

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

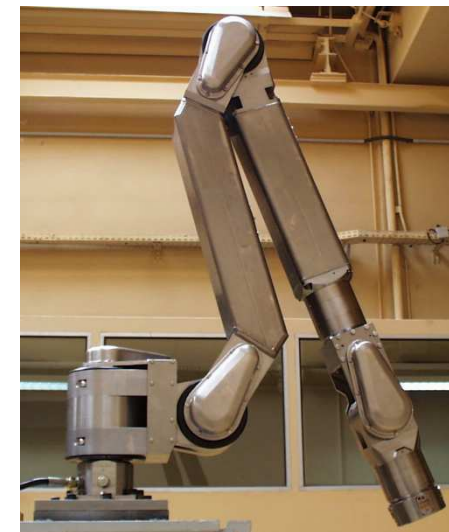
cea

www.cea.fr

4^{ème} ÉDITION DE L'ÉCOLE FRANCO-MAROCAINE
DE LA MESURE ET DE L'INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE

EFMMIN4

« ROBOTIQUE ET TÉLÉOPÉRATION EN
ENVIRONNEMENT RADIOACTIF »



LE PROCÉDÉ MAESTRO :
DU PROTOTYPE DE RECHERCHE AUX
APPLICATIONS INDUSTRIELLES

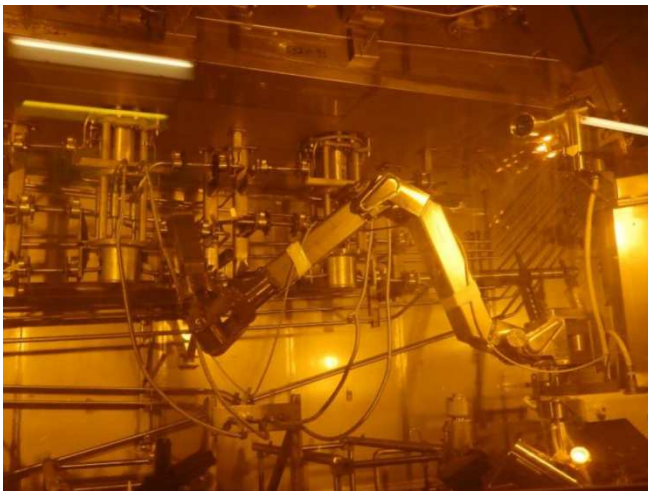
Yves SOULABAILLE yves.soulabaille@cea.fr CEA/DEN-Marcoule
(Préparé avec Gaëtan CANNEAU gaetan.canneau@cea.fr)



Mercredi 20 Juillet 2016, Université d'Aix Marseille – campus St Charles

From the Research ...

- CEA D&D site
- Technical requirements
- Maestro process
 - main features
 - control and command system

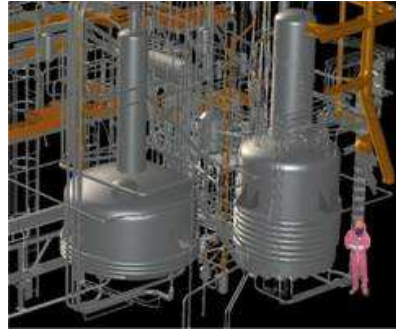


... to hot cell

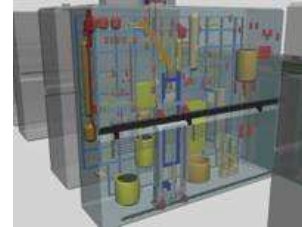
- “Life-sized” first worksite: APM
- “Life-sized” second worksite: UP1
- Future industrial site (near Paris):
Building 18 CEA/FAR → PETRUS



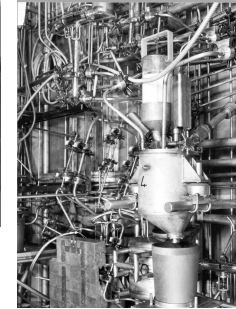
Rapsodie



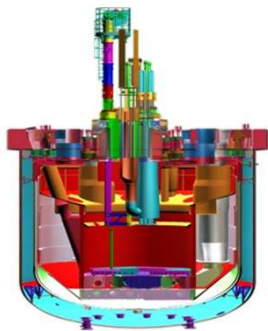
UP1 - AVM



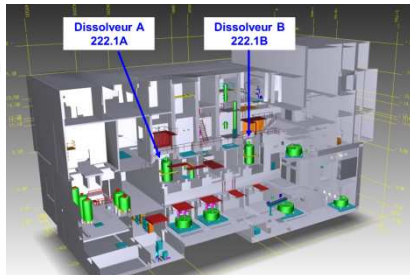
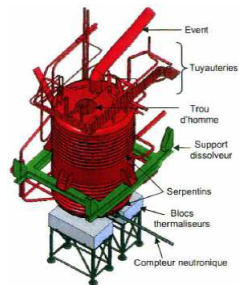
APM cell 419



