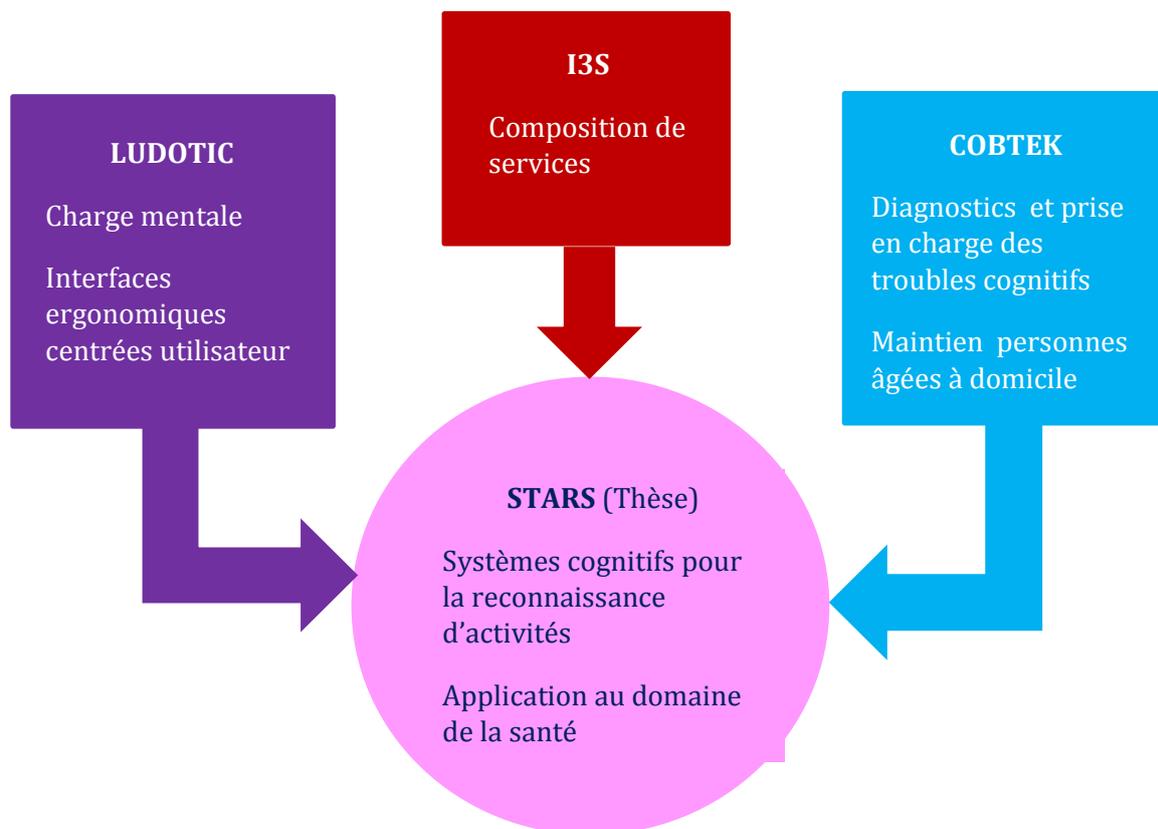


Ce document détaille le sujet de la thèse proposée : « Conception de systèmes de reconnaissance d'activités complexes. Application à la mesure de facteurs humains » et son contexte.

CONTEXTE DE LA THESE

PARTENAIRES DU PROJET

Dans une première phase, nous décrivons le consortium qui entoure la thèse.



Stars a pour objectif de proposer des systèmes autonomes pour l'interprétation sémantiques temps réelle de scènes dynamiques observées par des capteurs. Un des principaux objectifs de l'équipe est d'étudier les activités spatio-temporelles (aussi sur le long terme) de plusieurs agents évoluant dans le monde physique. La principale difficulté est d'établir un pont entre l'interprétation subjective d'une application et les mesures objectives extraites en temps réel des capteurs. Pour cela, Stars propose des modèles formels permettant aux utilisateurs d'exprimer les activités qui les intéressent et de construire des systèmes de reconnaissance qui établissent un lien entre les mesures objectives issues des capteurs et les modèles subjectifs d'activités. A cette fin, Stars s'implique dans l'étude de nouvelles techniques dans le domaine de la vision cognitive et des systèmes cognitifs pour la détection d'objet physique, la

compréhension d'activité et l'apprentissage, et la conception de systèmes de reconnaissance d'activités robustes et surs.

