

Systemes de régulation

Le numérique déferle

Beckhoff



La régulation est en passe de se confondre avec l'ensemble des commandes d'une machine : c'est la magie de l'intégration et de la technologie numérique réunies. **Composante devenue triviale du fonctionnement d'une machine, elle n'en constitue pas moins un savoir-faire central de la profession.**

► Mesurer, comparer, corriger : la régulation industrielle est l'art de maintenir une grandeur afin qu'elle garde constamment la valeur désirée, quelles que soient les perturbations qui peuvent subvenir. Depuis la régulation tout ou rien des débuts aux technologies numériques sophistiquées d'aujourd'hui capables d'anticiper les perturbations – voire les modéliser – et les compenser en temps réel,

le chemin a été long et s'avère encore prometteur.

« La régulation, c'est aussi le but de la transmission », rappelle Michel Blot, directeur technique et qualité de Moog. Plusieurs technologies de régulation existent qui prennent place selon différents niveaux de besoins. Les techniques primaires, purement mécaniques et systématiques, suffisent dans les cas les plus simples, comme la régulation de

pression maximum (soupapes, limiteurs).

L'électronique entre en jeu en cas de changement de consigne plus fréquent, pour éviter les interventions manuelles de réglage sur la machinerie. Enfin, on ajoute la programmation quand la régulation est réalisée par cycles successifs et... devient asservissement ! Pour couronner le tout, « actuellement, commande et régulation sont de plus en plus intimement liées, au travers des tendances à l'intégration et à la mécatronique », remarque Michel Blot.

COMMANDE AVANCÉE

Trois principaux modes de régulation – tout ou rien, proportionnelle et PID (proportionnelle, intégrale et dérivée) – sont encore distingués, cependant, les progrès de l'informatique aidant, les techniques de commande avancées prennent de l'ampleur. Ainsi de la commande prédictive, basée sur l'utilisation d'un modèle dynamique du système pour anticiper son comportement futur ; de la commande robuste garantissant la stabilité de régulation par rapport aux perturbations et aux erreurs de modèle ; de la commande adaptative qui actualise le modèle du système en temps réel ; de la logique floue et son réseau de neurones ; des contrôleurs non linéaires (commande linéarisante et commande par mode glissant) et de la commande par platitude différentielle qui se permet d'inverser le modèle sans passer par l'intégration

des équations différentielles et calcule les signaux nécessaires sur les entrées pour garantir les trajectoires voulues en sortie. L'avenir se profile donc en numérique, toutes les gammes de produits sont déjà à disposition... Reste à convertir le parc industriel au gré des renouvellements de matériels.

Pour l'instant, cette technologie n'a qu'une pénétration du marché limitée, même en électromécanique : « Des solutions sont à l'étude et en voie d'application. Elles vont se répandre et risquent de remplacer à terme la solution classique automate/variateur/codeur », prédit Michel Aubourg, expert du Cetim en automatisme continu.

VARIATEUR À TOUT FAIRE

Car en électromécanique, on ne jure plus que par le variateur à tout faire : non seulement il régule, mais il asservit ses petits camarades en parallèle, diagnostique, dialogue avec les hautes instances du process, cause Profibus, Ethernet et tutti quanti.

« Aujourd'hui, on assiste à l'avènement du variateur motion », confirme Michel Aubourg, « un variateur intègre une carte automate pour pouvoir piloter au plus près 4 ou 5 autres variateurs dans une relation maître-esclave. Le variateur se programme comme un automate ! »

Le variateur intègre d'ailleurs de plus en plus de fonctions (frein, diagnostic...) au profit d'une nouvelle architecture « au chevet » de l'actionneur. Avantages :

