

# Activité de recherche

## 1.1. Stage de recherche Mars – Juin 2009 à GIPSA-lab, Grenoble

Sujet de stage : « *Maintien à domicile des personnes âgées : inférence statistique de données des capteurs de suivi d'activité* », (master en automatique discrète)

Encadrants : Stéphane MOCANU et Alexia GOUIN.

Pendant les mois de Mars-Juin 2009, j'ai effectué mon stage de fin d'études à Gipsa-lab, Grenoble, sur le maintien à domicile des personnes âgées. Dans la suite je vais détailler mon travail effectué pendant mon stage, les problèmes et les futures perspectives de ce travail.

### Problématique

Dans la ville de Grenoble, en région Rhône-Alpes, le Laboratoire TIMC - IMAG, en collaboration avec l'hôpital Charles Foix d'Ivry-sur-Seine et le CHU de Toulouse, a développé un projet d'habitat intelligent, nommé : AILISA [Giard et Tinel, 2004]<sup>1</sup>. Le projet a équipé, en 2004, deux appartements du foyer Notre Dame, dans la ville de Grenoble, pour faire des plateformes destinées à l'évaluation médicale des personnes âgées vivant seules dans leur appartement. Les appartements étaient habités par des personnes octogénaires, et la solution adoptée pour collecter les données de la vie quotidienne a été de placer des **capteurs infrarouges passifs** dans les zones où les principales activités ont lieu. Parmi les objectifs spécifiques de ce projet on énumère: l'étude et le développement des nouvelles technologies dans la vie quotidienne, sans perturbation de l'intimité de la personne qui vive dans son appartement. Chaque pièce de l'habitat de la personne âgée est équipée de capteurs infrarouges qui détectent les mouvements. Cette détection minimale permet de respecter au maximum la vie privée et correspond à une installation peu onéreuse. La structure de l'appartement, la position des capteurs et leur signification est donnée dans la figure suivante :

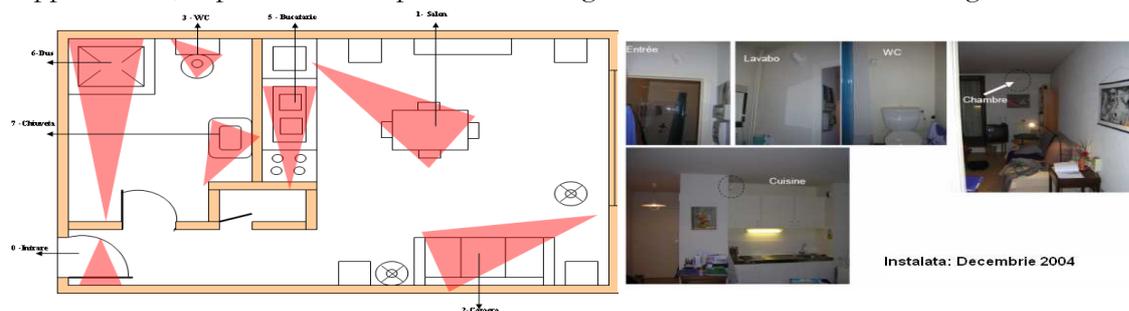


Figure 1. Placement des capteurs dans l'appartement AILISA

### Travail effectué :

Les étapes que nous avons réalisées dans ce projet sont les suivantes :

---

<sup>1</sup> J. Giard, A. Tinel, « L'innovation technologique au service du maintien à domicile des personnes âgées », *Rapport de la Mission Personnes âgées Commandité par le Conseil Général de l'Isère et la Ville de Grenoble*, 2004.

- Le traitement de données que nous avons reçues du laboratoire TIMC à l'aide des bases de données **Oracle**, m' a permis de développer différentes méthodes statistiques pour appliquer des hypothèses de travail sur un jour : une méthode sans élimination des activités courtes et une méthode avec élimination des activités courtes (nous avons considéré que les activités courtes ne sont pas essentielles pour analyser le comportement de la personne).
- La deuxième méthode nous a fourni les meilleurs résultats sur un jour donc nous l'avons appliqué sur toute la durée d'observation que nous avons eu à disposition, afin d'analyser les résultats et faire des comparaisons. Nous avons donc enchaîné différentes méthodes pour calculer les durées moyennes des activités réalisées sur plusieurs jours.
- L'outil mathématique que nous avons choisi pour modéliser le comportement complètement aléatoire de la personne est la chaîne de Markov à temps continu. Avec cette approche nous avons réalisé une modélisation duale des résultats : la construction **d'une chaîne de Markov à temps continu** afin de déterminer les durées moyennes des activités, et d'un automate probabiliste fini (DFPA) pour caractériser les séquences d'activités.

