

MESURES PHYSIQUES

Les capteurs SAW à l'assaut du monde industriel

▼ Mise en œuvre depuis des années pour des composants électroniques, la technologie d'ondes acoustiques de surface (SAW) fait désormais ses premiers pas dans le monde de la mesure industrielle. L'offre en produits est encore très restreinte. Mais l'absence d'alimentation et l'interrogation sans fil font partie de ses meilleurs atouts. Les efforts investis par certaines sociétés dans l'industrialisation et le développement de capteurs SAW promettent à cette solution un bel avenir pour les applications de mesures de température, de pression, de viscosité, etc.

Ces derniers mois, deux sociétés, l'une américaine et l'autre française, ont dévoilé en France des capteurs en mettant l'accent sur leur technologie décrite par un acronyme de trois lettres : SAW. Sengenium, filiale de l'Américain Vectron International et distribuée en

France par Elexience, a en effet introduit les capteurs de température TFSS433D (voir Mesures n° 816) et de viscosité ViSmart. Quelques semaines seulement après l'annonce américaine, le Français Sensor a, lui, lancé les deux sondes de température SED-100 et SED-120. Il ne s'agit pas encore d'une vague qui va bouleverser le monde de la mesure industrielle, mais les utilisateurs et les fournisseurs de capteurs de mesure physique vont désormais devoir se familiariser

avec ce nouvel acronyme qui signifie "Surface Acoustic Wave" et, en français, onde acoustique de surface. Considérant les avantages de cette technologie et l'essor de cette dernière dans le domaine des composants électroniques, les différents acteurs qui se sont positionnés sur ce segment misent sur une réelle demande du marché et donc sur une croissance, dans les années à venir. Si l'apparition des premiers capteurs physiques SAW est relativement récente, le concept d'onde acoustique de surface est loin d'être nouveau. « La technologie SAW remonte au début des années 70, période durant laquelle de nombreux travaux de recherche ont été publiés », rappelle François Gégot, directeur commercial et marketing de Sensor. « Les recherches à l'origine de nos solutions ont démarré dès le début des années 80 grâce à Anthony et Bryan Lonsdale de Sensor Technology⁽¹⁾, qui se sont concentrés sur les applications industrielles de la technologie SAW », ajoute pour sa part Paul Vickery, directeur des ventes de l'activité TPMS chez Transense Technologies. La société britannique a ensuite été créée en 1991 pour répondre aux attentes du marché automobile avec le développement de capteurs de couple, de pression et de température. Ces applications industrielles sont toutefois

restées marginales à l'époque, en ce qui concerne le marché français en tout cas, comparé aux débouchés que le domaine des télécommunications a ouvert aux filtres SAW. Des sociétés comme le Français Thomson-Microsonic (dont la technologie reprise entre-temps par Temex est à l'origine de celle de Sensor), l'Allemand Siemens puis son compatriote Epcos se sont en effet engouffrées sur le créneau des composants électroniques SAW à partir des années 90. Ce segment de marché a réellement décollé grâce à la demande en téléphonie mobile. « En 1993, on parlait de 70 millions de filtres SAW fabriqués par an chez Thomson-Microsonic », indique François Gégot (Sensor).

L'explosion de la bulle des télécoms a été le déclic

Les années fastes ont continué jusqu'à l'explosion de la bulle des télécommunications et d'Internet en 2000. Comme ce marché a connu un brutal coup d'arrêt, en Europe et en France en particulier, certains acteurs pré-



Les capteurs SAW ont fait leurs premiers pas dans le monde embarqué dans des véhicules pour le contrôle en continu de la pression des pneus ou utilisés pour la mesure de couples.

sents dans le domaine des composants SAW se sont intéressés à d'autres applications. Non seulement les utilisateurs de capteurs physiques se sont montrés très intéressés, mais les développements ont permis d'arriver relativement rapidement à des solutions commerciales. En effet, le principe d'onde acoustique de surface mis en œuvre dans les capteurs est (presque) le même que celui sur lequel reposent les filtres... à une "particule" près si l'on peut dire. « Jusque-là, avec les filtres SAW, nous recherchions à obtenir la surface la plus propre possible. La présence du moindre élément extérieur entraînait alors un décalage de la fréquence du filtre. En partant du principe d'une bonne maîtrise de cette pollution, qui n'était alors plus vue comme telle, la conception et la fabrication de capteurs semblaient faisables », explique François Gégot (Sensor).

