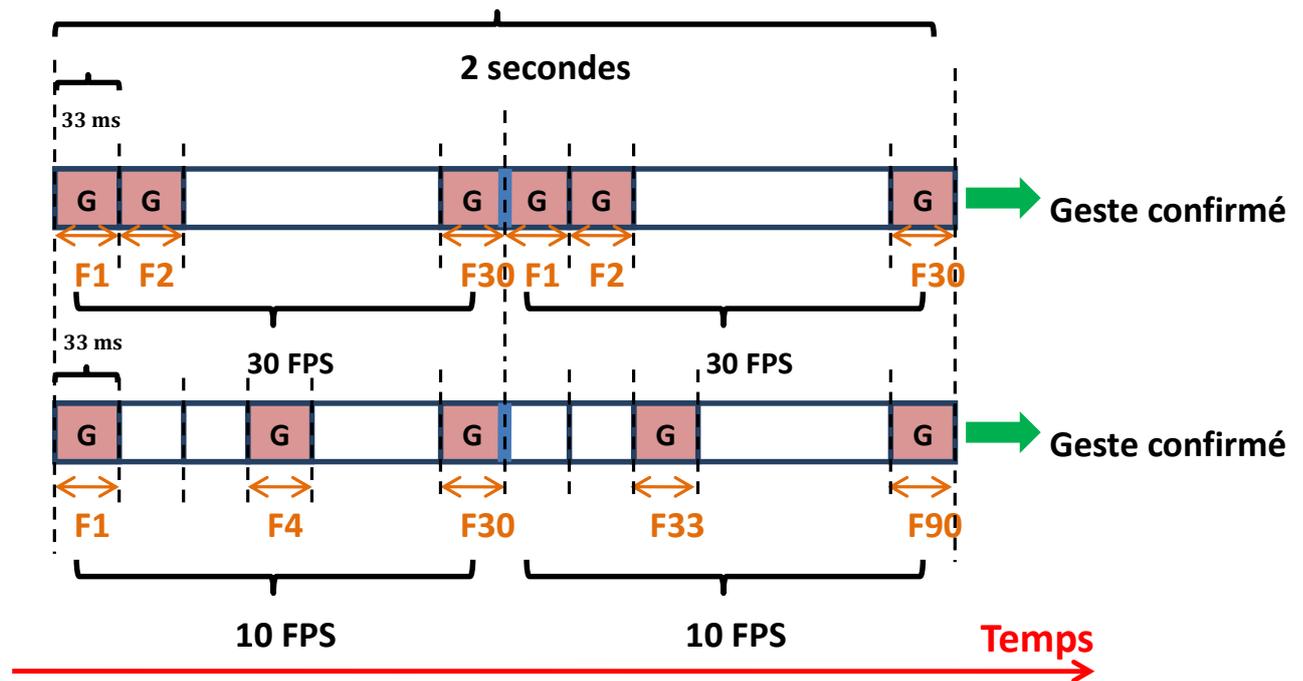


Figure 58. Problème de synthèse vocale quel que soit le nombre d'images traitées

Il est donc nécessaire au niveau programmation de mettre en œuvre un historique afin de ne pas relancer une synthèse vocale si elle a déjà été actionnée il y a moins de 2 s.

### 3.4.2 Cas du pilotage de la télévision

La télévision est pilotée avec le geste *Push and Pull*. Nous utilisons une interface IR-IP développée à l'IUT qui permet d'apprendre les codes IR de la télécommande usuelle et les rejouer sur une requête adéquate http. Cette interface a été développée à partir d'un processeur *Arduino* [126] et d'un *shield* Ethernet lors d'un projet tuteuré du département R&T encadré par Thierry VAL. Dans le cas de la détection d'un geste *Push ou Pull*, il ne suffit pas de maintenir une position précise pendant une certaine durée comme le cas précédant, mais il faut calculer la différence de distance sur l'axe Z qui détermine si le seuil est dépassé ou pas. Ceci nécessite de comparer les images successivement l'une après l'autre. Si on note le geste « *push and pull* » "G2", on aura un principe de fonctionnement illustré dans le graphe de la Figure 59.

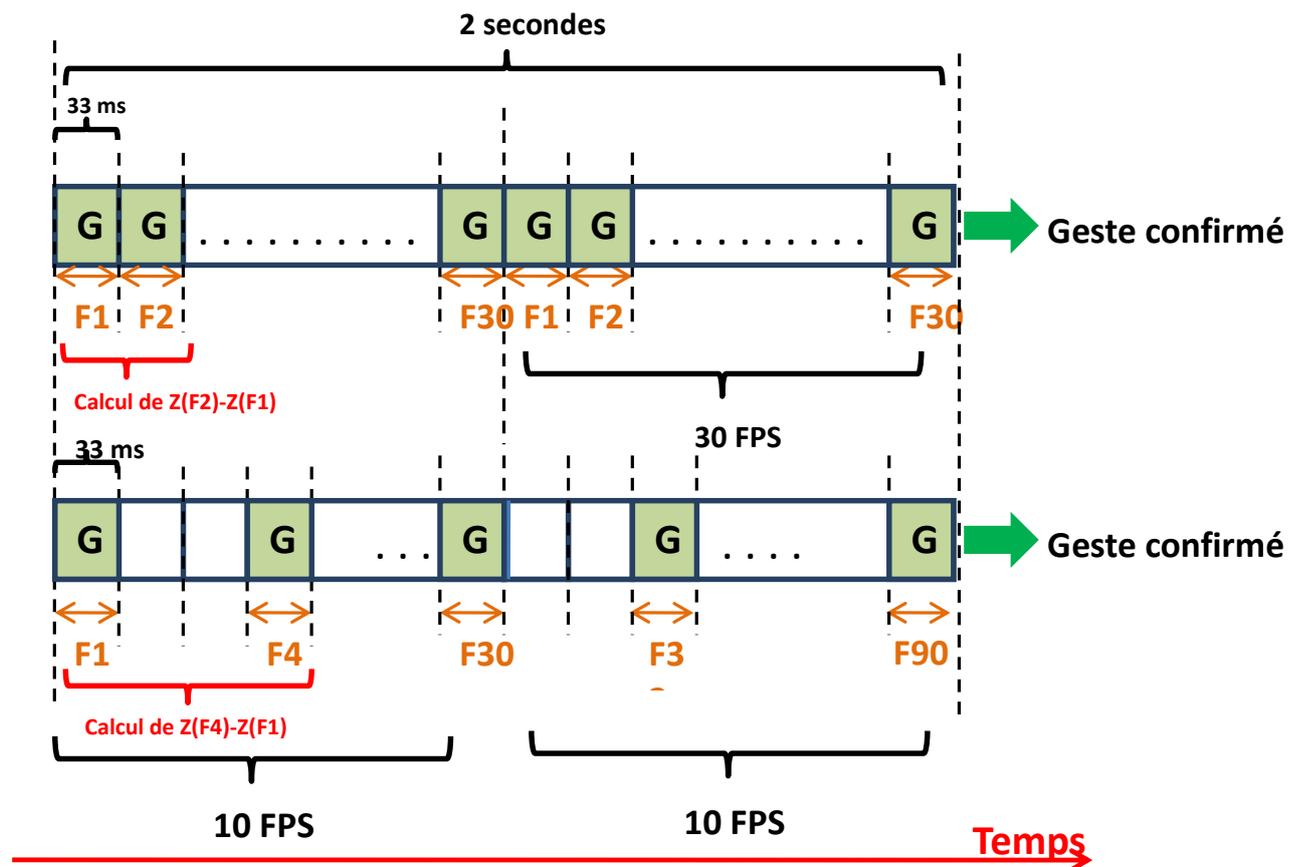


Figure 59. Cas du geste *Push and Pull*

Afin de résoudre ce problème, nous avons utilisé des variables compteurs qui s'incrémentent à chaque fois que « G2 » est détecté. Après deux secondes de détection, le programme lance les requêtes **HTTP** pour piloter l'actionneur *Arduino* en générant le message *IP* correspondant. L'utilisation des *Threads* pour une pause système est nécessaire après chaque événement confirmé. Ceci évite que l'application agisse sur les actionneurs plusieurs fois de suite dans un intervalle de courte durée, ce qui pourrait par exemple générer un grand nombre de trames pour augmenter démesurément le volume de la télévision.

Les gestes « défiler vers le haut » et « défiler vers le bas » fonctionnent de la même façon que le geste *push and pull* mais en agissant sur l'axe des *y*. Le calcul des distances parcourues se fait entre 2 images successives pour avoir un meilleur résultat. Cette action servira à commander l'actionneur du meuble de la cuisine qui peut monter et descendre.

### 3.5 Testbed et résultats

Nous avons effectué nos tests et démonstrations au sein de la maison intelligente de l'IUT de Blagnac. L'interface utilisateur montre trois types d'images : couleur, profondeur et squelette. L'image en couleurs naturelles n'est normalement pas affichée

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

lors du fonctionnement normal en exploitation, mais nous l'avons rajouté par soucis de démonstration et pour montrer que notre *testbed* se déroule correctement dans la maison intelligente. Nous pouvons noter également la date et l'heure du test ainsi que le temps d'exécution. Les valeurs *x*, *y*, et *z* correspondent aux coordonnées de certaines articulations sur les 3 axes. Quand une personne est détectée, le message « *A person is detected* » apparaît. Selon les gestes, un message apparaît à chaque fois qu'une action a été détectée et confirmée.



Figure 60. Kinect déployée à l'entrée de la maison intelligente de Blagnac

La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures suivantes :

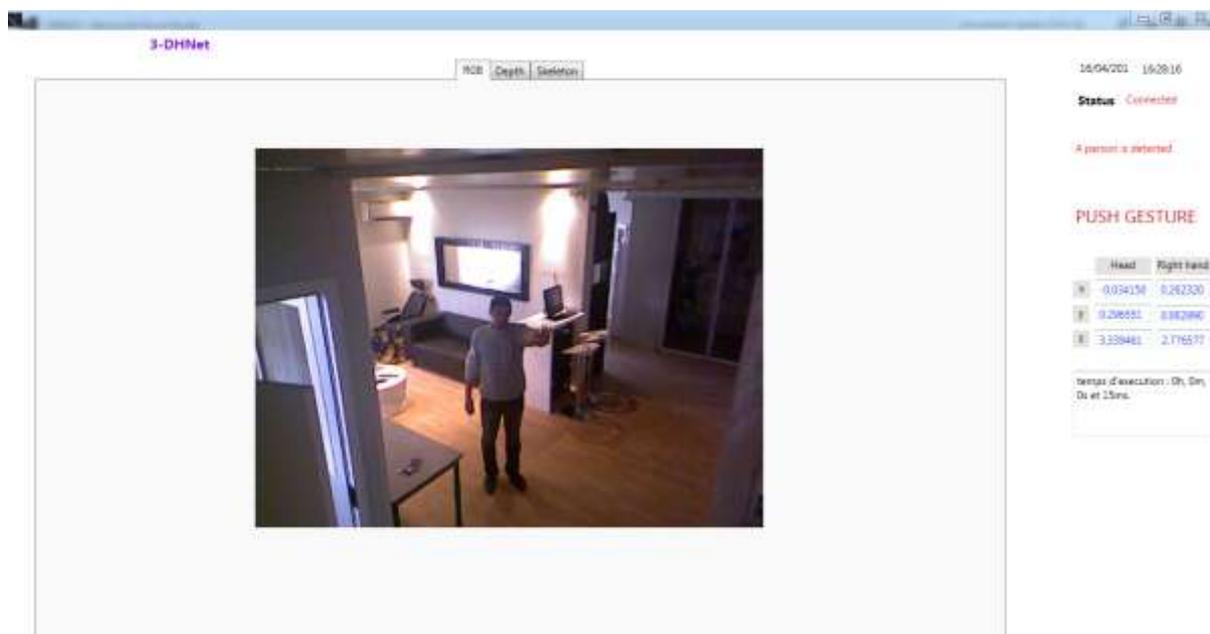


Figure 61. Geste *Push* en images couleurs

Lors des phases de test, nous avons remarqué que pour ces gestes, le temps d'exécution de l'application varie entre 0 et 16 ms selon le geste.

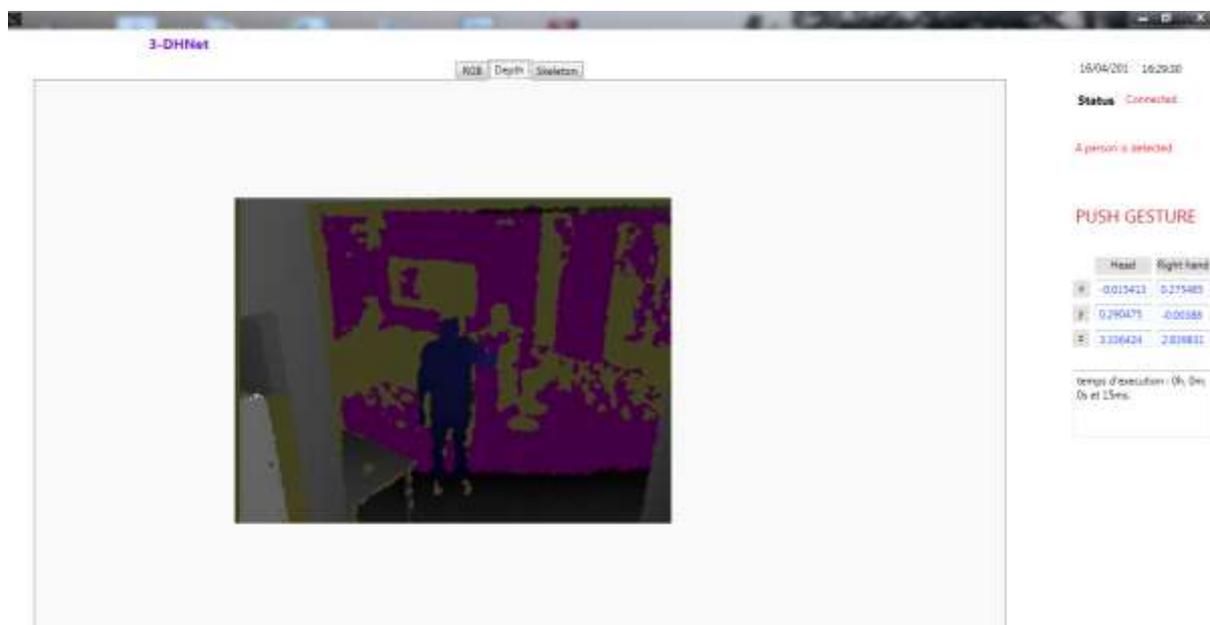


Figure 62. Geste *push* en images 3D

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

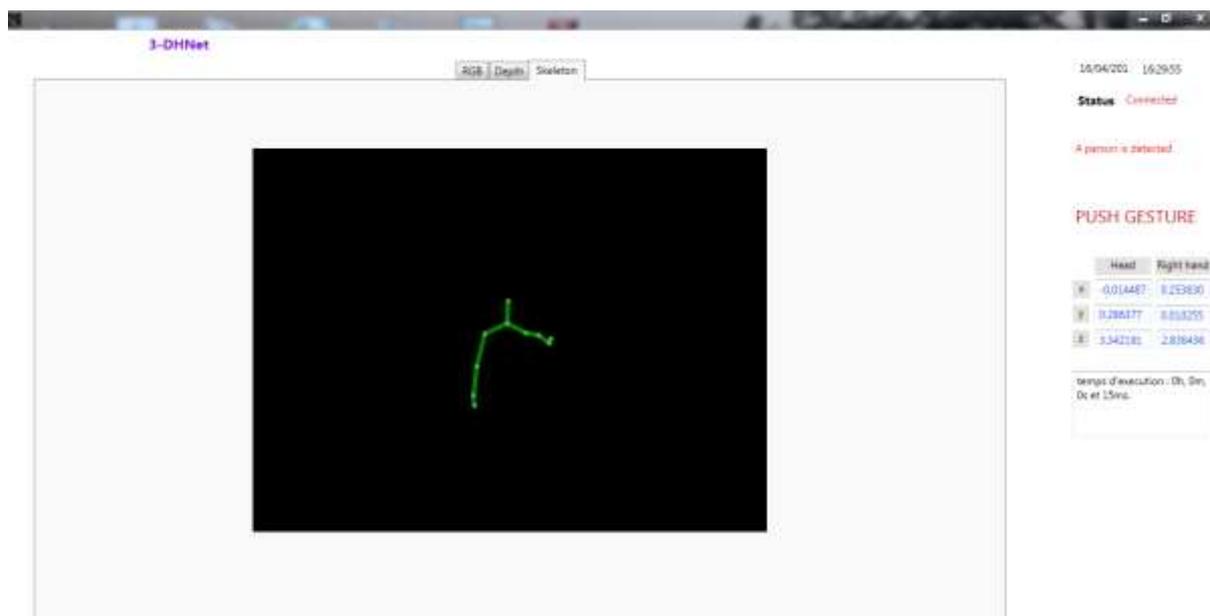


Figure 63. Geste *push* en images type squelette

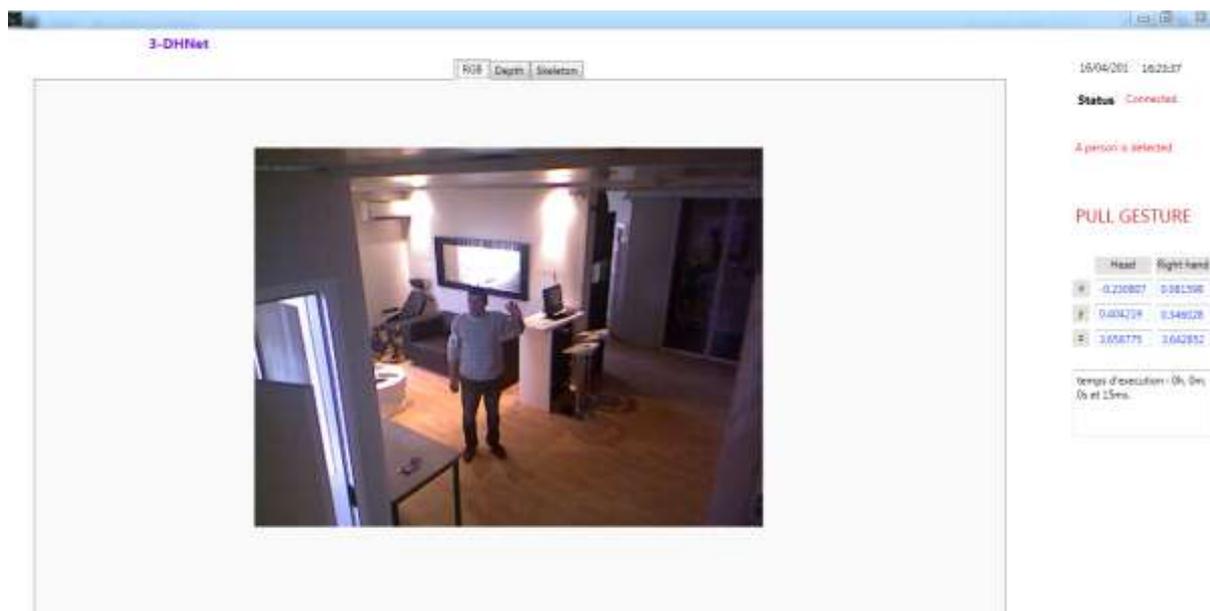


Figure 64. Geste *Pull* en images couleurs

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

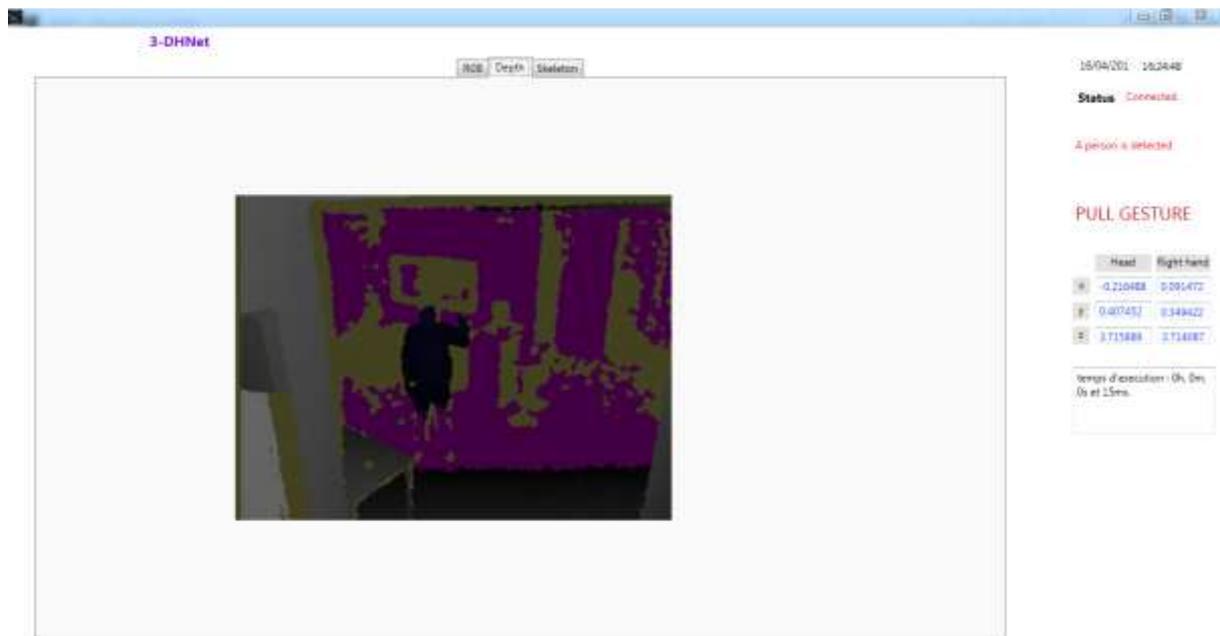


Figure 65. Geste *Pull* en images 3D



Figure 66. Pilotage des lumières (image 3D)

