

Michel RUBINSTEIN
Jean-Luc SALAGNAC

Centre Scientifique
et Technique du Bâtiment (C.S.T.B.)
Sophia Antipolis

**Etat de l'art de la robotique
dans le B.T.P.**

R E S U M E

La réalisation d'un ouvrage de construction met en oeuvre des techniques qui relèvent de la production manufacturière (fabrication de composants par exemple) et de la production non manufacturière (travail sur chantier par exemple).

Le problème de la robotisation de certaines des tâches exécutées dans le cadre d'une construction se pose donc de manière très différente selon qu'il s'agit de l'un ou de l'autre mode de production.

La robotisation en usine se développe de manière notable en faisant appel aux techniques disponibles sur le marché des matériels d'automatisation.

La robotisation sur chantier en est à un stade beaucoup plus embryonnaire et, mis à part quelques prototypes, l'essentiel des travaux consiste en des réflexions préliminaires.

Ces constatations sont appuyées sur les informations disponibles en provenance des pays industrialisés ayant engagé des études sur ces thèmes.

S U M M A R Y

Technics involved in building activities are related either to industrial processes (building components production for instance) or to production on a building site.

Robotisation problems are then very different according as one or the other way is considered.

Development of robots in factories is important and is made from existing automation products.

Some prototypes of robots have been tested on building sites but most of the works done in that field are preliminary studies.

These statements are drawn from available informations coming from industrialized countries that take an active part in the works on "Robotics in construction".

INTRODUCTION

Construire un bâtiment ou ériger un ouvrage repose sur l'emploi d'une part d'éléments et de demi-produits fabriqués en usines, d'autre part de matériaux préparés sur le chantier.

Ces deux voies présentent des caractéristiques très différentes :

- la fabrication d'éléments, qu'il s'agisse d'équipements ou de composants en béton de plus ou moins grande dimension, est effectuée dans des unités spécialisées. Cette activité ressort de la **production manufacturière**.
- la mise en oeuvre de matériaux, ou l'assemblage de composants, sur des chantiers relève d'une toute autre démarche. L'érection de la construction est en général un acte isolé, parfois unique, qui requiert l'utilisation de méthodes et d'outils spécifiques. La structuration du chantier évolue au cours de la construction. L'étendue et la qualité irrégulière des surfaces de déplacement posent des problèmes particuliers de manutention tant horizontalement que verticalement. Cette activité ressort de la **production non manufacturière**.

Ces deux types d'activités concourent à l'acte de construire et le problème de la robotisation de certaines tâches se pose de manière essentiellement différente dans l'un et l'autre cas.

Dans les deux cas, toutefois, l'éventualité de la robotisation de ces tâches répond à des objectifs clairs :

- améliorer la compétitivité économique des entreprises en :
 - . réduisant la part de main-d'œuvre par ouvrage,
 - . accroissant la production par unité de temps,
 - . améliorant la qualité des ouvrages produits,
- améliorer les conditions de travail en :
 - . éliminant les tâches peu nobles et peu qualifiantes,
 - . diminuant la pénibilité,
 - . diminuant les risques d'accidents.

Atteindre de tels objectifs pose de sérieux problèmes techniques, économiques et sociaux.

Cette démarche repose cependant sur la faisabilité technique probable à court ou moyen terme de robots exécutant des tâches de construction.

L'expérience acquise dans d'autres secteurs d'activité constitue une source précieuse d'informations tant sur ce qu'il est possible et souhaitable de faire qu'éventuellement sur ce qu'il vaudrait mieux éviter de faire.

Ainsi la robotisation en usine (de composants ou d'équipements) s'inscrit dans un courant partant des procédés automatisés aux performances assez modestes nés il y a quelques dizaines d'années et allant jusqu'aux procédés intégrés de fabrication dont il existe maintenant de nombreux exemples dans de multiples secteurs d'activités [1].

De même la robotique de chantier bénéficie des travaux menés depuis un peu plus de dix ans sur la possibilité de faire effectuer par des robots des tâches que l'homme ne peut pas, ou peut difficilement, exécuter. C'est notamment le cas des travaux en milieux dits "hostiles" que sont les fonds marins, l'espace, certaines zones des centrales nucléaires et en général tout endroit où l'intégrité de la personne humaine est menacée dans l'exercice d'une action.

