

Matériel télécommandé et déclassement

Les robots et les manipulateurs perfectionnés offrent de nouvelles possibilités

Depuis quelques dizaines d'années déjà, les systèmes de commande automatique et les robots ont fait leurs preuves dans diverses opérations industrielles de manutention, de montage et de manipulation. Dans l'industrie nucléaire, on n'a cessé de réaliser des appareils spéciaux de manipulation pour exécuter à distance des travaux d'inspection, d'entretien, de réparation, de modernisation, etc.

L'emploi de ces appareils permet de réduire considérablement l'exposition aux rayonnements des préposés aux opérations de déclassement et de décontamination des centrales nucléaires, en sorte que les coûts qu'elles entraînent s'en trouvent réduits.

Qu'entend-on exactement par les termes «robot» et «manipulateur»?

Dans le contexte qui nous intéresse, un robot est un appareil de manutention qui possède une mémoire, peut être programmé, puis reprogrammé quand on veut lui faire exécuter une tâche différente. Cette dernière faculté distingue les robots des autres appareils automatisés, même si les appareils à commande numérique offrent également une grande souplesse d'emploi. Les robots se composent essentiellement d'éléments mécaniques, d'actionneurs, de commandes et de capteurs; ils ont généralement plusieurs degrés de liberté.

Un manipulateur, en revanche, présente de nombreuses caractéristiques d'un robot mais est en général commandé directement par un opérateur qui se trouve à proximité ou à distance. Il est possible de programmer la commande d'un manipulateur (on obtient ainsi une certaine forme de robot) tout comme il est possible de commander manuellement un robot à l'aide d'un système de commande approprié.

Pour les opérations de déclassement et de décontamination, il importe pour les applications tant des robots que des manipulateurs de tenir compte des éléments suivants:

- analyse des tâches;
- techniques de télécommande;
- techniques mécaniques de pointe;
- techniques de simulation;
- matériel de télédétection;
- interface homme-machine.

Les programmes dans l'industrie nucléaire

Dans l'industrie nucléaire, on a employé des appareils télécommandés, notamment pour les opérations de manipulation, d'inspection, de démantèlement, de

montage, de réparation, de remplacement et de construction à l'intérieur des réacteurs, des enceintes blindées, des dispositifs submergés, des usines de retraitement et de fabrication de combustible et des installations de production de radioisotopes.

Pour les opérations de déclassement, ce sont les manipulateurs télécommandés, les robots (fixes ou mobiles), les moyens de visualisation et de détection, ainsi que le matériel et le logiciel des ordinateurs qui leur sont associés qui présentent le plus d'intérêt.

Les types de manipulateurs en usage vont des manipulateurs maître-esclave, relativement simples, et des manipulateurs électriques bilatéraux, très perfectionnés, où le maître et l'esclave peuvent être reliés directement par fil, par radio ou par rayon laser, aux servomanipulateurs les plus évolués et les plus dextres où les fonctions maître-esclave sont aidées par ordinateur. De plus, les manipulateurs industriels peuvent être dotés de nacelles blindées qui les protègent du milieu ambiant et montés sur véhicules en cas de besoin.