Les résultats obtenus ont été analysés **d'un point de vue statistique (analyse par intervalles de confiance)** ce qui nous ont permis de conclure sur les durées d'apprentissage des paramètres de modèles stochastiques. Le modèle de référence pour analyser les activités doit être construit périodiquement et séparément pour chaque personne. Nous avons observé que le comportement de la même personne est différent pendant chaque saison de l'année. Le comportement de référence doit être comparé chaque fois avec des nouveaux modèles.

La thématique reste toujours d'actualité et malgré l'impossibilité de continuer avec les expériences pratiques sur la plateforme, le laboratoire TIMC a récemment publié en 2012, un article sur la création d'un simulateur des activités des personnes âgées, utilisant comme approche mathématique les chaînes de Markov cachés<sup>2</sup>. Le simulateur est capable de produire des données similaires à la plateforme réelle, en générant facilement les matrices des taux de transition ou de probabilité nécessaires pour la modélisation des chaînes de Markov.

Le travail de ce projet de fin d'étude a représenté pour moi le départ de la carrière de recherche et d'enseignement que je construis jusqu'à présent.

---

<sup>2</sup> <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169260712001782>

## 1.2. Thèse de doctorat à Gipsa-lab, Automatique (2009 - 2012)

---

### 1.2.1. Cadre général

**Sujet de thèse :** « *Approche probabiliste pour la commande orientée événements des systèmes stochastiques à commutation* »

**Directeur de thèse :** Hassane ALLA et Stéphane MOCANU.

Mes activités de recherche durant la thèse ont été effectuées à GIPSA-lab au sein de l'équipe SysCo et comportent des résultats sur une classe de **systèmes hybrides**, pour laquelle nous avons proposé **une méthode de simulation à événements discrets**, suivie par une **méthode probabiliste pour déterminer l'énergie consommé quand le contrôle est appliqué**.

Pendant les dernières années les systèmes stochastiques à commutation ont été utilisés comme une méthode spéciale de modélisation pour les systèmes dynamiques, en raison de leur comportement dual caractérisé par l'interaction entre une partie continue et une partie discrète.

La modélisation stochastique joue un rôle très important dans beaucoup de domaines où les systèmes présentent des discontinuités de fonctionnement, provoquées par des événements aléatoires. Les systèmes caractérisés par une interaction de comportements continus et discrets portent le nom de *systèmes hybrides* et sont largement utilisés dans les réseaux de communication, dans les chaînes de fabrication, dans la robotique, etc.

### 1.2.2. Systèmes stochastiques à commutation (SSC)

Notre attention s'est concentrée donc sur une classe particulière de systèmes hybrides à temps continu, présentant des changements aléatoires entre différents états de fonctionnement (déterminés par des événements externes), que nous appelons les **systèmes stochastiques à commutation** (SSC). Ce système prend la forme suivante :

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = r_{Z(t)} + u_{Z(t)}(x(t)) \\ x(0) = x_0 \end{cases} \quad (1)$$

où  $x(t)$  est la variable d'état,  $x_0 \in \mathfrak{R}$  l'état initial du système,  $Z(t)$  la chaîne de Markov associée au système qui prend des valeurs dans l'espace d'état fini  $\mathcal{S} = \{1, 2, \dots, N\}$  et  $r_{Z(t)}$  sont les taux constants de variation de la variable continue, qui ont des signes différents.

Si on considère que les occurrences des futurs événements aléatoires ne dépendent que de l'état actuel du système, il est alors possible de modéliser la commutation à l'aide de chaînes de Markov en temps continu qui nous permettent d'établir plus facilement les propriétés du système. Dans la Figure 2 j'ai représenté un exemple d'intégrateur stochastique à commutation ayant 2 états, contrôlé, que nous avons modélisé à l'aide d'un automate stochastique aux états finis. On observe déjà la complexité de ce système en apparence simple, et le nombre des paramètres à déterminer (un modèle pour  $N$  états est représenté dans le mémoire de thèse, page 45).