Bénéficier de l'expérience acquise avec les composants électroniques

La très forte ressemblance entre les technologies SAW pour filtres et pour capteurs physiques a permis de bénéficier d'une grande partie de l'expérience acquise avec les premiers en termes d'industrialisation, de développement, etc. Autre avantage, les fournisseurs peuvent s'appuyer sur les mêmes méthodologies de conception et les mêmes process de fabrication : outils de conception pour les éléments de design, masque et tranches de quartz de 4 pouces de diamètre, gravage de motifs sur le quartz, découpe pour encapsulation... « Hormis pour la conception de la matrice, en raison de spécifications propres, comme une robustesse du matériau accrue, on

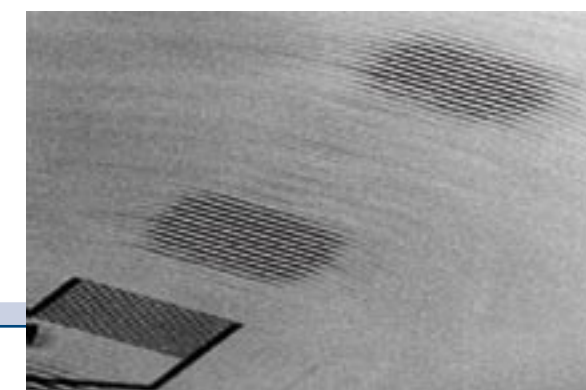


Avant de produire en volume, les fournisseurs de capteurs à ondes acoustiques de surface doivent d'abord prendre leur bâton de pèlerin pour éduquer les futurs utilisateurs et leur démontrer les avantages significatifs de ces capteurs via des kits de démonstration.

retrouve des équipements de fabrication standard », indique Paul Vickery (Transense Technologies). C'est d'ailleurs l'une des raisons pour laquelle les capteurs physiques d'ondes acoustiques de surface sont si séduisants. Ils sont en effet très flexibles et s'adaptent ainsi à de nombreuses applications. « Il y a évidemment certaines limitations en termes de matériau et de paramètres de conception, comme n'importe quel autre capteur », ajoute toutefois Kerem Durdag, directeur des ventes et du marketing de Sengenium. Les capteurs SAW sont, par exemple, fabriqués avec des matériaux piézo-électriques et non du silicium et il y a des contraintes sur les dimensions physiques pour ne pas sacrifier les niveaux de performances.

Mais pour la mesure de quelles grandeurs

physiques ces capteurs sont-ils conçus ? Avant de répondre à cette question, intéressons-nous d'abord au principe de la technologie SAW (voir schéma 1). Les ondes acoustiques de surface, en fait leur mode de propagation et leurs propriétés, ont été décrites pour la première fois par John Williams Trutt, lord Rayleigh, en 1885. Baptisées d'abord ondes Rayleigh, elles se décom-