B&R



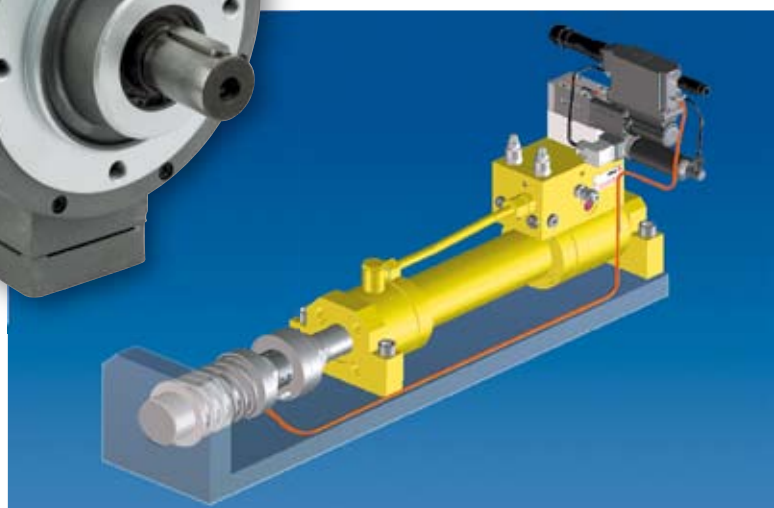
AcoposMulti

gain de place, gain de câblage par rapport à l'architecture déportée mais encore gain sur les temps de réaction grâce aux processeurs rapides et gain en résistance CEM.

Le temps de boucle a été divisé par cinq, flirtant avec les $50 \mu s$ environ. Beckhoff Automation a ainsi mis sur le marché l'eXtreme Fast Control Technology. « Comparée à des commandes actuelles sur bases PC, elle permet d'accroître la performance d'une puissance 10 avec des temps de cycle de $100 \mu s$, sans changer la commande centrale ou ses algorithmes. Le logiciel de contrôle temps réel réalise des temps de cycles réduits jusqu'à $50 \mu s$, et, avec EtherCAT, le système gère de 1000 entrées/sorties numériques décentralisées en $30 \mu s$. »

Cette rapidité offre une plus grande précision de suivi que ce soit en courant, vitesse ou position. « Un meilleur signal signifie

également un bruit de mesure moindre et moins de vibrations mécaniques : ces progrès amélioreront donc la durée de vie du matériel », souligne Michel Aubourg. Fi donc de l'automate centralisateur, on délègue à quelques variateurs maîtres le soin de diriger de petites équipes de composants esclaves, tous les ordres transitant par bus. Cette mouvance se traduit par la gamme Acopos de B&R automation industrielle (voir encadré), les Powerflex de Rockwell Automation, Sinamics pour Siemens, les Altivar chez Schneider Electric et les gammes ACS / multidrives de ABB.



La servovalve est en passe de s'intégrer directement dans les composants : ci-dessus, les servoactuateurs Atos et la pompe RKP de Moog, qui en prennent le chemin.

TRANSMISSION OPTIMALE

En hydraulique/pneumatique, on ne parle encore que de projets : « Demain, nous nous orienterons vers une électronique de commande de valves proportionnelles « toute numérique », assure David Fontaine, responsable communication



Le variateur intègre de plus en plus de fonctions au profit d'une nouvelle architecture « au chevet » de l'actionneur.

de Jtekt HPI, « ce qui apportera de nombreux avantages : l'absence de convertisseur analogique/numérique permettra une transmission optimale du signal, des vitesses de transmission plus élevées » et là aussi moins de risque de bruits dans la transmission des données ! Dans ces métiers aussi, l'informatisation fait rage : Sauer-Dan-

foss propose ainsi une gamme croissante de composants compatibles avec la suite logicielle Plus+1 : manipulateurs de télécommande, capteurs, distributeurs proportionnels modulaires, valves en cartouche, pompes... « La plupart de ces blocs fonctionnels compatibles Plus+1 représentent des centaines d'heures de programmation

« La sophistication des solutions n'est pas toujours utile. En effet, les solutions non électro-électronisées simples et robustes sont encore très appréciées »

et d'essais, mais pour l'utilisateur les quelques secondes d'un « glisser, déposer », explique le responsable du projet de compatibilité Plus+1, James Dorfler.