Pétrus Building 18



Phénix



UP1 - Dissolver



APM cell 414

Technical requirements

The needs of CEA dismantling operations for the next twenty years

- Ensure the civil and defence facility clean-up program
- Need an industrial system with:
 - Higher reliability
 - Higher productivity
 - Improved nuclear safety

Two main configurations of CEA facilities

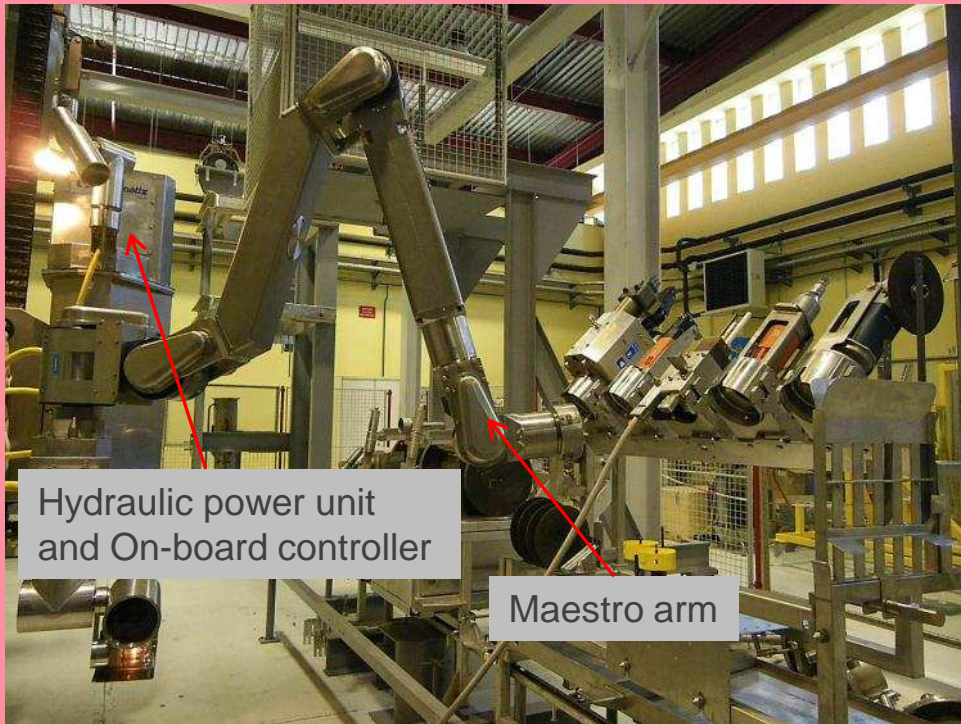
- Reprocessing facilities: Building 18, APM, UP1,AVM...
 - Features: Large cells with high density of various components (thickness 3 to 15 mm), contamination and intermediate level radioactivity
- Fast reactors: Rapsodie, Phenix
 - Main operations carried out under water
 - Features: Large components with high or multiple thickness up to 100 mm, in air or under water and high level radioactivity

MAESTRO PROCESS

Operation area



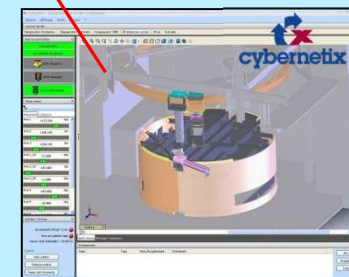
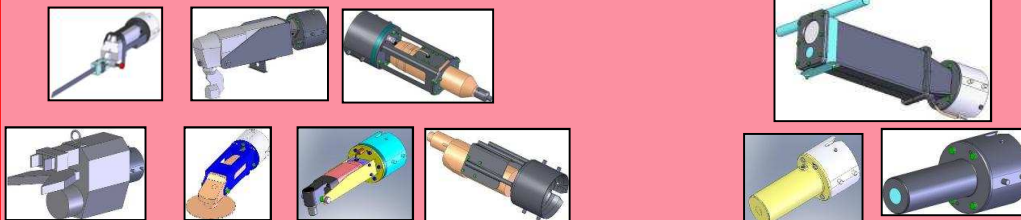
Control room