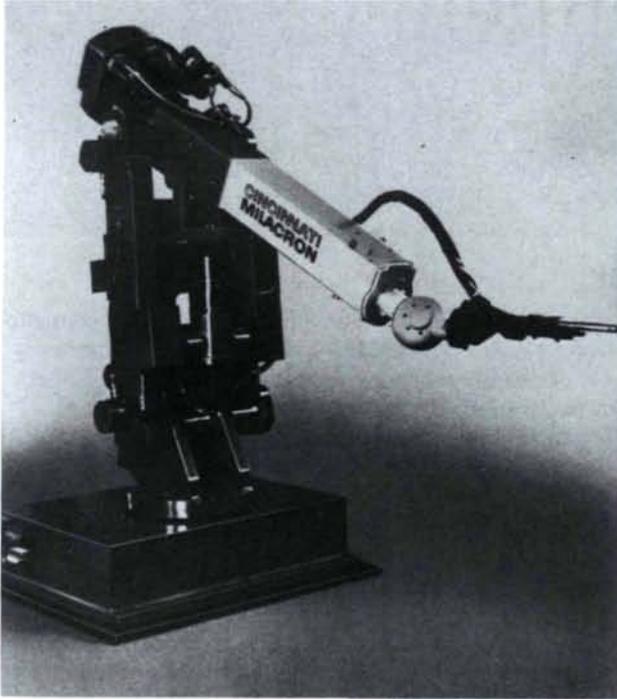
Des véhicules à guidage automatique sont employés dans l'industrie depuis longtemps déjà aux tâches les plus diverses. Certains dotés de systèmes de guidage optiques ou radiocommandés se déplacent librement, alors que d'autres suivent des fils de guidage installés sous le plancher. Pour l'industrie nucléaire, on a en outre mis au point des véhicules spécialisés à chenilles ou à roues. Dans les opérations de déclassement, ces véhicules peuvent servir de bases mobiles qui assurent le transport des manipulateurs et du matériel nécessaire dans les zones où existent de forts champs de rayonnements. Une étude exposant en détail les divers systèmes offerts pour les opérations de déclassement a été faite pour le compte de la Commission des Communautés européennes*.

Ces robots mobiles polyvalents remplacent avantageusement l'homme pour de nombreuses tâches comme la surveillance et le contrôle. Ils peuvent faire des mesures physiques (par exemple des niveaux de rayonnement, de la température, de l'humidité) tout comme assurer le piquage et la décontamination des murs et des sols. La force de levage des manipulateurs véhiculés détermine les cas où il est possible de démonter de petits éléments et d'exécuter d'autres travaux tels que la mise en place de parois de blindage.

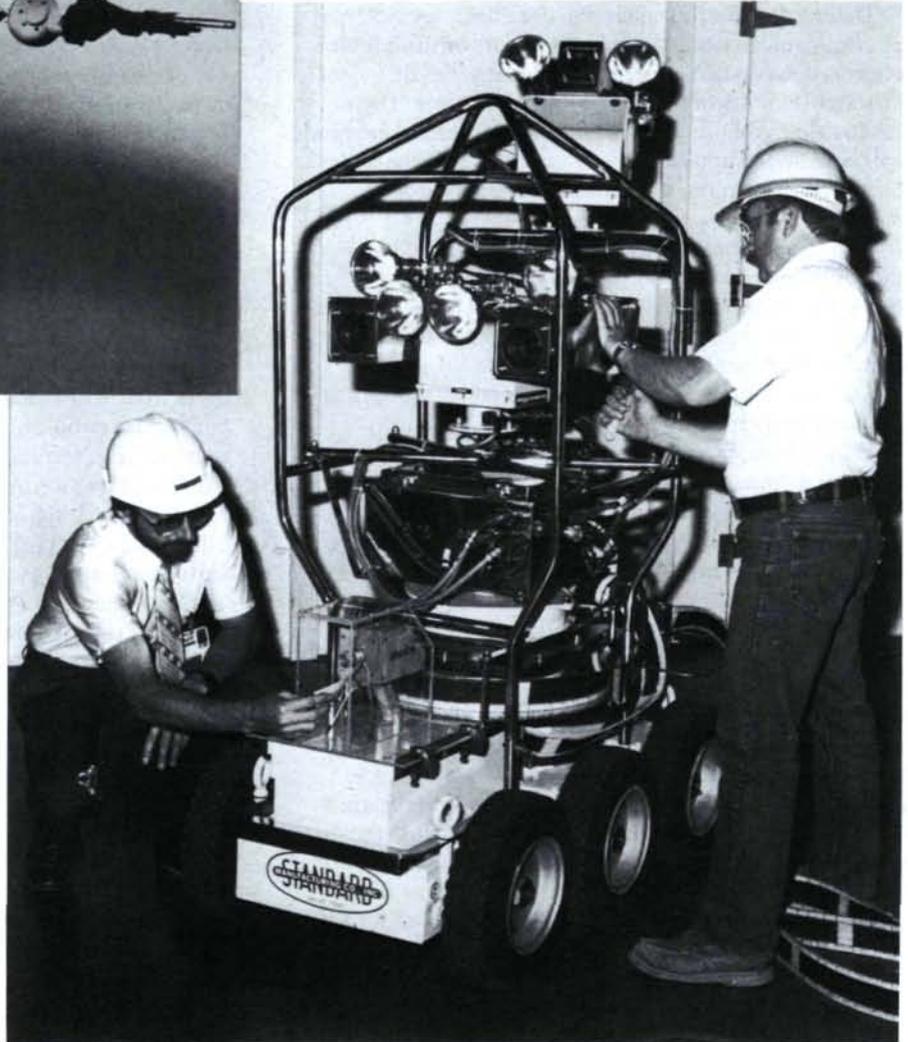
La télécommande peut s'étendre à des véhicules plus volumineux tels que bulldozers, haveuses et excavatrices employés dans la démolition de gros éléments en béton. Des systèmes radiocommandés, permettant d'actionner les leviers de commande de ces machines, existent dans le commerce.

