

Réunion plénière du Groupe de Travail des Communautés Européennes
 "Laboratoires chauds et télémanipulation"
 Cadarache, 26-28 juin 1985

VERS LA TELEOPERATION ASSISTEE PAR ORDINATEUR

J. VERTUT+, J.C. COLLOMBAT, J.L. ROUYER
 Commissariat à l'Energie Atomique, IPSN/DPT

Préface

Jean Vertut tenait beaucoup à communiquer au Groupe de Travail des Communautés Européennes sur les Laboratoires Chauds et Télémanipulations son enthousiasme pour les développements récents en téléopération et robotique auxquels il contribuait si pleinement.

Il avait donc prévu avant sa mort, le 26 mai dernier, de venir à Cadarache parler de "Téléopération assistée par ordinateur".

Deux de ses amis et collègues, auxquels il a communiqué sa passion et ses idées, ont préféré maintenir l'exposé en essayant de respecter ce dont Jean voulait faire part mais, malheureusement, sans le brio qui le caractérisait...

Ils ont préféré l'intituler : "Vers la téléopération assistée par ordinateur", ce qui respecte l'écart des personnalités, car Jean était toujours projeté dans l'avenir du futur, considérant comme acquises les découvertes qu'il venait de faire et s'attelant aux autres défis à son esprit inventif.

1. LES LABOS CHAUDS, ORIGINE DE LA TELEOPERATION

L'histoire du développement de la télémanipulation a commencé dans les labos chauds. L'action de Jean Vertut s'est épanouie dans ce milieu et c'est grâce au fonds de technologie développé pour les labos chauds que le CEA dispose aujourd'hui d'une avance en téléopération.

Dans ce chapitre, l'évolution des techniques de télémanipulation en labos chauds vers la téléopération avancée est rappelée.

1.1 Manipulateur mécanique

- Outil de manipulation à distance : la raison d'être de l'outil de manipulation à distance est directement liée au souci de sécurité dans le travail. A titre d'exemple, citons des moyens de manipulation primitifs connus depuis fort longtemps : le baton, le tisonnier, la broche, la pince de forgeron et une invention relativement récente, la fourchette !

Les premiers manipulateurs nucléaires sont assez comparables à la pince de forgeron, à ceci près que le besoin de travailler derrière une paroi protectrice a conduit à une augmentation considérable de la distance entre la main de l'opérateur et l'extrémité de l'outil. La figure 1 nous montre un de ces premiers engins qui mérite la dénomination de télémanipulateur, puisqu'il s'agit bien là de manipulation à distance.

- Manipulateur articulé "maître-esclave" : les besoins de manipuler plus finement et surtout d'augmenter la distance entre l'opérateur et la zone de travail, ont conduit à l'invention du télémanipulateur "maître-esclave" ainsi dénommé par son créateur l'américain Raymond GOERTZ. Ce type de matériel, largement utilisé dans les installations nucléaires a été développé en France sous la forme du MAlI dont un exemple de montage est donné figure 2. Avec ces manipulateurs, l'opérateur voit et ressent directement la pince reproduire tous les mouvements de sa main.

La commande par la poignée permet le contrôle des six degrés de liberté ainsi que le serrage de la pince, soit sept fonctions indépendantes. Toutes les commandes de mouvement sont réversibles et restituent à la poignée les résistances rencontrées ; les transmissions par câbles et rubans s'appuyant sur des poulies présentent des frottements parasites très faibles, une inertie limitée et une bonne rigidité. La figure 3 nous montre une cellule équipée de manipulateurs maître-esclave et de pinces à distance.

1.2 Manipulateurs électromécaniques

- Manipulateur petite puissance : quelques cellules de petites dimensions dans les laboratoires à très haute activité sont équipées d'engins qui permettent la manipulation en télécommande de charges réduites. Ce type de matériel, souvent équipé de système de commande en boucle ouverte se prête mal au travail de précision et demande de la part de l'opérateur une grande virtuosité. La pince est l'organe de préhension que l'on retrouve sur tous les manipulateurs ; elle est constituée de deux doigts qui remplacent assez mal les possibilités extraordinaires de la main ; c'est là une des limitations de ce type de matériel.

- manipulateur maître-esclave à asservissement : les manipulateurs maître-esclave mécaniques sont, de par leur conception, limités à des distances de travail de l'ordre de 2 à 3 mètres, on a donc cherché à réaliser des outils aussi performants mais sans limitation de distance suivant la transformation schématisée figures 4 et 5. Ces figures mettent en évidence la nécessité de construire deux bras semblables pour constituer un système maître-esclave à asservissements. La figure 6 montre une installation équipée d'un ensemble de télémanipulation MA23M, constitué d'un bras esclave porté par un système télescopique et d'un bras maître. On remarquera la nécessité d'utiliser des moyens de télévision dans ce type d'installation.

- Manipulateur grande puissance : l'un des inconvénients du système maître-esclave est, de toute évidence, sa limite en charge manipulable qui ne dépasse guère une vingtaine de kg. Dès lors qu'il s'agit de manipuler des charges importantes, il faut envisager l'utilisation de systèmes nommés "manipulateurs de puissance".

Ces manipulateurs à distance ont en commun les types de commande utilisés pour les engins de levage :

- clavier à boutons poussoirs pour les commandes les plus courantes,
- tableau à leviers pour les commandes à vitesse ou force contrôlée.

Notons que, si ces systèmes de pilotage sont simples et robustes, ils ne permettent pas le retour d'effort précieux pour les travaux de précision. Des études sont actuellement en cours pour essayer d'adapter le système maître-esclave au manipulateur lourd. La figure 7 montre un manipulateur type 2100B (Ateliers et Chantiers de Bretagne) monté sur un pont roulant. Ce montage, très utilisé, permet à la pince d'être efficace dans tout le volume de la cellule.

2. TELEOPERATION ET ROBOTIQUE

2.1 Introduction à la robotique

Il importe de bien comprendre que la notion relativement récente de robotique a totalement englobé celle plus ancienne de télémanipulation. Par ailleurs, la télémanipulation qui concernait les manipulateurs à poste fixe s'est étendue par le terme téléopération à la manipulation à distance sans limitation d'espace à l'aide d'un manipulateur sur un véhicule et, éventuellement, sur un porteur intermédiaire. La figure 8 montre cette place de la téléopération dans le domaine de la robotique. Pour cela, nous nous plaçons dans un plan défini par un axe de versatilité et un axe d'autonomie. La versatilité s'accroît à partir de la polyvalence vers l'adaptabilité, l'adaptativité et l'autoadaptativité. L'autonomie commence par un niveau énergétique, puis un niveau de capacité mémoire, puis atteint le niveau d'autonomie décisionnelle. On peut alors délimiter le domaine de la robotique par son ambition d'un minimum d'autonomie et de versatilité et l'on aperçoit la symétrie de ce diagramme par rapport à sa diagonale qui est l'axe d'automatisme. Nous voyons au-dessus de l'axe d'automatisme les robots de substitution et à droite les robots de coopération qui sont très essentiellement dérivés de la famille des télémanipulateurs. Nous avons placé les différents robots de première génération (simplement programmables et reprogrammables), puis de seconde génération (autoadaptatifs du fait de l'usage de capteurs), puis dits intelligents et de troisième génération lorsque s'y ajoutent des capacités de haut niveau comme la génération de plan et la capacité de décision. Du côté de la téléopération, on voit les télémanipulateurs connus dont les plus évolués sont entrés dans la robotique avant qu'elle n'ait été perçue, puis la téléopération assistée par ordinateur et par capteurs ou téléopération avancée, laquelle rejoint la robotique avancée dans le domaine des robots évolués de troisième génération que nous préparons pour le futur.

