

Robotique industrielle et sécurité

Jean-Paul Vautrin

LA robotique et l'automatisation d'une façon générale ont une incidence sur l'hygiène et la sécurité. Il ne peut en être autrement puisqu'il s'agit d'une modification importante des moyens de production dans les industries manufacturières. Cependant, cette influence peut se révéler bénéfique ou défavorable selon les cas. Bien que la robotique soit principalement appliquée dans le but d'atteindre une meilleure productivité industrielle, il est indéniable qu'elle permettra, en outre, une transformation du travail et, par voie de conséquence, une amélioration des conditions de celui-ci.

En revanche, la robotique, par sa nature même ou en raison de moyens insuffisants de prévention mis en place, peut entraîner des contraintes pour l'homme et même des risques nouveaux dont on domine encore insuffisamment l'apparition et les conséquences.

1. Aspects positifs

1.1. Promotion de la prévention

Pour reprendre le vocabulaire introduit par Y. Hasegawa, à l'occasion de la 6^e conférence internationale sur les robots industriels de Paris, la robotique peut permettre de promouvoir la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

● Prévention des risques mécaniques

Contrairement aux machines semi-automatiques, comme

les presses par exemple qui nécessitent une présence humaine dans leur voisinage, les robots industriels, durant leur phase automatique, fonctionnent hors présence du personnel. Cette technique conduit donc à éloigner l'homme des machines et des produits traités. Cet éloignement est en soi un facteur de sécurité. Rappelons que, sur les presses à travailler le métal en froid, l'accident est consécutif à la coïncidence entre la descente de l'outil et l'entrée de la main de l'opérateur dans la zone de travail. Cette coïncidence est liée à des dysfonctionnements au niveau de la machine ou des protecteurs. Dans certains cas, l'accident peut avoir une origine conceptuelle (mauvaise disposition des protecteurs par exemple) ou être inhérent à une modification des systèmes de protection prévus à la conception. La robotique et, de façon générale, l'automatisation des moyens de production éliminent naturellement les risques mécaniques durant les phases automatiques du robot. Cet éloignement de la zone de travail du robot n'est cependant pas systématique et une présence humaine inopportune est toujours à redouter.

Pour assurer la sécurité du personnel, il est nécessaire de prévoir des moyens de mise hors portée par obstacles ou maintien à distance du mécanisme dangereux ou de mise à l'arrêt de ce dernier.

On notera cependant que ces palliatifs ne peuvent s'appliquer facilement durant des phases autres qu'automatiques. En effet, les opérations de réglage et d'apprentissage nécessitent une présence humaine dans l'environnement immédiat du robot.

● Prévention des autres risques

Sur les machines traditionnelles, les facteurs, responsables d'accidents ou de maladies professionnelles, peuvent être classés en cinq groupes :

- facteurs physiques,
- facteurs chimiques,
- facteurs biologiques,
- facteurs physiologiques,
- facteurs psychologiques.

a. Les facteurs physiques sont les suivants :

- émissions de poussières ou de gaz dans la zone de travail,
- température de la surface du matériel ou de l'équipement,
- température de l'air dans la zone de travail,
- niveau de bruit au poste de travail,
- niveau de vibrations,
- niveau d'infrasons,
- niveau d'ultrasons,
- humidité de l'air,
- mobilité de l'air,
- ionisation de l'air,
- niveau de radiations ionisantes dans la zone de travail,
- tension dans le circuit électrique avec risque de contacts directs ou indirects,
- niveau d'électricité statique,
- niveau de rayonnement électromagnétique,
- champ électrique,
- champ magnétique,
- éclairage,
- intensité de la lumière,
- contraste réduit,
- réverbération lumineuse directe,
- pulsation du flux lumineux,
- niveau de rayonnement infrarouge.

b. Les facteurs chimiques sont liés à la présence de produits chimiques qui peuvent pénétrer dans l'organisme humain par l'appareil respiratoire, le système digestif ou éventuellement à

travers le revêtement cutané.

