
Les Réseaux Bayésiens :une solution pour une conception de bâtiments économes en énergie adaptée et/ou adaptable aux différents usagers

Nazila HANNACHI-BELKADI

*MAP MAACC, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris la Villette
144 avenue de Flandre - 75019 Paris
nhannach@paris-lavillette.archi.fr.fr*

RÉSUMÉ. Cet article vise à décrire la solution que nous nous proposons d'adopter pour intégrer la dimension socioculturelle dans le cadre de l'outil d'évaluation mis au point dans une recherche précédente. Cet outil basé sur les Réseaux Bayésiens avait pour but d'assister la définition d'un plan de qualité "commissionnement" qui vérifie la qualité effective d'un bâtiment à basse consommation d'énergie tout au long de son cycle de vie et d'intègre dans le même temps, l'aide à la décision et à la gestion de l'information. Notre objectif aujourd'hui est de développer un outil d'investigation qui permet: d'une part, d'estimer la probabilité de l'atteinte d'une performance énergétique en tenant compte des comportements des usagers et d'autre part, de proposer des solutions de conception adaptées et / ou adaptables à différents comportements.

Mots-clés: Performance énergétique, confort, comportement de l'utilisateur, Réseau Bayésien

ABSTRACT. This paper aims to describe the reason and the way we adopt to integrate the users' practices as part of the assessment toolbox developed in a previous research to support the definition of a quality plan "commissioning" that checks the effective quality of a low energy building throughout its life cycle, and to make a decision support and management of information, based on Bayesian networks to make an investigative tool, that permits: firstly, to estimate the probability of an outcome of energy efficient building designs and secondly, to offer adapted and / or adaptable design solutions to different uses, depending on: behaviors, needs, culture, habit and etc.

Keywords: Investigative tool, performance-gap, comfort, users' practices, Bayesian network

1. Introduction

Dans le domaine de la conception des bâtiments « basse énergie », nous avons constaté l'insuffisance des efforts déployés pour atteindre les objectifs de performance, efforts mis en œuvre en termes de recommandations techniques innovantes, de renforcement de la réglementation, de labélisations, ou d'incitations directes et indirectes telles que l'aide financière, sur la consommation réelle des bâtiments. Ceci est principalement dû au fait que les solutions sont appliquées à des espaces investis par les utilisateurs et qu'il est difficile, aujourd'hui, de mesurer l'impact de leurs comportements et habitudes sur la consommation finale d'énergie. En effet, avec une approche déterministe à l'égard du confort thermique de nombreux facteurs sociaux culturels et contextuels sont ignorés. Cela peut induire une minimisation ou exagération des besoins énergétiques (en chauffage ou ventilation par exemple) (Annex 53, 2008-2013). Ce qui montre l'inefficacité de ce type d'approche préconisée vis-à-vis du confort et au service de l'efficacité énergétique.

Cet article a pour objectif de présenter les avantages de l'utilisation des Réseaux Bayésiens (RB) comme réponse possible à la complexité observée dans ce contexte à travers le développement d'un outil d'évaluation et d'aide à la décision, pour la conception de Bâtiments Basse Consommation d'énergie (BBC). Cet outil devra permettre d'orienter le concepteur vers des solutions adaptées ou adaptables à la variété des comportements qu'il pourrait rencontrer lors de son exploitation et de réduire l'écart entre la consommation réelle (mesurée après occupation des lieux par les utilisateurs) et la consommation théorique (calculée sur la base des solutions techniques fournies). Il est organisé en trois parties: la première vise à identifier les causes de cet écart de performance et la façon dont certains chercheurs tentent de le réduire. La seconde présente l'intérêt de l'utilisation des RB dans ce cadre. La troisième décrit la façon dont nous envisageons d'améliorer l'outil, d'aide au commissionnement¹ et à la prise de décision, mis au point dans nos recherches précédentes en intégrant le facteur utilisateur.

2. *La consommation effective des bâtiments se voulant performant énergétiquement*

Nous présentons ici un retour d'expérience sur les consommations énergétiques après l'occupation des bâtiments BBC, ainsi que quelques recherches qui ont tenté de répondre aux écarts de consommation qui ont été relevés suite à cela.

¹ Le commissionnement est un processus qualité qui permet de vérifier la qualité effective d'un bâtiment tout au long de son cycle de vie.

2.1. Retour d'expérience

De nombreuses études sociologiques et socio-éco-techniques ont été réalisées sur des opérations de bâtiments BBC afin d'étudier et de comprendre les causes de ce constat et d'évaluer les conséquences du comportement des usagers sur la consommation réelle du bâtiment.

