



Les robots destinés aux centrales nucléaires

par Taylor Moore

Odex, robot marcheur polyvalent. (Photo: Odetics, Inc.)

Aux Etats-Unies, les moyens robotiques mis en œuvre pour le nettoyage de TMI-2 et dans d'autres centrales nucléaires ont suscité un grand intérêt et amené à entreprendre des recherches sur la meilleure façon d'utiliser les robots

Longtemps relégués au domaine de la science fiction, les robots, au cours des dernières années, ont captivé l'attention du public et du secteur industriel d'une manière spectaculaire. De nombreux observateurs voient dans les robots le signe d'un renouveau industriel qui insuffle un regain de vigueur économique et de compétitivité aux industries en dépression, en augmentant leur productivité et diminuant leurs coûts de main d'œuvre.

D'un autre côté, les ouvriers envisagent souvent avec appréhension l'idée de voir un robot exécuter une tâche qu'autrefois seul un être humain pouvait accomplir. Les incidences sociales de la robotisation de l'industrie américaine deviendront certainement un sujet de préoccupation encore plus important pour les ouvriers, les chefs d'entreprises et les dirigeants, à mesure que les robots pénétreront sur le marché du travail du secteur industriel.

Selon l'Association des industries de la robotique (Robotics Industries Association), 6300 robots seulement avaient été livrés aux Etats-Unis à la fin de 1983; la plupart d'entre eux étaient en service depuis 1976. Or, la force de l'évolution technologique et les pressions de la concurrence économique internationale laissent entrevoir une accélération de la mise en œuvre des robots dans les années à venir. Certains experts prévoient que, d'ici 1990, quelque 100 000 robots seront peut-être en service aux Etats-Unis, soit un dixième du nombre total prévu pour le monde entier.

Pour la plupart des industries, comme celles de l'automobile, du travail des métaux et de la fabrication de machines, où l'on emploie ou envisage d'employer des robots, il s'agit essentiellement de préserver ou de reconquérir un avantage sur le marché de la concurrence en abaissant les coûts unitaires de pro-

duction et en améliorant la qualité des produits. Mais, pour certaines industries, l'intérêt des robots est qu'ils peuvent fonctionner dans des milieux dangereux et, partant, réduire les risques que certaines tâches présentent pour l'homme.

L'industrie de la production d'électricité en est un exemple. Bien que la plupart des fabricants de robots ne considèrent pas que les compagnies d'électricité représentent un marché potentiel important, ils n'en étudient pas moins des robots pour applications spéciales qui seront chargés d'assurer des tâches d'inspection et de maintenance à l'intérieur des centrales nucléaires où les niveaux de radioactivité, la chaleur et l'humidité excluent la présence d'être humains ou limitent considérablement leurs possibilités de travail. Pour bon nombre des tâches à accomplir dans une centrale nucléaire, les robots viendraient utilement compléter les

M. Moore est un rédacteur de l'équipe du *Journal de l'EPRI* dont le présent article est repris. L'EPRI est l'Institut de recherches sur l'énergie électrique (Electric Power Research Institute) des Etats-Unis, B.P. 10412, Palo Alto, Californie 94303. Les membres de l'EPRI qui ont contribué aux parties techniques du présent article sont Floyd Gelhaus, Michael Kolar, Thomas Law, Adrian Roberts et R.K. Winkleblack.

effectifs; ils libéreraient l'homme de certains des travaux les plus pénibles et les plus inconfortables et, éventuellement, permettraient d'accomplir certaines tâches pendant que la centrale resterait en marche, réduisant ainsi les temps d'immobilisation toujours coûteux, nécessaires aux inspections et à la maintenance.

Certains des robots à l'étude pour application dans les centrales électriques représentent ce qui se fait de mieux en robotique et les travaux de recherche qu'ils supposent pourraient être à l'origine de nouveaux progrès susceptibles de nombreuses applications dans d'autres industries. L'EPRI a plusieurs projets en cours qui doivent permettre d'évaluer les possibilités techniques et économiques d'employer les robots pour certaines opérations à effectuer dans les centrales, et de faire bénéficier de l'expérience ainsi acquise les spécialistes des centrales qui ne manquent pas de tâches pour lesquelles des robots fiables, efficaces et d'un coût raisonnable, seraient les bienvenus.

De telles recherches ne donnent inévitablement leurs fruits qu'à longue échéance. L'industrie de la robotique qui, dans son acception la plus large, n'a pas encore 20 ans, en est à ses premiers balbutiements et doit faire des progrès considérables dans les domaines des systèmes de visualisation, de la miniaturisation et de la commande des ordinateurs avant que des robots vraiment économiques, adaptables et puissants ne deviennent monnaie courante sur le marché. Cependant les succès obtenus au cours des dernières années donnent à penser que de telles machines sortiront des laboratoires et seront commercialisées avant la fin de la présente décennie. Les recherches que l'EPRI mène sur les applications de la robotique visent, en partie du moins, à faire en sorte que, le moment venu, les compagnies d'électricité aient une idée claire des tâches que les robots peuvent exécuter pour elles et puissent juger s'il est rentable de les mettre en service.

Des robots pour les centrales nucléaires

L'emploi d'équipements télécommandés et analogues à des robots pour protéger le personnel des centrales nucléaires dans les zones à fort rayonnement n'est pas nouveau. John Taylor, un des vice-présidents de l'EPRI et Directeur de la Division de l'énergie d'origine nucléaire, divise l'équipement robotique

employé dans les centrales nucléaires en deux grandes catégories: les appareils à fin unique ayant une capacité opérationnelle limitée et les robots programmables à fins multiples ayant une certaine intelligence artificielle reposant sur l'emploi d'ordinateurs.