Pour fédérer ses recherches, Stars développe une plateforme générique logicielle (SUP-Scene Understanding Platform) qui analyse les flux vidéos. SUP permet aux chercheurs de Stars de concevoir, tester et valider leurs solutions et algorithmes dédiés à la reconnaissance d'activités. SUP est largement distribué dans la recherche, des universités et des compagnies. SUP supporte certains projets européens et nationaux, en particulier, des projets de l'équipe CobTek (dont Stars est membre fondateur). A ce titre, SUP est installé à l'EHPAD de Valrose et au Centre Mémoire Claude Pompidou.

Dans le cadre de la recherche conduite avec le CHU dans CobTek, un des objectifs est par exemple, de permettre à des personnes atteintes de « démence » de continuer à vivre de manière auto suffisante à leur domicile ou dans des centres résidentiels, loin de l'hôpital et de permettre aux médecins de les surveiller à distance. Toutefois, les capteurs vidéos peuvent être perçus comme intrusifs (même si aucune image n'acquise et transmise). En conséquence, de nouveaux moyens de communication et de nouveaux capteurs (accéléromètres, capteurs RFID, et capteurs à venir) doivent être envisagés. C'est dans ce cadre que Stars propose ce sujet de thèse, afin d'avoir un méta système générique de conception automatique de systèmes de reconnaissance d'activités intégré dans SUP.

LudoTIC est une PME de la région PACA qui propose des solutions aux problèmes d'ergonomie rencontrés par les utilisateurs et les acteurs des Technologies de l'Information et de la Communication. Elle intervient dans la conception d'IHM métier centrées utilisateurs, l'audit de sites web afin de détecter les problèmes d'ergonomie et l'ergonomie des jeux vidéo et des « serious games ». Pour cela, LudoTIC utilise, entre autres, la technologie de « l'eye tracking » qui couplée à leur savoir-faire leur permet d'évaluer la charge mentale d'un utilisateur. LudoTIC a déployé ses activités dans un grand nombre de domaines comme Thalès Underwater Systems, Orange, Generali, Havas, L'oreal Italie, ect (voir <http://www.ludotic.fr/references>). Le domaine médical et principalement l'aide au diagnostic médical pour des personnes souffrant de maladies cognitives est un domaine d'application nouveau pour LudoTIC. De plus, LudoTIC est particulièrement intéressé par l'utilisation d'autres capteurs et de dispositifs d'interaction pour améliorer la robustesse des évaluations de la charge mentale. Dès lors la mise en œuvre d'un grand nombre de dispositifs fournissant des mesures très hétérogènes nécessite d'automatiser une grande partie de l'extraction des indicateurs à partir des mesures et observations. Or ces outils aujourd'hui n'existent pas ou restent très peu flexibles, configurables. Ils ne sont pas extensibles et ne permettent pas aux experts d'y introduire leur savoir-faire dans des traitements originaux des données. Enfin, ils ne peuvent supporter l'évaluation simultanée d'un grand nombre d'indicateurs. LudoTIC est donc tout particulièrement intéressé par la levée du verrou scientifique adressé dans cette thèse qui débouchera sur la réalisation de l'outil attendu : comment décrire un grand nombre d'algorithmes simples de reconnaissance de comportement ou d'évaluation d'indicateurs sur un système qui en supportera la complexité et la charge.

