

CONSTITUTION D'UN BANC D'ESSAI D'UNE VINGTAINE DE BÂTIMENTS COMMERCIAUX POUR CONFRONTER LA SIMULATION AVEC DES DONNÉES MESURÉES

Simon Sansregret, Jocelyn Millette
Institut de recherche d'Hydro-Québec, Laboratoire des technologies de l'énergie,
Shawinigan, Québec, Canada

RÉSUMÉ

Afin d'étudier le comportement d'outils de simulation de bâtiments et de mieux comprendre les problématiques liées à la simulation, un banc d'essai constitué d'une vingtaine de bâtiments réels, appelés bâtiments métriques, est présentement en cours de réalisation.

Ces bâtiments métriques sont analysés à partir d'un relevé exhaustif du bâtiment, instrumentés et simulés avec le logiciel SIMEB développé par Hydro-Québec. La campagne d'analyse, débutée depuis environ un an, a permis l'analyse de six bâtiments, et ce, à différents niveaux. L'article décrit les objectifs de ce projet, la méthodologie utilisée et présente les premiers constats obtenus.

INTRODUCTION

Hydro-Québec a développé un outil de simulation énergétique, appelé SIMEB [1], pour favoriser la pratique de la simulation énergétique de bâtiments commerciaux.

Pour mieux comprendre, tester et étudier le comportement de l'outil et orienter son développement, un banc d'essai constitué d'une vingtaine de bâtiments réels est présentement en cours de réalisation. Ces bâtiments réels, appelés bâtiments métriques, représentent des bâtiments commerciaux réels répondant à un certain nombre de critères, telles la disponibilité des informations du bâtiment et une bonne collaboration avec les opérateurs du bâtiment.

Ces bâtiments métriques sont analysés à partir d'un relevé exhaustif, des plans disponibles et des historiques de consommation incluant la consommation totale électrique aux 15 minutes. Le sous-mesurage de certains usages et/ou équipements est réalisé en fonction de la spécificité de l'édifice. Des simulations du bâtiment avec le logiciel SIMEB, utilisant à la fois les moteurs de calcul DOE2.1E et EnergyPlus, sont

réalisées. Également, une calibration de la simulation est effectuée avec l'historique de consommation.

La campagne d'analyse, en cours depuis environ un an, vise plusieurs objectifs. Le projet permet d'étudier le comportement d'outils de simulation par rapport à des bâtiments réels, de comparer différents moteurs de calcul, de voir les limitations de la simulation et d'orienter le développement de nouveaux outils et ou d'approches. Également, ce banc d'essai permet d'acquérir une connaissance accrue dans le sous-mesurage et l'acquisition de données en lien avec la simulation et permet de dégager une façon de faire qui pourrait être reprise sur une base beaucoup plus large.

Le besoin de confronter les outils de simulation avec des données réelles est nécessaire, le manque de données mesurées est un problème répandu dans la communauté de la simulation de bâtiments. La simulation des bâtiments est utilisée principalement dans un cadre d'évaluation de la performance énergétique de design de nouveaux bâtiments prescrite par un programme ou pour satisfaire les exigences minimales d'un code ou d'un organisme réglementaire. Peu de suivi est réalisé après la mise en service du bâtiment pour vérifier la performance du bâtiment à l'aide d'une simulation calibrée. Également, la simulation est peu utilisée pour évaluer l'impact de certains choix lors de la conception ou de la planification d'une mise à niveau. Le banc d'essai vise une comparaison entre la simulation et l'opération réelle de bâtiments afin de favoriser éventuellement l'utilisation et le développement d'outils de simulation mieux adaptés.

Différentes publications scientifiques analysent la performance énergétique de groupes de bâtiments à l'aide de la simulation et du sous-mesurage. Différentes leçons sont tirées de ces expériences. Par exemple Torcellini et al. [2] ont analysé six bâtiments performants et ont tiré certains constats : l'instrumentation du bâtiment doit préférablement être indépendant du système de gestion de contrôle afin d'augmenter la fiabilité et la souplesse des mesures. Également, les auteurs mentionnent qu'il est souvent

difficile de simuler des systèmes évolués que l'on retrouve habituellement dans les bâtiments à haute efficacité. Ramirez et al. [3] ont conduit un important projet nécessitant des simulations calibrées d'un parc de bâtiments existants. Les leçons tirées mentionnent que les systèmes CVCA opèrent rarement selon ce qui a été conçu ou selon ce qui est perçu. De plus, l'acquisition de données sur une courte période peut être vraiment utile pour déterminer l'horaire de certaines charges à inclure dans la simulation.

