



HAL
open science

Plate-forme pour l'optimisation énergétique des habitats intelligents

Fabien Clanché, Mohamed Ghassane Kabadi, Frédéric Hamelin

► **To cite this version:**

Fabien Clanché, Mohamed Ghassane Kabadi, Frédéric Hamelin. Plate-forme pour l'optimisation énergétique des habitats intelligents. Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes, CETSIS'2011, Oct 2011, Trois-Rivières, Canada. pp.CDROM. hal-00617988

HAL Id: hal-00617988

<https://hal.science/hal-00617988>

Submitted on 31 Aug 2011

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

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

Plate-forme pour l'optimisation énergétique des habitats intelligents

Fabien Clanché, Mohamed Ghassane Kabadi, Frédéric Hamelin
{fabien.clanche;mkabadi ;frederic.hamelin}@cran.uhp-nancy.fr

Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN)
UMR 7039 CNRS Nancy Université
Faculté des Sciences et Technologies – BP 70239
54506 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

RESUME : La plate-forme Eco-sûr s'inscrit dans un contexte global de l'habitat intelligent et traite plus spécifiquement du problème de « *Supervision des habitats intelligents pour une gestion optimisée de l'énergie consommée et la sûreté / sécurité de la fourniture de service* ». Il prend en compte les systèmes de production/stockage d'énergie, de contrôle et supervision d'équipements de l'habitat ainsi que de contrôle/supervision du système de communication. Cette plate-forme pilote est intégrée dans un ensemble de démonstrateurs dédiés à la sûreté de fonctionnement (SAFE-TECH). En exploitant au mieux les capacités de stockage, de traitement et de communication de nouvelles technologies de la domotique, cette plate-forme expérimentale a pour objectif d'illustrer une stratégie de commande/diagnostic répondant aux exigences d'un habitat intelligent tout en minimisant l'énergie consommée.

Mots clés : plate-forme expérimentale, domotique, contrôle-commande, performance énergétique, intelligence ambiante, sûreté de fonctionnement, ingénierie système.

1 INTRODUCTION

Dans le cadre du CPER MISN, le CRAN développe un centre d'innovation et de démonstration des technologies sûres de fonctionnement nommé SAFETECH. Celui-ci est composé de plusieurs plates-formes pilotes afin d'illustrer les résultats scientifiques. Dans cet article, nous nous intéressons au démonstrateur dédié à la supervision des habitats intelligents Eco-sûr.

Le confort de vie est une notion étroitement liée à celle de l'habitat intelligent. Cette perception, relative à chacun, permet de simplifier la vie des occupants d'une maison. L'habitat intelligent (ou communicant) consiste essentiellement en une intégration complexe de technologies, de matériels électriques ou thermiques, de télécommunication, d'informatisation. Cette notion d'habitat intelligent est d'ailleurs un concept qui émerge timidement en Europe, alors qu'aux Etats-Unis, un nombre relativement important de projets sur le sujet a vu le jour depuis déjà quelques années.

Plus spécifiquement, les notions de performance énergétique visant le confort thermique, de sécurité et de sûreté d'un habitat intelligent avec une exploitation optimisée des énergies consommées constituent des enjeux importants. Afin de quantifier le premier concept, la notion de performance énergétique d'un bâtiment est introduite. Elle représente la quantité d'énergie consommée en égard à un mode de fonctionnement bien précisé.

Le démonstrateur développé au sein du service plates-formes expérimentale du CRAN permet de valider et démontrer les concepts et travaux de recherche attenants aux objets communicants, aux réseaux de capteurs sans-fil, et aux infrastructures reconfigurables, développés par les équipes de recherche. Cette plate-forme joue aussi un rôle essentiel que ce soit dans les

formations de techniciens (mise en œuvre des technologies afférente à la domotique) et dans les formations d'Ingénieurs (spécification des modes de fonctionnement et maîtrise de la complexité de systèmes embarquant des technologies numériques).

Dans cet article, après avoir donné le contexte, les enjeux industriels et les verrous scientifiques liés à l'optimisation des énergies dans la section suivante, nous détaillerons l'architecture de la plate-forme existante, puis présenterons les travaux de recherche actuellement en cours.

2 CONTEXTE ET OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

De nos jours, la prise de conscience environnementale et le maintien du confort hydro-thermique [1] des habitants conduisent à repenser l'intégration et l'utilisation de solutions innovantes pour l'habitat en vue d'offrir plus de fonctionnalités et une meilleure performance énergétique.

