

LES SYSTEMES HOLOGIQUES

Sujet: Les systèmes holoniques

Verbe: Préparer le futur

Complément: De quoi seront faits les systèmes manufacturiers du futur ? Plusieurs chercheurs travaillent sur ce sujet, nous avons rencontré une équipe américaine qui a accepté de décrire l'une des voies sur laquelle elle travaille. Et cela, en exclusivité pour Terrain.

A quoi les systèmes de fabrication et d'automatisation du futur ressembleront-ils ? Les prédictions abondent sur le sujet. Avec beaucoup de discrétion, un petit groupe de sociétés et d'universités de par le monde travaille sur une méthode de contrôle de production révolutionnaire. Ce groupe représente des marchés allant du Japon au Canada, en passant par l'Europe, l'Australie et les Etats-Unis. Certains membres sont des compagnies manufacturières de tout premier rang telles Broken Hill Proprietary (BHP), Nestlé ou Mercedes Benz, d'autres sont spécialisés en composants et systèmes d'automatisme industriels comme Rockwell Automation Allen-Bradley, un des leaders mondiaux dans ce domaine. Enfin le groupe inclut des consortiums industriels (keiretsus) tels Hitachi et Toshiba.

Tous sont convaincus que les systèmes de production et d'automatisation de demain seront construits autour d'une toute nouvelle technologie, les systèmes holoniques. Leur conviction est que le constituant de base de ces systèmes - le "holon"-, sera un agent autonome, intelligent et coopératif, et que ses avantages permettront l'avènement d'un nouveau modèle d'entreprise, l'entreprise agile du XXIème siècle.

● Un peu d'histoire

Les principes de base des systèmes holoniques furent introduits en 1971 par Arthur Koestler dans un livre prophétique intitulé "The Ghost in the Machine"¹. Koestler introduisit l'idée qu'un petit nombre de principes essentiels suffit pour expliquer la capacité qu'ont les systèmes sociaux et biologiques à s'autoréguler. Il proposa le terme holon pour décrire l'élément de base de ces systèmes. Ce mot combine la racine grecque holos qui veut dire "entier", avec le suffixe -on qui veut dire "partie", comme dans proton ou neutron. En effet, les holons agissent comme des entités individuelles autonomes, qui pourtant coopèrent pour former des hiérarchies complexes et spontanées de sous-systèmes telles que la hiérarchie cellule/ tissu/ organe/ système en biologie. Koestler utilisait le terme holarchie pour décrire ces hiérarchies holoniques. Après quelques années de curiosité, le travail de Koestler sombra progressivement dans l'oubli.

Au début des années 1980, les systèmes de production furent révolutionnés par des concepts de fabrication japonais organisés autour de la minimalisation des stocks. Cette évolution radicale des

TABLEAU 1- BESOINS ESSENTIELS DES ARCHITECTURES DES SYSTEMES DE PRODUCTION DU XXIEME SIECLE⁵

- **Contrôle des perturbations** : meilleure identification et réaction plus rapide aux pannes de machine, prises de commandes urgentes, dysfonctionnements imprévisibles des procédés, erreurs liées aux opérateurs, etc...
- **Intégration homme-machine** : meilleure utilisation de l'intelligence de l'opérateur
- **Disponibilité** : meilleure fiabilité et maintenance malgré l'augmentation de la taille et de la complexité du système
- **Flexibilité** : possibilité de changer fréquemment le produit lui-même, les pourcentages des différents produits au sein du système de fabrication, lots de fabrication de petite taille
- **Robustesse** : garder le système opérationnel en dépit des pannes, grandes ou petites

systèmes de production remet à la mode les concepts de production flexible, de fabrication à la commande, de lot de produit unique, etc. Ces concepts sont souvent rassemblés en termes d'agilité, ou d'entreprise de production agile du XXIème siècle. Les caractéristiques essentielles de ces entreprises et de leurs systèmes de production et d'automatisation peuvent être décrites comme suit :