A ce classement très large se superpose la notion d'une robotique de milieu hostile qui vise à la réalisation de tâches dans des milieux où l'homme ne peut faire qu'un séjour de courte durée, ou ne peut pas séjourner du tout. Ici se place la robotique nucléaire, avec la robotique sous marine, la robotique spatiale, et la robotique de milieux extrêmes pour laquelle le milieu n'est hostile que du fait des circonstances (incendie, catastrophes, etc). On notera que la notion de milieu hostile ou de situation extrême, est

relative entre la tâche et l'opérateur, et qu'en particulier pour un handicapé les tâches normales sont devenues extrêmes, c'est pourquoi la robotique d'aide aux handicapés se glisse dans le domaine qui vient d'être évoqué. Si l'on considère, maintenant, que pour le milieu hostile ou les situations extrêmes, la tâche est rarement répétitive comme la tâche de production industrielle, on découvre une notion plus large de robotique de service qui comprend tout le secteur non directement lié à la production auquel la robotique peut s'appliquer, en même temps que la robotique de milieu hostile qui revient très généralement à des tâches de maintenance ou d'intervention exceptionnelle.

2.2 Introduction à la robotique nucléaire

Comme dans d'autres domaines, la robotique peut et devra s'introduire dans les tâches de la production, c'est à dire dans l'exécution des procédés, mais historiquement la robotique nucléaire est marquée de son caractère de robotique de service. Les opérations envisagées concernent l'inspection au sens d'exploration (et non seulement au sens réglementaire), la maintenance et la réparation, l'intervention en situation exceptionnelle et, enfin, le démantèlement qui est une partie-clé du déclassement. L'état actuel de la recherche, en particulier en France, permet d'envisager l'introduction d'une téléopération nucléaire avancée et les domaines porteurs pour cette dernière sont aujourd'hui le démantèlement, la maintenance dans les usines de retraitement, et bientôt la maintenance des réacteurs futurs de fusion. Cet ordre correspond à peu près à l'effort français actuel, et l'on permuerait les deux premiers domaines pour se référer à l'effort américain ou japonais.

L'introduction de la téléopération avancée dans la robotique nucléaire peut se faire selon deux lignes de force. La première revient à considérer que, la télémaintenance étant possible et adoptée, on dispose d'engins d'intervention présents si la situation devient exceptionnelle et de l'essentiel des moyens nécessaires au démantèlement. Ceci fait toucher le caractère particulier de la robotique de service en général dont la rentabilité est plus en terme d'assurance de production qu'en terme de production directe. La seconde ligne de force est aujourd'hui placée au centre du concept américain Remotex pour la télémaintenance dans le retraitement, appelé maintenant Teletec. Ce concept est suivi au Japon et en Allemagne Fédérale et revient à constater que la robotique de maintenance concentre de plus en plus de complexité et génère de ce fait la possibilité de simplifier les appareils de production proprement dits. Ceci est clair quand il s'agit de pouvoir utiliser sans grande modification des composants existant dans le commerce du génie chimique classique : brides et raccords, pompes, etc. Il faut enfin prendre en compte qu'un système intégré de télémaintenance comprend la manutention et la manipulation dextre, et que de ce fait il peut pratiquement faire face aux besoins du démantèlement plus lourds en capacité de manutention, quitte à demander un manipulateur dextre de capacité plus forte pour les outils de découpe.

2.3 Réalisations françaises en robotique nucléaire - téléopération avancée

- Manipulateurs et leurs systèmes de transfert : L'importance d'étudier les problèmes de confinement en même temps que ceux de manipulation a été une préoccupation constante de Jean Vertut qui, récemment, avait inventé le concept Télétrans (téléopération et transfert) qui devrait donner naissance à de nombreux outils de téléopération sous confinement. Ce concept Télétrans était déjà compris dans la cellule Cyrano, présentée figure 9.

Ce souci s'explique aisément par l'appartenance des initiateurs principaux de ces réalisations à l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire, qui a toujours maintenu une activité de développement d'équipements de protection touchant en parallèle le domaine des télémanipulateurs, celui des barrières de protection et celui des systèmes de transferts sous confinement et/ou blindage.

Ceci a conduit d'abord à approfondir l'étude des manches de protection de manipulateurs maîtres-esclaves mécaniques, leur procédure d'échange et l'extraction des manipulateurs pour réparation. Ces développements sont passés par l'engin d'intervention VIRGULE, trop en avance lors de sa réalisation de faisabilité, et trouvent leur aboutissement avec le premier télémanipulateur à asservissement bilatéral à confinement intégré et maintenance sous confinement.

Ce manipulateur est aujourd'hui qualifié pour la maintenance, le démantèlement, et en cours de qualification sous eau. On voit fig. 10 le télémanipulateur articulé MA23M, sa technique de transfert hors de l'enceinte et sa réparation.

Une machine complète comprenant une hotte blindée de transfert par le toit sous confinement est représenté fig. 6. Cet engin PIADÉ, développé spécialement pour le démantèlement de l'installation Elan IIB de La Hague, anciennement productrice de quantités industrielles de Césium 137, utilise le MA23M. Son porteur intermédiaire est totalement rétractable à l'intérieur de la hotte. Pour le démantèlement de AT1 qui fut l'usine pilote de retraitement des combustibles de réacteur rapide (Rapsodie), le porteur intermédiaire doit être doué de fonctions supplémentaires et la fonction manutention prend plus d'importance pour réaliser le levage et l'évacuation d'un grand nombre de grosses pièces et de plus petits déchets réalisés par le démantèlement totalement à distance.

