

Pilotage réactif des systèmes de production à l'aide de capteurs intelligents

Eric GAUDREAU^{1,2}, Bruno AGARD², Martin TREPANIER², Pierre BAPTISTE²

1- Averno Technologies, 700 Wellington, Suite 1400, Montréal (Québec), H3C 1T4, Canada
eric.gaudreau@averna.com

2- Département de Mathématiques et de Génie Industriel, École Polytechnique de Montréal, C.P. 6079, succ. Centre-ville, Montréal (Québec), H3C3A7, Canada
[bruno.agard, martin.trepanier, pierre.baptiste]@polymtl.ca

RÉSUMÉ : Les entreprises font face actuellement à de nouveaux défis concernant l'utilisation des étiquettes d'identification RFID. Le RFID est cependant le plus souvent utilisé pour la fonction d'identification, ce qui nécessite encore de puissants systèmes informationnels en parallèle. Cet article vise à présenter le concept de capteur intelligent (CI), une nouvelle technologie plus autonome qui vise à assurer les fonctions d'identification, de transport d'information, de localisation, de mesure, de traitement de l'information et de réaction (prise de décision). Ce pilotage réactif fait à l'aide de CI implantés dans les pièces et les documents bouleversera le mode de gestion actuel de nos entreprises et nécessitera le développement d'un r-MES (Reactive Manufacturing Execution System) pour faire le pont avec les couches supérieures du système d'information.

MOTS-CLÉS : conception et pilotage des systèmes de production, capteurs intelligents, RFID, usine intelligente, réactivité

1 Introduction

En réaction avec l'impact d'une mondialisation combinée à une demande accrue pour une fabrication sur mesure, les entreprises d'aujourd'hui se doivent d'être flexibles et proactives dans la gestion interne de leurs opérations manufacturières. Certains dirigeants ont investi des sommes considérables dans des outils de planification et d'ordonnancement (ASP – Advanced Scheduling and Planning) et des systèmes de gestion manufacturière (MES – Manufacturing Execution System). D'autres s'orientent maintenant vers le déploiement de la technologie d'identification sans contact (RFID). Toutefois, nous croyons que la flexibilité et la proactivité des entreprises passera davantage par une adaptation des systèmes de gestion déjà en place ainsi que par une décentralisation de certaines décisions grâce à l'utilisation des capteurs intelligents.

L'arrivée des technologies RFID répond certes, dans un premier temps, au besoin criant de visibilité en temps réel des processus manufacturiers. Elle assure du moins une meilleure transparence quant à l'avancement des commandes en cours et une meilleure localisation des produits à l'intérieur de la chaîne logistique (Le Bizec, 2004b). Par contre, même avec l'arrivée précipitée de ces technologies, les mécanismes décisionnels internes à l'entreprise restent sensiblement les mêmes. Les décisions sont rarement prises au moment où l'information est disponible. Dans bien des cas, les données recueillies en temps réel par les technologies RFID sont ré-acheminées aux systèmes de gestion. Ceux-ci, guidés par de nouvelles données, font une mise à jour de la planification. Ils génèrent une liste de priorités et impriment de nouvelles directives ce qui suppose encore une fois un pilotage à retardement et non en temps réel de l'usine. L'organisation manufacturière dans son ensemble comporte

toujours une part importante d'incertitudes, tels des bris d'équipements, des retards de livraison, des absences de personnel, etc. Malheureusement, aucune application logicielle ou loi statistique ne peut prévoir avec certitude les occurrences de ces impondérables. Par le fait même, gérer en mode planification implique nécessairement un effort considérable dans la modélisation d'une multitude de scénarios probabilistes.

Qu'advient-il alors de nos systèmes de gestion actuels si certaines décisions sont prises en charge directement par des machines (ou des pièces)? Si une machine est en mesure, suite à un bris, d'appeler le technicien le plus apte à résoudre son problème? Où encore si l'équipement communique directement avec les pièces pour les informer du bris et de la nouvelle route alternative? Cet article ne vise pas à répondre *a priori* à toutes ces questions qui feront l'objet de recherches ultérieures. Il introduit plutôt le concept de capteur intelligent (CI) en les situant par rapport aux technologies d'identification et de localisation existantes sur marché (code à barres, GPS, RFID, LPS).

