

Contribution à l'analyse des signaux et à leur classification.
Applications aux Technologies pour la Santé, au maintien à domicile de la personne fragile et à l'analyse du comportement humain.

Anthony Fleury

ED SPI — Spécialité Automatique, Génie Informatique, Traitement du Signal et des Images

Garant : Stéphane Lecoeuche, IMT Lille Douai

Rapporteurs

Francois Charpillet, DR INRIA, Nancy

Bernadette Dorizzi, Pr, IMT

Edwige Pissaloux, PU, Univ. Rouen

Examineurs

Régis Beuscart, PU/PH, Univ. Lille

François Brémond, DR INRIA, Sophia Antipolis

Frédéric Lerasle, PU, Univ. Toulouse

Sommaire de la présentation

1. Parcours professionnel
2. Introduction
3. Traitement de signal et apprentissage pour pour l'analyse de comportements
 1. Mesurer et analyser les capacités proprioceptives
 2. Analyse d'actions
 3. Reconnaissance d'activités
4. Perspectives
 1. Travaux à venir
 2. Long terme
5. Bibliographie

Recherche

2005



Thèse de doctorat, Univ. Joseph Fourier, Grenoble, Laboratoire TIMC-IMAG (dir. Norbert Noury, Michel Vacher)
Analyse d'activités dans les habitats intelligents

2008



Post-doctorat, EPFL (Lausanne), Laboratoire de Mesure et d'Analyse du Mouvement (dir. Kamiar Aminian)
Mesure des mouvements de l'épaule pour la quantification de la rééducation post-opératoire.

2009



Enseignant-Chercheur, IMT Lille Douai, URIA
Analyse de comportement humain, traitement du signal et méthodes de classification associées

2019



Enseignements

2005

Langage C, architecture des ordinateurs, introduction à l'automatisme

2008

2009

Algorithmique et programmation, programmation objet, bases de données

2013

Algorithmique et programmation, **programmation mobile (iOS), data mining**

2016

Création d'un module e-santé (mineure, env. 100h), **développement mobile** (Swift)

2019

- Implication dans des pédagogies innovantes
- Élu au jury des études/ conseil d'école
- Participation active à la construction du nouveau cursus

Collaborations - encadrements

Merci à tous

Master 2



Mounir Hammouche
Reconnaissance d'actions
avec Kinect



Sid Ahmed Walid Talha
Reconnaissance d'actions
avec Kinect

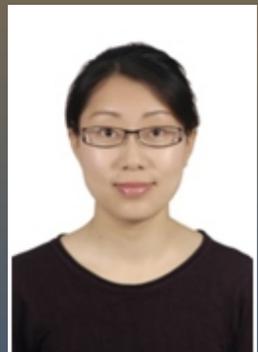
Doctorants



Céline Franco
Analyse temps-fréquence du signal
cardio-respiratoire et du signal
postural



Quentin Mourcou
Analyse de la proprioception avec
un smartphone



Yanyun Lu
Classification incrémentale pour
identification/réidentification de
personnes



Sid Ahmed Walid Talha
Analyse des signaux smartphone
pour l'analyse du bien-être d'une
personne au quotidien

Post-docs



Abir Béatrice Karami
Modèles d'apprentissage et de
décision pour l'adaptation des
habitats intelligents



Jonathan Villain
Classification de signaux pour la
détection d'attaques dans les
réseaux



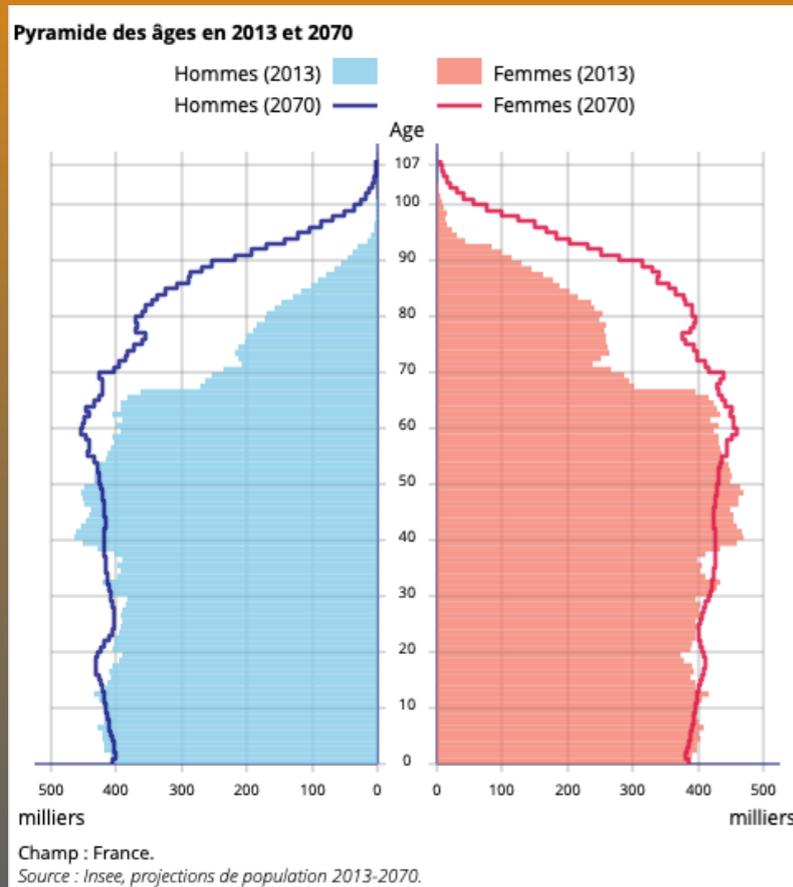
- Souvent vendu comme accessoire pour le « bien-être », nombreux devices collectent des données pour accompagner la vie quotidienne
- Doublement prévu du nombre d'objets connectés entre 2015 et 2020. Ceux relatifs à la santé vont quadrupler
- En plus de ceci, 76,6% des français sont équipés d'un smartphone

- Certains matériels grand public deviennent même des dispositifs médicaux, en donnant des indications et des diagnostics



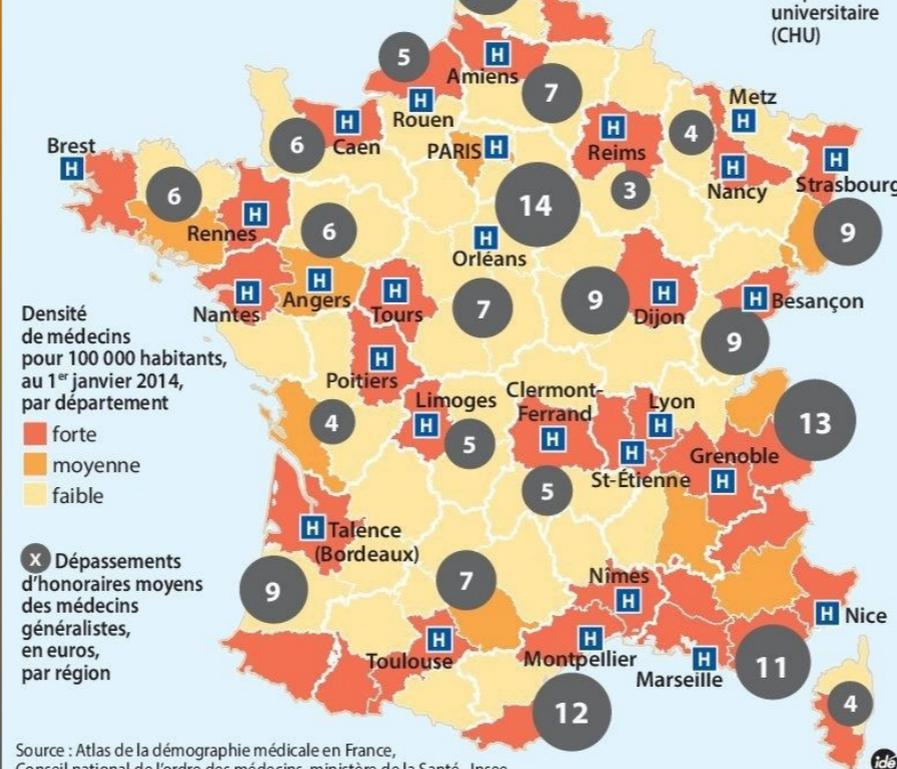
À partir de ces constats, comment mieux exploiter, par l'analyse de données, les mesures disponibles dans l'objectif d'aider les personnes dans leur quotidien, voire d'améliorer leur santé et leur bien-être ?