- Téléopérateurs sur véhicule : il n'est pas bon d'étudier les moyens de dextérité et les sous ensembles de vision sans aborder de façon globale les problèmes de positionnement (porteur intermédiaire) et de déplacement (véhicule). La fig. 11 montre l'engin Virgule qui, dès 1973, a permis d'intégrer toutes les fonctions précédentes et une transmission d'information hertzienne. Ce projet devait amener à une réflexion complètement nouvelle sur les véhicules s'appuyant au sol, qui a été suivie d'une approche sur les véhicules se déplaçant sur une surface, mais contre la pesanteur. La fig. 12 montre l'exemple de l'engin Mérite, la fig. 13 celle de l'engin MAM. Cette voie est depuis ces dernières années largement explorée par les chercheurs japonais, dont il serait trop long ici de citer les nombreux prototypes tendant à apporter une acquisition majeure pour la télémaintenance laquelle concerne essentiellement le franchissement d'obstacles dans les centrales (les escaliers, ou autres). L'engin Mérite a permis de démontrer la faisabilité d'accès dans une grande partie du circuit primaire des centrales à eau pressurisée, sans jusqu'ici trouver d'application ... même à TMI.

Tout ceci concerne la morphologie ou l'architecture de la machine travaillant en milieu actif, nous allons parallèlement maintenant faire apparaître l'évolution concernant la commande et l'apport de l'informatique et des capteurs permettant de réaliser la téléopération assistée par ordinateur.

- Téléopération avancée : l'initiateur de cette notion est notre collègue et ami Thomas Sheridan (MIT, USA) père du concept de "contrôle supervisionnel" tendant à utiliser une technique robotique dans une situation de téléopération. L'opérateur y partage son temps entre des programmations de tâches et la surveillance de leur exécution automatique. En plus de son équipe qui se penche particulièrement sur l'aspect de la relation homme/machine douée d'une certaine autonomie (ou d'une "intelligence"), des réalisations sont apparues ces dernières années grâce à notre collègue et ami Bejczy et aux travaux réalisés à Saclay dans le cadre privilégié du projet A.R.A.. La fig. 14 représente le site expérimental du pôle de téléopération avancée à Saclay, mi-84.

Les apports de l'informatique dans un système de télémanipulateur à asservissement bilatéral s'inscrivent à trois niveaux :

- le premier est le traitement des divers signaux provenant de l'opérateur ou lui revenant en retour et ceci permet en particulier des traitements géométriques importants : variation de l'échelle du mouvement obtenu (géométriquement et au niveau de l'effort), réduction du système articulé à des systèmes plus simples équivalents comportant des degrés de liberté plus limités, système plan, système rectiligne, etc, laissant à l'opérateur la commande des degrés de liberté laissés libres dans ce plan ou au long de cette ligne, suppression de l'effet de la pesanteur sur l'outil ou sur tout ou partie de la charge transportée, etc.

Elle permet la coordination de sous ensembles de systèmes de téléopération et on a déjà pu réaliser le pointage et la mise au point de la caméra de télévision sur un point donné de l'effecteur porté par le manipulateur (système Télévise). Les fonctions citées précédemment sont également aujourd'hui en cours de réalisation industrielle sous l'appellation TAO1 pour être directement compatible avec le télémanipulateur MA23M et les quelques systèmes à asservissement bilatéral disponibles comme le manipulateur CRL M2.

En même temps les technologies digitales permettent d'apporter de façon toute différente une des fonctions internes essentielles dans un système de télémanipulation qui est la transmission de signal, aujourd'hui également développée en France.

- Un deuxième niveau de l'action du calculateur concerne cette fois l'usage de capteurs lui apportant une fonction d'autonomie locale, d'autoadaptation basée sur ces capteurs : évitement ou suivi d'un objet au long d'une ligne droite, dans un plan ou dans l'espace sur trois, quatre et plus de degrés de liberté, etc. Ce point est une des acquisitions majeures réalisées à ce jour avec les précédentes dans le cadre de notre travail.

- Le troisième niveau débouchera, dans l'avenir, sur la capacité décisionnelle croissante du système, apportée à l'opérateur ou autonome lorsqu'il n'intervient pas. Elle est jusqu'à ce jour acquise dans le domaine de la présentation de l'état du système à l'opérateur et de la réalisation d'une sécurité de fonctionnement très évoluée par rapport aux systèmes anciens, elle permet d'envisager aujourd'hui la réalisation automatique de changement de mode, elle promet, dans un proche avenir, toutes les possibilités de la conception assistée par ordinateur pour la préparation et la tenue à jour en temps réel du plan d'exécution de l'opération.

On doit noter la généralité des fonctions évoquées ici, lesquelles s'appliquent au système entier, véhicules, porteurs intermédiaires, manipulateurs dextres et effecteurs. Les coordinations automatiques entre sous ensembles et entre plusieurs engins seront parmi les plus utiles. Nous arrivons ainsi à une croissance très marquée de la coopération du système vis à vis des opérateurs, et arriverons bientôt à des "robots assistés par l'homme" présentant une part majeure d'autonomie dans la téléopération avancée, et pour lesquels une attention particulière doit être portée aux études ergonomiques.

3. APPLICATIONS OPERATIONNELLES POUR LES LABOS CHAUDS

L'important effort de recherche et développement actuel de l'Unité de Génie Robotique Avancé (UGRA) de l'IPSN, équipe formée par Jean Vertut, donne naissance à des produits industriels dont certains devraient particulièrement intéresser les exploitants de labos chauds. Trois exemples sont ici détaillés :

- Télévise est le premier moyen de téléopération assistée par ordinateur utilisé en routine par des exploitants. Il s'agit d'un système de suivi automatique de tâche par télévision qui est présenté figure 15. Il fonctionne depuis 1980, avec PIADE, sur le chantier de démantèlement d'ELAN IIB et a été vendu en Angleterre (CEGB). Télévise diminue les temps d'intervention et améliore les conditions de travail des opérateurs.

- Romain (fig. 16) est un mini-manipulateur à 5 degrés de liberté conçu par l'UGRA pour équiper les petits engins mobiles de moyens d'action sur l'environnement. Sa structure est étanche, légère et robuste ; la commande est simple, ce qui fait de cette machine un outil fiable, aisé à mettre en oeuvre et de coût raisonnable. Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

- mouvements :

bras	± 90°, - 70°
avant-bras	± 180°, - 90°
azimut	± 180°
élévation pince	± 90°
rotation pince	infinie dans les deux sens
fermeture pince	(à mors parallèles)
- charge maximum 5 kg
- poids total (version alliage léger) 19 kg
- motorisation

moteurs à cc, freinés
câblage intégré dans la structure
- commande proportionnelle en vitesse sur chaque axe (par potentiomètres linéaires)
- vitesse maximum 0,1 m/s en bout de pince
- étanchéité

2 bars minimum (supérieure à
2 bars par mise en pression interne)
- alimentation par ombilical toutes longueurs
- la commande actuelle inclut le pilotage des mouvements d'un chariot mobile de type "Oscar".

Le robot Romain, commercialisé par La Calhène, a été mis en actif début février 1985 par la société STMI pour procéder à l'assainissement final de l'installation ATTILA de Fontenay-aux-Roses. Il est présenté ici monté sur le char "Oscar" (Inspectronic). Il peut réaliser des opérations de décontamination, d'assainissement et de découpe dans un milieu fortement irradiant.