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile



Figure 67. Pilotage des lumières: images type squelette

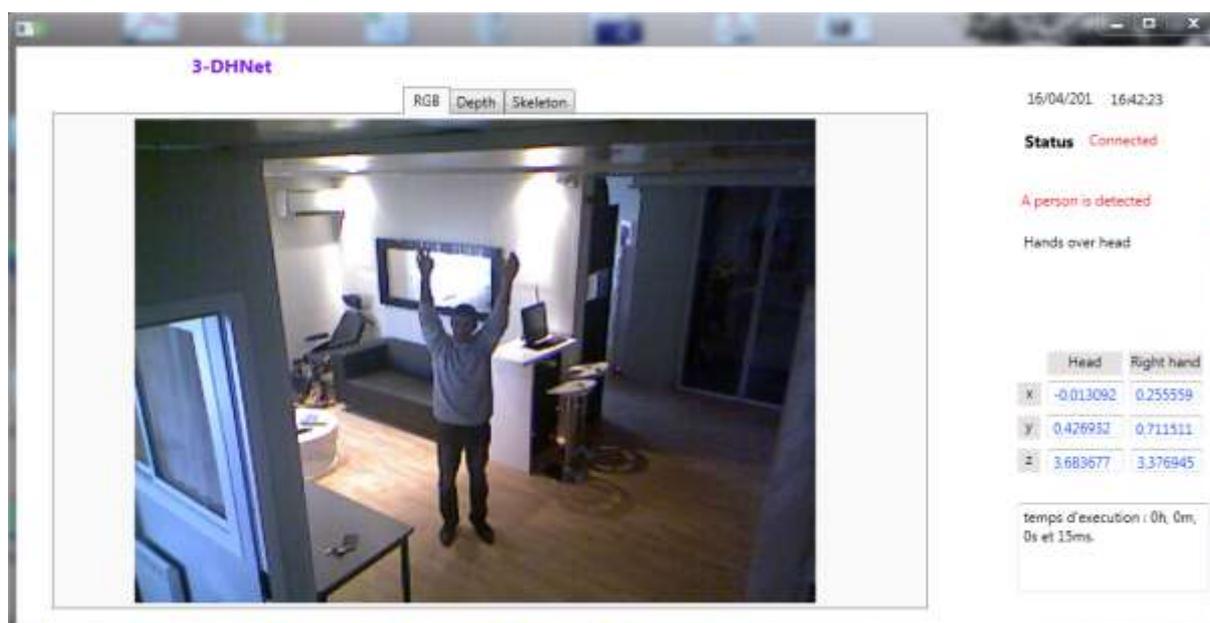


Figure 68. Pilotage des lumières : images couleurs

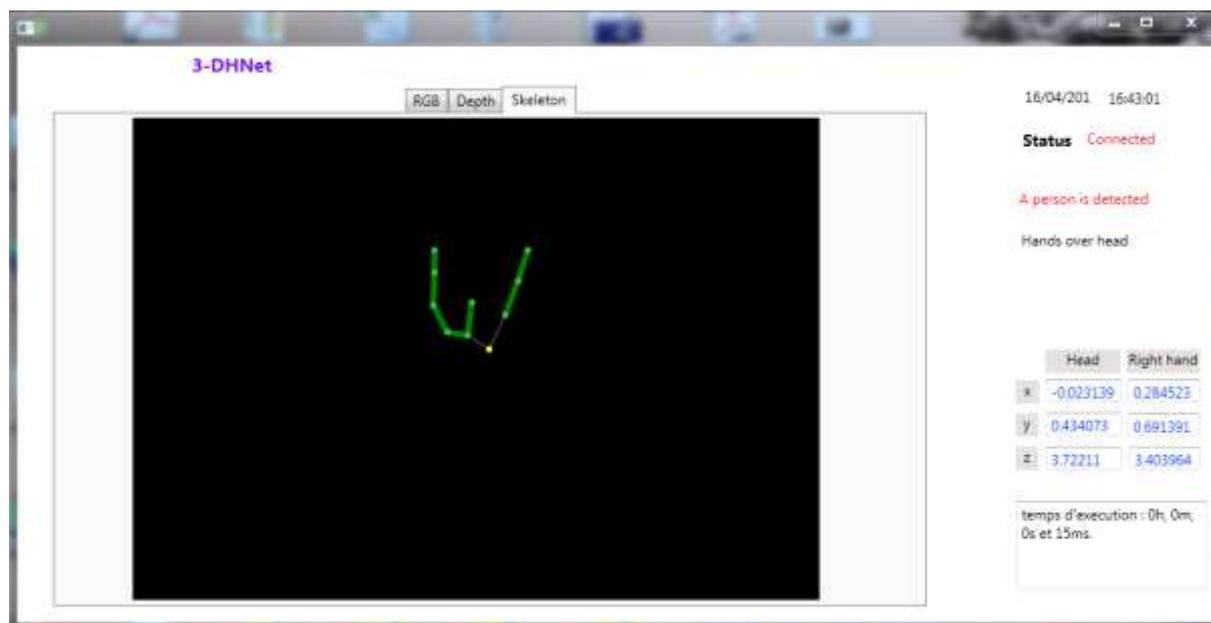


Figure 69. Pilotage des lumières: images type squelette

De nombreux autres tests ont été réalisés, mais ne sont pas présentés ici faute de place. Il est à noter que l'application initiale de détection des deux gestes pour allumer la lumière fonctionne depuis plus de deux ans et a été utilisée à de nombreuses reprises lors de démonstrations, visites de la **MI**, et lors de la présence de Madame la Ministre déléguée chargée des personnes âgées et de l'autonomie, Michèle Delaunay, en 2013.

### 3.6 La reconnaissance faciale

La reconnaissance faciale a toujours été un sujet de recherche important surtout dans des applications de sécurité et de confidentialité. Dans notre cas, nous avons supposé que la personne à mobilité réduite surveillée est seule chez elle. En revanche, si on suppose généraliser la solution ou l'adapter à un environnement multi-utilisateur là où il faut surveiller plusieurs personnes, nous nous trouvons face à une limitation de notre système. En effet, la Kinect attribue à chaque squelette détecté un identifiant unique ID. Il est possible d'identifier jusqu'à 6 personnes mais ne suivre que 4. Mais cette ID est dynamique et peut changer quand la personne quitte la scène et revient ou quand elle interfère avec une autre personne. Dans ce cas, il est intéressant de procéder à une reconnaissance faciale qui permettra de suivre une seule personne parmi plusieurs. De plus cette reconnaissance lui permettra de commander son domicile à elle et elle toute seule. Les travaux de reconnaissances de visages sont nombreux et se basent sur plusieurs approches basées sur l'apparence, les modèles *Marcov caché*, les **SVM** etc. Le problème c'est que la majorité des approches se basent soit sur des images couleurs soit sur l'association des images 3D aux images couleurs[118]. Dans notre cas, nous ne voulions pas accéder aux images couleurs pour respecter le côté vie privée dans cahier de charge. Au même temps, nous avons implémenté un algorithme qui s'appelle Eigen faces avec la

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile

Kinect dans le cadre d'un projet de fin d'études au sein de l'Institut Supérieure d'Informatique et de Multimédia de Gabès en Tunisie. L'algorithme a été appliqué aux images couleurs de la Kinect. Il permet d'extraire les points caractéristiques de chaque visage, les ajouter à une base de données pour les comparer plus tard à d'autres visages. L'algorithme a été prouvé performant et a été bien testé dans le travail de Ilyes Brahmi et Akram Sehli[119]. En ce qui concerne notre application, nous sommes intéressés qu'à détecter les points des yeux dans les images 3D afin de savoir si la personne est face au capteur ou pas. Ceci nous permet de faire la différence entre la gauche et la droite.

### 3.7 Analyse des performances

Le but de créer des sessions de métrologie est d'analyser les performances de nos applications informatiques. Les méthodes de profilage nous permettent d'analyser le code utilisant le processeur avec une faible charge, de faire l'échantillonnage, de mesurer le comptage et le minutage de l'appel des fonctions, de suivre l'allocation mémoire et de détecter les *threads* en attente d'autres *threads*. En analysant le code de reconnaissance de gestes, nous avons eu les résultats suivants :

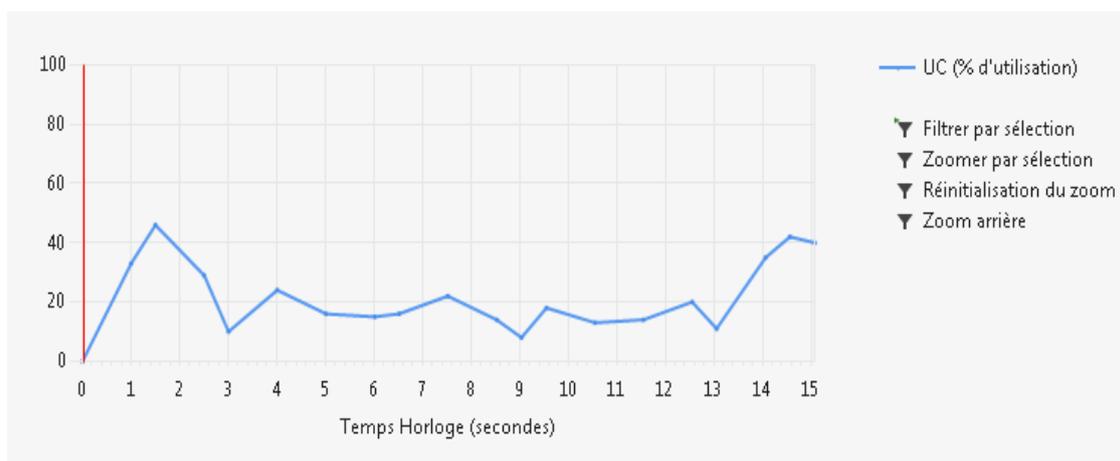


Figure 70. Echantillonnage de l'UC

L'échantillonnage consiste à interrompre le processeur informatique à des intervalles définis et collecter la pile des appels de fonction. Une pile des appels est une structure dynamique qui stocke des informations sur les fonctions exécutées sur le processeur. Le chemin réactif de la Figure 71 présente l'arborescence des appels de l'application avec les exemples inclusifs les plus élevés. Il s'agit du chemin d'exécution le plus actif au moment de la collecte des données. Les valeurs inclusives élevées indiquent que l'algorithme qui génère l'arborescence des appels peut être optimisé. La fonction à optimiser est celle qui se trouve au niveau le plus profond du chemin d'accès. Dans notre cas, il s'agit d'une fonction système (`System.Windows.Application.Run()`). C'est la fonction responsable de l'exécution du code tant qu'il y a un flux de données. Elle initialise le capteur kinect et exécute les événements.

## La reconnaissance de gestes pour l'aide au confort à domicile



Figure 71. Arborescence d'appel des fonctions

Les échantillons exclusifs indiquent la quantité de travail effectuée par le code dans le corps de la fonction, à l'exception du travail effectué par les fonctions qu'il a appelées. Des nombres exclusifs élevés peuvent indiquer un goulot d'étranglement au niveau des performances dans la fonction elle-même (voir Figure 72 et Figure 73)

Nom de la fonction	Échantillons inclusifs	Échantillons exclusifs	% d'échantillons inclusifs	% d'échantillons exclusifs
System.Windows.Application.Run()	34	27	100,00	79,41
[clr.dll]	6	6	17,65	17,65
System.Collections.ObjectModel.ReadOnlyCollection`1.get_Count()	1	1	2,94	2,94
PFE.App.Main()	34	0	100,00	0,00
PFE.MainWindow..ctor()	7	0	20,59	0,00

Figure 72. Echantillonnage des fonctions

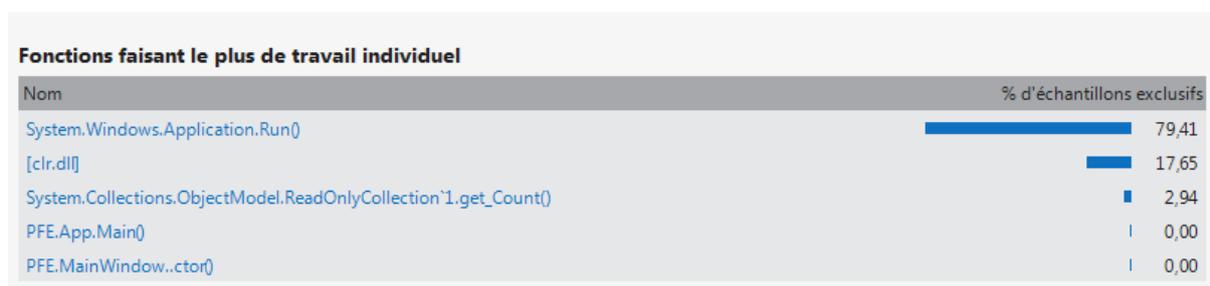


Figure 73. Fonctions faisant le plus de travail individuel

Nous ne pouvons pas optimiser cette fonction liée au système. En revanche, avec un processeur i5, nous n'avons pas dépassé 70% de la charge CPU. Le temps d'exécution d'un événement a été calculé et affiché dans l'interface utilisateur. Il varie entre 0 et 16 ms. Ces valeurs sont logiques puisque nous exécutons 1 événement sur 3, ce qui fait que cette valeur est de 0 quand on dépasse une image et de 15 ou 16 ms quand on la traite. Notre application fonctionne correctement et ne bogue pas mais nous aurons besoin d'optimiser ce code surtout lorsque nous allons implémenter la détection de chute.

### 3.8 Conclusion

Dans ce troisième chapitre, nous avons présenté une solution simple et pratique pour aider les personnes à mobilité réduite à piloter leur domicile. Nous avons présenté le fonctionnement de notre caméra Kinect, en ce qui concerne le traitement des flux générés et les méthodes utilisées. Nous avons également réussi à résoudre certains problèmes liés à la façon dont l'environnement propre de la caméra traite les données. Les gestes implémentés sont basés sur des méthodes algorithmiques que nous avons définis nous-même et qui ont été testés au sein de la maison intelligente et les démonstrations montrent leur bon fonctionnement. Ces gestes seront faciles à effectuer par des personnes âgées ou à mobilité réduite afin de leur offrir beaucoup plus de confort et moins d'effort dans leur vie quotidienne.

Nous avons également effectué une analyse de performance de notre application et nous avons calculé le temps d'exécution pour chaque geste. Cette étape nous a permis d'évaluer le temps d'exécution des algorithmes et nous permis de chercher d'autres variantes pour d'optimiser le code ainsi que l'accès en mémoire (voir chapitre 4, paragraphe 4.4.1)

Dans le chapitre qui suit, nous allons nous intéresser aux risques de chute auxquels ces personnes sont gravement confrontées et nous allons proposer l'amélioration d'un algorithme de détection de chute et la confirmation de l'alerte au sein d'un réseau de plusieurs caméras Kinect à travers le bus **IVY**[125].

## Chapitre 4

# Détection de chute et communication d'une alerte à travers le réseau de Kinect

### 4.1. Introduction

Dans sa vie quotidienne seule chez elle, une personne âgée est trois fois plus confrontée aux risques de chute qu'une personne ordinaire adulte en bonne santé [39]. Ce risque est généralement causé par la faiblesse physique et des troubles cognitifs. De ce fait, il s'avère nécessaire de traiter cette problématique et implémenter un traitement spécifique dans notre système de surveillance à domicile. Les travaux de recherche que nous avons déjà présentés dans le premier chapitre se divisent en deux catégories : des solutions pour la prévention des risques de chutes, et des solutions pour la détection de chute associée à une réaction adaptée en cas d'urgence. D'une façon générale, la première catégorie collecte des données de santé de la personne concernée et selon les variations de ces informations au fil du temps, on peut prévenir une chute. Ceci concerne par exemple une hypotension ou une augmentation du rythme cardiaque, par exemple en cas de crise qui pourrait causer la chute. En revanche, prévoir qu'une personne va chuter à cause d'un sol glissant, un objet mal placé, ou se tordre le pied soudainement, n'est pas toujours évident, même dans le cas des personnes ordinaires. D'un autre côté, comme nous l'avons montré dans le tableau 4 du premier chapitre, la plupart des systèmes de détection de chute se composent de capteurs physiquement liés au corps du patient. De ce fait, nous avons pensé à implémenter dans notre application une partie de détection de chute basée sur un algorithme applicable aux images 3D sur lequel nous avons apporté des améliorations pour contribuer à cette partie. Nous avons aussi testé la communication des alertes dans un réseau de Kinects à travers un bus logiciel virtuel, dont le but est de confirmer une chute détectée et alerter l'utilisateur.

### 4.2. Définition de la chute

Comprendre le concept et la mécanique de la chute est la problématique évidente afin de trouver une méthode permettant de la détecter en temps réel. Les scientifiques définissent l'action de tomber comme un état de perte de l'équilibre, entraîné au sol accidentellement. Il est associé à des troubles sensoriels, neuromusculaires, osseux ou d'handicaps [120]. Physiquement, il s'agit d'un mouvement vertical inattendu d'un corps vers le centre de la terre, en raison de la loi de la gravité. Habituellement, lors d'une chute, la vitesse du mouvement vertical du corps augmente et atteint un seuil. En revanche, la véritable difficulté réside dans la détermination de ce seuil qui n'est pas toujours constant.

Une série de tests et de scénarii sont alors nécessaires pour parvenir à déterminer une valeur plus ou moins juste [121].

Pour les personnes ordinaires qui ne souffrent pas d'une maladie ou d'un handicap, il est facile dans la plupart du temps de se ramener à l'équilibre et de retrouver la posture verticale. Toutefois, la situation est différente pour une personne âgée. L'inactivité après l'accident est habituellement détectée et démontre une chute sévère. Cette définition va nous permettre de bien étudier les cas de chute et dégager ses caractéristiques en fonction de plusieurs critères.

### 4.3. L'algorithme 3D Bounding Box initial

Comme son nom l'indique, cet algorithme utilise une boîte virtuelle englobant dans l'espace 3D la personne. Inventée par G. Mastorakis et D. Makris [122], l'approche ne considère en entrée que les coordonnées des articulations du corps humain dans l'espace. Ces coordonnées sont avantageusement présentes dans les bibliothèques du **SDK** de Kinect.

#### 4.3.1. Principe

Les dimensions de la boîte (largeur, hauteur et profondeur) dépendent des coordonnées des articulations de l'utilisateur concerné. Dans l'espace 3D, ces articulations sont représentées sur les trois axes (X, Y et Z). Dans l'ensemble des articulations possibles, nous allons chercher le maximum et le minimum sur chacun des axes :  $X_{min}$ ,  $X_{max}$ ,  $Y_{min}$ ,  $Y_{max}$ ,  $Z_{min}$  et  $Z_{max}$ . Notons que l'origine du repère 3D est le capteur de profondeur lui-même. Les dimensions de la boîte englobant la personne sont alors calculées comme suit :

$$W = |X_{min} - X_{max}| \quad \text{Avec (4) } W : \text{ largeur de la boîte}$$

$$H = |Y_{min} - Y_{max}| \quad \text{(5) } H : \text{ hauteur de la boîte}$$

$$D = |Z_{min} - Z_{max}| \quad \text{(6) } D : \text{ profondeur de la boîte}$$

$$WD = \sqrt{D^2 + W^2} \quad \text{(7) } WD : \text{ diagonale basse de la boîte}$$

Pour mieux présenter cette boîte ainsi que sa forme prise selon la position de la personne, nous l'avons illustrée dans la Figure 74. Les couleurs des points indiquent chaque maxima et minima des articulations dans l'espace.