* Voir «Review of Systems for Remotely Controlled Decommissioning Operations», par L. Da Costa et al., Commission des Communautés européennes (sous presse, 1985).

Cet article est une adaptation du Rapport technique de l'AIEA intitulé *The Methodology and Technology of Decommissioning Nuclear Facilities* (sous presse). Voir aussi *Bulletin de l'AIEA*, Vol.27, n° 3 (automne 1985).



Bras robot servant aux opérations de déclassement.
(Photo: Cincinnati Milacron)



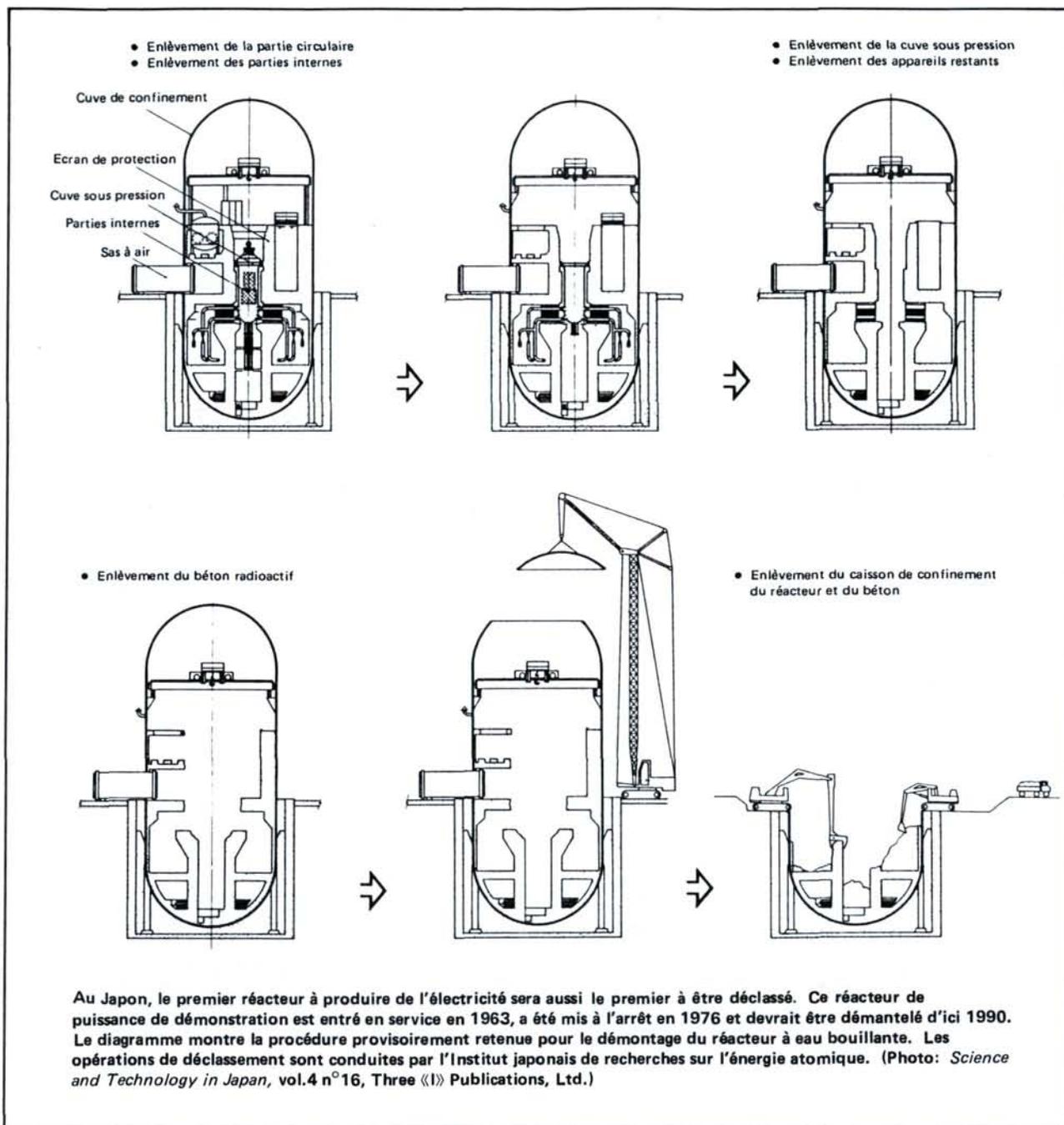
A TMI-2, des techniciens vérifient le «Rover», robot qui, après l'accident, a permis de faire le premier examen approfondi du sous-sol du bâtiment du réacteur. (Photo: GPU Nuclear)