Le développement de ces robots a ainsi permis de repousser les limites humaines. Des progrès significatifs ont été et seront accomplis grâce notamment à l'évolution des technologies électroniques et de l'informatique.

Les retombées techniques de ces travaux sur l'activité du secteur du Bâtiment et des Travaux Publics, ainsi que dans d'autres secteurs traditionnels tels l'agriculture et le nettoyage industriel, sont dues à la similitude des problèmes rencontrés :

- évolution des robots dans des milieux peu ou pas connus,
- changement dans la structuration du milieu au fur et à mesure de l'exécution des travaux,
- nécessité de prendre des décisions.

Mais ne nous y trompons pas, cette synergie est sans doute remarquable mais cache une différence essentielle entre d'une part les activités de robots en milieux "hostiles" et d'autre part la robotisation dans le cadre d'activités plus traditionnelles : contrairement à ce qui est vrai dans le premier cas, il ne faut pas attendre du développement d'une robotique de chantier que les limites des techniques de construction soient repoussées d'une manière significative.

En effet, et sauf à remettre radicalement en cause des méthodes et des habitudes séculaires, la robotisation des tâches de chantier n'est pas fatale mais doit respecter les impératifs économiques de l'Entreprise tout en s'insérant dans des processus traditionnels propres au secteur qui sont eux-mêmes l'aboutissement d'une longue expérience.

Après ce rappel de certaines contraintes techniques et économiques liées au développement de la robotique dans le secteur de la construction, nous allons présenter, en nous appuyant sur des exemples faisant parfois l'objet de communications détaillées au cours de ce colloque, les développements les plus significatifs dont nous avons connaissance ainsi que les tendances qui semblent se dessiner dans les pays industrialisés qui ont engagé des recherches sur le thème "Robotique et Construction".

1. LA ROBOTIQUE MANUFACTURIERE

Citons pour mémoire la robotisation de la fabrication d'équipements pour le Bâtiment (radiateurs, céramiques, robinetterie, etc.) qui s'inscrit intégralement dans le cadre de la robotisation de productions manufacturières et dont les liens avec le Projet de Construction sont quasi-inexistants [2]. Ces efforts sont économiquement très importants mais font appel à des techniques éprouvées dans d'autres secteurs industriels en dehors de tout aspect "Bâtiment".

Dans un secteur plus spécifique, il y a déjà quelques années que les procédés de fabrication du ciment vivent chacune des étapes de l'évolution technique d'automatismes. Ainsi, dans les installations modernes, l'architecture du système de commande de l'ensemble repose sur un réseau hiérarchisé d'ordinateurs, le système de gestion de production étant souvent autonome par rapport au système de commande du procédé.

Les usines de fabrication de produits en béton ont évolué plus lentement mais aujourd'hui, la commande des différentes opérations est automatisée dans les installations les plus modernes. L'objectif de la gestion entièrement automatique de l'usine est déjà pratiquement atteint dans certains cas. A ce stade, à l'aide d'un microprocesseur pilotant un ensemble d'automates programmables, la conduite intègre :

- l'approvisionnement et les dosages,
- les manutentions,
- le séchage et la cuisson,
- les flux de production,
- le lancement des commandes.

Cette tendance gagne maintenant des activités multiséculaires encore plus traditionnelles, telle l'exploitation de carrières comme l'illustre l'exemple des Carrières du Boulonnais où des automates sont installés aux étapes clés du processus, de l'extraction proprement dite à la mise en lots des carreaux de marbre [3].

Il est plus intéressant, pour notre propos, de considérer les expériences de couplage entre une description numérique du projet et la commande de machines automatiques exécutant des tâches de fabrication de composants adaptés à un projet donné.

C'est ainsi que des éléments de poutres collaborantes [4], des parties de faisceaux électriques pour pavillons, sont construits à partir de données décrivant le projet.