Certaines études, faites en France (Carassus, 2013) (Brispiere, 2013-a) (Batier, 2015), ont permis d'identifier 3 ou 4 catégories d'utilisateurs selon les études : 1) « l'engagé » qui participe activement à la gestion du bâtiment et reprend à son compte l'objectif énergétique, 2) « l'accommodé » qui adopte une posture adaptative vis-à-vis du bâtiment, 3) « le réservé » qui adopte une posture conservatrice vis à vis du BBC et se montre critique, et enfin 4) celui qui connaît bien le BBC mais mal les usages. Ces études ont permis d'observer un certain nombre de causes qui induisent ces comportements que nous classons en deux types:

a) Les causes « subjectives » difficile à prédire et à identifier telles que :

- Les habitudes des usagers : l'action d'ouvrir les fenêtres, par exemple, peut être liée à un problème d'inconfort mais est souvent le résultat d'une habitude (ouvrir les fenêtres tous les matins, un besoin de contact avec l'extérieur).
- La visibilité des appareils et le fait d'entendre leur bruit de fonctionnement tel que : le renouvellement d'air qui par un système trop silencieux pourrait donner, à certains, l'impression d'un mauvais fonctionnement, l'invisibilité des systèmes de chauffage peut poser le problème d'un inconfort thermique, etc.
- La proximité d'un équipement comme celle d'une cheminée peut procurer une sensation de chaleur.

b) Les causes qui peuvent être « observables / déductibles » telles que :

- Les sensations d'inconfort (thermique, olfactive, ou acoustique) qui peut induire l'ouverture des fenêtres en hiver et ainsi des déperditions thermiques et leur fermeture en été et en conséquence la perte des avantages d'une ventilation traversante en cette saison (ce qui favoriserait l'utilisation de climatiseurs).
- La technicité des systèmes face à un manque d'information voire de formation des usagers sur leur fonctionnement.
- L'automatisation des systèmes face à un besoin de contrôle des usagers sur leur environnement. A cela peut s'ajouter un manque d'information qui rend difficile un fonctionnement optimal de ces équipements.
- La non adaptation de la température de consigne à la variabilité du ressenti de la température par les usagers et à la variation du besoin de chaleur d'un espace à l'autre d'un bâtiment.

En effet, il a été démontré dans la littérature que les personnes présentent un plus grand degré de tolérance aux variations de conditions thermiques si elles peuvent y exercer un certain contrôle (Brager, 2004) (De Dear et al, 1997). Mais aussi, que pour une même sensation d'inconfort, nous pouvons observer différentes réactions (Brispiere, 2013-b).

Autant de constats qui nous font dire que la performance (énergétique et de confort) va au-delà de la température de consigne et de la performance du bâtiment et des appareils. Il faut travailler aussi bien sur les aspects techniques que symboliques et sur l'imaginaire collectif, en tenant compte des différents modes de vie et les aspects sociaux. Cela implique que nous devons améliorer notre maîtrise de la complexité liée à l'usage afin de réduire les écarts sans mettre en péril le confort. Nous présentons dans ce qui suit quelques recherches qui ont été entamées pour aller au-delà de ces limites.

2.2. Intégration de l'impact des comportements dans l'évaluation des performances énergétiques du bâtiment

De nombreux travaux de recherche ont été initiés pour donner à la Simulation Thermique Dynamique (STD) une dimension plus proche de la réalité, et remettent en question cet usager type, en intégrant dans les modèles de STD d'un bâtiment des modèles d'évaluation du comportement des usagers. Ces recherches se déclinent en deux approches : la première modélise et évalue le confort en se basant sur l'hypothèse que les usagers agissent pour le retrouver (Moujalled, 2007) (Bonté, 2014) (Batier, 2015) et la deuxième se base sur les probabilités pour déduire des scénarios d'occupations influents sur la consommation d'énergie (Vorger, 2014). Parmi ces travaux nous pouvons citer :

L'approche systémique de (Moujalled, 2007) met en avant une lecture du confort et des échanges de flux d'énergie, de la matière et de l'information. Ces différents aspects permettent d'identifier les composants pluridisciplinaires (socio-culturelle, psychologique, physiologique), les variables de flux et les variables d'état pour la construction d'un modèle dynamique de confort. Il a développé un outil AdOCC (Adaptation de l'Occupant-Confort-Comportement) qui permet d'une part de représenter le confort thermique en tenant compte des actions rétroactives de l'occupant et d'autre part de décrire le comportement potentiel en fonction de l'état et des possibilités envisageables dans le local. Cela en commençant par calculer l'état thermique du corps, ensuite modéliser le comportement adaptatif qui permet la mise en œuvre des actions adaptatives de l'occupant sur logiciel de STD nommé TRNSys.