La venue des CI permettra de tendre vers une gestion réactive des usines, où une action implique nécessairement une réaction immédiate, donc une décision sur-le-champ. À l'aide d'exemples d'applications nous tenterons de démontrer le potentiel des CI et l'effet qu'ils auront sur nos systèmes de gestion actuels. De plus, l'article propose l'amorce d'une refonte importante du MES standard. Le *Reactive Manufacturing Execution System* (r-MES), évoque les concepts de décentralisation et d'automatisation des prises de décisions grâce à l'utilisation des CI.

2 L'arrivée des capteurs intelligents

Différentes technologies disponibles sur le marché assurent les fonctions de capture d'information, d'emmagasinage et/ou de transmission. Actuellement, de nouvelles poussées technologiques permettent un traitement et une décision locale face aux données collectées. Ceci entraîne une évolution significative de la notion de "capteur" puisque celui-ci se trouve maintenant capable de traiter, synthétiser et prendre des décisions.

Cette section présente un état des lieux des fonctionnalités disponibles pour différentes technologies expérimentales bientôt disponibles pour l'industrie. L'intégration de plusieurs fonctionnalités nous conduira naturellement aux "capteurs intelligents". L'utilisation de ces capteurs intelligents sera illustrée à travers un exemple expérimental.

2.1 Analyse comparative des fonctions informationnelles

Cette section présente un éventail de fonctions informationnelles pouvant être remplies par différentes technologies. Les fonctions présentées ont été classées selon leurs utilisations en milieu industriel. La figure 1 en dresse une cartographie.

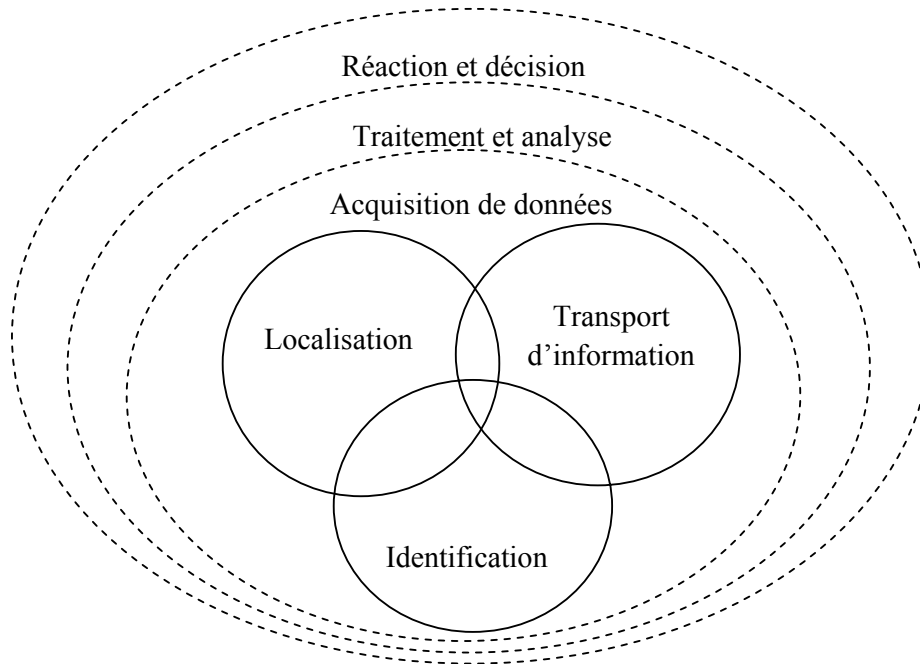


Figure 1. Fonctionnalités de base et fonctionnalités étendues.

a) Identification

La fonction d'identification consiste à avoir un différenciateur unique (une clé) permettant d'authentifier de manière individuelle un élément donné. Il existe de très nombreux systèmes d'identification utilisés dans l'industrie. Plusieurs entreprises procèdent au marquage de pièces ou de sous-ensembles (sur le bloc moteur d'une voiture par exemple) ce qui leur permet à tout instant remonter l'information et de connaître certaines caractéristiques d'un produit spécifique.