Un exemple significatif, dans le cas de la fabrication de produits en béton, est celui présenté par la société SARET (voir la communication correspondante).

Ces installations illustrent la faculté de pouvoir "produire la diversité sans surcoût" [5] qui est offerte par une alliance intelligente entre l'informatique et les machines de production.

Bien que des progrès notables aient pu être enregistrés grâce à la mise en place de telles unités de fabrication, tous les problèmes ne sont pas pour autant résolus. En particulier, la saisie des données sur un plan d'architecte n'est pas toujours aisée : ou bien il existe un support magnétique pour ces données mais il n'est pas compatible avec le matériel couplé aux machines, ou bien le plan du bâtiment est tracé sur le papier et la saisie peut en être fastidieuse.

Parmi les solutions envisagées, notons la digitalisation d'une image du plan prise par une caméra, la lecture automatique des plans par suivi des lignes, en attendant... la généralisation des outils informatiques de dessin et de conception de projets et leurs compatibilités.

Le champ d'application de tels procédés de fabrication est vaste et leur développement est plus lié à des opportunités de marchés et à des stratégies d'entreprises qu'à l'existence de limites technologiques.

Au demeurant, les "robots" mis en place par ces installations sont le plus souvent des machines spéciales à commande numérique dont les liaisons avec l'environnement sont actuellement réduites aux fonctions essentielles de sécurité.

2. LA ROBOTIQUE NON MANUFACTURIERE ET LE B.T.P.

Le marché du matériel de B.T.P. a connu, à partir de 1950, une période d'expansion significative et des progrès technologiques importants améliorant très sensiblement les performances des engins ont été réalisés. Les années 1960 ont été marquées par l'augmentation des puissances dans l'optique d'un meilleur rendement des matériels. Les préoccupations des années 1970 se sont davantage orientées vers l'amélioration de la fiabilité, le confort des engins, la sécurité et les préventions des nuisances (bruits) et plus récemment vers les économies d'énergie.

La physionomie de l'offre était directement liée à la structure des activités bâtiment et travaux publics.

La baisse d'activité générale du secteur conduit au constat d'une relative stagnation du progrès technologique et l'intérêt d'actions visant à :

- favoriser la modernisation des entreprises en matière de matériels,
- favoriser la recherche et l'innovation dans les industries de matériel de manière à maintenir leur compétitivité sur le plan international,
- permettre le débouché des progrès technologiques et l'obtention de premières références, n'échappe à personne.

Ainsi, des réflexions et des recherches sont engagées dans différents pays pour déterminer les possibilités d'utilisation des robots sur les chantiers de construction.

Deux voies de recherches complémentaires peuvent être identifiées :

- d'une part, la mise en forme d'une méthode générale d'analyse dont on peut attendre la description de ce que devrait être un robot effectuant une tâche ou un ensemble de tâches compte tenu de l'environnement, des cadences de travail, de l'interaction avec les autres travaux, etc. ;
- d'autre part, l'adaptation à des tâches de B.T.P. de machines développées pour d'autres besoins où les conditions aux limites (connaissance et reconnaissance de l'environnement, évitement d'obstacles, travail en milieu agressif et/ou humide et/ou poussiéreux, etc.) sont comparables.

Dans les deux cas, les interactions sont fortes avec des études générales de robotique portant notamment sur :

- les capteurs fournissant des informations sur l'environnement et sur l'état du robot,
- le traitement de ces informations et l'introduction de l'intelligence artificielle dans les systèmes de conduite des machines.

Les premières conclusions des analyses ainsi menées s'accordent à reconnaître que les spécificités des chantiers visés :

- étendue spatiale,
- dispersion de la production,
- mobilité des postes de travail,
- environnement naturel,
- faible standardisation des composants,
- poids et encombrement des composants,
- structure des décisions,
- faible qualification technique du personnel,

- structure de la profession,

sont très différentes des contraintes rencontrées dans l'industrie manufacturière et sont autant de facteurs limitant le développement de robots que l'on souhaite polyvalents, fiables et intéressants économiquement.

