

**Zeitschrift:** Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES

**Band:** 101 (2010)

**Heft:** (10)

**Artikel:** Innover par convergence d'excellences

**Autor:** Chételat, Olivier / Fürer, Andreas / Giannakis, Alexandros

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-856140>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 22.11.2024

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

# Innover par convergence d'excellences

## Développement d'un système pour le monitoring des signaux physiologiques

Pour aboutir à un produit commercial de qualité et innovant, le développement d'un système multisignal très intégré de monitoring physiologique nécessite un grand nombre de compétences et de métiers parfaitement maîtrisés et coordonnés. Cet article présente la transformation d'un système initialement développé pour l'agence spatiale européenne en un produit commercial utilisé par les sportifs soucieux de gérer leur entraînement et d'améliorer leurs performances.

**Olivier Chételat, Andreas Fürer, Alexandros Giannakis**

L'Agence spatiale européenne (ESA) poursuit un programme de recherche et de développement de technologies visant à préparer de futures missions habitées, telles qu'un voyage vers Mars. Ces missions nécessiteront une surveillance attentive de la santé des spationautes, et cela 24 h/24.

L'ESA souhaite connaître davantage la physiologie de l'homme dans ce type d'environnement. Un endroit idéal serait bien sûr la station spatiale internationale (ISS) qui orbite autour de la Terre, mais il existe d'autres alternatives, moins chères, comme par exemple la station franco-italienne Concordia capable d'héberger une quinzaine de personnes. L'endroit, très proche du pôle Sud, est parfait pour ce genre d'étude, car il est coupé du monde et fortement soumis aux rayonnements cosmiques résultant d'un champ magnétique terrestre spécifique et d'un large trou dans la couche d'ozone.

### Le projet LTMS

L'ESA avait donc besoin d'un système portable de surveillance des principaux signaux physiologiques qui soit aussi « transparent que possible » pour l'utilisateur, de façon à ne pas le gêner dans ses activités ou pendant son sommeil. Le système devait fonctionner en continu, enregistrer les données, les traiter, permettre au médecin de la station de les visualiser, et les archiver pour référence ultérieure. L'appel d'offres pour ce projet appelé LTMS (Long-Term Monitoring Survey) a été gagné par le CSEM (Centre Suisse d'Electronique et de Microtechni-

que) et ses partenaires AdNovum, Sense et le CHUV (Centre Hospitalier Universitaire Vaudois). Le projet vient de se terminer et le système développé a été validé par le CHUV au Jungfrauoch (en raison de l'altitude, similaire à celle de la station Concordia). L'ESA prévoit d'utiliser trois systèmes pendant au moins trois ans à Concordia.

### L'union fait la force

L'union des compétences fait la force de la technologie. Le consortium de ce projet en réunit un large éventail passant par la physiologie, la métrologie, l'ergonomie, l'électronique, l'informatique embarquée, le traitement de signal et l'informatique (eHealth). La maîtrise coordonnée de toutes ces compétences et la solidité du consortium sont les clés du succès de ce type de projet « système ».

Depuis plus de 10 ans, la division « Systems » du CSEM à Neuchâtel s'est progressivement construit une réputation au niveau international dans la mesure ambulatoire des signaux physiologiques. La faible sensibilité aux mouvements perturbateurs, la miniaturisation poussée, l'intégration de plusieurs signaux et leur traitement de signal multidimensionnel, ainsi que l'ergonomie et le positionnement des capteurs sur le corps mettant en avant le confort et la discrétion, caractérisent la ligne suivie par le CSEM. La collaboration entre le CSEM



**Figure 1** Le système LTMS permet de mesurer simultanément un grand nombre de signaux physiologiques (la figure représente le système complet avec toutes les options).

et le CHUV, notamment avec l'équipe des professeurs Scherrer et Sartori, est ancienne et a permis au fil des années une compréhension partagée des différents métiers, et ainsi une communication efficace.

L'aspect logiciel, quant à lui, est couvert par AdNovum. Cette entreprise zurichoise développe et intègre des applications métiers et des logiciels de sécurité depuis plus de 20 ans. Cette entreprise symbolise l'excellence dans le domaine de l'ingénierie logicielle – de l'analyse, la spécification et l'implémentation, à l'installation et l'entretien de logiciels.