L'identification nécessite l'utilisation de références externes ou des bases de données. En utilisant ces sources de référence externe, il est possible d'associer une multitude d'information à l'identificateur unique (le fabricant, la date de fabrication, le numéro de lot, etc.). Le code à barres par exemple, régit l'identification des produits et assure une traçabilité de ceux-ci en cours de fabrication. Il permet de suivre une pièce ou un lot de pièce. Toutefois, celui-ci nécessite néanmoins l'utilisation d'un système informatique pour assurer la liaison entre la clé d'identification et l'information que l'on souhaite collecter (Le Bizec, 2004a).

L'étiquette RFID (*radio frequency identification tags*) quant à elle, est en mesure d'emmagasiner une plus grande quantité d'information. On parlait en 2003 d'une capacité équivalente à 4 kilooctets (RFID Journal, 2003). Cependant, même aujourd'hui, les étiquettes RFID sont utilisées que pour emmagasiner l'identificateur unique et très peu d'entreprises utilisent au maximum la mémoire interne des unités. Une base de données externe est souvent employée pour emmagasiner l'information en référence au produit fabriqué.

b) Transport d'information

Il y a transport d'information lorsqu'il y a la possibilité d'attacher des données à un élément mobile (via une carte à puce, par exemple). L'élément concerné a pour seule fonction l'emmagasinage et le transport. C'est grâce à des systèmes annexes que l'information emmagasinée prendra toute sa signification. Contrairement aux systèmes d'identification,

ceux-ci n'impliquent pas nécessairement l'utilisation d'une base de données centrale pour faire le lien entre la clé et l'information. La carte à puce utilisée en transport collectif est un exemple de système de transport d'information (Trépanier *et al.*, 2004). Les étiquettes RFID sont également conçues pour y inscrire de l'information, ce qui en fait de bons "transporteurs".

c) Localisation

La localisation permet de connaître en tout temps la position d'un élément donné. Les technologies LPS (*local positioning system*) et GPS (*global positioning system*) permettent de connaître la localisation dans un référentiel local (dans une usine, par exemple) ou global (autour du globe, à l'extérieur des édifices). Dans certains cas, en l'absence de communication en temps réel, l'élément localisé connaît sa position, mais pas le système. Dans d'autres cas, le système de localisation connaît la position de l'élément localisé, mais pas celui-ci (Navon R., Goldschmidt E., 2002).

d) Acquisition de données

Nous parlons d'acquisition de données pour un système capable de collecter des informations provenant de son environnement immédiat. Par exemple, il peut s'agir d'un capteur de température, d'un hygromètre, d'un accéléromètre, d'un détecteur de produits chimiques donnés, etc. Les données acquises peuvent être emmagasinées ou non par le capteur. Les systèmes d'acquisition de données en industrie sont habituellement fixes ou liés à des systèmes mobiles.

e) Traitement et analyse

Les fonctions de traitement et d'analyse consistent à traiter des données (de manière individuelle ou globale) afin de retourner une information agrégée qui permettra d'avoir une perspective plus globale d'une situation donnée. Par exemple, faire l'acquisition de températures et établir une moyenne ainsi qu'un écart type des données recueillies.

f) Décision et Réaction

Cette fonctionnalité tire profit des fonctions de traitement et d'analyse. Celle-ci consiste à prendre les résultats émanant du traitement, de le comparer avec les seuils d'acceptation et de poser un diagnostic (décision). Une déviation à une spécification ou un seuil d'acceptation, implique la génération d'une nouvelle chaîne d'évènements (réaction). Ces évènements peuvent alors prendre la forme d'une alerte, d'un ajustement de procédé ou d'un traitement plus approfondi ou d'une requête pour une intervention humaine.