Le présent article décrit la nature de ce banc d'essai visant à améliorer et développer l'outil de simulation SIMEB. La méthodologie utilisée pour l'acquisition des données et une description générale des premiers bâtiments analysés sont présentés. Finalement une liste des constats préliminaires est dressée.

MISE EN SITUATION

Ce projet s'inscrit dans le développement d'une plateforme d'outils de simulation énergétique chez Hydro-Québec tel que décrit par Millette [4]. Hydro-Québec possède d'importants objectifs en matière d'efficacité énergétique et le développement d'outils de simulation énergétique dans le domaine du bâtiment a été ciblé comme un élément important dans l'atteinte de cet objectif. Le développement d'un logiciel, appelé SIMEB, vise une transformation de marché par une utilisation à plus grande échelle de la simulation énergétique des bâtiments. Le SIMEB, qui est distribué gratuitement, permet de simuler rapidement un bâtiment à partir d'une interface simplifiée utilisant le moteur de calcul DOE2.1E ainsi qu'EnergyPlus (en version Bêta). Ce logiciel possède également un module intégré permettant de calibrer la simulation avec un historique mensuel de consommation [5], un module de classification des profils quotidiens de consommation [6] et un module permettant de générer des modèles de bâtiments représentatifs du parc immobilier québécois avec très peu d'information [7].

La constitution d'une banque de bâtiments réels pour lesquels des données mesurées sont obtenues a été jugée importante afin de pouvoir confronter et valider les différents outils du SIMEB. Ce banc d'essai a des objectifs très larges, car il permet d'acquérir de la connaissance sur la performance des bâtiments et voir éventuellement de nouvelles approches améliorant l'efficacité énergétique des bâtiments. Voici quelques objectifs et pistes de réflexion suscités par ce projet :

- Tester les différentes applications du SIMEB sur des bâtiments réels.
- Comprendre le comportement et identifier les limitations de la simulation.

- Comparer les différents moteurs de calcul (DOE2.1E et EnergyPlus) en lien avec l'opération réelle de bâtiment.
- Apprécier la simulation des appels de puissance électrique mensuels.
- Valider les ordres de grandeur des paramètres de simulation proposés par défaut.
- Orienter les efforts de développement du logiciel en ce qui concerne les nouvelles technologies à implanter, la convivialité et les fonctionnalités.
- Acquérir une connaissance accrue dans le sous-mesurage et l'acquisition de données en lien avec la simulation et dégager une façon de faire qui pourrait être reprise sur une base beaucoup plus large. La méthodologie et les équipements développés pourraient constituer une boîte à outils pour la mise en place d'audits énergétiques ou de projets d'évaluation de mesures d'efficacité énergétique servant à améliorer l'impact des logiciels de simulation.
- Générer un ensemble de données mesurées sur des bâtiments réels pouvant être partagé avec la communauté.
- Valoriser les données de consommation aux 15 minutes mesurées par les compteurs communicants d'Hydro-Québec. Plus de 17 000 bâtiments alimentés par Hydro-Québec possèdent des compteurs communicants et environ trois ans de données de consommation électrique aux 15 minutes sont disponibles pour ces bâtiments. L'utilisation de ces données pour chacun des bâtiments métriques analysés est d'une grande richesse, car elle correspond à la réponse de la simulation sur une base horaire.

MÉTHODOLOGIE

Une analyse d'un bâtiment comprend généralement les étapes suivantes :

- Sélection d'un bâtiment
- Collecte d'information
- Simulation énergétique du bâtiment incluant sa calibration
- Sous-mesurage de certains usages/équipements
- Production d'un rapport et suivi de la consommation

Cette méthodologie s'adapte à chacun des bâtiments en fonction des particularités du bâtiment, des informations disponibles et de la collaboration avec les opérateurs et gestionnaires du bâtiment.