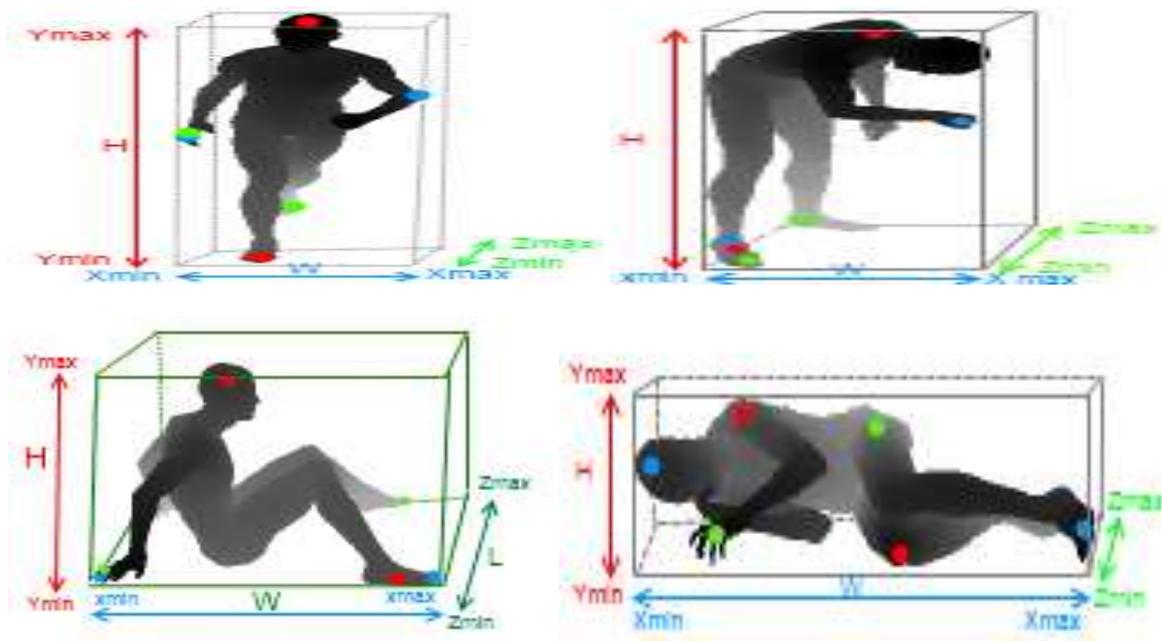


Figure 74. Variations dimensionnelles de la 3D Bounding Box selon les mouvements

#### 4.3.2. Calcul de la chute à partir des vitesses de la boîte

Une fois que les dimensions de la boîte sont calculées, on passe au calcul de leur vitesse respective. Nous définissons  $V_H$  et  $V_{WD}$  les vitesses respectives de la hauteur  $H$  et de la diagonale  $WD$  de la boîte avec :

$$v_H = \frac{H_i - H_{i-1}}{T_i - T_{i-1}} \quad (8)$$

$$v_{WD} = \frac{WD_i - WD_{i-1}}{T_i - T_{i-1}} \quad (9)$$

$H_i$  et  $WD_i$  correspondent aux dimensions de l'image  $i$

$H_{i-1}$  et  $WD_{i-1}$  correspondent aux dimensions de l'image  $(i-1)$

Une chute est caractérisée par une variation brusque des variables dynamiques ci-dessus. De ce fait, il faut essayer plusieurs scénarios pour déterminer le seuil de vitesse nécessaire afin de détecter une chute. Le seuil de vitesse à atteindre de  $V_H$  n'est pas le même que celui de  $V_{WD}$ . Lorsqu'il est dépassé, il faut chercher à identifier une période d'inactivité au cours d'un certain temps, donc d'un nombre d'images bien estimé. Pour mieux comprendre l'algorithme initial, nous l'avons modélisé par le pseudo code ci-dessous [122].  $T_{vH}$ ,  $T_{vWD}$  et  $T_{iH}$  sont des seuils de vitesses (cf. Figure 75).

---

**Pseudo code de l'algorithme 3D bounding box**

---

```

definet hreshold  $T_{vH}$  ,  $T_{vWD}$ 
define threshold  $T_{iH}$ 
define counter  $a, b$ 
define counter falling =  $N$  frames
define counter inactivity =  $M$  frames
define boolean activityDetection = false
define boolean inactivityDetection = false

tant que vrai faire
si ( $v_H > T_{vH}$ ) ET ( $v_{WD} > T_{vWD}$ )
    si  $a = falling$ 
        activityDetection = true
    fin si
     $a ++$ 

fin si
si activityDetection = true ET  $abs(v_H) < T_{iH}$ 
    si  $b = inactivity$ 
        inactivityDetection = true
        fall detected
    fin si
     $b ++$ 

fin si
fin tant que

```

---

Figure 75. Pseudo code de l'algorithme 3D Bounding Box

### 4.3.3. Justifications du choix de 3D Bounding BOX

Le choix de cette approche, parmi plusieurs existantes dans le domaine de détection de chute (c.f chapitre 1, paragraphe 291.6), a été une décision stratégique face d'un côté aux avantages et aux résultats de l'algorithme prouvés, et d'un autre côté, de l'adaptation à notre environnement de travail, car certaines données sont exploitables avec le **SDK** comme le fait d'utiliser les coordonnées en 3D.

#### 4.3.3.1. Avantages

L'avantage principal de cet algorithme par rapport aux approches existantes (déjà cité au chapitre 1), est qu'il n'y a pas besoin de détecter le sol, la zone active de détection, les gestes quotidiens, ni de nécessiter une période d'apprentissage toujours fastidieuse à mettre en place. De plus, il est directement applicable sur les images de profondeur, ce qui correspond parfaitement à notre cas. La détection de chute pourra ainsi fonctionner sans contrainte de luminosité et sans dévoiler la vie privée de la personne surveillée. En termes de programmation, ses codes source et exécutables sont légers et facile à implémenter. Le seul problème que nous avons rencontré est d'adapter l'algorithme avec les classes du

**SDK**, c'est-à-dire trouver les bonnes méthodes pour garantir le bon fonctionnement du système avec la contrainte initiale de 30 images/seconde. Le fait de définir un temps d'inactivité après la chute diminue la probabilité de détecter des fausses chutes. L'utilisation originale de la diagonale réduit le calcul sur les deux axes de profondeur et de largeur (WD).

#### 4.3.3.2. Fiabilité

L'algorithme *3D Bounding Box* a été prouvé stable même si seulement la moitié du corps humain est englobée par la boîte. Ceci est rendu possible car WD reste à des niveaux normaux, c'est-à-dire en dessous du seuil  $T_{vWD}$ , tandis que  $V_H$  dépasse  $T_vH$ . Par conséquent, la détection de chute ne sera pas instanciée tant que les deux vitesses ne dépassent pas leur seuil en même temps. L'algorithme est si performant qu'il est capable de détecter les vraies chutes et ne pas les confondre avec les actions quotidiennes comme s'allonger ou s'asseoir rapidement sur un canapé [122].

Alors que les autres approches de détection de chute utilisent un point particulier du corps comme la tête ou le centre de gravité pour mesurer la vitesse, le *3D Bounding Box* est basé sur les dérivés de la boîte 3D. L'approche a été jugée légère, robuste et ne nécessite aucune connaissance préalable de la scène. Elle est rapide avec un temps de traitement qui ne dépasse pas 0.4 milliseconde. Pour ces différentes raisons, nous avons choisi d'implémenter cet algorithme, mais avec des améliorations que nous avons apportées et que nous détaillons dans le paragraphe qui suit.

#### 4.3.4. Modifications apportées

La première modification que nous avons proposée est de travailler avec les deux diagonales hautes et basses comme montré dans la Figure 76. Afin d'améliorer l'approche, nous avons pensé à travailler avec les accélérations de ces deux diagonales de la boîte 3D. L'accélération entre deux instants est la différence entre les vecteurs de vitesse de l'instant final et de l'instant initial. Dans notre cas, la différence de temps des mesures des vitesses est très petite (33 ms). On parle alors d'accélération instantanée représentée mathématiquement par la variation de la vitesse instantanée en fonction du temps.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (10)$$

L'algorithme initial de [122] a été appliqué à des images de profondeur, à raison de 15 images/secondes, et le temps d'inactivité après une chute a été fixé à 8 images. L'implémentation avait été faite initialement sur l'environnement OpenNi [123]. Dans notre cas, nous allons travailler avec 30 images par seconde. Le temps d'inactivité après la chute sera alors de l'ordre de 16 images. Cette valeur est choisie relativement au flux d'images par seconde.

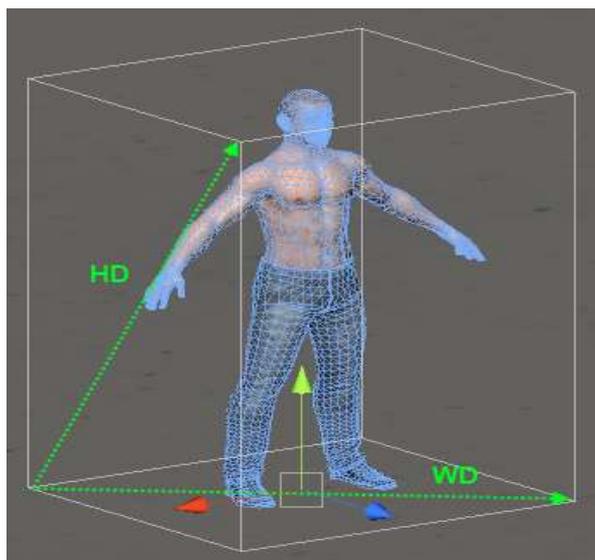


Figure 76. Algorithme 3D Bounding Box modifié

#### 4.4. Implémentation du 3D Bounding Box modifié

Pour adapter l'algorithme à notre capteur Kinect, les 33 millisecondes correspondantes à la durée entre deux images ne doivent pas être dépassées par le traitement de l'algorithme de chaque image. Il faut de plus afficher les flux vidéo, de profondeur et de couleur (que nous utilisons dans notre cas, uniquement pour la démonstration mais pas pour le fonctionnement en régime de croisière de la surveillance). De plus, il faut chercher à calculer les maximums et les minimums, déduire les dimensions de la boîte selon les équations (4), (5), (6) et (7) précédentes, chercher les vitesses par les équations (8) et (9), les accélérations et appliquer l'algorithme modifié.

##### 4.4.1. Difficultés rencontrés

La première contrainte à laquelle nous avons été confrontés a été le traitement massif à faire pendant 33 millisecondes, et l'espace mémoire insuffisant pour sauvegarder les valeurs des dimensions au fil de temps. Par conséquent, à un certain moment, le programme se bloquait sans passer au calcul des vitesses. De plus, il n'était pas évident de manipuler l'instant de capture de chaque dimension pour trouver la différence de temps et calculer les vitesses. Pour résoudre ce problème, il a fallu diviser les tâches en sous-tâches et avoir recours à des concepts particuliers comme le **MVVM**[124] ainsi que des structures de données particulières comme les dictionnaires.

##### 4.4.1.1. Classes utilisés

Nous avons créé notre propre **DLL** que nous avons appelée « *Kinect.DHN.Toolbox* ». Dans cette **DLL**, nous avons défini nos classes pour la reconnaissance de gestes et la détection de chute, ainsi que l'affichage des trois flux de données.

La Figure 77 donne une idée générale sur les «Assembly» (ensembles) utilisés et les appels effectués à la DLL.

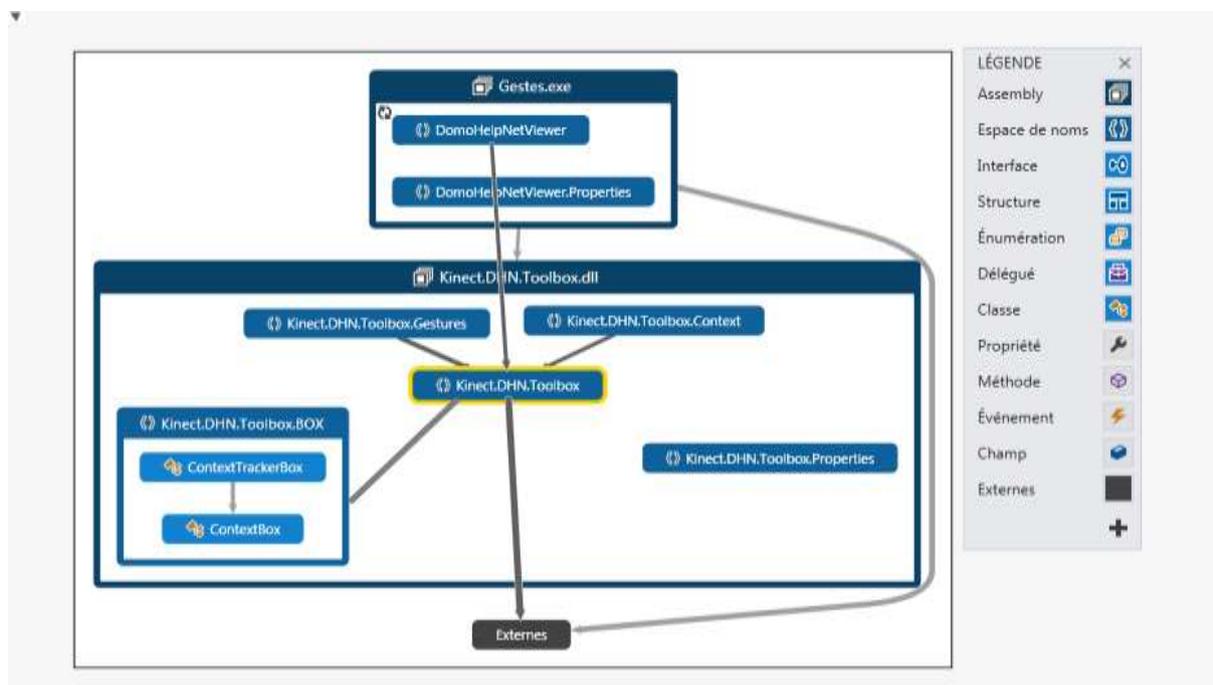


Figure 77. Graphe des dépendances de la partie détection de chute

En apparence sur cette figure, le graphe est assez simple ; dans la réalité, ce graphe est plus détaillé et complexe si on montre toutes les classes et les méthodes et objets utilisés. Nous allons présenter ci-dessous les détails importants et originaux.

Pour la partie de détection de chute, nous nous intéressons aux deux classes de Kinect.DHN.Toolbox.Box «ContextTrackerBox» et «ContextBox», la classe «ContextTrackerBox» contient les méthodes nécessaires pour calculer la vitesse et détecter une chute et l'implémentation de l'algorithme *3D Bounding Box* défini par la méthode «CheckForFall» (voir Figure 78).

Bien que les entrées de l'algorithme soient les deux vitesses  $V_H$  et  $V_{WD}$ , nous prenons dans notre cas une unique entrée qui est l'ID du squelette détecté et suivi. Le calcul des vitesses se fait au sein de la méthode elle-même. Le calcul des dimensions de la boîte se fait dans la méthode *Add()*. Afin d'accélérer la procédure de recherche et de calcul des vitesses à chaque image, nous avons utilisé les dictionnaires.

Un dictionnaire est une structure de données composée de clés et de valeurs dont le rôle est de faciliter la recherche d'une information dans une collection de données. Le modèle ressemble à un meuble de rangement d'objets dont chaque tiroir a sa propre clé. Pour chercher un objet précis, il faut avoir la bonne clé du tiroir. Dans notre classe, les clés sont les ID des squelettes et les valeurs sont les dimensions de leur boîte et l'instant de capture de ses dimensions dans chaque image. Nous avons défini ces valeurs dans des listes de



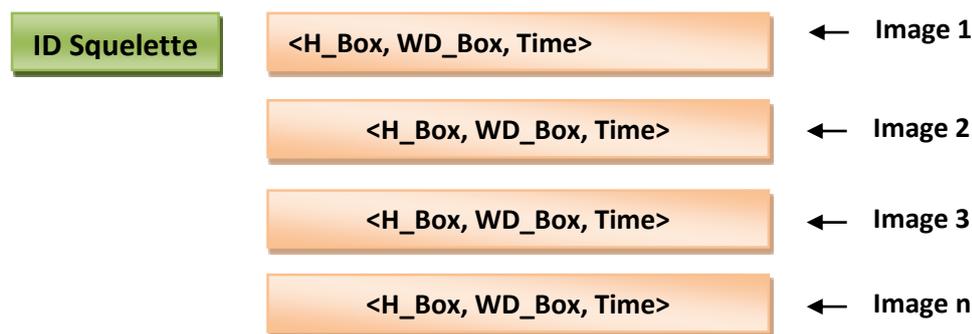


Figure 80. Composition du dictionnaire *boundingSkeleton*

Si deux personnes sont présentes dans la pièce, elles n'auront pas le même ID. Si la même personne sort de la zone de capture et revient, elle peut changer d'ID. Dans tous les cas, la détection de chute se fait pour chaque ID de squelette.

#### 4.4.1.2. Le Model View-View Model

Afin d'afficher les valeurs de vitesses et d'accélération à partir de l'application, il faut accéder à la classe « *ContexteTrackerBox* » et transmettre ces valeurs vers le programme principal. Ceci est possible à travers un fichier intermédiaire de type *texte*, *Xaml* ou *Excel*, pour enregistrer les valeurs et dessiner des courbes en accédant à ce fichier du programme principal. En revanche, écrire dans un fichier et le lire à chaque fois quand le programme est exécuté peut ralentir la procédure. Ceci est pire quand le programme est exécuté 30 fois par seconde. L'affichage des courbes se bloque alors. La solution est d'utiliser le *Model View-View Model*[124]. Ce concept est utile dans les applications de type WPF (*Windows Presentation Foundation*) et *SilverLight*<sup>5</sup>, et présente de nombreux avantages. Parmi ces avantages, nous pouvons citer la flexibilité et la souplesse entre la partie conception et la partie *design*. Autrement dit, il est possible de changer l'interface utilisateur sans avoir à remanier une autre logique dans la base de code, et avoir des composants réutilisables, tant à l'intérieur qu'à travers les applications développées. De plus, ce modèle permet de faire des **tests** unitaires approfondis pour les solutions. Le *Model View-View Model* consiste en trois parties : le modèle, la vue, et la vue-modèle (*Model*, *View* et le *View-Model*).

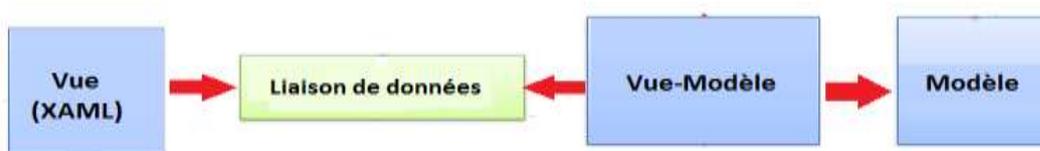
Le modèle « *Model* » présente les données réelles à traiter. Il détient l'information, mais pas les comportements ou les services qui manipulent l'information.

La vue « *View* » est la présentation des données. Elle peut aussi avoir des comportements qui lui sont associés, comme accepter une entrée utilisateur. Elle gère les entrées (touches, mouvements de souris, gestes...) qui manipulent finalement les propriétés du modèle.

<sup>5</sup>Silverlight est un plug-in cross-browsers et cross-plateformes porté sur WINDOWS, Mac OS X et Linux via Moonlight. Il est écrit par Microsoft et s'intègre parfaitement dans l'écosystème .NET.

La vue modèle ou « *View Model* » est un élément clé de ce concept, car elle introduit la séparation de la présentation, et le concept de garder les nuances de la vue séparée du modèle. Le contrôleur peut prendre l'entrée de la vue et le placer sur le modèle, ou peut interagir avec un service pour récupérer le modèle, puis traduire les propriétés et le placer sur la vue. Le « *View Model* » expose des méthodes, commandes et autres points qui aident à maintenir l'état de la vue, manipuler le modèle comme le résultat d'actions sur la vue, et déclencher des événements dans la vue elle-même.

On peut représenter un **MVVM** par la figure suivante :



**Figure 81. Model View-View Model**

Grâce à cette architecture, nous pouvons envoyer directement nos données depuis le modèle à vue d'interface grâce à la liaison de données au niveau *Xaml* (en anglais *binding*).