Le cœur d'un capteur SAW est un résonateur

En pratique, le cœur d'un capteur physique SAW est un résonateur constitué de transducteurs interdigitaux ("interdigital transducers" ou IDT, en anglais) situés au centre d'une structure et de réseaux de réflexion ou d'électrodes de part et d'autre des transducteurs interdigitaux. Ces derniers sont des structures bidirectionnelles, à savoir que l'énergie qui se propage des deux côtés a la même intensité. Les réseaux de réflexion ou les électrodes renvoient, quant à eux, l'énergie produite par les transducteurs interdigitaux. La cavité résonante, ainsi obtenue, est caractérisée par sa fréquence de résonance dont les avantages sont un facteur de qualité élevé et de faibles pertes d'insertion. Seul bémol, la fréquence de résonance dépend fortement des variations de fabrication. Il existe un autre type de structure : les lignes de retard. Ces dernières sont toujours constituées de transducteurs interdigitaux et de réseaux de réflexion ou d'électrodes, mais les transducteurs interdigitaux, réseaux ou électrodes se font face, de part et d'autre du substrat. Les transducteurs interdigitaux génèrent une impulsion qui se propage jusqu'aux réseaux ou aux électrodes puis l'onde est réfléchie en direction des transducteurs interdigitaux. On mesure alors le temps de propagation de l'impulsion. Les décalages en phase présentent l'avantage d'être insensibles aux variations de fabrication ; en contrepartie, les dimensions du système sont plus importantes que celles d'un résonateur pour le même facteur Q et les pertes d'insertion sont plus élevées.

L'essentiel

- ▶ Deux sociétés ont introduit cette année en France des capteurs reposant sur la technologie SAW.
- ▶ La technologie d'ondes acoustiques de surface fait des débuts prometteurs dans le monde de la mesure industrielle.
- ▶ Elle présente deux avantages : l'absence d'alimentation et l'interrogation à distance.
- ▶ Encore balbutiant, le marché des capteurs SAW mise sur l'expérience acquise auprès des composants électroniques et sur une émulation entre les constructeurs.



Les grandeurs physiques susceptibles d'être mesurées par la technologie à ondes acoustiques de surface portent d'abord sur la température (capteur de Sensor), la viscosité (capteur de Sengenuity), la pression, les déformations mécaniques, les vibrations et les accélérations dans un avenir proche... jusqu'aux grandeurs chimiques et biologiques.

→ posent en une composante longitudinale et une composante de déformation verticale, dont les amplitudes décroissent d'une manière exponentielle avec la profondeur dans le matériau, d'où l'appellation d'ondes de surface. Les deux composantes peuvent se coupler avec n'importe quel média en contact avec la surface, ce couplage modifiant alors l'amplitude et la vitesse des ondes qui se propagent. C'est ce principe qu'utilisent les capteurs SAW. La propagation des ondes acoustiques

de surface dépend en effet de la géométrie du substrat et des propriétés du matériau composant ledit substrat. Les constantes du matériau sont liées aux conditions environnementales, à savoir la charge massique, la température et les contraintes, que ce soit des forces externes ou le stress thermique différentiel. « Basés sur des propriétés piézo-électriques, certains matériaux, à l'instar du quartz [SiO₂], du niobate de lithium [LiNbO₃] et de la tantalate de lithium [LiTaO₃], créent un déplacement mécanique, en fait des ondes acoustiques, à leur surface

lorsqu'un champ électrique leur est appliqué », explique François Gégot (Sensor). Il suffit alors de mesurer les variations de vitesse de propagation acoustique de l'onde ou les variations de l'atténuation de son amplitude.

Un large panel de grandeurs physiques et chimiques

Voilà pour ce qui est de la théorie. En pratique, le cœur d'un capteur physique SAW est un résonateur constitué de transducteurs interdigitaux⁽²⁾ ("interdigital transducers" ou IDT, en anglais) situés au centre d'une structure et de réseaux de réflexion ou d'électrodes de part et d'autre des transducteurs interdigitaux (voir encadré).

En ce qui concerne le ou les type(s) de grandeurs physiques mesurables, « les possibilités sont très larges en étant toutefois étroitement liées à une application, au type de capteur (STW ["Slow Transverse Wave"], APM ["Acoustic Plate Mode"], SHAPM ["Shear Horizontal Acoustic Plate Mode"]...) et à la manière dont ils sont conçus et fabriqués », affirme Kerem Durdag (Sengenuity). Le concept fonctionne d'ores et déjà pour la température, la pression et les déformations mécaniques... dans certaines gammes de mesure (0 à +120 °C ou -20 à +160 °C, 0 à 500 AV⁽³⁾, par exemple). Pour François Gégot (Sensor), des capteurs de vibration et des accéléromètres seraient envisageables, même si les niveaux recherchés par les utilisateurs ne sont pas encore atteignables actuellement. Au-delà des grandeurs physiques, les nombreux travaux publiés démontrent que le principe de la techno- →

logie SAW peut également s'appliquer aux capteurs chimiques et biologiques, avec néanmoins un problème de sélectivité.

