



## MESURES MÉCANIQUES

# Télémesure indu essayait d'y voir

▼ Un émetteur, un récepteur, deux antennes et une alimentation... c'est tout ce qu'il faut en théorie pour réaliser une application de télémesure. Mais en pratique, les choses ne sont pas si simples. Relever des mesures sur des pièces en mouvement parfois soumises à rude épreuve ou sur des pièces trop éloignées pour utiliser des câbles électriques, nécessite d'adopter une démarche rigoureuse et de prendre un certain nombre de précautions. Pour réussir son application, il faut notamment prendre le plus grand soin dans le choix des éléments embarqués et dans le positionnement des antennes...

Pour mettre en place un système de télémesure, il faut prendre de nombreuses précautions dans le choix des émetteurs et dans le montage des antennes (ici sur une cloche d'embrayage)...

MCE

Utiliser les ondes hertziennes pour transmettre à distance les informations mesurées par un capteur, c'est l'objet de la télémesure. Dans la vie courante, les applications foisonnent : des stations météorologiques qui recueillent l'information d'un anémomètre placé à quelques kilomètres, aux

contrôles réalisés en génie civil pour surveiller le comportement mécanique d'une grue ou d'un pont, en passant par le téléguidage d'un engin spatial ou encore les essais sur route d'un véhicule automobile... Bref, à chaque fois qu'il est difficile, voire impossible, d'utiliser des câbles électriques. Et il en est de même dans l'industrie. La télémesure permet de surveiller le comportement de pièces mécaniques en rotation (notamment dans les

machines tournantes), de contrôler des produits en déplacement sur un convoyeur, de surveiller la température d'un procédé de fabrication, ou même de transmettre des signaux de mesure d'un bâtiment à un autre. Mais cela ne signifie pas pour autant que la télémesure soit un jeu d'enfant... Si de nombreuses applications tournent aujourd'hui avec succès, les échecs sont encore courants, et les utilisateurs découragés finissent souvent par revenir aux solutions traditionnelles (basées par exemple sur des collecteurs tournants). « Je connais de nombreuses situations dans lesquelles le système de télémesure a fini oublié dans un placard après des essais infructueux », témoigne Raymond Buisson, responsable de la classe de produits ingénierie du contrôle des procédés et des processus au Cetim (Centre Technique des Industries Mécaniques) de Senlis. Mais que l'on se rassure : il y a moyen de ne pas en arriver à ces extrémités... En fait, « la démarche est la même que dans une application de mesure classique, indique M. Buisson. On n'arrive à rien sans prendre un certain nombre de précautions élémentaires ».

Et la première d'entre elles, c'est de garder à l'esprit qu'il y a une "télémesure" et "télémesure". Transmettre les signaux d'un anémomètre à une station météorologique ne pose pas les mêmes problèmes et n'admet pas les

mêmes solutions que de récupérer le signal d'une jauge de contraintes placée sur un arbre tournant à 3000 tours/minute. Dans le milieu industriel, les distances de transmission sont certes plus courtes (on parle de "télémesure à courte portée"), mais les appareils sont souvent soumis à rude épreuve : de fortes accélérations, de hautes températures, des vibrations... sans compter que la propagation des ondes peut être perturbée par la présence de pièces métalliques, et qu'il y a souvent des contraintes d'encombrement. Bref, « la télémesure industrielle est un métier à part entière, avec ses fournisseurs, ses produits spécifiques et ses propres contraintes », résume Marcel Mansion, directeur technique d'Atcom (qui propose des systèmes de télémesure). Pour réussir son application, il faut alors suivre une démarche rigoureuse et prendre en compte de nombreux paramètres.

### Une démarche rigoureuse

**Définir son besoin.** Cette première étape, d'apparence anodine, revêt une importance toute particulière dans une application de télémesure industrielle. Le type de mesure que l'on souhaite réaliser va en effet conditionner le choix du capteur (jauges de contraintes, thermocouples, accéléromètres,

### En quelques mots...

- Mettre en œuvre une application de télémesure industrielle nécessite de prendre un certain nombre de précautions, notamment dans le choix des éléments embarqués (alimentation, émetteur et antenne).
- La portée et les contraintes de l'application (température, accélérations, place disponible, etc.) suffisent souvent à orienter le choix vers un certain type de transmission (ondes radio ou couplage magnétique).
- Il faut ensuite veiller à bien choisir et positionner les antennes de manière à éviter les réflexions parasites et les ondes stationnaires.

etc.), mais aussi celui de l'émetteur (qui n'est pas toujours universel).