#### 4.4.2. Organigramme de fonctionnement

L'organigramme de fonctionnement du système de détection de chute est présenté dans la Figure 83. La chose la plus importante est de savoir sauvegarder les données relatives à chaque personne de chaque image avec la bonne méthode pour ne pas être confronté à un problème de mémoire ou de temps de traitement. De plus, le traitement des flux de couleurs, profondeurs et du squelette est nécessaire pour construire les images lors des démonstrations, auxquels il faut rajouter les algorithmes de chute et la reconnaissance de gestes.

Pour résoudre le problème de débordement de mémoire qui fait que l'image se bloque parfois, nous avons utilisé une mémoire en transition glissante. Dès que les 3 secondes de données sont remplies (90 images), la première image est supprimée (voir Figure 82).



**Figure 82. Organisation de la mémoire**

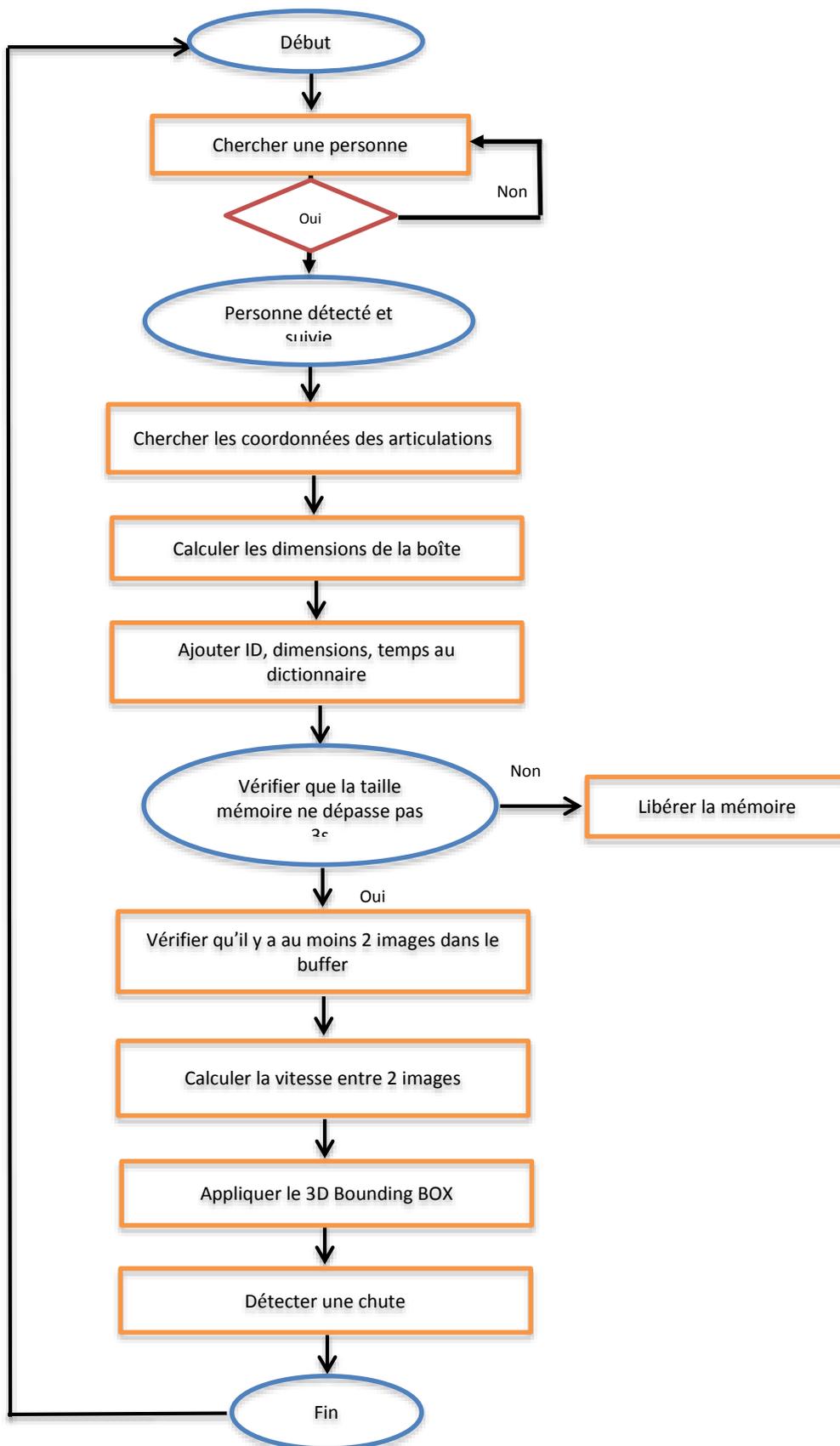


Figure 83. Organigramme de la détection de chute

#### 4.5. Tests et courbes de variations de vitesse

##### 4.5.1. Algorithme initial

Dans l'algorithme initial de détection d'une chute, les mesures des dimensions de la boîte au fil des images ainsi que leurs variations de vitesses sont représentées comme sur les figures suivantes issues des travaux des auteurs :

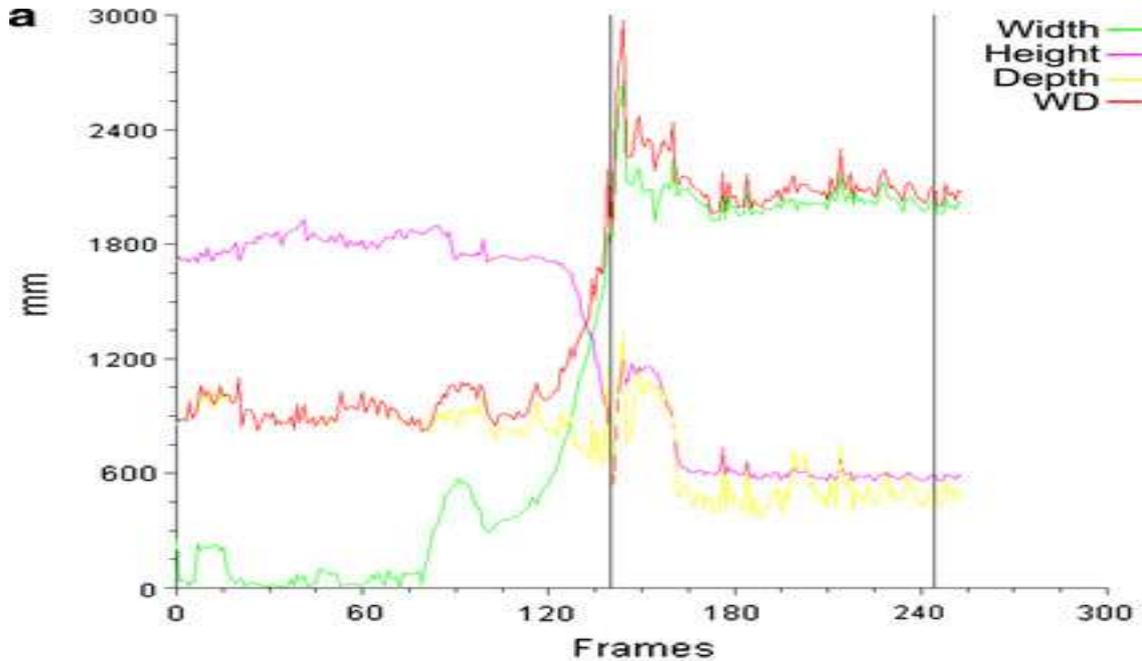


Figure 84. Variation des dimensions de la boîte au cours d'une chute [122]

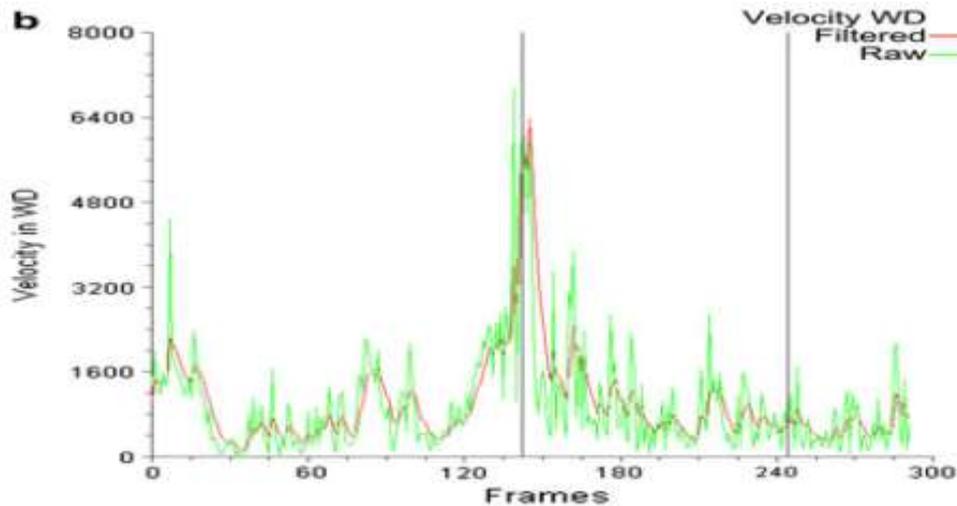


Figure 85. Variation de la vitesse de **WD**[122]

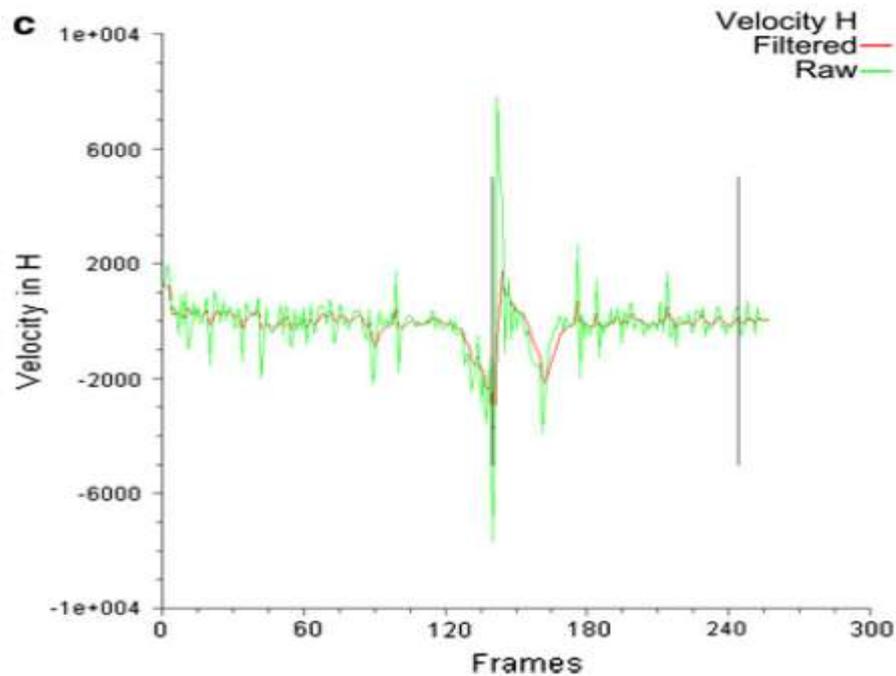


Figure 86. Variation de la vitesse de H [122]

Selon les figures de l'algorithme initial, les pics enregistrés lors d'une chute, conviennent à des valeurs de seuils de vitesse de l'ordre de :  $T_{vH}=1,18$  m/s ;  $T_{vWD}=1,2$  m/s et le nombre N d'images d'inactivité après détection de chute est de 8 images selon les expérimentations et les mesures. Ces valeurs ont été déterminées en représentant les triplets  $T_{vH}$ ,  $T_{vWD}$  et N et en déterminant les valeurs médianes (voir Figure 87).

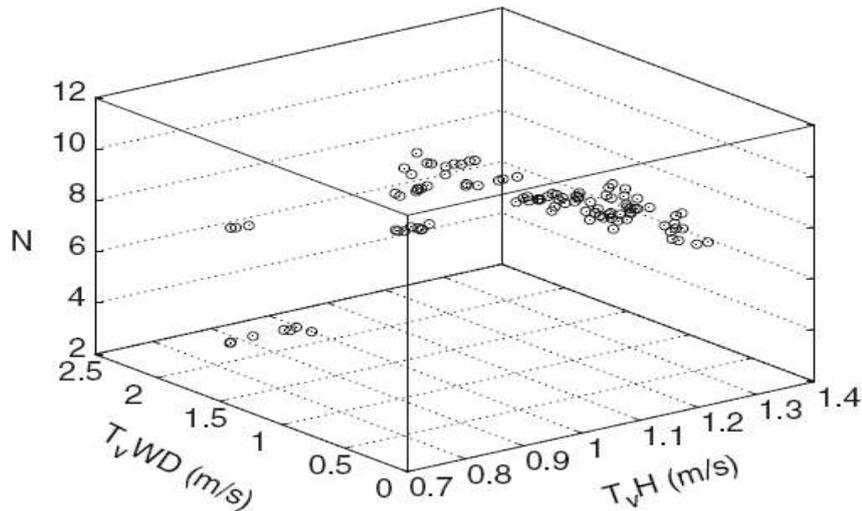


Figure 87. 100 triplets de valeurs de seuils de vitesse et nombre d'images représentés par des cercles et estimés par une recherche aléatoire [122]

#### 4.5.2. Notre algorithme modifié : résultats

Avec l'algorithme modifié, nous avons testé plusieurs scénarios de chute possibles et de mouvements pour voir l'évolution des courbes de vitesses. Nous notons que dans l'algorithme initial, il y'avait un seuil  $T_{iH}$  dont la valeur n'était pas indiquée. Il a donc fallu faire plusieurs tests pour nous approcher des valeurs réels justes. Nous avons effectué des tests et analysé en temps réel les courbes directement sur les courbes dynamiques. Dans un même temps, il était évident et nécessaire de réduire les accès à l'extérieur du programme pour écrire ces valeurs dans un fichier pour ne pas ralentir l'application. Nous avons donc utilisé un « Trace » dans le mode débogage pour voir les valeurs de vitesses et les données en cours de changement.

Nous avons remarqué que l'algorithme est très sensible, puisque un mouvement des mains ou du corps change les vitesses de la boîte et donc son accélération. Nous avons réduit les échelles de vitesse et de dimensions pour zoomer sur les valeurs qui étaient très faibles.

Dans les figures suivantes, nous avons présenté quelques cas de chutes et mouvements pendant les tests effectués. Pour chaque figure, nous avons présenté les courbes de résultat au-dessous. Notons que les vitesses sont exprimées en 10mm/ms et le temps total en milliseconde.

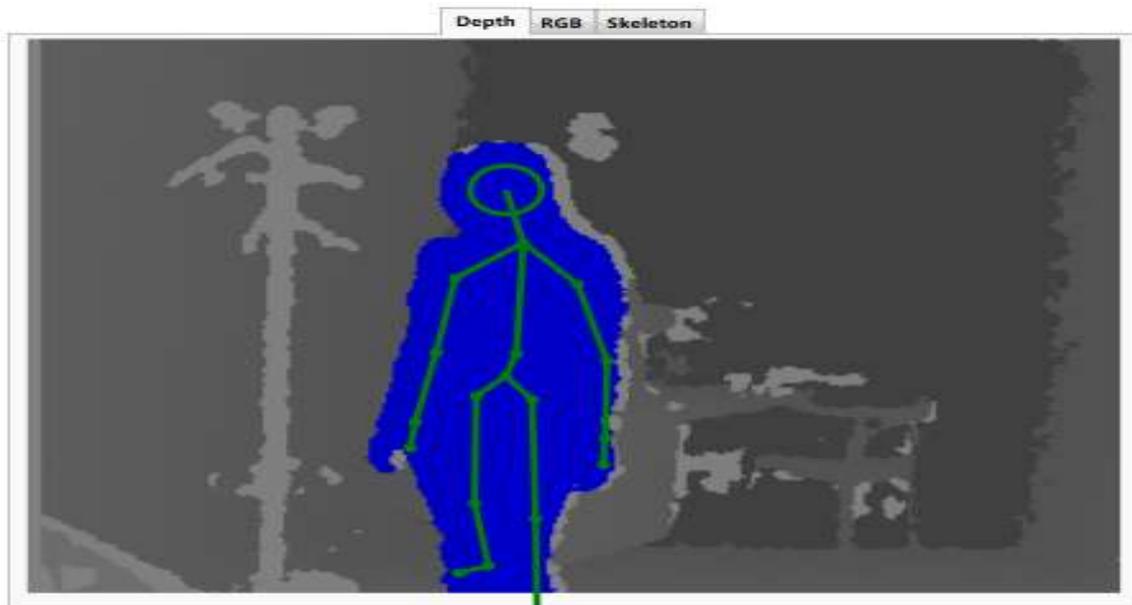


Figure 88. Mouvement normal A

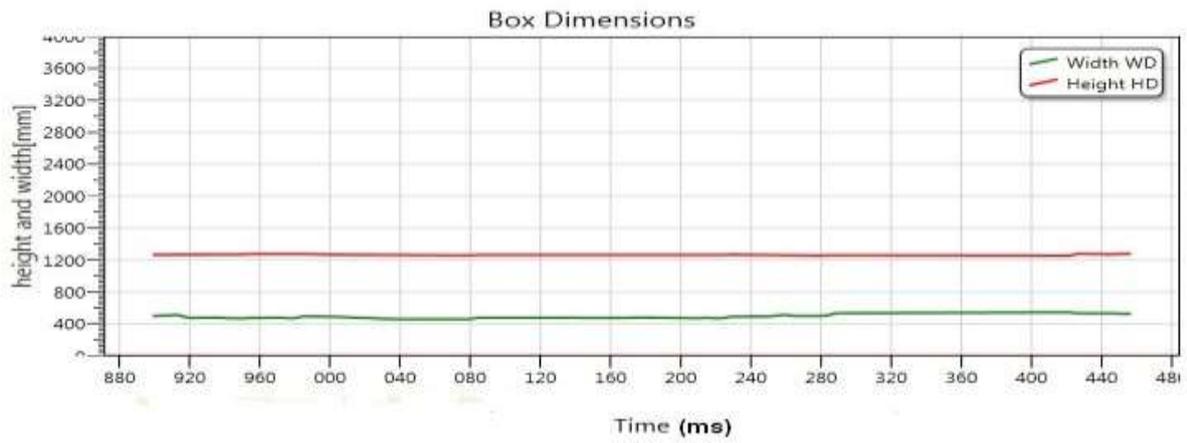


Figure 89. Variation des dimensions de la boîte du mouvement A

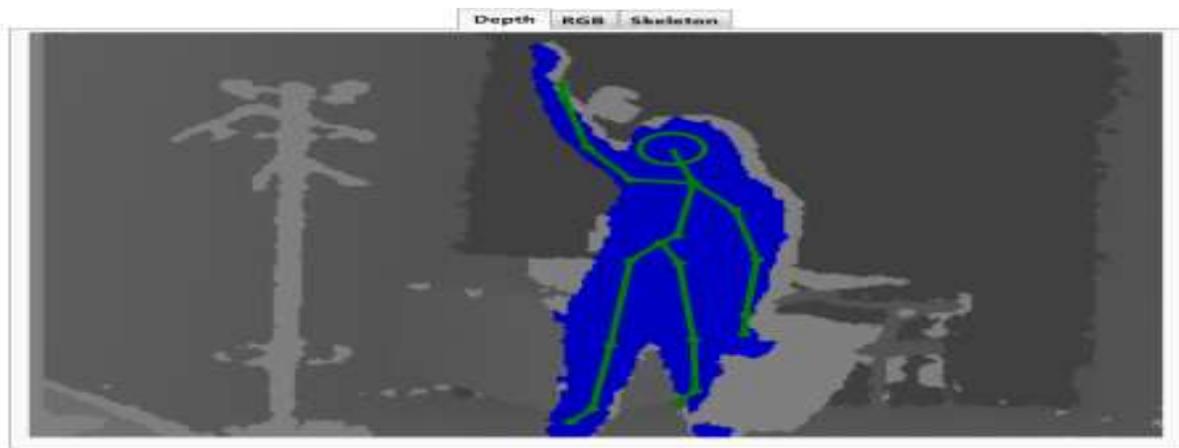


Figure 90. Mouvement plus rapide B

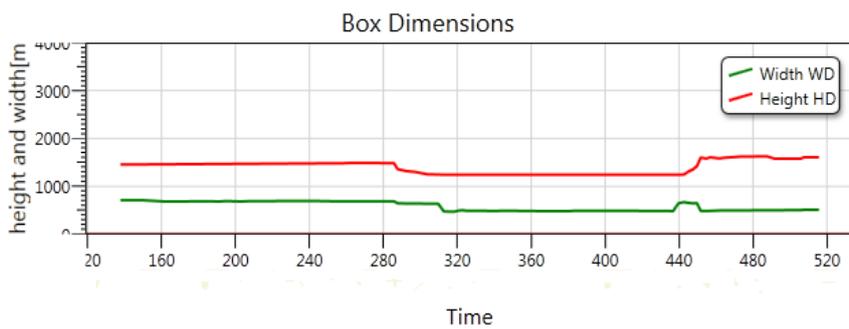


Figure 91. Variations des dimensions du mouvement B

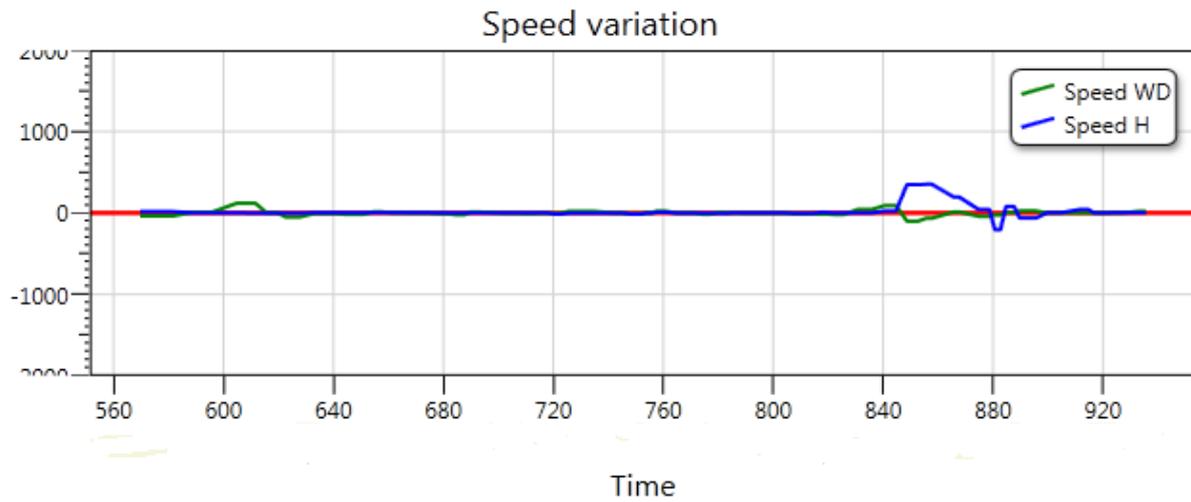


Figure 92. Variation des vitesses du mouvement B



Figure 93. Imprimé écran de la sortie des valeurs de vitesse lors du mouvement B (*Vhd, Wwd, ID personne, fall detected*)