**Autres marchés**

En ajoutant les compétences commerciales de Sense, une entreprise basée à Zurich et fondée en 2008 par deux compagnies mères, d'un côté le CSEM, et de l'autre SUI (Sports Units of Innovation), une société de marketing sportif basée également à Zurich, le système développé pour les besoins de l'ESA peut être redéfini pour d'autres applications et marchés.

Les sportifs ont en effet un intérêt évident à la gestion de leur condition physique et à l'optimisation de leurs performances. Une bonne planification de leurs entraînements et périodes de récupération, basée sur la mesure de leur physiologie effective, est donc essentielle.

Un autre marché évident est le domaine médical. En plus du suivi, de la surveillance et du diagnostic, de nouvel-

les applications comme la télémédecine, la réhabilitation ou les soins à domicile, notamment pour les personnes âgées, vont prendre de plus en plus d'importance dans un futur proche. En Suisse, le suivi des personnes testant de nouveaux médicaments est aussi très important étant donné la force de l'industrie pharmaceutique de notre pays.

**Le système LTMS**

Une des spécificités du système LTMS est la mesure simultanée d'un grand nombre de signaux (figure 1), tels que par exemple l'activité cardiaque, la fréquence respiratoire, la pression partielle d'oxygène dans le sang artériel ou la température corporelle.

**Electrocardiogramme**

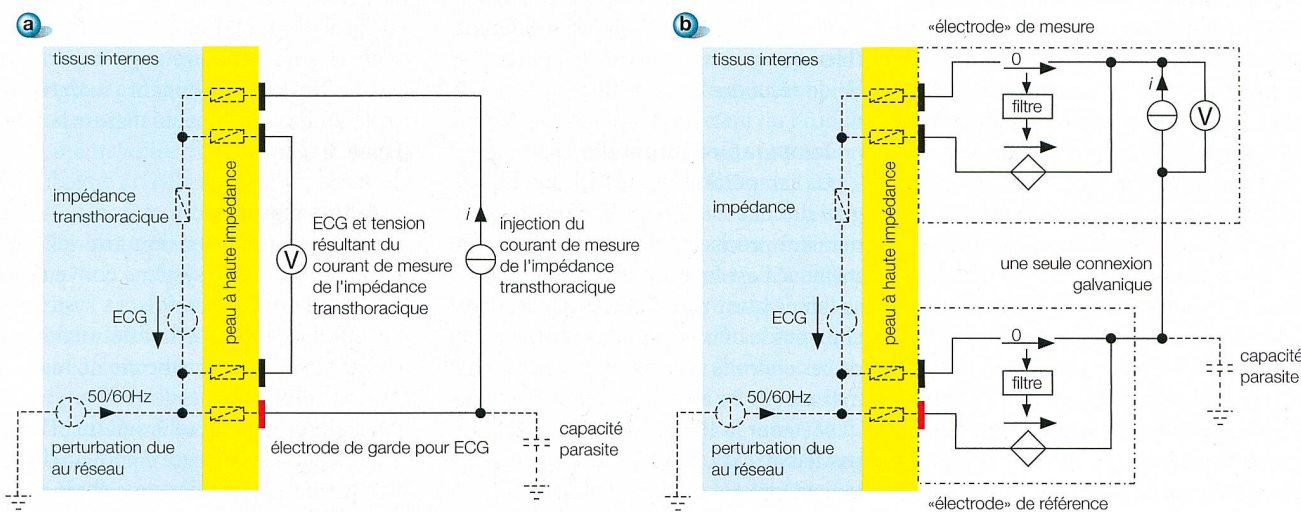
Le premier signal mesuré est l'électrocardiogramme (ECG), qui traduit l'activité électrique du cœur. Associée à la dimension temporelle, cette activité a aussi une dimension spatiale, et est souvent représentée par un vecteur (dipôle électrique) évoluant dans un espace à 3 dimensions. Toute mesure de tension entre deux points du corps correspond à une projection de ce vecteur dans une direction spatiale particulière.