Les évolutions envisagées sont les suivantes :

- ajout d'un 6ème axe (rotation de base)
- radiocommande
- robotisation (automatismes, assistance au pilotage)
- version à plus forte capacité.

- TAO1 (téléopération assistée par ordinateur version 1) est le premier produit industriel issu des découvertes récentes de tout ce que peut apporter l'ordinateur à la téléopération. TAO1 est un système de téléopération utilisant un téléopérateur MA23 assisté par ordinateur afin de réaliser les fonctions suivantes :

- Blocage de degrés de liberté (ddl) : une tâche de téléopération est définie par ses degrés de liberté fonctionnels et ses degrés de liberté contraints ; sans assistance, l'opérateur doit contrôler l'ensemble de ces degrés de liberté ; avec assistance informatique, l'opérateur ne commande que les degrés de liberté fonctionnels, l'ordinateur se chargeant de générer les consignes esclaves en fonction du choix des ddl bloqués effectué par l'opérateur et du mouvement du bras maître. Lorsque les ddl sont bloqués, on synthétise sur le bras maître un retour d'effort qui s'oppose au mouvement selon ces ddl ; l'opérateur a ainsi une connaissance kinesthésique des contraintes, ce qui se traduit par une rapidité accrue de manipulation due essentiellement à une diminution de la charge mentale de l'opérateur consécutive à l'augmentation de la sûreté de fonctionnement du système.

- Suppression du poids de l'objet ou de l'outil transporté : le poids étant une force constante ne renseigne pas sur la tâche, d'autant plus que l'être humain perd rapidement l'évaluation d'un effort constant, par contre, il représente pour l'opérateur une fatigue inutile d'où l'intérêt de supprimer la composante poids dans le retour d'effort ; cette suppression de poids est équivalente à réaliser un équilibrage du télémanipulateur esclave quelque soit sa charge.

- Décalage et homothétie du mouvement esclave par rapport à celui du maître : changement d'échelle entre les mouvements maître et esclave, c'est à dire réduction du mouvement pour des tâches précises ou amplification du mouvement pour des tâches rapides ou de grande amplitude.

- Décalage de position entre les deux bras : l'opérateur peut conserver le bras maître dans la partie centrale de son champ (volume de confort de l'opérateur), l'esclave ayant par ailleurs une position quelconque dans son espace atteignable.

- Traitement de sécurité du système : il s'agit d'assurer aussi bien la protection du mécanisme esclave que celle de son environnement, ce qui nécessite une prise de décision automatique et rapide en cas d'urgence.

• Système d'apprentissage/restitution : ce système permet de faire répéter au bras esclave une séquence de manipulation.

Le système TA01 est commercialisé par La Calhène.

5. CONCLUSION

La téléopération assistée par ordinateur s'est développée à partir du fonds technologique issu des labos chauds. Des recherches et développements sont en cours, ils donnent naissance à des produits qui devraient en retour être utiles aux exploitants des labos chauds.