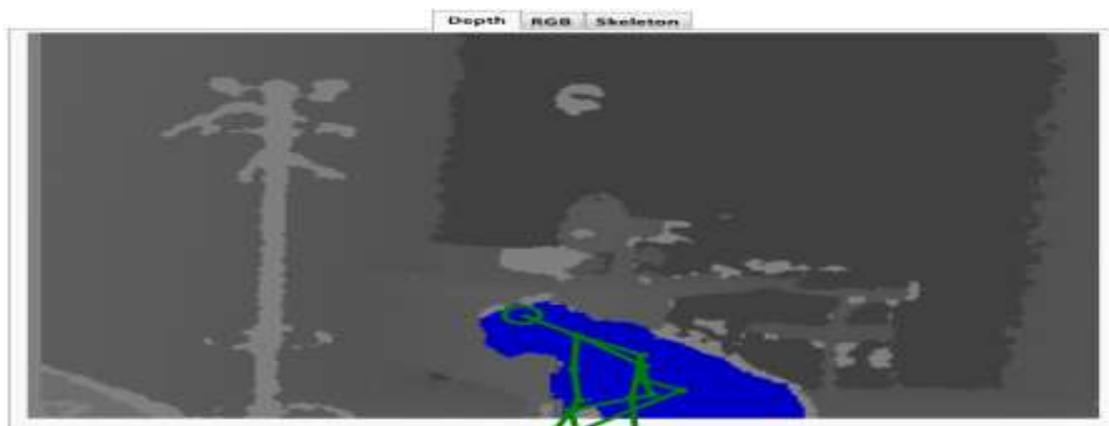


Figure 94. Exemple de chute 1

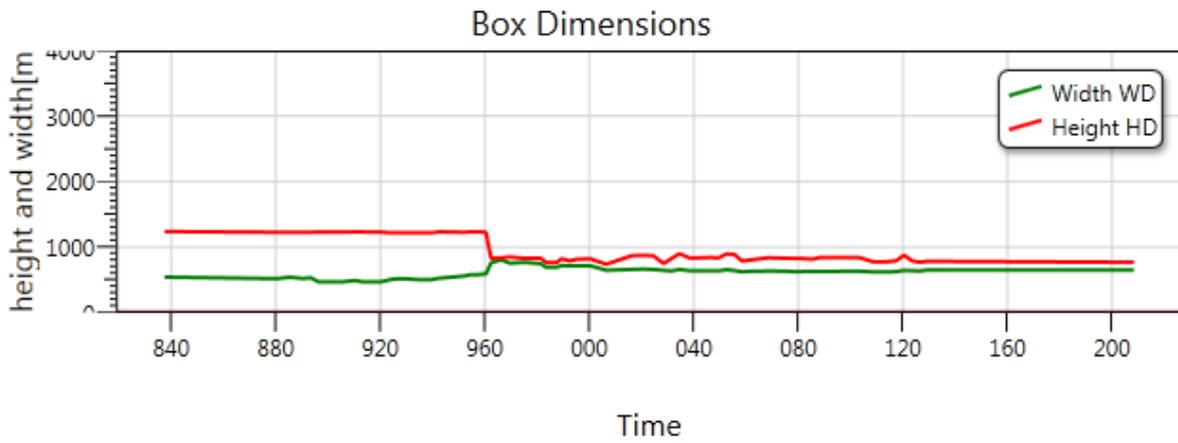


Figure 95. Variation de la boîte pour la chute 1

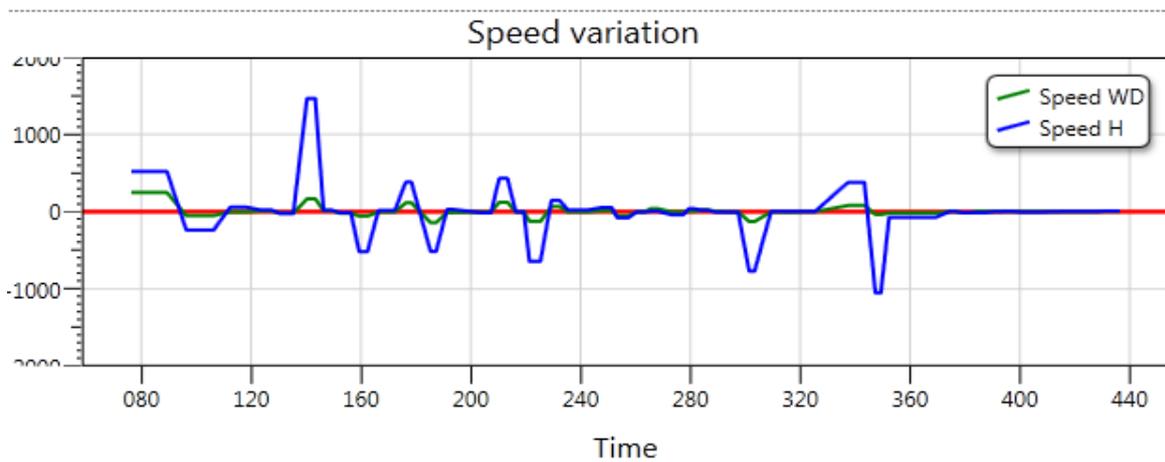


Figure 96. Valeurs de vitesse pour la chute 1

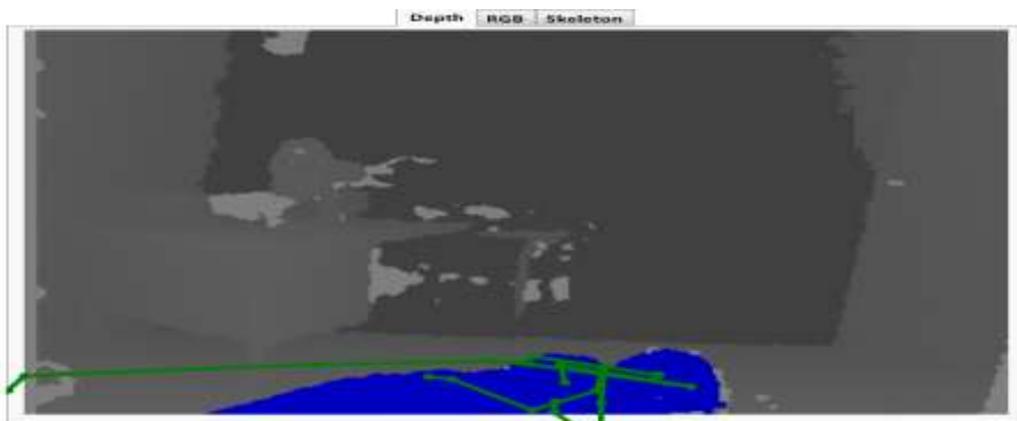


Figure 97. Exemple de chute 2

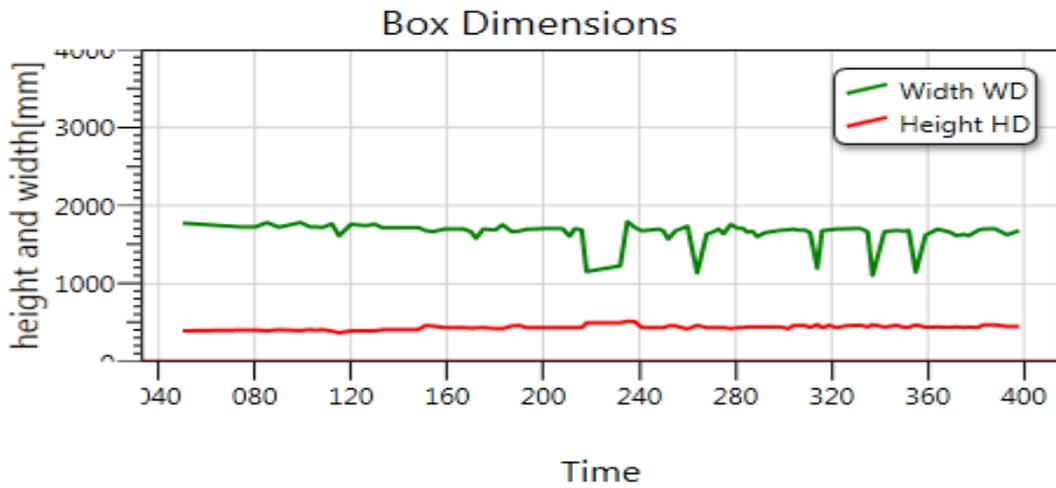


Figure 98. Variation de la boîte pour la chute 2

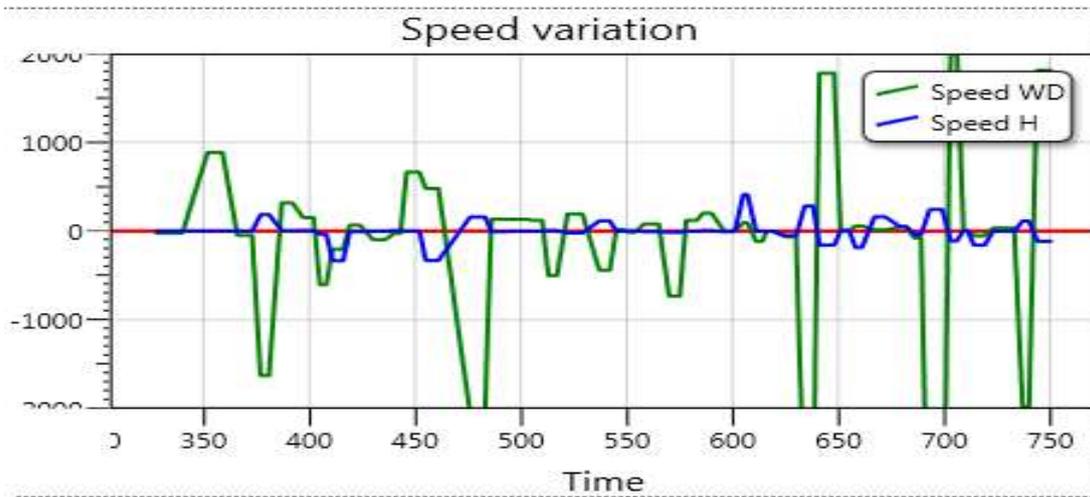


Figure 99. Valeurs de vitesse pour la chute 2

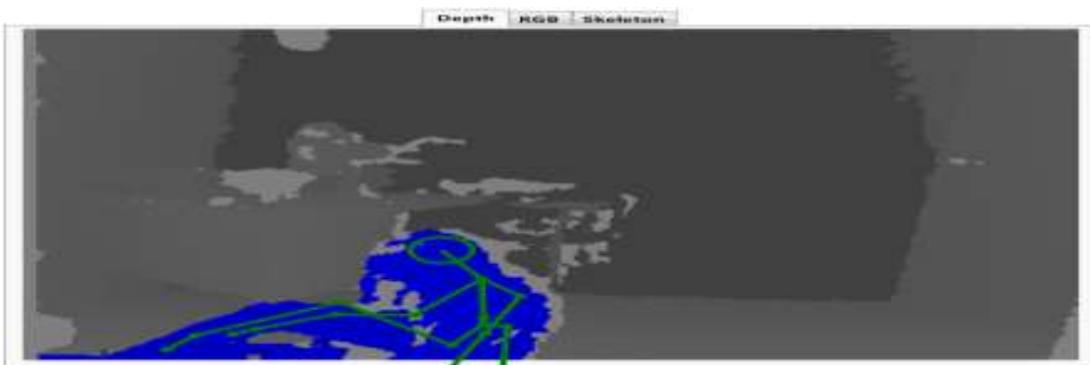


Figure 100. Exemple de chute 3

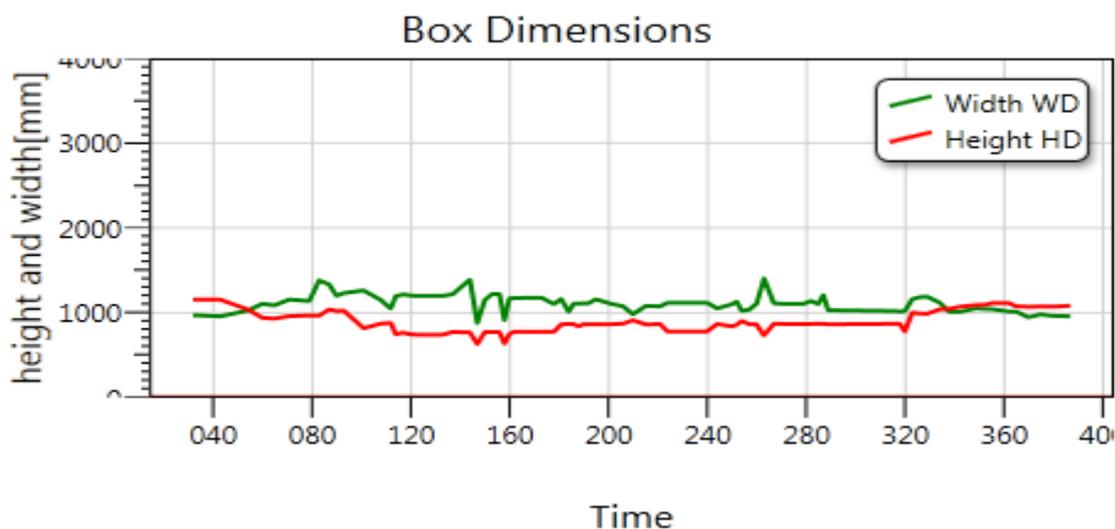


Figure 101. Variation de la boîte pour la chute3

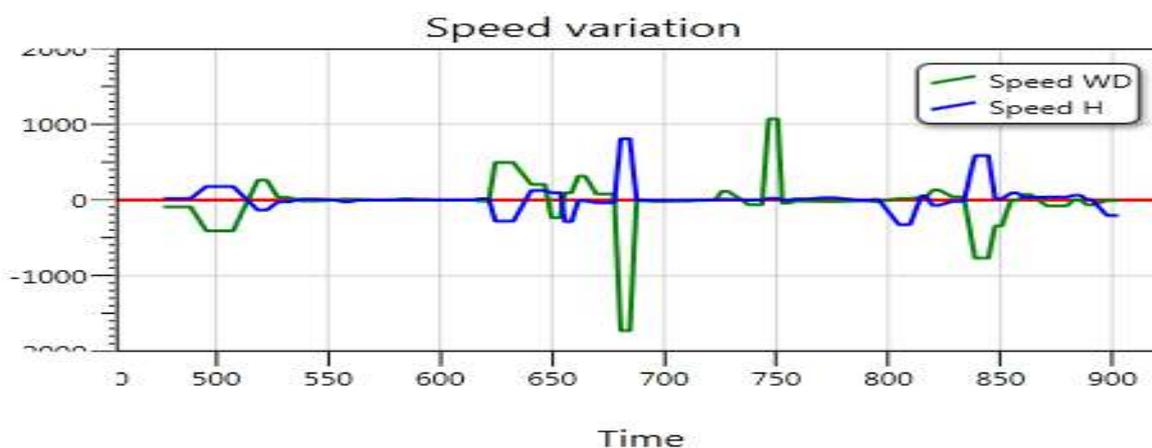


Figure 102. Variation de vitesse pour la chute 3

A travers ces tests et les résultats de courbes obtenus, nous avons enregistré plusieurs valeurs de vitesses instantanées et nous avons choisi les valeurs moyennes pour trouver les seuils de chutes. Ces valeurs sont de l'ordre de de  $-0.00115$  m/ms (autrement dit  $-1,15$  m/s) pour  $V_{hd}$  et  $0.0013$  m/ms pour  $V_{wd}$  (autrement dit  $1,3$  m/s). En effet, ce qui est logique lors d'une chute, c'est que la hauteur de la personne diminue alors que la largeur augmente. Ceci signifie que le signe négatif de la vitesse de  $V_{hd}$  n'est que la direction du corps qui chute du haut vers le bas, contrairement à la valeur de  $V_{wd}$  positive qui représente l'allongement de la personne lors d'une chute.

Pour le seuil  $T_{ih}$ , nous avons déduit la valeur  $0.00001$  m/ms ( $1$  m/s) qui représente le seuil de vitesse en inactivité physique après la chute. Ces valeurs nous ont donné un résultat acceptable tant que l'algorithme ne détecte pas des fausses chutes lors d'un

accroupissement ou éventuellement en sautant. D'autres tests sont prévus ultérieurement pour affiner nos premiers résultats, en particulier avec des personnes âgées, durant l'automne.

Pour le nombre d'images représentant l'inactivité, nous avons effectué ces tests avec 8 images comme période de chute et 16 images comme période d'inactivité, mais ces valeurs sont variables selon le nombre d'images traitées dans le flux d'images reçu. Dans notre cas, nous avons utilisé 30 images/s. Il serait intéressant de paramétrer plutôt une durée d'inactivité non fonction du nombre d'images pouvant être modifié.

Quand une chute est détectée, chaque nœud doit envoyer un message de type « une personne a chuté ». La communication des messages est expliquée dans le paragraphe qui suit.

#### 4.6. Interconnexion de plusieurs Kinect pour la détection de chute

L'intérêt de déployer plusieurs Kinects dans le domicile de la personne âgée est d'élargir la zone de surveillance, tout en rendant plus robuste la détection par l'évitement de fausses alarmes. Dans cette optique de redondance de remontée d'alerte, nous supposons déployer trois capteurs ou plus dans une pièce. Il est alors indispensable que la majorité des nœuds capteurs détectent le même évènement au même instant. La confirmation d'une chute par la majorité des capteurs dans une pièce évitera les fausses alertes, qui pourraient à l'inverse gêner fortement le patient dans un système d'aide au maintien à domicile. Pour atteindre ce but, nous avons utilisé un bus logiciel virtuel **IVY** qui permet l'échange de données sur un réseau *IP* [125].