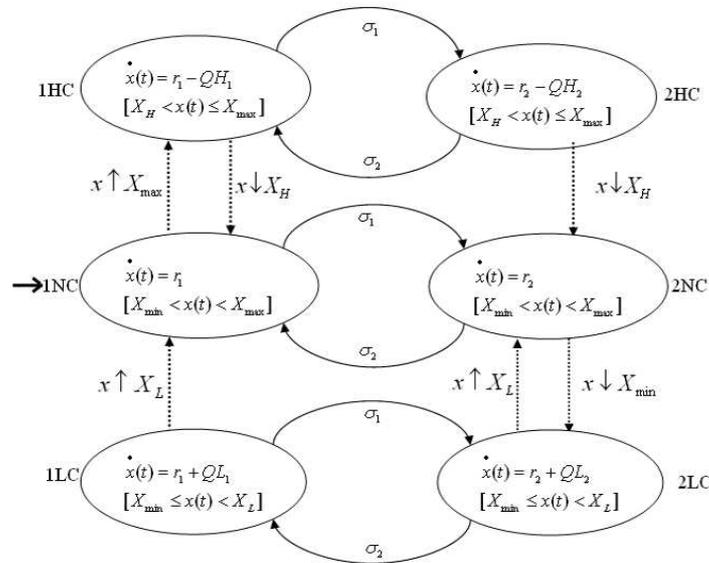


Figure2. Représentation stochastique hybride pour un intégrateur à commutation à deux états contrôlé

### 1.2.3. Contrôlé basé sur les événements (CBE)

Malgré une grande flexibilité de modélisation, les problèmes qui apparaissent dans les systèmes stochastiques à commutation sont en général très ardues : les solutions analytiques sont difficiles à obtenir et assez peu d'algorithmes existent pour réaliser leur simulation en temps continu.

Par ailleurs l'analyse de ces systèmes de nature hybride et stochastique, avec des événements externes modifiant leur dynamique, devient plus difficile si nous y ajoutons le problème de synthèse de la commande. Appliquer le contrôle pour des systèmes ayant une dynamique avec des ruptures aléatoires est une tâche difficile à réaliser, même pour des systèmes très simples. L'approche classique de la commande d'un système stochastique hybride est basée soit sur une commande continue déterministe (un contrôleur suffisamment robuste afin de compenser les effets aléatoires), soit sur une approche discrète probabiliste (les actions ponctuelles sont alors exécutées, selon l'état du système et un coût à minimiser).

Notre approche consiste à utiliser une technique de commande hybride appelée **contrôle basé sur les événements (event-driven control)**. Dans plusieurs systèmes industriels, réseaux de communication, systèmes biologiques, ce type de contrôle permet d'appliquer la commande seulement quand il est nécessaire (à la suite d'événements incontrôlables - par exemple l'atteinte d'un seuil), jusqu'à ce que certaines conditions de fonctionnement soient à nouveau remplies (le système revient dans l'état normal de fonctionnement). Dans la Figure 3 j'ai représenté l'évolution du système quand on applique le contrôle basé sur les événements chaque fois que les limites de la zone de contrôle  $[X_{min}, X_{max}]$  sont atteintes.

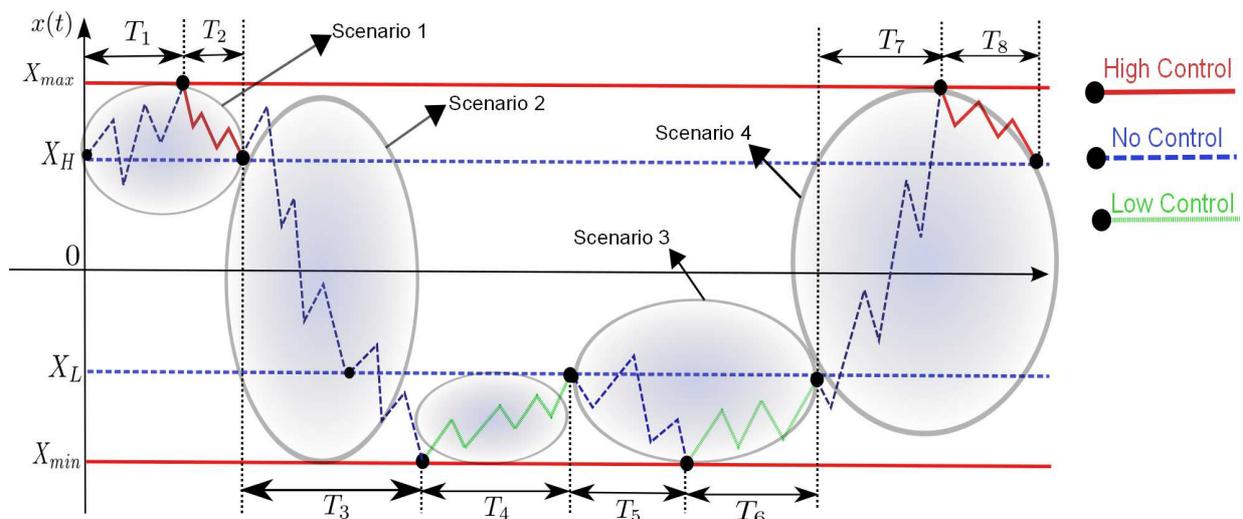


Figure 3. Application du CBE sur le système (1)