Hydraulic power unit and On-board controller

Maestro arm

Other electric tools for dismantling and for inspection/control



MAESTRO PROCESS



Slave Arm
Maestro

60 shielded
pairs



Electric tools



Vision - Sound
Embark

20 shielded
pairs



On-board
Controller

10 shielded
pairs



Hydraulic
power unit
Embark



Complete process

MAESTRO PROCESS



Slave Arm
Maestro

60 shielded pairs



On-board
Controller



Electric tools



Hydraulic
power unit
Embark



Vision - Sound
Embark

20 shielded pairs



Controller
TAO 2000

CyX Pro

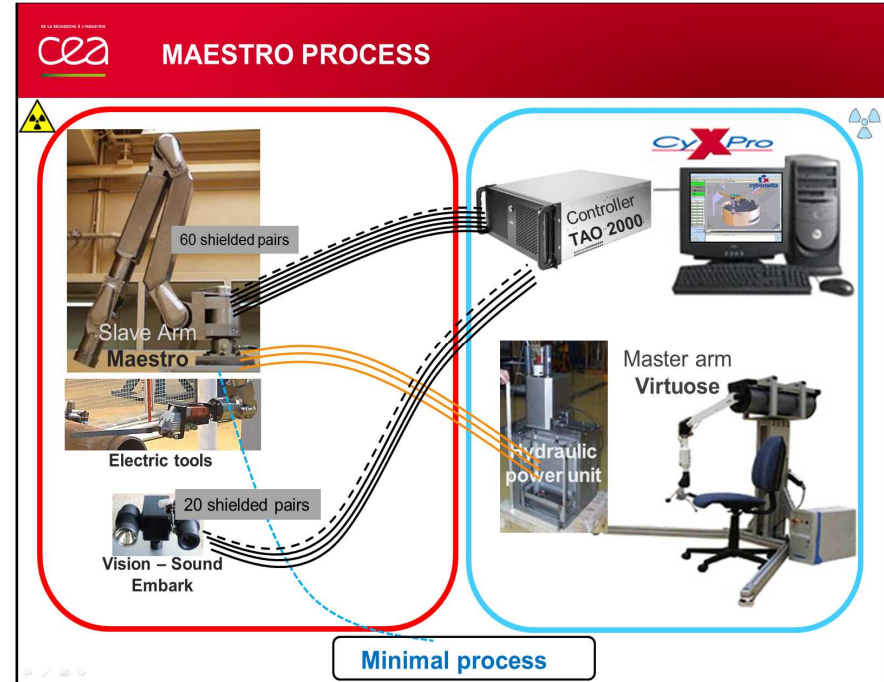
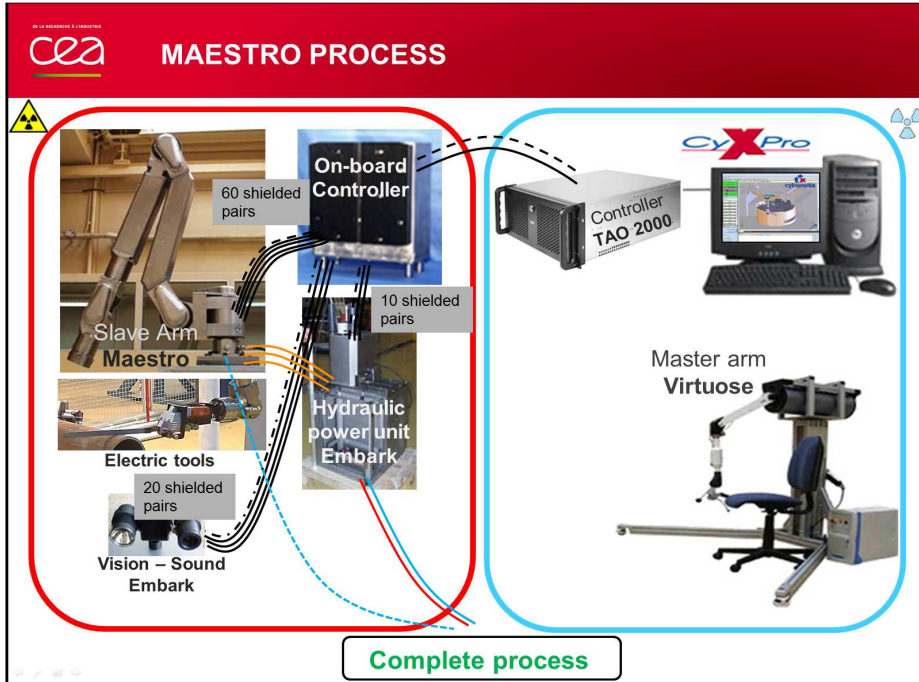