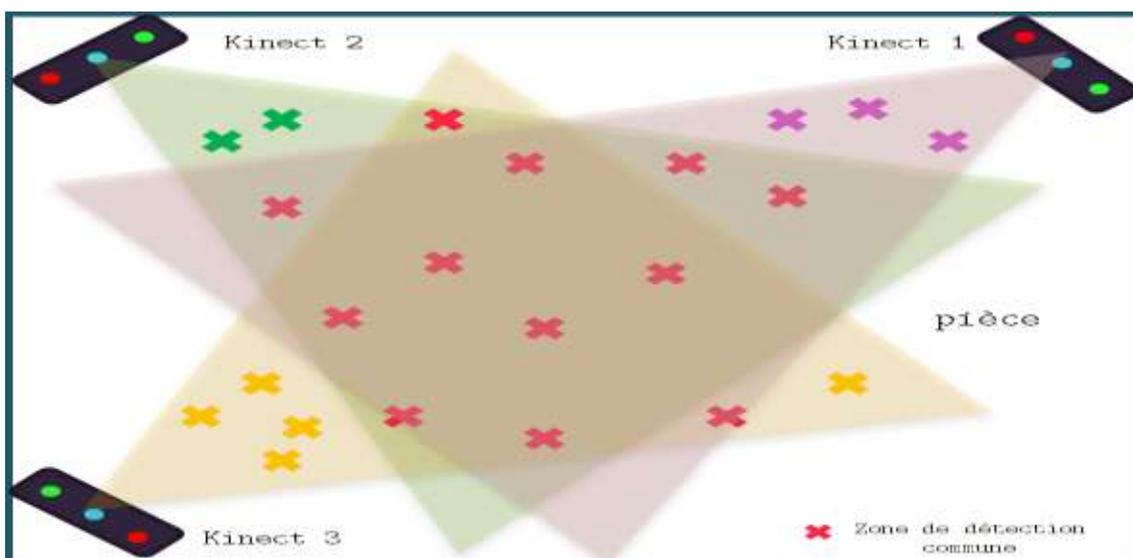


Figure 103. Augmentation de la zone de détection

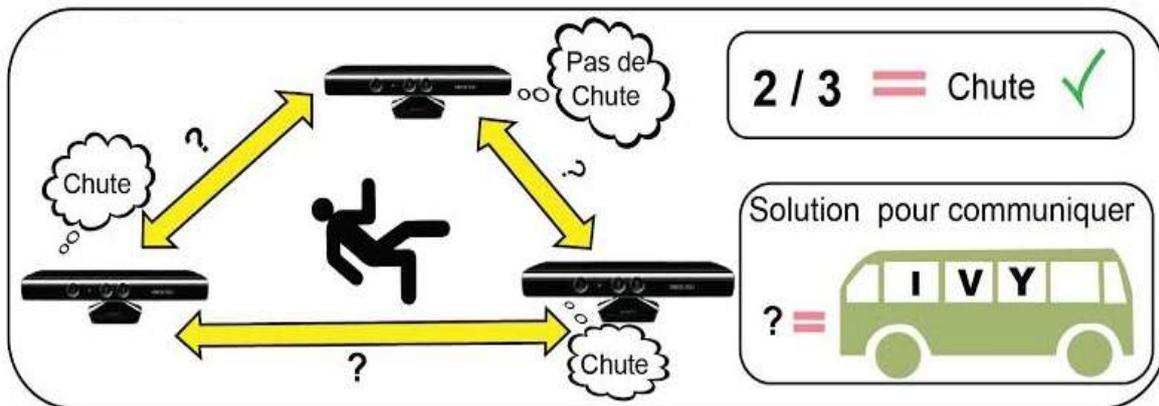


Figure 104. Principe de la communication d'une chute

#### 4.6.1. Le bus logiciel IVY

Le bus **IVY** est un protocole de communication qui permet d'envoyer simplement et rapidement des messages *texte* entre applications distantes en utilisant différents langages (C, C++, Python, Java..) suivant plusieurs bibliothèques[125].Ce bus logiciel permet la connexion de plusieurs agents qui peuvent envoyer, recevoir des messages *texte* puis quittent le bus sans inter blocages. Les messages envoyés via ce bus **IVY** sont ensuite enregistrés grâce à une application existante permettant de sauvegarder dans un fichier *texte* tous les messages transmis.

#### 4.6.1.1. Fonctionnement

Quel que soit le langage utilisé, les principes de fonctionnement restent les mêmes :

- 1- Création d'un nouvel acteur du bus
- 2- Connexion au bus
- 3- Envoi / réception des messages (par un mécanisme d'abonnement)
- 4- Fermeture de la connexion et destruction du bus

Nous notons que l'utilisation d'**IVY** implique l'utilisation de la pile protocolaire *IP*. Le bus se connecte sur un port d'une adresse *IP* (dite de *broadcast*) du réseau local : c'est le point de rendez-vous de tous les agents. « L'adresse **IVY** » en elle-même se divise en 2 parties : adresse *IP* et numéro de port(2010). **IVY** se connecte en réseau local et ne peut pas se connecter sur internet via des routeurs qui ne sont pas traversés. Les agents sont les machines qui vont envoyer leurs formations ou données au bus **IVY** pour se connecter entre elles. Ces agents qui parlent différents langages vont communiquer avec celui-ci.

#### 4.6.1.2. Topologie de multi-caméras

La Figure 105 a déjà été présentée dans le chapitre 2 pour illustrer les agents **IVY**, mais cette fois-ci, elle dispose d'un quatrième agent qui est à l'écoute des messages des autres agents et qui fait le traitement nécessaire pour trouver une redondance de données. Cet agent peut être un mini PC, un *Arduino* [126], un microprocesseur...

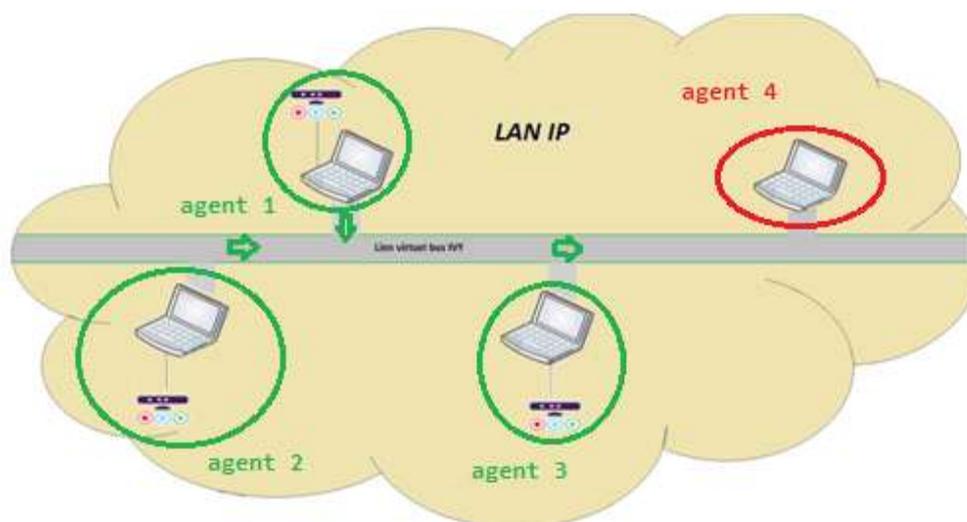
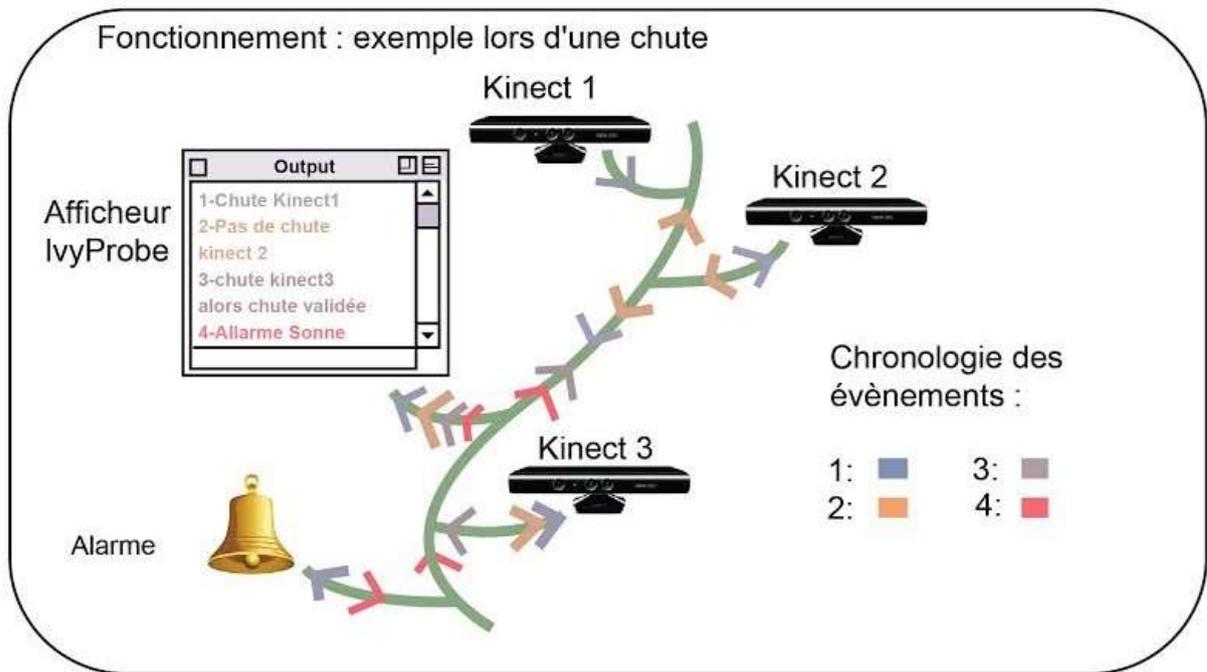


Figure 105. 4<sup>ème</sup> agent

Si on suppose faire communiquer trois Kinects, le quatrième agent sera celui responsable du calcul de la redondance de données communiquées par les trois autres nœuds à travers le bus pendant un certain délai qui ne dépasse pas deux secondes.



**Figure 106. Communication entre les Kinects**

Ainsi, si une chute est détectée par un premier capteur, on attend au maximum deux secondes pour recevoir le même message de chute d'au moins un autre capteur, afin de lancer une alarme, sinon la chute n'est pas confirmée et aucune alerte ne sera envoyée (voir Figure 107).

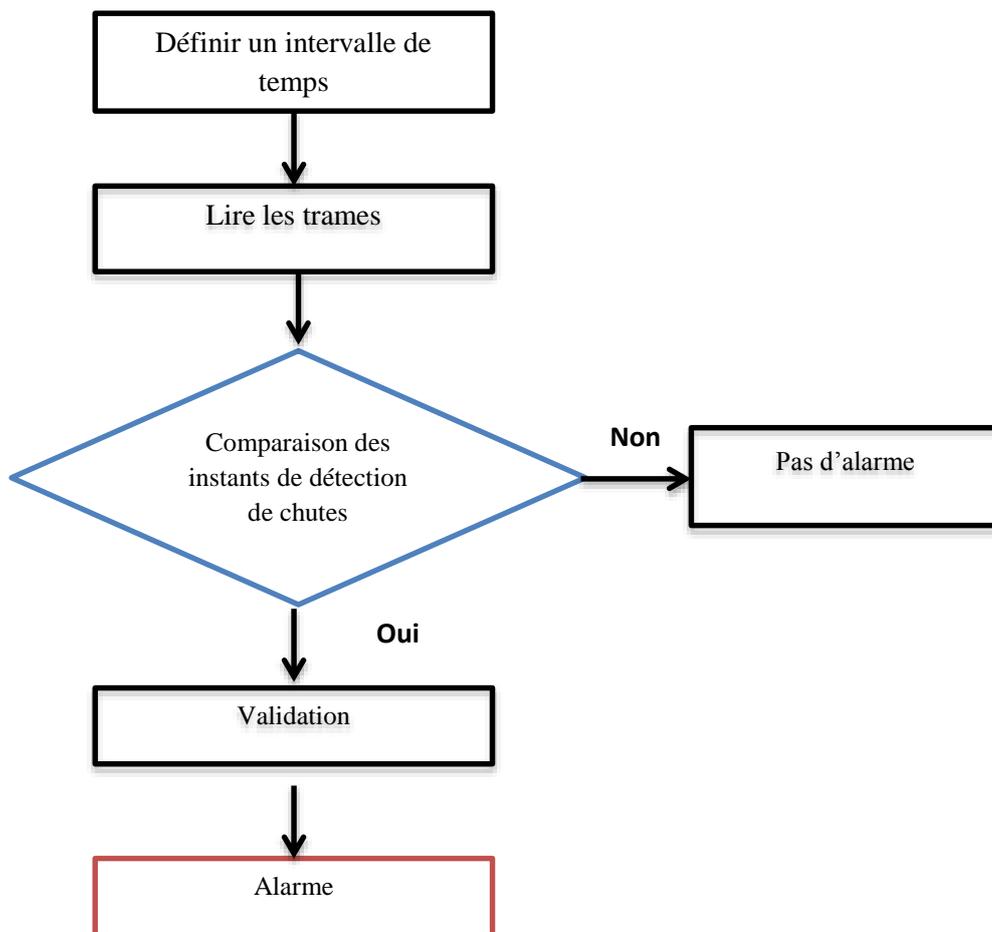


Figure 107. Fonctionnement du quatrième agent

#### 4.6.2. Mise en place et communication de messages

Nous avons tout d'abord installé tous les fichiers du Bus **IVY** ainsi que le logiciel « *IVYProb* » via le site du bus **IVY** [125] sur nos deux machines, afin de faire une connexion entre les deux machines sur notre propre réseau local (*WiFi* de notre box en l'occurrence). Après l'installation du logiciel « *IVYProb* », il est nécessaire d'installer le package *IVY.ppd*. Certains *packages* sont nécessaires à l'installation mais plusieurs versions existent. Nous avons rencontré un réel problème pour trouver les bonnes versions compatibles avec l'environnement et le système d'exploitation, ce qui nous a amené à contacter l'un des concepteurs du bus **IVY**, M.Philippe Truillet qui nous a aidés à résoudre ce problème [125].

Une fois l'installation effectuée, nous démarrons l'application *IVYProb* qui représente en fait l'interface graphique d'**IVY**. Nous commençons par tester la communication entre deux machines avec les démarches suivantes :

1. Visualiser les adresses *IP* des machines, afin de vérifier si elles sont bien connectées au réseau.

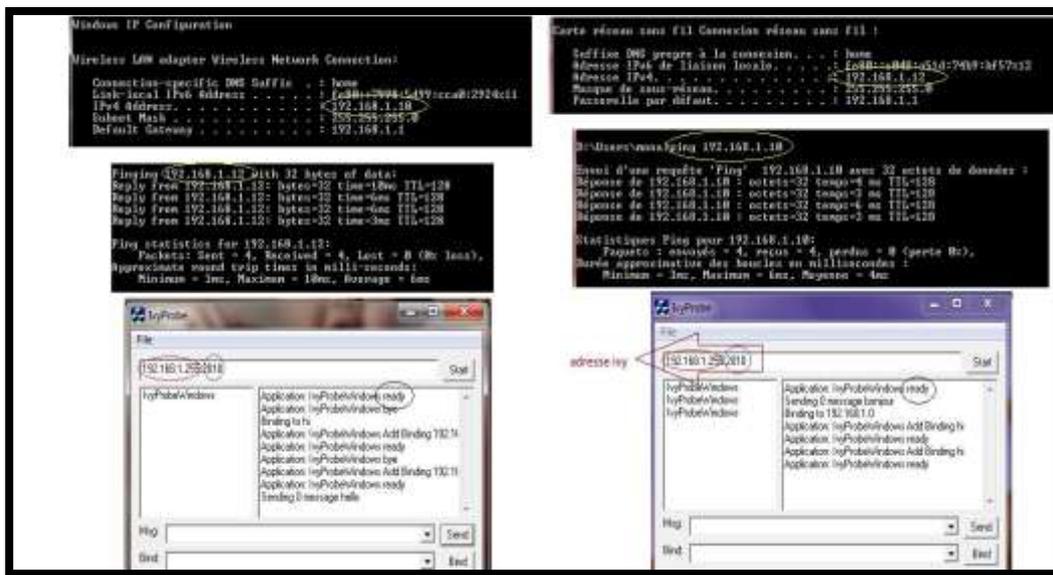


Figure 108. Vérification de la connexion des machines au réseau local

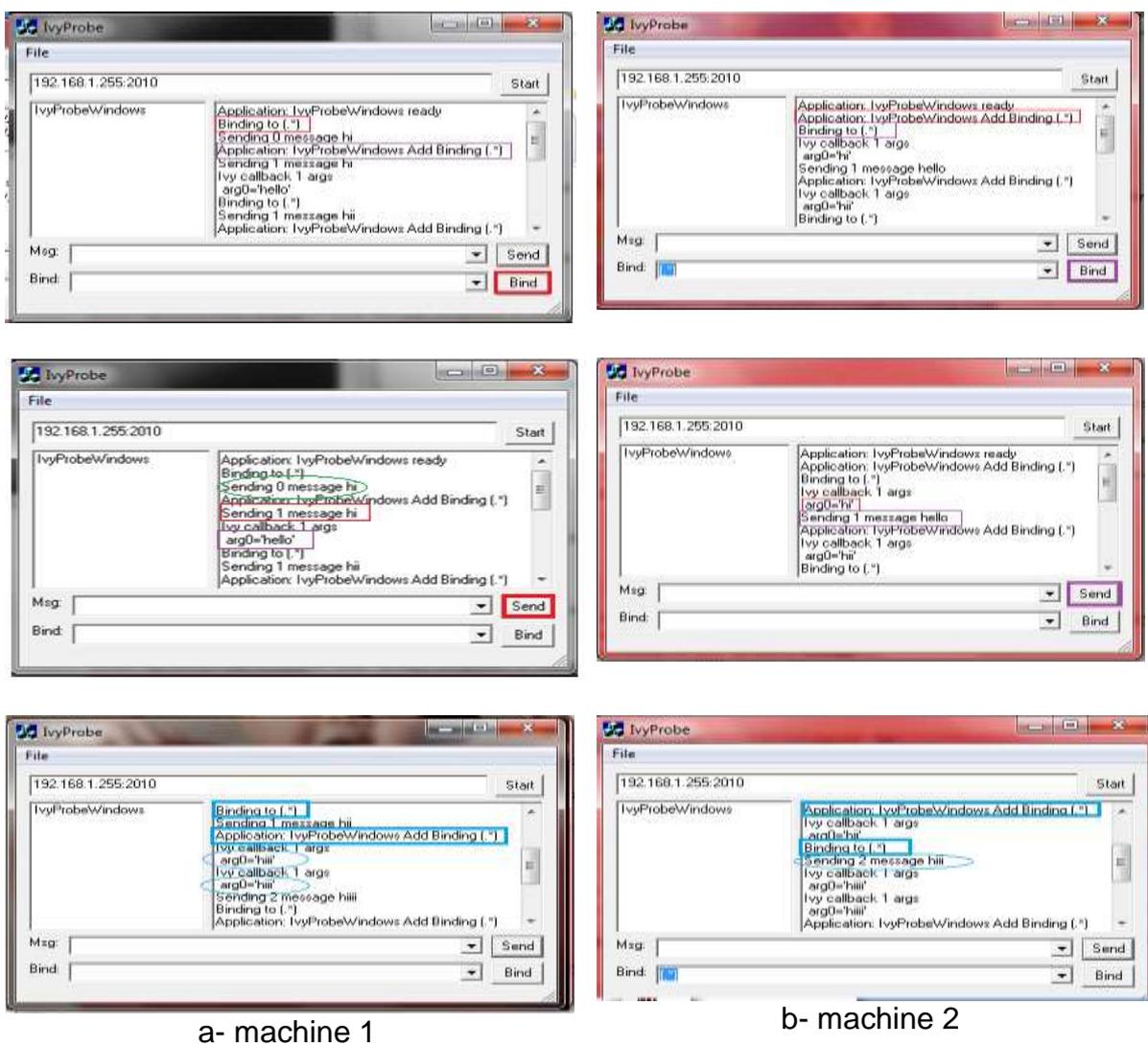
2. Configurer l'adresse IP de *Broadcast* du réseau (192.168.1.255) sur « IVYProb » en ajoutant sur les deux machines un même port à cette adresse (192.168.1.255 :2010).
3. Cliquer sur « START ». Nous voyons apparaître un message indiquant que l'application est prête à être utilisée.



Figure 109. Préparation de l'interface IVYProb

4. Cliquer sur « Bind » et sélectionner (\*) sur les machines puis une seconde fois sur « Bind ». Sur la machine 1, on voit le message « Binding » et sur la machine 2 un message « Add Binding ». Grâce au « Bind », la communication entre les deux machines peut commencer. Nous avons effectué un premier test en envoyant un message.
5. Si on fait « Bind » une seconde fois sur les deux PC et si on envoie un message avec « Send », on remarque que le message envoyé et reçu deux fois sur le PC récepteur.