Le système LTMS-3 mesure deux de ces projections, appelées « dérivations », grâce à des électrodes sèches incorporées à un T-shirt. Ainsi, les électrodes sont confortables, même pour de longues durées, et faciles à placer (il suffit

de mettre le T-shirt). La qualité des signaux en mouvement est largement suffisante pour extraire le rythme cardiaque (le pouls) et sa variabilité (utile pour l'évaluation des émotions, du stress, de la récupération sportive, etc.). Au repos, en plus de ces signaux, d'autres informations sont extraites de l'ECG, comme le segment ST (indicateur d'un manque d'oxygénation du cœur) et l'index QT (temps de contraction systolique).

La figure 2a donne une représentation simplifiée du système de mesure combinant ECG et impédance. Dans ce schéma, l'activité électrique du cœur est représentée par une source de tension (ECG) en série avec l'impédance transthoracique. Cette tension est mesurée à la surface de la peau par deux électrodes et un voltmètre (au sens large). Comme un voltmètre idéal n'a pas besoin de courant pour faire sa mesure, l'impédance transthoracique et surtout les impédances élevées entre l'électrode et les tissus sous la peau ne perturbent pas la mesure.

En pratique, ce circuit simple ne fonctionne cependant pas dans beaucoup de situations, car il est très sensible aux champs électriques ambiants résultant des lignes du réseau 50 Hz. On peut modéliser cette effet perturbateur par une source de courant faisant circuler un courant de quelques nA entre le centre du corps et la terre en passant par les électrodes, les câbles, le boîtier de l'appareil de mesure, et la capacité parasite



**Figure 2** La technologie utilisée dans Sense pour mesurer l'ECG et l'impédance transthoracique est équivalente à l'approche classique à 4 fils, mais ne nécessite qu'une seule connexion galvanique entre les « électrodes-capteurs », ce qui simplifie considérablement la connectique avec le vêtement. (a) Approche classique à 4 fils (utilisée dans LTMS). (b) Approche Sense à « fil » unique (brevet déposé).



**Figure 3** « Electrode-captur » qui, placée sur le haut du sternum, mesure simultanément une dérivation ECG, la  $S_pO_2$ , la température corporelle et l'activité/posture du sujet.

entre celui-ci et la terre. Pour que ce courant puisse sortir du corps sans perturber la mesure d'ECG, il doit passer par une troisième électrode (en rouge dans la **figure 2**), appelée électrode de garde.

### Fréquence respiratoire

La fréquence de la respiration est extraite d'une mesure d'impédance transthoracique. Les trois électrodes nécessaires à la mesure d'une dérivation ECG peuvent être partagées avec celles nécessaires à la mesure d'impédance transthoracique, car l'ECG a une bande passante en basse fréquence (typiquement de 0,05 à 40 Hz), et la mesure d'impédance peut être effectuée à plus haute fréquence (typiquement quelques dizaines de kHz). Les variations de l'impédance transthoracique qui nous intéressent pour la mesure de la respiration ne sont que de quelques  $\Omega$ , ce qui est très petit par rapport aux variations d'impédance de l'interface électrode/peau. Ces dernières, dues au mouvement par exemple, peuvent facilement atteindre des dizaines de k $\Omega$ .

La technique permettant de s'affranchir de ce problème consiste à injecter le courant de mesure par des électrodes séparées de celles qui mesurent la tension résultante. Ce courant doit rester petit (environ 10  $\mu$ A) pour des raisons de sécurité et à relativement haute fréquence (quelques dizaines de kHz). Une de ces électrodes d'injection peut être la même que l'électrode de garde de l'ECG. Si l'amplitude du courant injecté est constante, la mesure de l'impédance se transforme en une mesure de tension alternative superposée à l'ECG.

### $S_pO_2$

La pression partielle d'oxygène dans le sang artériel ( $S_pO_2$ ) est également mesurée. En milieu hospitalier, ce signal est facilement obtenu par un capteur en forme de pince placé au bout du doigt. La mesure  $S_pO_2$  est basée sur deux principes. Premièrement, la couleur du sang change en fonction de sa teneur en oxygène (le sang artériel riche en oxygène est rouge vif, alors que le sang veineux pauvre en oxygène est plus foncé et plus bleu). Deuxièmement, le sang artériel est pulsé (puisqu'en connexion directe avec le cœur). Donc, en mesurant la couleur pulsée de tissus irrigués, un capteur peut en déduire le degré d'oxygénation du sang en provenance des poumons, ce qui donne une bonne information sur la fonction pulmonaire.