Master arm
Virtuose



Minimal process

MAESTRO PROCESS



MAIN FEATURES

- High capacity hydraulic titanium slave arm
- Good unidirectional reliability ($\leq 1\text{mm}$)
- Dexterity (6 degrees of freedom, concurrent wrist)
- Master Slave system with force feedback
- Availability awaited on site : 80%
- Can be easily decontaminated and is hardened against radiation (arm $> 10\text{kGy}$ and On-board controller $=10\text{ kGy}$)
- Tool changer with electrical pins (no external wire)



TOOLS TESTED IN REALISTIC CONDITIONS

- Gripper-mounted tools
- Hydraulic Shears (up to $\text{\O} 55\text{mm}$, 4mm thick)
- Sabre saw (cutting lead)
- Nibbler (up to 9 mm thick, 1m/min)
- Plasma torch and laser torch
- Rotary disk (abrasive and diamond)
- ...

Offset fonction



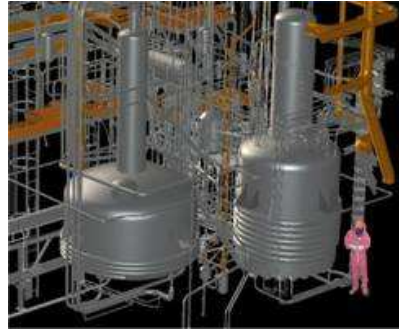
Control and command system :

- Mode of utilisation
- Weight compensation
- Offset fonction
- Inibiting degrees of freedom
- Monitoring 3D
 - Anticollision

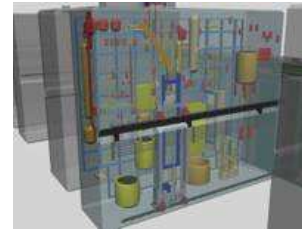
... TO HOT CELL



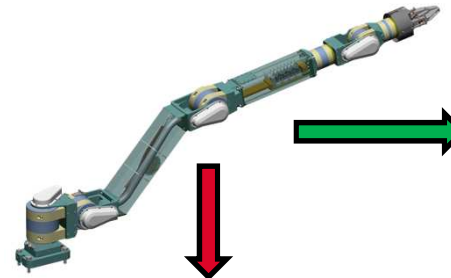
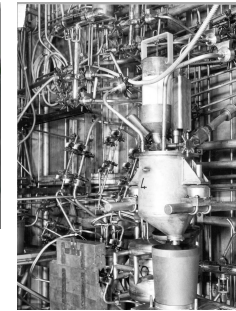
Rapsodie



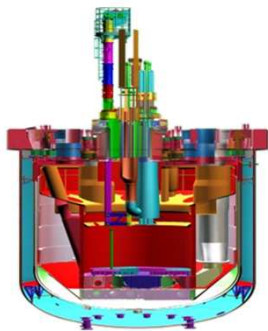
UP1 - AVM



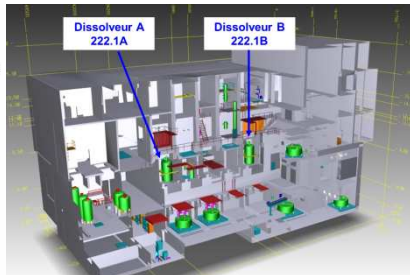
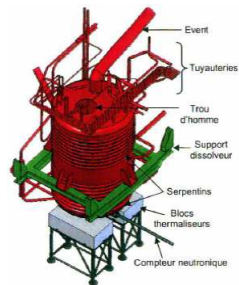
APM cell 419