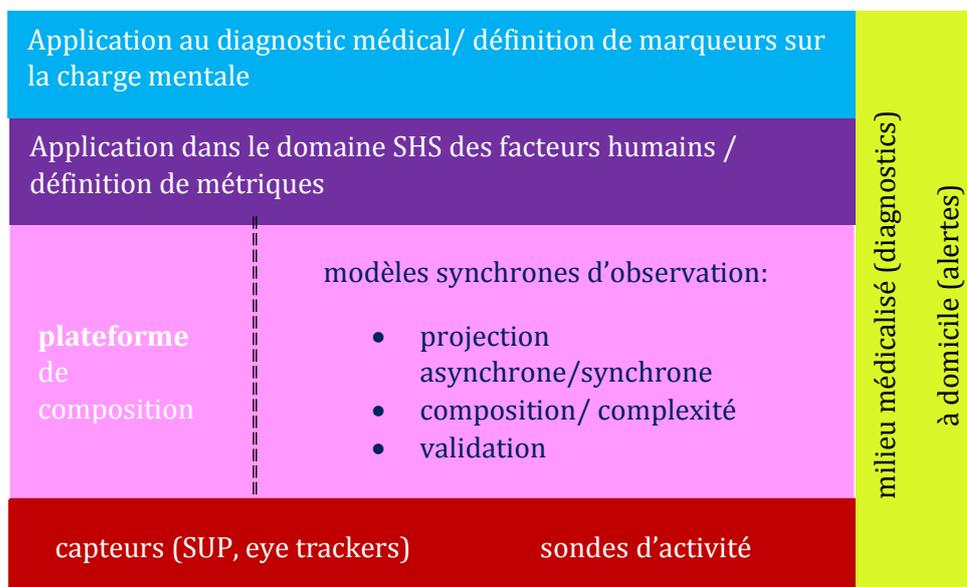
CobTek (Cognition-Behaviour-Technology) est une équipe d'accueil de l'Université Nice Sophia Antipolis. Les équipes fondatrices sont Stars (Inria SAM) et le CMRR (Centre Mémoire de Ressources et de Recherche, dirigée par le Pr Philippe Robert) du CHU de Nice. Le contexte des recherches dans cette équipe est « le vieillissement normal ou dans le cadre de pathologies comme la maladie d'Alzheimer et ses conséquences sur les comportements et l'autonomie ». Dans ce contexte, CobTek a la volonté de développer des recherches de haut niveau sur de nouvelles technologies permettant d'améliorer :

- les connaissances sur le sujet âgé, le développement de nouvelles stratégies d'intervention en matière de prévention, d'accompagnement.
- le diagnostic et la prise en charge des troubles cognitifs et comportementaux dans la maladie d'Alzheimer et ses pathologies associées.
- l'autonomie des sujets âgés présentant un vieillissement normal ou pathologique
- l'intégration des technologies et services au sein de la pratique du soin et de l'aide (formation, ergonomie, management).

Dans ce cadre, CobTek est intéressé par les résultats de cette thèse qui s'inscrivent sans ses thèmes de recherche. La conception d'un outil générique permettant la génération automatique de systèmes de reconnaissance d'activités permettra aux médecins de définir des systèmes de reconnaissance dédiés et de faire les observations nécessaires aux améliorations citées précédemment. De plus, CobTek est impliqué dans des projets européens et nationaux où les résultats de la thèse seront directement applicables. En particulier, le projet « AZ@Game » vise à montrer l'intérêt des « serious games » dans la prévention de perturbations comportementales pour les patients atteints de démence. L'évaluation de la charge mentale à partir de capteurs « eye trackers » sera un complément fort pour appliquer les résultats de la thèse à AZ@Game.

I3S : le laboratoire I3S et plus particulièrement l'équipe Rainbow, ont conçu un intergiciel (WComp) pour développer des systèmes ambiants et ubiquitaires qui permet l'adaptation de composants légers dans des services web [8]. Cette plateforme permet de réaliser la composition de services pour dispositifs. Dans cette thèse, nous nous appuyons sur WComp pour générer des événements élémentaires à partir de plusieurs dispositifs qui caractérise un même événement ; ce qui renforcera la robustesse de la technique de reconnaissance d'activité, sujet de la thèse.