Comment se présente un capteur de pression basé sur les ondes acoustiques de surface ? Il est composé de trois résonateurs (voir schéma 2) situés sur le même substrat de quartz. Deux résonateurs, nommés résonateur 1 et résonateur 2 de fréquence de résonance respective f1 et f2, présentent une fréquence ne dépendant que de la température. Le résonateur 3 (de fréquence de résonance f3), placé sur une membrane réalisée par micro-usinage, est sensible à la température et à la pression. La valeur Δ(f1-f2) permet d'obtenir les variations de température et Δ(f3-f2), les variations de pression. D'autres types de structure peuvent être mis en œuvre selon les gammes de mesure de pression, en particulier pour les hautes pressions.

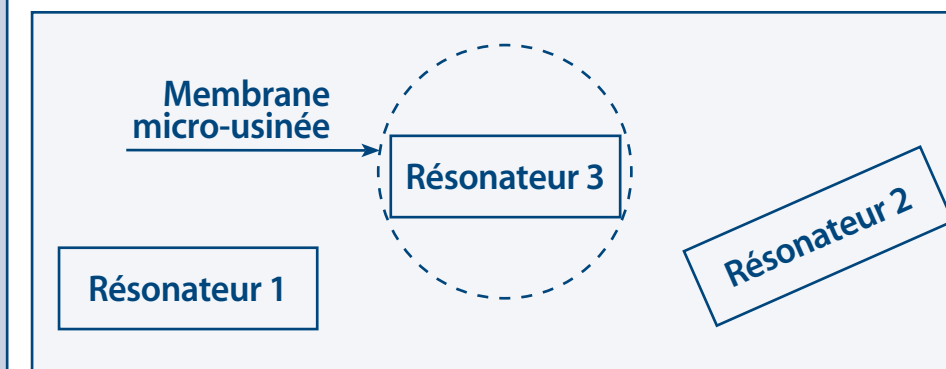
Si les différents acteurs cités jusqu'à présent se sont lancés sur le marché des capteurs physiques SAW, ce n'est pas que pour le plaisir d'exploiter une nouvelle technologie.

« Ces derniers se distinguent de leurs congénères par des boîtiers robustes, fiables et de plus petite taille, qui s'appuient, comme on l'a vu auparavant, sur des processus de fabrication bien établis très proches de ceux pour les semi-conducteurs. Nous pouvons alors mieux optimiser les coûts et monter en puissance progressivement et d'une manière maîtrisée en cas d'augmentation des volumes », explique Kerem Durdag (Sengenuity).

Des capteurs passifs et interrogeables à distance

Les deux avantages majeurs proviennent du principe même de la technologie SAW. Les capteurs physiques sont en effet des composants passifs et autonomes. Ils ne nécessitent aucune alimentation, ce qui les rend intrinsèquement sûrs et respectueux de l'environnement. L'activation d'un capteur SAW pour exécuter et récupérer une mesure se fait via un signal qui peut être fourni d'une manière classique, par voie filaire, ou par les voies aériennes à l'instar des tags RFID (Radio Frequency Identification). Dans ce cas-ci, l'alimentation du capteur se fait également par le signal radiofréquence modulé. L'interrogation à distance, même si elle n'est pas originale en elle-même, autorise la collecte instantanée de données dans des applications temps réel en ligne et des environnements difficiles où l'installation d'autres types de capteurs ne serait pas forcément