L'entreprise de production agile est capable de développer rapidement des produits entièrement nouveaux. Elle assimile facilement les avancées technologiques et les problèmes de ses clients, modifie constamment ses produits pour incorporer de nouvelles optimisations. Les produits qu'elle développe sont conçus pour évoluer rapidement. Au lieu de devoir remplacer un système, les utilisateurs de ces produits peuvent rapidement changer leur configuration ou ajouter de nouveaux modules lorsque les besoins changent ou que de nouveaux produits apparaissent. Parce que d'une part les nouveaux systèmes de production et d'automatisation sont reprogrammables, reconfigurables, et peuvent être changés à faible coût, et parce d'autre part ils sont intégrés avec des systèmes de contrôle de production qui ont un accès direct aux données de production, la taille d'un lot de production n'a pas d'importance. Le coût de production est le même pour dix mille unités d'un même produit ou pour dix mille variantes de ce produit. La fabrication agile produit à la commande [...] De la même façon, la qualité du produit n'est plus mesu-

rée en nombre de défauts par unités produites, mais en fonction de la satisfaction de l'utilisateur tout au long de la vie du produit².

Pendant que les concepts de fabrication agiles apparaissent aux Etats-Unis, des tendances identiques produisent une approche similaire au Japon sous le nom de Systèmes de Production Intelligente (Intelligent Manufacturing Systems ou IMS). Après une étude approfondie³ de l'évolution de l'automatisation - d'une durée de cinq ans - le gouvernement Japonais proposa un programme international de recherche et développement pour développer et standardiser IMS, fondé sur la définition suivante :

[...] un système qui combine les systèmes de fabrication, le personnel et l'équipement intelligent, [...] et qui intègre toutes les activités de l'entreprise [...] de façon flexible et en améliorant la productivité⁴.

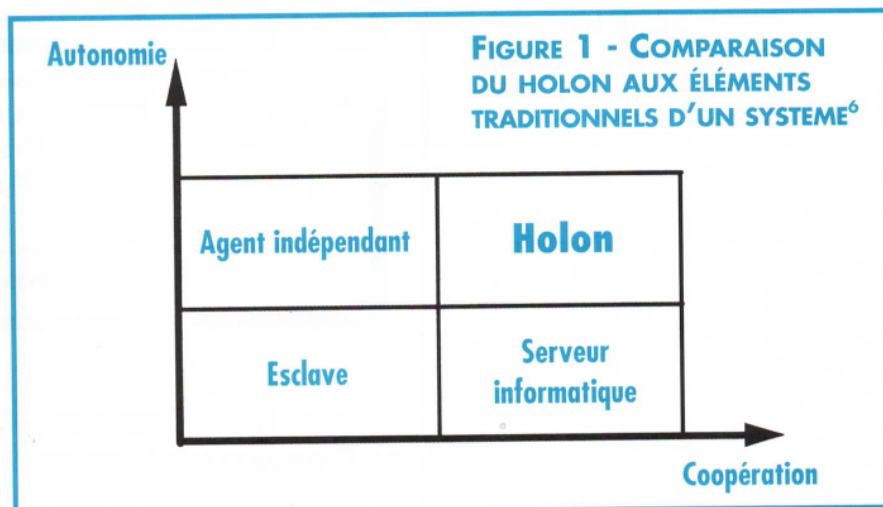
Après deux ans de négociations intensives, une étude de faisabilité fut lancée en février 1992 par les représentants des USA, du Japon, de la Communauté Economique Européenne (CEE), de l'Association Européenne de Libre Echange (AELE). La recherche fondamentale du programme IMS fut répartie en six groupes, avec 12 mois pour développer une étude préliminaire - la conclusion devant être rendue en mars 1994.