Contexte des travaux :



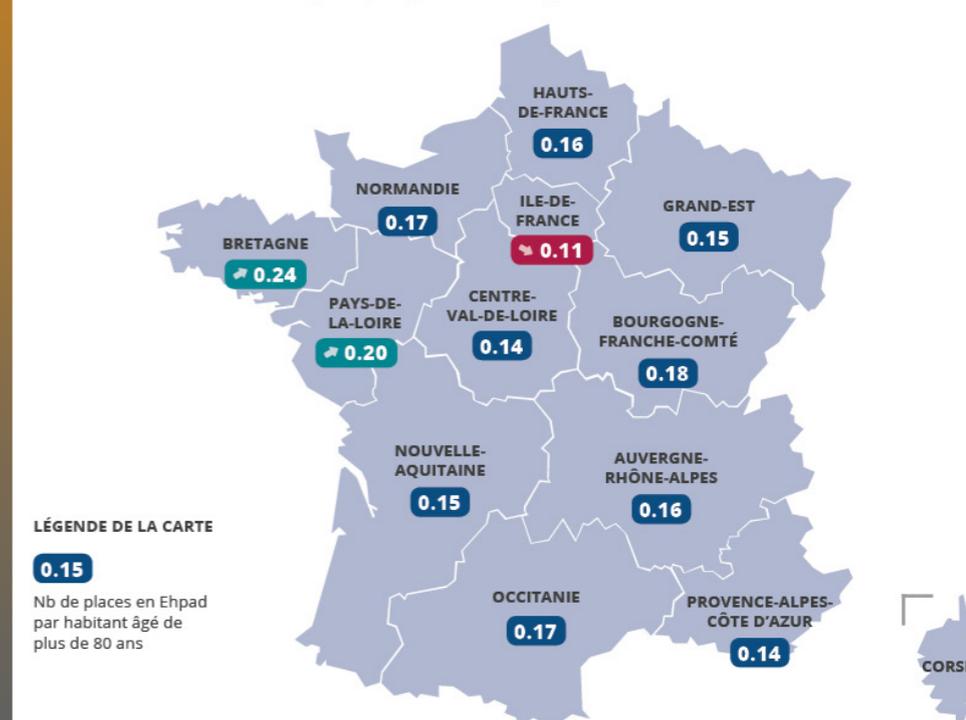
Les déserts médicaux en France

Déserts médicaux et tarifs à la carte



Répartition de l'offre en Ehpad par région

Carte régionale recensant le nombre de places en Ehpad par personne âgée de + de 80 ans



Constats connus de tous :

- Amélioration de la médecine —> vieillissement de la population (1/3 de la population > 65 en 2030), avec une augmentation des maladies chroniques et/ou liées à l'âge
- Médecins et spécialistes en nombre souvent insuffisants et avec une répartition très inégale face aux besoins
- Peu de place (et coût élevé) en institutions, volonté des personnes âgées de rester le plus longtemps possible dans leur domicile

Contexte des travaux :



Coût des capteurs faible —> Fabrication de masse, haute disponibilité, et forte précision.
Développement de l'intelligence ambiante



Capacités de calcul et de stockage ont subi une énorme croissance —> acquisition de nombreuses données en vue de les exploiter par la suite



Amélioration des techniques de traitement des données
Possibilité de traitement en masse
Apprentissage sur de grandes bases car données disponibles

Objectifs des travaux :

- Les capteurs (intégrés aux objets de la vie quotidienne) peuvent-ils aider à prévenir ou compléter l'action du personnel médical ?
- L'analyse des données peut-elle nous donner des informations sur la personne et ses habitudes de vie ?
- En analysant les habitudes, peut-on y voir des dérives —> identification de symptômes précoces ?

Analyse de l'humain

Détecter la posture/les mouvements du corps, les automatismes

Reconnaitre la personne ou ses actions

Suivre les activités de la personne, réaliser des profils utilisateurs

Analyse des automatismes de l'humain

Vieillesse et maladies chroniques : diminution des capacités de déplacement et de gestion de la posture, du mouvement, de l'équilibre.

Pour améliorer l'autonomie, peut-on **mesurer**, **quantifier**, tenter de **corriger** ces diminutions ?

À partir de **quand** la perte d'autonomie est-elle trop importante ?

Capacités proprioceptives



Posture et marche —> apprentissages qui deviennent ensuite des automatismes

Ces apprentissages impliquent pour partie « la proprioception », c'est à dire la capacité à connaître la position de ses membres dans l'espace

Vieillesse —> diminution de ces capacités

Problématique : peut-on estimer les capacités d'une personne et détecter les défauts d'équilibre (un moyen d'éviter les chutes ?) ?



Mesure de mouvement/posture

Avant plus de travail, nécessité de s'assurer de la précision des capteurs des smartphones (tests sur iOS et Android, avec accéléromètre, accéléromètre + gyroscope, accéléromètre + gyroscope + magnétomètre).

Reproduction de mouvements avec une certaine angulation sur bras robotique, en quasi statique et en dynamique. Plusieurs positions de smartphone.



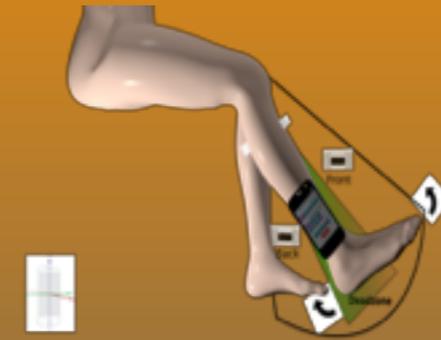
RMS Moyen de 0.12°

Certains algorithmes (Android) compensent une grande variabilité par une erreur quadratique plus faible.

Erreur significative seulement sur un axe (celui de la gravité)

Au final résultats comparables à XSens utilisé dans de nombreuses recherches pour capter de tels mouvements.

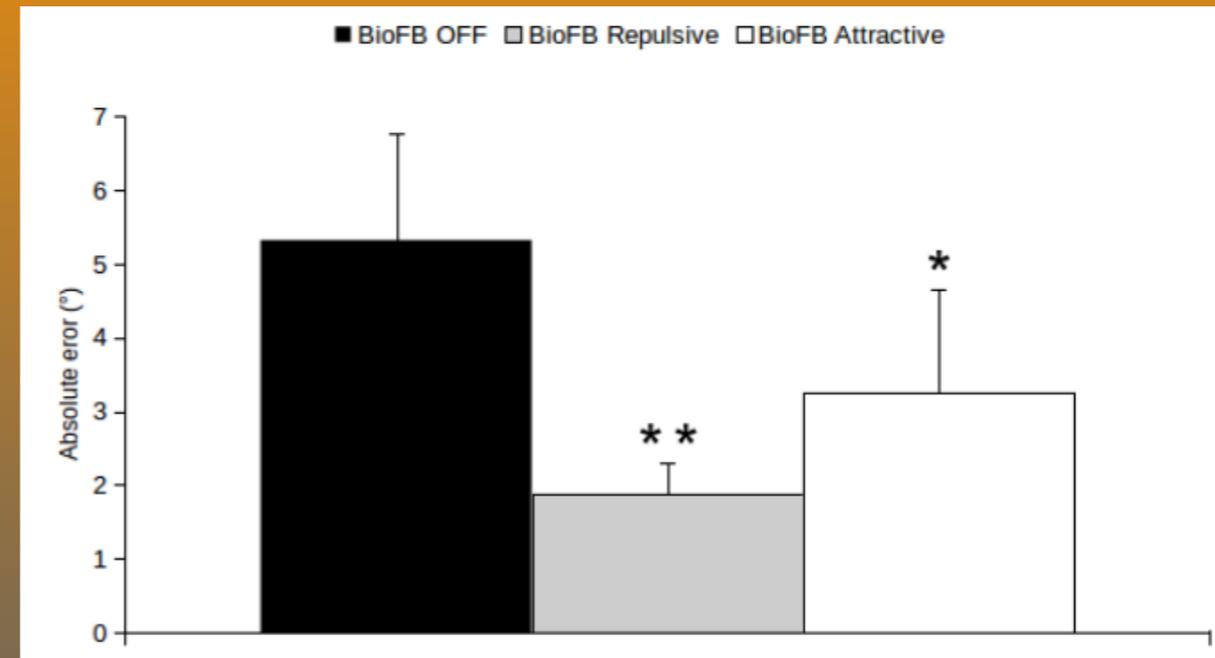
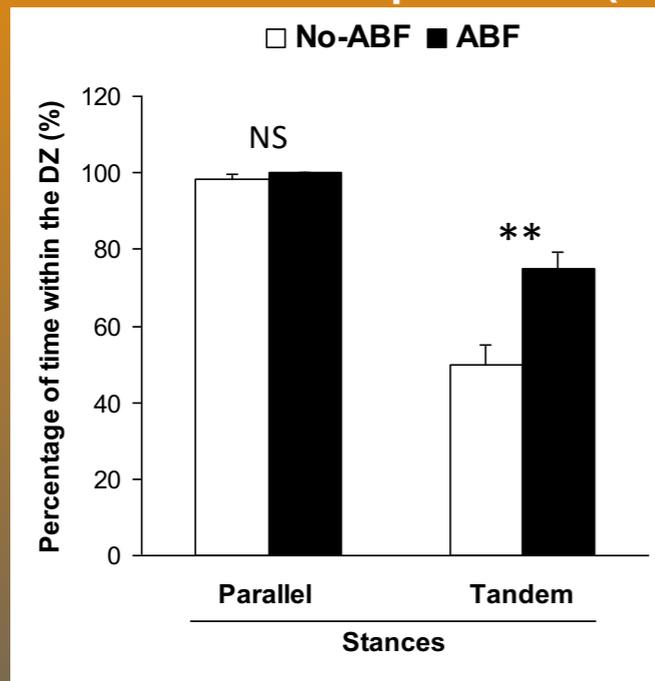
iBalance/iProprio