2.2 L'introduction d'un nouveau type de capteurs intelligents

Le tableau 1 remet en perspective les différentes fonctions présentées plus haut en les associant aux technologies actuelles et leurs utilisations intrinsèques (ce à quoi elles sont destinées). Comme on le constate, le RFID sert à l'identification et au transport d'information, tandis que les fonctions d'acquisition, de traitement et d'analyse sont l'apanage d'instruments existants en entreprise. Les capteurs intelligents (CI) assurent l'ensemble des fonctions dans un dispositif de taille réduite pouvant être fixé sur une pièce ou un emballage.

	Code à barres	Carte à puces	GPS et LPS	RFID	Capteur de temp., accéléromètre, etc.	Traitement du signal, convertisseur	Système de régulation, système d'alerte, ...	CI
Identification	X	X		X				X
Localisation			X					X
Transport d'information		X		X				X
Acquisition de données			X		X			X
Traitement et analyse			X			X		X
Réaction et décision							X	X

Tableau 1 : fonctions et technologies

Ces capteurs intelligents seront sous peu sur le marché, avec un volume de l'ordre du centimètre cube. Leur fonctionnement diffère des étiquettes RFID passives et des cartes à puces qui contiennent toutes les deux une antenne et une puce mémoire (voir figure 2). Les CI ont l'avantage d'être muni d'un processeur autonome pouvant exécuter un programme et une application logicielle pouvant entreprendre des fonctions de type décision et réaction. Tout comme les étiquettes RFID actives, les CI disposent d'une source d'énergie autonome. Ils peuvent être configurés avec des capteurs variés, choisis selon les mesures désirées tels thermocouples, capteurs de pression, lecteurs de PH, etc. Au niveau de la localisation, des systèmes de positionnement par triangulation sont même envisageables. Finalement, les CI pourraient même établir une communication bidirectionnelle avec les systèmes de l'entreprise, en autant que l'architecture de ces derniers soit revue et adaptée, d'où la présentation d'un nouveau modèle à la section 3.

Actuellement, les capteurs intelligents sont difficilement utilisables dans un contexte de production de masse en raison de leurs dimensions et de leur coût. Toutefois, la standardisation de cette technologie ainsi que l'augmentation de son utilisation risque de la rendre, plus accessible dans un futur proche. Les CI sont, à notre avis, à la base même du concept de "produit intelligent" initié par McFarlane et al. (2003), qui est un produit "en mesure de participer à sa propre destinée".

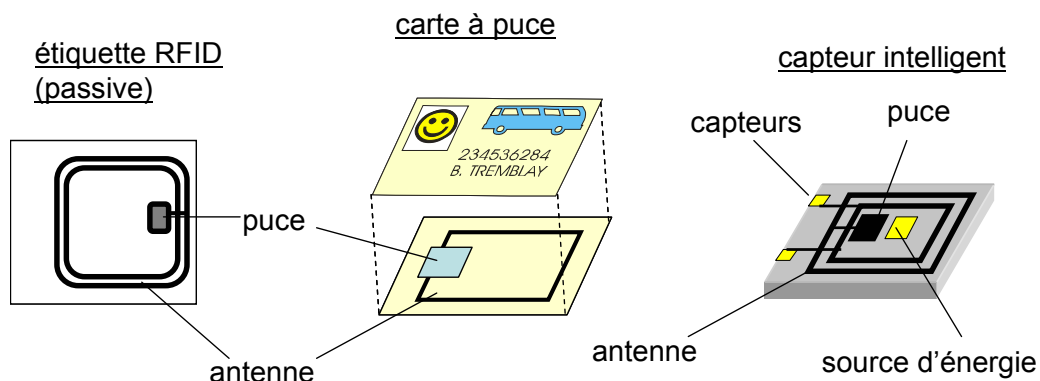


Figure 2: technologies RFID, carte à puce et CI

2.3 Champs d'application

Les CI permettront aux pièces (et aux documents, dans le cas des services) de "mesurer" leur environnement extérieur et leur état afin d'informer le système d'information de l'entreprise, en tirer des informations pertinentes et "prendre" des décisions concernant leur qualité, leur fabrication et leur utilisation. Les champs d'application des CI sont très nombreux. Nous prévoyons des applications de traçabilité, de suivi et de gestion réactive, que se soit aussi bien dans les systèmes manufacturiers, les services que la gestion des ressources humaines.