La démarche expérimentale de M.Bonté (Bonté, 2014), sur 4 bureaux instrumentalisés, et Cecil Batier (Batier, 2015), dans le cadre de réhabilitation énergétique de 13 logements instrumentalisés. A travers ces expérimentations, ils ont réussi à déterminer certains facteurs influents sur le comportement des occupants. Ils ont ainsi établi des corrélations entre des variables physiques (liées aux sensations thermique et visuelle) et des actions réalisées par les usagers. Ils ont développé des méthodes de modélisation de ces comportements qui servent de données d'entrées aux logiciels de STD tels que TRNSys ou Plaiades-Comfie pour en évaluer l'impact sur la consommation. Leurs objectifs à terme étant de proposer des solutions architecturales de réhabilitation ou d'améliorations qui minimisent les pertes de performance liées aux comportements de l'usager. Les résultats des simulations faites par le biais de ces deux approches sont proches de la réalité

mesurée. Néanmoins, ils doivent être nuancés compte tenu du nombre réduit des cas étudiés et de la particularité de ces cas. Il est donc difficile de les élargir à l'ensemble des comportements et de cas possibles.

Ces 3 travaux ont utilisé la méthode dite adaptative du confort (Nicol et Humphreys, 2002). Cependant, elles s'en sont tenu à un nombre limité d'actions, et n'ont intégrées, ni des boucles d'acclimation (physiologique) et d'accoutumance (psychologique) (Moujalled, 2005) qui avec le temps peuvent jouer un rôle quant à l'acceptation des conditions d'ambiance intérieure, ni les causes "subjectives" décrites plus haut. Leurs limites viennent du fait que les outils qu'elles développent, à savoir les outils de STD, ne permettent pas de prendre des valeurs imprécises et incertaines, qualitatives ainsi que les interactions sensorielles, etc. En effet, comme le souligne K.B. Janda (Janda, 2011), « *le comportement des gens est plus particulier que prédictible et raisonné* ».

Une deuxième approche phénoménologique, selon laquelle les processus physique et psychologique ayant induit ces comportements ne sont pas toujours explicités, a été développée par Vorger (Vorger, 2014). Celui ci a utilisé les probabilités, à travers plusieurs modèles stochastiques constituant un pré-processus permettant de générer des scénarios d'occupation pour la STD. Cette méthode permet, à travers un nombre important de simulations, d'évaluer l'influence des comportements possibles des usagers en observant les résultats des simulations.

C'est dans cette approche que nous nous inscrivons pour proposer un outil probabiliste basé sur les Réseaux Bayésiens (RB) qui permette à la fois de faire des évaluations des performances attendues en tenant compte des usages à travers l'ensembles des aspects que nous avons cité et de proposer des solutions architecturales adaptées et adaptables pour minimiser les écarts de consommation observés et prédits. Cet outil se veut facile d'utilisation par des non experts dans le cadre de prise de décisions.

3. Les Réseaux Bayésiens : une solution possible pour réduire l'écart énergétique

L'utilisation des RB nous semble adaptée à la complexité à laquelle nous sommes confrontés pour plusieurs raisons (Naim et al, 2004) : a) Les RB peuvent être utilisés dans des domaines où la connaissance n'est pas explicite et difficile à contrôler. Ils permettent de mettre en relation des éléments d'information qui pourraient paraître indépendants, tel que les économies d'énergie, les habitudes des usagers, leur âge, leur culture etc.

b) Le second est qu'ils peuvent être utilisés dans les deux directions: pour l'évaluation de l'impact des choix architecturaux réalisés sur la performance énergétique et le confort (de causes à effets), et pour l'aide à la décision, en définissant les performances souhaitées et en observant l'état des variables cause pour choisir les solutions les plus appropriées.

c) Le troisième intérêt est qu'il est possible de gérer l'évolution temporelle d'un système à l'aide des Réseaux Bayésien Dynamique (DBN). Ce qui nous permettra d'intégrer les actions dont l'influence n'est pas immédiate (Batier, 2015), ainsi que

les dimensions d'accoutumance et d'acclimatation du confort adaptatif, qui peuvent, de notre point de vu, au fil du temps avoir une influence significative sur les performances énergétiques.