### 4.6.3. Résultat et test de connexion



### 4.7. Evaluation du coût de la solution

Pour installer notre système chez une personne âgée, il est obligatoire de respecter la norme NFC 15 100 de l'habitat en France. Cette norme vise à sécuriser les personnes et leurs biens en tenant compte des dispositions réglementaires relatives à l'accessibilité aux personnes handicapées. Elle s'applique aux bâtiments neufs tout comme les bâtiments rénovés totalement, partiellement ou en extension [127]. On suppose pour l'exemple, d'installer 3DomoHelpNet dans un domicile de type appartement T2 rénové et de surface 30 m<sup>2</sup>.

Le tableau suivant représente une estimation du coût général du système. Avec trois Kinect déployées dans l'espace séjour-cuisine et trois dans la chambre, trois systèmes d'éclairage **KNX** commandés au plafond permettant d'allumer et d'éteindre la

lumière dans chacun des trois espaces, deux stores ou volets **KNX** pour les deux fenêtres et une prise pour un téléviseur, nous avons obtenu le devis suivant :

Tableau 10. Estimation du coût de la solution

Eléments Caractéristiques	Kinect for Win V.1	Pc (Core i7)	Module 4 StoresKNX	Bouton poussoir KNX	Eclairage KNX	Passerelle IP/KNX
Nb/pièces	3	2	1	1	1	1
Prix unitaire	131 €	300 €	310,11€	176 €	156€	990€
Total nombre	6	2	1	3	3	1
Installation	0€	0€	0€	0€	0€	0€
Total prix	786€	600 €	310€	528€	486€	990€
Coût	3700€					

Notons que nous avons choisi le minimum de matériel nécessaire pour le système et nous avons recommandé le minimum de services **KNX** disponibles sur le site marchand, ainsi qu'une installation domotique personnelle à l'aide du manuel d'utilisation. Ainsi, aucun coût de main d'œuvre n'est demandé.

Nous avons aussi supposé que la personne dispose déjà d'un abonnement *internet* et d'une installation électrique. Dans le cas d'une construction d'un bâtiment neuf du domicile, le coût peut être plus élevé (de l'ordre de 15000€ estimés) en tenant compte des installations électriques et domotiques à la fois. Ce prix, même s'il paraît un peu élevé, reste raisonnable à long terme, surtout si on le compare au prix des hébergements en maisons de retraite par exemple.

Il est encore possible de réduire de coût de notre système, en utilisant des équipements moins performants, ou en utilisant des lampes et des boutons poussoirs normaux. Ce coût général de l'ordre de 3700€ est raisonnable et correspond pratiquement au budget de deux mois de séjour dans une maison de retraite.

#### 4.8. Position par rapport aux autres solutions

Nous retournons au tableau 3 du chapitre 1 pour positionner notre système parmi les projets de recherche présentées.

Détection de chute et communication d'une alerte à travers le réseau de Kinect

	Solutions	Equipements	Type d'intervention	Autonomie		Rapidité d'intervention	Mobilité	Coût	Intrusif
Projets de recherche	<p><b>Le projet DOMUS[34]</b></p> 	<p>Capteurs de mouvement + microphones+ PDA + Ecran tactile</p>	<p>Assistance cognitive, le suivi médical et la télé-vigilance auprès des personnes avec troubles cognitifs</p>	X	—	<p>Période d'apprentissage obligatoire</p>	<p>Réduite (surface de l'habitat)</p>	—	—
	<p><b>Le projet «Guardian Angels » [36]</b></p> 	<p>puces électroniques biomédicaux et environnementaux à ultra-basse consommation et auto-alimentées</p>	<p>Système qui veille au bien-être et à la sécurité, pouvant même interpréter les émotions</p>	—	X	—	<p>Illimitée</p>	<p>Budget 1 milliard € [37]</p>	—
	<p><b>Le projet WISDOM[38]</b></p> 	<p>Capteurs + Patch + Caméra infrarouge</p>	<p>Maintien des personnes âgées à domicile</p>	—	—	—	<p>Réduite (surface de l'habitat)</p>	<p>Budget 582 971 €</p>	X

Détection de chute et communication d'une alerte à travers le réseau de Kinect

	<p><b>Projet CANET</b> [44][45][46]</p>	<p>Une canne équipée de plusieurs capteurs</p>	<p>- Surveillance des personnes âgées</p> <p>- Le réseau de capteurs surveillant utilisé est capable de localiser à tout moment la personne et collecter des informations sur ses signes vitaux (rythme cardiaque, pression etc.)</p>	<p>—</p>	<p>X</p>	<p>Temps réel</p>	<p>Réduite (surface de l'habitat)</p>	<p>—</p>	<p>Oui</p>
	<p>3DomoHelpNet</p>	<p>Un réseau de capteurs Kinect pour l'aide au maintien à domicile</p>	<p>Surveillance des personnes âgées en cas de chute</p> <p>Commande du domicile par gestes</p>	<p>X secteur</p>	<p>—</p>	<p>Temps réel</p>	<p>Réduite (surface de l'habitat)</p>	<p>3700€ avec le bus domotique KNX</p>	<p>Non</p>

#### 4.9. Limitations et discussion

Les limites de notre système s'articulent autour des contraintes technologiques (matériel et logiciel du dispositif utilisé). En effet, bien que le capteur Kinect ait amené une révolution technologique dans le domaine de la construction des images 3D (à travers le **SOCS** PS1080 de *PrimeSens* et le codage lumière), certaines fonctionnalités restent limitées. Parmi ses limitations, on peut citer surtout la surface de la zone de détection qui reste optimale entre 2mètres et 4 mètres. Dès que la personne sort de cette zone, des perturbations de détections des articulations sont observées. Cette limitation est gênante dans le cas de pièces de petites tailles, et nécessite plusieurs kinects dans les pièces les plus grandes, ce qui justifie en partie notre proposition de réseaux de kinects.

D'autres limitations concernent les bibliothèques du **SDK** Kinect incluses dans la version 1.7 sur laquelle nous avons travaillé. Certaines bibliothèques sont limitées en fonctions et il a fallu écrire nos propres bibliothèques pour résoudre certaines problèmes.

Un autre problème de traitement logiciel concerne le nombre d'images par seconde utilisé. En effet, cette caractéristique est propre à l'environnement et n'est pas facilement modifiable sur certaines valeurs (contrairement au cas de l'environnement OpenNi où le FPS est une valeur modifiable dans le fichier de configuration XML). Une autre contrainte présente concerne les licences du logiciel pour le développement commercial. En effet, Microsoft exige une licence commerciale pour développer avec la Kinect, ce qui n'est pas le cas de l'environnement Open Source OpenNi.

Malgré ces quelques limitations, le système présente quand même des avantages non négligeables. En effet, en comparant notre solution à celles présentées précédemment dans l'état de l'art au chapitre 1, nous identifions notre application plus autonome et non intrusive. D'un autre côté, le capteur utilisé fait bien la différence entre les objets présents dans une pièce et la personne. Il n'est pas nécessaire de filtrer la scène ou soustraire le sol ou les meubles des images acquises. De plus, l'application est fonctionnelle même dans des mauvaises conditions de luminosité (nuit) et de contrastes grâce aux images de profondeurs.

Nous notons aussi, que pour réaliser les démonstrations, nous n'avons pas enregistré des vidéos à analyser ultérieurement pour récupérer les données et déterminer les gestes ou détecter la chute. Notre travail a bien été réalisé dans des conditions de temps réel. Les temps d'exécutions mesurés pour détecter les gestes simples sont inférieurs à 33 ms.

Le temps de réponse pour collecter toutes les actions individuelles de chaque kinect et agir sur les actionneurs avec les gestes a été défini par nous-mêmes : 2 secondes en position stable pour agir, mais il est possible de le changer suivant les pathologies des patients.

#### 4.10. Bilan de la détection de chute

Dans ce dernier chapitre, nous nous sommes intéressés à la détection de chute chez une personne âgée. Nous avons implémenté un algorithme connu par sa robustesse et nous lui avons apporté des modifications originales. Ces modifications concernent l'utilisation d'une deuxième diagonale de la boîte englobante au lieu d'une seule et l'accélération instantanée au lieu de la vitesse instantanée.

Nous avons pu tracer les courbes de variations des dimensions de la boîte ainsi que les accélérations et nous avons effectué plusieurs scénarii et tests de chute.

Dans un deuxième temps, nous avons conçu une communication de message d'alerte entre les nœuds capteurs à travers le bus logiciel **IVY**. Ce bus virtuel est caractérisé par sa simplicité. Il est léger et il permet la communication de messages textuels entre les Kinects. Avec la solution réseau de type IP que nous avons adoptée à la fin du chapitre 2 (WiFi, WiFi maillé, 802.11s, **OLSR...**), les alertes sont communiquées à travers le réseau sous forme textuelle. Un agent supplémentaire a été connecté au bus pour évaluer la redondance de données et éviter ainsi les fausses alertes du système.

Cette partie utilisant le bus **IVY** est une contribution majeure dans notre application. En effet, dans tous les travaux de recherche que nous avons lus à propos de la Kinect, nous n'avons pas rencontré un seul travail qui relie plus qu'une Kinect à travers un bus ou même un réseau IP. La seule utilisation de plusieurs nœuds Kinect était pour dans le but d'élargir la zone de détection dans le travail de [128] et détecter les préventions de chutes à l'aide d'autres capteurs biométriques collés sur le corps humain.

L'étude des limitations de notre solution nous a permis d'identifier des pistes pour améliorer le système. Ces pistes seront décrites dans les perspectives.

En conclusion, notre application a été testée et prouvée efficace autant pour le maintien à domicile que pour l'aide au confort.

## 5. Conclusion générale et perspectives

### 5.1 Conclusion

Dans ce travail de thèse, nous avons conçu un système d'aide au maintien à domicile et d'aide au confort, qui cible les personnes âgées à mobilité réduite seules chez elles. Grâce à notre application, une personne âgée peut commander son domicile sans se déplacer ou faire un grand effort ni être confrontée à des écrans tactiles et des interfaces graphiques complexes pour elle. Le système permet aussi et surtout de détecter la chute des personnes âgées. Ce risque est très probable pour une personne à mobilité réduite habitant toute seule.

Ce système obéit au cahier de charge établi au début de ce mémoire de thèse. Il est autonome et surveille la personne 24h/24h. Il respecte la vie privée des patients et il ne limite pas leur liberté. Nous avons effectué des *Testbed* dans la maison intelligente de l'IUT de Blagnac. Les résultats de commande du domicile via le bus **KNX** ont été satisfaisants, avec un temps de réponse assez rapide (0,16 ms). Une synthèse vocale permet également de prononcer un message confirmant ou non une action établie lors de la commande des actionneurs.

Le coût général de l'application est faible par rapport à plusieurs solutions concurrentes. Par conséquent, il sera intéressant de l'installer chez les personnes âgées au lieu de payer assez cher une maison de retraite ou des systèmes qui limitent leur liberté ou qui ne sont pas assez autonomes.

L'autonomie est un point fort de notre système. En effet, les nœuds capteurs utilisés sont alimentés directement par des sources de courants présents dans le domicile. Ainsi, il n'y a pas de crainte de problème de batterie. Le système est autonome tant qu'il y a une électricité. Par contre, toute coupure d'alimentation entraîne le dysfonctionnement du système. Mais, il est possible d'installer aussi un onduleur dans l'appartement en cas de panne électrique (c'est le cas à la maison intelligente). Cette solution est souvent utilisée dans les endroits où on a besoin d'appareils électriques fonctionnels tout le temps.

La détection de chute est un point très important dans notre solution. En effet, la domotique a été conçue non seulement pour faciliter la vie quotidienne mais aussi pour prendre soins des personnes chez elles. Bien que l'algorithme paraisse simple, il était difficile à implémenter en tenant compte des bibliothèques et de l'architecture du **SDK**. Pour accomplir cette tâche, il a fallu concevoir et programmer notre propre bibliothèque « *Kinect.DHN.Toolbox.DLL* ». Nous avons aussi adopté le concept du **MVVM** pour pouvoir lier les sources à la représentation graphique que ce soit pour l'interface principale ou lors de la génération des courbes de chute dans la seconde interface. L'utilisation de la bibliothèque « *Dynamic Data Display* » nous a aidés à dessiner ces courbes directement sur l'environnement de travail en mode dynamique au lieu de passer par un simple fichier texte ou Excel.

Cette procédure nous a permis de gagner en temps d'exécution et en espace mémoire en utilisant des mémoires à décalage. L'introduction de l'accélération au lieu des vitesses nous a permis d'estimer d'autres seuils pour détecter la chute.

Enfin, nous avons réussi à faire communiquer des nœuds capteurs Kinect grâce à un bus logiciel virtuel simple et léger. Ce bus se charge de transmettre les alertes de chutes et utilise un autre agent qui écoute les messages venant des postes des Kinect pour évaluer la redondance de données et confirmer la chute. En revanche, le système présente certaines limitations que nous avons mentionnées dans les critiques. Parmi ces limitations, certaines sont liées au matériel Kinect comme la taille du capteur qui est relativement grande par rapport aux solutions utilisant des nœuds miniaturisés. Cette taille rend le déploiement plus délicat quand il s'agit de petites pièces pour la surveillance comme par exemple la salle de bain où le risque de chute est élevé. De plus pour une surface assez petite, la Kinect aura besoin de moins de 2 mètres pour bien détecter la personne si elle ne dispose pas déjà du mode proche (*Near Mode*) exploitable seulement avec les *Kinects pour Windows* mais non implémenté pour les *Kinects pour Xbox*. Nous n'oublions pas toutefois, que pour mettre en œuvre ce système, il est nécessaire d'avoir des ordinateurs connectés aux capteurs. Ces postes peuvent être des PC ou des petits modules comme des *Raspberrys PI 2* pour faire tourner l'application. Mais dans le cas des ordinateurs, il n'est pas toujours évident d'avoir un nombre de postes équivalent au nombre de capteurs dans une maison, d'où l'intérêt de transposer l'application sur des modules plus légers en perspective.

En ce qui concerne les limitations logicielles, elles sont dues à plusieurs caractéristiques intrinsèques du **SDK** comme le fait de détecter au maximum 6 personnes et n'ensuivre que 4. Une telle caractéristique pose un problème si l'on veut implémenter cette application dans un environnement multiutilisateur comme une maison de retraite par exemple. Ceci limite principalement notre système à l'usage personnel chez soi, ce qui était tout de même le but principal. D'autres contraintes logicielles ont été identifiées lors des tests, comme par exemple la confusion entre une personne assise et un fauteuil roulant détectée comme un squelette. Il est heureux que ce fauteuil ne puisse pas de lui-même tomber ou faire des gestes pour commander le domicile !

La dernière limitation que nous pouvons mentionner concerne la nécessité d'un réseau IP et d'un abonnement *internet* que nous avons déjà comptabilisé dans le coût du système. Bien que la majorité des personnes possèdent déjà de nos jours une connexion *internet* chez elles, beaucoup de seniors restent en recul en ce qui concerne la technologie et les coûts supplémentaires.

En conclusion, notre solution est intéressante, et applicable pour les personnes seules âgées ou à mobilité réduite. Elle est rapide, avec un programme léger, facile à implémenter et aide aussi au confort. L'aide au maintien à domicile est devenue une thématique majeure de nos jours. Nous pourrions et souhaitons poursuivre à contribuer dans ce domaine en améliorant de plus en plus notre système et les moyens utilisés. Nous présentons ces améliorations en perspectives de notre travail.

## 5.2 Perspectives

Les perspectives de ce travail sont centrées autour des limitations rencontrées. En effet, nous comptons augmenter la surface surveillée en tenant compte des interférences des zones de détection. Nous envisageons de travailler avec la nouvelle Kinect 2 qui offre beaucoup plus d'options, en particulier en ce qui concerne les champs de capture qui sont beaucoup plus larges. Ceci permettra une meilleure détection pour communiquer les alertes. Nous voulons aussi transférer l'application sur une plateforme plus légère de type Raspberry PI 2 par exemple, et nous comptons implémenter plus de gestes dynamiques de type *Unistroke*. Ceci augmentera la base de données des gestes et nous permettra de commander plus d'actionneurs.

Lors de l'étude présentée dans le chapitre 2, nous avons choisi d'adopter la solution **WIFI** maillée et limiter la communication entre les nœuds à des messages textuels. Cependant, il est possible de suivre une autre piste en utilisant une technologie réseau à débit plus élevé et communiquer des images 3D entre les nœuds.

Une autre perspective très importante est la reconnaissance faciale. Dans ce travail, nous avons supposé que la personne surveillée est seule. En revanche, si elle a de la visite, il peut être intéressant de faire la différence entre elle et le visiteur en utilisant uniquement les images de profondeurs. C'est une tâche majeure qui pourra être une continuation du sujet, partiellement étudiée par un travail sur la reconnaissance faciale en images classiques que nous avons réalisé, mais que nous n'avons pas détaillé dans ce mémoire.

Une autre piste possible concerne la sécurisation des communications au sein du réseau de Kinect. En effet, si le but est de maintenir la personne chez elle en toute sécurité et en toute intimité, il est intéressant de crypter les données communiquées pour éviter toute falsification, en particulier si les alarmes doivent être routées sur *Internet* vers un centre de surveillance distant. Il sera également possible de communiquer cette alerte sur une application mobile pour alerter des proches et communiquer des images de la situation d'urgence montrant la personne tombée par exemple, d'où encore une fois la nécessité de crypter les données.

Il est également possible d'exploiter la reconnaissance vocale de la Kinect qui n'était pas à la base le but de cette thèse, mais qu'il serait intéressant d'associer à la partie détection de chute par images 3D, car, par exemple, une chute s'accompagne généralement d'un bruit ou d'un cri.

Lors de la transmission des alertes entre les nœuds Kinect à travers le bus **IVY**, l'agent responsable de la détection de redondance de données a été programmé de façon à calculer la différence de temps entre les messages communiqués. Selon cette différence, il estime s'il s'agit de la même chute ou pas. Il sera efficace de synchroniser les postes Kinects sur un même fuseau horaire par le protocole NTP ou SiSP par exemple pour éviter toute erreur due à une précision de temps.

## Conclusion générale et perspectives

Nos travaux réalisés sur le concept de *3D Bounding Box* pourront également être étendus à d'autres capteurs tels que des accéléromètres 3D, gyromètres 3D... utilisés dans le cadre de la canne connectée du projet CANet ou plus largement de tout objet dans le contexte de l'Internet des objets pour la surveillance des personnes âgées et handicapée.

Afin d'éviter une utilisation permanente des kinects, il serait intéressant de localiser les personnes, ce qui permettrait de mettre en marche uniquement les kinects correspondant à la pièce où se déplace la personne âgée.

## Bibliographie

- [1]. Institut Nationale d'Etudes Démographiques INED, «A Quoi sert les démographes», Récupéré sur <http://www.ined.fr/>
- [2]. L'Organisation des nations Unis ONU, «A propos de l'ONU», <http://www.un.org/>
- [3]. L'Organisation Mondiale de la Santé OMS (2014), <http://www.who.int/>
- [4]. Institut Nationale de la Statistiques et des Etudes Economiques INSEE, I. N. (2012). Récupéré sur <http://www.insee.fr/>
- [5]. United Nations Children's Fund UNICEF, Récupéré sur <http://www.unicef.org>
- [6]. Central Intelligence Agency CIA, Récupéré sur <https://www.cia.gov/>
- [7]. Statistiques Mondiales, Récupéré sur <http://www.statistiques-mondiales.com/>
- [8]. Nations Unis « Divison populaires », Consulté le 02 Septembre 2014 sur <http://www.un.org/>
- [9]. Banque Mondiale (2013), Récupéré sur <http://www.banquemondiale.org>
- [10]. Legorafi, «Syrie:l'espérance de vie chute de 75 ans à deux heures et demie » (07/10/2013) Récupéré sur <http://www.legorafi.fr>
- [11]. A. Adveev, T. Eremenko, P. Festy, J. Gaymu, N. Bouteillec, Rapport «Populations et tendances démographiques des pays européens (1980-2010)» Springer, S. (2011).
- [12]. Eurostat: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>
- [13]. Institut national d'études démographiques INED, Récupéré sur [http://www.ined.fr/fichier/t\\_telechargement/66414/telechargement\\_fichier\\_fr\\_publi\\_pdf1\\_04\\_popf1101\\_avdeev.pdf](http://www.ined.fr/fichier/t_telechargement/66414/telechargement_fichier_fr_publi_pdf1_04_popf1101_avdeev.pdf)
- [14]. Robert-Bobée, «Projections de population2005-2050 vieillissement de la population métropolitaine en France». Article de journal ECONOMIE ET STATISTIQUES (2007), pages 408-409.
- [15]. Emploi et Développement social Canada (2014), Récupéré sur <http://www4.rhdcc.gc.ca/>
- [16]. J.Tilly & J. M. Wiener, Article de journal «Population ageing in the United States of America: implications for public programmes » International Journal Of Epidemiologie, 2002, Volume 31, Issue 4, Pp. 776-781
- [17]. Lefiagro «La population des états unis vieillit» (2011, 05 27), Récupéré sur: <http://www.lefigaro.fr/>
- [18]. Administration of Aging (2014), [http://www.aoa.gov/Aging\\_Statistics](http://www.aoa.gov/Aging_Statistics)
- [19]. National center of Chronic Disease Prevention and Health Promotion. (2013). "The State of Aging&health in America 2013".
- [20]. DUPÂQUIER Jacque, ouvrage «Le vieillissement de la population dans le monde» (2004)
- [21]. Dan Munro, ouvrage «The Year In Healthcare Charts» (2012)
- [22]. H. Dubert & B. Dormont, Rapport pour l'institut Montparnasse« Vieillissement de la population et croissance des dépenses de santé» (2012)
- [23]. Lefiagro. Article « Les personnes âgées frappées de plein fouet par la solitude ». Récupéré sur <http://www.lefigaro.fr/actualite-France> (07 07, 2014,)
- [24]. CepiDc-Inserm, Consulté le 10 2014, sur <http://www.cepidc.inserm>
- [25]. L. Schneider, S. Charles, M. Reynolds, F. Barry, M. Lebowitz, D. Arnold, «Diagnosis and Treatment of Depression in Late Life». American Psychiatric Publishing, Results of the NIH Consensus Development Conference, (1994).