L'émergence des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication dans les offres en domotique (réseau Ethernet, serveurs Web embarqués, service d'envoi d'email et sms, écran de supervision...) permet d'être prévenus d'éventuels dysfonctionnements ou de commander certains paramètres à distance.

Non seulement la maison devient capable de détecter d'elle-même des dysfonctionnements ou des changements de paramètres susceptibles de présenter un danger, mais elle peut aussi réagir en conséquence. L'habitat doit cependant laisser le maximum de liberté d'action à ses occupants.

En premier lieu, il est essentiel d'avoir en temps voulu tout un ensemble d'informations issues d'un

réseau de capteurs. A partir de capteurs hétérogènes, complémentaires et redondants, il est alors important de parvenir à fusionner ces données et à en tirer une information sémantique fiable de haut niveau. Plus précisément, les informations circulant au sein d'un réseau de capteurs doivent être transmises à un calculateur afin d'élaborer une stratégie de commande spécifique permettant d'atteindre les objectifs de performance énergétique et de sécurité et plus généralement d'autres contraintes liées à l'habitat intelligent.

En complément à ce premier aspect lié à la récolte d'informations, un deuxième axe de recherche concerne la stratégie de commande à mettre en œuvre sachant que ce projet s'inscrit dans un contexte de minimisation des énergies consommées. Pour exemple, il peut être plus intéressant dans un objectif de confort thermique d'une pièce d'habitation d'agir de manière automatique sur les ouvrants de celle-ci plutôt que d'utiliser une climatisation réversible. Cependant, ce raisonnement valable au niveau d'une pièce peut ne plus l'être au niveau de l'habitat complet de par une exposition différente au soleil de chacune des pièces. Plus globalement, la stratégie de commande à mettre en œuvre doit satisfaire les contraintes imposées par un habitat intelligent non seulement en termes de confort et de sécurité mais également en termes de consommation d'énergie. Il est important qu'elle soit robuste vis-à-vis d'éventuels problèmes de transmission de l'information et qu'elle s'accommode de défauts internes pouvant être détectés sur l'installation ou dus à des événements extérieurs (coupures de courant, anomalies climatiques,...).

3 PRESENTATION DE LA PLATE-FORME

L'objectif du démonstrateur permet d'étudier, d'analyser et d'expérimenter les interactions et les relations de communications ambiantes sans fil entre l'homme, les produits et les systèmes informatiques, dans un contexte d'environnement à intelligence ambiante.

Deux fonctions logicielles constituent le cœur du système et sont représentées à la Figure 1. Il s'agit des fonctions de « surveillance et sécurité de l'habitat intelligent avec minimisation de l'énergie consommée » et d'« estimation de la réponse thermique de l'habitat ».

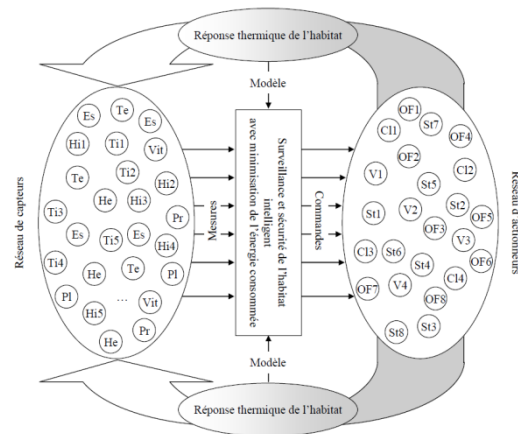


Figure 1 : Projet Eco-sûr

Légende :

- Te : Température extérieure
- Cl : Climatisation réversible
- Ti : Température intérieure
- V : VMC
- He : Humidité extérieure
- St : Stores intérieurs
- Hi : Humidité intérieure
- OF : Ouverture/fermeture de fenêtre
- Pr : Pression atmosphérique
- Oc : Occultation des fenêtres (stores)
- Vit : Vitesse du vent
- Es : Energie solaire
- Pl : pluviométrie

Pour illustrer ces aspects, le procédé pilote à développer devait satisfaire à différentes contraintes :