Pour les opérations en immersion, il existe des manipulateurs montés sur submersibles et l'on peut envisager de semblables pour travailler sous eau, dans les centrales nucléaires à déclasser. Néanmoins, d'importants travaux de recherche restent encore à faire à cette fin.

En France, un servomanipulateur très perfectionné doté de caméras de télévision et de supports télescopiques commandés par ordinateur a été mis au point et sert aux opérations télécommandées d'entretien et de déclassement. Ces possibilités conjuguées permettent de faire fonctionner le bras, soit comme manipulateur d'entretien commandé manuellement, soit comme robot à commande informatisée.

Au Canada, SPAR Aerospace réalise pour le compte d'Ontario Hydro un sous-système très perfectionné de

télémanipulation (Remote Manipulator System) qui pourrait servir à remplacer les tubes des réacteurs Pickering. Il fait appel à une technique que SPAR a mise au point pour le bras dont sont dotées les navettes spatiales des Etats-Unis. Le RMS est un des éléments d'un système coordonné de manipulation et de commande à distance qui servira à diverses opérations de manutention, d'inspection, d'appui et de transport, ainsi qu'à manœuvrer les conteneurs dans le logement de la machine de chargement du combustible. Au titre d'un autre projet, l'Energie atomique du Canada a réalisé un bras télécommandé complexe, doté d'un dispositif de vision ainsi que d'une soudeuse télécommandée, pour réparer les fuites des canalisations situées dans le sous-sol du réacteur nucléaire de Douglas Point.



Au Japon, un programme global de réalisation d'un robot télécommandé de manutention pour le déclassé du réacteur de démonstration japonais — d'une puissance (thermique) de 90 mégawatts — est en cours. La première partie de l'étude s'attache surtout à la réalisation d'interfaces homme-machine et de systèmes de commande ultra-modernes, de façon à en faciliter le fonctionnement et à lui conférer une plus grande souplesse d'emploi, une plus grande dextérité et une plus grande autonomie. Des perfectionnements tels que commande de trajectoire semi-automatique et dispositif d'évitement des obstacles tant pour le véhicule que pour le manipulateur sont prévus. Ces travaux fondamentaux permettront d'avoir d'ici 1986 des systèmes de manutention télécommandés fonctionnant sous l'eau et

dotés de télémanipulateurs légers ou robustes capables de soulever des charges de 10 et de 100 kg respectivement.