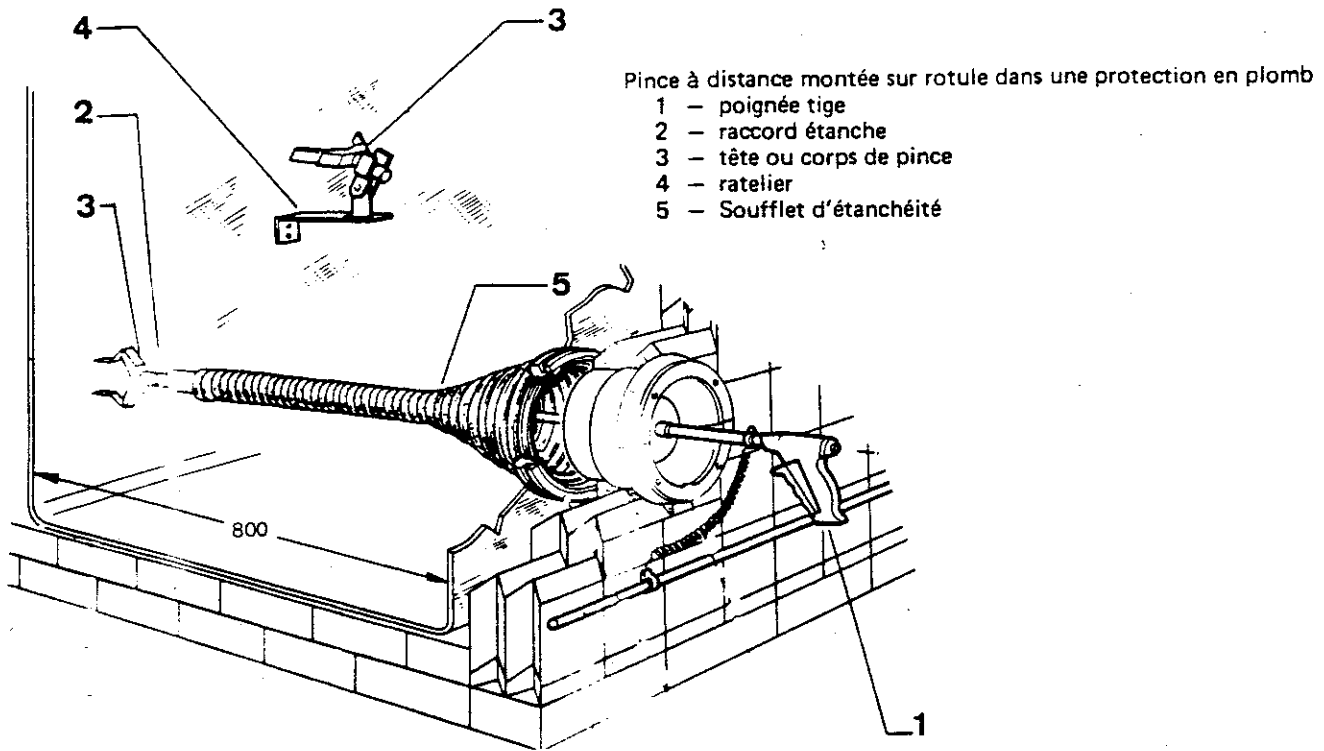


Figure 1

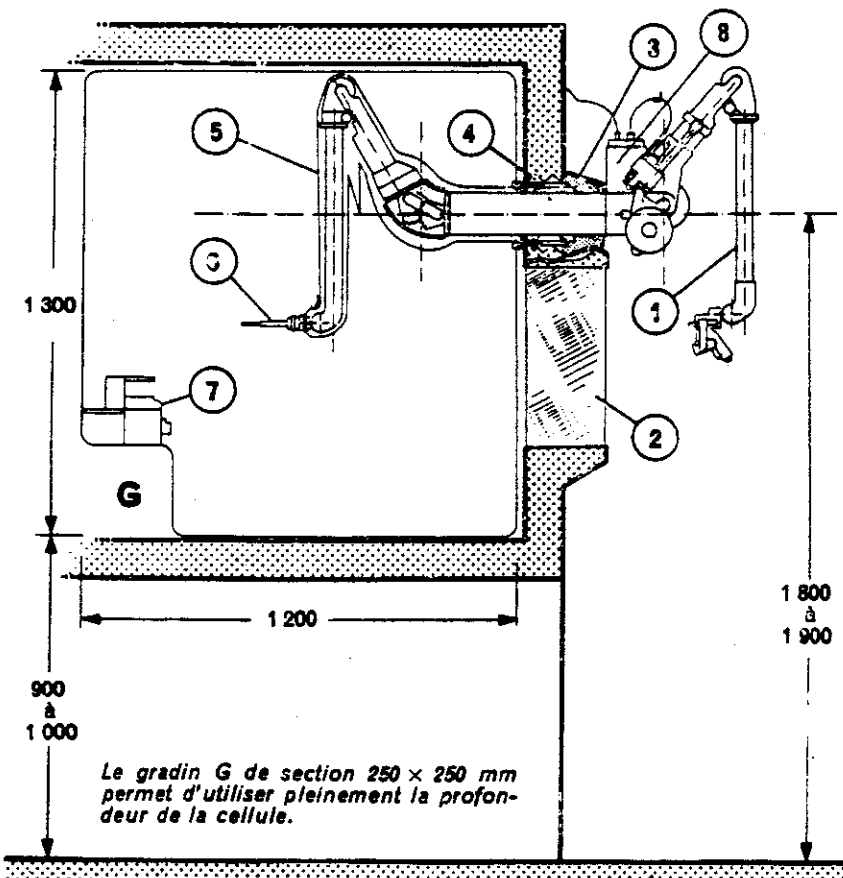


Figure 2

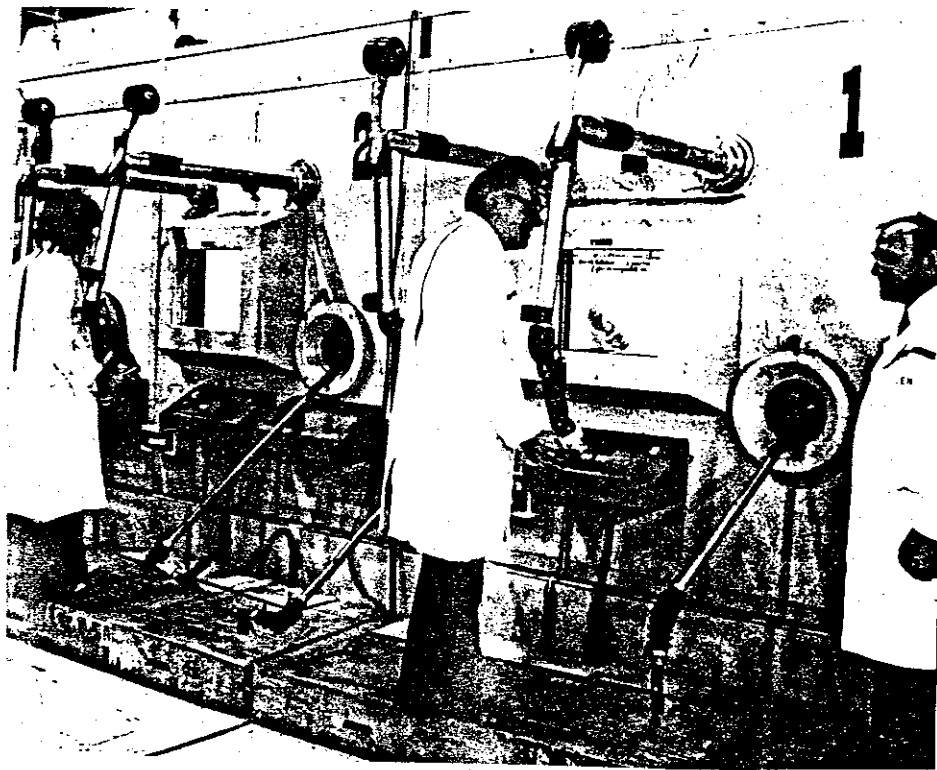


Figure 3

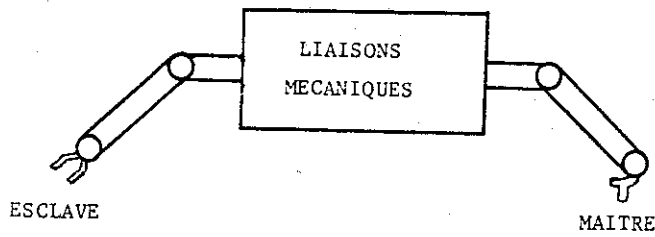


FIGURE 4

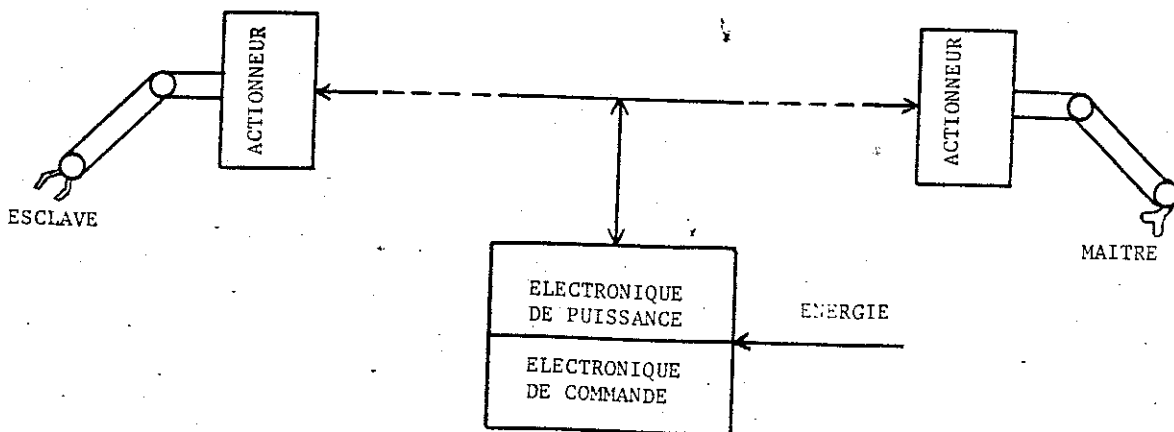


FIGURE 5



Fig. 6 - PIADÉ

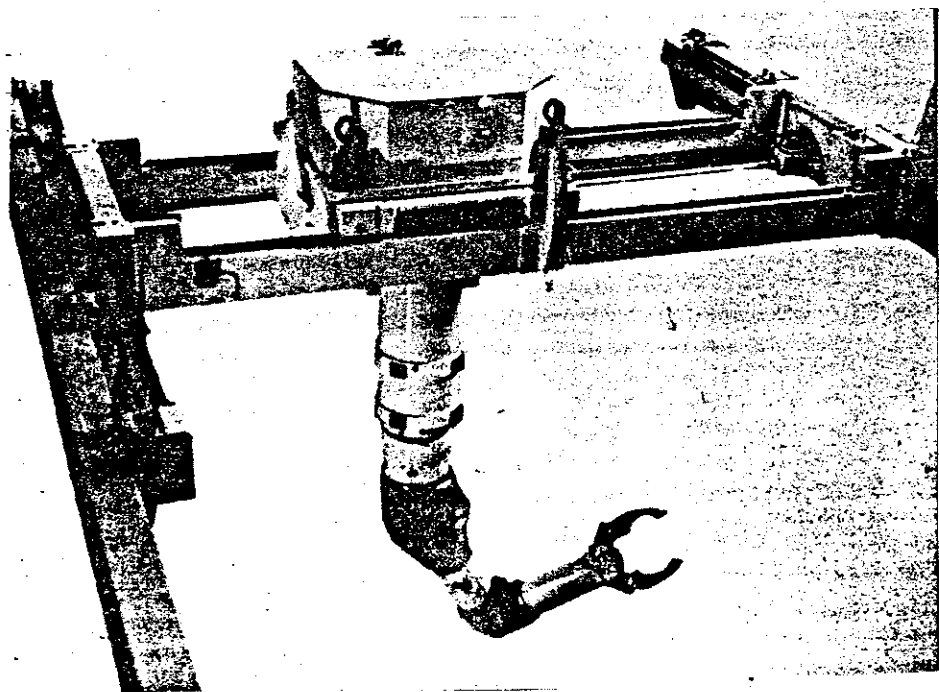


Fig. 7 - Manipulateur 2100B (ACB) monté sur pont roulant

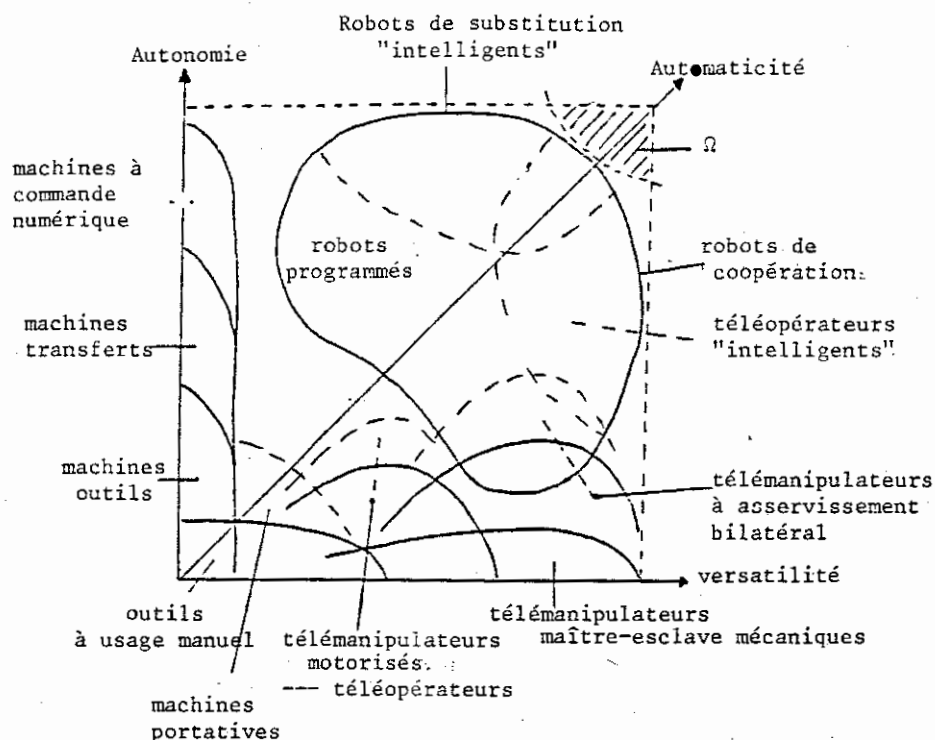


Fig. 8 - Place de la téléopération dans la robotique

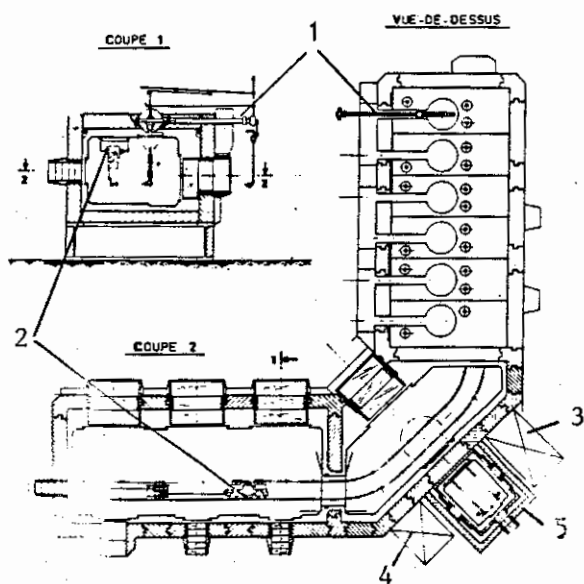


Fig. 9 - Cellule Cyrano (CEA - Fontenay 1963)

Cette cellule a 20 ans de service et reste très performante. Elle préfigure le concept Teletec, car tout l'intérieur est accessible à des manipulateurs. Toute expérience est montée, exploitée, démontée et transférée à l'extérieur à distance

- 1) manipulateurs maître-esclave mécanique couvrant la "paillasse"
- 2) manipulateur motorisé couvrant la partie arrière intérieure de l'enceinte
- 3) conteneurs de transfert du combustible
- 4) conteneurs d'introduction ou d'extraction d'appareils (ou déchets)
- 5) grosse enceinte de transfert pour le manipulateur motorisé ou de gros appareils

Sur ces 2 derniers points, Cyrano s'avère en même temps préfigurer le concept Teletrans par son manipulateur sous enceinte de transfert.