2.4 Montage expérimental

Le montage expérimental suivant (figure 3) est doté de capteurs intelligents de type "réaction et décision". Celui-ci représente un processus industriel pharmaceutique qui requiert une opération de refroidissement à température contrôlée. Cette étape est cruciale puisqu'elle altère les propriétés chimiques du mélange et joue un rôle important sur la qualité des produits finis. La période de refroidissement est d'une durée d'environ 30 minutes, pendant laquelle les produits se déplacent en boucles sur un convoyeur à bande. Des CI sont introduits dans le procédé de refroidissement à intervalles réguliers. Ceux-ci sont munis de thermocouples permettant ainsi de faire une acquisition de température tout au long du déplacement. Les CI circulent avec les produits enregistrant sur leur passage la température en fonction d'une position précise sur le convoyeur.

Par le montage expérimental, nous cherchons avant tout à démontrer trois types de réactions possibles suite à une prise de décision du CI. Les réactions observées sont : capteur – capteur, capteur – machine et finalement, capteur – humain. À l'aide d'une application logicielle typique de contrôle de température installée dans les CI, nous sommes aptes de valider la température $T(x_i, t_j)$. Lorsque celle-ci dépasse les limites de contrôle, le capteur informe directement le système de rejet (capteur – machine) le plus prêt. Le système de rejet reçoit un premier signal de rejeter les trois produits en aval du CI. Toutefois, ce même capteur fera aussi une requête pour vérifier si la problématique est plus généralisée. Pour ce faire, il fera appel alors à un deuxième capteur (capteur – capteur) cette fois-ci situé en aval sur le convoyeur pour récupérer la température $T(x_{i-1}, t_j)$. Si celle-ci dépasse les limites de contrôle permises, ce même capteur informe de nouveau le système de rejet du nombre exact de rejet qu'il devra éliminer du système. Cette valeur correspond au nombre de produits entre les deux capteurs.

Finalement, lorsque le nombre de produits à rejeter dépasse 20 unités, les CI sur le convoyeur informeront directement l'opérateur via un capteur intelligent installé sur lui. Celui-ci peut alors visualiser l'alarme, vérifier les profils de température en cours ou les quantités rejetées. Un PDA muni d'un émetteur de type "bluetooth" permet à l'opérateur de communiquer directement avec son capteur ou d'autres capteurs présents dans le procédé.

L'expérimentation ci-haut décrite, représente un processus décisionnel effectué sans l'apport d'un système d'information centralisé. Ainsi, les décisions relatives à l'environnement sont prises localement et sur-le-champ appuyant le modèle du pilotage réactif.

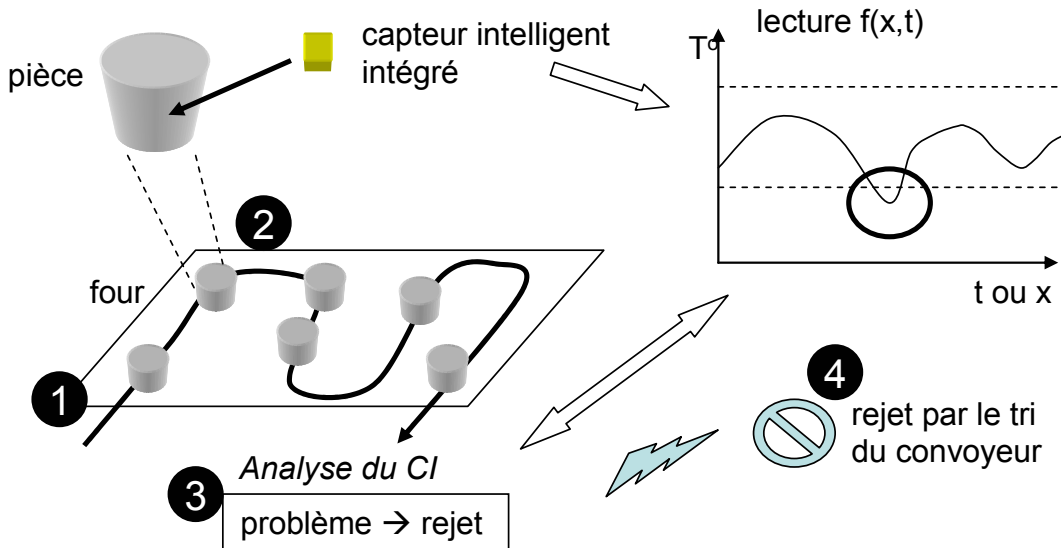


Figure 3: montage expérimental d'utilisation de type "réaction et décision"