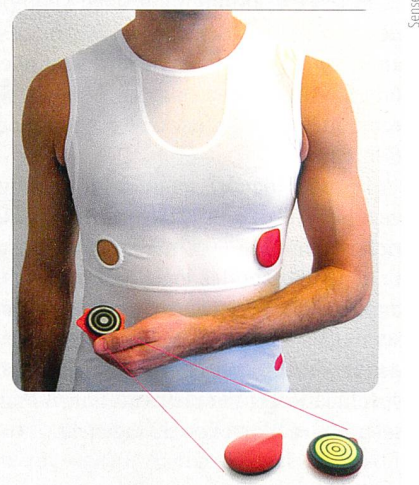
Techniquement ceci est obtenu par une LED infrarouge et une LED rouge, qui envoient alternativement leur lumière à travers les tissus, et une photodiode qui mesure la quantité de lumière transmise. Ensuite, l'amplitude pulsée est normalisée à l'amplitude constante pour chaque LED et le rapport est effectué. Celui-ci est directement lié à la pression partielle d'oxygène dans le sang artériel.

La mesure au bout du doigt est cependant inconfortable dans le contexte du projet LTMS. En conséquence, celui-ci innove en mesurant la  $S_pO_2$  au niveau du thorax grâce à une « électrode-captur » combinée à la mesure d'ECG, ceci afin d'augmenter le degré d'intégration du système. La difficulté principale de cette innovation est le mauvais rapport signal sur bruit propre à cet endroit non conventionnel. La redondance apportée par quatre mesures  $S_pO_2$  à des endroits différents (bien que proches) permet en grande partie de résoudre ce problème.

### Température corporelle

La température corporelle est un signal difficile à mesurer en continu d'une manière précise et confortable. En effet, même s'il est facile et rapide de prendre sa température dans l'oreille, dans la bouche, sous le bras ou dans le rectum, aucun de ces endroits n'est acceptable pour une mesure sur 24 h.

Mesurer la température de peau n'est pas fiable, car elle est perturbée non seulement par les variations de la température ambiante, mais aussi par les variations de perfusion (phénomène par lequel l'organisme contrôle sa température en évacuant la chaleur excédentaire à travers la peau, comme le fait un radiateur).



**Figure 4** T-shirt et capteurs de Sense (modèle pour la course à pied) mesurant chez les sportifs, pendant l'effort et en récupération, ECG, pouls, variabilité cardiaque, respiration, activité, cadence, vitesse, altitude et températures (de peau et ambiante).

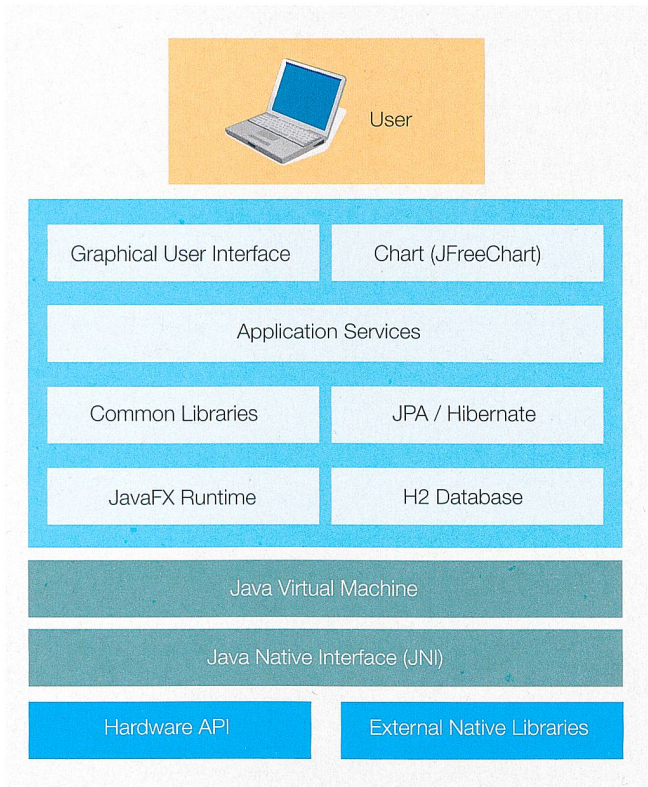
Le CSEM a donc également innové dans ce domaine, grâce à une technique de mesure qui compense les perturbations apportées par la température ambiante et par la perfusion.