Sélection d'un bâtiment

La sélection d'un bâtiment est une étape importante. Différents critères ont été établis afin de minimiser le travail requis et maximiser les retombés possibles :

- Bâtiment du secteur commercial et institutionnel, avec une diversification souhaitée des vocations (immeubles à bureaux, institutions d'enseignement, etc.)
- Bâtiment tout électrique ou bâtiment dont les consommations réelles de combustible (gaz ou huile) sont disponibles et mesurées mensuellement.
- Consommation électrique mesurée aux 15 minutes par un compteur communicant d'Hydro-Québec, avec au moins 1 an d'historique.
- Privilégier de petits bâtiments (<10 000 m²) et des bâtiments avec peu de systèmes mécaniques afin de diminuer l'effort requis par bâtiment
- Accessibilité à des plans (architecture, mécanique, électrique, contrôle), études et listes d'équipements afin de faciliter le relevé détaillé.
- Permettre le sous-mesurage de certaines charges et équipements et une disposition des circuits électriques permettant de mesurer les charges par usage.

Pour sélectionner ces bâtiments, différents intervenants ont été contactés tels des gestionnaires d'immeubles (villes, commissions scolaires, banques), des commerçants, des responsables d'organisme reliés à l'efficacité énergétique et des consultants en ingénierie. L'approche retenue consiste en une collaboration avec les différents intervenants qui nous offrent les informations demandées et l'accès à leur bâtiment en échange d'une étude comparative de la consommation d'énergie de leur bâtiment avec une simulation. Une bonne collaboration est essentielle au succès de l'approche.

Collecte d'informations

Les informations demandées sur le bâtiment sont diverses. Elles incluent les éléments suivants, lorsque disponible : plans (aménagement, électrique, mécanique, contrôle), relevés de consommation mensuels d'énergies, consommation électrique aux 15 minutes du compteur communicant, données provenant du système de contrôle DDC en place, rapports de balancement, liste d'équipements, etc.

Une visite des lieux est par la suite réalisée afin de relever sur place les différentes charges (tels l'éclairage et les charges aux prises) et de discuter de l'opération du bâtiment avec les opérateurs afin d'établir les horaires, l'utilisation des espaces, le contrôle de l'éclairage intérieur, etc. La visite des lieux est effectuée avec un technicien en instrumentation et

contrôle afin de voir les particularités des installations électriques et cibler les différentes charges qui pourraient être instrumentées.

Avant la visite, l'outil de classification des profils quotidiens à partir des données mesurées aux 15 minutes du compteur communicant intégré au SIMEB est utilisé afin de faire ressortir les particularités de l'opération du bâtiment (horaires, sauts brusques de consommation, comportements anormaux, etc). Les résultats de l'analyse sont discutés avec l'opérateur du bâtiment lors de la visite.

Simulation énergétique et la calibration

Suite à la collecte d'information, la simulation énergétique du bâtiment est réalisée à l'aide du logiciel SIMEB en utilisant le moteur de calcul DOE2.1E. Pour certains bâtiments de plus petite taille, une simulation avec le moteur de calcul EnergyPlus est également effectuée. La calibration de la simulation est réalisée par le module de calibration assistée intégré au SIMEB, en utilisant les données météorologiques réelles de la période analysée.

Sous-mesurage de certains usages/équipements

Un plan de mesurage est établi à partir des informations recueillies lors de la visite et des résultats des premières simulations. Les usages avec une plus grande incertitude sont ciblés en priorité et la faisabilité technique de la mesure est évaluée au cas par cas. Généralement, lorsque les ventilateurs du système de ventilation sont à débit constant, une lecture de la puissance instantanée est réalisée lors de la visite.

Pour les premiers bâtiments analysés, des mesures ont été enregistrées sur des dispositifs d'acquisition de données autonomes permettant le stockage d'environ 8 mois de données mesurées aux 15 minutes. Les prochains bâtiments analysés seront dotés d'un système d'acquisition de données avec accès Internet lorsque la situation s'y prêtera.

Production d'un rapport et suivi de la consommation

Pour chaque bâtiment, un rapport décrivant l'édifice et son opération est produit. Ce rapport présente également les résultats de la simulation et de la calibration. La simulation et le rapport sont mis à jour lorsque les données mesurées sont récupérées et analysées.