Le même principe peut s'appliquer aux déplacements des marchandises sur les réseaux de transport. Les CI intégrés aux pièces pourraient mesurer la température, les accélérations, les chocs ou autres paramètres en relation avec le bien transporté, ce qui leurs permettrait "d'avertir" le point de destination (ou de départ) d'éventuels problèmes. Dans le même contexte, les CI à bord peuvent être utilisés pour contrôler les conditions de transport en communiquant avec le véhicule. Ceci est une réalité puisqu'il existe déjà des systèmes régulateurs automatisés; l'avantage est ici apportée par l'individualisation de la mesure (chaque CI indique ses besoins, un peu comme les passagers d'un véhicule).

3 L'usine intelligente en temps réel

Cette section exploite les capacités des capteurs intelligents pour montrer leurs interactions futures avec les *manufacturing execution systems* actuels. Les MES auront avantages à tirer profit de l'information produite (et en partie traitée) par ces capteurs. Par le fait même, les fonctionnalités croissantes des CI auront certes tendance à amputer les MES de certaines activités leur incombant. Ceci nous amène à introduire un nouveau concept de MES soit : la *Reactive Manufacturing Execution System* ou (r-MES).

3.1 Limitation des modèles MES existants

MESA (l'organisation régissant le MES) présente un nouveau modèle de MES: le c-MES pour *collaborative MES* (MESA, 2004). À la différence du modèle précédent soit (I-MES) pour *integrated MES* établi en 1996, le c-MES propose un recentrage sur les fonctionnalités de base d'un MES. Le I-MES comprenait 11 fonctions soit : *resource allocation and status, dispatching production unit, data collection/acquisition, quality management, maintenance management, performance analysis, operations detail scheduling, document control, labor management, process management et finalement, product tracking and genealogy*. Le nouveau modèle n'en contient plus que 8 : *maintenance management, document control et operation detail scheduling* ne font plus partie des fonctionnalités intégrales du MES d'origine. Toutefois, l'architecture du *collaborative MES* se veut plus ouverte pour répondre au besoin de partage de données avec les autres systèmes d'entreprise tels les ERP, SCM,

CRM... Le c-MES mise davantage sur l'utilisation de protocoles standards de communication afin de faciliter l'échange de données entre les systèmes voir certains modules spécifiques tel l'allocation des ressources dans le MES et la planification de celles-ci dans le ERP.

Cependant même avec ces nouveaux changements, le modèle du c-MES est toujours fondé sur une plate-forme logicielle centralisée. Bref, un MES où l'information du plancher est récupérée en temps réel, centralisée et ensuite traitée. Les décisions sont toujours prises à retardement puisque l'information est utilisée en majeure partie pour revoir la planification courante. Le modèle que propose MESA est un recentrage fonctionnel avec des notions d'architecture ouverte grâce à la mise en place d'API – *Application Public Interface*. Ce nouveau modèle n'est en fait qu'un repositionnement fonctionnel causé par l'arrivée en force d'applications spécialisées de même que les efforts continus des ERP traditionnels qui cherchent à intégrer la fonction production dans leur système de base. Ces deux facteurs font perdre des parts de marché importantes qui historiquement étaient des niches dédiées au MES.