STRUCTURE DU PROJET



La figure ci-dessus présente les différents niveaux du projet dans lequel s'inscrit cette thèse. A partir des mesures issues soit de capteurs élémentaires ou plus élaborés de type « eye trackers », soit de la plateforme SUP d'acquisition vidéo et de reconnaissance d'événements simples, ou bien encore de sondes d'activité observant les interactions Homme/Machine, le but

est de construire de manière générique des modèles d'observation. Ces derniers analyseront les comportements humains et permettront de définir des métriques pour évaluer la charge cognitive et caractériser ainsi des marqueurs comportementaux utiles au diagnostic en milieu médicalisé et au déclenchement d'alertes pour l'observation de patients à domicile.

Le sujet de thèse a pour ambition de couvrir tous ces aspects, il portera en particulier sur les verrous théoriques et techniques de la couche « modèles d'observation ». Le but est de générer automatiquement de tels observateurs synchrones qui prendront classiquement la forme d'automates d'états finis. En particulier, la projection de l'environnement réel donc asynchrone des capteurs dans un univers synchrone pose le problème d'une adaptation temporelle de tous les types de capteurs utilisés dans le cadre du projet. De même la composition synchrone des automates génère habituellement des systèmes gigantesques. Le challenge est de concevoir un mécanisme de composition qui permet d'instancier les automates «à la demande ». La partie validation concerne, de son côté, la conception d'un outil basé sur les techniques de model-checking [11] et dédié à la classe d'applications considérée dans la thèse.

SUJET DE THESE

L'objectif de la thèse est de conceptualiser la reconnaissance des activités d'intérêt des utilisateurs et d'apporter une solution générique, indépendante de chaque application réelle. Cette démarche est en accord avec les objectifs de Stars depuis sa création. En particulier, la reconnaissance de comportements humains aidant au diagnostic médical des maladies cognitives reste un enjeu essentiel. De plus, le maintien des aînés à domicile est devenu une préoccupation sociétale importante avec l'amélioration de l'espérance de vie, surtout en région PACA.

Le but de cette thèse est d'étendre les techniques et les algorithmes de reconnaissance d'événements complexes développés dans l'équipe [2] : un événement complexe est la conjonction temporelle d'événements élémentaires (issus de capteurs ou de SUP) ou d'autres événements complexes. La détection d'un événement complexe induit la prise en compte d'une situation, qui dans notre cas applicatif, permettra de définir des métriques de charge mentale ou de lever des alertes.

Dans l'équipe Stars s'est développé un savoir-faire sur la détection vidéo. Cette thèse a l'ambition d'intégrer non seulement d'autres types de capteurs mais en plus d'homogénéiser toutes les informations élémentaires pour gagner en robustesse et en généricité.

Il existe peut-être d'autres approches intéressantes pour notre problématique comme les techniques de « Message Sequence Charts » [9] ou « Live Sequence Charts » [10] ainsi que les techniques de reconnaissance de « pattern videos » [2]. L'objectif de la thèse sera aussi de comparer ces approches et de faire ressortir leurs points forts et faibles et d'améliorer en conséquence l'approche défendue dans la thèse. En effet, cette thèse devra faire face à plusieurs verrous théoriques et techniques que nous allons détailler.

FORMALISATION DES ACTIVITES A RECONNAITRE

Comprendre une activité c'est d'abord en donner un modèle. Dans ce cadre, la démarche de Stars est justement de proposer des modèles formels permettant aux utilisateurs d'exprimer les événements complexes qui les intéressent. L'expression de ces modèles d'observation peut s'appuyer sur différents formalismes (langage dédié –à définir- ou IHM – à construire) qui tiennent compte des préoccupations des utilisateurs finaux (médecins de CobTek, ergonomes de LudoTIC). Pour cette phase, le savoir-faire et l'expérience de LudoTIC sont incontournables et seront une aide précieuse pour le doctorant, à la fois en tant qu'utilisateur (mesure de la charge mentale à partir de capteurs de type « eye tracking » mais également en tant qu'ergonomes.