Le principe est une double mesure de température de peau, l'une au centre du capteur, l'autre en périphérie. Bien que proches, ces deux températures ne sont pas identiques, car le capteur « isole » un peu plus la température centrale. La différence de température est une information importante sur la reconstruction de la température interne. En effet, cette différence n'est nulle que lorsque la température de peau est égale à la température interne. Cette mesure de température corporelle est également intégrée à « l'électrode-captur » qui mesure la  $S_pO_2$  (**figure 3**).

### Autres mesures

La pression ou tension artérielle est mesurée grâce à un système conventionnel ambulatoire. Toutefois, ce système a été interfacé avec LTMS de manière à garantir la mesure synchrone de tous les signaux.

Finalement, un accéléromètre 3D permet de mesurer le degré d'activité du sujet et même d'identifier un certain nombre d'activités, comme repos couché, repos debout, marche et course. L'accéléromètre utilisé est un composant intégré MEMS (Microelectromechanical Systems), qui comporte une petite masse sur



**Figure 5** Architecture technique du logiciel Sense d'AdNovum reposant sur JavaFX.

ressort. Dans un champ d'accélération, la masse se déplace quelque peu de son point d'équilibre. C'est cette déflexion qui est mesurée au travers d'un changement de capacité. A toute accélération dynamique s'ajoute l'accélération de la gravité. Cette dernière permet d'identifier la posture du sujet (comme par exemple, couché ou debout).

**Le produit Sense**

LTMS a été développé avec le souci de maximiser l'intégration. Dans ce but, plusieurs signaux sont mesurés à partir de la même « électrode-capteur ». Toutefois, il reste un certain nombre de câbles qui doivent être intégrés au T-shirt, rendant le système quelque peu encombrant.

**Suppression des câbles**

Les câbles conventionnels sont des fils électriques enrobés d'isolation, souvent blindés, et la connectique (qui doit permettre de laver le T-shirt indépendamment de l'électronique) devient problématique, surtout si l'on considère une utilisation pour des sportifs qui transpirent abondamment. Il faut donc limiter au maximum ce câblage, car son intégration au textile est difficile.

La mesure d'ECG et d'impédance ne peut pas être faite localement ; les électrodes doivent être placées à des endroits relativement éloignés. C'est pourquoi le CSEM a développé le concept du produit Sense, dans lequel une seule connexion galvanique (le minimum absolu théorique) relie les différentes « électrodes-capteurs » (figure 2b). Cette connexion non blindée, et dans le cas le plus abouti sans isolation, facilite énormément le câblage et la connectique puisqu'il suffit que le T-shirt et le point d'attache de « l'électrode-capteur » soient conducteurs (figure 4).

Grâce à cette technologie, l'utilisateur a l'impression que les capteurs sont « sans fil », car il peut facilement les détacher du T-shirt (par exemple lorsqu'il souhaite le laver). Le T-shirt conducteur fait ainsi office de connexion galvanique. La figure 2b en montre le principe. Comparé au schéma de la figure 2a, les deux « élec-