Au Royaume-Uni, l'Autorité de l'énergie atomique réalise pour le déclassé du réacteur avancé refroidi par un gaz de Windscale (WAGR), dont la puissance est de 33 mégawatts, des appareils télécommandés ultra-modernes qui devraient être prêts d'ici 1994. La machine prévue à cet effet consiste essentiellement en un portique blindé supportant un mât rigide extensible et une plateforme élévatrice portant un manipulateur télécommandé qui servira à exécuter certaines des opérations délicates que suppose le démantèlement. On étudie également des systèmes télécommandés de découpage à arc de plasma et de télévision stéréoscopique, qui seront employés conjointement avec cette machine pour le

démantèlement du réacteur et l'élimination des déchets.

En République fédérale d'Allemagne, on étudie actuellement des matériels analogues de démantèlement et de manutention pour le déclassement du réacteur de 100 mégawatts à tubes de force, refroidi par un gaz, de Niederaichbach (KKN). Ce réacteur sera démonté, tronçonné et emballé à l'aide d'un manipulateur rotatif, d'un manipulateur de découpage et d'un manipulateur de levage télécommandés.

Les principes mis au point pour les réacteurs WAGR et KKN pourront servir à la réalisation de manipulateurs qui serviront au déclassement d'autres cuves à pression.

Critères applicables aux appareils télécommandés

Dans l'industrie nucléaire, les appareils télécommandés sont nécessairement soumis à des conditions particulièrement agressives et risquent d'être contaminés. Par ailleurs, il est souvent difficile et dangereux pour l'homme d'accéder au matériel pour procéder à des réglages, des réparations ou des remplacements tant que ce matériel n'a pas été décontaminé.

Lorsqu'on étudie ou que l'on choisit des appareils télécommandés à employer dans les opérations de déclassement, il convient de tenir spécialement compte de leur performance. Au nombre des conditions à respecter dans toute la mesure du possible, nous citerons:

- La machine, même en cas de défaillance, ne doit présenter aucun danger.
- La machine doit être fiable, durable et capable d'accomplir la tâche qui lui a été assignée.
- Les possibilités d'accès de l'homme à la machine, bien que souvent limitées, doivent être suffisantes pour

qu'on puisse l'amener à pied d'œuvre, la mettre en marche ou la récupérer. Son agencement doit être tel que l'entretien, les réparations et le démontage ne présentent pas de difficultés.

- Il faut concevoir la machine de façon telle que, après utilisation en milieu contaminé, il soit facile de la décontaminer.
- Pour calculer le coût de sa durée utile, il faut tenir compte des coûts de sa décontamination et de sa mise au rebut.
- Le système de commande de la machine doit être soigneusement étudié en fonction de l'interface homme-machine afin qu'il n'en résulte aucune gêne pour l'opérateur.
- La machine doit être soumise à des essais très poussés dans des maquettes d'installations avant d'être mise en service.
- Les dispositifs de raccordement et de fixation doivent être conçus de façon à permettre, le cas échéant, la manœuvre télécommandée.
- Les composants doivent pouvoir résister aux rayonnements; les commandes et un maximum d'autres composants doivent être conçus de façon à rester hors de la zone radioactive.
- Il faut que la conception de la machine tienne compte des conditions du milieu dans lequel elle est appelée à fonctionner (par exemple température, pression, humidité, poussières, activité chimique).
- Chaque fois que cela sera possible, on emploiera des composants éprouvés existant sur le marché, quitte à devoir y apporter des modifications mineures.
- La machine doit être aussi simple que possible tout en satisfaisant aux critères précités.

Les robots industriels à usages multiples

On évalue généralement les fonctions cinématiques des robots industriels par comparaison avec le premier manipulateur polyvalent qui ait existé — la main et le bras de l'homme — et la plupart des robots sont conçus de façon à imiter aussi fidèlement que possible ses mouvements. Beaucoup d'entre eux ont un bras mécanique articulé sur lequel on peut fixer divers dispositifs tels que pince, meule, pistolet à peinture, pistolet de soudage ou clé pneumatique. La conception et le fonctionnement de ces «effecteurs terminaux» qui remplacent la main de l'homme sont aussi importants que le bras du robot proprement dit.