d) Un autre point fort des RB, est la possibilité d'apprentissage à deux niveaux : pour parfaire le modèle graphique (les variables et les relations entre variables) et pour alimenter les tables de probabilités grâce à des bases de données résultant de campagnes d'enquêtes sociologiques ou sociaux techniques et autres. Cette caractéristique nous est précieuse, car étant donné l'état des connaissances dans le domaine que nous étudions, cela nous permettra d'enrichir et d'affiner notre outil au fil des retours d'expériences. Ce qui nous permet de développer un outil qui se base, d'une part sur une expertise quantifiable qui est liée à la conception de bâtiment performant énergétiquement et d'autre part sur une connaissance qualitative, incomplète et difficilement maitrisable qui est liée au comportement des usagers face à ces bâtiments.

En effet, la réduction de l'écart de consommation (réel/théorique) ne pourrait être qu'un modèle probabiliste conditionnelle, qui permettrait d'évaluer la probabilité :

- Des comportements des usagers influant sur la performance énergétique / Un choix de conception architecturale
- Des comportements des usagers influant sur la performance énergétique / Une ou plusieurs causes autres que les choix de conception
- L'écart de performance / Comportements des usagers
- La ou les Solutions architecturales / Adaptées ou adaptables aux différents cas

La partie suivante présente une description de l'outil que nous comptons développer et de la méthode que nous souhaitons utiliser pour ceci.

4. Un outil d'investigation pour une conception adaptée et/ou adaptable des bâtiments à faible consommation d'énergie

Nous avons proposé, dans le cadre d'un travail de thèse (Hannachi-Belkadi, 2008), une méthodologie d'assistance à la conception des bâtiments à faible consommation d'énergie basée sur un commissionnement «évolutif» intégrant gestion de l'information et aide à la décision. Pour mettre en application cette méthodologie, une boîte à outils a été développée. Notre recherche actuelle représente une suite de ce travail. Pour répondre aux problématiques actuelles.

4.1. Description de la boîte à outils de commissionnement des bâtiments à faible consommation d'énergie

La boîte à outil développée dans la cadre de notre thèse est constituée de deux outils:

- un outil dit «statique» qui permet de définir un premier plan de commissionnement générique qui répond aux caractéristiques d'un projet, à partir d'une base de données exhaustives de tâches de commissionnement,

- un outil, dit «dynamique», basé sur des réseaux probabilistes qui permet de réaliser trois fonctions : a) l'assistance à la définition du plan de commissionnement, b) l'aide à la décision, c) l'assistance à la gestion de l'information.

En fonction de leurs domaines d'applications (évaluations de bâtiments types ou d'un champ plus large de bâtiments, ou d'évaluation détaillées), plusieurs versions de l'outil dynamique ont été développées (voir Figure 1) (Hannachi-Belkadi, 2008).

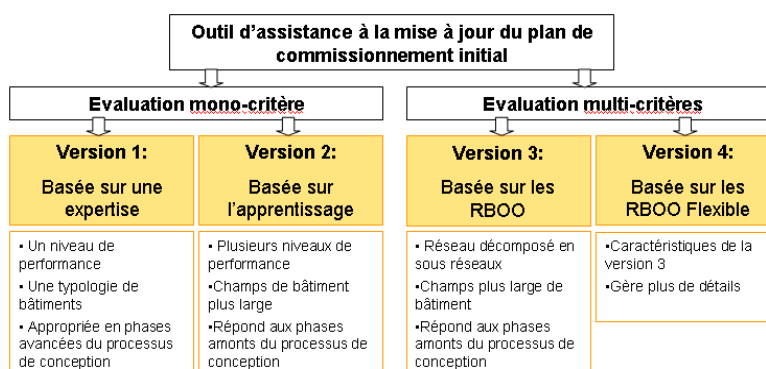


Figure 1: Différentes versions pour différentes applications

La première version de l'outil se base sur une expertise permettant l'évaluation des performances énergétique d'une typologie de bâtiment (industrialisé), pour laquelle les choix sont limités et leurs conséquences sur la performance énergétique connues. Cette version est mono critère (la performance énergétique) et mono cible (la réglementation thermique). C'est-à-dire qu'elle permet de réaliser des diagnostics pour un niveau de performance énergétique (Réglementation Thermique 2005). Elle couvre donc un champ d'application restreint à une phase du processus et à une typologie de bâtiment.