- Il doit proposer des matériels permettant de mettre en œuvre des fonctions de confort thermique pour l'habitat (climatisation/chauffage, Ventilation Mécanique Contrôlée double flux, fenêtres oscillo-battantes motorisées).
- Il doit proposer des matériels permettant de garantir une luminosité ambiante satisfaisante (système d'éclairage automatisé, stores motorisés, détection de la luminosité intérieure).
- Il doit mettre en œuvre suffisamment de capteurs (température intérieure/extérieure, humidité intérieure/extérieure, luminosité, présence) afin que les mesures permettent de surveiller et de garantir la sécurité dans l'habitat.
- Il doit mettre en œuvre des fonctions de suivi de l'énergie consommée (compteur de consommation de l'énergie électrique).
- Une station météo qui intègre plusieurs capteurs (pluviomètre, vitesse du vent, rayonnement solaire, pression atmosphérique, température et humidité) doit permettre d'anticiper au mieux sur les choix de commande des actionneurs.
- A des fins d'illustration, Eco-sûr doit disposer d'un mode d'utilisation simplifié.

- Le système doit gérer d'une manière autonome le besoin en énergie électrique afin d'utiliser au choix les panneaux photovoltaïque, le système éolien ou le réseau de distribution de l'énergie électrique.

Satisfaisant à l'ensemble de ces exigences, nous proposons un système domotique spécifique composé de matériels et de réseaux de terrain hétérogène et un logiciel de supervision adapté.

Les différentes possibilités d'utilisation de la plateforme en recherche et en enseignement ont amené son installation au sein du service plates-formes expérimentales du CRAN. Ce service, transverse aux différents groupes thématiques de recherche, a pour vocation la conception, la réalisation et l'exploitation de différentes plates-formes expérimentales et de démonstrateurs. Il s'est donc chargé de la conception, du développement et du déploiement du dispositif Eco-sûr dans les locaux du CRAN.

3.1 DESCRIPTION DU SYSTEME DOMOTIQUE

Ce système pilote qui s'intègre au sein d'un ensemble de démonstrateurs SAFETECH (dédié à la sûreté de fonctionnement) permet de superviser les salles Recherche&Développement et Pont-roulant du service plates-formes expérimentales. Les salles concernées ont une superficie respectivement de 60 m² et 40m².

Le système domotique se décompose en plusieurs réseaux de capteurs et d'actionneurs afin de répondre au mieux au standard du marché. L'interopérabilité (Figure 2) entre ces différents réseaux et le logiciel de supervision est rendue possible via plusieurs passerelles qui effectuent une connexion vers le réseau Ethernet du CRAN. De plus, l'interopérabilité des équipements permet de fournir des installations avec des services et une maintenance mieux pensés tout en diminuant les coûts d'exploitation.

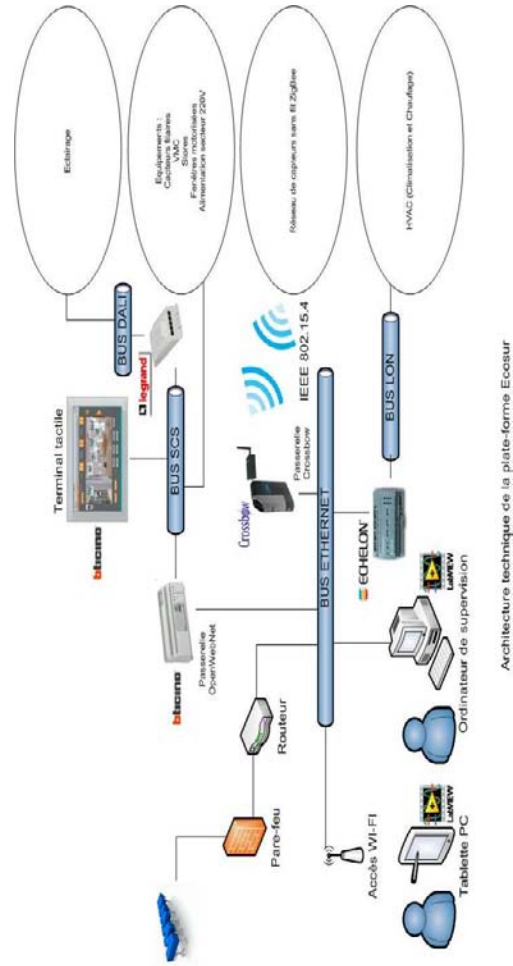


Figure 2 : Architecture technique et réseau

3.1.1 LE RESEAU LON POUR LE SYSTEME HVAC (HEAT VENTILATION AND AIR-CONDITIONNING)

Le réseau LonWorks [2] (Local operating Network) est le moyen d'exploitation du contrôle-commande de la climatisation réversible (chauffage) et de la ventilation. La climatisation réversible du fabricant Daikin est composée d'une unité extérieure située sur le toit du bâtiment 1^{er} cycle et de 2 unités intérieures situées dans les 2 salles.