- Proposition d'exercices pour maintien de l'équilibre avec ou sans feedback
- Exercice fait en autonomie, installation seul de la ceinture, guidage TTS
- Différentes positions de pieds (joints, écartés, tandem, etc.)
- Application smartphone pour mesure et amélioration des capacités proprioceptives par feedback tactile (attractif ou répulsif)
- Illustration avec le test du « active ipsilateral matching »

On extrait du signal (IMU) : temps en dehors d'une zone morte, RMSE, mouvement moyen sur les deux plans

iBalance/iProprio (résultats)



- Système sans apprentissage particulier, feedback correctement utilisé.
- Test sur population jeune et plus âgée, résultats similaires.
- Partage possible des données avec le corps médical.
- Sur un appareil du quotidien et disponible relativement facilement.
- Quel que soit le type de feedback, l'utilisation se fait correctement.
- Possibilité de définir, à distance, les protocoles utilisés.
- Possibilité de mesure de mouvements complexes.

Analyse de l'équilibre : intérêt et traitement du signal

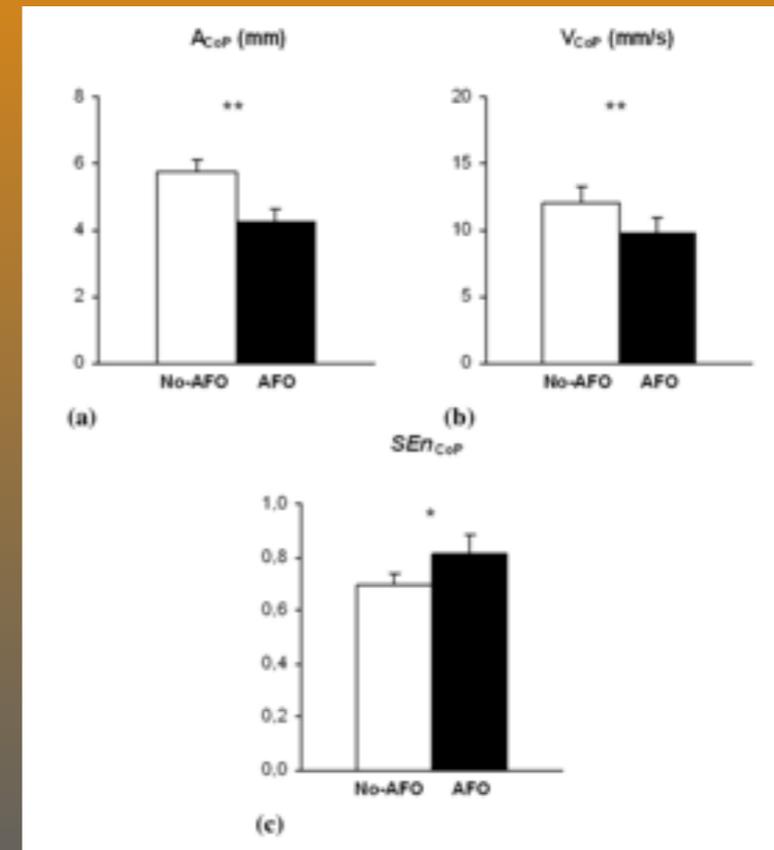
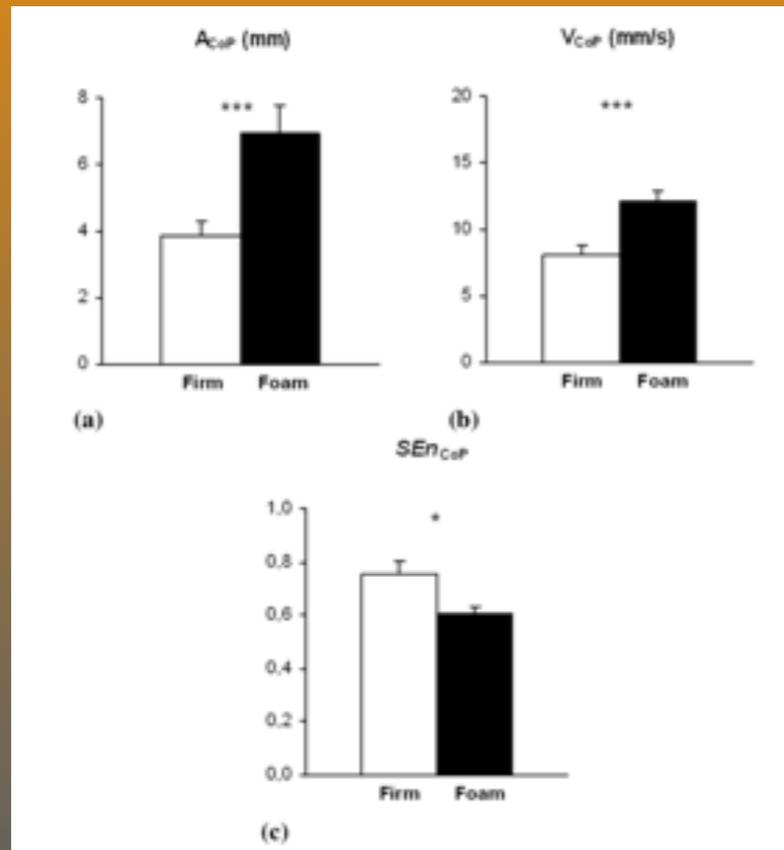


Dans les travaux précédents, mesures « statistiques » (comment s'est passé un essai).

Ce que nous voudrions évaluer : capacités de la personne, comment évoluent-elles ?

- L'entropie (sens signal) peut être un indicateur. Que mesure-t-elle ?
 - Comme en thermodynamique ou Shannon : « prédictibilité du signal »
 - Notre posture : posture de base + micro-mouvements
 - Fréquences et amplitudes de ces mouvements donnent des indications sur les automatismes
- Littérature : quelques travaux sur l'Approximate Entropy (avec parfois des contradictions)