Le champ d'applications potentielles est extrêmement vaste et les quelques réalisations actuellement en démonstration, principalement au Japon, suscitent l'intérêt [6].

Contrairement à ce qui se passe pour les activités robotisables dans un cadre manufacturier, l'expérience acquise provient principalement des laboratoires et centres de recherche travaillant en particulier sur les robots mobiles, et non pas de l'industrie.

Ceci résulte de la relative nouveauté du sujet et de la prise en compte très récente des possibilités de ces robots par quelques rares secteurs d'activité (nettoyage industriel notamment).

Aussi n'est-il pas surprenant que, mis à part la construction d'un nombre limité de prototypes, l'essentiel des travaux consacrés au thème de la robotique non manufacturière appliquée au secteur du Bâtiment et des Travaux Publics soit constitué de réflexions préliminaires tendant à dégager les voies les plus prometteuses ([7] à [10]).

Il ressort de ces études que la pénibilité des tâches (en termes de répétitivité, de fatigue, de danger, de pollution par poussières ou aérosols) apparaît comme l'un des facteurs les plus importants pour le choix des travaux à robotiser.

Les analyses économiques restent encore partielles de par la mauvaise connaissance des performances effectives de ces robots ainsi que de leurs coûts d'investissement, de fonctionnement et de maintenance.

Il est, toutefois, possible de dégager certaines caractéristiques utiles à la conception de robots de chantier :

- la mobilité des machines est une obligation sur les chantiers,
- la précision d'exécution des tâches est une notion très difficile à cerner,
- l'interaction entre la machine et l'environnement est extrêmement forte (localisation, repérage des zones de travail),
- le contrôle de l'exécution des tâches pose des problèmes délicats qui sont résolus actuellement par l'ouvrier spécialisé grâce à une grande habitude,
- les machines devraient être facilement mises en place sur le chantier et éventuellement manportables pour les travaux de second-oeuvre,
- l'interface homme/machine doit être conçue en fonction des habitudes de chantier.

Pour préciser ces points, il est nécessaire que ces études préliminaires débouchent sur des propositions d'expérimentation. Le Japon a ouvert cette voie et d'autres projets sont en cours, notamment en France où le CSTB, conjointement avec l'IIRIAM et la Société AID, travaille à la réalisation d'une maquette expérimentale de robot de second oeuvre de bâtiment baptisée SOFFITO (voir communication correspondante).

Outre les stricts objectifs expérimentaux, de telles actions ont pour but de sensibiliser les entreprises de construction et les fabricants de matériel de chantier aux possibilités ouvertes par ces développements.

Il paraît, en effet, essentiel qu'il y ait un échange d'informations entre les roboticiens et concepteurs d'engins d'une part et les utilisateurs finals d'autre part [11]. Pour illustrer une telle démarche, on se reportera à la présentation concernant l'automatisation d'une grue à tour réalisée conjointement par la société POTAIN et la société de construction SGEC (voir communication correspondante).

Il est également important d'intégrer dans ces études sur la robotisation des tâches de chantier les progrès récents accomplis par certains constructeurs de matériels notamment en matière de télécommande [12] et d'adaptation de la taille des engins aux contraintes des travaux à exécuter (miniaturisation en particulier).

3. CONCLUSION

Ce rapide survol des travaux menés sur la robotisation dans le secteur du Bâtiment et des Travaux Publics met en évidence d'une part des difficultés, d'autre part des signes encourageants quant au développement de cette activité.

Difficulté de vocabulaire : le mot "robot" est un de ceux qui sont le plus mal traités dans le vocabulaire technique moderne. Il est employé selon les auteurs, tant pour désigner de simples systèmes télécommandés que pour nommer "les robots de 3ème génération", caractérisés par une certaine forme "d'intelligence" et une capacité de prendre en compte les modifications de l'environnement [13]. Une telle ambiguïté n'est pas de nature à simplifier la présentation des travaux et peut être un moyen de dissimuler des innovations mineures.

Difficultés dues à l'état économique du secteur dont l'activité a fortement chuté ces dernières années. Seules certaines sociétés importantes peuvent envisager de s'intéresser à ces thèmes avec l'aide des pouvoirs publics qui prend des formes variées selon les habitudes propres à chaque pays.