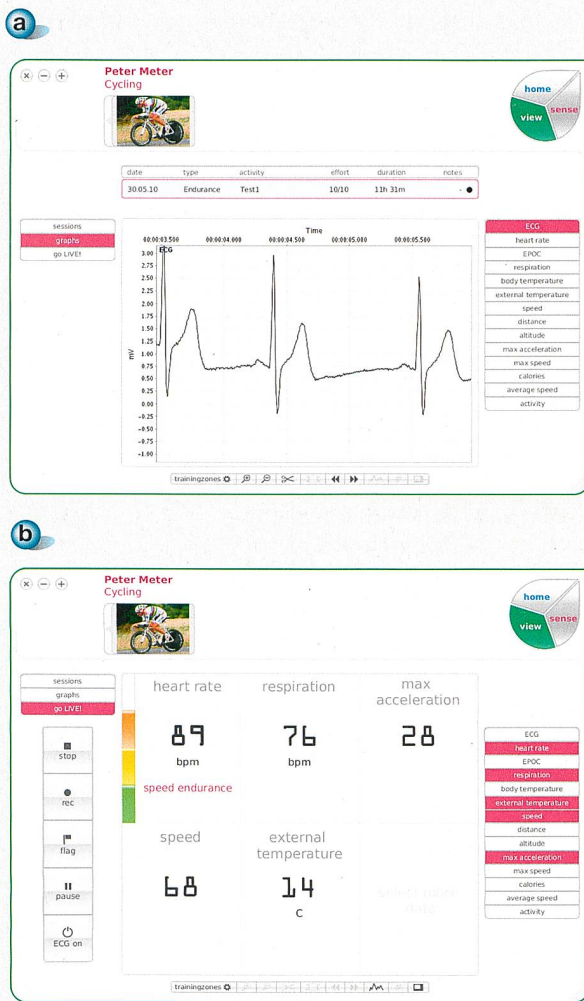
trodes-capteurs » (en réalité constituées chacune d'un groupe de deux électrodes) ne sont plus reliées entre elles par quatre fils, mais par un seul (T-shirt conducteur). Dans chaque « électrode-capteur », une source de tension contrôlée permet de diriger tout le courant sur une des deux électrodes la constituant et mesurer la tension sur l'autre.

**Le logiciel de Sense**

Le logiciel Sense d'AdNovum sert d'interface entre le matériel et l'homme (figure 5). Par le biais de streaming en temps réel les signaux mesurés sont directement transmis des capteurs à l'ordinateur et visualisés comme courbes graphiques. En plus, le logiciel permet d'archiver et d'analyser les données mesurées. Le défi consiste à présenter à l'utilisateur les données de la manière la plus simple et la plus conviviale possible.

AdNovum

AdNovum



**Figure 6** Deux exemples de « pages » typiques, telles que les présente le logiciel de Sense. (a) Affichage de signaux physiologiques comme l'ECG. (b) Visualisation en temps réel des paramètres physiologiques du sportif.

Tandis que l'interface utilisateur graphique (GUI) du système LTMS repose sur l'Eclipse Rich Client Platform (RCP) et possède par conséquent le « look 'n' feel » typique de Windows, Sense vise à offrir une interface utilisateur moderne et graphiquement agréable. Le logiciel est entièrement adapté à l'identité d'entreprise de Sense et convainc par ses détails graphiques, tels que des éléments transparents, des effets d'ombrage et des animations (figure 6). A cette fin, le langage de programmation JavaFX Script (un lan-

gage statiquement typé, non procédural et compilé en Java bytecode) est utilisé.

L'application JavaFX (autonome ou en applet dans un navigateur web) peut être utilisée sur chaque système d'exploitation (Windows, Mac OS X, Linux, OpenSolaris) offrant un Java Runtime Environment (JRE). L'intégration lisse de JavaFX et du JRE permet l'intégration des composants existants du système LTMS et des bibliothèques externes, ainsi que la connexion du pilote matériel d'origine.

En plus de composants développés sur mesure, des composants open source sont employés pour le logiciel Sense. Les courbes graphiques sont visualisées à l'aide de la bibliothèque de graphiques JFreeChart. Les données sont enregistrées par la base de données relationnelle SQL H2 qui repose sur Java.

L'interface entre le matériel et le logiciel (API) a été définie conjointement par le CSEM et AdNovum. L'application Sense y accède directement par une bibliothèque Java Native Interface (JNI) développée en C++.

### Perspectives

Dès fin 2010, Sense va lancer plusieurs projets pilotes en collaboration avec des équipes sportives et fédérations de renommée mondiale. Ces projets permettront à Sense de se faire largement connaître dans le milieu sportif. Dès le troisième trimestre 2011, le produit sera sur le marché du sport professionnel, principalement composé de sportifs de

haut niveau, d'équipes et clubs sportifs, de centres de réhabilitation et d'entraînement, ainsi que d'événements sportifs. Dès fin 2012, Sense entrera dans la grande distribution.