Dans la reconnaissance d'une activité se cache également des aspects réactifs et interactifs entre plusieurs entités (dont l'humain au centre). De tels systèmes réactifs ont de plus la mémoire des événements passés pour réagir à des stimuli d'entrée. On peut ainsi les considérer comme des machines d'états. Plusieurs méthodes de conception existent dont l'approche synchrone [1]. Cette dernière fait partie des savoir-faire de Stars et sera donc utiliser en priorité.

GENERATION DE SYSTEMES DE RECONNAISSANCE

L'objectif est de générer automatiquement des systèmes de reconnaissance pour les modèles d'observation spécifiés par les utilisateurs. De tels systèmes peuvent bénéficier de toute la puissance de l'approche synchrone, en particulier pour une génération déterministe et leur validation formelle. En conséquence de l'approche synchrone, ces systèmes seront caractérisés par des automates d'états finis sur lesquels les techniques de model-checking [11] s'appliquent bien. Chaque automate servira à générer un système de reconnaissance. En fait, une application réaliste intègre un nombre importants de petits automates et le problème de la composition synchrone se pose. Un des verrous de cette thèse sera justement d'étudier l'adéquation composition/complexité pour le domaine applicatif considéré et éviter l'explosion combinatoire du nombre d'états des automates résultants.

L'approche synchrone nécessite également la définition d'un cadre mathématique (comme par exemple celui des « Process Algebra ») qui permettra la définition formelle d'une sémantique comportementale d'objets et d'opérateurs spécifiques. Ce cadre mathématique sera le support abstrait des différents formalismes concrets de description des modèles d'observation. La sémantique comportementale ainsi définie fournit un méta modèle qui permettra de construire les automates et de générer automatiquement les systèmes de reconnaissance et sera concrétiser par le développement d'un logiciel. Le doctorant pourra s'appuyer sur des travaux similaires menés dans l'équipe [5, 6]. De plus, l'approche synchrone va permettre de générer des systèmes fiables vérifiables par des techniques de model-checking. Il serait donc intéressant d'intégrer dans toute la phase de conception la validation de propriétés spécifiques au domaine d'application. Par exemple, dans le cas d'alertes à lever, la vérification prouvera que sous certaines conditions d'entrée décrite dans le modèle d'observation spécifié, alors les bonnes alertes sont activées.

La pertinence de la génération des systèmes de reconnaissance à partir de modèles d'observation résultera de retours d'expérience que fera LudoTIC et qui permettront d'ajuster le meta modèle.

L'approche synchrone nécessite par contre une abstraction du temps physique en un temps logique synchrone.

PROJECTION ASYNCHRONE/SYNCHRONE

Les techniques actuelles de discrétisation du temps nécessitent encore des améliorations théoriques malgré les travaux déjà menés en particulier dans Stars et à l'I3S. Un autre verrou à lever dans cette thèse est de construire des événements élémentaires synchrones à partir de l'environnement asynchrone. Cette adaptation assez générale pour couvrir différents types de capteurs doit rester dans le cadre du domaine applicatif de la thèse. Elle concernera principalement les événements issus de SUP, de LudoTIC ainsi que des événements issus de la plateforme de composition de services (WComp) de l'I3S [6].

INCERTITUDE DES CAPTEURS

Un dernier verrou important à lever dans cette thèse porte sur la qualité des informations entrantes. En effet, la robustesse d'un système de reconnaissance est fortement liée à sa capacité de refuser les informations entrantes fausses. C'est pourquoi nous proposons d'améliorer la confiance apportée à un événement élémentaire en multipliant les types de capteurs susceptibles de le reconnaître et ensuite d'utiliser WComp pour construire l'événement. Une approche complémentaire sera de tenir compte de l'incertitude physique des capteurs pour leur donner un degré de confiance et introduire cette notion dans le méta modèle.