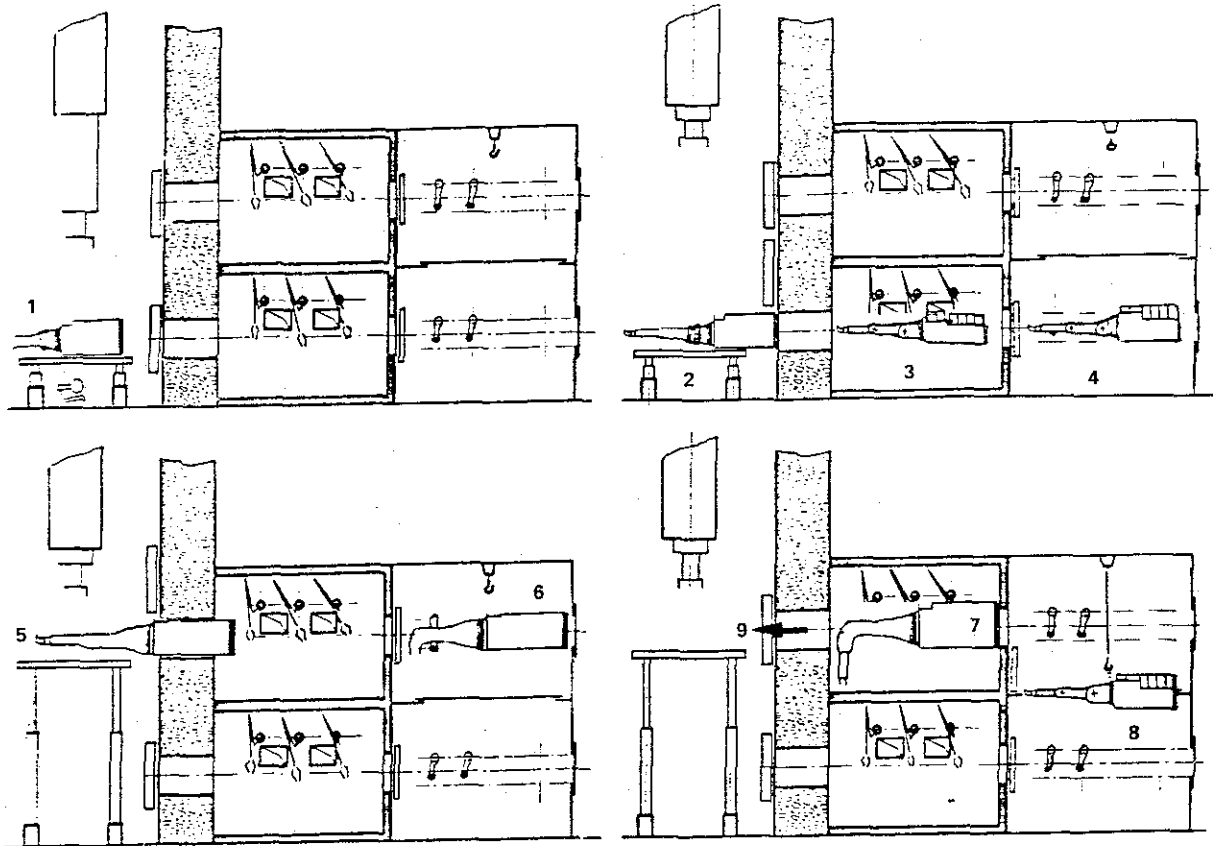


Fig. 10 - Transfert et maintenance du MA23M

- 1) dépose du bras sous son confinement, enlèvement des contrepoids et de la genouillère (poignet)
- 2) connexion du caisson et ouverture de la double porte
- 3) extraction du bras et décontamination (si nécessaire)
- 4) passage dans la boîte à gants de réparation, réparation et tests
- 5) déconnexion du caisson et passage direct dans la boîte de décontamination supérieure, enlèvement de la manche, du filtre, etc
- 6) passage dans la boîte de reconditionnement des caissons, remplacement de la manche, filtre, etc, tests
- 7) connexion sur la boîte arrière supérieure et ouverture de la double porte
- 8) levage du bras réparé et mise en place dans son caisson, test
- 9) introduction en cellule
- 10) boîte de transfert permettant le remplacement rapide par un bras de rechange, ou l'évacuation vers une ligne de réparation centralisée. Dans ce dernier cas les deux boîtes arrières peuvent être supprimées.

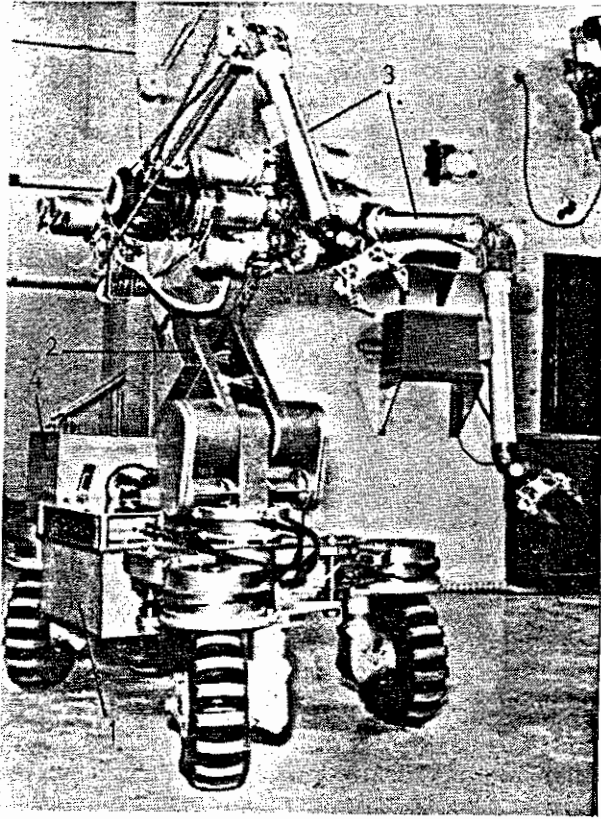


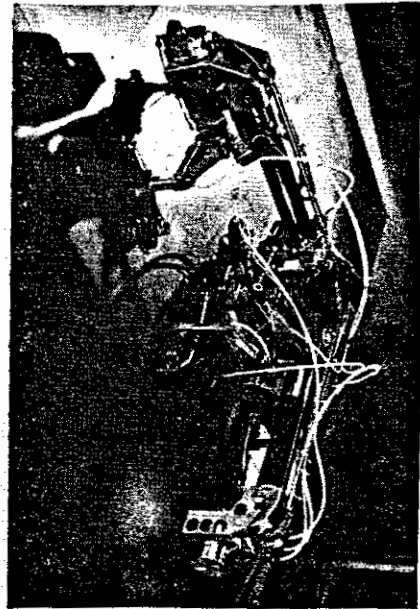
Fig. 11 - VIRGULE

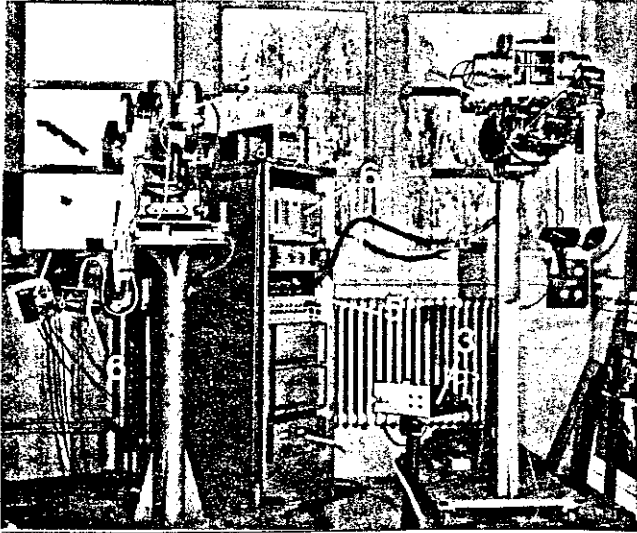
Fig. 12- Méríte dans la centrale
de Saint Laurent des Eaux