Tout dépend ensuite des exigences de l'application. Bien souvent, le choix de l'émetteur sera conditionné par la dynamique et la ban-

(pour limiter les réflexions parasites et les interférences), à l'humidité (notamment pour le choix du capteur) et aux contraintes d'encombrement, notamment lorsque les mesures se font dans le carter de machines tournantes.

quement le choix entre trois grands types d'alimentations : les piles ou batteries, les boucles d'induction (basées sur le principe d'un transformateur) et les cellules photovoltaïques (basées sur la conversion d'une énergie lumineuse). En pratique, les conditions sont trop difficiles pour employer des éléments photovoltaïques. Il reste donc les piles, les batteries et les boucles d'induction. Le choix dépend de la durée des mesures, des conditions d'utilisation (température et accélérations) et de la place disponible (une pile étant généralement plus encombrante qu'une boucle inductive).

Pour une utilisation ponctuelle dans des conditions relativement peu difficiles, on préfère ainsi utiliser une alimentation par piles ou par batteries, qui présente l'avantage d'être simple à mettre en œuvre. Reste ensuite à choisir des capacités et des courants limites plus ou moins élevés suivant les besoins de l'application et la place disponible. En revanche, « les piles ont une faible autonomie et une tenue aux accélérations et à la température limitée », indique Jean-Louis Rouvet, responsable commercial chez MCE. Lorsque le système de télémesure doit fonctionner en continu pendant une longue période (pour suivre par exemple l'évolution de la température dans un process de fabrication), il est donc pré-

## strielle : et si l'on un peu plus clair?

de passante des signaux que l'on souhaite transmettre. « Si l'on réalise des mesures en statique, il suffit d'un émetteur qui accepte le continu, ce qui est le cas de presque tous les émetteurs du marché. Mais si les mesures sont réalisées sur un rotor tournant à grande vitesse, il faut que toute la chaîne de transmission sache passer rapidement du continu à plusieurs centaines de kilohertz, ce qui nécessite une électronique suffisamment rapide, une fréquence porteuse assez élevée, etc. », précise M. Buisson (Cetim). Enfin, l'émetteur est choisi en fonction du nombre de voies nécessaires (sachant que plus on a de voies, moins on dispose de bande passante par voie...).

**Prendre en compte l'environnement.** Le milieu ambiant (température, humidité...) et les contraintes mécaniques de l'application (vibrations, vitesses de rotation, accélérations, encombrement...) jouent un rôle capital dans la mise en œuvre d'une application de télémesure industrielle.

La partie embarquée du système (capteur, émetteur, alimentation et antenne) est souvent placée sur des pièces tournant à grande vitesse et subissant de fortes accélérations (de l'ordre de 2000 g pour les applications courantes et jusqu'à 100 000 g dans le pire des cas). « Il faut donc bien faire attention aux tenues aux chocs et aux vibrations qui figurent dans la fiche technique des émetteurs », conseille M. Buisson (Cetim). Pour limiter les risques, « on préfère souvent employer les émetteurs et les alimentations les plus compacts possible », indique Pierrick Letort, ingénieur au pôle d'activité ingénierie des CND et des Mesures au Cetim.

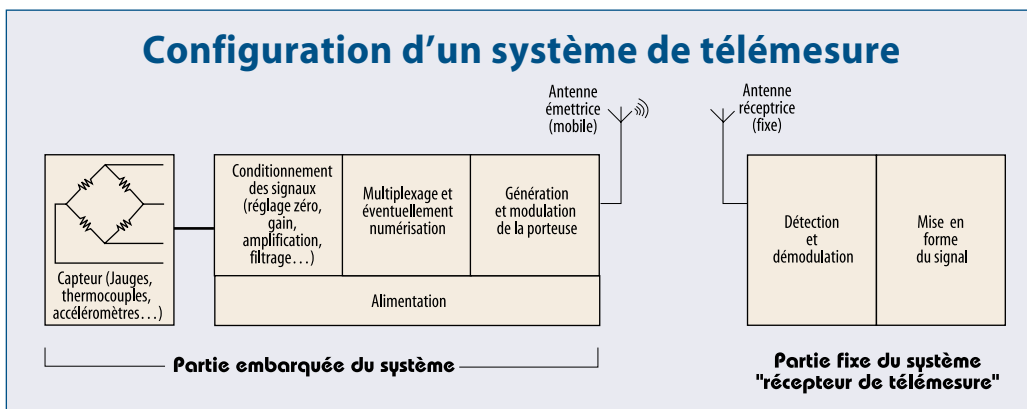
Les températures atteintes conditionnent elles aussi le choix des éléments embarqués. « La plupart des émetteurs supportent des températures allant jusqu'à 80 °C, précise M. Mansion (Atcom). Au-delà, il s'agit généralement d'une construction spéciale ». Il faut aussi faire attention au milieu radioélectrique ambiant