L'étude de l'évolution du système comme représenté dans la Fig. 3, nous a donné la possibilité de construire le modèle probabiliste pour minimiser l'énergie consommée pour appliquer le contrôle en considérant différents scénarios d'évolution.

#### Contributions principales:

- La contribution principale de ma thèse est représentée par toutes les méthodes analytiques que j'ai proposé pour déterminer les paramètres nécessaires pour calculer la fonction quadratique de performance que nous cherchons à optimiser:
  - les moments de performabilité d'ordre 1 et 2 de la variable d'état,
  - les probabilités de sortie de la région de contrôle (respectivement les probabilités pour arriver à un certain état avec un départ fixé ou non),
  - les temps moyens de sortie de cette région ( $T_1$ ,  $T_3$ ,  $T_5$ ,  $T_7$  sur la Fig.3) et
  - les temps moyens d'application du contrôle ( $T_2$ ,  $T_4$ ,  $T_6$ ,  $T_8$ ).
- Une fois que le modèle avec la commande basée sur les événements a été construit, j'ai aussi implémenté une **méthode de simulation en temps continu** adaptée à notre système (**avec des événements discrets aléatoires**) quelle pourra être considérée comme un **benchmark** pour des modèles analytiques des systèmes stochastiques à commutation. Cette méthode nous a aidé à réaliser des comparaisons avec l'approche probabiliste que nous avons proposée. La simulation numérique nous a donné aussi la possibilité de réaliser une optimisation directe de la commande appliquée sur le système.

#### Perspectives de travail:

Les travaux réalisés ouvrent des nouvelles perspectives car à court terme, ma recherche vise la commande optimale du modèle probabiliste d'approximation que nous avons proposé. Aussi j'envisage des investigations plus approfondies sur une généralisation de ce type de système stochastiques à commutation.

Ces travaux ont été présentés publiquement le 18 Septembre 2012 à Grenoble devant le jury composé de :

- **Rapporteurs :**

Jean-Claude HENNET, Dir. recherche CNRS, Université Paul Cézanne Marseille  
Etienne CRAYE, Professeur, Ecole Centrale de Lille

- **Examineurs :**

Eric NIEL, Professeur, INSA de Lyon  
Christophe BERENGUEUR, Professeur, INP de Grenoble

- **Directeurs de thèse :**

Hassane ALLA, Professeur, Université Joseph Fourier, Grenoble  
Stéphane MOCANU, Maître de conférences, INP de Grenoble

Suite à cette soutenance, j'ai obtenu le grade de docteur de l'université de Grenoble spécialité automatique productique.

Ces travaux ont été publiés dans 2 conférences internationales, dont l'IFAC 2011 et CIFA 2012, respectivement dans le journal JESA et EJC (récemment soumis) (à voir la liste de publications).

### 1.3. Activité de recherche pendant l'ATER à ENSGSI (2012-2013)

---

Immédiatement après la soutenance, j'ai obtenu un poste ATER à l'Université de Lorraine Nancy. Mes activités d'enseignement sont réalisées au sein de l'**ENSGSI Nancy** (Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes et de l'innovation) et la recherche dans le laboratoire **ERPI** (Equipe de Recherche sur les Processus Innovatifs). Le laboratoire me donne la possibilité de travailler avec divers spécialistes dans le domaine de l'innovation, la simulation de flux ou bien le management de systèmes de production, mais aussi de continuer mes démarches de recherche dans le monde de la simulation de système à événements discrets. Les nouvelles thématiques m'ouvrent des nouvelles perspectives tant que chercheur en automatique, arrondissant mes connaissances et mes aptitudes. A part des 192 heures d'enseignement, j'ai commencé la recherche sur quelques projets que je détaillerais dans la suite :

#### 1.3.1. Simulation de trafic routier en FLEXSIM

##### *Contexte:*

Les travaux de recherche sur les systèmes de transport ont débuté en 2013, avec le projet de modélisation et de simulation 3D d'un carrefour central de la ville de Nancy. Le carrefour C129 représente un point d'intérêt principal dans les travaux de reconfiguration et restructuration du centre ville de Nancy, CUGN ayant comme perspective la création d'un nouveau quartier Nancy Grand Cœur, qui respecte les normes écologiques de l'habitation et du transport. Labellisé EcoQuartier en 2009 au titre de la mobilité, ce projet urbain invite à repenser la mobilité et les usages liés dans une logique de ville durable.