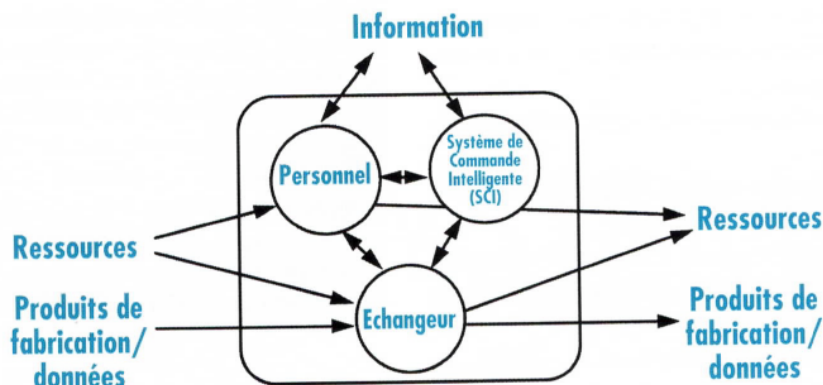
● Systèmes holoniques Principes de base

Dans le contexte des systèmes de production et d'automatisation, un holon est un module autonome et coopératif utilisé pour transformer, transporter, stocker ou valider des données ou des entités. Autonomie indique la capacité qu'a un module indépendant de concevoir et d'exécuter ses propres plans. Coopération indique la façon dont plusieurs modules indépendants développent ensemble des plans communs et les exécutent harmonieusement.

● Systèmes holoniques Tableau de charge

Le **Tableau 1** présente une liste des besoins essentiels des architectures de fabrication du futur. Cette liste a été obtenue par sondage auprès des membres du groupe HMS. Naturellement, ces besoins sont également ceux de l'entreprise de production agile définie plus haut.





**FIGURE 2 -
LE HOLON : MODELE GÉNÉRIQUE D'ACTIVITÉ⁸**

Modèles architecturaux

La Figure 1 montre les différences entre les composants des systèmes holoniques et ceux d'architectures plus classiques telles que maître-esclave ou client-serviteur.

La Figure 2 illustre ce que pourrait être l'architecture d'un holon tel que celui décrit plus haut. Cette architecture combine les concepts japonais³ des années 80 avec ceux du Modèle Général d'Activité (MGA) développé par ISO TC184/SC5⁷.

La Figure 2 montre qu'un holon peut avoir des interfaces au travers desquelles il échange des données, du matériel ou des ressources (qui, elles-mêmes, peuvent être des holons) avec d'autres holons ou avec son environnement. Dans cette optique, l'opérateur peut aussi être considéré comme une ressource faisant partie du holon ou être échangé par celui-ci sur le même plan que d'autres ressources telles des outils, des lubrifiants, etc.

Notons bien que les composants internes du holon peuvent eux-mêmes échanger des données, en particulier si l'échangeur est un système de manipulation de données. Par exemple, si le système de manipulation de données est une base de données, le Système de Commande Intelligente (SCI) pourrait être un système expert combiné avec un opérateur.

Le Système de Commande Intelligente décrit en Figure 2 devrait être fourni par un fabricant de produits d'automatisation tel que Rockwell Automation Allen-Bradley. Ses fonctions peuvent être divisées en quatre blocs (voir Figure 3) :

- Le bloc Commande de Procédé ou de Machine (CPM) est responsable de l'exécution de l'algorithme de contrôle du procédé. Outre des algorithmes tra-

ditionnels de contrôle, ce bloc pourrait avoir des éléments "intelligents" tels que des algorithmes de logique floue, d'apprentissage machine, ou plus généralement, d'intelligence artificielle.

- Le bloc Interface Procédé / Machine (IPM) représente l'interface physique et logique du procédé physique ou logique qui subit l'action du holon. Cette interface peut elle-même être composée d'éléments "intelligents" tels que capteurs auto-diagnostiqués et actionneurs.

- Le bloc Interface Opérateur (IO) représente l'interface du holon avec les ressources en personnel qui sont acquises ou échangées par le holon : opérateurs, personnel de maintenance, ingénieurs système, etc.

- Le bloc Interface Inter-Holon (IIH) permet l'échange de données avec d'autres holons à l'intérieur du même système, ainsi que les négociations et la coopération entre plusieurs holons en vue d'atteindre les objectifs définis par le système. Ce bloc peut utiliser par exemple des éléments de planification d'équipe ou de contrôle de projet.