En fonction de leur action sur l'organisme, les sous-groupes suivants sont recensés :

- les toxiques généraux,
- les irritants,
- les sensibilisants,
- les cancérigènes,

– les mutagènes exerçant une influence sur la fonction de reproduction.

c. Les facteurs biologiques sont inhérents à des objets biologiques dont l'action sur les personnes peut provoquer des maladies.

d. Les facteurs physiologiques agissent essentiellement sur la charge physique. Ce sont :

- la surcharge statique (attitude - posture),
- la surcharge dynamique (efforts liés à une action sur un levier, lors d'opérations de manutention...).

e. Les facteurs psychologiques qui, sous certaines conditions de travail, entraînent une surcharge neuropsychique.

Une robotisation adéquate empêchera que ces facteurs puissent avoir une influence néfaste sur le personnel et risquent d'entraîner des accidents ou des maladies professionnelles.

1.2. Exemples d'applications mettant en évidence l'amélioration de la prévention

Joseph F. Ergelberger, dans son ouvrage intitulé *les Robots industriels*, signale un grand nombre d'applications en insistant sur l'intérêt de confier aux robots les rôles ingrats, routiniers, monotones et dangereux. Citons-en quelques-unes parmi les plus intéressantes :

– Le moulage sous pression : le robot peut être utilisé pour les opérations de déchargement, de refroidissement du moulage et son rangement. Le pré-ébavurage peut être pris en charge également de façon automatique.

– Le soudage par point : le robot effectue la soudure par point après positionnement.

– La soudure à l'arc : le robot effectue un soudage continu.

– Le découpage au chalumeau : le robot découpe des tôles d'acier.

– Le forgeage : le robot saisit des pièces brûlantes et les manipule avant et après matriçage ou pilonnage.

– Les applications de presses : le robot positionne la pièce sous l'outil et la transfère.

– Les applications de peinture par jet : le robot remplace l'opérateur humain après une séance d'apprentissage.

– Le moulage du plastique : le robot peut servir à décharger les machines, à ébavurer les moulages, à palettiser et empaqueter ces derniers.

– Les applications en fonderie : les robots peuvent être utilisés pour le maniement de la « cuillère » et des moules. Ils peuvent également être appliqués aux séquences de découpage, qui est l'un des travaux les plus sales de la fonderie. L'ébarbage peut aussi être exécuté de façon automatique.

– Le chargement de machines-outils : le robot peut servir à charger plusieurs machines dans des opérations d'usinage.

– Les traitements thermiques : le robot exécute les opérations de trempe et de durcissement. Dans ce cas, les robots saisissent et positionnent.

– Applications diverses : les robots peuvent être appliqués à la fabrication de briques et dans l'industrie du verre, toujours pour des opérations de manipulation de matériaux.

– Travaux de manipulation à distance en milieux hostiles, nucléaires et sous-marins par exemple.

1.3. Illustration de la promotion de la prévention par les robots

En conclusion de ce paragraphe, on peut affirmer que la robotique a et aura une incidence bénéfique sur l'amélioration des conditions de travail. La proposition 13 du rapport du Conseil économique et social est des plus judicieuses et devrait être appliquée sans tarder :

Proposition 13 : « Il faudrait repérer et donner la priorité aux postes de travail les plus pénibles.

« La robotique doit permettre d'améliorer les conditions de travail. Aussi, cet objectif doit-il devenir l'un des critères qui devraient servir à définir des priorités (par exemple pour l'application des aides de l'Etat) et à orienter la politique d'utilisation de la robotique.

« Pour cela, il serait nécessaire qu'un repérage de tous les postes de travail, dont les conditions sont particulièrement mauvaises, soit effectué.

« Les nombreuses enquêtes du ministère du Travail doivent favoriser ce repérage, qui permettrait alors de choisir l'ordre d'urgence dans lequel peut être envisagée la robotisation.