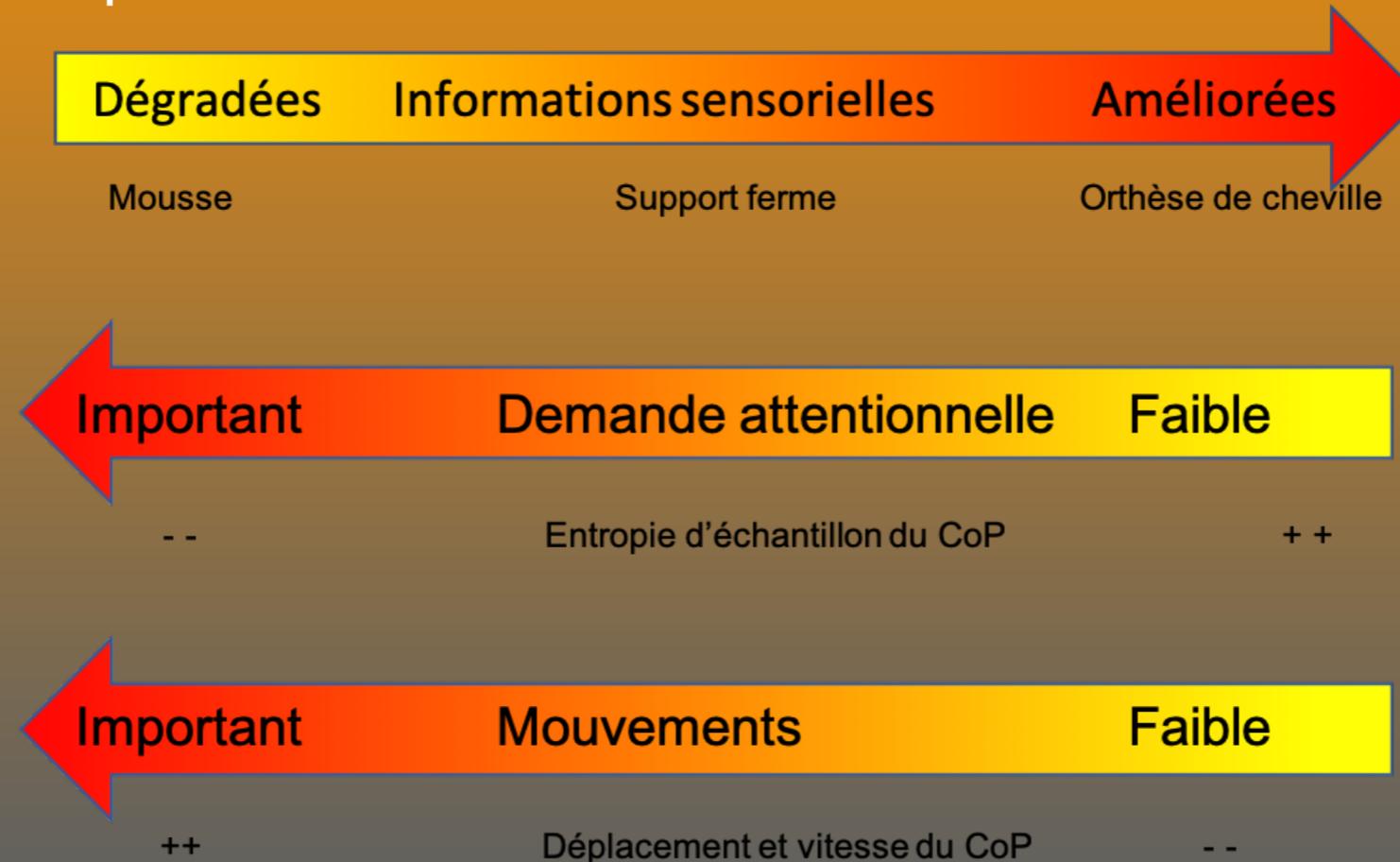
Analyse de l'équilibre : résultats



Utilisation de la Sample Entropy sur deux tests : avec mousse pour diminuer les sensations et avec orthèse pour augmenter. Effet : l'entropie évolue bien avec le changement de condition.

La sample entropy recherche des « motifs » qui se répètent (certaine taille et certain rayon de recherche)

Analyse de l'équilibre : conclusions et suites

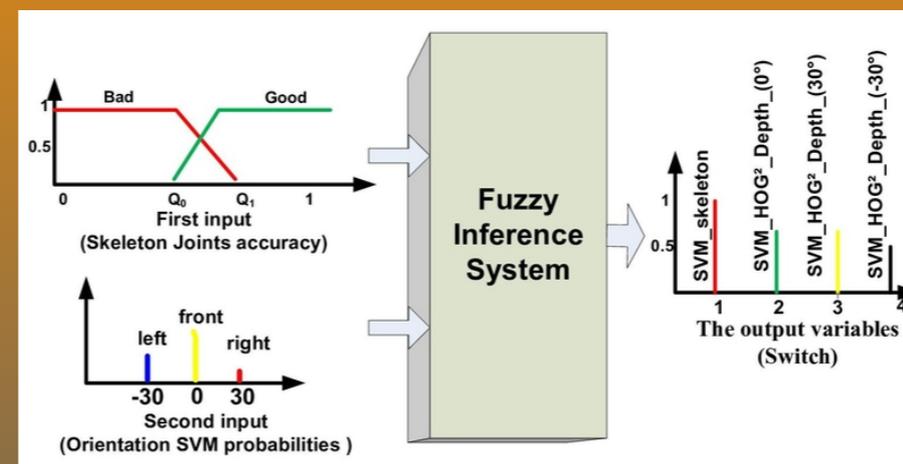
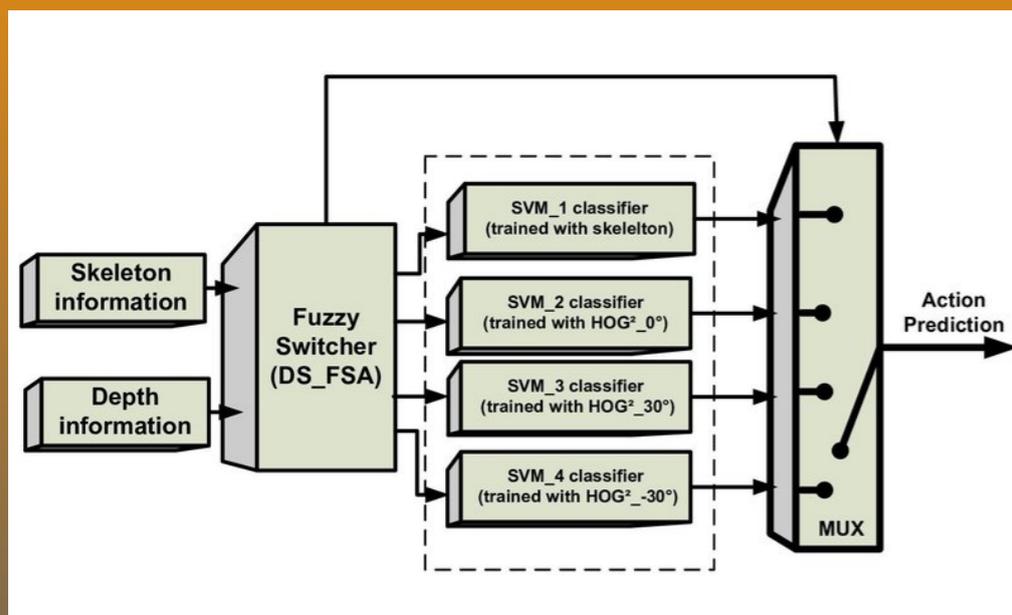


- L'entropie donne une indication sur les automatismes de la personne et la demande attentionnelle afférente.
- Utilisation aussi des données iPhone et double tâche (avec une réponse à un bip) pour évaluer cette demande attentionnelle.
- **Par la suite, évaluer par une suite d'exercice les capacités avec ces mesures ?**

Reconnaissance d'actions ou de personnes

- Dans la continuité des travaux précédents —> aide à la personne
- Le but est de détecter :
 - La volonté d'une personne d'interagir avec un robot d'assistance
 - L'interaction voulue
- Pour cela :
 - **Analyse dans toutes les directions**
 - **Détection et classification rapide**
- Reconnaissance d'actions : avec caméra KINECT
- **Interaction adaptée à la personne : peut-on reconnaître la personne, quelles que soient les conditions d'acquisition ?**

Reconnaissance d'actions : indépendance de la position ?