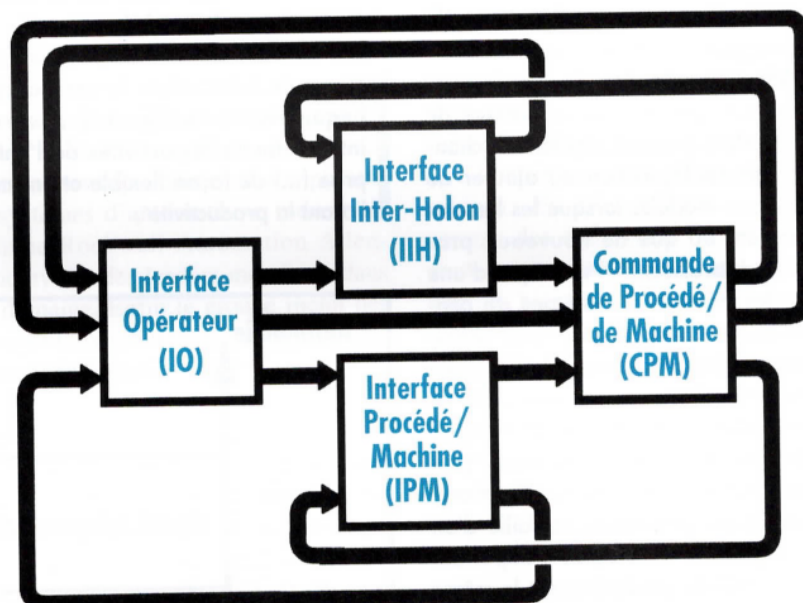


FIGURE 3 - FONCTIONS ESSENTIELLES D'UN SYSTEME DE COMMANDE INTELLIGENTE (SCI)⁹

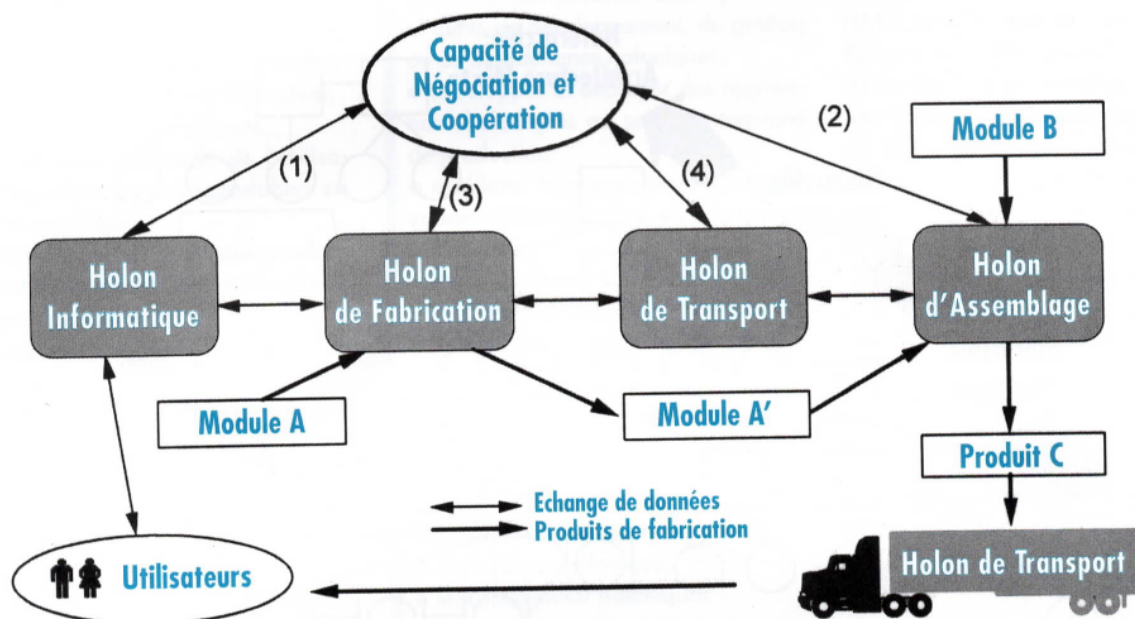


FIGURE 4 - EXEMPLE DE SYSTEME DE PRODUCTION HOLONIQUE¹⁰

● Systèmes holoniques Un exemple simple

La Figure 4 présente le scénario simplifié des opérations d'une entreprise de production holonique. Dans cet exemple, un "holon informatique" permet à l'utilisateur de négocier les spécifications et la production d'un produit sur mesure représenté par le produit C. Pendant que l'utilisateur spécifie les propriétés désirées du produit C, tous les éléments du système négocient leur participation, comme par exemple :