Le bras et le poignet de l'homme, outre qu'ils peuvent se déplacer dans l'espace, sont capables de réorienter un objet selon trois plans de rotation, ce qui donne au total six degrés de liberté (selon trois axes de translation et trois axes de rotation). La main humaine, pour sa part, peut accomplir 22 mouvements distincts. Si l'on ajoute les fonctions sensorielles, la faculté de réaction aux stimulus et la faculté qu'a le cerveau de choisir automatiquement à tout moment la réaction la plus appropriée, on voit que le bras de l'homme est un mécanisme très adaptable et très complexe. Il a en outre une très grande force (rapport force/poids de 5 environ) et est d'un faible poids.

Pour simuler les fonctions spatiales et les fonctions de réorientation du bras et du poignet de l'homme, un bras de robot ou un manipulateur doit avoir au moins six degrés de liberté. Souvent, on lui en donne jusqu'à huit ou neuf pour lui permettre de contourner les obstacles.

Dans la plupart des cas, on se contente pour exécuter les 22 mouvements de la main de l'homme d'une simple pince, encore que, pour certains cas très spéciaux, on ait inventé des mains anthropomorphes avec doigts articulés et actionnables.

Les actionneurs d'un robot peuvent fonctionner pneumatiquement, hydrauliquement, électriquement, mécaniquement ou selon une combinaison de ces quatre modes d'entraînement.

Pour réaliser un bras de robot, le plus difficile est de simuler les fonctions de commande du bras humain. La mise au point d'ordinateurs, de processeurs et de mémoires de types spéciaux a ouvert des nouvelles perspectives à la commande des robots. L'ingénieur peut augmenter l'intelligence du robot en faisant appel à des équations mathématiques pour les mouvements complexes et les dispositifs sensoriels très perfectionnés.

Les robots et les systèmes de commande actuellement en usage varient considérablement et vont des robots simples à séquences limitées aux robots très perfectionnés commandés par ordinateurs.

Des milliers de robots à séquences limitées, essentiellement du type préhension-positionnement, ont fait leurs preuves dans de nombreuses usines de par le monde. Ces robots n'ont qu'à effectuer un nombre limité d'actions séquentielles pour exécuter leurs tâches et leurs mouvements et n'ont pas besoin d'être dirigés, comme c'est le cas pour les robots plus perfectionnés. Chaque étape de la

suite d'opérations est programmée et commandée par un signal électrique ou pneumatique à partir d'un tableau à fiches. Généralement, des butées sont prévues aux articulations pour en limiter le mouvement. La plupart des robots n'ont aucun moyen de recevoir des stimuli du milieu où ils opèrent mais en les associant à d'autres dispositifs on a pu les doter d'une certaine forme d'intelligence. Il ne semble pas que les techniques auxquelles font appel les robots à séquences limitées puissent avoir beaucoup d'applications dans les opérations de déclassement et de décontamination, car ces robots sont difficiles à reprogrammer.

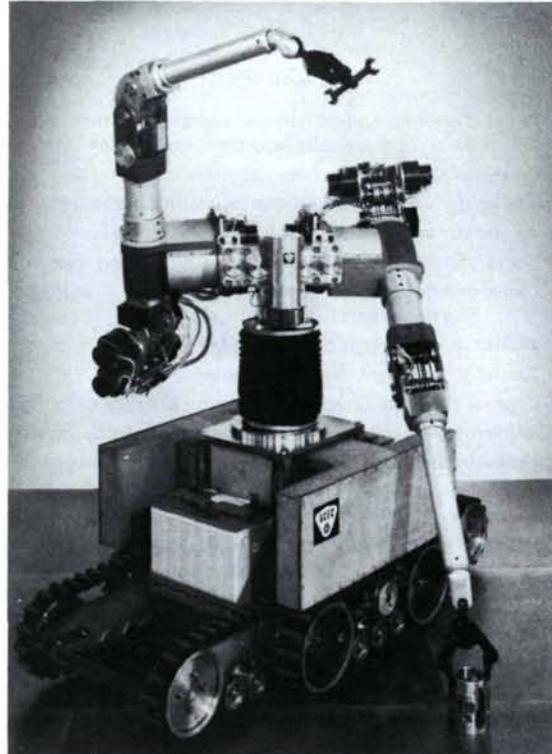
Dans les robots ultra-modernes que l'on trouve sur le marché, un des éléments les plus importants est le système de commande qui détermine à quel moment et comment la partie mécanique du robot accomplira ses tâches. Le système de commande qui comporte un ordinateur, une mémoire à grande capacité et des fonctions sensorielles doit pouvoir être programmé simplement et rapidement en mode connecté ou autonome. Il faut en outre qu'il puisse réagir aux ordres de l'opérateur et aux signaux d'autant de capteurs qu'il en faut pour exécuter la tâche. Les capteurs permettent de détecter l'état du système en temps réel et peuvent envoyer l'information voulue aux commandes. Parmi les capteurs classiques on peut citer les télémètres à laser, les caméras de télévision, les détecteurs de contact, de force, de couple ou de proximité. Les ordinateurs emmagasinent les données d'entrée et les programmes complexes destinés au robot, comparent les gestes accomplis aux gestes souhaités, produisent des séquences complexes d'actions et permettent d'établir une communication entre l'homme et la machine.