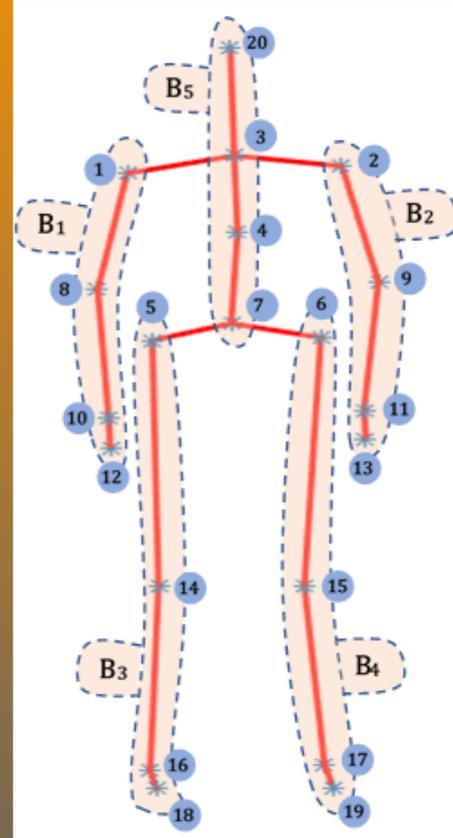
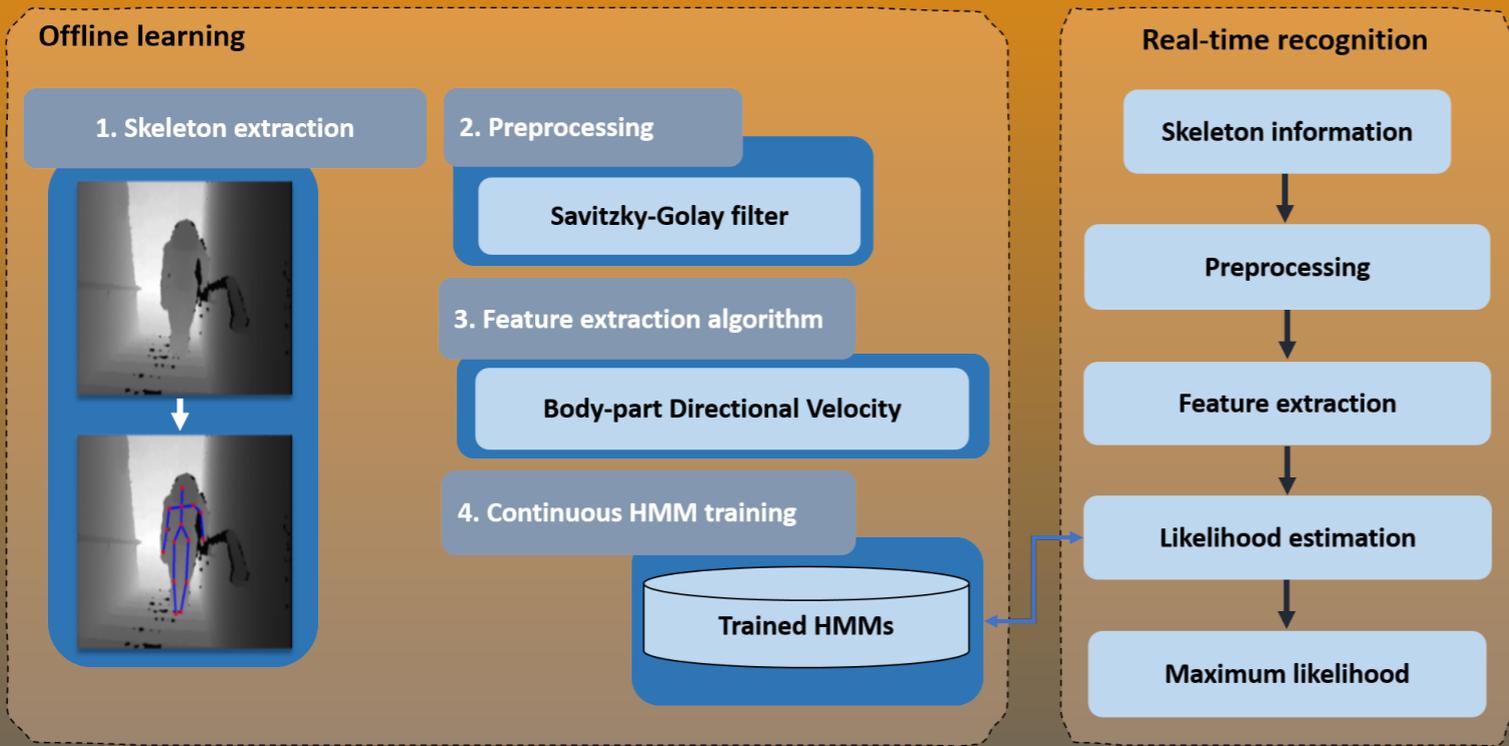
Actions	Orientation -30°	Orientation 0°	Orientation 30°
1 One Hand waving			
2 Box with 2 hands			
3 Sitting(chair)			
4 two Hand waving			
5 Holding head			
6 Phone answering			
7 Picking up			
8 kicking			
9 Holding back			
10 Check watch			
11 jumping			
12 Throw over head			

But des travaux : avoir une reconnaissance robuste au point de vue, à l'estimation du squelette et temps réel ou en temps synchrone au capteur.

Apprentissage sur plusieurs points de vue, sélection du bon modèle (en fonction de l'estimation des informations du squelette)

Algorithm	Accuracy
SVM₁_Skelton_RJT (1/2 skeletons noisy 5dB)	79.17
SVM₂_HOG²_0°	89.58
SVM₃_HOG²_30°	83.63
SVM₄_HOG²_-30°	79.66
Fuzzy + viewpoint estimation (Depth+Skelton)	95.83
Fuzzy + Aggregation (Investment)	97.91

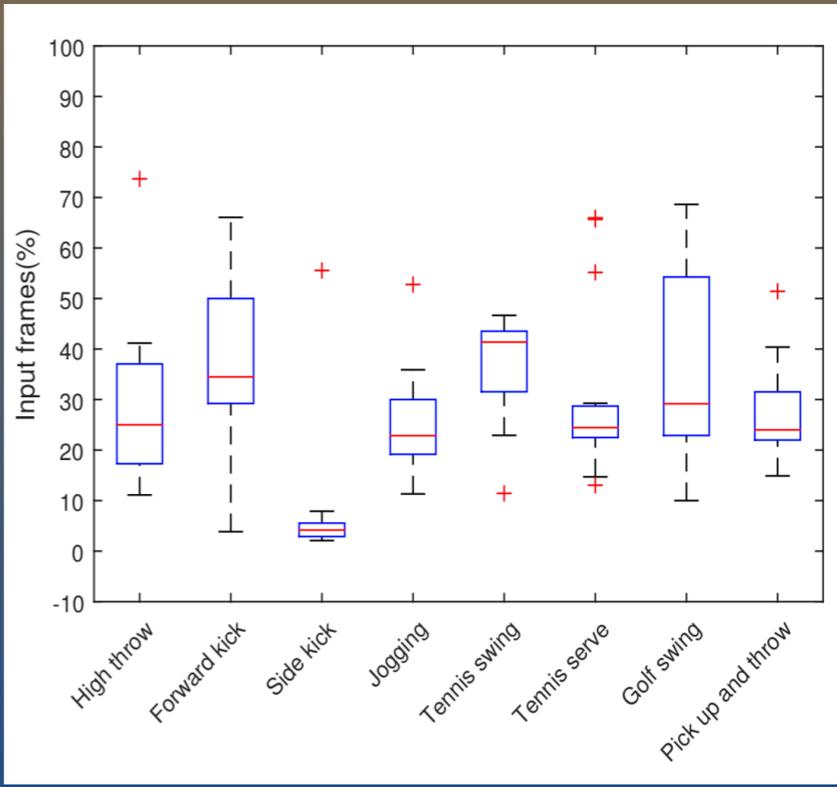
Reconnaissance d'actions : anticipation



But des travaux : améliorer la vitesse de reconnaissance.
 Solution : proposition d'un nouveau jeu d'attributs adaptés aux principales bases dédiées à la reconnaissance d'actions.

Algorithm	Accuracy (%)
Seidenari et al. [31]	82.00
Anirudh et al. [36]	89.67
Devanne et al. [8]	87.04
Cippitelli et al. [21]	76.10
Vemulapalli et al. [34]	90.88
Ours	90.32

Angle data train	Angle data test		
	0°	30°	-30°
0°	92.71	90.63	90.10
30°	90.63	90.70	87.10
-30°	92.19	87.00	92.23
(0° 30° -30°)	92.71	91.15	91.67



Reconnaissance de personnes

L'identification/réidentification de personnes peut-être utile dans les services à la personne ou la sécurité.

Conditions d'illumination et de pose peuvent influencer fortement la reconnaissance d'apparence.

—> Test d'apprentissage et de clustering incrémental pour apprendre au fur et à mesure à distinguer les personnes.



Ensemble	Résultats
Complet	98 %
PCA	96 %
CFS	98 %
Wrapper	95 %

Ensemble	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Nb
Complet	100	100	97.4	97.48	95.34	90	100	23
PCA	100	100	95.2	98.02	88.34	84.3	100	16
CFS	100	100	99.2	100	96.64	90.8	100	26
Wrapper	100	100	97.6	100	95.96	89.1	100	9



Suivi des activités

- Développement rapide des capteurs et des moyens de communication avec ces capteurs sur les 30 dernières années
 - Bus et protocoles dédiés
 - Capteurs et actuateurs sans fils et basse consommation ou avec récupération d'énergie pour les actuateurs
- Domotique s'installe petit à petit dans les domiciles
- Pour la personne âgée, grilles d'évaluation de ces activités
- **Peut-on penser à une évaluation automatique ?**
 - **suivi de l'évolution** de l'activité au cours du temps
 - **objectivation** des grilles

Les habitats intelligents et le suivi des activités

Les défis à relever pour le suivi d'activités :

- Suffisamment de capteurs pour « bien décrire »
- Extraction d'attributs pertinents
- Construction correcte des modèles malgré le « peu » de données étiquetées

- Modèles pouvant s'adapter :
 - Aux changements d'habitudes de la personne
 - À des configurations différentes
 - À différentes personnes
 - Au déséquilibre dans l'apprentissage et la présentation des données

Résultats sur la reconnaissance

Model	SH dataset			HIS corpus		
	Without Unknown	With Unknown	diff	Without Unknown	With Unknown	diff
SVM	75.00	71.90	3.10	74.86	64.90	9.96
Random Forest	82.96	80.14	2.82	70.72	62.32	8.40
MLN naive	79.20	76.73	2.47	75.45	66.81	8.64
HMM	74.76	72.45	2.31	77.26	67.11	10.15
CRF	85.43	83.57	1.86	75.85	69.29	6.56
MLN	82.22	78.11	4.11	75.95	65.82	10.13