Pétrus Building 18



Phénix



UP1 - Dissolver



APM cell 414

“Life-sized” first worksite : APM

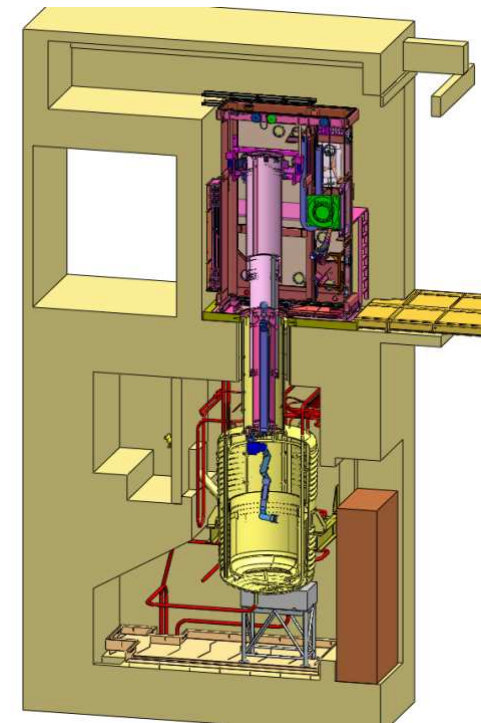
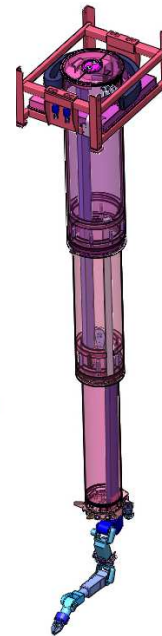
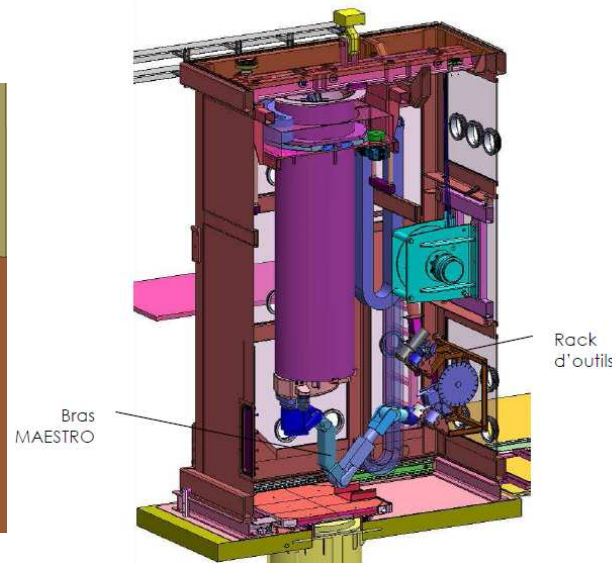
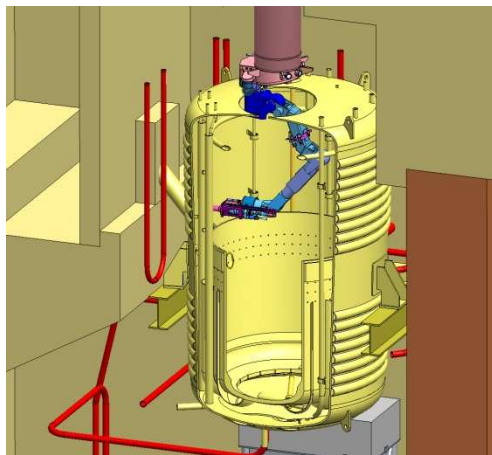
The first worksite who implements the maestro process was APM cell 414 on the site of Marcoule. The implementation of this system was done in 6 steps :

- 1 – technical review
- 2 – model conception and realization
- 3 – model validation in radioactivity free environment
- 4 – operator training
- 5 – system transfer in hot cell
- 6 – cutting operations