REINE SERVOVALVE

Mais dans la plupart des cas, la servovalve reste reine, l'électrohydraulique digitale donne le jour à de nouvelles approches (voir encadré Poclairn Hydraulics) et même est en passe de s'intégrer directement dans la pompe (RKP de Moog) ou le vérin (Atos est sur le chemin). Par ailleurs, l'électrovalve pilote déjà comme une grande et en douceur des systèmes de levage/manutention (All-in-One de Wandfluh).

Cependant, la sophistication des solutions n'est pas toujours utile. En effet, les solutions non électro-électronisées simples et robustes sont encore très appréciées,

RÉGULATION EN CASCADE : LES VARIATEURS ACOPOS



Le contrôle d'axes ne badine plus avec les variateurs : il exige précision et dynamisme de haut niveau ! B&R automation a pour cela intégré à ses variateurs Acopos un système de régulation numérique basé sur une structure en cascade position/vitesse/accélération et incluant une anticipation de vitesse. Les algorithmes de calcul sont réalisés par un processeur hautes performances.

La structure en cascade se compose d'un générateur de valeur de consigne suivi des trois boucles de régulation

position, vitesse et courant imbriquées dans cet ordre. La grandeur issue du régulateur de position constitue la vitesse de consigne pour le régulateur de vitesse, celle issue du régulateur de vitesse le courant de consigne pour le régulateur de courant. « Cette structure permet une régulation bien plus précise qu'un régulateur seul agissant directement », souligne Olivier Rambaldelli, responsable Marketing de B&R Automation France.

Dès qu'une commande de mouvement lui est transmise, le générateur de valeur de consigne délivre cycliquement, toutes les 400 μ s, une valeur de position suivant un profil de mouvement qui dépend principalement des paramètres de l'application : position à atteindre, accélération... Mais, « au début et à la fin d'un mouvement, au moment où la courbe de vitesse change, il se produit généralement un à-coup, toujours préjudiciable pour la mécanique, surtout lorsque la charge est importante », explique Olivier Rambaldelli. Pour éviter cela, le générateur de valeur de consigne transforme les profils d'accélération rectangulaires en profils trapézoïdaux, plus doux pour la mécanique.

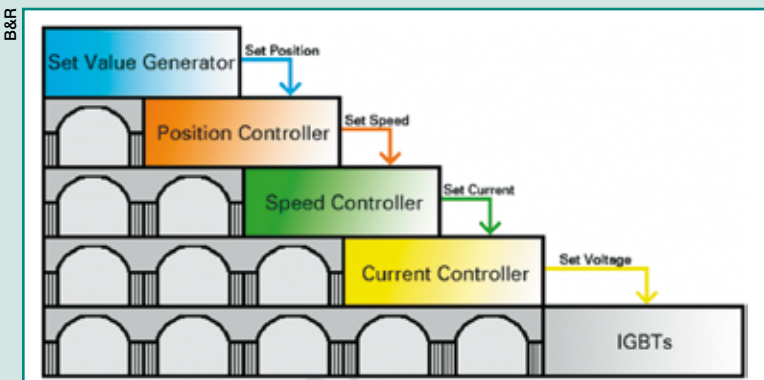
Le régulateur de position PI à boucle fermée réagit en fonction de l'écart entre la valeur de consigne et la valeur de position lue par le codeur. L'élément proportionnel du régulateur fournit le gain néces-

saire pour suivre les évolutions de vitesse dues aux changements de consigne ou aux perturbations. Son élément intégral permet de réduire l'écart résiduel (erreur de suivi) en régime permanent. Dans les Acopos, le régulateur PI est en outre doté d'un élément prédictif qui, en anticipant la vitesse, améliore la dynamique du système et réduit quasiment à zéro l'erreur de suivi lorsque la vitesse est constante.