Logiciel

Les nouvelles techniques à l'étude pour le logiciel sont tout aussi importantes. Par exemple, des systèmes d'infographie interactifs permettraient à l'ingénieur d'étudier les possibilités du matériel robotisé sur un écran relié à l'ordinateur au lieu de devoir procéder par tâtonnement dans un milieu fortement radioactif. En d'autres termes, l'ingénieur pourrait introduire dans le logiciel graphique le plan de masse et l'emplacement des canalisations, du matériel et des accessoires. Le robot et son outil peuvent également être programmés avant installation.

Par exemple, si l'on doit couper une série de conduites de diamètres et de formes différents, il est possible de programmer un robot monté sur véhicule télécommandé, sur une grue ou sur un portique mobiles et doté d'un chalumeau à découper pour sectionner les conduites selon la séquence voulue. On éviterait les collisions en employant des capteurs ou le modèle logiciel de l'environnement établi d'après graphiques. Il semble qu'une technique de ce genre vaille la peine d'être perfectionnée pour le déclassement, la décontamination et l'entretien des installations nucléaires soit à l'aide de robots ultra-modernes, soit avec des dispositifs télécommandés combinés à divers outils.

Les robots modernes employés dans les usines les plus diverses pour les opérations de soudage, de fonderie, de peinture au pistolet, d'assemblage délicat, etc., libéreront de nombreux travailleurs de tâches dangereuses ou déplaisantes. Les applications directes de robots industriels spécialisés à des tâches de décontamination et de déclassement dans l'industrie nucléaire dépendent des niveaux d'activité et de contamination. Il n'en reste pas moins



Se servant de ses «bras» et de ses «mains» ce robot peut saisir des outils et ramasser de petits objets. (Photo: ACEC)

que l'application de cette technique, avec des composants et des robots spécialisés, est possible et souhaitable pour de nombreuses tâches. Il ne faut pas oublier qu'il existe déjà des robots dotés de force, de sensibilité tactile et de vision, et que l'on continue à les perfectionner; même les opérations d'entretien les plus simples représentent, dans l'état actuel de la robotique, un défi à relever.

Les robots donnent les meilleurs résultats quand les coordonnées du milieu physique qui les entoure sont bien définies et stockées dans leur mémoire. En continuant à investir dans la recherche sur l'intelligence artificielle et dans l'étude et la fixation de normes pour les interfaces communes à tous les fabricants de robots, on augmentera les possibilités d'application des robots.

Pour évaluer l'intérêt financier que présente l'application des techniques robotiques à une activité, il ne faut pas s'en tenir aux critères classiques de rentabilité et d'amortissement des investissements. Outre qu'on économise les salaires des ouvriers remplacés par les robots, on gagne aussi sur d'autres postes budgétaires tels que: assurance maladies, personnel d'encadrement, parc de stationnement, formation, chauffage, éclairage, énergie, retraites, congés de maladie, radioprotection, etc. Une méthode d'analyse de coût-utilité a été mise au point pour calculer le prix de revient de la robotisation des inspections d'installations nucléaires.