«Je pense que la première catégorie a atteint une certaine maturité», dit Taylor. Au Centre d'évaluation non destructive de l'EPRI, ainsi que chez des fabricants de réacteurs, dans des entreprises de services nucléaires et dans certaines compagnies d'électricité, on emploie aujourd'hui ces types d'appareils pour des tâches telles que le découpage et le sondage des conduites, l'inspection et la réparation des tubes des générateurs de vapeur et le balayage ultrasonique des canalisations pour y détecter d'éventuelles fissures. «Ces appareils sont devenus absolument indispensables; sans leur aide, nous ne pourrions tout simplement pas assurer certaines tâches», ajoute Taylor.

Pour les robots de la seconde catégorie, ceux qui ont suffisamment d'intelligence artificielle informatisée pour assurer diverses opérations, «beaucoup reste encore à faire», dit Taylor, avant qu'ils fassent la preuve d'une utilité pratique réelle dans l'exploitation des centrales nucléaires, mais de tels robots sont à l'étude et les premiers essais devraient permettre de se faire une idée assez exacte de leurs possibilités.

Peu après la réalisation de bras de manipulation destinés aux cellules chaudes et aux opérations de retraitement du combustible, un bras monté sur chariot et doté de caméras et de projecteurs fit son apparition, dans les années 1950, à la centrale nucléaire de Hanford, dans l'Etat de Washington. Réalisé par Westinghouse Hanford Co., ce véhicule de transport télécommandé fut baptisé «Louie» après qu'un technicien eut griffonné ce surnom sur le bras du robot. Louie qui s'est avéré un «travailleur» infatigable, adaptable et robuste est encore en service aujourd'hui.

Certains aspects des applications de ces appareils distinguent l'équipement robotique destiné aux usines nucléaires des robots industriels plus connus, appareils immobiles qui servent aux opérations de simple manipulation ou autres tâches très répétitives.

Dans de nombreuses applications industrielles, on cherche à remplacer l'homme par des machines plus productives, plus précises et donnant de

meilleurs résultats. En revanche, pour les applications nucléaires, il ne s'agit pas tant de remplacer l'homme que de le prolonger, en lui permettant par exemple d'accéder, par robot interposé, dans des parties des centrales nucléaires où la température ou les rayonnements interdisent ou limitent le séjour de l'homme.

R.K. Winkleblack, directeur de projet de l'EPRI à la Division de l'énergie d'origine nucléaire, s'exprime ainsi: «Contrairement à ce qui se passe pour la plupart des applications robotiques, nous ne voulons pas remplacer l'homme. Nous voulons qu'il reste dans le circuit et qu'il puisse observer le travail du robot, prendre des décisions et lui donner des ordres». Il ajoute: «A strictement parler, ce qui nous intéresse, ce sont des appareils télécommandés et non de véritables robots.»

Augmentation de la disponibilité

Le recours à des robots pour l'inspection et la maintenance des centrales nucléaires est surtout motivé, sur le plan économique, par les possibilités qu'ils offrent d'augmenter la disponibilité des centrales; accessoirement, ils permettent en outre de réduire la radioexposition du personnel.

De nombreuses tâches d'inspection et de maintenance ne peuvent être assurées que si le réacteur est à l'arrêt, les niveaux de rayonnement étant trop élevés en conditions normales d'exploitation, même pour des personnes revêtues de tout un arsenal de vêtements protecteurs. On repousse généralement ces tâches jusqu'aux opérations programmées de réapprovisionnement en combustible pour réduire au minimum le temps d'immobilisation de la centrale. Elles s'inscrivent ainsi dans le trajet critique des activités nécessaires pour remettre la centrale en service.

Ces temps morts, outre qu'ils sont coûteux, jouent un rôle fondamental dans la disponibilité des centrales. L'énergie qu'il faut acheter à l'extérieur pour remplacer la production d'un réacteur de 1000 MWe revient en moyenne à 500 000 dollars par jour. Les robots pourraient en principe contribuer à augmenter la disponibilité des centrales en évitant les délais que supposent les immobilisations et assurer certaines tâches tandis que le réacteur est en marche.

Pour le personnel des centrales nucléaires, les règlements fédéraux actuels prévoient que les expositions

ne doivent pas dépasser 3 rem* pour un trimestre ou 5 rem pour une année. Il s'ensuit que, pour de nombreux travaux de type courant, un personnel nombreux doit être affecté à une petite partie des tâches, chaque personne atteignant rapidement la limite fixée pour l'exposition professionnelle aux rayonnements et devant rester en dehors des zones exposées jusqu'au trimestre suivant. Ainsi, les compagnies doivent employer un grand nombre d'employés «volants» qui passent à d'autres tâches une fois qu'ils ont reçu la dose limite.

Selon une estimation de la Nuclear Regulatory Commission (NRC) chaque rem-homme auquel le personnel est exposé représente pour les compagnies un coût de 1000 dollars, certaines lui attribuent même une valeur pouvant atteindre 5000 dollars. Certains types de travaux tels que les enquêtes de radioprotection et les inspections des systèmes primaires de refroidissement des réacteurs peuvent faire intervenir des champs de rayonnement de plusieurs centaines de rad par heure.

Les compagnies d'électricité risquent même de se voir imposer des niveaux d'exposition plus strictes à l'avenir. Indépendamment des directives qui prescrivent aux compagnies de ramener les expositions aux niveaux les plus bas qu'on puisse raisonnablement atteindre, la NRC étudie depuis plusieurs années déjà des propositions tendant à rabaisser les normes d'exposition professionnelle aux rayonnements; une telle évolution pourrait exercer un effet multiplicateur sur ce que les expositions du personnel coûtent aux compagnies.

Etudes de faisabilité

L'EPRI et la NRC ont tous deux parrainé des études préliminaires d'évaluation des possibilités d'application de la robotique dans les centrales nucléaires. La NRC, qui visait essentiellement à réduire la radioexposition du personnel, s'est surtout intéressée aux tâches de surveillance et d'inspection dans une étude faite par la Remote Technology Corp. L'étude de l'EPRI menée par Battelle, Columbus Laboratories, s'est surtout attachée aux travaux de maintenance et s'est

efforcée de rechercher des possibilités d'améliorer la disponibilité et de réduire l'exposition aux rayonnements.