3.2 Introduction de la notion holonique

Cheng *et al.* (2004) comparent l'ancien MES (Integrated MES ou IMES) à un nouveau modèle soit le HMES pour Holonic MES (aussi évoqué dans Fletcher *et al.* 2003). Ce nouveau modèle comparativement au MES standard implique la décentralisation de certaines fonctionnalités telles le suivi des unités en cours et la gestion des équipements. Ces modules indépendants agissent de façon autonome dans le traitement et la prise de certaines décisions. Les modules deviennent des holons qui possèdent leurs propres stratégies d'identification, de sécurité et d'autocorrection. L'utilisation des concepts holoniques dans l'architecture d'une nouvelle forme de MES est certes très intéressant puisqu'elle représente un premier pas vers la décentralisation de certaines informations, voir certaines décisions. Cependant, le modèle s'arrête à une décentralisation des fonctions principales du MES (Holon labor management, Holon quality management, Holon dispatching, Holon resource allocation & status, etc..). Nous croyons cependant, que l'arrivée des CI permettra de poursuivre cette décentralisation jusqu'aux machines, pièces et humains pour mettre à profit la notion de prise de décision locale et de pilotage d'usine en mode réactif.

3.3 Introduction de la notion traçabilité des humains à l'aide du RFID

Navon and Goldschmidt (2002) expliquent, entre autre, les différentes technologies GPS, LSP, RFID avec les forces et faiblesses de chacune dans un contexte de traçabilité sur les chantiers de construction. Les auteurs nous présente un modèle qui utilise les capteurs RFID pour assurer la traçabilité des ressources humaines. En temps réel, on y fait la corrélation entre l'humain et le lieu d'intervention. Ceci permet entre autre d'évaluer l'avancement des travaux en fonction des activités en cours. L'utilisation des technologies énoncées permet, à des intervalles de temps régulier, de donner de l'information sur la position des personnes sur le chantier et d'en dériver les tâches en cours et terminées. L'écart entre la planification et le réel est alors immédiatement mesuré et des actions correctives prises. Aucune saisie d'information manuelle n'est effectuée par le personnel en cours de journée, la collecte s'effectue automatiquement. L'information est alors immédiatement disponible et acheminée aux contremaîtres. Mise à part, nos contraintes de société et l'impact sur les droits de la personne, la traçabilité des humains tout compte celle des pièces et des machines est un

maillon important de la chaîne de prise de décision. Si les auteurs nous démontrent l'intérêt d'établir des corrélations automatiques entre une location et un humain à un temps donné, nous croyons qu'il serait d'autant plus prometteur d'évaluer l'impact d'établir des corrélations entre les pièces, les humains, les machines et l'environnement et ce, en temps réel.

3.4 Introduction d'un nouveau modèle MES

À long terme, le MES est voué à perdre d'autres fonctionnalités toujours au dépend d'applications spécialisées ou du ERP. Par contre, ce qui prolonge la vie du MES est la complexité de communiquer avec la variété d'équipements, de procédés ou d'instruments industriels. Tous possèdent leurs propres langages rendant difficile voir complexe d'échanger des données sans posséder une expertise en automation. Même cette fonctionnalité (data collection et acquisition) jusqu'ici protégée de la menace des ERP, est simplifiée par l'arrivée du standard de communication industriel OPC (*open connectivity via open standard*). Le protocole OPC régit la communication entre les équipements et les applications logicielles externes.

De plus, appliquant la théorie des holons (Cheng *et al.*, 2004) et en introduisant des technologies telles les capteurs intelligents capables de prendre des décisions localement, la raison d'être du MES et des logiciels de planification devient questionnable ? Pour subsister, le MES devra, selon nous, se spécialiser davantage dans la gestion et l'assignation en temps réel d'évènements de production. Il pourra être enrichi avec des outils de data mining (Agard et Kusiak, 2005). Il devra être conçu pour traiter l'information en provenance de différents holons (machines, humains, pièces et environnement). Cette nouvelle fonction en fera un puissant serveur de transactions spécialisé dans l'échange rapidement d'information. Son rôle sera essentiellement de transférer l'information entre les holons ou d'un holon à une application externe (ERP, ASP, etc).