La deuxième version est aussi mono critère (la performance énergétique) mais multi cibles (quatre niveaux de performance énergétique). Elle permet ainsi de réaliser des diagnostics par rapport à différents niveaux de performances énergétiques. Cette version vise un champ d'application plus large de bâtiments, dont les combinaisons de choix sont trop nombreuses pour que leurs impacts soient tous connus et quantifiés, d'où la nécessité d'intégrer de l'apprentissage - à partir d'une base de données de cas réels ou simulés - comme mode de renseignement des tables de probabilités.

Les deux dernières versions intègrent plusieurs critères d'évaluation. En plus de l'évaluation de la performance énergétique, elles permettent d'évaluer le surcoût éventuel d'une construction par rapport à un bâtiment courant, le confort d'été et le confort d'hiver. Pour ce faire ces outils font appel aux Réseaux Bayésien Orienté Objet (RBOO). Ce type de réseau est composé d'un ensemble de classes reliées entre elles. Dans le cas de la troisième version (voir Figure 2) de l'outil, chaque classe correspond à un sous réseau Bayésien qui permet d'évaluer un des critères

d'évaluation (voir Figure 3, 4 et 5). Cet outil, tout comme le deuxième utilise l'apprentissage pour renseigner ses tables de probabilités conditionnelles. La quatrième version quant à elle, est composée de classes imbriquées qui gèrent plus facilement les niveaux de détails.