Dans chaque étude on a essayé de quantifier le coût, en exposition professionnelle aux rayonnements et en heures-homme, de diverses tâches qu'un robot pourrait accomplir; on a ensuite comparé ces coûts à ceux du robot, de ses systèmes d'appui associés et du personnel correspondant.

Les tâches de surveillance et d'inspection évaluées dans l'étude de la NRC comprennent la détection des fuites de vapeur ou d'eau, la vérification de la position des vannes et la lecture des instruments de mesure pour déterminer les niveaux de rayonnement dans les composants ainsi que diverses méthodes d'échantillonnage pour détecter la contamination. L'étude de l'EPRI s'est attachée à 22 tâches accomplies périodiquement ou pendant la réalimentation en combustible, notamment l'entretien du mécanisme des barres de commande, la réparation des conduites du générateur de vapeur et la réparation de diverses pompes ou vannes.

Bien que les diverses opérations étudiées soient différentes, les deux études concluent que l'emploi de robots dans les centrales nucléaires présente des avantages économiques très nets. L'étude de la NRC qui fait une analyse «coût-avantage» de deux centrales en service conclut que les moyens robotiques actuellement sur le marché peuvent être ajoutés après coup dans les centrales et qu'ils réduiront tant l'exposition des travailleurs que les coûts d'exploitation.

L'étude de la NRC fait toutefois observer que leur intérêt peut varier considérablement d'une centrale à une autre, leur conception et l'histoire de leur exploitation n'étant pas identiques. Le rapport encourage les compagnies d'électricité à faire des analyses coût-avantage en fonction de chaque centrale et à tenir compte notamment du coût des entrées du personnel dans les zones radioactives afin de déterminer si, pour de telles inspections, les applications de la robotique sont rentables.

Dans l'étude faite par Battelle pour l'EPRI, on a fait un tri entre les applications possibles à la maintenance, afin de retenir des tâches communes à de nombreuses centrales nucléaires qui représentent une partie importante des coûts de maintenance et dont l'exécution

pourrait être améliorée dans les limites de l'état actuel de la robotique. Des analyses coût-avantage ont été faites ultérieurement concernant l'emploi de robots pour le nettoyage de l'intérieur des réacteurs, les enquêtes de radioprotection et le boulonnage/déboulonnage de certaines pièces. Les moyens robotiques actuels pourraient assurer ces tâches, mais l'étude conclut qu'elles ne peuvent être assurées par des robots sans nouveaux progrès techniques.

En employant la méthode dite de la valeur actuelle nette, les chercheurs de Battelle ont conclu que le coût des robots, conçus pour le nettoyage des réacteurs et les opérations de boulonnage de maintenance, serait récupéré en moins d'un an, alors que celui des applications en radioprotection le serait en trois ans environ. Les résultats ont ensuite fait l'objet de calculs pour une gamme de durées d'immobilisation et de coûts de l'exposition aux rayonnements.

Il ressort de cette étude que, même en retenant les valeurs les plus faibles (700 dollars par rem-homme d'exposition et 300 000 dollars pour une journée d'immobilisation), le coût de la robotisation des opérations de boulonnage de maintenance serait récupéré en un peu plus d'un an, alors que celui des tâches de radioprotection le serait en moins de quatre ans. Dans l'ensemble, l'étude fait état d'économies sur les coûts allant de 100 000 à 1 million de dollars par robot, en valeur actuelle nette, le prix d'achat de chaque robot envisagé étant inférieur à 200 000 dollars.

Les chercheurs de Battelle appellent toutefois l'attention sur le nombre limité des robots spécialisés dans les applications nucléaires actuellement sur le marché. L'industrie nucléaire n'ayant pas représenté un marché de premier plan pour les fabricants de robots, ce domaine a été laissé à de petites entreprises qui peuvent adapter des appareils robotiques et en fabriquer de petites séries.

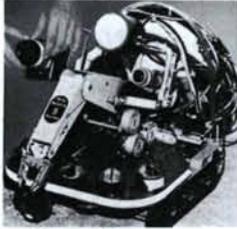
Il faut donc, conclut l'étude, que l'industrie nucléaire trouve les moyens de financer ces réalisations et d'intéresser des entreprises prêtes à protéger financièrement ces techniques pendant la phase de démonstration de leur utilité. C'est là une situation opposée à celle qui existe au Japon où des rapports de coopération entre compagnies d'électricité et fabricants de robots ont permis d'aborder le problème de manière plus cohérente.

* Dans l'usage international, le rem a été remplacé par le sievert, conformément aux recommandations de l'Organisation internationale de normalisation. Un sievert vaut 100 rem.