Difficultés techniques qui repoussent, à une date difficilement prévisible, la mise en oeuvre de processus intégrés de construction dans lesquels le flux d'informations créées au moment de la définition du projet circulera entre les étapes successives de l'édification de la construction, servant à commander des robots dans des unités de fabrication de composants et des robots de manutention et d'assemblage sur les chantiers. De ce point de vue, il est impératif de pouvoir identifier les verrous technologiques qui limiteraient un tel développement.

Par delà ces difficultés, il faut noter que la mise en place de chaînes flexibles de fabrication de composants en béton ne s'est faite que grâce à l'expérience acquise au cours de plusieurs dizaines d'années tant dans des domaines n'ayant aucun rapport avec la construction que dans la préparation et la mise en oeuvre du béton.

Il faut en conséquence se garder de toute conclusion hâtive sur l'avenir de techniques dont les premiers balbutiements peuvent laisser parfois sceptique : le temps est un ingrédient indispensable à la réussite de telles opérations.

Les premières approches actuellement disponibles devront être affinées par des expérimentations et en gardant un contact étroit avec les utilisateurs de manière notamment à préciser les implications économiques en termes de main-d'oeuvre et de structure du secteur résultant de la pénétration de techniques robotiques sur les chantiers.

REFERENCES

- [1] LE MAITRE (J.-F.).- "Etat de l'art sur la robotique", in : Colloque Offshore-Robotique-Intelligence Artificielle, CCIM, IIRIAM, Marseille, 17 au 18 juin 1985
- [2] BIPE.- Potentialités de développement de l'automatisation dans la production de composants de second oeuvre de Bâtiment, Neuilly-sur-Seine, BIPE, 1984
- [3] KERCY (CH.).- "Sept automates programmables suppriment la manutention", Le Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment, 1986, mars, n° 12, pp. 92-93
- [4] PROUVOST (M.), Société SECAD.- "La fabrication automatique de poutres collaborantes". cf. "La productique appliquée aux Industries du Bâtiment", Le Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment, 1984, juin, n° 23, p.27.
- [5] LITAUDON (M.).- "Les installations de production de composants, une chance : l'informatique moderne", in : un frein à la hausse des coûts de construction : la productivité, colloque CSTB, Paris, 2 au 3 février 1981
- [6] MATHONNET (S.), SALAGNAC (J.-L.).- "Robotique et Construction : les Japonais ouvrent la voie", Le Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment, 1985, novembre, n° 47, pp. 91-92
- [7] WARSZAWSKI (A.).- Application of robotics to building constructions, Carnegie Mellon University, 1984
- [8] IIHT (Interface Internationale Haute Technologie).- La stratégie japonaise dans le développement de l'automatisation de la construction, étude réalisée par le Plan Construction et Habitat, le CSTB et l'AFRI, Paris, IIHT, 1986
- [9] LITAUDON, CdC, CIMO, Méthodes et Construction.- Etude sur le développement des applications de la robotique sur les chantiers de bâtiment (appel d'offre Habitat 88), s.l, 1985
- [10] SALAGNAC (J.-L.) et al.- Applications des techniques robotiques au secteur de la construction, Valbonne-Sophia Antipolis, CSTB, à paraître
- [11] RUBINSTEIN (M.).- Mécanisation dans le Bâtiment : l'apport de la robotique, in : Mécanisation dans le Bâtiment : Evolutions et Perspectives, les rendez-vous du CSTB, Paris, 22 avril 1986
- [12] "La radiocommande des engins de T.P.", Le Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment, 1985, septembre, n° 36, pp.57-58
- [13] AFRI.- La robotique de 3ème génération : technologies et applications à l'horizon 2000, Paris, AFRI, 1985

AUTEURS : Michel RUBINSTEIN
Jean-Luc SALAGNAC

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT (C.S.T.B.)
Etablissement de SOPHIA ANTIPOLIS
Boite Postale n° 21
06561 VALBONNE CEDEX
Tél : 93 65 34 00

Télex : 970194 F