Toutes ces contraintes d'environnement conduisent à choisir un certain type de montage. Suivant les cas, on peut par exemple fixer le système embarqué et la connectique associée à l'aide de colles spéciales, ou les insérer dans des pièces usinées pour l'occasion et bridées sur les pièces étudiées.

**Choisir l'alimentation.** L'utilisateur a théori-

### Pour mieux choisir...

	Principaux avantages	Principales limitations
<b>Alimentation de l'émetteur</b>		
- Par piles	- Facilité de mise en œuvre	- Autonomie limitée - Coût élevé pour les utilisations longue durée - Arrêt des mesures lors du remplacement des piles - Tenue en température et aux accélérations limitée (<100 °C et < 500 g) pour les applications standards, jusqu'à 5 000 g pour certaines piles
- Par boucles d'induction	- Adapté à un fonctionnement en continu (installations permanentes) - Bonne tenue aux accélérations et à la température (jusqu'à 400 °C)	- Montage parfois complexe
- Par cellules photovoltaïques	- Pas de perturbations radioélectriques	- Rendement limité - Nécessité de maintenir l'émetteur et le récepteur alignés - Sensible au milieu ambiant
<b>Mode de transmission</b>		
- A couplage magnétique	- Bonne tenue en température (jusqu'à 300 °C) - Absence d'usure - Faible masse embarquée	- Portées faibles (quelques centimètres) - Sensible au milieu ambiant (humidité)
- Radio	- Transmissions à grande distance (plusieurs kilomètres) - Fréquences élevées (jusqu'à 300 MHz)	- Exige un matériel conforme aux normes - Risques de perturbations (fréquences parasites, écrans métalliques, etc.)
- Radio par boucle d'induction	- Boucle d'induction servant à la fois pour l'alimentation et la transmission - Fréquences élevées (jusqu'à 300 MHz)	- Portées faibles (de l'ordre du centimètre)
- Optique (infrarouge)	- Insensible aux perturbations radioélectriques - Ne nécessite pas d'alignement précis	- Sensible au milieu ambiant (poussières, projections d'huile...)



férable de passer à la boucle d'induction, qui n'est pas limitée en termes de durée de vie. De plus, elle offre généralement une bien meilleure tenue aux accélérations et à la température. « Une pile ne permet pas de dépasser 5 000 g, souligne Albert Charié, gérant de MCE. En revanche, nous avons déjà vu des cas où la boucle d'induction supportait 100 000 g ! ». De même, la température limite de fonctionnement, qui excède rarement 80 °C pour les piles courantes, peut aller jusqu'à 400 °C pour les boucles d'induction. . .

## Pour une bonne transmission du signal

Ceci dit, une alimentation par boucle d'induction peut être relativement complexe à mettre en œuvre pour un utilisateur non spécialiste de la télémesure. « En général, il ne peut pas la monter lui-même, indique M. Mansion (Atcom). Bien souvent, il faut réaliser un montage spécifique, ne serait-ce que pour adapter la boucle d'induction à des arbres qui ne sont jamais du même diamètre ». Il faut aussi savoir où placer les bobinages, déterminer le nombre de tours nécessaires au primaire et au secondaire et "jouer" avec la fréquence d'excitation du générateur pour que la puissance transférée soit maximale. Bref, « il faut trouver le bon compromis entre la fréquence, le nombre de tours et la puissance transférée », résume M. Buisson (Cetim).