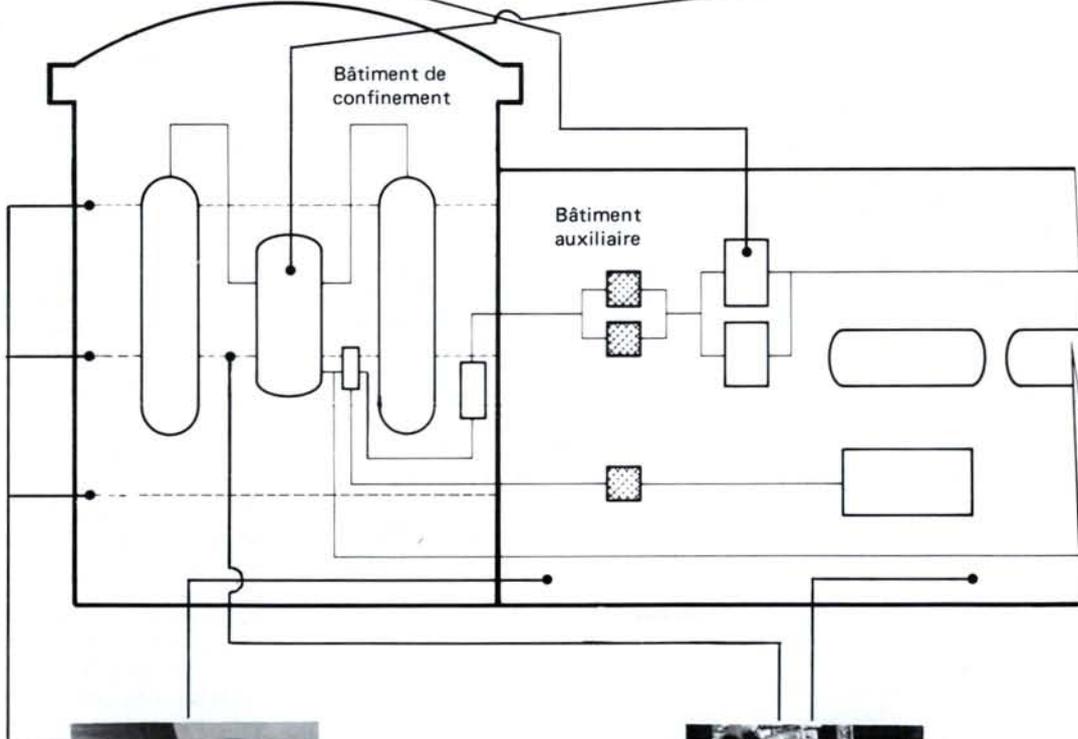
Les robots à Three Mile Island-2 (TMI-2)

Les travaux de nettoyage et de remise en état du réacteur endommagé de TMI-2, en Pennsylvanie, sont un défi, unique en son genre, pour l'application des techniques de la robotique. Deux manipulateurs télécommandés appelés Fred et SISI ont déjà été mis en service pour des tâches de surveillance et de décontamination. Le RRV surnommé Rover – le balladeur – a eu pour tâche d'inspecter le sous-sol contaminé du bâtiment de confinement du réacteur. Une piqueuse télécommandée a été mise au point pour enlever la surface contaminée des sols en béton. Louie, spécialement modifié pour opérer à TMI-2, doit relever les niveaux des rayonnements à mesure qu'on décontamine le réservoir de déminéralisation de l'eau de la centrale. Rosa, bras de manipulation télécommandé à usage multiple, a été proposé pour aider à enlever le combustible du cœur du réacteur.

SISI
(Surveillance à distance)



Rosa
(enlèvement du combustible
du cœur du réacteur)



Piqueuse télécommandée
(décontamination)



Fred
(décontamination)

Réalisation de prototypes

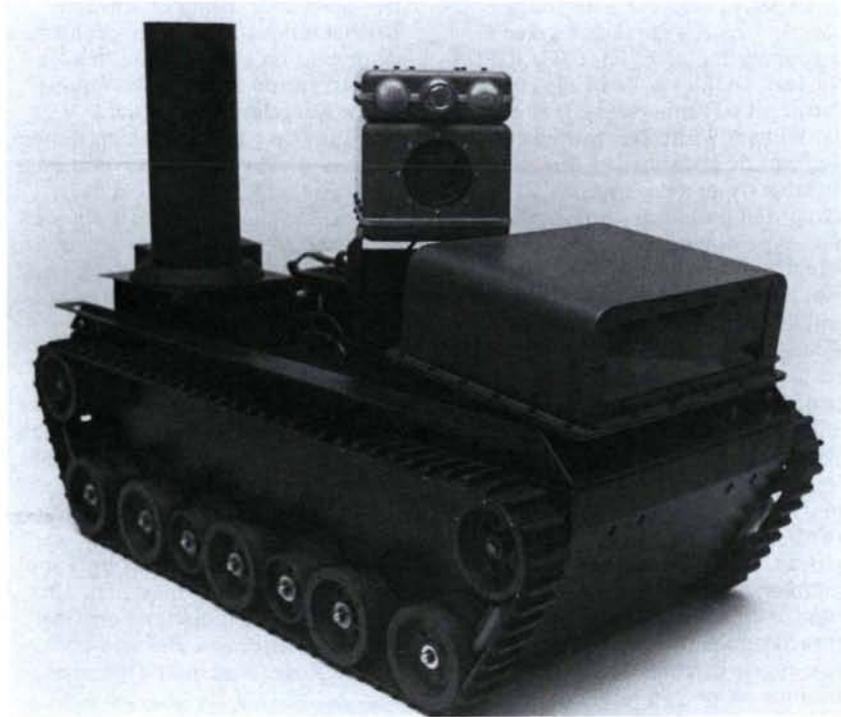
Le gros des recherches de l'EPRI en robotique consiste à participer à la réalisation et aux essais de plusieurs prototypes de robots qui pourraient être les précurseurs de machines qui seraient mises sur le marché. Certains de ces robots pourraient servir de véhicules de transport portant d'autres appareils robotiques tels que des déboulonneurs de brides ou des robots pour réparation des tuyaux des générateurs de vapeur dans une zone à fort rayonnement, mettant en marche de petits appareils puis surveillant les opérations. D'autres en revanche, moins aptes à exécuter des tâches ardues, pourraient servir de maîtres robots intelligents commandant les opérations de robots plus puissants.

Plusieurs prototypes de robots font leur apparition dans la remise en état et le nettoyage de la tranche endommagée de TMI-2, en Pennsylvanie, où s'est produit en mars 1979 un accident dû à une perte de fluide de refroidissement qui a détruit une bonne partie du cœur du réacteur et rendu inaccessible à l'homme de grandes parties du bâtiment de confinement du réacteur où, par inspection indirecte à distance on a relevé en certains endroits des champs de rayonnements atteignant 3000 rad/h.*

Selon Adrian Roberts, administrateur principal des programmes à la Division de l'énergie d'origine nucléaire de l'EPRI et directeur du programme d'information et d'étude sur l'accident de TMI-2, les mesures de nettoyage de cette centrale ont donné une impulsion particulièrement forte à la réalisation de robots. «A la centrale de Three Mile Island, le défi lancé à la robotique est vraiment d'actualité: il faut bien reconnaître que certaines tâches ne peuvent être exécutées que par télécommande et, vu qu'il nous est impossible d'attendre le nec plus ultra en matière de robots, nous tirons profit des réalisations faites dans divers domaines pour mener à bien le travail qui doit être fait. S'il apparaît que les robots peuvent y être employés pour certaines tâches, on pourra les employer dans d'autres centrales nucléaires également.»