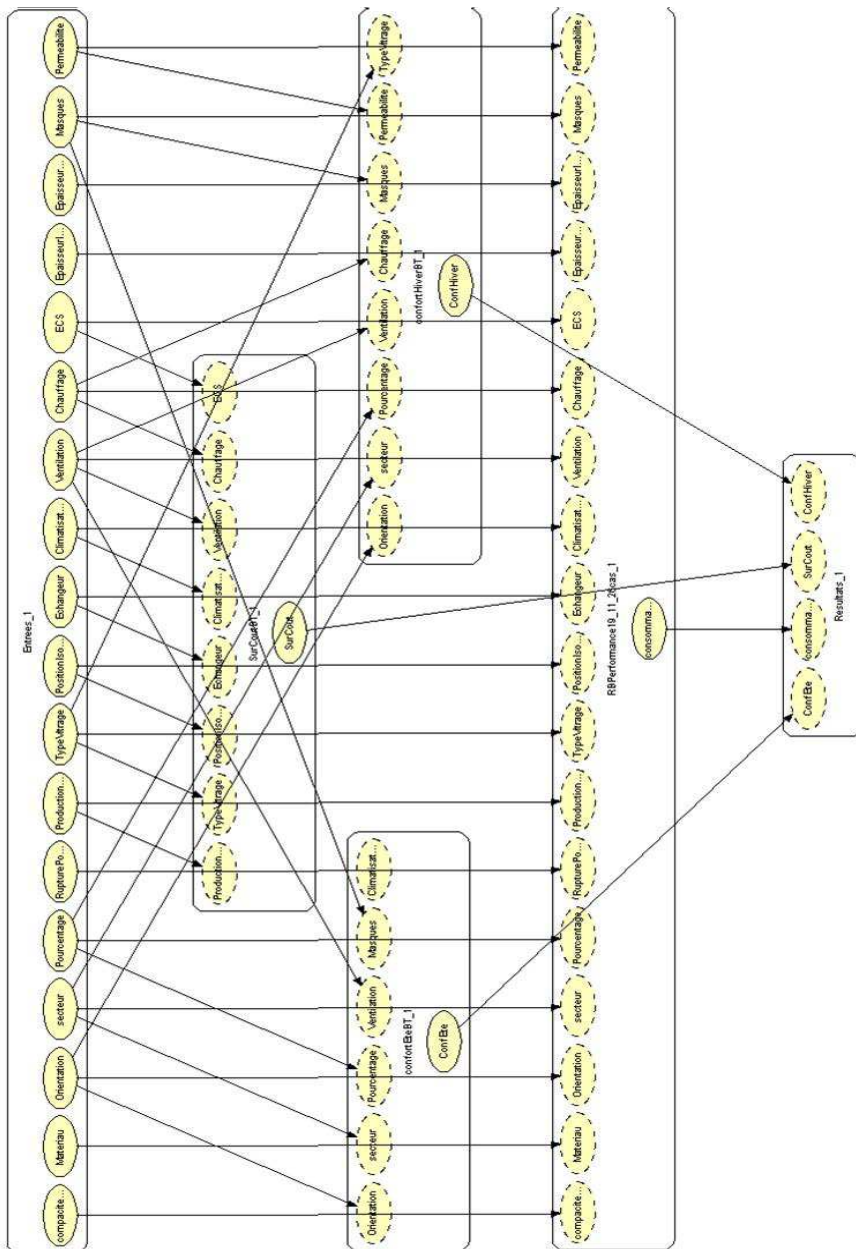


Figure 2: Présentation de la troisième version de l'outil dynamique

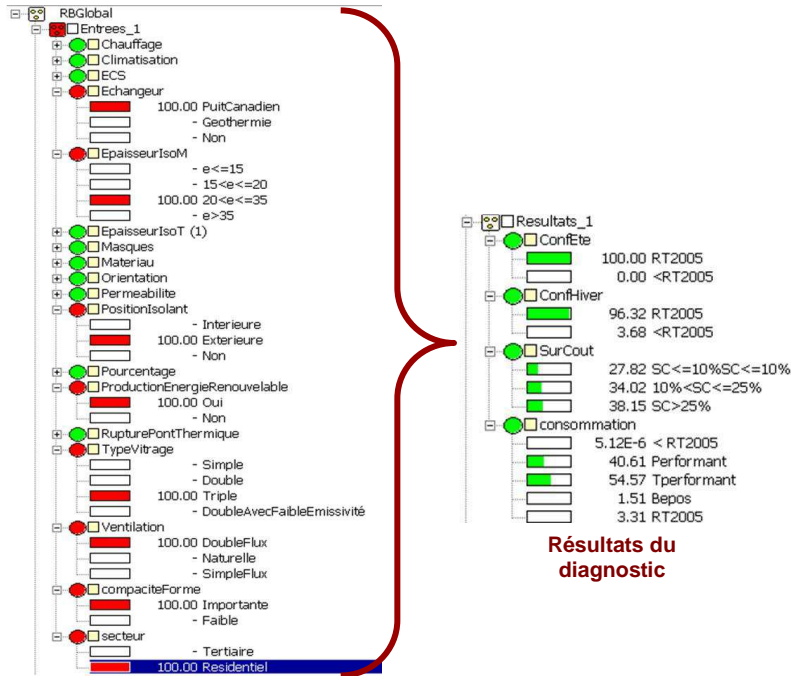


Figure 3: Résultat du diagnostic d'un bâtiment réalisé avec la version 3

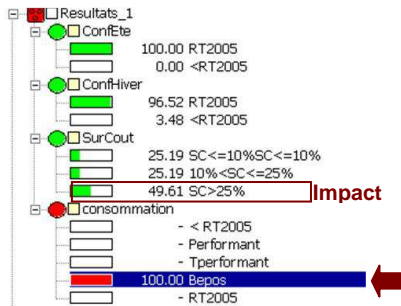


Figure 4: Impact du choix de la performance énergétique sur le surcoût de réalisation

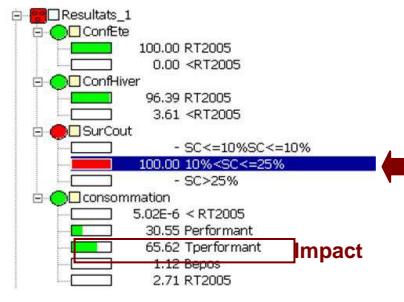


Figure 5: Impact du choix lié au surcoût de réalisation sur la consommation d'énergie

L'outil d'investigation que nous proposons de développer est un outil multi critères. Il permettra d'évaluer la performance énergétique en fonction des choix architecturaux fait mais également de la population visée, de ces habitudes, de son comportement potentiel, du niveau de confort qui lui correspond, etc. La section suivante présente la méthode que nous allons adopter pour développer l'outil d'investigation.

4.2. Description de la méthode adoptée pour le développement de l'outil d'investigation

Les deux objectifs principaux sont : 1) de minimiser les écarts entre les consommations d'énergie théoriques et réelles, 2) de garantir un confort adaptatif. Nous visons à prévenir et réduire les dérives qui peuvent survenir lors de la prise en main du bâtiment par les usagers. Pour cela, il nous faut, soit, minimiser les comportements qui peuvent avoir un impact sur la performance énergétique par une conception adaptée ; soit, minimiser leur impact dans le cas où nous ne pouvons pas les évincer en proposant des solutions adaptables, et/ou proposer d'autres alternatives compensatoires tels que l'optimisation du choix des équipements.

