**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse
**Herausgeber:** Electrosuisse
**Band:** 103 (2012)
**Heft:** 8

**Artikel:** Nouveau concept de régulation intelligente
**Autor:** Hutter, Andreas / Onillon, Emmanuel / Malik, Sohail
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-857328

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 16.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Nouveau concept de régulation intelligente

## Jusqu'à 30 % d'économie d'énergie de chauffage

L'énergie de chauffage des bâtiments représente plus de 36 % de la consommation énergétique suisse. Souvent d'origine fossile, elle est responsable d'une part importante des émissions de $CO_2$ du pays. Il est donc capital de réduire la consommation énergétique dans ce secteur et pour y contribuer, Neurobat, un régulateur de chauffage novateur, a été développé. Grâce à une approche adaptative et prédictive continue, il permet d'effectuer des économies nettement supérieures à celles des régulateurs actuels.

**Andreas Hutter, Emmanuel Onillon, Sohail Malik, Jens Krauss**

Selon l'analyse de la consommation d'énergie publiée par l'OFEN [1], l'énergie utilisée pour chauffer le parc immobilier en Suisse était de 300 PJ[1)] en 2010, ce qui correspond à 36,5 % de la consommation d'énergie totale du pays. L'énergie nécessaire pour la génération de l'eau chaude sanitaire en représentant encore 5,9 % et celle consacrée à la climatisation, la ventilation et les techniques d'installation dans le bâtiment 2,6 %, la part de la consommation énergétique liée aux bâtiments revient à presque la moitié de l'énergie totale utilisée en Suisse. Or environ 66 % des bâtiments suisses utilisent du gaz ou du mazout comme énergie primaire pour le chauffage. La production de chaleur est donc également responsable d'une grande partie des émissions de $CO_2$ du pays.

Toutes les techniques qui visent à améliorer l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage ont dès lors un grand impact sur la réduction de la consommation d'énergie, surtout si elles sont appliquées à grande échelle. Comme le parc immobilier ne se renouvelle que lentement, avec actuellement un taux d'environ 1 % par année[2)], il est important que ces techniques soient également applicables aux bâtiments existants et que les produits associés soient attractifs d'un point de vue économique.

Le système de chauffage Neurobat, conçu par l'EPFL [3-4], développé et mis au point par le Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA (CSEM) à Neuchâtel et commercialisé dès 2012 par la société Neurobat AG [5], répond à ces critères. Les bases techniques, le principe de fonctionnement, ainsi que les résultats