### Informations sur les auteurs

**Olivier Chételat** a obtenu le grade de Docteur ès sciences (robotique) de l'EPFL (Ecole polytechnique fédérale de Lausanne) en 1997. Après quelques années passées à Johns-Hopkins (USA) et à l'Université de Busan (Corée du Sud), il a rejoint le CSEM en 2001, où il a été impliqué dans plusieurs projets relatifs à la mesure des signaux physiologiques. En particulier, il a été responsable de plusieurs projets ESA (HABITAT, LTMS-1, LTMS-2, LTMS-3, LTMS-X). Depuis 2009, il est responsable de la section « Contrôle et traitement de signal ».

CSEM, 2002 Neuchâtel, [olivier.chetelat@csem.ch](mailto:olivier.chetelat@csem.ch)

**Andreas FÜRER** a obtenu de l'EPFZ son Master of Science ETH en Software Engineering en 2007. Au sein d'AdNovum, il est ingénieur en logiciel et responsable pour la réalisation de diverses solutions informatiques de pointe basées sur la technologie Java EE. Andreas FÜRER est un expert dans les domaines Eclipse Rich Client Platform (RCP) et JavaFX. Dans le cadre du présent projet, il est responsable technique pour la réalisation du logiciel de Sense.

AdNovum Informatik SA, 8005 Zurich, [info@adnovum.ch](mailto:info@adnovum.ch)

**Alexandros Giannakis** est le fondateur et CEO de la compagnie Sense. Il a fait ses études en Grèce, où il a notamment obtenu un Master en informatique de l'Université d'Athènes. Il a ensuite fait un second Master en Suisse dans le management du sport à l'EPFL. Avant de fonder Sense, il a travaillé au CSEM dans le marketing et business development. Il a ensuite travaillé dans le même domaine chez iSe AG, une compagnie de marketing sportif dissoute à ce jour. Finalement, avant de consacrer tout son temps et son énergie pour Sense, Alexandros Giannakis a travaillé chez SUI, une des deux compagnies mères de Sense, dans le business development et les nouvelles technologies.

Sense-core AG, 8008 Zurich, [agiannakis@sense-core.com](mailto:agiannakis@sense-core.com)

### Zusammenfassung

### Innovation

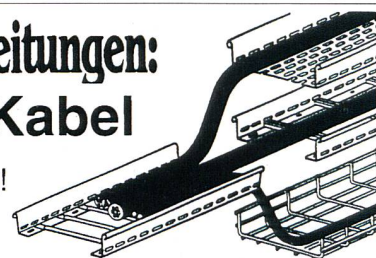
### durch das Zusammenwirken von Kompetenzen

**Entwicklung eines Systems zur Überwachung physiologischer Signale**  
Um ein qualitativ hochwertiges und innovatives Handelsprodukt anbieten zu können, erfordert die Entwicklung eines hoch integrierten Mehrsignalsystems für das physiologische Monitoring eine grosse Anzahl von Kompetenzen und Fachbereichen, die sicher beherrscht und koordiniert werden müssen. In diesem Artikel wird die Weiterentwicklung eines ursprünglich für die ESA entwickelten Systems zu einem Handelsprodukt beschrieben, das nun von Sportlern eingesetzt wird, die ihr Training steuern und ihre Leistungen gezielt verbessern möchten.

CHe

Anzeige

## Statt Gitterbahnen und Kabelpritschen und Kabelbahnen und Steigleitungen: Lanz Multibahn – eine Bahn für alle Kabel



- Lanz Multibahnen vereinfachen Planung, Ausmass und Abrechnung!
- Sie verringern den Dispositions-, Lager- und Montageaufwand!
- Sie schaffen Kundennutzen: Beste Kabelbelüftung.
- Jederzeitige Umnutzung. Kostengünstig. CE- und SN SEV 1000/3-konform.

Verlangen Sie Beratung, Offerte und preisgünstige Lieferung vom Elektro-Grossisten und



**lanz oensingen ag**  
CH-4702 Oensingen • Tel. ++41 062 388 21 21

KT 01