Le régulateur de vitesse, lui, vérifie l'écart entre la valeur de vitesse issue du régulateur précédent et la vitesse mesurée obtenue par dérivation de la position codeur. C'est également un régulateur PI à boucle fermée. La sortie de ce régulateur est en plus dotée d'un filtre réjecteur éliminant les fréquences de résonance faisant osciller l'ensemble du système mécanique, particulièrement utile en cas d'accouplement direct.

Le régulateur de courant travaille avec l'écart entre la valeur de courant issue du régulateur de vitesse et le courant mesuré. Il envoie aux IGBT un courant modulé par impulsion (commande MLI) avec des temps de cycle de la boucle de courant pouvant descendre jusqu'à 50 μ s. Enfin, une fonction d'auto-réglage dite autotuning calcule automatiquement les paramètres de régulation.

Acopos travaille avec rapidité, précision et dans le respect de la mécanique commandée : des retombées positives en cascade sont à prévoir !



JTEKT HPI RÉNOVE LA RÉGULATION D'ÉNERGIE

Dans un contexte d'optimisation des coûts et de réduction de la consommation d'énergie, Jtekt HPI a élaboré un régulateur spécifique aux systèmes d'aéro-refroidissement des moteurs thermiques déportés tels que sur les cars, bus, engins de travaux publics, voiries et agricoles : le système breveté HMC (Hydraulic Motor Control).

Le HMC optimise de façon homogène l'aéro-refroidissement grâce à un système de transmission hydraulique couplé à un pilotage électronique intelligent. Compact, le moteur hydraulique intègre dans un même corps arrière les fonctions d'un limiteur de pression à commande proportionnelle, d'un clapet de réalimentation et en option d'un capteur magnétique qui boucle l'asservissement par la mesure de la vitesse de rotation du ventilateur.

Le calculateur du véhicule intègre la vitesse réelle du ventilateur et, en fonction, ajuste la consigne de pilotage de la valve proportionnelle. Il régule ainsi la vitesse de traînée de l'hélice aux limites des caractéristiques du moteur hydraulique et réduit le niveau de bruit provoqué par le brassage de l'air et la consommation de carburant. Le contrôle de seuils de vitesse d'alarme est réalisable de la même façon.

La carte mère peut recevoir alternativement des carte filles analogique ou numérique ; cette dernière répond au protocole le plus couramment utilisé dans le mobile : CAN SAE J1939-71. Une interface de paramétrage conviviale permet de sélectionner les capteurs de



Jtekt HPI

température suivant un menu déroulant reprenant la liste exhaustive de tous les capteurs de la norme, une zone spécifique est allouée aux codes de capteurs particuliers.

Mais ce n'est pas tout : d'autres fonctions sont comprises dans le système, dont la possibilité d'inverser le sens de rotation de l'hélice afin de décolmater l'échangeur, la possibilité de piloter proportionnellement et indépendamment deux blocs d'inversion de sens. Enfin, le partage des informations CAN du thermique permet de ne pas engager de surcoût de fourniture de capteurs analogiques supplémentaires.

PSA PEUGEOT CITROËN RENOUVELLE SES COMMANDES D'AXES BOSCH-REXROTH

Bosch Rexroth



Indradrive C

4000 personnes, 8000 moteurs fabriqués par jour, dont 90% de diesel : le site PSA de Tremery fonctionne à plein régime ! Fortement automatisé, il est équipé de 5000 axes numériques, dont 2000 Bosch Rexroth, qui usinent entre autres vilebrequins, bielles, carters, culasses et arbres à cames.

Bosch Rexroth, partenaire de longue date, y avait notamment installé 332 axes numériques Trans01 au début des années 90. Pour assurer la pérennité des lignes PSA, le groupe allemand a développé un système de commande basé sur un variateur Indradrive C et un IHM VCP05 afin de simplifier le remplacement en lieu et place des équipements en fin de vie.