La performance du réseau LonWorks est définie par des transactions par secondes et le temps de réponse. Le nombre de transactions par seconde peut monter jusqu'à 1000 transactions par secondes en utilisant un taux de transfert de 1,25 Mbps. La passerelle matérielle i.Lon du fabricant Echelon est équipée d'un serveur web embarqué (qui inclue des services Web) afin de piloter la climatisation Daikin à partir du réseau Ethernet.

3.1.2 LE RESEAU ZIGBEE POUR LE RESEAU DE CAPTEURS SANS-FIL

Le protocole Zigbee [3] (IEEE 802.15.4), peu gourmand en consommation, permet d'acheminer les communications radios des différents capteurs de températures, d'humidité et aussi les capteurs intégrés à la station météo. Les matériels choisis proviennent du fabricant Crossbow pour les nœuds sans-fil et du fabricant Davis pour la station météo.

Notre installation comporte 10 nœuds munis de capteurs de température et d'humidité installés à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment. La passerelle matérielle Stargate Netbridge est équipée d'un serveur web embarqué afin de transmettre les données des capteurs sur le réseau Ethernet.

3.1.3 LE RESEAU SCS POUR LES STORES, FENETRES MOTORISEES ET CAPTEURS FILAIRES

Ce bus SCS [4] (Système de câblage simplifié) couvre entre autres les fonctions d'automatismes, de scénarios et de gestion de l'énergie pour la domotique. Ce réseau connecte les nombreux matériels du fabricant Bticino [5] en vue d'automatiser les stores, les fenêtres... La passerelle matérielle OpenWebNet est équipée d'un serveur web embarqué afin de piloter les équipements depuis le réseau Ethernet.

Les stores motorisés

Les stores motorisés permettent de mettre en œuvre les fonctions classiques d'ouverture/fermeture mais aussi l'orientation des lamelles. De plus, pour permettre la mise en œuvre de scénarios sûrs de fonctionnement, des capteurs de fin de course haut (store remonté) et bas (store descendu) sont installés. Une commande locale est aussi prévue afin de les commander par paire. Cette commande, simplifiée des paramètres disponibles en mode distant, permet l'ouverture/la fermeture des stores et des lamelles. Au total, dans les 2 salles il y a 10 stores motorisés.

La motorisation de l'ouverture des fenêtres

Les composants mis-en-œuvre permettent l'ouverture et la fermeture de l'oscillo-battant de 2 fenêtres. Pour la mise en œuvre de scénarios sûrs de fonctionnement, des capteurs rendront compte de l'état de la fenêtre (ouvert ou fermé). Une commande locale est aussi prévue afin que l'on puisse ouvrir ou fermer la fenêtre sans utiliser un logiciel.

Compteurs d'énergie consommée

Les compteurs d'énergie électrique installés permettent de suivre la consommation électrique des 2 salles (Recherche&Développement et Pont-roulant). Ces équipements connectés au un bus de terrain SCS permettent de superviser les consommations à distance.

Les détecteurs de luminosité et de présence et les prises 220V

Dans chaque salle, 2 détecteurs de luminosité (un côté fenêtre et un côté couloir) permettent d'agir de façon plus précise sur les intensités lumineuses de chaque luminaire (chaque zone regroupant un ensemble de luminaires est reconfigurable).

Les 2 détecteurs de présence installés dans les salles facilitent le choix de la stratégie établie par l'utilisateur ou l'intégrateur (confort vs consommation d'énergie). Les prises 220V des salles peuvent être coupées afin de minimiser l'énergie consommée.

Ecran tactile et scénarios simplifiés

Un écran tactile encastré dans la salle Recherche&Développement permet de lancer les scénarios configurés dans un contrôleur spécifique de chez Bticino en vue d'une démonstration simplifiée. Cependant, ce contrôleur n'intègre pas l'ensemble des matériels Eco-sûr.