- 1 ● **Utilisateur** : "Je veux le produit C avec les propriétés X, Y et Z"
- 2 ● **Holon d'Assemblage** : "Je pourrais assembler les modules A' et B pour obtenir le produit C"
- 3 ● **Holon de Fabrication** : "Je pourrais fabriquer le module A' à partir du module A mais je ne peux pas le livrer au Holon d'Assemblage"
- 4 ● **Holon de Transport** : "Je pourrais transporter le module A' du Holon de Fabrication au Holon d'Assemblage"

Les négociations peuvent se poursuivre de la même façon pour livrer le module A au Holon de Fabrication, livrer le produit C à l'Utilisateur, etc. A la

conclusion des négociations, tous les membres du système sont d'accord pour mettre en action un plan qui permettra de fabriquer le produit C et de le livrer l'utilisateur. A ce moment, les éléments commencent à coopérer pour exécuter le plan, et le renégocient lorsque les circonstances changent.

Il est clair, même dans un exemple simple, que les systèmes holoniques montrent une supériorité importante à l'égard des systèmes de production traditionnels, en particulier vis-à-vis des besoins essentiels présentés au Tableau

1, c'est-à-dire le contrôle de perturbations, l'intégration homme-machine, la disponibilité, la flexibilité et la robustesse. Il est également clair que le déploiement des systèmes holoniques assure le développement de l'infrastructure nécessaire à l'entreprise de production agile.

● Systèmes holoniques Evolution ou révolution?