« Choisir le mode de transmission. Ce choix est intimement lié au type d'émetteur utilisé. Suivant les cas, on utilise une transmission radio (avec ou sans boucle d'induction), une transmission à couplage magnétique ou une liaison optique par infrarouge. Comme l'alimentation par cellules photovoltaïques, la transmission optique n'est pas assez robuste

pour être utilisée dans des conditions industrielles. Restent alors la radio et le couplage magnétique. « Le couplage magnétique transmet le signal dans des fréquences allant de 1 à 4 MHz sur des portées très faibles (de l'ordre du centimètre), et il est relativement sensible au milieu ambiant », précise M. Charié (MCE). La transmission radio utilise en revanche des fréquences très élevées (jusqu'à 350 MHz pour la plupart des applications). Sa portée dépend du principe utilisé : si l'on emploie une boucle d'induction (qui sert alors à la fois pour l'alimentation et la transmission du signal), les portées sont très faibles, jusqu'à 10 mm. Si au contraire on utilise une transmission radio traditionnelle, les ondes peuvent théoriquement porter à plusieurs kilomètres. Mais « tout dépend de la puissance d'émission, souligne M. Rouvet (MCE). Avec une puissance de 5 à 10 mW, la distance de transmission est de l'ordre de 50 à 100 mètres ».

**Modulation et fréquences de la porteuse.** Les ondes électromagnétiques issues de l'émetteur se propagent à la fréquence de la porteuse. Suivant le type d'émetteur, le signal transmis est modulé en amplitude, en fréquence ou en phase. « La modulation d'amplitude est simple mais très rarement utilisée, puisque c'est justement l'amplitude du signal que l'on cherche à transmettre,

précise M. Buisson (Cetim). En revanche, on utilise très fréquemment la double modulation de fréquence car elle permet d'obtenir de bons résultats métrologiques (notamment en termes de linéarité) ».

Les bandes de fréquences utilisables (appelées bandes ISM) doivent être conformes aux normes publiées par l'institut européen des normes de télécommunication (ETSI). On trouve ainsi sept fréquences allant de 6,7 à 2 450 MHz. En pratique, « toutes les bandes de fréquences sont utilisables sans autorisation administrative du moment que la puissance rayonnée n'excède pas 10 mW », indique M. Rouvet (MCE). Mais que l'on se rassure, « en télémesure industrielle courte portée, on ne perturbe jamais trop l'environnement, souligne M. Buisson (Cetim). Les puissances rayonnées sont souvent très faibles, et les portées sont de l'ordre de quelques dizaines de mètres à quelques centaines tout au plus ».

Les émetteurs de télémesure industrielle peuvent également utiliser des modes de transmission plus spécifiques tels que Bluetooth ou WiFi. Dans ce cas, le signal radio emprunte la bande de fréquence située à 2,45 GHz. Les portées sont variables, jusqu'à 50 voire 100 mètres (tout dépend des émetteurs), mais il y a une contrainte : « Bluetooth et WiFi sont des protocoles qui "stockent" une partie de l'information avant de la transmettre, indique M. Mansion (Atcom). Ils sont donc peu adaptés au suivi de phénomènes en continu (tel qu'une mesure de température durant un processus de fabrication) ou lorsqu'on a besoin de réaliser une corrélation temporelle entre deux mesures ».

En pratique, c'est rarement l'utilisateur qui choisit. Les contraintes de l'application (et notamment l'environnement radioélectrique) imposent souvent l'utilisation d'un certain mode de transmission et d'un certain protocole de communication. « Il existe même des applications où l'utilisateur emploie un codage spécifique au fournisseur du système de télémesure, souligne M. Mansion (Atcom). C'est le cas par exemple dans l'environ-

### Pour en savoir plus

- **Atcom**  
Tél. : 02 38 46 63 00  
Fax : 02 38 86 28 91
- **Cetim (Centre de Senlis)**  
Raymond Buisson :  
Tél. : 03 44 67 32 61
- **MCE**  
Tél. : 01 46 70 90 00  
Fax : 01 46 70 97 97
- **Et sur internet...**  
<http://www.art-telecom.fr>  
(site de l'Autorité de Régulation des Télécommunications)  
<http://www.azimut.com>  
(comparaison entre Bluetooth et WiFi)  
<http://www.atcom.fr>  
(site d'Atcom)