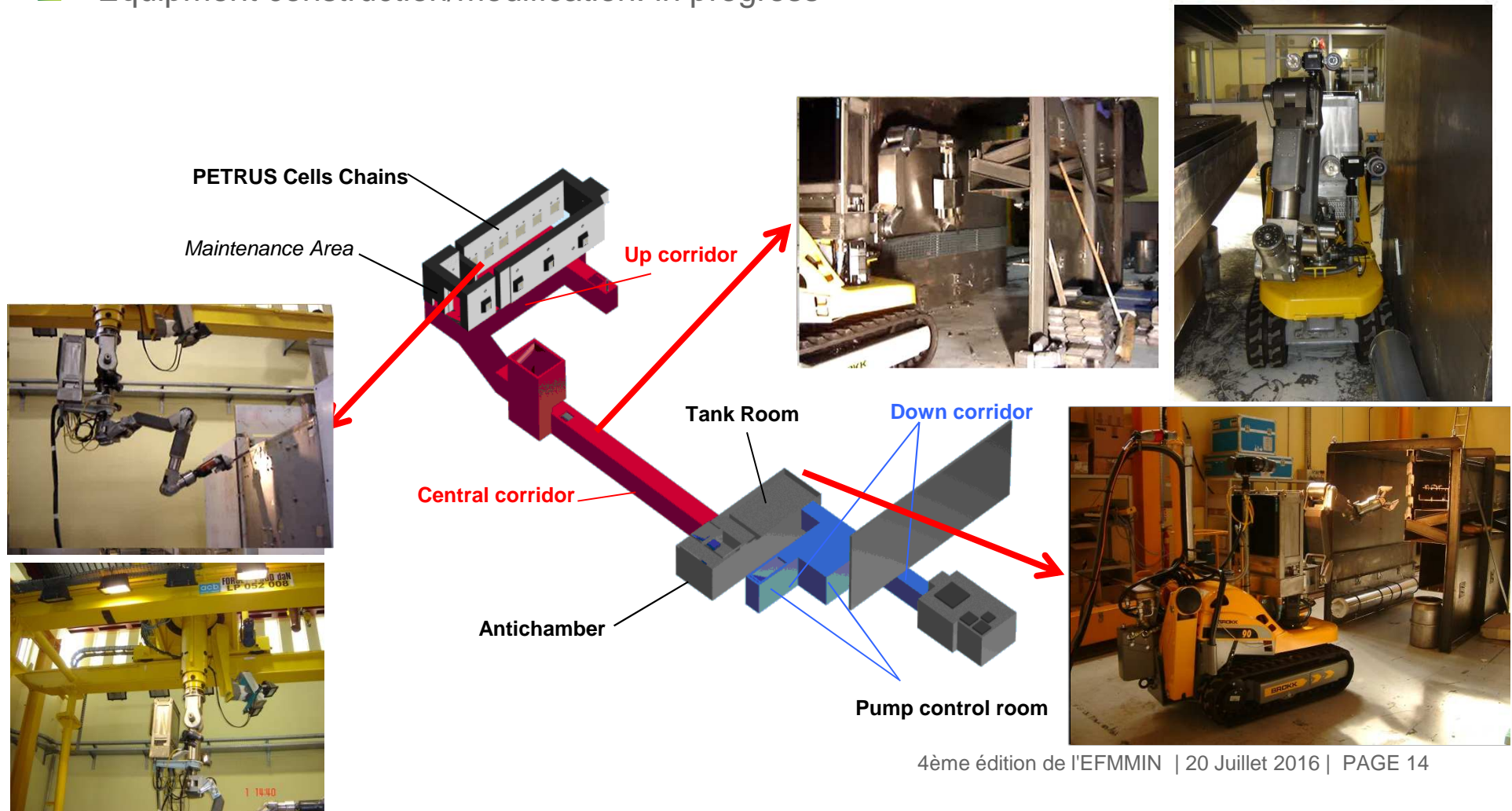
“Life-sized” second worksite : UP1

The second worksite who implements the process is UP1 on the site of Marcoule.
This worksite uses the laser cutting process for the first time in the world.
This technology is coming out of the R&D carried out in the framework of the CEA D&D project.



Future industrial site (near Paris) : Building 18 CEA/FAR → PETRUS

- Future industrial site CEA/FAR Cell 18 : Dismantling of Petrus facility.
- Equipment construction/modification: in progress



Démantèlement : le bras de fer du nucléaire

Maestro, robot fossoyeur du nucléaire

Un bras télécommandé résistant aux radiations aide au démantèlement d'usines de retraitement du combustible

Maestro, un robot qui ne craint pas la radioactivité

Marcoule (Gard)
De notre envoyé spécial

Un bras articulé gris et froid. Mais extrêmement souple, au point qu'il est capable de se dresser dans l'espace, tel un cobra stimulé par la flûte d'un charmeur. Ici, toutefois, l'outil est téléguédé par un technicien, dûment formé, situé loin du site radioactif, de plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres. Doté de six axes de rotation, il se meut pratiquement comme le bras d'un homme entraînant simultanément un déplacement de l'épaule, du bras, de l'avant-bras, du poignet et de la main.

Fruit de dix ans de recherche et développement entre le CEA, la société Cybernetix et l'Ifrermer, « Maestro est un bras pesant de 60 à 80 kg, pouvant s'étendre jusqu'à 2,40 m et s'équiper d'une dizaine d'instruments allant de la caméra-gamma pour identifier les zones les plus radioactives à la meuleuse en passant par la cisaille, la scie ou la perceuse », indique Didier Leterg, responsable de la robotique au CEA. Bref, tout l'outillage du parfait démonteur d'usines, d'ateliers ou de laboratoires nucléaires. « Véritable prolongement du bras de l'homme, il est en plus capable de transmettre une sensation du

toucher à l'opérateur, ce qu'on appelle une main haptique à retour d'effort », explique Gilles Michel, PDG de Cybernetix. Son coût est de 850 000 euros.