« C'est en partant de ce repérage que pourraient être définis les besoins et donc les recherches en robotique. »

Avant d'aborder les précautions à prendre pour prévenir les aspects négatifs de la robotique, il convient de rappeler, comme le fait J.-F. Engelberger, que les robots ont déjà contribué de façon positive à la sécurité sur les lieux de travail, en éloignant l'homme du voisinage d'équipements qui, eux, font courir un risque sérieux d'accidents mortels ou graves. *Il ne fait aucun doute que des accidents ont été évités devant des machines à compression, des machines à moulage sous pression et autres équipements industriels. C'est un fait que les robots ont probablement sauvé des vies humaines.*

Risques inhérents au système homme-robot

2.1. Généralités concernant le système homme-robot

Un robot est un système automatique ne nécessitant pas la présence humaine pour effectuer un travail donné. Toutefois, l'homme n'est pas systématiquement évincé de son environnement et il intervient à divers moments durant des phases variées de la vie du robot. Ces phases sont les suivantes :

- la première animation chez le constructeur,
- l'apprentissage (apprentissage direct, par syntaxeur, par télécommande, en « off line »),
- le réglage,
- l'entretien,
- le dépannage.

Durant toutes ces phases, l'homme peut être en relation naturelle ou accidentelle avec les parties mobiles du robot. Le personnel susceptible de l'approcher peut être identifié de façon non exhaustive :

- les techniciens chez le constructeur,
- les opérateurs lors des opérations d'apprentissage,
- les régleurs et techniciens spécialisés (en soudure par exemple),
- les surveillants,
- les personnes travaillant sur d'autres machines à proximité du robot,
- les visiteurs,
- les ouvriers distraits...

Dans la plupart des cas, on aboutit à un système « homme-robot » plus ou moins complexe mettant en contact un homme avec un robot et ses prolongements (pince, outil, pièce manipulée). Le robot peut mettre en œuvre une énergie considérable et, de façon aveugle ; il est donc un risque permanent pour

l'homme.

D'une façon générale, le personnel peut être protégé durant la phase automatique comme nous le verrons ultérieurement en interdisant purement et simplement l'accès de la zone d'évolution du robot. Il n'en est pas de même durant les autres phases et particulièrement l'apprentissage qui nécessite bien souvent la présence de l'opérateur dans le voisinage des organes en mouvement.

L'apprentissage ou programmation du robot en vue de l'application peut être effectué selon l'une des méthodes suivantes :

1. l'apprentissage direct,
 2. l'apprentissage par syntaxeur,
 3. l'apprentissage par télécommande,
 4. la programmation en « off line » (hors ligne).
- #### 2.2. Risques spécifiques dus à la robotique

Les robots ne créent pas de risques vraiment nouveaux par rapport à des systèmes traditionnels comportant des organes en mouvement. Toutefois, la présence d'énergies très importantes et le déplacement d'organes mobiles animés de mouvements rapides (2 m/s) parfois imprévus créent des conditions spécifiques d'accidents.

Les risques recensés sont de cinq types :