Schéma 2. Principe d'un capteur SAW de température et de pression

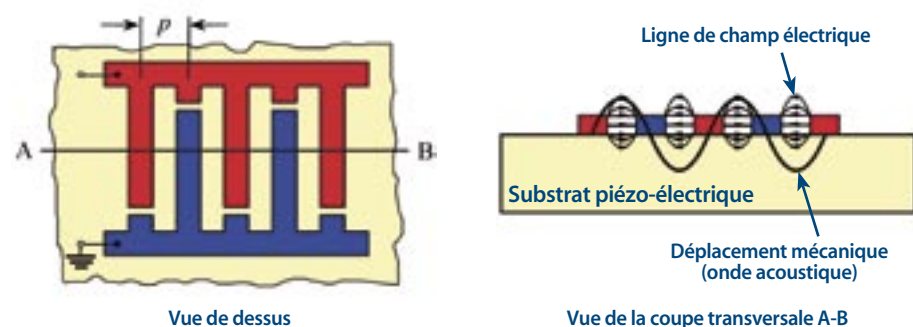


Résonateur 1 de fréquence f1 et sensible à la température
 Résonateur 2 de fréquence f2 et sensible à la température
 Résonateur 3 de fréquence f3 et sensible à la température et à la pression
 La valeur Δ(f1-f2) permet d'obtenir les variations de température et Δ(f3-f2), les variations de pression.

Sources : Sensor et Transense Technologies

aisée et leur maintenance, sûrement (beaucoup) plus compliquée. « Les niveaux de précision, de répétitivité et de fiabilité sont par ailleurs très bien adaptés aux applications industrielles de contrôle de process », ajoute Kerem Durdag (Sengenuity). La communication sans fil des capteurs physiques SAW était fortement limitée, jusqu'à très récemment en tout cas, à cause de la partie électronique. « Avec des composants discrets, il était difficile de faire des capteurs dont les dimensions étaient plus petites que 100x80 mm. La carte électronique doit en effet être capable d'envoyer un signal à la fréquence de résonance du capteur avec un niveau d'émission de +10 dBm, d'acquiescer un signal retour de niveau aux alentours de -70 dBm et de discriminer ensuite des fréquences de plusieurs →

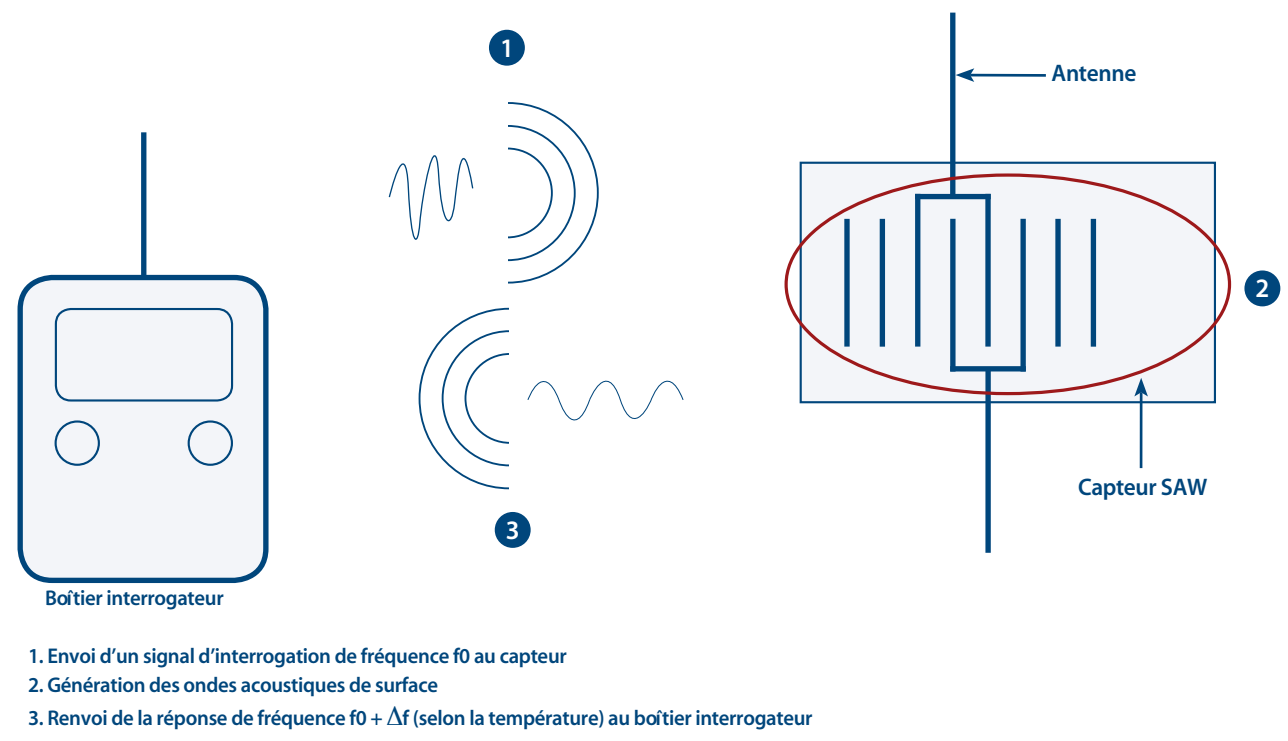
Schéma 1. Transducteur interdigitaal et principe des SAW