CSEM

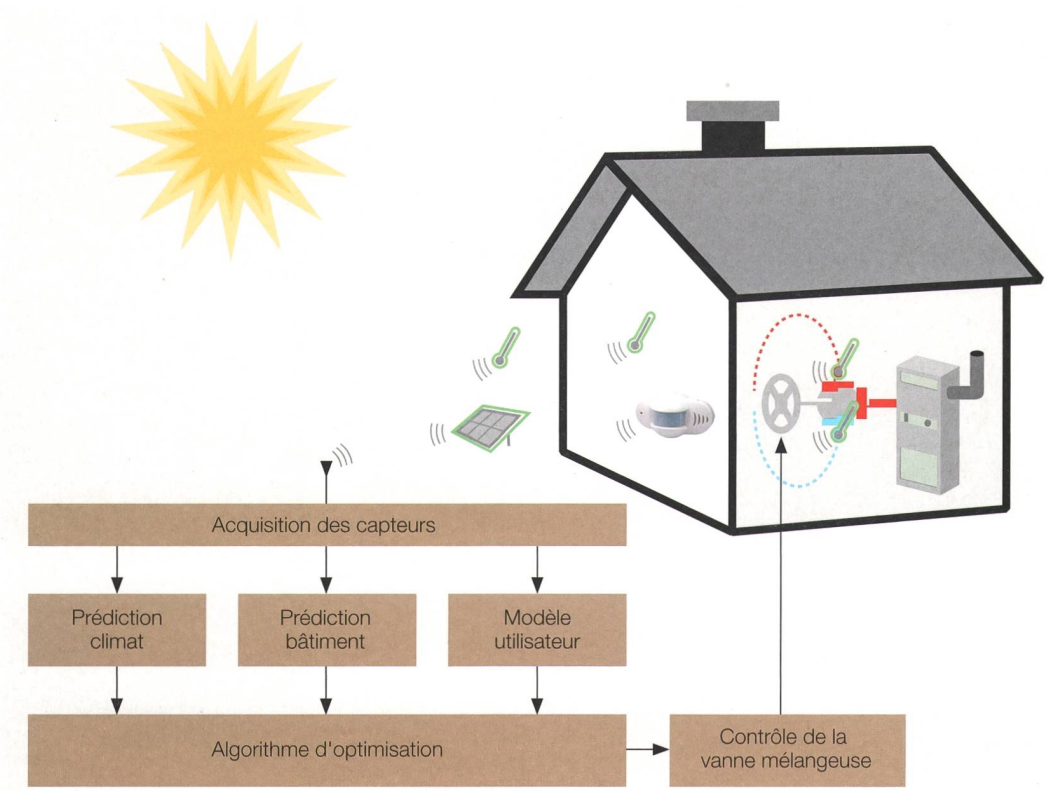



**Figure 1** Schéma bloc du régulateur Neurobat.

CSEM / Neurobat

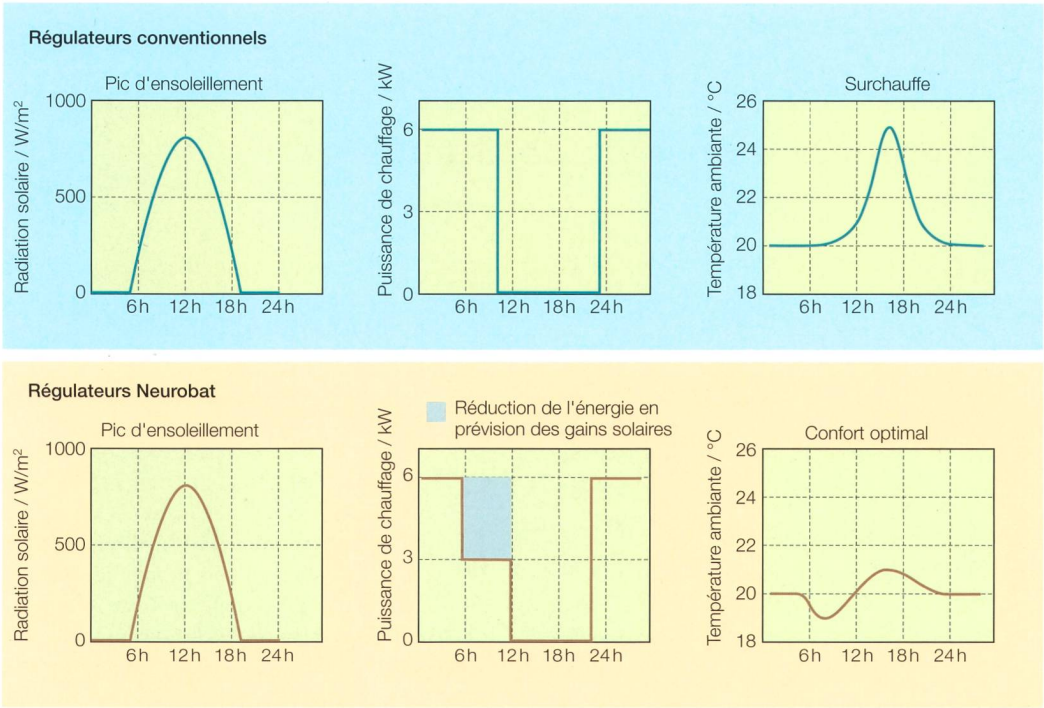



**Figure 2** La prédiction permet une économie d'énergie tout en améliorant le confort.

de validation de ce système sont détaillés dans cet article.