Les capteurs filaires de température, humidité et luminosité :

C'est l'ensemble des capteurs intelligents (température, humidité et luminosité) interconnectés aux bus SCS. L'apport de l'utilisation de ce type de capteurs est qu'il offre d'autres services annexes afin de satisfaire des exigences liées aux fonctionnalités météorologiques (auto-adaptabilité, test d'intégrité des mesures acquises, traitement du signal...), de maintenance (auto-surveillance, auto-diagnostic ...) et de mise en service (configuration distante).

3.1.4 LE RESEAU DALI POUR LE SYSTEME D'ECLAIRAGE

Le protocole DALI [6] (Digitable Adressable Lighting Interface), bus de communication standardisé (IEC 60929), permet une gestion optimale de l'éclairage des 2 salles. Il est ainsi possible de commander et réguler (allumage, extinction et variation de l'éclairage) numériquement les 14 luminaires équipés de ballasts électroniques. L'un des principaux avantages de ce réseau est qu'il permet de détecter différents défauts (luminaire hors-service).

Une commande locale est aussi disponible pour agir sur l'éclairage en mode manuel. Une passerelle matérielle du fabricant Bticino permet de piloter ce système d'éclairage depuis le réseau SCS.

3.2 ARCHITECTURE DE COMMANDE

Les divers équipements de domotique sont reliés à plusieurs bus de terrain afin de découpler la partie commande de la partie puissance. Les passerelles entre ces bus de terrain et le réseau Ethernet du Cran permet

de commander les éléments de domotique via un navigateur Web d'un PC. Les protocoles de communication sont ouverts afin d'assurer l'interopérabilité avec le logiciel de commande Labview de la société National Instrument offrant ainsi une flexibilité en termes d'utilisation mais également en termes de conception, test et intégration.

La motorisation de certains équipements contribue au confort en automatisant des gestes quotidiens. Reliés à une centrale, leurs commandes peuvent être actionnées à distance et des détecteurs ou alarmes peuvent aussi communiquer vers l'extérieur.

La programmation centralisée comprend des fonctions globales de délestage et d'optimisation selon les horaires et l'utilisation des lieux. Les capteurs fournissent des indications qui sont analysées et qui engendrent un contrôle approprié du chauffage ou de climatisation par zones. Le chauffage peut être interrompu lorsqu'une fenêtre est ouverte.

Il existe plusieurs façons de piloter l'installation. La difficulté est de trouver un moyen permettant de quantifier l'économie réalisée par le choix d'un scénario. La méthode ANAGRAM est un outil essentiellement utilisé par les bureaux d'étude thermiques. Il permet de prendre en compte les degrés jour unifiés fournis par la météorologie nationale et la puissance d'énergie fournie à l'installation pour la chauffer. Cette méthode permet en fonction des degrés jours unifiés de comparer la pertinence de la conduite de l'installation en mode économie d'énergie. La méthode ANAGRAM paraît plus judicieuse que la mesure de la puissance électrique de la climatisation réversible en mode chauffe afin de quantifier le gain économisé. Le tableau suivant résume une stratégie possible de régulation thermique.

Mode	Te	Chauffage	Clim chaud	Clim Froid	Store	Fenêtre	VMC transfert**
Hiver	De -15°C à 7°C	Si Ti < Tc alors =1	na	na	Si Ps > 200w/m ² ouvert	fermée	Si T11 > T12 alors marche Sens 1
Hiver	De 7°C à 19°C	Si Ti < Tc alors =1 (appoint)*	100% d'appoint	na	Si Ps > 200w/m ² ouvert	fermée	Si T11 > T12 alors marche Sens 1
Hiver nuit		Réduction de nuit de Tc					
Hors chauffage et hors climatisation	19°C à 24°C	na	na	na	Ouvert si Ti < 19°C Ferme si Ti > 24°C et si Ps > 200 w/m ²	Fermée si Te > 24°C ouverte si < 19°C	Si T11 > T12 alors marche Sens 1
Été	>24°C	na	na	1	Fermé si Ps > 200 w/m ² Ouvert	Fermée	Sens contraire
Été nuit Free cooling	Ti et Te >> 24°C	na	na	0		ouverte	marche

Ti : Température interne, Te : Température externe, Tc : Température de Consigne, Ps : Puissance par apports solaire
 *dépend de l'écart de température entre Ti et Tc, si l'écart est grand alors la chaudière fournit la puissance manquante, la valeur de cet écart est à définir selon la puissance calorifique de la climatisation réversible.
 ** A expérimenter pour en définir son modèle thermique

Tableau 1 : Stratégie possible de régulation

Le démonstrateur « Eco-sûr » dispose de plusieurs modes de fonctionnement :