Transducteur interdigitaal en mode émission: le champ électrique RF génère les ondes acoustiques de surface (effet piézo-électrique réciproque)
 Transducteur interdigitaal en mode réception: les ondes acoustiques de surface créent le champ électrique RF (effet piézo-électrique)
 Dans les deux cas, la force de couplage maximum est atteinte pour $\lambda_{SAW} = v_{SAW}/f = 2 \times p$, soit entre 1 et 10 µm.

Source : Leonhard Reindl – IEIT/ Technische Universität Clausthal

Shéma 3. Principe de fonctionnement d'un capteur SAW sans fil



Source : Sensor

→ kiloHertz typiquement dans une bande de fréquence ISM de 433 MHz », explique François Gégot (Sensor). Il est désormais possible de disposer de capteurs de dimensions de 5x5x1,5 mm et interrogeables à plusieurs mètres de distance (éloignement entre les capteurs et le boîtier interrogateur). Si d'aventure des utilisateurs envisageaient d'utiliser un système d'acquisition de données du marché, François Gégot (Sensor) précise d'emblée que cela n'est pas possible avec leurs capteurs physiques SAW. La société propose toutefois la possibilité d'intégrer l'électronique développée par ses soins à des solutions existantes pour fournir les données

via des bus analogiques, USB et CAN, selon le protocole ZigBee, comme c'est le cas du Français BeanAir. Sensor s'est en effet associée à ce dernier pour proposer une solution combinant ses capteurs de température SAW avec des modules de communication sans fil ZigBee de son compatriote.

Il faudra d'abord éduquer les utilisateurs

Malgré tous les bénéfices qu'ils procurent, les capteurs physiques à ondes acoustiques de surface ne vont pas du jour au lendemain supplanter les autres types de capteurs présents depuis des dizaines d'années sur le

marché des mesures industrielles. « Il y a un très gros effort d'éducation à faire pour montrer que cela est possible et que la technologie SAW fonctionne. Ce sera un travail de longue haleine! », souligne François Gégot (Sensor). Pour les aider dans cette tâche, les sociétés, à l'instar de Sensor et de Sengenuity, ont par exemple développé des kits de démonstration.

Sans pour autant espérer, même dans un futur éloigné, rivaliser avec les thermocouples (par exemple en ce qui concerne la mesure de température), les capteurs physiques SAW seront, voire sont déjà, dans certains cas, de sérieux concurrents aux capteurs traditionnels. Il s'agit alors plutôt d'applications à haute valeur ajoutée et/ou pour des marchés de niche. « L'utilisation d'un capteur SAW sans batterie pour l'interrogation sans fil est un avantage significatif sur la concurrence actuelle. Cet avantage le sera encore à l'avenir », rappelle Paul Vickery (Transense Technologies).