Nous allons donc étudier les deux systèmes à l'origine de cet écart : le bâtiment (conception, mise en œuvre et gestion) et l'utilisateur (la connaissance de ses besoins réels, de ces habitudes et de son comportement), afin de proposer des solutions qui permettent aux usagers d'atteindre leur confort en aillant la liberté d'agir sur leur environnement sans pour autant réduire la performance énergétique du bâtiment. Nous proposons de développer un outil d'investigation qui nous aidera à atteindre ces objectifs en 2 étapes: 1) identifier les comportements dont la probabilité qu'ils se produisent est avérée suite à des choix architecturaux et évaluer leur impact sur la performance énergétique. 2) proposer des solutions architecturales qui viendront minimiser ces comportements et/ ou leur impact sur la consommation.

4.2.1. Identification des comportements et évaluation de leur impact énergétique

L'évaluation des comportements possibles des usagers se fera en deux temps. Il faudra tout d'abord identifier les situations d'inconfort les plus courantes ainsi que les comportements potentiels suivant les particularités du projet (scénarios, programme, zone géographique, ...) et les habitudes des usagers sous certaines conditions. La connaissance des comportements les plus probables et leur impact sur la performance, nous aidera à estimer les probabilités d'écarts de consommation entre : 1) ce qui est évalué en intégrant l'utilisateur - calculer sur la base de ce premier modèle - 2) ce qui est souhaité (objectif programmé, choix de conception) - calculer par un second modèle-. Pour atteindre ce premier objectif, nous allons devoir :

- Identifier les variables qui rentrent en jeu dans la définition des scénarios d'occupation (les causes de comportements singuliers et leurs effets) et leurs effets sur la consommation, l'échelonnement de ces effets sur la qualité du confort thermique (le fait qu'ils soient immédiats, non immédiats, ou qu'il n'y en ait pas) (Batier, 2015)
- Définir le modèle graphique en définissant les relations de causes à effets entre les variables identifiées précédemment.
- Pondérer ces effets en fonctions de plusieurs critères liés au type de comportement. Dans le cas de l'ouverture de la fenêtre par exemple, nous devons tenir compte de: sa fréquence, son taux d'ouverture (totale ou partielle), le temps de son ouverture (10min, 1h, toute la journée etc.), le moment dans la journée (matin, soir), etc.

Nous allons donc devoir utiliser les RB Dynamiques pour modéliser ce séquençement dans le temps. Ce travail devra se faire en tenant compte des variations qu'il y a entre les différents secteurs du bâtiment (tertiaire et habitat). Cette différence vient en partie du fait que les deux utilisateurs ne sont pas confrontés aux résultats de leur comportement sur la consommation de la même manière (la facture d'électricité faisant la différence dans un grand nombre de cas).

4.2.2. Propositions architecturales (Recommandations)

La deuxième étape permettra de proposer des actions à réaliser. Ces actions pourraient être échelonnées dans le temps (en intégrant la dimension d'adaptation par accoutumance et par acclimatation). Pour ce faire nous utiliserons à la fois les diagrammes d'influence pour la proposition des actions à réaliser et les RBD pour gérer l'échelonnement dans le temps. Ces actions devraient se faire en deux temps. Il y aura d'une part, les recommandations à réaliser lors de la conception ou réhabilitation des bâtiments, afin d'assurer le confort et la performance énergétique. Elles devraient être adaptées aux programmes et aux scénarios d'utilisations potentielles. D'autre part, des améliorations qui se feraient par la suite, dans le cadre d'un échelonnement, qui se traduiraient par des solutions plus rigoureuses et contraignantes. Cela se base sur l'hypothèse qu'avec de l'information, de l'acclimatation, de l'accoutumance ainsi qu'une liberté d'action suivie d'une responsabilisation des usagers, ils deviendraient plus tolérants face à ces nouvelles solutions.

Ce travail nécessite une pluridisciplinarité. Il va donc falloir nous associer à des experts de différents champs (équipes de sociologues, d'ingénieurs, de psychologues, de biologistes etc.) pour construire les différents graphes et alimenter les tables de probabilités. Etudier différentes recherches, études et enquêtes réalisées sur des opérations de bâtiments performants et investies par les usagers pour en extraire les informations indispensables à l'avancement de ce travail.

Enfin, nous souhaitons souligner que le poste de confort n'est pas toujours celui qui influence le plus la consommation. En effet, pour réduire cette consommation, nous allons également nous intéresser aux autres postes de consommation tel que les équipements ménager ou bureautique.