De fait, on a essayé à plusieurs reprises d'employer des robots à TMI depuis l'accident. En août 1982,

* Dans l'usage international, le rad a été remplacé par le gray. Un gray vaut 100 rad.



IRIS (Industrial Remote Inspection System) est un robot universel pour environnements dangereux. (Photo: EPRI)

on a utilisé un véhicule chenillé, téléguidé et analogue à un char d'assaut pesant 11 kg fourni par DOE et appelé SISI (System In-Service Inspection), c'est-à-dire système d'inspection en service, pour faire des photographies et des relevés des rayonnements dans des zones entourant le système de purification de l'eau d'alimentation de la centrale. Les filtres de ce système sont fortement contaminés par des produits de fission du système primaire de refroidissement du cœur. Au printemps suivant, un véhicule télécommandé à six roues, baptisé Fred, a été doté d'une lance à eau à haute pression pour décontaminer les murs et le plancher d'un compartiment réservé aux pompes situé dans le sous-sol du bâtiment annexe. Fred pèse 181 kg, son bras mécanique peut soulever 68 kg jusqu'à une hauteur de 1,80 m.

On a transporté à Three Mile Island le vénérable Louie de Westinghouse Hanford pour y effectuer des relevés radiologiques pendant la décontamination du système de purification de l'eau. Connu officiellement en tant que véhicule de transport téléguidé, Louie servira à surveiller les niveaux de rayonnements à mesure que les résines déminéralisantes du système d'approvisionnement en eau seront éliminées. La force de levage du robot (450 kg) ne sera pas nécessaire

à cette opération mais ses caméras de télévision qui résistent aux rayonnements feront des relevés à proximité du réservoir de déminéralisant, où l'on relève au contact un débit de dose de 3000 rad/h.

La tentative la plus ambitieuse faite jusqu'ici pour appliquer la robotique au nettoyage de TMI-2 a été la réalisation par le Laboratoire de génie civil et de robotique de l'Université Carnegie-Mellon (CMU), avec l'aide de l'EPRI, d'un véhicule de reconnaissance téléguidé (Remote Reconnaissance Vehicle (RRV)) pour étudier la situation dans le sous-sol du bâtiment de confinement du réacteur. Ce sous-sol, où personne n'a pénétré depuis plus de cinq ans, reste fortement contaminé par les boues radioactives qui subsistent de quelque 2300 mètres cubes d'eau, y compris l'eau du circuit primaire de refroidissement dont la majeure partie a depuis été évacuée par pompage.

Le RRV, que la GPU Nuclear Corporation, société chargée des opérations à Three Mile Island a surnommé Rover (le balladeur), a eu pour tâche de pénétrer dans le sous-sol obscur et humide où il a été déposé à l'aide d'une grue, d'inspecter les lieux avec ses trois caméras de télévision et de faire des relevés radiologiques de la zone à l'aide de plusieurs instruments de détection montés à bord.

Le RRV, véhicule à six roues, pèse 450 kg; il a été réalisé grâce à la coopération de EPRI, CMU, GPU Nuclear, DOE et la Ben Franklin Partnership (Pennsylvanie), et conçu par William Whittaker, professeur assistant de génie civil et directeur du laboratoire de robotique. Il porte un cordon ombilical à enroulement d'un type nouveau, qui permet au véhicule de contourner les obstacles sans avoir à traîner son cordon ombilical. Un bâti en acier inoxydable, monté sur la base du transporteur, porte l'enrouleur, les caméras, les instruments de surveillance et les systèmes de commande. Le véhicule a également été conçu de façon à pouvoir être décontaminé rapidement par arrosage à l'eau.

Une équipe de deux personnes commande le RRV à partir d'un pupitre doté d'écrans de surveillance et suffisamment éloigné de la zone dangereuse (à Three Mile Island cette distance est de 150 mètres); une personne dirige l'appareil et manipule les caméras tandis que l'autre s'occupe de l'enrouleur du cordon ombilical. Des équipes d'opérateurs se sont exercées pendant plusieurs mois à manœuvrer le RRV le long d'un parcours d'obstacles improvisés dans le bâtiment des turbines voisin (base de bon nombre d'opérations de nettoyage) avant de le descendre à pied d'œuvre.

Le RRV est le premier d'une série de trois véhicules téléguidés analogues qui seront réalisés pour la remise en état de la centrale. Une des caractéristiques importantes est que le bâti monté sur le châssis peut être enlevé et que l'on peut ajouter d'autres équipements sur le véhicule. Le deuxième véhicule RRV, modifié par Pentek Inc., entreprise travaillant pour le compte de l'EPRI sur le site de Three Mile Island, est doté d'une piqueuse pneumatique et d'un système d'aspiration pour enlever la couche supérieure du béton des sols contaminés dans certaines parties du bâtiment du réacteur.

Le troisième RRV reste au laboratoire de robotique CMU en vue d'améliorations futures. Parmi les nouvelles tâches envisagées qui nécessiteront des modifications du prototype du RRV figurent le prélèvement d'échantillons de liquide et de boues dans le sous-sol du confinement, le prélèvement d'échantillons de béton au sol et sur les murs, et quelques petits démontages de structures.