L'introduction de nouvelles technologies au niveau de l'usine entière est

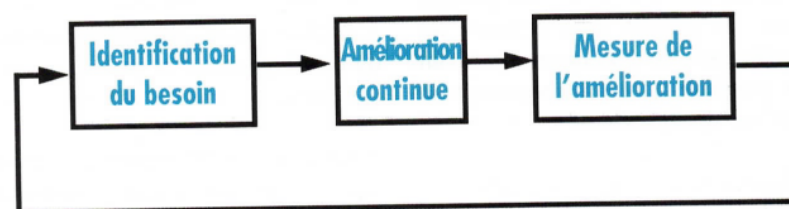


FIGURE 5 - DÉMARCHE D'AMÉLIORATION CONTINUE (KAIZEN)¹²

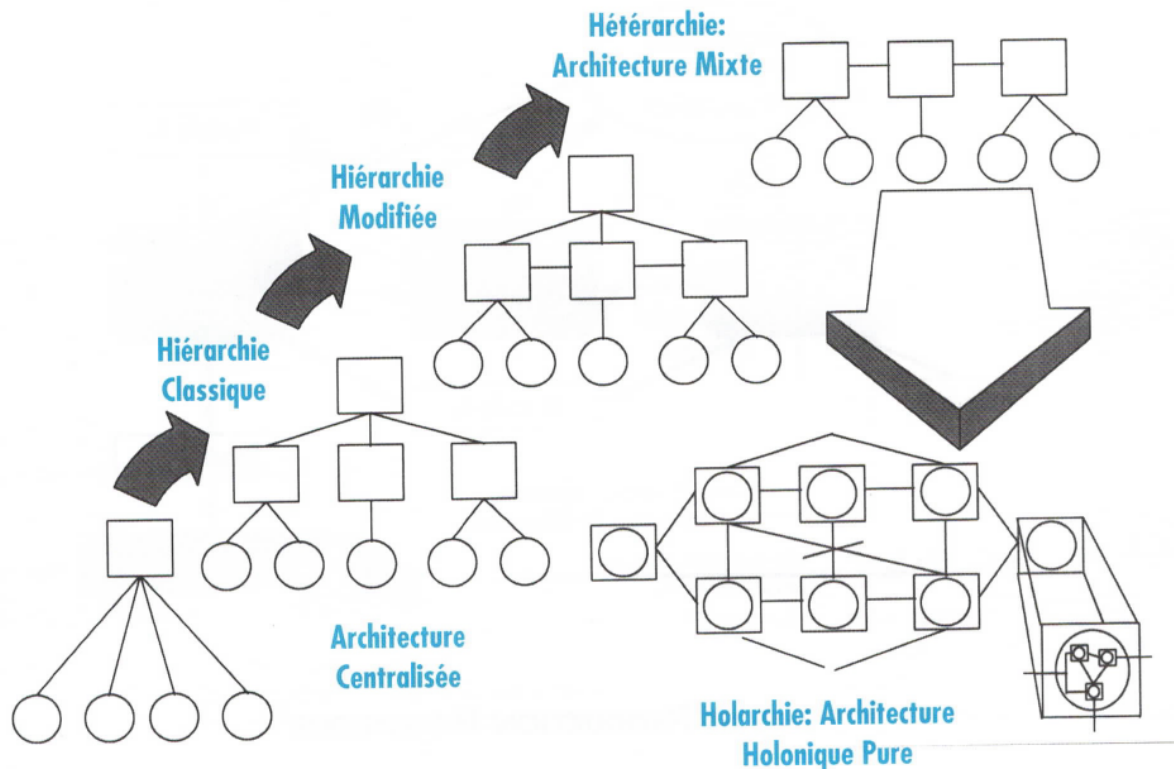


FIGURE 6 - EVOLUTION DE L'ARCHITECTURE¹⁴

souvent accompagnée de problèmes importants et coûteux. L'introduction des systèmes holoniques au sein de l'entreprise de production doit se faire pas à pas, par des démarches d'amélioration continue (kaizen) plutôt que par des changements radicaux (voir Figure 5). L'application des principes kaizen à l'ingénierie système peut être décrite comme suit :

Le développement et déploiement de nouveaux systèmes est un processus de gestion du changement. Le cas général est le changement de 'quelque chose' en 'quelque chose d'autre'. Le premier cycle de développement est un cas particulier : un changement de 'rien' en 'quelque chose'.

La Figure 6 montre l'évolution de l'architecture système que l'on peut attendre de l'application des principes kaizen. Les cercles représentent des modules d'exécution, les carrés des modules de gestion, et les droites les

lignes de communication. Dans la dernière phase de l'évolution, chaque module (holon) est autonome pour exécution, planification et gestion, et coopère avec les autres modules (holons) grâce aux processus de communication et de négociation. Chaque holon peut lui-même être une holarchie composée d'autres holons. A ce stade de l'évolution, le système est composé d'éléments équivalents (mais non identiques), c'est-à-dire que l'architecture devient fractale¹³. Une propriété inhérente aux architectures fractales est une grande simplification du développement et de la gestion des systèmes.

Cette vision de l'évolution architecturale a des conséquences importantes pour l'infrastructure des systèmes d'automatisation. Rockwell Automation Allen-Bradley considère qu'il est possible d'assurer une migration à travers plusieurs générations de systèmes. Dès

aujourd'hui on peut voir les premières amorces d'un mouvement vers les systèmes holoniques dans les gammes de produits qu'offre Rockwell Automation Allen-Bradley, comme par exemple une présence renforcée de réseaux égal-à-égal, d'architectures décentralisées, de capacités locales de traitement de données. Allen-Bradley, en collaboration avec plusieurs autres divisions de Rockwell International, mène un programme actif de recherche et d'application des systèmes holoniques aux systèmes d'automatisation.

● Systèmes holoniques Prochains développements

A la conclusion de l'étude de faisabilité du programme IMS, le Comité International de Gestion a recommandé :

[...] le lancement d'un programme de recherche international sur 10 ans, avec une revue de programme au

cours de la septième année, pour renouvellement éventuel. Buts du programme :

- A ● permettre une plus grande sophistication des opérations de fabrication,
- B ● améliorer l'environnement,
- C ● améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources renouvelables ou non-renouvelables,
- D ● développer de nouveaux produits et conditions qui améliorent la qualité de vie des utilisateurs,
- E ● améliorer la qualité des milieux de production,
- F ● développer une nouvelle discipline de fabrication qui encouragera le transfert des connaissances vers les nouvelles générations,
- G ● résoudre les problèmes de production à l'échelle mondiale,
- H ● agrandir et faciliter les marchés mondiaux des produits de fabrication,
- I ● améliorer le professionnalisme des disciplines de production ...