5. Conclusion

Dans l'ère de la transition énergétique, et au vu des retours d'expériences liés à l'occupation et à la consommation réelle des bâtiments performant énergétiquement réalisées à ce jour, nous nous rendons bien compte que nos objectifs sont aujourd'hui compromis. En effet, les consommations énergétiques mesurées dans la plus part de ces bâtiments dépassent de beaucoup les consommations escomptées. Nous avons tenté d'illustrer dans la première partie de cet article la complexité liée à la conception de bâtiments énergétiquement performants. Nous nous rendons bien compte, aujourd'hui, qu'il est loin de se limiter à une complexité technique, qui s'est

avérée insuffisante après l'occupation de ces bâtiments par leurs destinataires. En effet, ces solutions techniques se basent sur des calculs qui sont destinés à un usager type pour lequel il a été prédéfini un scénario d'occupation type etc. qui est loin de refléter la variété d'usages et d'usagers que va connaître le bâtiment tout au long de son exploitation. Au vue de tous ce que nous avons présenté dans cette première partie, nous pensons que la réduction de l'écart de consommation (réel/théorique) ne pourrait être qu'un modèle probabiliste conditionnelle, qui permet d'évaluer la probabilité qu'un/ou plusieurs comportements se produisent dans une configuration particulière et puis estimer (en fonction de cela) la probabilité qu'ils aient des répercussions sur la consommation d'énergie prévu (à la suite d'un choix rigoureux de solutions techniques). Nous proposons à la suite de cela, de développer un outil d'investigation basé sur les Réseaux Bayésiens qui permettrait d'une part de décrire pour un projet particulier les scénarios d'occupations possibles, les comportements qu'ils pourraient induire, relever ceux qui ont le plus d'impact pour en évaluer le poids sur les performances énergétiques. L'objectif étant de se rapprocher le plus possible de la consommation théorique, en proposant des actions d'amélioration de la conception du bâtiment, échelonnées et qui soient moins contraignantes et plus adaptées et/ou adaptable au confort des usagers.

Bibliographie non numérotée et références

- Annex 53 (2008-2013). EBC Annex 53 Total Energy Use in Buildings: Analysis & Evaluation Methods. Projet de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE)
- Batier C. (2015). De la simulation thermique dynamique à la simulation comportementale de l'occupant. *Rencontres Universitaires de Génie Civil*, May 2015, Bayonne, France.
- Brisepierre G. (2013) - a. Analyse sociologique de la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels et tertiaires. *Rapport d'étude pour ADEME, Décembre 2013*, 51 pages.
- Brisepierre G. (2013) - b. Pratique de consommation d'énergie dans les bâtiments performants: consommation théorique et consommations réelles – La cité de l'environnement : first positive energy building. Report. Number 1
- Bonte M., Thellier F., Lartigue B., (2014). Impact of occupant's actions on energy building performance and thermal sensation. *Energy and Buildings* 76, 219-227.
- Brager GS., (2004). Operable Windows, Personal Control, and Occupant Comfort. *ASHRAE Transactions*, 4695 (RP-1161).
- Cantin R., Moujalled B., Guarracino G., (2005). Complexité du confort thermique dans les bâtiments. Congrès Européen de Science des Systèmes, Paris 19-22 septembre
- Carassus J., Laumonier C., Sesolis B., (2013). Vivre dans un logement basse consommation d'énergie. Une approche socio-éco-technique. Rapport d'étude générale pour Tribu Energie.
- De Dear R., Brager G., Cooper D., (1997). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers et Macquarie Research*. . RP-884

- Hannachi-Belkadi NK. 2008. *Développement d'une méthodologie d'assistance au commissionnement des bâtiments à faible consommation d'énergie*. These, L'Université Paris Est. Spécialité, Ecole doctorale Ville et Environnement
- Humphreys MA., Nicol JF., (2000). Outdoor temperature and indoor thermal comfort: Raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field studies/Discussion. *ASHRAE transactions*, 206(2), 485-492
- Janda K B., (2011). Buildings Don't Use Energy : People Do. *Architectural Science Review*, Volume 54, Issue 1
- Moujalled B., (2007). Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés. *Thèse soutenue à L'Institut des Sciences Appliquées de Lyon*
- Naïm P., Willemin P-H., Leray P., Pourret O., Becker A.,(2004). *Réseaux bayésiens*. Edition EYROLLES, second Edition.
- Nicol J.F., Humphrey MA., (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, vol.34, n°6, p563-572
- Vorger E., (2015). *Etude de l'influence du comportement des habitants sur la performance énergétique du bâtiment*. Thèse, Paris Tech.