Whittaker, concepteur du RRV explique: «A Three Mile Island on s'intéresse à des véhicules de travail

très puissants, fiables et mobiles. Les opérations posent des problèmes de dimension et de possibilités d'intervention rapide et les équipements qui relèveront les défis devront être eux-mêmes bien dimensionnés et capables d'intervenir dans toutes les circonstances. Mais il n'existe certainement pas d'appareil universel; c'est pourquoi nous nous intéressons à une famille d'appareils de ce genre. Une possibilité consisterait à avoir un RRV de taille normale qui superviserait l'activité d'un porte-outils. Une autre possibilité serait une version miniaturisée qui serait téléguidée depuis sa base.»

De toute façon, les appareils de type robot se montrent des outils précieux pour la remise en état de la centrale de Three Mile Island. D'autres applications de robots sont également prévues sur ce site. Un bras de télémanipulation construit par la Westinghouse Electric Co., appelé Rosa (Remotely Operated Service Arm), a été proposé pour assurer l'enlèvement du combustible du cœur du réacteur qui devrait avoir lieu l'année prochaine. Rosa, qui peut également fonctionner sous l'eau est déjà connu de certaines compagnies d'électricité qui exploitent des réacteurs à eau sous pression pour sa capacité d'inspecter et de réparer les tuyauteries de générateurs de vapeur une fois mis en place par le personnel chargé de la maintenance.

Des robots en réserve

Indépendamment des robots mis en service à Three Mile Island, l'EPRI évalue deux autres prototypes qui pourraient intervenir utilement dans les centrales nucléaires. Ces appareils pourraient devenir des cousins de ceux qui sont employés à Three Mile Island et faire partie de la famille qu'envisage Whittaker.

Un d'entre eux, fabriqué par Advanced Resource Development (ARD) Corp. est un système d'inspection téléguidé appelé IRIS (Industrial Remote Inspection System). Conçu comme robot universel de surveillance et d'inspection en milieu dangereux, IRIS est un transporteur de dimensions modestes (si on le compare au RRV), alimenté par batteries et chenillé, qui peut être doté de capteurs de signaux optiques, acoustiques ou autres émis par l'environnement, de manipulateurs, ainsi que de sous-systèmes de télécommunication et de commande.

L'IRIS (qui pèse quelque 90 kg) comporte un système de télécom-

munications sans fil à haute fréquence, unique en son genre, et spécialement conçu pour fonctionner dans un environnement encombré d'obstacles matériels, lequel lui assure une mobilité et un rayon d'action supérieurs aux possibilités de la plupart des robots réalisés à ce jour. Un bras télescopique sur lequel est monté un système de télévision en trois dimensions avec téléobjectif et microphone placés sur un support rotatif inclinable porte la charge utile normale à 32 kg. Ultérieurement, IRIS sera doté d'une intelligence limitée qui lui permettra de revenir sur son chemin, même si les signaux de commande normaux ne lui parviennent pas ou sont brouillés.

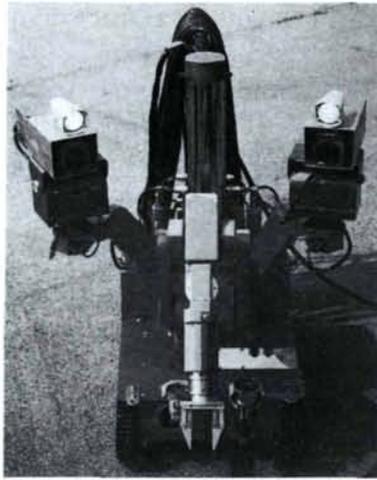
Selon Floyd Gelhaus, chargé du programme à l'EPRI, qui étudie les possibilités d'application d'IRIS et d'autres robots dans les centrales nucléaires, l'appareil construit par ARD a été conçu uniquement comme véhicule de surveillance téléguidé. Gelhaus précise que «ses possibilités d'effectuer des travaux de force sont limitées, mais sa mobilité et sa liberté de mouvement, joints à sa capacité de transporter divers types d'appareils, en font un élément précieux».

Gelhaus a l'intention de soumettre IRIS à des essais conduits par des techniciens du Centre d'évaluation non destructive de l'EPRI avant de le mettre à l'œuvre dans l'environnement non radioactif d'une centrale récemment construite. La Duke Power Co. a obligeamment accepté que les essais aient lieu dans sa nouvelle centrale nucléaire de Catawba. La deuxième étape consistera à soumettre l'appareil à des essais et à une évaluation dans une centrale en exploitation.

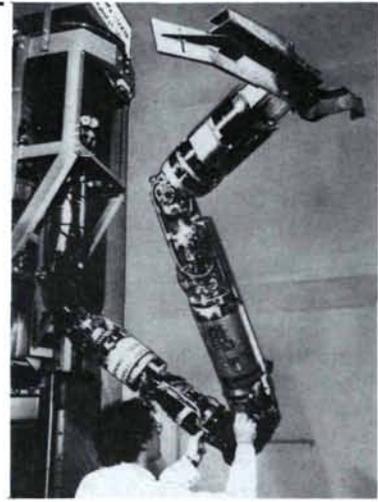
Gelhaus étudie également les possibilités d'application d'un robot appelé Odex, qui a six jambes, se déplace librement, et est sans doute le robot le plus perfectionné à ce jour. Le prototype Odex, construit par Odetics, Inc. est, selon Gelhaus, une innovation remarquable vu son rapport force/poids; il peut soulever plus de cinq fois et demie son propre poids (qui est d'environ 170 kg). La plupart des autres robots existants ne peuvent guère soulever plus que le vingtième de leur poids. «Avec une telle puissance, de nombreuses applications sont possibles», dit Gelhaus. Odex a fait aux Etats-Unis des démonstrations enregistrées sur cassettes vidéo; on voit notamment ce robot soulever l'extrémité d'une camionnette.



Ce robot radiocommandé appelé «Kluge» a été conçu pour la surveillance et pour le transport de divers types d'équipements. (Photo: Cybernation, Inc.)



«Herman» est un manipulateur mobile en service à la centrale Y-12 d'Oak Ridge, Tennessee, utilisé en cas d'urgence pour les travaux en environnement toxique ou radioactif. (Photo: Martin Marietta Energy Systems, Inc.)