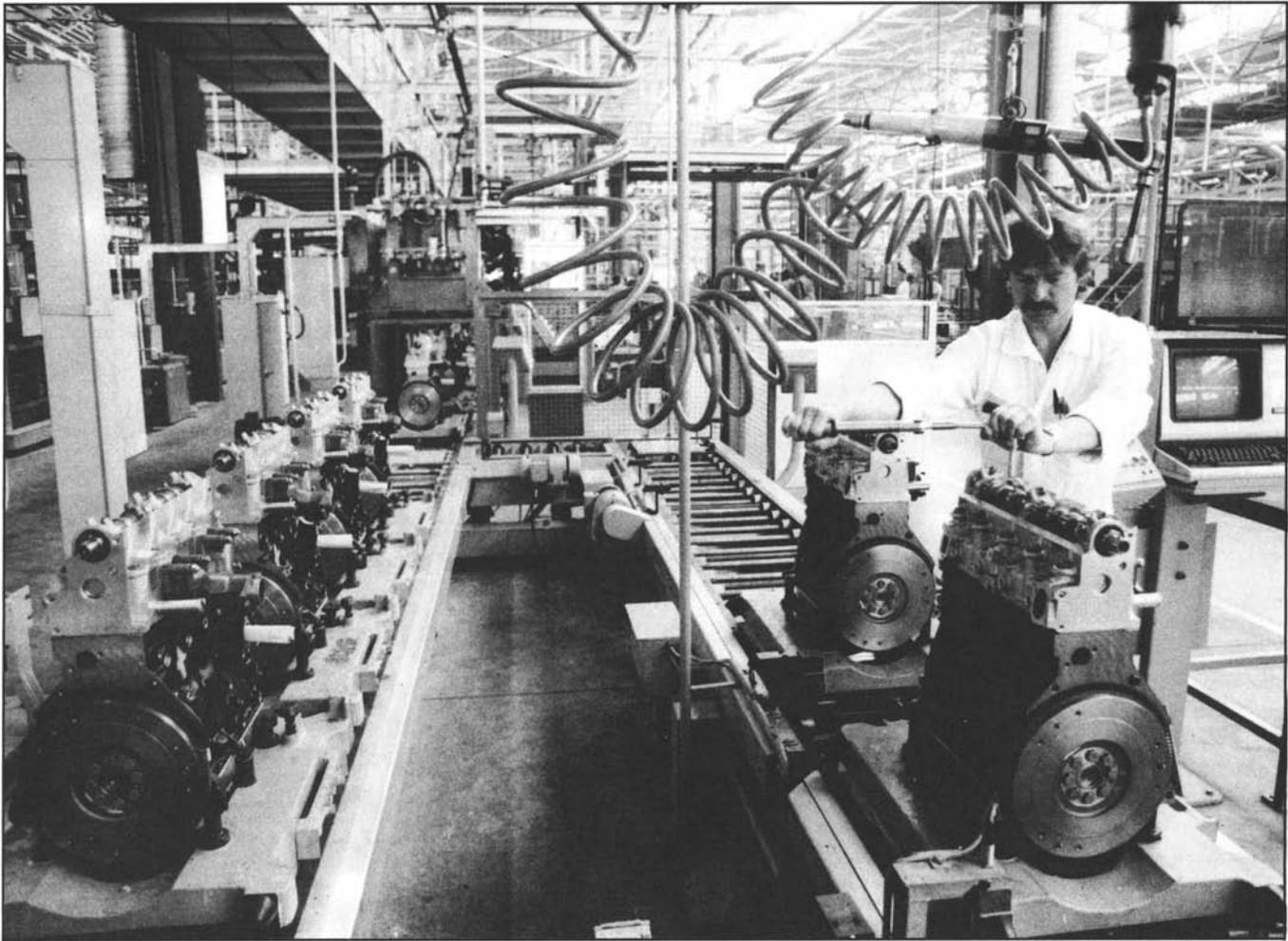
- le risque de collision de l'homme avec le robot. Une personne peut être blessée, lors du mouvement du robot, par une partie de celui-ci (le bras par exemple), une pièce en cours de manipulation ou par un outil solidaire du bras ;
- le risque de projection. Une personne peut être atteinte par une pièce lâchée ou projetée par le robot. Elle peut être blessée également lors de la projection de métal fondu (fonderie) ;
- le risque de coincement. Une personne peut être coincée et blessée à l'occasion de mouvements du robot entre le bras de ce dernier et des obstacles fixes (protecteurs fixes, autres machines...);
- les risques traditionnels dus à la reprise en manuel. Pour certains équipements robotisés, il est prévu la possibilité d'une reprise en manuel à l'occasion de pannes du dispositif. Cette possibilité, bien qu'exceptionnelle, recrée les conditions d'insécurité primitives, inhérentes à l'ancien système. Les risques sont toutefois amplifiés par le fait que le personnel exerçant la fonction de surveillance n'a plus forcément l'expérience passée. On se retrouve confronté à une situation comparable à l'occupation d'un poste dangereux par un opérateur inexpérimenté ;
- les autres risques. Cette dernière catégorie concerne davantage l'application et les risques traditionnels relatifs à celle-ci : électrocutions, brûlures, rayonnements divers, coups d'arc...