Construit en titane, un matériau facilement décontaminable, il a été « durci » pour que ses circuits électroniques résistent aux rayonnements. Dans les usines centrales, il peut se déplacer sur un pont roulant (si celui-ci a été prévu dès la construction) ou bien sur un petit chariot à chenilles, un peu comme les robots mobiles d'EDF d'intervention en milieu irradié. Il est prévu pour supporter 10 000 grays (dose accumulée), sachant que quelques grays pendant vingt secondes sont mortels pour l'homme.

Surtout, depuis début 2006, dans l'ancienne usine d'extraction du plutonium de Marcoule, Maestro découpe cuves et tuyauteries en acier épais hautement radioactives au moyen d'un laser. Une première mondiale qui intéresse les Japonais de Fukushima. Le CEA et Onet Technologies sont en train de démontrer la faisabilité de la découpe laser pour la récupération des cœurs de réacteurs fondus ou sont imbriqués béton, métal et combustibles radioactifs.

Denis Sergent

Robotique Si la France sait construire des centrales depuis des décennies, elle peine à s'en débarrasser une fois mises à l'arrêt. Des engins ont été conçus pour les opérations à haut risque radioactif. « Libération » en a vu un à l'œuvre à Marcoule, dans le Gard.

Par **JEAN-CHRISTOPHE FERAUD**
Épave spécial à Marcoule (Gard)
Photos **OLIVIER METZGER**

« **P**our la découpe laser, Tom ? » Installé derrière ses six écrans de contrôle, la main posée sur le joystick, l'opérateur attend le feu vert pour passer à l'action. Au « stop », le pilote de Maestro commence à diriger l'impressionnant bras robotisé du bout des doigts. L'ensemble de titane articulé approche du bord de la cuve d'acier de 4,5 tonnes qui a servi pendant quarante ans à dissoudre le combustible usé de l'usine

d'extraction de plutonium UPl. Le faisceau bleuâtre du laser jaillit du nez de Maestro et découpe en moins de cinq minutes une plaque de 30 cm sur 30 cm sur l'arête de la cuve déjà bien entamée. Une nouvelle impulsion sur le joystick et le « bras esclave » du robot pousse et fait tomber 4 mètres plus bas la pièce d'acier qui n'était plus retenue que par quelques scores.

« Maestro intervient là où le niveau de radioactivité interdit aux humains de travailler. Dans cette cuve de dissolution, l'ambiance est toujours d'un gris (G), un homme y recevrait une dose létale en moins de trente minutes. Le robot peut encaisser 10 000 fois plus, ex-

plique Philippe Guiberteau, directeur du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) de Marcoule (Gard).

OS à tout faire

L'espace d'un instant, on frémit en repensant aux « liquidateurs » de Tchernobyl envoyés à la mort avec leur masque à gaz et leur tenue caoutchoutée inutiles face aux radiations. Et l'on comprend pourquoi les robots, toujours en première ligne à Fukushima, sont les OS à tout faire du nucléaire. Le téléopérateur qui commande Maestro, lui, ne risque rien : protégé des rayonnements de la cuve par

DAVID LAROUSSIERE
Marcoule (Gard)

La main sur un joystick noir, les yeux rivés sur six écrans, un jeune opérateur s'applique. Il vérifie verbalement que son voisin est prêt. Soudain, il appuie sur une pédale sous sa table. Sur les écrans affichant jusque-là des images en noir et blanc jaillissent des étincelles violacées autour d'une intense tache lumineuse. Moins d'une minute plus tard, il est satisfait : une saignée horizontale d'une dizaine de centimètres de long apparaît sur une surface métallique. « Je vais maintenant faire tomber ce morceau à la main », explique le technicien à propos de la pièce qu'il vient de découper au laser. Il saisit alors une autre manette, plus longue, et, par son intermédiaire, déplace le bras métallique articulé qui tenait le laser pour détacher la pièce de son support. Ces gestes, lui et ses collègues, postés dans un préfabriqué à quelques mètres du bâtiment où intervient le bras robotisé, vont les répéter des centaines de fois pour venir à bout d'une cuve métallique de quatre mètres de haut, deux mètres de diamètre et 4,5 tonnes.