Il fallait assurer la transition la plus simple entre le nouvel équipement et les anciens : « Nous ne souhaitons aucune modification, ni de câblage, ni de programmation », explique Jean-Marie Schoumacher, responsable automatismes du site de Tremery. La nouvelle commande TransMLD, intégrée au variateur Indradrive C, pilote désormais les applications mono-axe de l'usinage des carters. Convoyés sur des lignes transfert, ils y subissent sur un ensemble de machines successives des opérations d'usinage qui aboutissent à la réalisation de la pièce finale.

Rexroth a dû tout réadapter : le hardware et le software ont été personnalisés. Comme chaque axe commandé en boucle fermée exécute un programme d'usinage spécifique, chacune des commandes d'axe Indradrive C a été livrée avec le programme adapté et une connectique spécifique. L'énergie électrique

Bosch Rexroth



Ligne transfert équipée Trans01

ainsi que l'ensemble des entrées et sorties sont reliées par un unique connecteur. La résistance à l'environnement et notamment aux hautes températures a été prise en compte en équipant le coffret d'un fond en aluminium permettant de se dispenser d'un ventilateur externe.

En place depuis avril 2006, la commande à base d'IndraDrive C a également apporté bien d'autres avantages de la modernité : les transformateurs 220V triphasés ont disparu, toutes les données sont sauvegardées dans une carte mémoire statique (sans pile) et il est à présent possible d'archiver simplement ces données (programme d'usinage y compris) sur PC. Enfin, l'intégration des commandes dans les coffrets a été facilitée par la compacité IndraDrive C.

Le site de Tremery a servi d'expérience pilote pour PSA. Sa réussite présage du déploiement de cette solution dans l'ensemble des usines du constructeur.

Bosch Rexroth



carter cylindre en cours de convoyage sur la ligne transfert



Siemens

« La régulation est prise très au sérieux et cela dans un sens de plus en plus large qui la rend désormais difficile à isoler au sein du système »

qui s'améliorent au fil des précisions de jeu, des géométries et des montées en gamme des matériaux. Ainsi peut-on trouver, chez Pneumax notamment, des régulateurs de vitesse hydrauliques en traction ou en poussée, utilisant l'incompressibilité de l'huile qui passe d'avant en arrière et inversement à travers un régulateur de débit qui absorbe et neutralise les variations de vitesse du vérin pneumatique. Cherchez l'électronique !

Quoiqu'il en soit, la régulation est prise très au sérieux et cela dans un sens de plus en plus large qui la rend désormais difficile à isoler au sein du système : « Nous prenons dorénavant en charge la responsabilité totale de la fonction hydro-électrique allant de la génération de puissance jusqu'à l'électronique de commande en passant par les récepteurs et la distribution », déclare ainsi David Fontaine. Vaste programme !

Rockwell



Un variateur intègre une carte automate pour pouvoir piloter au plus près 4 ou 5 autres variateurs dans une relation maître-esclave.

LA RÉGULATION DE POMPE SELON POCLAIN HYDRAULICS

En hydraulique agricole, la bonne régulation de puissance est une composante de l'agriculteur heureux. La technologie SA développée par Poclain Hydraulics a pour but de distribuer toujours la bonne puissance au bon organe, que ce soit lors du travail des champs ou pour un transport sur route.

Pour ce faire, trois types de capteurs entrent en jeu et renseignent un calculateur SmartDrive™ : le potentiomètre de copie qui mesure la position du plateau-came s'allie au capteur de vitesse de rotation de la pompe pour informer le calculateur du débit exact délivré par la pompe. Le capteur HP, qui mesure la pression hydraulique, permet d'en déduire la puissance de transmission.

Le capteur de vitesse différentiel permet au calculateur de prendre en considération la vitesse de rotation de la pompe afin d'effectuer le déplacement des distributeurs proportionnels pour obtenir le débit d'huile voulu et ainsi la vitesse voulue.