ISIS, réalisé par Hispano Suiza, est employé en France pour la réparation du réacteur Chinon 3. (Photo: Hispano Suiza)

Evolution de la robotique

Si l'industrie de la robotique proprement dite n'a pas même vingt ans d'âge, la technique correspondante peut prétendre avoir des liens, de par le monde, avec des ancêtres directs ou éloignés qui vont des statuettes à musique aux manipulateurs mécaniques et aux machines programmables.

Dans l'antiquité, les Grecs, les Egyptiens, les Ethiopiens et les Chinois, par exemple, avaient créé quantité de figurines mues par l'eau ou la vapeur. Plus tard, au XVIIIème siècle et au début du XIXème siècle, des artisans suisses construisirent des automates animés, capables d'écrire, de dessiner et de jouer un instrument de musique, et les Français mirent au point des métiers à tisser mécaniques commandés par cartes perforées, premiers en date des machines programmables.

Quant au mot «robot», son usage ne fut guère répandu qu'à partir de 1921 quand la pièce de théâtre intitulée *Les robots universels de Rossum* fut jouée à Londres. Ecrite par l'auteur dramatique tchécoslovaque Karel Capek, la pièce vulgarisa ce mot dérivé du tchèque *robota* qui signifie esclave.

Aujourd'hui, la définition du mot «robot» évoque aussi bien les rapides progrès techniques réalisés que ce qu'on peut en attendre. Aux Etats-Unis, l'Association des industries de robotique définit un robot comme «un manipulateur reprogrammable, à fonctions multiples, conçu pour faire mouvoir des équipements, des pièces, des outils ou des dispositifs spéciaux, selon des suites d'opérations programmées variables, pour assurer les tâches les plus diverses.» Au Japon, les robots sont classés comme suit: les M1 sont de simples manipulateurs télécommandés; les M2A sont des appareils que l'on peut programmer pour répéter les mêmes opérations; les M2B peuvent répéter des opérations variables; les M3A sont des appareils plus poussés auxquels un opérateur qui commande l'exécution

peut enseigner une séquence d'opérations; les M3B peuvent être commandés numériquement par un ordinateur; enfin les robots M4 sont dotés d'une intelligence artificielle et peuvent opérer de manière absolument autonome.

On estime que la technique en est au stade des M3, la recherche et le développement étant en bonne voie vers les M4, la mise au point de microplaquettes («puces»), de capteurs, de caméras de télévision et autres appareils électroniques spéciaux favorisant cette évolution. Les experts pensent toutefois que des considérations d'ordre économique dicteront la diffusion des applications futures.

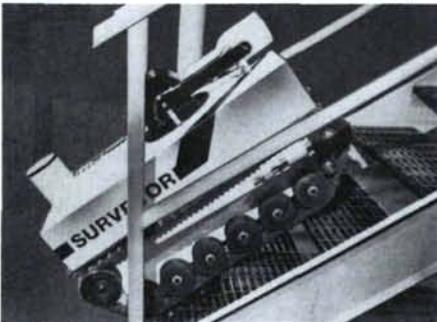
Dans l'histoire de la nucléo-énergétique, les grues mécaniques et les appareils de manipulation employés dès les débuts comptent au nombre des précurseurs des techniques de pointe qui existent aujourd'hui dans le domaine des systèmes téléguidés et de la robotique. C'est Hughes Aircraft qui, en 1958, a mis au point un des premiers robots pouvant servir à la manipulation des matières radioactives dans les installations nucléaires aux Etats-Unis.

On a eu quelques indications du degré atteint par cette technique dans l'industrie nucléaire lors du colloque international réuni l'année dernière par l'AIEA et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire. Plus de 200 participants ont pu échanger des renseignements détaillés sur les progrès réalisés en électronique, dans les systèmes optiques et visuels et dans les équipements, qui ont permis d'apporter des améliorations ou d'innover en la matière. (On peut se procurer le compte rendu du Colloque sur la télémanipulation dans les installations nucléaires à l'OCDE, 2, rue André Pascal, 75775 Paris, Cédex 16, France).

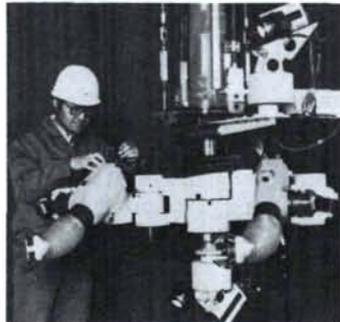
Les photos montrent certains robots actuellement en service.

Les renseignements repris dans cet article sont extraits de «Industrial Robots on the Line», de Robert Ayres et Steve Miller, *Technology Review* (mai/juin 1982) et de l'article de T. Moore paru dans *EPRI Journal* (novembre 1984).

Surveyor peut être employé pour relever les rayonnements, détecter acoustiquement les fuites de vapeur et lire les instruments de mesure. (Photo: Automation Technologies, Inc.)



Robot manipulateur employé au Japon dans les usines de retraitement et les installations d'élimination des déchets radioactifs. (Photo: PNC, Japon)



Le MF3, réalisé par CMS Technologies, Inc., en Rép. féd. d'Allemagne, sert notamment à des travaux de maintenance dans les centrales nucléaires depuis 10 ans. (Photo: EPRI)



Chacune des jambes d'Odex a son propre microprocesseur, tandis qu'un septième assure la coordination de l'ensemble des mouvements; il est ainsi possible d'exécuter des manœuvres complexes sous les ordres d'un opérateur ou d'un ordinateur de commande à distance. L'appareil peut faire un tour complet sur lui-même tout en avançant dans n'importe quelle direction voulue. Ses jambes articulées lui permettent de prendre six positions distinctes allant d'une station debout très groupée pour franchir les portes étroites à la station accroupie. Odex est équipé de caméras de télévision jumelées, pour la transmission d'images.