- [26]. World health organization Country, report for the USA (2006).
- [27]. Instituts de recherche en santé du Canada, Récupéré sur <http://www.cihr-irsc.gc.ca/f/26988.html#7> (2010)
- [28]. Bernard ESCALERE et Georges MALO, ouvrage «Les fondements du maintien à domicile» (2002)
- [29]. Le journaliste, «Le scandale du coût des maisons de retraite». Consulté le 2014, sur <http://blog.seniorenforme.com/> (25 11, 2014)
- [30]. Lefiagro, «Naissance d'une maison de retraite publique à bas coût», Récupéré sur <http://www.lefigaro.fr> (02 22, 2013).
- [31]. Projet ICARE. (2014). Récupéré sur <http://www.projet-icare.fr/>
- [32]. LAAS: projet HOMECARE. Récupéré sur <http://projects.laas.fr/HOMECARE/> (2014).
- [33]. Charlon, Y. (2014). «Conception d'un dispositif électronique pour l'aide au maintien des personnes âgées». Thèse soutenue en Octobre 2014
- [34]. Laboratoire DOMUS. Récupéré sur <http://www.usherbrooke.ca> (2012).
- [35]. Institut CARNOT LSI. (s.d.). Récupéré sur <http://www.carnot-lsi.com/notre-offre/batiment-intelligent/offres/domus>
- [36]. <http://guardianangel.net/> (2013)
- [37]. [http://cordis.europa.eu/fp7/ict/programme/fet/flagship/home\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/ict/programme/fet/flagship/home_en.html)(2013)
- [38]. Centre Interdisciplinaire de recherche Travail Etat et société. (2014). Récupéré sur <http://www.uclouvain.be/470227.html>
- [39]. Tic et Autonomie, Consulté le 2014 sur <http://mad.benetic.net/?cat=7>
- [40]. <http://www.monprojetdomotique.fr/mon-confort-au-quotidien/brancher-et-debrancher-sans-effort/>
- [41]. <http://www.senior-cottage.fr/>
- [42]. <http://web4seniors.fr/2014/01/le-senior-cottage>
- [43]. <http://www.vivrefm.com/infos/lire/2077/le-senior-cottage-une-alternative-a-la-maison-de-retraite>
- [44]. KHSSIBI, S. (2014). thèse «Utilisation des réseaux de capteurs dans une canne pour les applications de surveillance de personnes»
- [45]. Report of the Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Injury Prevention and Control. (WISQARS), «Web-based Injury Statistics Query and Reporting System » (2013)
- [46]. Statistiques Canada, Article «Enquête sur la santé dans les collectivités canadiennes - Composante annuelle (ESCC) ». Ottawa, Numéro 3226(2012)
- [47]. C. Becker, F. Gebhard, R. Mucche, S. Scheible, T. Nikolaus, «Epidemiology of accidental falls in the elderly» Article du journal Z Orthop Ihre Grenzgeb, pages 137(6):482-5 (1999 Nov-Dec).
- [48]. F. Bloch, D. Jegou, J.F. Dhainaut, A.S Rigaud, J. Coste, J.E Lundy, Y.E Claessens, «Do ED staffs have a role to play in the prevention of repeat falls in elderly patients? », Journal Am J Emergency Medicine, Volume 27, Issue 3, Pages 303-307, (March 2009)
- [49]. X. Yu, « Approachs and methods for fall detection ». 10th IEEE Intl. Conf. on e-Health Networkin Applications and Service (HEALTHCOM). (2008).
- [50]. N. Noury, A. Fleury, P. Rumeau, A. Bourke, G. Laighin, «Fall detection – Principles and Methods», 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS , Cité internationale, Lyon-France. (August 23-26, 2007).
- [51]. INEPS Experts groupe. (2013). «Prévention des chutes chez les personnes âgées à domicile ».

- [52]. Axaprevention. Récupéré sur <http://www.axaprevention.fr/objectif-securite/conseils-seniors>
- [53]. Protec-chute. Récupéré sur <http://www.protec-chute.com/>
- [54]. Y. Choi, « A Study on Machine Learning Algorithms for Fall Detection and Movement Classification». International Conference on Information Science and Applications (ICISA). Jeju Island (2011)
- [55]. H. Foroughi<sup>1</sup>, A. Rezvanian & A. Pazirae, «Robust fall detection using human shape and multi class SVM», Sixth Indian Conference on Computer Vision, Graphics & Image Processing ,IEEE (2008).
- [56]. M. Luštrek, B. Kaluža, J. Stefan, «Fall Detection and Activity Recognition with Machine Learning». Informatica 33 , 205–212 205 (2009)
- [57]. Aertssen Jerry, Thesis «an intelligent camera for the helthcare», Delft University of technology Netherlands, August2011
- [58]. H. Charif & S. McKenna, « Activity Summarisation and Fall Detection in a Supportive Home Environment », the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'04) IEEE , pp. 1051-4651 (2004)
- [59]. Sh. Miaou, PH.Sung, CY.Huang, “A Customized Human Fall Detection System Using Omni-Camera Images and Personal Information “ , ,Proceedings of the 1st Distributed Diagnosis and Home Healthcare (D2H2) Conference Arlington, Virginia, USA(April 2004)
- [60]. C. Rougier, J. Meunier , A. St-Arnaud, J.Rousseau, “fall detection from human shape and motion history using vido surveillance”, 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07)0-7695-2847-, (2007)
- [61]. C. Rougier, J. Meunier , A. St-Arnaud, J.Rousseau, « Monocular 3D Head Tracking to Detect Falls of Elderly People»,,, the 28th IEEE EMBS Annual International Conference, New York City, USA(Aug 30-Sept 3, 2006)
- [62]. Wassim Filali, thèse de doctorat, "Détection temps réel de postures humaines parfusion d'images 3D (2014)
- [63]. G. Diraco, A. Leone, P. Siciliano, “An Active Vision System for Fall Detection and Posture Recognition in Elderly Healthcare”, CNR-IMM, Via Monteroni, presso Campus Universitario, Palazzina, Italy 978-3-9810801-6-2/DATE10 © 2010 EDAA.
- [64]. H. Alemdar, C. Ersoy, “Wireless sensor networks for healthcare : A survey”, Computer Networks, Volume 54, Issue 15, 28 October 2010, Pages 2688–2710
- [65]. R. Steel , A. Lo, “Elderly persons’ perception and acceptance of using wireless sensor networks to assist healthcare”, Received: March 3, 2009; Received in revised form: July 26, 2009; Accepted: August 2, 2009; Published Online: September 01, 2009
- [66]. <http://www.astrosurf.com/luxorion/medecine-sans-fil.htm>
- [67]. <http://googleblog.blogspot.fr/2014/01/introducing-our-smart-contact-lens.html>
- [68]. <http://www.ifsip-ouarzazate.com/2512-pourquoi-on-est-autiste>
- [69]. <http://www.mensquare.com/menly/archives/une-puce-sous-cutanee-pour-smartphone-capable-de-controler-votre-sante>
- [70]. R. Cheour, K. Lahmar, M. Abid, ; CESlab, “Evolution of wireless sensor networks and necessity of power management technique”; Nat. Sch. of Eng. of Sfax, Tunisia, IEEE conference “Faible Tension Faible Consommation (FTFC)” Marrakech, pages 75 – 78, 30 May 2011- 1 June2011,
- [71]. S. Aslam, F. Farooq, S. Sarwar, “Power consumption in wireless sensor networks”, FIT '09 Proceedings of the 7th International Conference on Frontiers of Information Technology, COMSATS Institute of Information Technology, New York, NY, USA 2009

- [72]. X. Wang ; "Distributed Energy Optimization for Target Tracking in Wireless Sensor", Networks Dept. of Precision Instrum., Tsinghua Univ., Beijing, China, Mobile Computing, IEEE Transactions on (Volume:9 , Issue: 1 ), 26 mai 2009
- [73]. H. Wang ; Div. of IT Convergence Eng., Pohang Univ. of Sci. & Technol., Pohang, South Korea, "Network lifetime optimization in wireless sensor networks", Selected Areas in Communications, IEEE Journal on (Volume:28 , Issue: 7 ), pages 1127 – 1137, September 2010
- [74]. J. Janesick, "Dueling detectors: CCD or CMOS? "Spie OE-Magazine, pp30-33, February 2002
- [75]. Franck Vidal, cours imagerie numérique, Université de Toulouse 2, <http://w3.msh.univ-tlse2.fr/bipt/SAVOIRPLUS/definition/definition.html>
- [76]. Jérôme Dubois, Thèse de doctorat en Instrumentation et informatique de l'image, "Conception en technologie CMOS d'un Système de Vision dédié à l'Imagerie Rapide et aux Traitements d'Images », soutenue le 27 Août 2008, Université de Bourgogne
- [77]. [http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI\\_fr\\_M05\\_C06/co/Contenu\\_18.html](http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M05_C06/co/Contenu_18.html)
- [78]. Klaus Weber, manager marketing des produits caméras, Livre Blanc, « Les capteurs CMOS : Prêts pour la diffusion, aujourd'hui », Février 2012
- [79]. T. Hamamoto, K. Aizawa, "A Computational Image Sensor with Adaptive Pixel-Based Integration Time" IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol 36 April 2001
- [80]. OZAKI, T., KINUGASA, H. et NISHIDA, T., « A Low-Noise Line- Amplified MOS Imaging Devices ». IEEE Transactions on Electron Devices, 38, no.5, 969-975. (1991)
- [81]. Michel Marchandiaux, Michel Robert, Michel Porte, œuvre « Capteurs intelligents et méthodologie d'évaluation », 1993
- [82]. <https://www.leapmotion.com/>
- [83]. <http://www.clubic.com/jeu-video/kinect/actualite-393526-insolite-offrez-clone-kinect-60.html>, publié le 27 janvier 2011 par Audrey Œillet
- [84]. <http://www.clubic.com/jeu-video/kinect/actualite-388800-primense-asus-devoilent-alternative-kinect-pc.html>, publié le 5 janvier 2011 par Audrey Œillet
- [85]. <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
- [86]. <http://www.geektheory.fr>
- [87]. <http://www.cnblogs.com/billin/archive/2013/05/19/3087477.html>
- [88]. <http://en.wikipedia.org/wiki/PrimeSense>
- [89]. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
- [90]. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Courants\\_porteurs\\_en\\_ligne](http://fr.wikipedia.org/wiki/Courants_porteurs_en_ligne)
- [91]. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Topologie\\_mesh](http://fr.wikipedia.org/wiki/Topologie_mesh)
- [92]. T. Clausen, P. Jacquet, C. Adjih, A. Laouiti, P. Minet, P. Muhlethaler, A. Qayyum, L. Viennot, "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)", Projet HIPERCOM, HAL Id: inria-00471712, soumis 8 avril 2010
- [93]. F. Chiabrando, R. Chiabrando, D Piatti and F. Rinaudo, "Sensors for 3D Imaging: Metric Evaluation and Calibration of a CCD/CMOS Time-of-Flight Camera", Sensors 2009, 9(12), 10080-10096, Published: 11 December 2009
- [94]. [http://www-eurogamer-net\\_articles\\_digitalfoundry-primense-article\\_ori322wz](http://www-eurogamer-net_articles_digitalfoundry-primense-article_ori322wz)
- [95]. <http://www.eei.cena.fr/products/ivy/>
- [96]. <http://mi.iut-blagnac.fr/>
- [97]. Julien Thomet, « Une vue d'ensemble de la reconnaissance de gestes », Département d'informatique-Université de Fribourg, Séminaire « Gesture recognition », Semestre d'automne 2009, Université de Fribourg

- [98]. Jérôme Martin, Thèse « Reconnaissance de gestes en vision par ordinateur », laboratoire GRAVIR-IMAG, 13 juillet 2000, INP Grenoble
- [99]. Clément Réverdy, « Modèles de Markov Cachés (HMM) pour de la reconnaissance de gestes humains », thèse soumise en décembre 2014, UBS Vannes - Université de Bretagne Sud - Vannes
- [100]. T.M Sezgin and R. Davis, "HMM-based efficient sketch recognition". Proc. IUI '05. New York: ACM Press, 281-283(2005)
- [101]. D. Anderson, C. Bailey, and M. Skubic, "Hidden Markov Model symbol recognition for sketch-based interfaces". AAAI Fall Symposium. Menlo Park, CA: AAAI Press, 15-21, (2004)
- [102]. O. Ben-Hania , S. Bouakaz, « Utilisation de l'ACP pour la reconnaissance des gestes 3D de la main », LIRIS - Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information, ORASIS - Congrès des jeunes chercheurs en vision par ordinateur, Jun 2011, Praz-sur-Arly, France. 2011
- [103]. <http://www.numerama.com/magazine/11737-sony-presente-un-televiseur-qui-s-eteint-quand-personne-ne-le-regarde.html>
- [104]. <http://www.filsantejeunes.com/la-langue-des-signes-6483>
- [105]. Kinect pour Windows V2 : la session mouvementée "  
<http://fr.slideshare.net/Developpeurs/pfx201>
- [106]. <http://www.linformaticien.com/actualites/id/29197/kinect-sur-xbox-one-une-camera-de-surveillance-a-domicile.aspx>
- [107]. J. O. Wobbrock, A .D . Wilson, Y. Li, "Gestures without Libraries, Toolkits or Training: A \$1 Recognizer for User Interface Prototypes", University of Washington, UIST'07, October 7-10, 2007, Newport, Rhode Island, USA. ACM 978-1-59593-679-2/07/0010, 2007
- [108]. Anthony, L. and Wobbrock, J.O. (2012). "N-Protractor: A fast and accurate multistroke recognizer". Proceedings of Graphics Interface (GI '12). Toronto, Ontario (May 28-30, 2012). Toronto, Ontario: Canadian Information Processing Society, pp. 117-120.
- [109]. Anthony, L. and Wobbrock, J.O. (2010). A lightweight multistroke recognizer for user interface prototypes. Proceedings of Graphics Interface (GI '10). Ottawa, Ontario (May 31-June 2, 2010). Toronto, Ontario: Canadian Information Processing Society, pp. 245-252.
- [110]. <http://www.domesys.fr/technologies.html>
- [111]. <http://www.siemens-home.fr/>
- [112]. <http://www.legrand.fr/>
- [113]. <https://www.schneider-electric.fr/>
- [114]. <http://www.knx.fr>
- [115]. <http://www.knx.fr/KNX-France-certifications.html>
- [116]. [http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2007/aessaidi-ndiop\\_LA-DOMOTIQUE/infraClassique.htm](http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2007/aessaidi-ndiop_LA-DOMOTIQUE/infraClassique.htm)
- [117]. [http://www.sigma-tec.fr/domotique/texte\\_topologie\\_architecture\\_knx.html](http://www.sigma-tec.fr/domotique/texte_topologie_architecture_knx.html)
- [118]. SOUHILA GUERFI ABABSA, " Authentification d'individus par reconnaissance de caractéristiques biométriques liées aux visages 2D/3D ", Thèse soutenue le 03 octobre 2008, Université d'Evry Val d'Essonne
- [119]. I. Brahmi et A. Sehli, « Application d'algorithme de reconnaissance de visages appliqués aux capteurs vidéo intelligents type Kinect pour la surveillance à domicile », projet de fin d'études, ISIMG, Mai 2013

- [120]. A.J. Pieterse, T.B. Luttikhoud, K. de Laat and B.R. Bloem "Falls in patients with neuromuscular disorders" Journal of the Neurological Sciences Volume 251, Issues 1–2, 21 December 2006, Pages 87–90
- [121]. X. Yu « Approachs and methods for fall detection », 10th IEEE Intl. Conf. on e-Health Networking, Applications and Service (HEALTHCOM 2008)
- [122]. G. Mastorakis and D. Makris « Fall detection system using Kinect's infrared sensor » , J Real-Time Image Proc, DOI 10.1007/s11554-012-0246-9, Springer-Verlag 2012
- [123]. <http://openni.ru/openni-sdk/>
- [124]. [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/gg405484\(v=pandp.40\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/gg405484(v=pandp.40).aspx)
- [125]. <http://www.irit.fr/~Philippe.Truillet/ivystore/>
- [126]. <http://www.arduino.cc/>
- [127]. Hager "L'installation électrique dans l'habitat » Guide normative et réglementaire » consulté sur :[http://pdf.hager.com/viewer/guide\\_NFC15100\\_pdf\\_262/](http://pdf.hager.com/viewer/guide_NFC15100_pdf_262/)
- [128]. Stone, E.E. &Skubic, M. "Evaluation of an inexpensive depth camera for passive in-home fall risk assessment", 5th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, 2011

## **Réseau de capteurs sans fil comportementaux pour l'aide au maintien à domicile par la surveillance en habitat intelligent**

### **Résumé :**

Ces dernières années, les réseaux de capteurs sans fil ont vu leurs champs d'applications s'élargir pour toucher plusieurs domaines dont celui de surveillance. En parallèle, le domaine à vocation médicale pour l'assistance aux personnes n'a pas manqué de s'intéresser lui aussi à cette technologie émergente face aux nombreux attraits qu'elle représente. C'est dans ce contexte que se situe notre travail de thèse. Nous nous intéressons à l'utilisation des réseaux de capteurs de type vidéo non intrusif pour la surveillance continue de personnes âgées évoluant dans leur environnement naturel. L'objectif est la proposition d'un système associant capteur vidéo et analyse intelligente locale, à un système de communication sans fil permettant la surveillance de personnes dans son habitat ou en milieu spécialisé. Nous désirons avant tout être capable d'identifier la personne surveillée et détecter son comportement, ses actions, ses mouvements afin d'agir sur son environnement via un système de communication sans fil et domotique, détecter une chute et émettre une alerte à travers le réseau. Une telle proposition, représente une solution avantageuse pour plusieurs raisons. Sur le plan économique, surveiller une personne âgée tout en la gardant dans son environnement normal permettrait de diminuer les charges d'assistance aux personnes en les traitant par un personnel spécialisé à l'hôpital ou à une maison de retraite. Un apport non négligeable est celui lié aux aspects psychiques et sociaux de la personne âgée, à qui cette surveillance discrète et imperceptible lui assure à la fois le sentiment de sécurité, de respect de la vie privée et d'autonomie.

**Mots clé :** Kinect, domotique, surveillance, réseau IP de capteurs, habitat intelligent

### **Abstract:**

In recent years, wireless sensor networks have seen their fields of application expand to affect several areas, including monitoring. In parallel, the field medical projects to assist people did not fail to be interested in this emerging technology thanks to the attractions it represents. It is in this context that our thesis is subscribed. We are interested in the use of a non-intrusive video sensors network to monitor elderly people continuously in their natural environment. The objective is the proposal of a video sensor system combining local and intelligent analysis, a wireless communication system for monitoring people in their habitat or specialized environment. We want above all, to be able to identify and detect the monitored person's behavior as well as his actions and his movements to act on his environment via a wireless communication system and home automation. Then we aim to detect a fall and communicate an alert through the network. This proposal represents an advantageous solution for several reasons. Economically, monitor an elderly person while keeping it in his normal environment would reduce the charges of assistance to people by treating them with specialized staff at the hospital or a nursing home. A significant contribution is the one related to the psychological and social aspects of the elderly, to whom this discreet and invisible monitoring ensures both the feeling of security, respect for privacy and autonomy.

**Key words:** Kinect, elderly assistance, IP sensors network, smart house