En analysant l'impact des modifications urbaines, on s'interroge sur les méthodes existantes pour simuler le comportement aléatoire du trafic urbain avec un logiciel adapté qui pourra aussi nous donner la possibilité de réaliser des statistiques et des prévisions dans le trafic urbain. La simulation de trafic urbain reste toujours un outil efficace employé pour l'analyse, la reproduction et la prévision d'une large variété de problèmes, difficiles à étudier par d'autres moyens trop chers ou dangereux.

##### *Travaux :*

Tant que tuteur pédagogique d'une équipe de 5 étudiants de l'ENSGSI, nous nous sommes intéressés à la création d'un modèle de simulation mésoscopique pour le carrefour C129 de Nancy, en utilisant de données réelles fournies par la Communauté Urbaine de Grand Nancy ([CUGN](http://www.grand-nancy.org/))<sup>3</sup>, pendant des intervalles de pointe (7:00-09:00, 17:00-19:00).

La simulation a été réalisée en utilisant un nouveau logiciel de simulation de flux, FlexSim, comme représenté dans la Figure 3. Malgré la complexité du système que nous simulons en considérant un grand nombre d'événements discrets aléatoires qui apparaissent, FlexSim nous a donné la possibilité de :

- varier les données d'entrée dans le système (les heures de pointe, matin et après midi)
- tester plusieurs scénarios correspondant aux plans des feux existants : 55, 70 et 90 secondes
- varier en mode aléatoire la vitesse de circulation à l'intérieur du carrefour (vitesse entre [0,50] km/hm)
- insérer des piétons dans le trafic, avec un déplacement aléatoire.

---

<sup>3</sup> Communauté urbaine du Grand Nancy <http://www.grand-nancy.org/>



Figure 3 a) Vue aérienne de C129 b) Modélisation du Carrefour C129 en FlexSim

Le but de la simulation est :

- de pouvoir choisir un plan de feu adapté pour la configuration actuelle du carrefour C129 parmi des plan de feu existants, et qui pourra être ensuite adapté à une future reconfiguration pour supporter un nombre considérablement plus grand des voitures entrantes dans le carrefour.
- d'analyser en sortie:
  - La variation du Nombre moyen de voitures dans le Carrefour à chaque instant et aussi sur tout l'intervalle de simulation
  - La variation des temps moyens d'attente pour traverser les routes du C129.

Actuellement nous nous concentrons sur des **méthodes d'optimisation en utilisant des algorithmes évolutionnaires**, qui vont nous permettre d'analyser et de choisir le plan de feux le mieux adapté pour la configuration actuelle du système. Nos travaux ont montré que malgré le fait que le Plan de 90 secondes est mieux adapté pour le Pont de Fusillés, il est néanmoins pas adapté sur le Boulevard Joffre (Figure 4.1). Dans la Figure 4.2, on observe différents scénarios de test, en partant des données réelles que nous avons reçu de CUGN (D2). Si la rue Abbé Didelot est bien adaptée pour un nombre plus grand de voitures (D3), au niveau de toute l'intersection C129 le temps moyen d'attente va grandir considérablement.

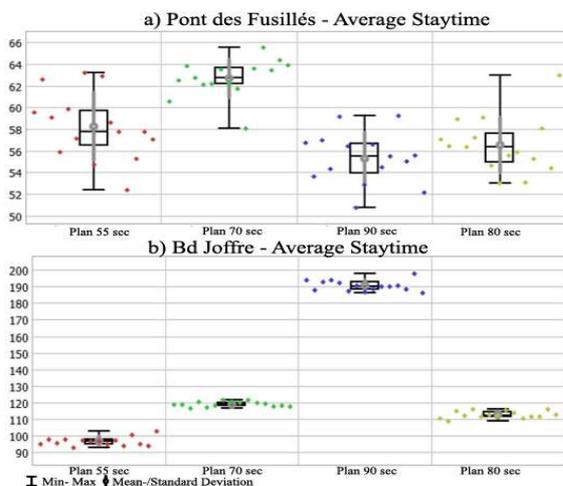


Figure 4.1 Temps moyen de passage versus Nombre moyen de voitures sur : a) le Pont de Fusillés b) le Boulevard Joffre