La mesure de température dans des moteurs diesel marins est un exemple de marché de niche. Il existe bien une alternative avec des solutions indirectes via la mesure de la température de l'huile et des calculs pour obtenir la température recherchée. Mais cela ne peut se faire qu'en temps différé avec le risque de casse de l'équipement entre-temps. Du côté de Sengenuity, les premières applications commerciales ont été

Les deux principaux atouts des capteurs SAW face aux modèles reposant sur une technologie plus traditionnelle sont la possibilité d'être interrogés à distance par ondes radio et le fait de ne nécessiter aucune alimentation.



l'exploitation de sondes de température pour la nourriture, la surveillance de la viscosité des fluides en contrôle de process et celle de la viscosité du pétrole dans les installations mobiles et fixes. Parmi les autres applications possibles, citons les équipements rotatifs, le contrôle de la pression de pneus, marché sur lequel Transense Technologies s'est positionné, et les systèmes utilisés dans l'industrie électrique.

Bien d'autres applications, auxquelles on ne pense pas encore aujourd'hui, verront certainement le jour dans les prochaines années grâce aux nombreux projets de recherche (privés et académiques) et développements en cours sur la technologie SAW. Ces progrès permettront de s'affranchir des limitations actuelles en termes de performance, de taille, de fonctionnalité, de coût, etc. Grâce au fort niveau d'intégration d'un filtre SAW RF, son prix est descendu à 20 centimes d'euro l'unité. L'utilisation de circuits spécifiques (ou Asic) pour la partie électronique assurerait également un prix très bas pour des quantités importantes. « Nous misons sur une production de plusieurs millions de pièces par an dans

quelques années », avance François Gégot (Sensor).

Comme on peut le voir, le marché des capteurs physiques à ondes acoustiques de surface est un domaine très actif et source d'émulation. Aux côtés des sociétés Sengenuity, Sensor et Transense Technologies, l'Américain Honeywell qui dispose de brevets, les Autrichiens Carinthian Tech Research (CTR) et Identec Solutions, suite au rachat de l'Allemand Baumer Ident en 2006, se sont également positionnées sur le secteur de des niveaux différents. C'est un signe encourageant pour l'avenir des capteurs SAW!

Cédric Lardière

(1) Créé en 1991 par les fondateurs de Sensor Technology, Transense Technologies est le fabricant licencié de la technologie SAW de Sensor Technology

Avec les progrès réalisés en électronique ces dernières années, les fabricants ont réussi à réduire la taille de leurs capteurs SAW. Ils ont également pu développer de petits boîtiers assurant l'interrogation sans fil à distance.



pour les applications embarquées automobiles exclusivement.

(2) Il s'agit d'une structure dont les électrodes sont électriquement accouplées à l'aide de liaisons matérielles ; il s'agit, pour être encore plus explicite, de deux peignes dont les dents sont entremêlées.

(3) La viscosité acoustique (AV) est égale à la viscosité dynamique multipliée par la densité du produit mesuré.

De grandes remises sur de grands outils !

Cet automne il y a 9 bonnes raisons pour investir dans la performance 5 étoiles.

Avec des prix aussi bas que 99 € et des remises jusqu'à 35% !

Equipez-vous dès aujourd'hui des outils de test du numéro 1 mondial.

- ★ Robustesse
- ★ Sécurité
- ★ Facilité d'utilisation
- ★ Précision
- ★ Fiabilité

www.fluke.fr/neuf

Fluke. Soyez à la pointe du progrès avec Fluke.

Prix promotionnels ! Remises jusqu'à 35%

Des prix « tout neuf »

Offre valable uniquement en France métropolitaine pour toute commande reçue avant le 15 Décembre 2009

★★★★★

Découvrez combien vous pouvez économiser sur www.fluke.fr/neuf

☎ 01 48 17 37 37 E-mail: info@fr.fluke.nl