2.3. Sources de risques

Les risques peuvent être décomposés en deux parties : ceux qui concernent le fonctionnement normal du robot (quel que soit le mode de fonctionnement) et ceux qui correspondent à des dysfonctionnements de l'ensemble robotisé.

Ce tableau fait ressortir deux grands types de sources de risques : un premier plus spécifiquement inhérent à l'homme et un second à incidence technique mettant en cause, d'une part, la conception du système technologique et, d'autre part, les conséquences dangereuses dues aux dysfonctionnement de ce même système (matériel, logiciel, partie mécanique, protecteurs...). Ces deux classes de risques, bien que de natures différentes, concernent principalement la conception de l'ensemble robotisé mais également son utilisation.

On notera que la première classe possède une forte composante ergonomique. Elle concerne la conception des interfaces homme-machine et machine-homme. En effet, des dispositifs de



Sources de risques	Types de fonctionnements	
	Normaux	Dysfonctionnements
Spécifiquement humaine	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise conception des dispositifs d'interfaces homme-machine et machine-homme - Pénétration dans une zone non autorisée - Pénétration, par nécessité, dans une zone dangereuse - Neutralisation volontaire des systèmes de sécurité 	<p>La reprise en manuel crée une situation de risque potentiel</p>
Plus spécifiquement technique	<ul style="list-style-type: none"> - Les protecteurs ne remplissent pas leur fonction de mise en sécurité - L'arrêt d'urgence ne commande pas suffisamment vite la mise en sécurité - Malgré la séparation de ses sources d'énergie, le robot demeure dangereux (énergie potentielle, chute du bras...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Défaillances du système électronique de commande (interférences, logiciel défaillant) - Défaillances de la partie électronique câblée - Défaillances de la partie hydropneumatique - Défaillances de la partie mécanique - Défaillances des protecteurs ou de l'arrêt d'urgence - Défaillances diverses dues à l'environnement (température, parasites...)

Tableau 1 rappelant les sources de risques inhérents aux robots.

Fabrication de moteurs à l'usine Citroën de Tremery, 1983.