## Les principes de régulation des dispositifs actuels

Un régulateur de chauffage conventionnel pilote la température du circuit de chauffe soit en boucle ouverte, c'est-à-dire sur la base de la température extérieure dans le sens d'un régulateur central, soit en boucle fermée sur la base de la température intérieure du bâtiment ou d'une pièce dans le sens d'un régulateur thermostatique. Actuellement, plus de 95 % des régulateurs de chauffage sont basés sur le concept des courbes de chauffe, c'est-à-dire des relations prédéfinies entre la température extérieure mesurée et la température souhaitée du fluide caloporteur. La courbe peut éventuellement être adaptée en fonction de la température intérieure. Si la popularité de cette approche de régulation tient à sa simplicité, elle n'est pas pour autant idéale en ce qui concerne l'utilisation des ressources énergétiques [3-4].

Des régulateurs de chauffage avancés mesurent quant à eux les températures extérieure et intérieure, et sélectionnent une courbe de chauffe parmi une série de courbes prédéfinies en fonction des températures mesurées et parfois aussi de la radiation solaire [6]. Mêmes si les algorithmes utilisés dans ces régulateurs disposent déjà des fonctions qui optimisent le cycle d'allumage et de la mise à l'arrêt du circuit de chauffe, ces régulateurs ne fonctionnent pas encore de façon optimale car ils utilisent des modèles thermiques stationnaires et donc incomplets. En outre, ils exigent un entretien coûteux et leurs procédures de démarrage sont complexes.

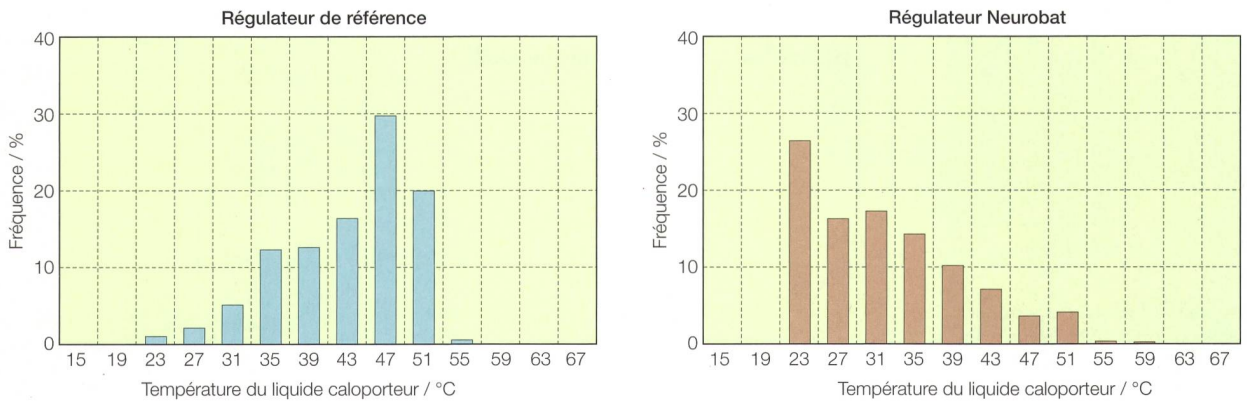
## Un nouveau concept de régulation

Le régulateur Neurobat, développé à l'origine dans le cadre d'un mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) puis avec le soutien de la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI), est un régulateur innovant, d'installation et de maintenance aisée, qui optimise l'utilisation de l'énergie de chauffage. Il intègre une prédiction des effets météorologiques et climatiques sur le bâtiment et s'adapte de manière dynamique aux conditions associées. La base de ce concept de régulation est une description mathématique représentative du système physique, c'est-à-dire du comportement thermique du bâtiment.