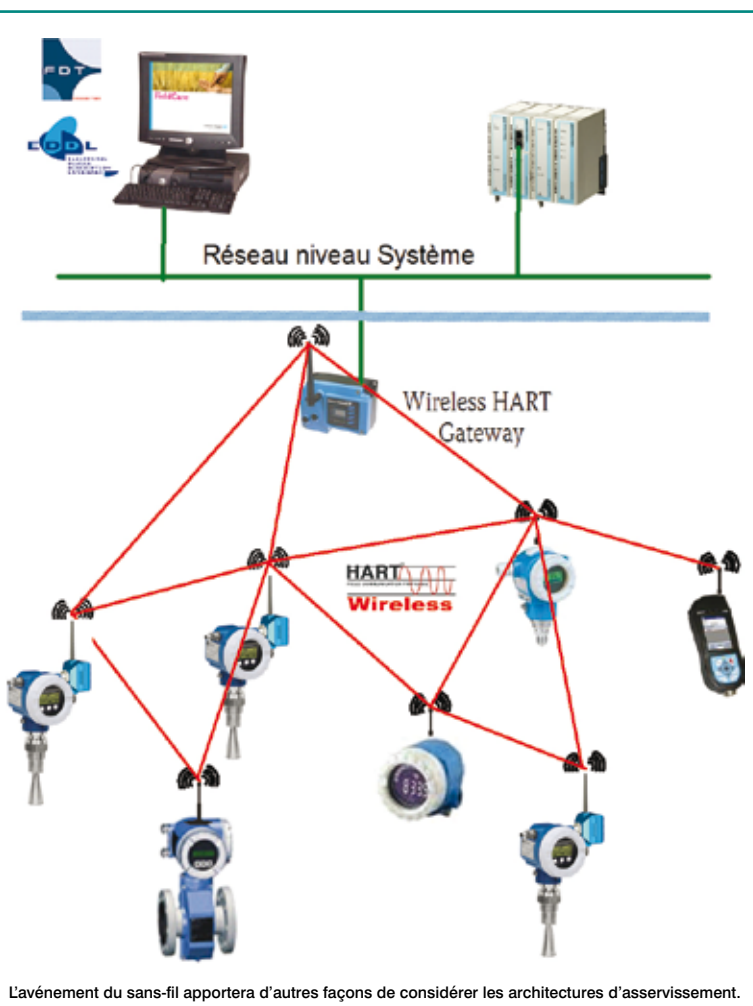
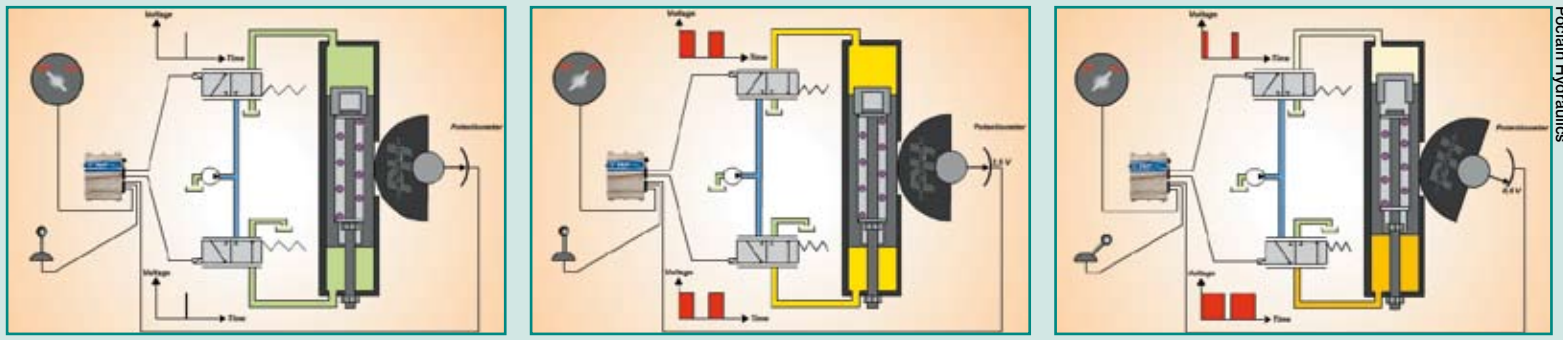
Le capteur de haute pression le renseigne sur l'état de pression de l'huile du circuit fermé pour réguler la puissance de la machine en fonction du travail effectué : en mode "Champ", il garde en permanence de la puissance pour les outils tout en régulant la puissance dans la transmission ; en mode "Route", il régule le transfert de la puissance du moteur thermique à la transmission hydrostatique pour