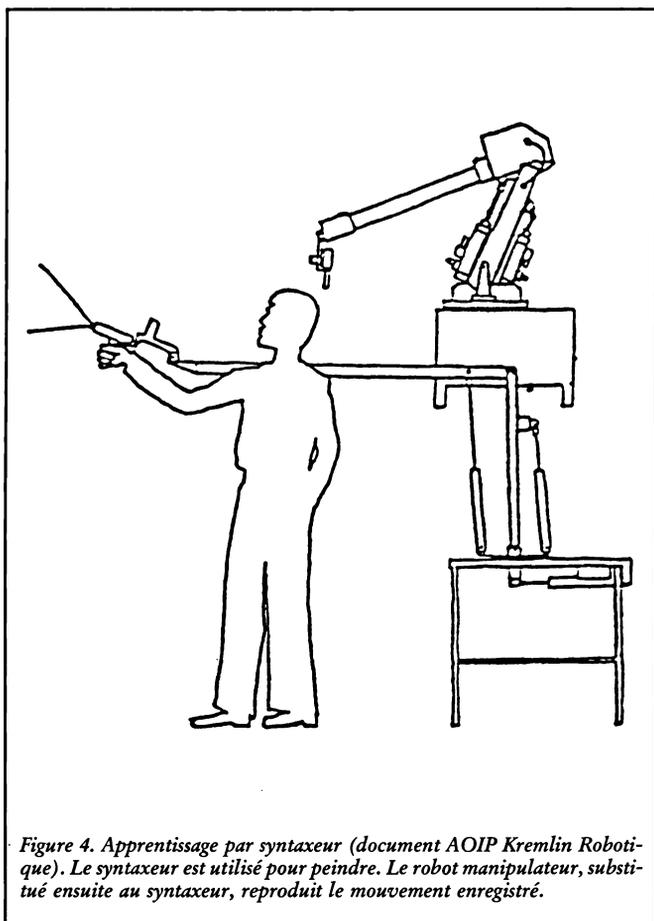
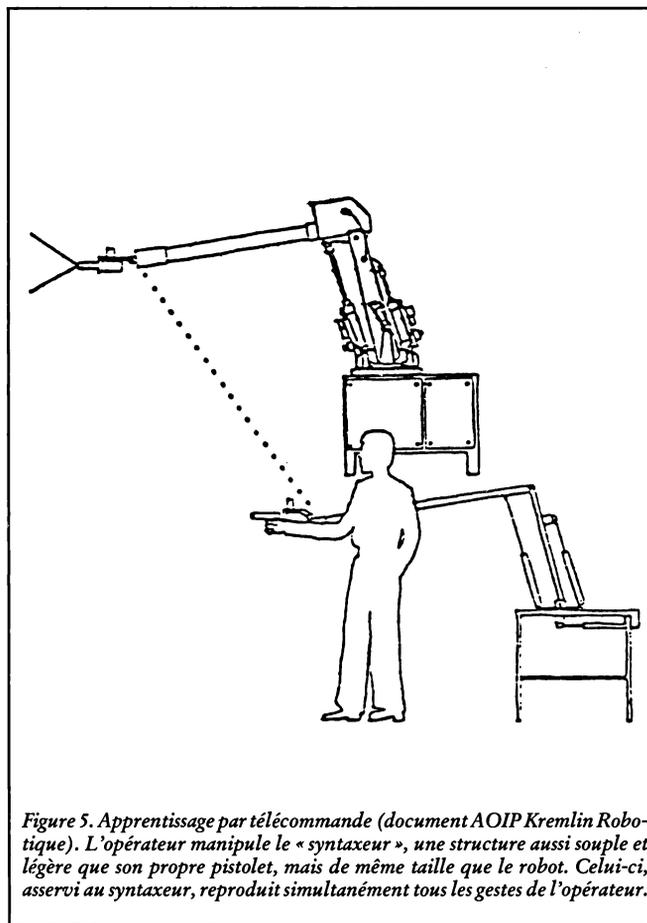
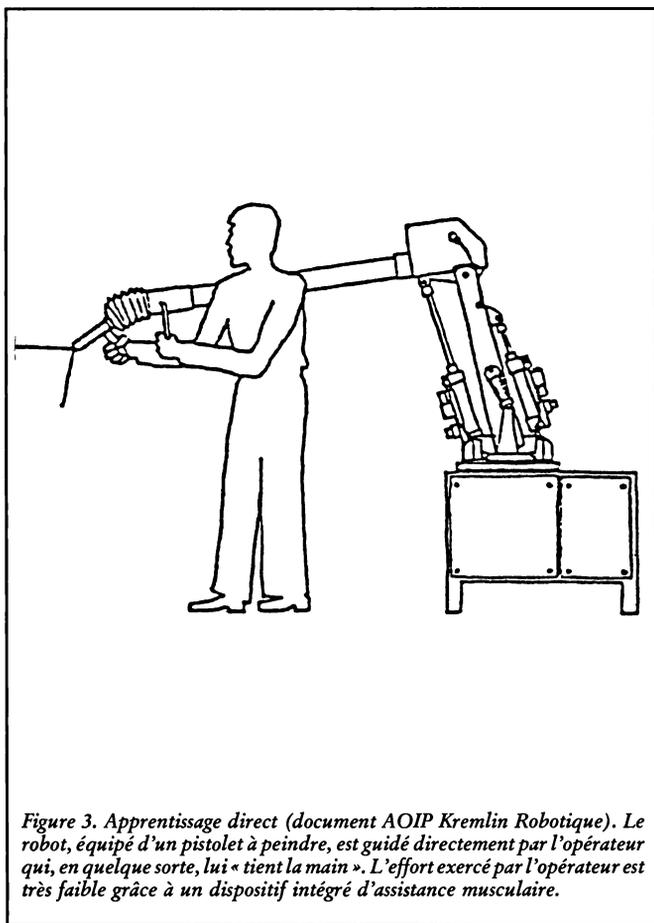
présentation de l'information ou des boîtiers de commande inadaptés peuvent faire surgir des problèmes de sécurité. Les concepteurs doivent donc avoir un souci constant d'ergonomie robotique. Comme le note F. Daniellou, « la conception actuelle des systèmes robotisés sous-estime la nécessité des interventions humaines. Celles-ci, en réalité fréquentes, se déroulent par conséquent dans des conditions de travail précaires. En particulier, une attention insuffisante est prêtée aux interventions de maintenance sur les systèmes robotisés. Cela peut conduire à des conditions d'intervention qui ne seraient pas tolérées sur des systèmes traditionnels. »