C'est l'une des étapes-clés de ce chantier de démantèlement d'une ancienne installation nucléaire du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) à Marcoule (Gard). Des ouvriers pourraient aller plus vite, mais la radioactivité résiduelle est telle qu'en

moins d'une minute, ils atteindraient les seuils réglementaires, et trouveraient la mort en trente minutes. D'où le recours à cette téléopération et surtout à un bras robotisé, baptisé Maestro. « C'est une première mondiale », salue Philippe Guiberteau, le directeur du centre de Marcoule, lors d'une présentation à la presse des performances de cet engin, construit en partenariat avec l'entreprise française de robotique Cybernetix et l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), intéressée pour équiper des sous-marins.

« Cette découpe laser a la particularité de fonctionner sur des surfaces non planes et épaisses », ajoute Jean-Philippe Sibert, chef de ce projet chez ONET Technologies, l'une des deux entreprises sous-traitantes du CEA - avec Nuvia -, spécialisées dans la téléopération.

Bien que les deux sites de Marcoule sur lesquels le robot intervient soient à l'arrêt depuis 1997, cette phase du démantèlement avec Maestro n'a commencé qu'en juin 2015 pour l'atelier pilote de Marcoule (APM) et en décembre pour l'usine de retraitement du plutonium et de l'uranium (UP1). Ces deux sites entrés en service à la fin des années 1950 ont servi à retraiter des combustibles usés : l'APM était le prototype de ce qui allait devenir l'usine de retraitement de La Hague (Manche); UP1 était dédiée à des combustibles différents, contenant de l'uranium et du graphite.

Il faudra encore une vingtaine d'années avant d'achever ces travaux, qui font déjà de Marcoule le plus important site nucléaire en cours de démantèlement du monde. Des 20 000 m³ de l'APM sortiront 2 600 tonnes de déchets fortement radioactifs. Actuellement, une tonne environ a été découpée dans l'une des vingt salles les plus dangereuses. Dans UP1, la première des deux cuves est au tiers démantelée. Cinquante heures seront nécessaires pour en venir à bout, mais les travaux vont cesser pendant plus de deux mois pour mesurer la radioactivité des morceaux déjà extraits, afin de vérifier leur conformité aux prévisions et aux normes réglementaires.

Dans l'APM et UP1, les pièces sont ramassées par le bras et mises dans des paniers qui finiront compressés en galettes, empilés et cimentés. Certains de ces colis seront entreposés par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) dans son centre de l'Aube, pour les déchets moyennement et fortement radioactifs à vie courte, ou stockés dans le futur centre industriel de stockage géologique (Cigeo) pour ceux de moyenne activité à vie longue.

La mise au point de Maestro a été très longue, vingt ans entre les premières études et les premiers travaux en conditions hostiles. Si réaliser un bras articulé à six degrés de liberté et téléopéré est courant dans l'industrie, il n'était pas possible d'utiliser un de ces modè-

NUCLÉAIRE
FRANCE

Maestro, un robot développé par le CEA pour le démantèlement

Le 6 avril, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) a présenté Maestro, « un robot pionnier et unique au monde qui, en alliant les compétences et les outils de plusieurs robots, offre de nouvelles capacités pour l'intervention sur les chantiers de démantèlement nucléaire ». Il est issu de plus de 10 années de recherche et a été co-développé avec un industriel, Cybernetix. Il est constitué d'un bras de commande (le bras « maître ») et d'un bras « esclave » téléopéré par deux opérateurs depuis une salle déportée à partir d'images vidéo de l'environnement à démanteler couplées à des simulations 3D.

« Début 2016, Maestro est entré en activité dans l'usine d'extraction du plutonium (UP1) pour y effectuer des découpes laser de cuves de dissolution dans lesquelles étaient jadis dissous les combustibles usés à retraiter », précise le CEA dans son communiqué. Les cuves de dissolutions représentent un défi pour les opérateurs du démantèlement ; outre le très fort niveau de radioactivité résiduelle derrière des murs en béton d'un mètre d'épaisseur, leurs grandes dimensions et masse, la faible accessibilité, le milieu exigü (etc.). Le chantier a été confié à Onet technologies et les deux partenaires ont qualifié cette technologie pour les propres chantiers du CEA en validant ses performances de découpe, les caractéristiques physiques des déchets résultant de l'opération et la compatibilité de la technologie laser avec les exigences de sûreté et de sécurité.

Thanks for your attention

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Marcoule | BP 17 171, 30207 Bagnols sur Ceze Cedex
T. +33 (0)4 66 79 50 00 | F. +33 (0)4 66 79 64 22

Direction Energie Nucléaire
Département Technologie du Cycle
Service de Développement Technologies du Cycle

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019