PROJETS EN COURS

À ce jour, six analyses de bâtiments sont terminées ou en cours de réalisation. Les bâtiments sélectionnés offrent une certaine diversification au niveau de l'utilisation de l'espace, mais également au niveau des

systèmes mécaniques rencontrés et de l'automatisation de l'opération des bâtiments. Le tableau 1 dresse les caractéristiques de ces bâtiments analysés suivant la méthodologie décrite ci-haut.

Tableau 1 : Caractéristiques des bâtiments analysés

Vocation	Superficie (m ²)	Année de construc.	Consommation (kWh/m ² -an)
École primaire	1 636	1979	122
École primaire	2 695	1964	176
Édifice à bureaux	5 623	1988	227
Palais de justice	1 965	1979	301
Succursale bancaire	502	1978	410
Commerce de détail	1 785	2000	312

À titre d'exemple, les résultats de l'analyse associée à l'édifice à bureaux sont présentés plus en détail.

L'édifice en question construit en 1988 est situé dans la région de Québec. Cet édifice de 5 623 m² est réparti sur quatre étages où on retrouve principalement des aires de bureaux. Les heures d'occupation principales du bâtiment sont de 8 h à 17 h, du lundi au vendredi. Les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment ont été estimées en raison du manque d'information disponible. Les fenêtres sont de type double thermos teinté et occupent 35 % de la superficie des murs extérieurs.

La ventilation et la climatisation sont assurées principalement par deux unités de toits identiques à volume constant d'une capacité de 189 kW (54 tonnes) de climatisation incluant des serpentins de chauffage de 85 kW. Les unités sont munies d'économiseurs avec des sondes CO₂ et on retrouve des systèmes d'humidification électriques à vapeur. La distribution de l'air est réalisée par des boîtes de dérivation qui rejettent l'air dans l'entreplafond. Des plinthes électriques assurent le chauffage de l'espace dans les zones en périphérie du bâtiment.

Des modifications au bâtiment ont été apportées dans les dernières années, incluant l'ajout d'une unité de ventilation d'une capacité de 32 kW (9 tonnes) de climatisation, un remplacement des luminaires T12 à T8 et la mise en place d'un système d'un contrôle numérique DDC pour la régulation des systèmes CVAC et de l'éclairage. Une attention particulière est apportée à l'opération du bâtiment qui est suivie par un employé attitré au système de contrôle.

L'analyse des différents plans obtenus et la visite du bâtiment ont conduit à une première simulation. Un plan de mesurage a été élaboré par la suite. Les puissances instantanées des ventilateurs des trois unités

de toit à débit constant (alimentation et retour) ont été mesurées. Des acquiseurs ont été installés sur les deux chauffe-eau électriques de 454 litres et sur les cinq humidificateurs électriques présents permettant de suivre leurs consommations aux 15 minutes pendant une période de 8 mois.

La première simulation a nécessité plusieurs hypothèses. Le nombre exact de luminaire n'a pu être relevé avec précision. Des valeurs de densité d'éclairage de 11.3 W/m² dans les espaces à bureau et de 4.3 W/m² dans les corridors ont été utilisées. Les charges aux prises dans les bureaux ont été estimées à 7.5 W/m² à partir du relevé des équipements du département d'informatique et d'une estimation de la consommation par équipement. La quantité d'air neuf admise par les unités de ventilation a été évaluée à 8% du débit total de ventilation. Cette valeur, difficile à estimer, a été convenu après discussion avec les opérateurs du bâtiment. Il est à noter que la quantité d'air neuf admise est contrôlée par une sonde de CO₂, qui est simulée dans SIMEB en modulant la quantité d'air neuf totale admise par l'horaire d'occupation des espaces. Les forces motrices des 3 unités de ventilation à débit constant ont été saisies dans l'outil à partir de la mesure de la puissance instantanée des ventilateurs d'alimentation et de retour. L'ensemble des forces motrices de ventilation mesuré à 60 kW est supposé stable en période d'opération, soit de 6h00 à 22h00 les jours de semaine.

Suite à l'obtention des résultats de la première simulation, une calibration avec l'historique mensuel de consommation électrique pour l'année 2008 a permis d'évaluer la valeur de certains paramètres incertains lors de la collecte d'information. Il est à noter que la calibration de la simulation a été réalisée en utilisant les données météorologiques réelles de l'année 2008 pour une station météorologique de la région de Québec. De légères modifications ont été proposées par l'outil de calibration par rapport aux valeurs initiales : résistances effectives des murs (< 1 %) et du toit (< 1 %), les charges aux prises (-6 %), la quantité d'air neuf (+ 9,3 %) et la densité d'éclairage (+ 5,9 %).