Il convient également d'éviter et même de proscrire l'association homme-robot, particulièrement éprouvante pour l'homme, en raison des performances « surhumaines » du robot : énergie, régularité du travail, cadences, etc. Il est certainement souhaitable que « l'aménagement » et le retrait des pièces manutentionnées par le robot soient eux aussi automatisés. On ne peut pas éviter complètement la présence humaine durant les phases de mises au point, de réglage, d'apprentissage et d'entretien. En revanche, il faut éviter, et même proscrire, toute présence humaine dans l'environnement du robot durant la phase automatique.

3. Analyse de la sécurité des robots et moyens de prévention

3.1. Méthode d'analyse

Le groupe de réflexion tripartite, créé sous l'égide des ministères de l'Industrie de France, de Grande-Bretagne et de l'Allemagne fédérale, propose que toute évaluation des risques soit fondée sur l'examen de l'ensemble de l'installation : robot,



machine associée et système de transfert.

Il convient de prendre en compte, lors de cette évaluation, tous les risques d'accidents auxquels on peut raisonnablement s'attendre. Il est recommandé d'étudier à la fois les risques existant lors du fonctionnement normal du robot (comportement en l'absence de défaillance) et les risques créés par le dysfonctionnement du robot ou d'une machine associée (comportement en cas de défaillance).

La liste des opérations à effectuer à l'occasion de l'évaluation du niveau de sécurité des robots devrait être la suivante :

- choix de la situation à envisager (automatique, apprentissage, maintenance...);
- évaluation des risques susceptibles de conduire à un accident en l'absence de défaillances;
- évaluation des risques susceptibles de conduire à un accident en présence de défaillances.

3.2. Principes de sécurité à mettre en œuvre en robotique

L'évaluation précise et globale des risques dus à l'ensemble robotisé devrait conduire à introduire la composante sécurité à tout moment de la vie du robot : conception, fabrication, mise en œuvre, utilisation, maintenance. Dans ce document préliminaire consacré à la sécurité en robotique, il ne peut être question de préjuger les résultats de l'étude que l'INRS entreprend sur ce sujet ; toutefois, il peut être avancé un certain nombre de principes de sécurité qui, de toute évidence, doivent être appliqués lors de la conception et de la réalisation d'ensembles robotisés.

En outre, sur ce problème, les lecteurs peuvent se référer aux divers documents français et étrangers (AFNOR-contribution française, japonais, anglais, allemand, suédois) qui sont déjà une bonne approche de la prévention en robotique.

En l'état de la réflexion sur ce thème, il convient d'être particulièrement vigilant lors des deux étapes suivantes :

- la conception et la réalisation du robot,
- l'utilisation du robot.

● Conception et réalisation du robot ou de l'ensemble robotisé

Les précautions suivantes doivent être prises :

○ Prévoir des moyens de maintenance adaptés.
○ Prévoir une géométrie des différents lieux compatibles avec les actions à mener en chaque point.

○ Prévoir des dispositifs de présentation de l'information et des boîtiers de commande bien adaptés en vue d'une meilleure sécurité.

○ Choisir des composants et des organes (électroniques, électriques, hydropneumatiques, mécaniques, protecteurs) sûrs ou tout au moins dont la défaillance n'aura pas de conséquences directes sur le niveau de la sécurité.

○ Prévoir des moyens susceptibles d'éviter que l'environnement du robot (thermique, parasites, conduits, rayonnés) n'entraîne un dysfonctionnement dangereux.