Ce véhicule comprend 2 roues non visibles ici et 4 bras s'appuyant à l'opposé dans la conduite du circuit primaire, réalisant l'adhérence du véhicule

- 1) châssis omnidirectionnel à quatre roues motrices directrices permettant de tourner autour de tout point et d'aller en toute direction
- 2) porteur intermédiaire permettant d'atteindre du sol jusqu'à 3 m de haut
- 3) deux bras MA22 à asservissement bilatéral de force 10 kg
- 4) transmission sans fil aller et retour

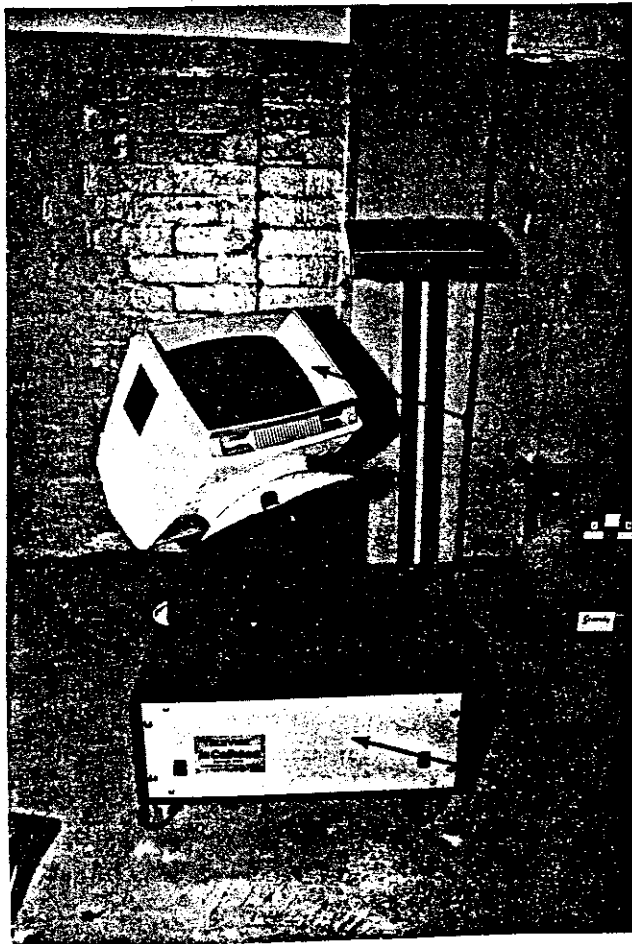
Faute de budget, cet engin n'est plus en état de marche depuis 1978, au moment où les études d'assistance par ordinateur l'auraient utilement exploité...

Fig. 13 - le véhicule Monte au Mur (MAM)
adhère à la paroi par ventouses
Il est resté à un stade de faisabilité



- 1) bras maître
- 2) bras esclave
- 3) boîtier de commandes auxiliaires
- 4) baie d'asservissement analogique
- 5) interface analogique digitale
- 6-6') capteurs d'effort sur la pince
- 7) brique de plomb en "équilibre" par suppression du poids. Les forces supplémentaires sont restituées à l'opérateur

Fig. 14 - Site expérimental de Téléopération Avancée, Saclay



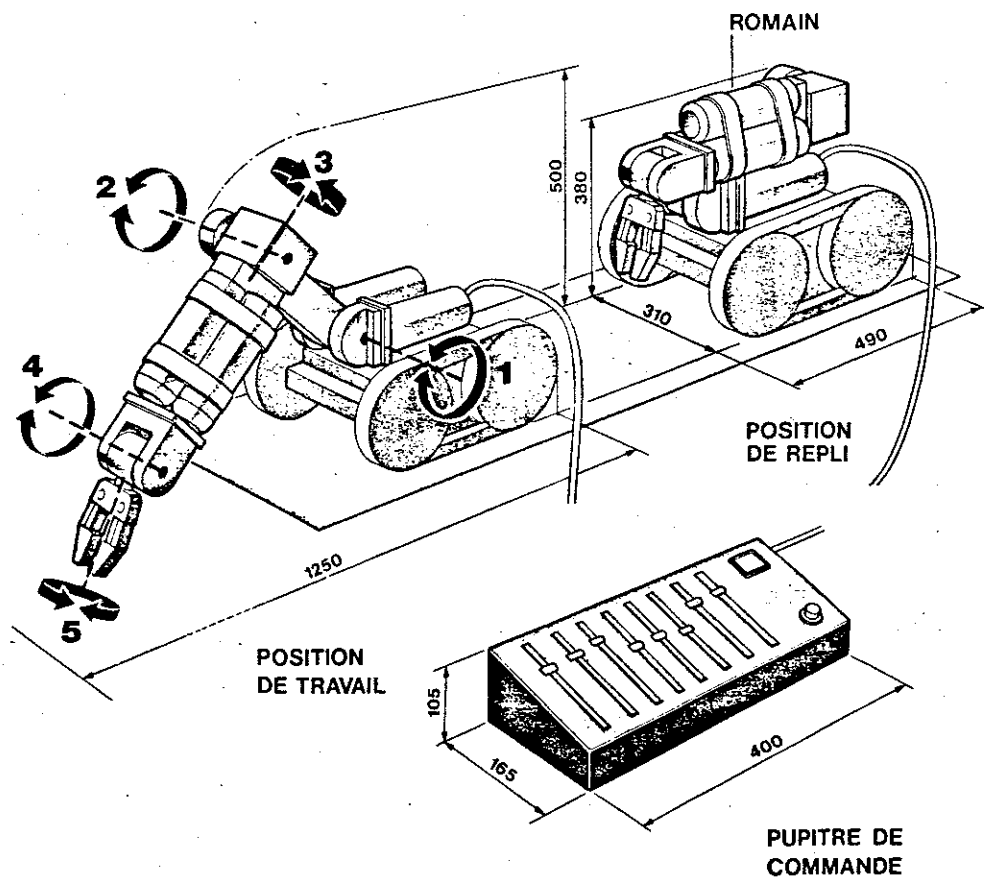
Système micro-informatique réalisant le pointage et la mise au point automatiques de la caméra sur la pince du manipulateur. Adaptable à tous types de télémanipulateur pourvu de codeurs de position (brevets STEP)

- 1) microprocesseur
- 2) écran tactile

Fig. 15 - Télévise

ROMAIN

Robot manipulateur adapté
à l'intervention nucléaire



CEA/IPSN/DPr/STEP

Figure 16