Une régulation optimale est basée sur une fonction des coûts qui est minimalisée selon les critères recherchés, en intégrant sur un intervalle de temps pour tenir compte des processus dynamiques [7]. La fonction des coûts utilisée pour le régulateur Neurobat pondère, d'une part, les coûts énergétiques dans le but de minimaliser la consommation d'énergie et, d'autre part, les coûts dits du confort qui sont liés à la recherche d'une varia-

Neurobat

**Figure 3** Le régulateur Neurobat NIQ destiné aux rénovations.




CSEM / Neurobat

**Figure 4** Distribution de la température du liquide caloporteur au départ du circuit de chauffe du site du CSEM.

tion minimale de la température intérieure. L'utilisation de ces deux termes de coûts permet de minimaliser la consommation d'énergie primaire tout en garantissant un confort thermique agréable pour l'utilisateur.

### Anticipation du comportement thermique du bâtiment

Afin de garantir une gestion optimale de l'énergie primaire, la production d'énergie due à la radiation solaire – qui sera référencée comme chaleur gratuite par la suite – doit également être prise en compte. Pour ceci, le comportement thermique du bâtiment doit être considéré comme un système climatique passif, dans le sens où la chaleur gratuite est utilisée dans le système de régulation de la température intérieure afin de réduire la production de chaleur pour le circuit de chauffe.

Même si la chaleur gratuite ne suffit certes pas toujours à maintenir la température ambiante souhaitée par l'utilisateur, sa prise en compte dans la régulation peut être utilisée favorablement pour une gestion optimale du confort. Les dépassements de consigne sont ainsi minimalisés. Cela exige toutefois un système de régulation en mesure de prévoir le comportement thermique futur du bâtiment. Ce système doit, sur la base des prévisions de la température ambiante et du climat, pouvoir anticiper les paramètres de contrôle [8].

## Les détails techniques

Le régulateur Neurobat intègre sa propre prédiction du climat (température extérieure et ensoleillement) fondée sur les mesures déjà réalisées et optimise la température du fluide caloporteur de manière dynamique en fonction des conditions prédites. La base de ce concept de régulation est un modèle adaptatif du bâtiment qui permet de prédire son évolution en fonction des futures excitations (températures extérieures, ensoleillement, température du fluide caloporteur). Ce modèle permet, à travers une optimisation, de calculer la courbe de chauffe qui minimalise l'énergie tout en garantissant le confort.

### Principe de fonctionnement

Les éléments du régulateur Neurobat sont illustrés dans la figure 1. Comme pour les régulateurs avancés, les entrées suivantes sont disponibles : température extérieure, température intérieure, présence des personnes mesurée via un capteur de présence, radiation solaire ainsi que les températures de départ et de retour du circuit de chauffe [3,8].

Le régulateur dispose de plusieurs modèles de prédiction :

- Le modèle climatique, qui se base sur les valeurs actuelles de température extérieure et d'ensoleillement, calcule la prédiction météorologique sur un horizon de temps donné.
- Le modèle du bâtiment estime le comportement et le besoin thermique futur du bâtiment sur la base des prédictions climatiques, de la température ambiante et des paramètres de chauffage actuels.
- Le modèle utilisateur, enfin, apprend le comportement des utilisateurs du bâtiment via les données fournies par le capteur de présence.

Ces différentes entrées permettent au module d'optimisation de déterminer, via l'évaluation continue de la fonction de coûts, la valeur optimale de la température du fluide caloporteur à fournir au système de chauffage. Cette valeur sert à commander la vanne mélangeuse. A noter que cette approche est compatible avec une large variété de systèmes de chauffage.

### Avantages supplémentaires des modèles de prédiction

La prédiction du climat permet de réduire la surchauffe. Ainsi, lorsqu'un gain d'énergie solaire élevé est prédit, le système réduira la température du fluide caloporteur au départ du circuit de chauffe dans le but d'anticiper l'apport d'énergie externe futur vis-à-vis de l'inertie thermique du bâtiment. Ceci conduit à une économie d'énergie tout en maintenant, voire en augmentant, le niveau de confort (figure 2).