Finalement, pour assurer une collaboration étroite entre les holons ou les autres applications, il suffit d'implanter la notion d'abonnement à un service (service représente un regroupement d'information). Par exemple, un holon pourra décider de s'abonner (en fonction d'un événement se produisant en temps réel sur le plancher d'usine) via le serveur de transaction au service d'information provenant d'un autre holon (par exemple, le service "\HOLON 25>alertes_type2" représente une demande d'abonnement aux informations de type alertes provenant de l'holon 25 ou de la machine 25). Les abonnements seront gérés en temps réel par le serveur de transaction, donc par le MES qui assure la sécurité des transactions.

Voici un bref exemple d'application. Lorsqu'on instrumente une machine avec un capteur intelligent qui possède ses propres algorithmes de décision et de traitement. Celle-ci devient par le fait même une forme primaire d'holon. Si maintenant, cette même machine tombe en panne, elle peut (au besoin) aller chercher des informations additionnelles lui permettant de mieux diagnostiquer la problématique. Elle pourra communiquer alors avec le serveur de transaction, s'abonner en temps réel au service d'information d'un holon spécifique (machine, humain ou pièce). Le serveur de transaction autorisera l'abonnement et communiquera la demande au holon interpellé. Celle-ci s'activera et transmettra l'information demandée utilisant si nécessaire le serveur de transaction du MES.

Par le modèle présenté, nous cherchons à gérer uniquement les cas d'exceptions en temps réel. Ces propositions constituent ce que nous avons appelé le "reactive MES".

4 Conclusion

Les entreprises d'aujourd'hui doivent mettre en place une infrastructure intelligente leurs permettant de prendre des décisions rapides afin de s'adapter en temps réel aux variabilités internes et externes de la production. L'arrivée des capteurs intelligents sur le marché favorisera une décentralisation et une automatisation de certaines décisions en l'occurrence celles indispensables pour gérer les conditions d'exception, les imprévus. Appuyé sur les concepts holoniques et l'émergence de capteurs intelligents, le modèle existant du MES doit s'adapter, se transformer pour devenir une plate-forme transactionnelle manufacturière spécialisée dans la gestion et l'échange d'évènements, de réactions provenant de ces nouvelles cellules autonomes et intelligentes que sont les holons.

5 Références

- Agard B., Kusiak A. (2005) « Chapter 192: Computer Integrated Manufacturing: A Data Mining Approach », in R.C. Dorf (Ed.), *The Engineering Handbook, Second Edition*, CRC Press & IEEE Press, Boca Raton, FL, pp.192.1 - 192.11.
- Cheng F.-T., Chang C.-F., Wu S.L. (2004) « Development of holonic manufacturing execution systems », *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 15, pp. 253-267.
- Fletcher, M., Brennan, R.W., Norrie, D.H. (2003) « Modeling and reconfiguring holonic manufacturing systems with Internet-based mobile agents », *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 14, pp. 7-23.
- Le Bizec J.-M. (2004a) « La RFID s'annonce-t-elle comme le nouvel eldorado des logisticiens de la décennie? », *Logistics*, Vol. 8, No. 4, pp. 38-39.
- Le Bizec J.-M. (2004b) « La RFID s'annonce-t-elle comme le nouvel eldorado des logisticiens de la décennie? 2^e partie », *Logistics*, Vol. 8, No. 5, pp. 48-49.
- McFarlane, D., Sarma, S., Chim, J.L., Wong, C.Y., Ashton, K. (2003). « Auto ID systems and intelligent manufacturing control », *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 16, pp. 365-376.
- MESA, (2004) « MESA's next generation collaborative MES model », *MESA white paper* 8, 5.2004.
- Navon R., Goldschmidt E. (2002) « Monitoring labor inputs: automated-data-collection model and enabling technologies », *Automation in Construction*, Vol. 12, pp. 185-199.
- RFID Journal (2003), « New RFID Tag with More Memory », *RFID Journal*, <http://www.rfidjournal.com/article/articleview/544/1/1/>
- Trépanier, M., Barj, S., Dufour, C., Poilpré, R. (2004) « Examen des potentialités d'analyse des données d'un système de paiement par carte à puce en transport urbain », *CD-ROM / Congrès de l'Association des transports du Canada*, Québec, Septembre 2004.