Les résultats de la simulation calibrée pour l'année 2008 ont été comparés par la suite avec les consommations électriques mesurées aux 15 minutes à l'aide de l'outil de classification des profils quotidiens. Par cet exercice, les horaires associés à certaines charges ont été modifiés dans la simulation, après validation avec l'opérateur pour mieux correspondre avec le profil réel.

Les figures 1 et 2 montrent le profil mesuré (Réal), le profil simulé avant calibration (Simulé [avant]) et le profil simulé après calibration (Simulé [après]) pour une semaine d'hiver et une semaine d'été. Comme on peut le constater, le profil simulé après calibration suit très bien la tendance du profil réel. La calibration et l'ajustement de la simulation a permis une très légère amélioration par rapport au profil réel, surtout pour la période estivale. Sur une base annuelle, la consommation simulée après calibration pour 2008 surestime la consommation réelle de 5 %. Les consommations simulées mensuelles sont généralement à l'intérieur de 5 % de la consommation réelle, sauf pour les mois de septembre à novembre où des écarts entre 12 % et 17 % sont rencontrés.

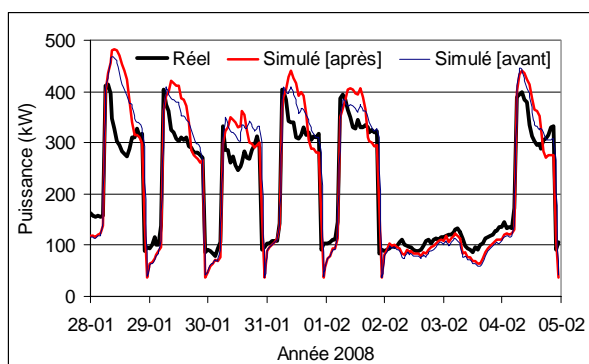


Figure 1 : Profils réel et simulés : semaine d'hiver

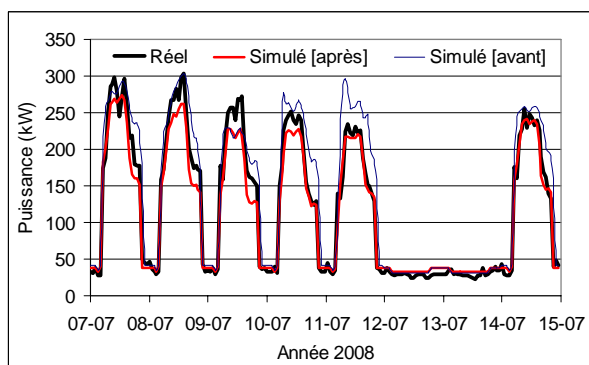


Figure 2 : Profils réel et simulés : semaine d'été

Les résultats obtenus pour ce bâtiment métrique montrent très peu de différence entre le profil réel et le profil simulé, et ce, même si peu d'éléments ont été modifiés à la suite de la première simulation et que plusieurs hypothèses ont été utilisées, faute d'information (charges associées aux ascenseurs, à l'eau chaude sanitaire et la composition de l'enveloppe thermique). Également, certaines stratégies de contrôle n'ont pu être simulées comme la stratégie de délestage ou la mise hors fonction de l'abaissement de

température en période d'inoccupation si la température extérieure est inférieure à -15 °C.

Bien qu'il s'agisse d'un bâtiment d'une superficie de plus de 5 000 m², le relevé du bâtiment et la compréhension de son opération ont été faciles à définir. La simulation a été concluante en raison, entre autres, de la simplicité des systèmes de ventilation en place et du suivi rigoureux effectué par les opérateurs. L'étude des données mesurées sur l'eau chaude et l'humidification viendront éventuellement compléter l'analyse lorsqu'elles seront récupérées.