○ Prévoir des moyens adaptés de sorte que l'arrêt d'urgence ou la séparation du robot de ses sources d'énergie mette ce dernier en situation non dangereuse.

○ Concevoir, dans la mesure du possible, un logiciel de sécurité évitant que la moindre défaillance de programme conduise à une situation dangereuse.

○ Ne jamais confier la sécurité au seul système électronique de commande mais doubler ou tripler ce dernier par d'autres moyens (butées électriques, butées mécaniques, arrêt d'urgence coupant d'une part la puissance et d'autre part les asservissements...).

● Utilisation du robot

On appliquera les précautions suivantes :

○ Former correctement le personnel à cette nouvelle technique et l'informer des risques rencontrés en robotique.

○ Éviter l'association homme-robot particulièrement éprouvante pour l'homme en raison des spécificités du système robotisé.

○ En fonctionnement automatique, prescrire toute intervention de l'homme dans la zone d'évolution du robot par un moyen adapté et sûr (protecteur avec verrouillage et interverrouillage, systèmes photoélectriques, dispositifs sensibles, filets...).

○ Éviter dans la mesure du possible l'apprentissage direct sur le robot notamment dans le cas où ce dernier nécessite l'assistance des actionneurs du robot. D'autres solutions doivent être recherchées, telles que programmation « off line », apprentissage par syntaxeur et par télécommande.

○ Durant la phase d'apprentissage et les phases de mise en service ou de maintenance, prévoir des séquences de commande spécifiques et des dispositifs ou moyens appropriés tels que :

- commande en vitesse lente,
- commande en vitesse impulsionnelle,
- commande cycle par cycle,
- commande pas à pas,
- commande maintenue par l'opérateur,
- télécommande ,
- commande décentralisée inhibant les possibilités de commande conventionnelles,

— logiciel spécifique coupant l'alimentation de puissance du robot en cas d'accélération brutale de ce dernier,

— présence d'un opérateur supplémentaire ayant la possibilité de couper l'alimentation de puissance du robot en cas de

risques pour les personnes.

○ Dans le cas de la reprise en manuel, consécutive à une défaillance du robot, prévoir des solutions de sécurité adaptées à cette nouvelle situation.

CONCLUSION

Les prétextes au développement de la robotique industrielle sont multiples. Il convient tout d'abord de citer des raisons technico-économiques, telles que qualité et stabilité des produits obtenus, amélioration de la productivité par comparaison avec les méthodes traditionnelles. En second lieu, des motivations sociales confortent cet essor. En ce qui concerne le domaine de l'hygiène et de la sécurité du travail, il est incontestable que les robots peuvent être utilisés dans les *milieux hostiles* en remplacement de l'homme. Par milieux hostiles, il faut comprendre des endroits où sévissent des risques importants d'accidents (manutention de tôles et de pièces par exemple), une agressivité physico-chimique intense (produits toxiques, rayonnements, bruits...) ou des conditions de travail particulièrement pénibles (charges physique ou mentale, monotonie du poste...). Il est indéniable que, dans les années futures, la robotique appliquée aux postes de travail les plus dangereux ou les plus pénibles devrait avoir un effet bénéfique global sur l'hygiène et la sécurité du travail. Les secteurs à haut niveau de risque où la robotique apportera une solution intéressante sont la physique nucléaire, les travaux sous-marins, la fonderie, la peinture, le travail du métal à froid...

La robotique, de façon générale, contribue donc à une meilleure prévention des accidents du travail et éventuellement des maladies professionnelles ; toutefois, si l'on n'y prend garde, la robotique peut être génératrice de risques nouveaux. Déjà à l'étranger, au Japon particulièrement, des accidents graves, et même mortels, se sont produits. En raison de la gravité du risque, il est souhaitable d'appliquer, dès maintenant, une politique de prévention efficace dans un domaine nouveau, certes, mais en pleine expansion.

Ce document préliminaire a pour objet de contribuer à une réflexion sur ce thème. Une étude est en cours à l'INRS en relation avec d'autres instituts étrangers. Un rapport plus complet sera publié ultérieurement à l'issue des travaux effectués.