DEROULEMENT DE LA THESE

Cette section décrit le déroulement de la thèse et explicite la collaboration avec le partenaire économique (LudoTIC). Toutefois, il nous paraît difficile de chiffrer en temps de façon précise les différentes étapes de la thèse, étant donné les possibles retours en arrière dus à la volonté d'être en adéquation avec les postulats de départ proposés par LudoTIC.

Cette thèse respectera les étapes décrites dans le schéma ci-dessus et que nous allons détailler :

1. La première étape est une étude usuelle de l'état de l'art qui permettra au doctorant de se familiariser avec le modèle synchrone et de comparer l'approche envisagée avec d'autres approches du problème de reconnaissance d'activités.
2. La seconde étape consistera à définir des modèles d'observation, à partir de jeux de mesures, qui permettront au doctorant d'analyser les besoins pour formaliser une méthode de reconnaissance appropriée. Ces jeux de mesures proviendront de différentes sources comme par exemple un ensemble d'objets connectés et des capteurs « eye trackers » déployés dans le cadre de Paillon 2020 (PAsteur Innovative Living Lab Of Nice). Cette étape se déroulera en étroite collaboration avec LudoTIC, avec de courts séjours du doctorant dans la compagnie, si nécessaire



3. La troisième étape représente le cœur de la thèse et se décompose en trois phases non dépendantes. Tout d'abord, le doctorant devra concevoir différents formalismes pour décrire les modèles d'observation. Nous resterons dans le cadre applicatif de la thèse et ces formalismes cibleront des médecins de CobTek et les ergonomes de LudoTIC. De plus, ces formalismes (langages, IHM) seront définis avec LudoTIC qui apportera son savoir-faire en tant qu'ergonome. Ensuite, le doctorant devra construire un « méta modèle » synchrone qui à partir des descriptions de modèles d'observation générera automatiquement le système de reconnaissance associé. Cette phase est certainement la plus importante de la thèse, le doctorant devra résoudre des verrous théoriques comme faire face à la complexité des automates synchrones pour générer des systèmes de reconnaissance efficaces et appliquer les méthodes de model-checking. En complément, le doctorant devra étudier comment faire la validation formelle des systèmes de reconnaissance. Transversalement à ces trois phases, l'étude de la projection

synchrone/asynchrone devra être menée. En effet, un système de reconnaissance écoute des événements élémentaires (ou primitifs) issus de capteurs. Étant donné le domaine applicatif choisi pour cette thèse, les événements primitifs considérés seront issus soit de SUP, soit des sorties d'« eye-trackers » ou bien issus d'objets connectés et générés par WComp. Quel que soit le mode de génération, ils sont asynchrones et les systèmes de reconnaissance fonctionnent sur un mode synchrone. Il faudra donc concevoir une méthode construisant l'instant synchrone (défini par un ensemble d'événements) à partir d'événements asynchrones. Cette méthode ne peut pas être universelle, pour tous les capteurs, mais elle devra être assez générale pour couvrir les types de capteurs du domaine applicatif.