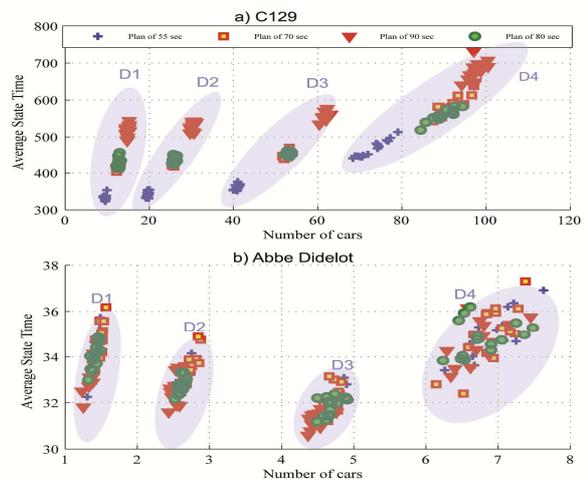


Figure 4.2 Variations du nombre total de voitures dans : a) tout le carrefour C129 b) la rue Abbe Didelot

### *Résultats:*

- o En juin 2013 le modèle de simulation 3D a gagné le premier prix au concours International organisé par [FlexSim](#), à travers [SimConseils](#).
- o Les résultats d'optimisation ont été acceptés pour publication à **IFAC World Congress 2014**, in Cape Town Africa.

### *Perspectives:*

Ce travail ouvre plusieurs perspectives car à long terme une telle simulation de flux ouvre les portes pour concevoir des projets liés à la mobilité, l'urbanisme dans le contexte actuel (et surtout dans la ville de Nancy) tout en donnant une nouvelle perspective sur la simulation à événements discrets d'un système réel.

On s'intéresse aux possibilités d'étendre la modélisation actuelle du carrefour C129 pour anticiper et caractériser l'impact du développement progressif de l'EcoQuartier Nancy Grand Cœur et les modifications urbaines sur les flux de circulation. Un EcoQuartier s'ancre systématiquement dans un écosystème urbain plus vaste, et donc nos études devront montrer en quoi la modélisation d'un quartier central de la ville de Nancy peut tenir compte de l'ensemble des paramètres qui caractérisent un système urbain.

## **1.3.2. Systèmes multi-agents (SMA)**

Pendant mon activité de recherche à ERPI, je participe aussi au travail de recherche concernant les systèmes multi-agents qu'on applique dans divers projets. Je vais détailler en quelques mots les directions de travail.

### **1.3.2.1. SMA pour gérer les idées**

Durant les réunions de travail collaboratif qui ont comme objectif la conception des produits innovants ou bien les méthodes de travail modernes, les participants et les maîtres de réunions travaillant ensemble et appliquent divers méthodes de créativité afin d'explorer les meilleures idées. Ils vont donc appliquer une procédure de créativité en suivant différentes phases : découvrir la thématique, appliquer les méthodes de créativité standard, générer les idées et les formaliser, partager et évaluer les idées afin de sélectionner les plus innovantes. Jusqu'à l'instant, les séminaires de créativité font appel à des méthodes standard : des cartons (paperboards), post-it ou bien des fiches en papier pour écrire les idées. Notre travail propose une architecture multi-agent (CIMAS - Creativity Ideas Managed by Agent Systems) qui va aider les participants à générer, collecter et sélectionner leur idées. Ce travail vient d'être accepté pour être présenté à la conférence ICFCC 2013.

### **1.3.2.2. SMA pour la gestion des connaissances**

Les projets ingénierie sont des organisations où plusieurs acteurs avec différents secteurs professionnels et savoir-faire travaillent ensemble pour réaliser le même objectif : développer un nouveau produit. Dans ce projet nous développons un système multi-agents qui est basé sur une approche sociale et coopérative pour supporter le processus de gestion des connaissances tout au long des projets de conception mécanique. En effet, ce système appelé KATRAS, vise à capitaliser et à réutiliser les connaissances en fonction des rôles impliqués dans les projets de conception. Nous travaillons à cet instant sur la façon dont les agents capitalisent six différents types de connaissances (vocabulaire professionnel, processus, compétences, évolution du projet et le retour d'expérience) et comment ils aident les acteurs professionnels à réutiliser la connaissance. Ce travail a été soumis pour le journal KBS (voir publications).

---