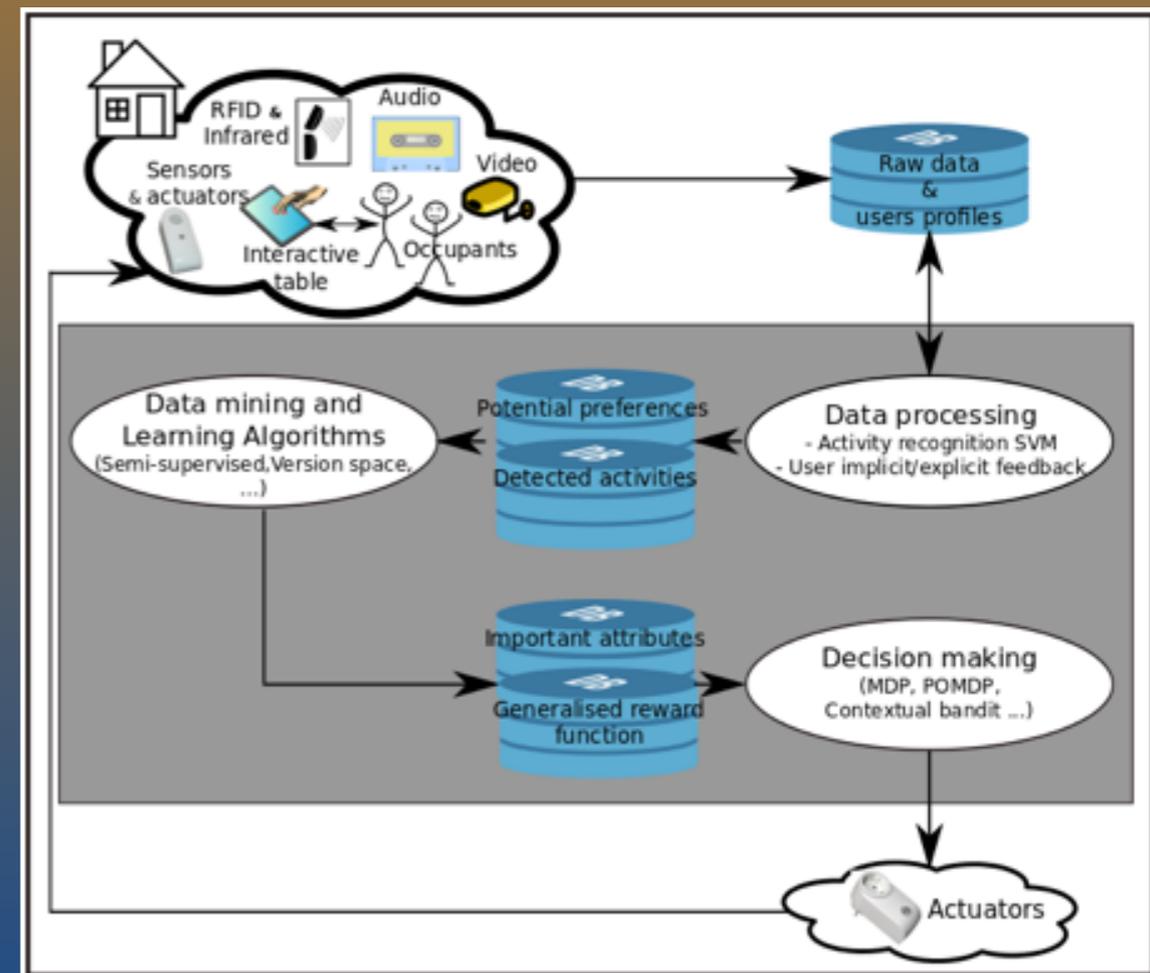
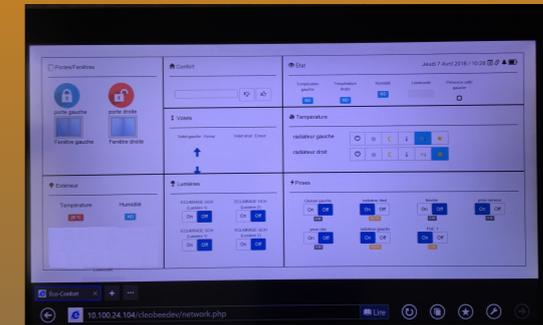
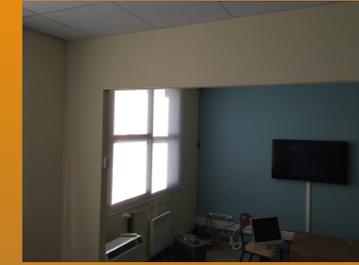
- Un premier test avec deux hypothèses, sur données acquises en laboratoire.
- Test de deux types d'algorithmes : séquentiels et non séquentiels
- Test de l'importance de la classe « inconnue ».

		Aruba Dataset				Tulum Dataset			
		Baseline	SWMI	SWMIlex	SWLS	Baseline	SWMI	SWMIlex	SWLS
SVM	Acc.	87.23	87.71	87.71	87.55	63.46	64.18	65.57	63.95
	F-meas.	63.29	65.56	68.68	69.24	35.60	39.30	41.29	36.91
KNN	Acc.	83.36	83.83	85.34	85.67	58.41	59.25	61.32	58.87
	F-meas.	56.34	60.23	64.12	61.54	29.48	30.12	32.44	30.22
CB-KNN	Acc.	84.50	85.11	85.84	86.19	59.45	60.22	62.76	60.49
	F-meas.	58.54	62.75	64.78	61.96	31.51	33.89	36.12	33.18
MkENN	Acc.	84.45	85.89	86.23	86.76	60.56	61.89	64.15	61.15
	F-meas.	58.04	63.15	65.66	62.23	32.58	35.06	37.88	33.64
MkRENN	Acc.	84.88	85.49	86.40	86.66	61.43	62.75	65.25	62.11
	F-meas.	57.76	62.93	66.26	62.31	33.02	36.67	39.79	33.84

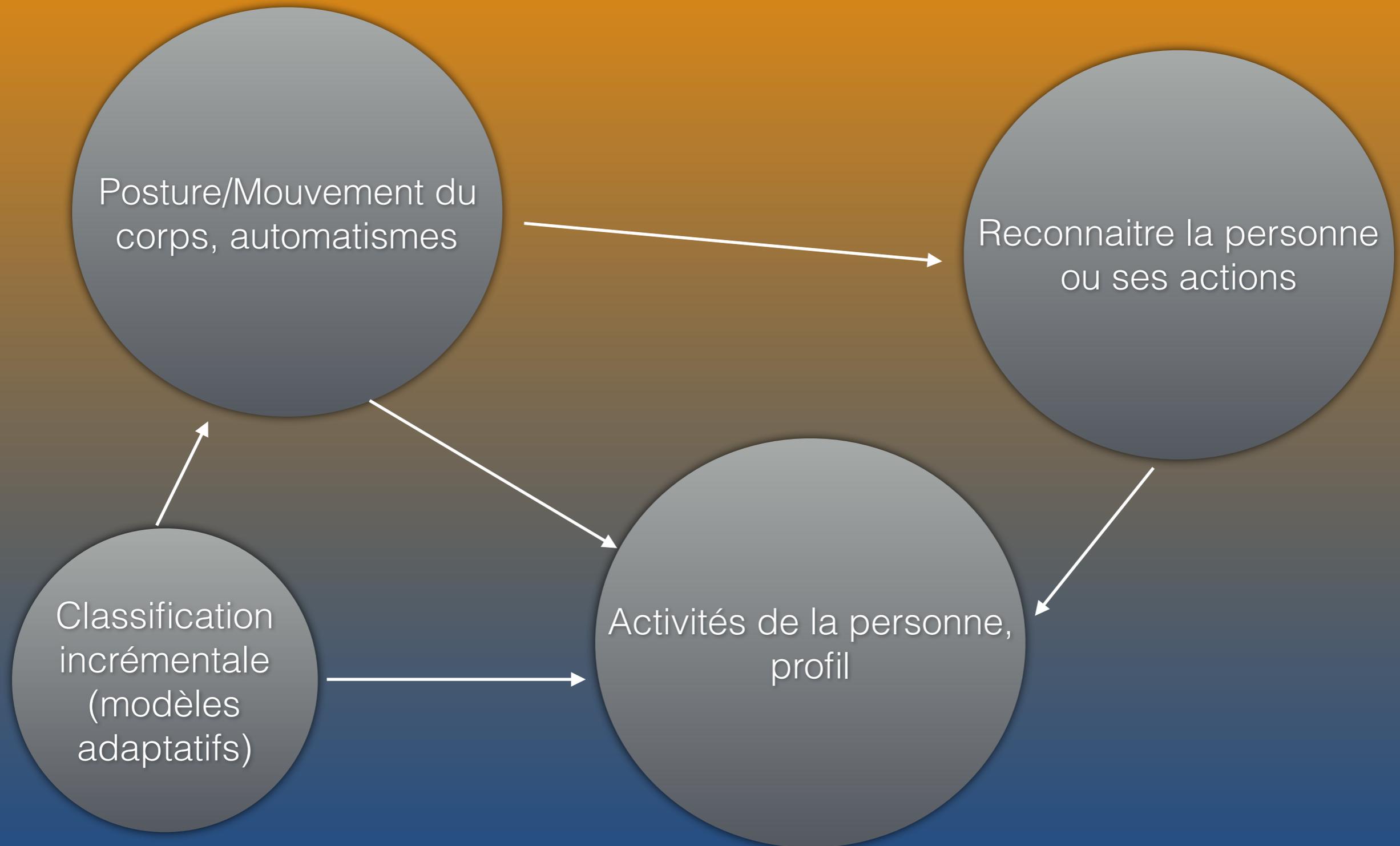
- Deuxième série de tests sur un ensemble connu de données (CASAS)
- Différentes extractions de données
- Différents classifieurs.