4. La quatrième étape est une étape pratique dans laquelle un outil générant des systèmes de reconnaissance sera implémenté. Ce dernier sera directement déduit de la sémantique comportementale du méta modèle. De plus, il devra faire les preuves de sûreté de fonctionnement prédéfinies (communes aux applications du domaine médical considéré) et permettre à l'utilisateur de faire des preuves spécifiques. Il devra donc s'appuyer sur un model-checker et offrir un formalisme pour permettre à l'utilisateur d'exprimer les propriétés temporelles qu'il veut vérifier. LudoTIC participera à cette dernière phase.
5. Dans la cinquième étape, le doctorant et LudoTIC compareront les résultats obtenus pour l'évaluation de la charge mentale avec la technique développée dans les étapes précédentes, avec le calcul fait manuellement sur les mesures de l'étape 2. En cas de non adéquation, le doctorant devra revoir son méta modèle et la définition de la sémantique comportementale, et ce jusqu'à l'obtention d'une adéquation approuvée par LudoTIC.
6. La sixième étape représente la phase applicative de la thèse. À partir de modèles d'observations exprimés dans un des formalismes offerts par l'outil et définis avec les médecins de CobTek et les ergonomes de LudoTIC, les systèmes de reconnaissance générés permettront l'évaluation d'indicateurs dont la charge mentale. Les médecins de CobTek pourront utiliser ces indicateurs par exemple dans le cas des « serious games » pour étudier les impacts sur des patients atteints de troubles cognitifs, ou aussi construire des marqueurs comportementaux qui aideront aux diagnostics pour des malades à l'hôpital. Ils pourront aussi lever des alertes pour des patients à domicile ou dans des résidences équipées. Pour évaluer les travaux de thèse, nous nous appuyerons sur des données réelles issues d'organismes associés à CobTeK (EHPAD Valrose, Centre Mémoire Claude Pompidou). Nous pourrions également bénéficier de l'environnement de Paillon2020 pour aussi mener de vraies expériences.
7. Cette dernière étape a pour but de renforcer la robustesse des systèmes de reconnaissance en intégrant un facteur d'incertitude sur les mesures brutes. Toutefois, ce point est prospectif et ambitieux et n'a pas d'influence négative sur la méthode globale de conception en cas d'avancée faible. C'est un verrou théorique important qui nécessite de reconsidérer le méta modèle synchrone pour intégrer une notion d'incertitude aux automates. Dans cette configuration, la génération des systèmes de reconnaissance et leur validation pourrait devenir irréaliste et il faudrait trouver une solution médiane capable de garantir les comportements fondamentaux.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] N. Halbwachs. *Synchronous Programming of Reactive Systems*. Kluwer Academic, 1993
- [2] VT Vu, F. Bremond, and M. Thonnat. *Temporal constraints for video interpretation*. In 15th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2002), Lyon, France, July 2002.
- [3] A. König, C. Crispim, A. Derreumaux, G. Bensadoun, P.D. Petit, F. Bremond, R. David, F. Verhey, P. Aalten and P.H. Robert. [Validation of an Automatic Video Monitoring System for the Detection of Instrumental Activities of Daily Living in Dementia Patients](#), - Journal of Alzheimer Disease, - 44 (2015) pp. 675~685, IOS Press, DOI 10.3233/JAD-141767, 2015.
- [4] N. Zouba, F. Brémond, M. Thonnat, A. Anfosso, E. Pascual, P. Mallea, V. Mailland, and O. Guerin. *A Computer System to Monitor Older Adults at Home: Preliminary Results*. Gerontology Journal 8(3): 129-139, 2009
- [5] A. Ressouche, D. Gaffé and V. Roy. *Modular compilation of a Synchronous Language*. In Roger Lee, editor, Software Engineering Research, Management and Applications, vol 150 of Studies in Computational Intelligence, pages 151-171. Springer, 2008.
- [6] A. Ressouche and D. Gaffé, *Compilation Modulaire d'un Langage Synchrone*. Revue des Sciences et Technologies de l'Information, série Science et Informatique, 4(30)441-471, 2011
- [7] S. Moisan. *Generating Knowledge-Based System Generators: a Software Engineering Approach*. International Journal of Intelligent Information Technologies, 6(1): 1-17, January 2010.
- [8] J. -Y Tigli, S. Laviotte, G. Rey, N. Ferry, V. Hourdin, S. Fathallah, C. Vergoni and M. Riveill. *Aspects of Assembly: from Theory to Performance*. In Transactions on Aspect-Oriented Software Development (TAOSD), vol 7271, Springer, 2012, ISSN 1864-3027.
- [9] W. Damm and D. Harel. LSCs: *Breathing Life into Message Sequence Charts*. Formal Methods in System Design, 19:45–80, 2001.
- [10] E. Rudolph, J. Grabowski, and P. Graubmann. *Tutorial on Message Sequence Charts*. computer Networks and ISDN Systems, 28(12):1629–1641, 1996.
- [11] E. M. Clarke Jr, O. Grumberg and D. Peled. *Model Checking*. MIT Press, 2000