CONSTATS PRÉLIMINAIRES

L'analyse des six premiers bâtiments permet d'établir quelques constats préliminaires. Tout d'abord, d'un point de vue de la constitution du banc d'essai, la sélection de bâtiments requiert un effort important. Les éléments suivants sont les plus problématiques :

- La collaboration avec les opérateurs et les gestionnaires du bâtiment est essentielle à l'analyse, laquelle requiert une collecte d'informations et de nombreux échanges avec le personnel.
- Le sous-mesurage par usage est difficile, voir souvent impossible, en raison des connexions électriques non regroupées. Le sous-mesurage doit être adapté au cas par cas en fonction du bâtiment et il est souvent complexe de cerner les usages spécifiques tels l'éclairage et/ou les charges aux prises.

D'un point de vue de la simulation, deux principaux constats ressortent après l'analyse de ces bâtiments :

- Généralement, les consommations mensuelles simulées et réelles concordent relativement bien après une première calibration. Cependant, les profils quotidiens simulés et réels diffèrent passablement. La simulation a tendance à surestimer la consommation en période d'occupation et de la sous-estimer en période d'inoccupation. Une attention particulière doit être apportée aux horaires et aux charges présentes la nuit. En ce sens, l'utilisation de la consommation totale électrique aux 15 minutes s'avère d'une grande utilité pour améliorer et peaufiner la simulation. La simulation doit prendre avantage de l'utilisation de plus en plus répandue de compteurs intelligents.
- L'outil actuel avec le moteur de calcul DOE2.1E possède des limitations importantes par rapport à la simulation de certains types de système CVAC et à la définition des stratégies de contrôle et d'opération. Des artifices de contournement doivent à l'occasion être réalisés pour approcher la réalité et des stratégies de contrôle devenues courantes par

l'utilisation des systèmes de commande centralisée ne peuvent pas être simulées (par exemple délestage, hors-pointe).

CONCLUSION

La constitution d'une banque de bâtiments réels pour confronter la simulation permet d'étudier le comportement d'outils de simulation, de voir leurs limitations et de cibler les éléments importants afin d'orienter le développement de nouveaux outils offerts à la communauté. Les outils de simulation sont appelés à jouer un rôle de plus en plus importants en raison des efforts significatifs requis à l'échelle mondiale pour réduire la consommation d'énergie.

La poursuite du projet vise à analyser d'autres bâtiments avec différentes particularités quant à l'utilisation de l'espace, l'automatisation de l'opération, et les systèmes mécaniques en place, tout en intensifiant le sous-mesurage et l'utilisation d'EnergyPlus comme moteur de calcul.

REMERCIEMENTS

Les auteurs désirent remercier les différents collaborateurs qui se sont impliqués dans le projet, plus spécifiquement la Ville de Québec, la Commission scolaire de l'Énergie, la Commission scolaire de Laval, le détaillant Bureau en gros, la Banque Nationale et la Société Immobilière du Québec – Mauricie, centre du Québec.

RÉFÉRENCES

- [1] Logiciel SIMEB, Institut de Recherche d'Hydro-Québec, www.simeb.ca
- [2] Torcellini, P.A.; et. al. (2004); *Lessons learned from field evaluation of six high-performance buildings*, ACEEE Summer study on energy efficiency in buildings, Pacific Grove, California, August 22-27, 2004.
- [3] Ramirez, R; et. al. (2005); *A building simulation palooza : the California CEUS project and DrCEUS*, Ninth international IBPSA Conference, Montréal, Canada, August 15-18, 2005.
- [4] Millette, J.; et. al. (2008); *Activités de recherche en modélisation énergétique des bâtiments chez Hydro-Québec*, ESIM 2008 : 5^e Conférence bisannuelle d'IBPSA-Canada, Québec, 18-22 mai 2008.
- [5] Lavigne, K.; Millette, J. (2008); *Calibration assistée dans la modélisation énergétique des bâtiments*, ESIM 2008 : 5^e Conférence

bisannuelle d'IBPSA-Canada, Québec, 18-22 mai 2008.

- [6] Fournier, M.; Lavigne, K. (2010); *Daily load profile clustering: a tool for simulation validation and tuning (article en révision)*, ESIM 2010 : 6^e Conférence bisannuelle d'IBPSA-Canada, Winnipeg, 19-22 mai 2010.
- [7] Sansregret S.; Millette, J. (2009); *Development of a functionality generating simulations of commercial and institutional buildings having representative characteristics of real estate stock in Québec (Canada)*, BS2009 : 11^e Conférence bisannuelle de l'IBPSA, Glasgow, 27-30 juillet 2009.