Profils d'utilisateurs

- La domotique s'étend.
- Cependant, importance de s'adapter à la personne et non l'inverse.
- Travaux sur la réalisation de profils pour adapter la domotique à l'utilisateur. Test dans le démonstrateur éco-confort.
- Recherche dans le signal de :
 - Activité en cours
 - Décision (domotique) précédemment prise
 - Des retours de l'utilisateur :
 - Implicites
 - Explicites
- Difficulté de détection de ces retours car doivent être « appairés » avec la décision à laquelle ils se rapportent. Tout ceci à la bonne personne.
- Premiers tests sur données simulées.



Conclusions sur ces travaux



Travaux en cours - Projets court terme

L'HDR : diriger des travaux, donner des directions de recherche

Passe également par le montage de projets (pour encadrer thèses et post-doctorants)

Projets lancés : description des premières actions et des verrous

Projet en cours d'écriture (ANR CARECONTROL, passage étape 1, 2019)

Titre : Méthodes et outils d'une télésurveillance pour le suivi de prescriptions orthopédiques

Partenaires : LAAS, Gibaud, Hopital Local de Caussade, Groupama, IMT LD

Rôle : responsable tâche 3, traitement et analyse des données

But : équiper des dispositifs orthopédiques (orthèses) avec des capteurs (IMU) pour le suivi de prescription (modèle de soin)

Projets X2Rail-1 et SECOURT

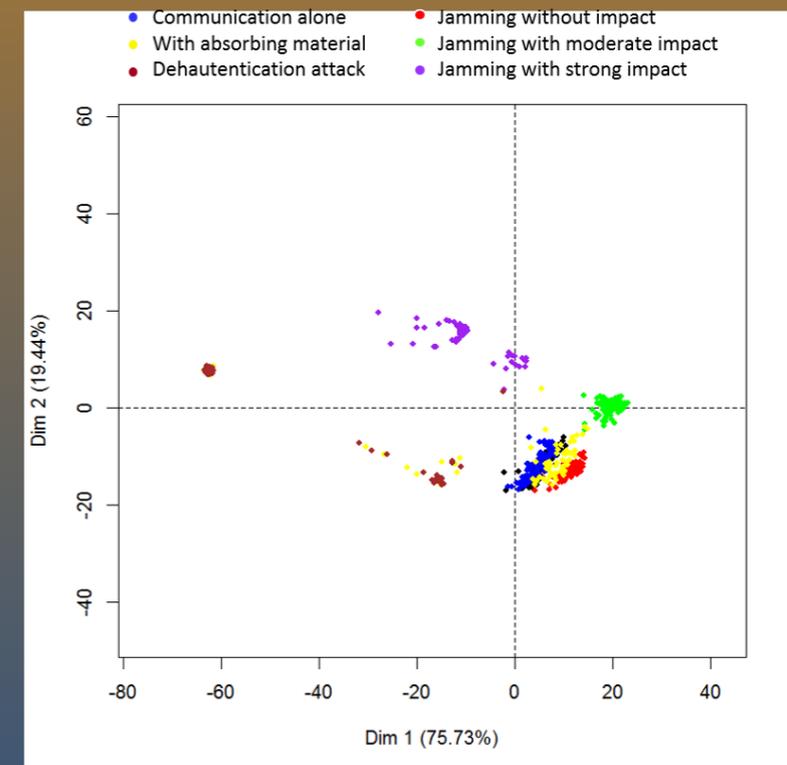
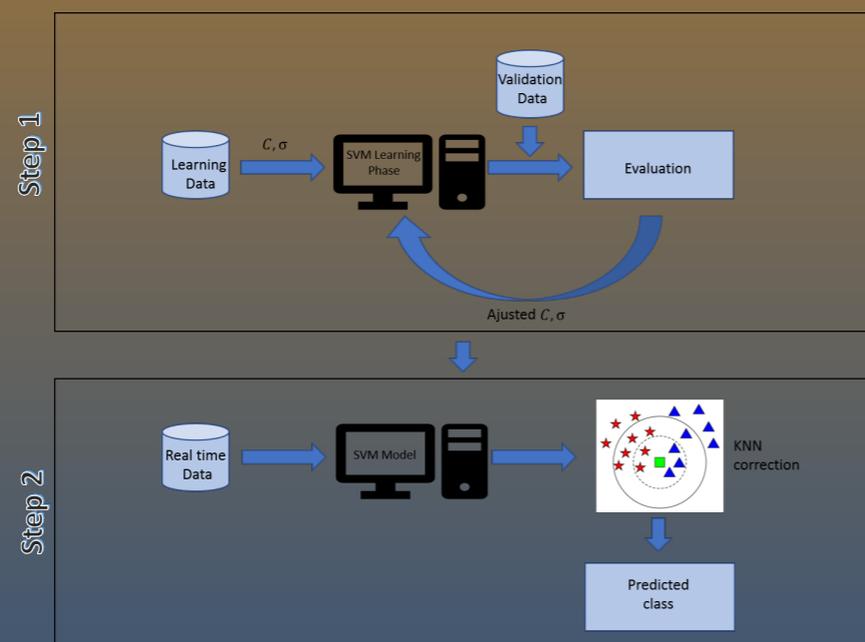
Travaux : **Les techniques de classification et d'analyse de données peuvent-ils aider à analyser le trafic réseau et détecter les attaques ?**

Problème : recouvrement des classes, problème de différenciation des attaques.

Solution : correction d'anomalies par clustering.

Application : Analyse des réseaux sans ajout d'instrument, réseaux

« sensibles » (cadre du projet SECOURT).



Défis à venir :

- **Reconnaissance d'attaques « inconnues » ?**
- **Conditions plus réelles**

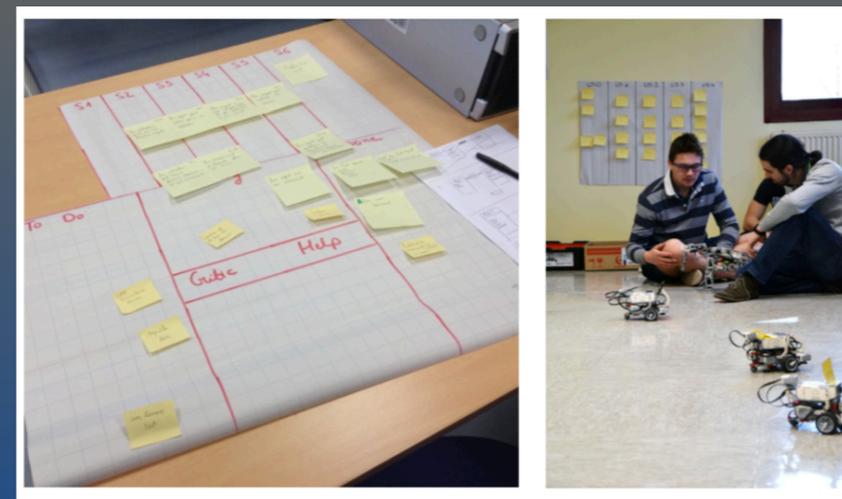
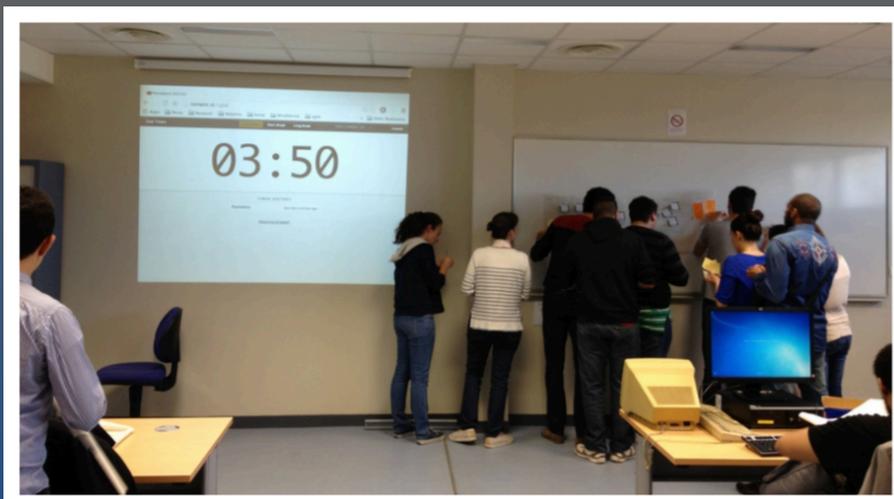
Projet APACHES

À IMT Lille Douai : création par Dr. J. Laval et Dr. M. Vermeulen de la méthode ALPES

Dans le cadre de l'I-Site ULNE, projet relatif aux innovations pédagogiques.