## Analogique et numérique ?

En matière de télémesure, le choix n'est pas si simple... Certains fournisseurs, tels que MCE, proposent et conseillent encore d'utiliser des systèmes analogiques. « Ils sont beaucoup plus simples à manipuler que les systèmes numériques, affirme M. Charié (MCE). Nos récepteurs sont des "boîtes noires" que l'on apprend à utiliser en moins d'une heure de formation ». Mais il y a aussi les inconditionnels du numérique. « L'arrivée du numérique en télémesure a constitué un réel progrès, souligne M. Buisson (Cetim). Il permet d'avoir un rapport signal/bruit allant

jusqu'à 70 dB, c'est-à-dire nettement plus élevé qu'avec un système analogique ». En fait, tout dépend des besoins de l'application. « L'analogique offre une large bande passante, précise M. Mansion (Atcom). Il est donc préférable au numérique lorsqu'on analyse des phénomènes rapides, tels que des vibrations haute fréquence ». De son côté, le numérique est utilisé pour l'analyse de phénomènes plus lents (tels qu'une mesure de température) ou lorsqu'il est primordial de préserver l'intégrité du signal transmis.

nement de la soudure à l'arc, où il faut bien souvent un protocole très spécifique pour éviter les parasites ». Bref, c'est toujours l'application qui commande. Et l'essentiel, c'est de veiller à limiter les risques d'interférences avec d'autres appareils fonctionnant dans les mêmes gammes de fréquences. « Il suffit parfois de travailler à une fréquence porteuse différente d'à peine 200 kHz par rapport à d'autres appareils pour être gêné par les parasites », indique M. Buisson (Cetim).

**Choisir et positionner les antennes.** C'est l'une des opérations les plus délicates. Il suffit en effet d'une antenne trop courte ou mal positionnée pour que le récepteur soit "aveugle", ou qu'il ne recueille que les ondes réfléchies...

Il y a donc deux grandes précautions à prendre : éviter d'avoir des ondes stationnaires (qui donnent une transmission nulle toutes les demi-longueurs d'onde), et placer les antennes de telle sorte qu'il n'y ait pas de réflexions.

« Pour éviter tout risque d'ondes stationnaires, nous conseillons de ne pas utiliser d'antennes d'une longueur supérieure au quart de la longueur d'onde, souligne M. Buisson (Cetim). Si l'on emploie des antennes d'une longueur d'onde ou plus, on ne peut pas éviter les "creux" d'ondes stationnaires qui masquent la transmission du signal ».

Mais bien sûr, c'est la fréquence de la porteuse

qui va déterminer la longueur d'onde du signal ( $\lambda = c/f$ ), et donc la longueur de l'antenne. Le seul risque est alors que la puissance rayonnée par l'antenne émettrice ne soit pas suffisante, « mais c'est rarement le cas, souligne M. Mansion (Atcom). Il faut dire que le récepteur n'est jamais qu'à quelques centimètres à peine de l'émetteur ».

Reste à limiter les phénomènes de réflexions sur les pièces métalliques (notamment lorsque l'antenne émettrice est située dans le carter d'une machine). Pour cela, il est toujours préférable de placer les antennes en vision directe. « Si l'on choisit des antennes courtes pour éviter les ondes stationnaires, il faut les monter de telle sorte qu'elles ne soient jamais invisibles l'une à l'autre. Si elles sont masquées par l'arbre en rotation, par exemple, l'antenne réceptrice ne peut recueillir que les ondes réfléchies », précise M. Buisson (Cetim).

Mais la mise en place d'antennes à vision directe n'est pas toujours réalisable, notamment lorsqu'il y a de trop fortes contraintes d'encombrement. Dans ce cas, il faut utiliser d'autres solutions (telles que des stations relais ou l'installation d'antennes multiples autour des arbres en rotation)... mais elles sont bien sûr plus coûteuses et plus complexes à mettre en œuvre.

## Les bandes "ISM"

Les bandes de fréquences théoriquement utilisables en télémesure industrielle sont définies par l'institut européen des normes de télécommunication (ETSI). Ces fréquences, appelées bandes ISM, sont de 6,7, 13,56, 27,12, 40,68, 433,92, 869 et 2 450 MHz. Mais elles ont une importance toute relative. En pratique, il est possible d'utiliser n'importe quelle bande de fréquence du moment que la puissance rayonnée n'excède pas 10 mW.

Choisir et positionner correctement une antenne n'a donc rien d'une mince affaire, sans compter « qu'il y a souvent des phénomènes imprévus qui viennent affaiblir ou masquer le signal, souligne M. Letort (Cetim). La solution idéale est alors trouvée à force d'essais et de tâtonnements ». Bref, c'est encore souvent l'expérience qui compte...

**Marie-Line Zani**