- mode manuel : Pilotage indépendant de chaque équipement (Climatisation, stores, fenêtres, éclairage, vidéo ...)
- mode configuration : Configuration des différents paramètres du mode automatique (périodes d'ouverture, températures de consigne,...)
- mode automatique : Déclenchement des scénarios en fonction de l'information fournie par les capteurs et déclenchement d'alarmes
- mode dégradé : Optimisation du critère « bien-être » des personnes

3.3 SURVEILLANCE/SECURITE ET SUPERVISION GLOBALE

Il s'agit de surveiller et de quantifier la disponibilité de l'ensemble des entités communicantes sans fil, de détecter les défaillances de l'infrastructure, et d'informer et alerter en cas de défauts de sécurité notamment. La fonction de supervision, associée à la centralisation des commandes, permet de connaître le bilan thermique et énergétique du logement. La connaissance des consommations et des températures met en évidence d'éventuels dysfonctionnements et précise les travaux de maintenance nécessaires et dans le cas échéant, de s'accommoder des défauts potentiels à travers une stratégie de commande (logique décisionnelle) adéquate. Les services attendus du poste de surveillance/supervision sont :

- Paramétrer le système (consignes, préférences ...).
- Choisir les modes de fonctionnement (explicitier lors de la définition des scénarios).
- Superviser, à travers les synoptiques, le fonctionnement du système.
- Gérer les alarmes (gestion d'anomalies et de défauts).
- Archiver les informations jugées utiles à la surveillance du fonctionnement du système.

4 LES EXPLOITATIONS PEDAGOGIQUES ET RECHERCHE

Un aspect important pour l'exploitation pédagogique de la plate-forme a été de développer une bibliothèque d'objets logiciels représentatifs des matériels qui composent éco-sûr.

Ce travail important, du fait de l'hétérogénéité du matériel, a nécessité de développer diverses applications passerelles :

- Intégration du réseau de capteurs sans-fil : application qui traite un flux de données XML
- Intégration du système HVAC (climatisation et chauffage) : application qui fait appel à des Web Services
- Intégration de la VMC, de l'éclairage et des stores motorisés : application client/serveur TCP/IP

Cette bibliothèque, disponible dans l'environnement Labview, permet de développer des scénarios personnalisés. L'implantation des scénarios est rendue possible via le module Statechart (Figure 3) de Labview. Cette approche par diagramme d'états-transitions permet d'avoir une commande robuste et adaptative.

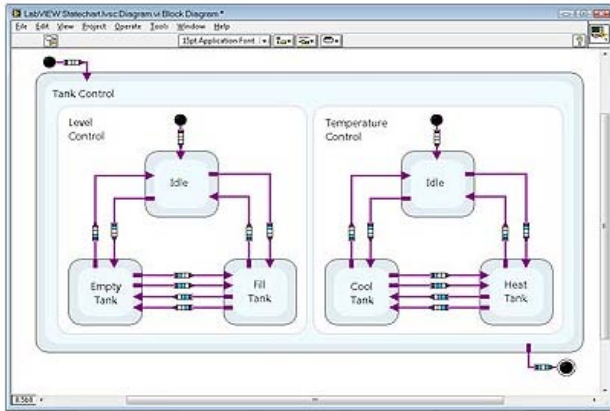


Figure 3 : module Statechart de Labview

Un des buts majeurs de cette plateforme est l'illustration de travaux de recherche menés par les équipes du CRAN.

Afin d'analyser le fonctionnement, les performances et les besoins en capteurs et actionneurs du démonstrateur, nous nous sommes intéressés d'un point de vue général aux systèmes dynamiques hybrides. En effet, comme pour beaucoup d'autres systèmes complexes, le comportement d'un bâtiment intelligent est par essence hybride : c'est un processus dynamique ayant une nature hétérogène continue et discrète. Les systèmes hybrides fournissent un cadre adéquat pour étudier ce type de systèmes.

Nos premières études ont consisté à l'élaboration de modèles structurels des systèmes à commutations permettant de représenter efficacement les parties continue et discrète du système et l'interaction entre ces deux parties. Ces modèles permettront d'analyser des propriétés structurelles telles que la commandabilité, l'observabilité, la diagnosticabilité des défauts et la reconfigurabilité suite à l'apparition de défauts. Des modèles structurels d'un système distribué ont été proposés dans [7].