But du projet (démarré début 2019)

- Analyser les traces d'exécution des tâches des étudiants sur un ensemble de cours utilisant la méthode ALPES (suivi des tâches et de leur exécution etc.)
- Proposer des outils de suivi pour tous les niveaux, y compris gestion de la thèse
- Mettre les méthodes agiles au coeur de la formation
- Expérimentations à Lille, Douai, Grenoble, Lyon et Paris.



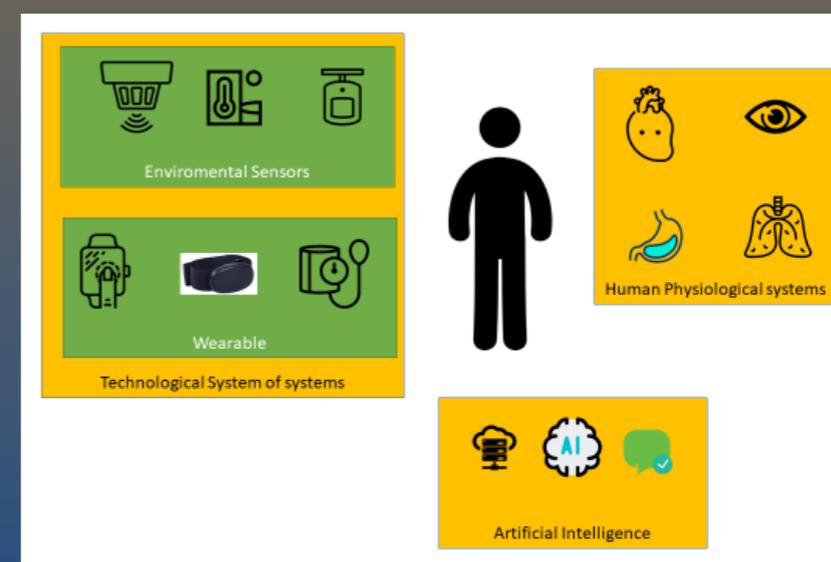
Projet ECOS

Projet de collaboration entre France et Chili

But du financement : déplacement de personnels (1 mois pour doctorants Français et Chiliens, 15 jours pour permanents des deux côtés).

Thème de la collaboration : bien vivre et bien vieillir avec une maladie chronique.
Outils : Plateformes d'habitats avec leur mise en relation, jeux sérieux, capteurs et activités de la vie quotidienne.

Premier départ prévu : Sid Ahmed Walid Talha dans l'année.



Perspectives en recherche à plus long terme

Classification
et clustering
incrémentaux

—> Commun à de nombreux travaux, thème qui doit être renforcé notamment en tant qu'élément démarquant des activités de recherche et innovation de l'équipe.
Applications possibles à l'analyse des comportements, aux détections d'anomalies, à la classification d'activité.

Défis à relever :

- évolution des modèles avec l'augmentation du nombre de classe
- efficacité de la mise à jour des modèles.
- segmentation automatique des actions et activités dans un contexte dynamique

—>Peut-on amener certains projets vers le transfert ?

Perspectives en recherche à plus long terme

Activités liées à
la santé

Depuis longtemps, développement des habitats intelligents dans le but de les mettre en relation aux évaluations (ex. GIR).

Quelques défis :

- Développement d'indicateurs de « qualité de vie »
- Évaluation des critères de grilles par objets connectés ou intelligence ambiante
- Suivi de la rééducation à domicile avec des applications sur smartphone/tablette
- Qu'apporte l'analyse de la donnée aux médecins ? —> création de nouvelles métriques / de nouvelles grilles ?

Perspectives en enseignements

- *Méthodologie :*
 - Continuer dans les pédagogies innovantes
 - Méthodologie de gestion des promotions importantes
- *Évolution :*
 - Nouvelle formation pour L3 actuellement
 - Forte implication dans la construction du nouveau cursus M1/M2 (forme modulaire)
- *Contenu :*
 - Place des technologies pour la santé ? Avec instances de la région ?
 - Plus de cours relatifs au traitement des données
 - Bâtiment et atelier intelligent

Implication dans les communautés

- Locales :
 - Construction des CERI, évolution de la recherche dans l'établissement
 - Groupe autour des applications santé/autonomie dans la nouvelle organisation ? Adéquation aux thèmes phares de l'institut
 - Partenariats socio-économiques (crèches, CAMSP, EPHAD, etc.)
 - Partenariats industriels locaux

- Régionale :
 - Plus forte implication dans la SFR technologie pour la santé et médicament, notamment IA & santé
 - Alliance HumAIn
 - Partenariats avec structures reconnues du domaine : Eurasanté, fondation hopale, etc.

- Nationales :
 - Continuer l'implication dans la thématique Santé niveau IMT (organisation de manifestations etc.)
 - Communauté « IA » en montage niveau national
 - Partenariats avec des structures telles que CIC-IT

- Internationales :
 - Déjà membre de deux editorial board de journaux à impact factor —> développement de partenariats
 - Chair et TPC de conférences de renom



■ **Analyse de la posture/du mouvement :**

- Franco, C., Fleury, A., Diot, B., Vuillerme, N., (oct. 2018). « Applying entropy to human center of foot pressure data to assess attention investment in balance control ». In : Engineering in Medicine and Biology Society, 2018. EMBS 2018. 40th Annual International Conference of the IEEE, p. 5586-5589. D O I : 10.1109/EMBC.2018.8513533.
- Mourcou, Q., Fleury, A., Franco, C., Klopčič, F., Vuillerme, N., (2015). « Performance evaluation of smartphone inertial sensors measurement for range of motion ». In : Sensors 15.9, p. 23168-23187. D O I : 10.3390/s150923168.
- Franco, C., Fleury, A., Guméry, P.-Y., Diot, B., Demongeot, J., Vuillerme, N., (2013). « iBalance-ABF : a smartphone-based audio-biofeedback balance system ». In : Biomedical Engineering, IEEE Transactions on 60.1, p. 211-215. D O I : 10.1109/TBME.2012.2222640.

■ **Reconnaissance d'action/de personne :**

- Talha, S. A. W., Hammouche, M., Ghorbel, E., Fleury, A., Ambellouis, S., (déc. 2018). « Features and classification schemes for view-invariant and real-time human action recognition ». In : IEEE Transaction on Cognitive and Developmental Systems 10.4, p. 894-902. D O I : 10.1109/TCDS.2018.2844279.
- Lu, Y., Boukharouba, K., Boonært, J., Fleury, A., Lecoeuche, S., (2014). « Application of an incremental SVM algorithm for on-line human recognition from video surveillance using texture and color features ». In : Neurocomputing 126, p. 132-140. D O I : 10.1016/j.neucom.2012.08.071.

■ **Habitat intelligent**

- Yala, N., Fergani, B., Fleury, A., (avr. 2017). « Towards improving feature extraction and classification for activity recognition on streaming data ». In : Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing 8.2, p. 177-189. D O I : 10.1007/s12652-016-0412-1.
- Chahuara, P., Fleury, A., Portet, F., Vacher, M., (juil. 2016). « On-line human activity recognition from audio and home automation sensors : comparison of sequential and non-sequential models in realistic smart homes ». In : Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments 8.4, p. 399-422. D O I : 10.3233/AIS-160386.
- Karami, A. B., Fleury, A., Boonaert, J., Lecoeuche, S., (juin 2016). « User in the loop : adaptive smart homes exploiting user feedback — state of the art and future directions ». In : Information 7.2, p. 35. I S S N : 2078-2489. D O I : 10.3390/info7020035.

Contribution à l'analyse des signaux et à leur classification.
Applications aux Technologies pour la Santé, au maintien à domicile de la personne fragile et à l'analyse du comportement humain.

Discussion avec le jury

Garant : Stéphane Lecoeuche, IMT Lille Douai

Rapporteurs

Francois Charpillet, DR INRIA, Nancy

Bernadette Dorizzi, Pr, IMT

Edwige Pissaloux, PU, Univ. Rouen

Examineurs

Régis Beuscart, PU/PH, Univ. Lille

François Brémond, DR INRIA, Sophia Antipolis

Frédéric Lerasle, PU, Univ. Toulouse