éviter d'endommager les composants hydrauliques.

La nouveauté réside dans la mesure permanente de la position du plateau-came. Une consigne est calculée par le calculateur SmartDrive™ à partir des signaux de la commande de cylindrée comparés à ceux combinés du capteur de vitesse et du potentiomètre. La PWM (Pulse Width Modulation = Modulation de la Largeur d'Impulsion) résultante est envoyée à chacun des deux solénoïdes constitués d'une bobine de commande et d'un distributeur proportionnel.

Ce signal a toujours la même fréquence, la système module son pourcentage d'état haut. Si le signal électrique de chaque électrovalve est proportionnelle, la pression en sortie de chaque électrovalve est elle aussi proportionnelle. Néanmoins, la variation de signal PWM entre l'état «repos» et l'état «marche avant» n'est pas linéaire. Elle est très importante au démarrage et lissée lorsque l'on s'approche de la cylindrée demandée. La régulation y est donc indispensable.

Comme ce système fonctionne grâce à une comparaison entre la consigne envoyée à l'électrovalve et la mesure de l'angle du plateau-came, la variation de cylindrée est très réactive et les chocs dans la transmission sont en grande partie absorbés. Le calculateur rectifie en permanence le moindre écart par rapport à la position désirée. Voilà le secret d'une conduite en souplesse et de semis biens répartis !



CAPTEUR CLÉ

Moyennant quoi, les combinaisons de composants se multiplient et se transforment au gré de leur miniaturisation et de leur intégration. Mais il ne faut pas oublier le capteur, élément clé de la régulation, à tel point que « la tendance est que ce soit les fabricants de capteurs qui traitent les applications et moins les fabricants de vérins », estime Pascal Gutton, Managing Director de Camozzi Pneumatique.

Le capteur ne se permet donc pas d'être technologiquement à la traîne. Réactivité, précision, vitesse de transmission des données entrent autant en ligne de compte pour lui que pour le contrôleur. D'où l'arrivée sur le marché de capteurs « sinus » qui envoient un signal sinusoïdal sur une carte d'interpolation qui le décrypte en comptage et positionnement. « On arrive à une précision de l'ordre du micron ! », s'extasie Michel Aubourg.

Par ailleurs, ces éléments s'étoffent et comprennent désormais dans un même produit le capteur proprement dit, la carte d'inter-

polarisation et le compteur. Ainsi, l'information est directement transférée par bus de terrain sous forme de données numériques.

Une dernière remarque : le bus de terrain, a peine entré dans les mœurs, se prépare déjà à céder sa place : « L'industrie n'échappe pas à la mode du « sans fil », remarquent les responsables d'Endress + Hauser. « Les annonces des constructeurs se multiplient et les utilisateurs commencent à s'intéresser au Wireless et aux perspectives qu'il laisse entrevoir. »

Appliqué aux instruments de terrain, capteurs comme actionneurs, le sans-fil va du simple configurateur local bluetooth au réseau de communication doté des mêmes fonctionnalités qu'un bus de terrain, le câblage en moins, voire à la transmission d'information à 6000 km via GPRS. Des problèmes de sécurité de l'information bloquent encore, mais les premières applications envisageables sont déjà sur les bureaux. ■

E.B.