Nous avons par la suite utilisé les modèles structurels obtenus pour analyser deux propriétés élémentaires très utiles tant pour la commande que pour la supervision de ce type de procédé, à savoir l'observabilité et la diagnosticabilité. Plus précisément dans [7], nous avons caractérisé, pour un système commandé, les capacités à travers les mesures prises, d'observer son comportement et de détecter et localiser de défauts pouvant affecter le système voire modifier sa structure. Il s'agit en fait de savoir si les informations disponibles

et les mesures effectuées sur le système permettent la détection et la localisation des défauts. Cela est fondamental pour garantir la sécurité des systèmes où un dysfonctionnement peut causer des dommages humains et matériels.

Nous nous sommes intéressés à l'observabilité partielle dans le cas où l'on souhaiterait surveiller non pas la totalité mais juste une partie de la dynamique du système. Des conditions nécessaires et suffisantes sur l'évaluation de l'observabilité du système ont été trouvées pour assurer l'observabilité d'une variable donnée [8]. Enfin, nous nous sommes intéressés à la partie conception car évidemment là aussi plusieurs problèmes théoriques se posent: où placer les capteurs de façon optimale pour superviser le système ? Quelles variables mesurer ? Quelles sont les informations à faire transiter entre les différents nœuds de commande pour assurer le diagnostic des défauts et l'observabilité des variables essentielles du système ?.

C'est le travail mené dans [7], [10], [11]. Il s'agit plus précisément de proposer des méthodologies de placement de capteurs et d'actionneurs et de choix d'architecture permettant de garantir des propriétés structurelles de base traduisant la possibilité de d'accomplir des missions désirées et des contraintes de sûreté de fonctionnement.

Les résultats attendus auront pour intérêt de permettre l'optimisation de l'emplacement des différents capteurs et actionneurs (informations pertinentes transmises au système de diagnostic et de commande) afin d'atteindre les objectifs fixés en termes de performances attendues (Confort hygrothermique des occupants de l'espace sous contrainte d'optimisation de la consommation énergétique du système).

Afin que les étudiants puissent adhérer activement dans les différents niveaux du cycle de vie du système, une UE Plate-forme est intégrée dans le cursus du Master ISC (Ingénierie des Systèmes Complexes). Cette U.E permet aux étudiants d'appliquer leurs connaissances à la résolution de problèmes concrets, d'en acquérir de nouvelles et de travailler en équipe.

5 CONCLUSION

La plate-forme est aujourd'hui opérationnelle et accessible à distance de façon sécurisée via un VPN (Réseau Privé Virtuel). Elle est mise à la disposition des formations demandeuses. La participation de Nancy Université, de la région Lorraine et du CPER MISN a permis de financer l'ensemble des équipements industriels d'une valeur de 90 k€ L'exploitation de la plate-forme éco-sûr a été rendu possible grâce aux Ingénieurs du service plates-formes expérimentales qui a largement participé à la conception et aux développements matériels et logiciels durant 2 années.

La plate-forme a également atteint son second objectif, puisqu'elle est utilisée par plusieurs équipes de recherche.

Bibliographie

- [1] Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-2004.
- [2] www.lonmark.org
- [3] www.zigbee.org
- [4] www.myopen-legrandgroup.com
- [5] www.bticino.fr
- [6] www.dali-ag.org
- [7] T. Boukhobza, F. Hamelin, S. Martinez-Martinez and D. Sauter (2009). "Structural analysis of the partial state and input observability for structured linear systems. Application to distributed
- [8] T. Boukhobza. "Partial state and input observability recovering by additional sensor implementation: a graph-theoretic approach". *International Journal of Systems Science*, 41 (11), pp 1281-1291
- [9] T. Boukhobza and F. Hamelin (2011). "Observability of switching structured linear systems with unknown input: a graph-theoretic approach". *Automatica*, 47 (2), pp 395-402.
- [10] T. Boukhobza, F. Hamelin, M.G. Kabadi et S. Aberkane (2011). "Discrete mode Observability of switching linear systems with unknown inputs. A graph-theoretic approach". *Soumis à l'IFAC World Congress 2011*.
- [11] M.G. Kabadi, T. Boukhobza and F. Hamelin (2011), "Discrete mode observability analysis of switching structured linear systems with unknown input. A graphical approach", *soumis au 19th Mediterranean Conference on Control and Automation, 2011. control systems*". *European Journal of Control*, 15(5), pp 503–517