Le groupe des Systèmes de Production Holoniques (HMS) s'organise en vue du lancement du programme IMS sous l'égide de Broken Hill Proprietary, Rockwell Automation Allen-Bradley, et Toshiba. Les buts de ce groupe :

- développer et commercialiser des produits, composants, sous-systèmes et outils de développement, de gestion ou de maintenance holoniques,
- développer et déployer des applications holoniques au sein d'entreprises de production,
- améliorer la compréhension, l'application et l'acceptation des systèmes holoniques,
- aider le développement de standards internationaux qui contribueront au succès des systèmes holoniques.

Parmi les projets envisagés par le groupe HMS, citons :

- ingénierie systèmes,
- systèmes de production,
- gestion holonique des ressources,
- assemblage holonique,
- machines-outils holoniques,
- holomobiles (véhicules holoniques).

● Conclusion

Les systèmes holoniques peuvent constituer l'infrastructure nécessaire à la création de l'entreprise de production agile du XXIème siècle. Beaucoup de travail reste à faire avant que leurs technologies ne soient prêtes à être

adaptées aux techniques de production industrielle. Les membres du groupe HMS, sous la direction de Broken Hill Proprietary, Rockwell Automation Allen-Bradley et Toshiba, ont déclaré leur participation au développement et au déploiement des systèmes holoniques dans les sept ou dix années à venir. Rockwell Automation Allen-Bradley pour sa part s'est déjà engagé dans le développement des systèmes d'automatisation nécessaires à la migration vers les systèmes holoniques.

Dr. Jim Christensen,
senior principal engineer,
Rockwell Automation Allen-Bradley;

Dr. Michel Thouati,
manager, Technology Programs,
Rockwell Automation Allen-Bradley;

Dr. Odo Struger,
vice president, Technology,
Rockwell Automation Allen-Bradley.

Rockwell Automation Allen-Bradley est une Division de Rockwell International.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 ● A. Koestler, *The Ghost in the Machine*, 1971, ISBN 0-14-019192-5
- 2 ● Iacocca Institute, *21st Century Manufacturing Enterprise Strategy: An Industry-Led View*, ISBN 0-9624866-3-9, 1991, p.7 (bold face added).
- 3 ● H. Suda, «Future Factory System Formulated in Japan», *TECHNO JAPAN* 22, 10 (October 1989), 15-25; 23, 3 (March 1990), 51-61.
- 4 ● IROFA, *Joint International Research Programs into an Intelligent Manufacturing System*, ver. 3, Tokyo, January, 1990.
- 5 ● J. Christensen, «HMS Initial Architecture», in *First European Conference on Holonic Manufacturing Systems*, Hannover, Germany, 1 December 1994.
- 6 ● HMS Consortium, *Glossary of terms*, 31 March 1994, p 28.
- 7 ● ISO TR 10314/1, «Reference Model for Shop Floor Production Standards», 1989
- 8 ● HMS Consortium, *Standardization - Areas*, 31 March 1994, p.11
- 9 ● J. Christensen, *ibid.*
- 10 ● R. Mittmann, «The HMS Test Case», in *First European Conference on Holonic Manufacturing Systems*, Hannover, Germany, 1 December 1994.
- 11 ● Dr. I. Jacobson, *Objective Systems AB.*
- 12 ● J. Christensen, *ibid.*
- 13 ● H.J. Warnecke, *The Fractal Company*, Springer-Verlag, New York (1993), ISBN 0-387-56537-X.
- 14 ● HMS Consortium, *HMS-Strategies*, Vol. 0, 31 March 1994, p.11.
- 15 ● Intelligent Manufacturing Systems - A Program for International Cooperation in Advanced Manufacturing - Final Report of the International Steering Committee adopted at ISC6, Hawaii, 24 to 26 January, 1994.
- 16 ● Holonic Manufacturing Systems Consortium Cooperation Agreement, Draft 1.4.3, 2 December 1995.