Selon Gelhaus «Odex représente une percée technique, mais il faut encore faire des recherches sérieuses pour en définir les applications dans une centrale nucléaire». La collaboration de l'EPRI avec Odetics a conduit à des modifications d'agencement qui devraient permettre à Odex de franchir le parcours d'obstacles internes d'une centrale nucléaire.

Evolution future

Technologiquement parlant, Odex est peut-être très voisin du robot intelligent, entièrement autonome, qui, pour les chercheurs, représenterait l'union idéale entre l'automatisation de la machine et le domaine naissant de l'intelligence artificielle. Sa capacité à contourner et à franchir des obstacles sous les ordres télécommandés d'un opérateur n'est pas loin du degré d'intégration qu'il faudra atteindre pour qu'un robot puisse réagir automatiquement à un programme de directives en se référant à une base de données autonome pour connaître son emplacement, sa destination, son itinéraire et les tâches qu'il doit accomplir.

Consommer l'union entre les robots et l'intelligence artificielle reste toutefois un objectif de recherche à long terme, car cela suppose que l'on repousse les frontières des possibilités de modélisation des ordinateurs dans le domaine de la géométrie dans l'espace et que l'on arrive à structurer des quantités énormes de données informatiques auxquelles le robot puisse accéder logiquement. Il existe des programmes de recherche militaires et non militaires qui contribueront à la solution du problème. Les programmes militaires sont en grande partie financés par l'Office of Naval Research (Bureau de recherches pour la marine) et la Defense

Advanced Research Projects Agency (Agence de recherches d'avant-garde pour la défense). D'autres études menées aux Universités de Stanford, de Purdue et du Michigan, à l'Institut de technologie du Massachusetts et à l'Université Carnegie-Mellon (CMU) portent sur des activités de recherche et de développement soit non militaires soit rattachées au domaine militaire.

Irving Oppenheim, professeur associé à la CMU, travaille avec l'EPRI à certains aspects du problème dans un projet de recherche mené pour évaluer les possibilités d'appliquer l'intelligence artificielle des robots aux travaux de construction et de maintenance. Les Japonais font déjà un grand usage d'appareils automatiques pour diverses tâches de construction mais, d'une manière générale, il ne s'agit pas d'appareils dits intelligents. Selon Oppenheim, pour rendre les robots autonomes, il faut, premièrement, qu'ils puissent détecter et éviter logiquement les obstacles et, deuxièmement, trouver un moyen de modéliser l'environnement tridimensionnel de travail du robot afin qu'il puisse se référer à sa «carte du monde» à mesure qu'il progresse dans sa mission.

«On a déjà fait quelques tentatives pour définir le programme mathématique qui permettra à un robot de trouver une configuration lui permettant d'éviter un obstacle. Nous travaillons déjà avec les programmes existants, que nous soumettons à des essais, dont nous déterminons les insuffisances et que nous modifions pour pouvoir atteindre certains objectifs qu'impliquent cette aptitude à éviter les obstacles», dit Oppenheim. «Par exemple, nous cherchons à savoir si un algorithme de commande peut déterminer comment on peut commander un robot de contourner deux canalisations pour se diriger vers une troisième et l'atteindre.»

Les progrès dans ce second domaine des recherches, c'est-à-dire doter le robot d'un modèle tridimensionnel précis de l'environnement dans lequel il est appelé à fonctionner, pourrait un jour permettre au robot d'utiliser les dessins originaux et les plans définitifs mémorisés de toute une centrale. Oppenheim ajoute: «Il doit pouvoir exister une structure de données et un programme d'ordinateur qui permettent de mémoriser toutes les dimensions de la centrale, les ouvertures dans les murs, les espaces à trois dimensions, les canalisations, les intersections, etc.

«Le problème peut être abordé de deux manières. La première consiste à construire un robot, bardé de capteurs et qui ouvre simplement ses yeux et ses oreilles sans toucher à quoi que ce soit. La seconde est de s'arranger pour tirer parti de toutes les données relatives aux dimensions déjà enregistrées qui figurent sur les dessins et dans les systèmes de conception informatisés. Nous cherchons quelle est la structure de données informatiques la plus indiquée pour ce problème.»

La conception de centrales en réservant la place des robots est un autre domaine où l'EPRI subventionne les recherches. Bon nombre des difficultés que soulève aujourd'hui l'emploi d'un robot sont dues à ce qu'on n'avait pas songé à de tels appareils quand on a construit les premières centrales; les centrales à réacteurs de pointe de l'avenir seront vraisemblablement spécialement conçues pour recevoir des robots de surveillance ou de maintenance.

Au titre d'un contrat de l'EPRI, la Division des systèmes de pointe de Westinghouse a étudié la possibilité d'employer des robots dans de grands prototypes de réacteurs sur-générateurs. L'étude a envisagé diverses tâches courantes et non courantes d'inspection et de maintenance et dégagé des facteurs susceptibles d'intensifier l'emploi des robots. Il s'agit notamment de prévoir des zones de travail et d'accès appropriées et des prises pour l'éclairage et la force, et d'agencer convenablement les équipements et autres éléments susceptibles de provoquer des obstructions.

A mesure que l'on réalisera des robots spécialisés, à applications nucléaires, l'évaluation technique de ces appareils en fonction des besoins des compagnies d'électricité prendra plus d'importance. Le Centre d'évaluation non destructive de l'EPRI pourra assumer des responsabilités accrues à cet égard, vu qu'il a déjà participé à l'évaluation technique d'IRIS.

Perspectives d'avenir

La campagne bien dirigée de recherche et de développement et les besoins immédiats des centrales nucléaires qui cherchent à réduire les coûts de maintenance et à abaisser les radioexpositions professionnelles ouvre de nouvelles perspectives pour l'emploi des robots à des tâches que la plupart des gens préfèrent ne pas devoir assurer. Malgré les résultats spectaculaires obtenus à ce jour, les chercheurs