La prédiction du gain d'énergie solaire, et son suivi via l'adaptation en continu, est également un facteur important permettant de tenir compte des variations saisonnières, telles que l'influence de l'ombre des bâtiments ou des arbres au cours de l'année. Enfin, la détection de la présence des personnes dans le bâtiment contribue également à réduire les besoins de chauffage.

### Apprentissage et adaptation en continu

Au cœur de la technologie Neurobat se trouve l'approche brevetée [9] reposant sur un modèle adaptatif du bâtiment qui ne nécessite que peu, voire aucune information sur les processus et mécanismes sous-jacents du système de chauffage du bâtiment. L'algorithme est programmé afin de prédire l'évolution thermique du bâtiment sous diverses entrées et trouver le scénario de chauffage optimal pour maintenir le confort à moindre coût. L'apprentissage des coefficients des modèles se fait en comparant en permanence les valeurs prédites avec les valeurs

CSEM / Neurobat

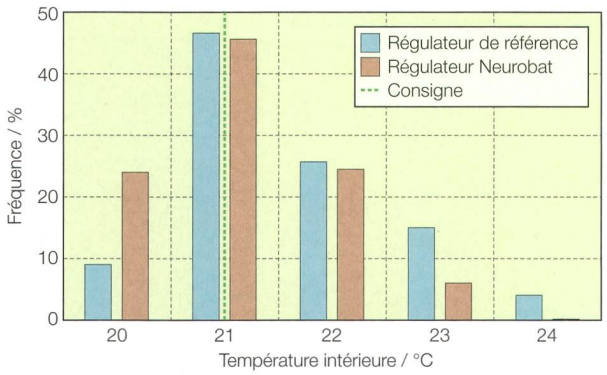



**Figure 5** Distribution de la température intérieure du site du CSEM.

mesurées sur la base d'un algorithme du gradient (algorithme d'optimisation conçu pour minimaliser une fonction différentiable). Ainsi, le système s'adapte automatiquement à des changements, par exemple une amélioration de l'isolation du bâtiment, un nouveau système de chauffage ou encore un changement de comportement des personnes vivant dans le bâtiment. Au début de l'installation, cette approche permet également une adaptation rapide aux conditions de base et il faut compter environ deux à trois semaines pour que le système puisse optimiser la gestion énergétique du bâtiment de manière idéale.

### Installation et maintenance

Les produits Neurobat sont conçus de manière à pouvoir s'intégrer facilement à l'infrastructure et l'équipement de chauffage déjà existants. De plus, lors de la mise en service, ils ne requièrent que l'introduction de la consigne de température intérieure souhaitée alors que les régulateurs conventionnels nécessitent quelques dizaines de paramètres liés à la configuration des courbes de chauffe.

Surtout adapté à des maisons individuelles neuves, le premier produit commercialisé est destiné au marché OEM (Original Equipment Manufacturer) et est équivalent à un régulateur avancé en ce qui concerne l'installation. Les entrées pour Neurobat sont mises à disposition via un bus de communication par le régulateur OEM qui, à son tour, reçoit les consignes de contrôle calculées par Neurobat via ce même bus. Le contrôle de la vanne mélangeuse et les autres éléments de la chaîne sont fournis par le régulateur OEM.

Le deuxième produit, disponible en Suisse dès fin 2012, s'adresse au marché de rénovation, notamment pour tous les bâtiments ayant un régulateur de chauffage conventionnel (figure 3). Dans ce cas, le régulateur Neurobat est installé avec les capteurs manquants, comme le capteur d'ensoleillement, et branché à l'infrastructure existante. Au lieu de fournir la consigne pour le contrôle de la vanne mélangeuse, Neurobat va transmettre une température extérieure corrigée au régulateur en place qui sera adaptée de telle sorte que ce dernier fournisse la température du fluide caloporteur souhaitée. La procédure d'installation, qui est également facilitée par le fait que le système supporte des capteurs sans fils, est simple et peu coûteuse. Le retour d'investissement qui dépend principalement des paramètres du bâtiment à équiper est généralement atteint au terme d'une période comprise entre un et trois ans.

Si ces deux premiers produits s'adressent plutôt aux maisons individuelles, un troisième produit, destiné aux bâtiments industriels, publics et aux grands immeubles en général, est actuellement en cours de développement. Ce système va s'interfacer avec des systèmes de mesure et gestion déjà existants et le calcul de l'optimisation énergétique se fera sur des serveurs centralisés. Son arrivée sur le marché est envisagée pour fin 2013.

## Les performances

Le système Neurobat est en opération depuis 2010 dans divers sites pilotes en Suisse afin de valider ses performances, que ce soit au niveau du matériel ou des outils d'analyse. Deux de ces sites ont été suivis de manière plus approfondie ces dernières années: le siège social du CSEM à Neuchâtel et l'un des bâtiments de l'Observatoire de Neuchâtel (la Villa).

Un régulateur avancé, le modèle Econesta ECR 450 d'Elesta, a servi de référence pour ces deux sites. La comparaison entre le régulateur de référence et Neurobat a été réalisée de manière consécutive avec des intervalles de deux semaines et il a pu être confirmé que cette approche a permis une équivalance statistique des données climatiques durant toute la période de chauffage. Ces tests ont permis d'une part d'établir que le régulateur Neurobat a tendance à envoyer de l'eau à une température plus basse que le régulateur de référence dans le circuit de chauffe (figure 4). D'autre part, il arrive mieux à maintenir la température intérieure requise et à éviter la surchauffe (figure 5).

Pour le site de la Villa, une économie d'énergie d'environ 20 % par rapport au régulateur de référence a été constatée durant ces dernières années, tandis qu'au bâtiment principal du CSEM, un gain de 30 % a pu être observé. Dans les deux cas, les économies sont réalisées principalement grâce à la réduction de la température du circuit de chauffe durant la nuit et à la prévision des gains solaires apportant de la chaleur gratuite. Bien que ces valeurs soient forcément liées au type et à la configuration des bâtiments testés, elles donnent néanmoins une fourchette des gains qui sont à attendre en fonction des paramètres du bâtiment.

**Zusammenfassung** **Neues Konzept intelligenter Regulierung**

**Bis zu 30% Heizkosteneinsparung**

Die zum Heizen von Gebäuden benötigte Energie entspricht 36 % des schweizerischen Energieverbrauchs. Die oft fossile Energie ist für einen entscheidenden Anteil des $CO_2$-Ausstosses des Landes verantwortlich. Somit ist es von grösster Bedeutung, den Energieverbrauch in diesem Sektor zu verringern, wozu ein innovativer Heizungsregler entwickelt wurde.

Dank einer fortwährenden adaptiven und voraussagenden Methode ermöglicht das System Neurobat weitaus grössere Einsparungen als mit herkömmlichen Reglern – bei gleichzeitiger Steigerung des Komforts für den Benutzer. Seine einfache Installation in Neubauten wie auch im Rahmen von Renovierungsarbeiten sowie sein unkomplizierter Unterhalt sind weitere Vorteile. Der Artikel präsentiert die technischen Grundlagen, die Funktionsweise sowie die Validierungsergebnisse dieses Systems. Die komplette deutsche Version dieses Beitrags wird im Bulletin SEV 10s/2012, dem Sonderheft der Informationstechnischen Gesellschaft, erscheinen. CHe

## Conclusions

L'introduction sur le marché d'un régulateur de chauffage adaptatif et prédictif représente un changement majeur pour la technologie de contrôle du chauffage. Le régulateur Neurobat, qui emploie des méthodes adaptatives, prédictives et d'optimisation, permet une augmentation significative de l'efficacité énergétique tout en améliorant le confort des utilisateurs. Sa facilité d'installation, tant pour les nouvelles maisons que lors de rénovations, ainsi que son entretien extraordinairement simple et peu coûteux, s'ajoutent aux avantages mentionnés ci-dessus. Ce régulateur est en mesure d'améliorer l'efficacité énergétique du parc immobilier suisse, et ce, de manière significative.

## Références

[1] A. Kircher, A. Kemmler, P. Hofer, M. Keller, M. Jakob, G. Catenazzi: Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2009 nach Verwendungszwecken. BFE, Dez. 2010.

[2] Office fédéral de la statistique: Bâtiment et logement – chiffres-clés. www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/09/02/blank/key/gebaeude/art_und_groesse.html.

[3] M. Bauer: Gestion biomimétique de l'énergie dans le bâtiment. PhD Thesis n° 1792, EPFL, Lausanne, 1998.

[4] A.M. Nygard Fergusson: Predictive Thermal Control of Building Systems. PhD Thesis n° 876, EPFL, Lausanne, 1990.

[5] Neurobat AG. www.neurobat.net.

[6] Sauter AG: Heating Control QRK 201. Technical Manual, Basel, 1996.

[7] D.P. Bertsekas: Dynamic Programming and Stochastic Control. Academic Press, New York, USA, 1976.

[8] N. Morel, M. Bauer, J. Krauss, M. El-Khoury: Neurobat, a predictive and adaptive heating control system using artificial neural networks. International Journal of Solar Energy – Special Edition on Intelligent Buildings, Vol. 21, pp. 161-201, 2001.

[9] J. Krauss, M. Bauer: Building heating control system. EPO Patent EP 0980034, 13.08.1998.

## Informations sur les auteurs

Dr **Andreas Hutter** est ingénieur en électronique. Il a obtenu son diplôme d'ingénieur en 1997 ainsi que son doctorat en 2001 à la Technische Universität München (TUM). Il gère les activités liées au domaine CleanTech au CSEM.

**CSEM, 2002 Neuchâtel, andreas.hutter@csem.ch.**

Dr **Emmanuel Onillon** est ingénieur en régulation. Il a obtenu son diplôme d'ingénieur à l'Ecole Supérieure d'Electricité (Paris) en 1991 ainsi que son doctorat à l'Université Paris Sud en 1994. Il est impliqué dans plusieurs développements touchant à l'environnement au CSEM.

**CSEM, 2002 Neuchâtel, emmanuel.onillon@csem.ch.**

**Sohail Malik**, Dipl. M., MCIM, est également titulaire d'un diplôme postgrade en marketing de l'University of the West England (UWE), UK. Au bénéfice d'une vaste expérience dans la gestion d'entreprise, il est fondateur et CEO de Neurobat AG.

**Neurobat AG, 5200 Brugg, sohail.malik@neurobat.net.**

**Jens Krauss** est directeur de la Division Système du CSEM avec 68 ingénieurs et scientifiques actifs dans le transfert de technologie dans les domaines biomédical, instrumentation scientifique et CleanTech. Il est ingénieur EPFZ avec une spécialisation dans le domaine du contrôle et a été impliqué dans la conception et le développement du régulateur Neurobat dès son lancement en 1996 à l'EPFL.

**CSEM, 2002 Neuchâtel, jens.krauss@csem.ch.**

1) 1 PJ = 1 pétajoule = $10^{15}$ J ≈ 278 GWh.

2) En Suisse, 85 143 bâtiments ont été construits entre 2006 et 2010, ce qui représente 5,2 % du parc immobilier d'environ 1,64 million de bâtiments en 2010 [2].

Anzeige

**Woher kommt elektrische Energie? Was ist chemische Energie? Wie sieht der Strom der Zukunft aus?**
Auf der neu überarbeiteten Webseite **poweron.ch** des Verbands Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen finden Lehrpersonen fixfertige Unterrichtsplanungen (E-Dossiers) für jede Schulstufe.

Die E-Dossiers wurden von Lehrpersonen für Lehrpersonen erstellt und beinhalten folgende Materialien:
- Leitfaden (Unterrichtsplanung) für Lehrpersonen
- Logbuch (Lernjournal) für Lernende
- Medien (Bilder, Videos, Onlinespiele, Links)
- Weitere Arbeitsmaterialien (Arbeitsblätter als pdf oder doc)