

Meeting of the society of electrical, electronic
and radio engineers
Creys-Malville (France) 17 Mar 1983
CEA-CONF--6829

Inspection en service de superphenix 1 par
l'espace intercuve

M. Asty, R. Saglio

INTRODUCTION

Alors qu'aucune inspection en service n'a été imposée pour les cuves du réacteur Phénix, les Autorités de Sûreté ont demandé que la détection et le suivi d'évolution de défauts de surface ou dans l'épaisseur des tôles des cuves de SUPERPHENIX 1 soient possibles durant toute la vie du réacteur. La présence de barffles thermiques à l'intérieur de la cuve principale empêche l'accès interne. Une inspection en service ne peut être effectuée que par l'extérieur de la cuve principale : la distance entre cuve principale et cuve de sécurité a été fixée à une valeur permettant l'introduction d'un engin d'inspection. De plus, comme aucun contrôle radiographique n'est possible à cause de la conception du réacteur, la seule méthode possible pour un contrôle volumique est le contrôle par ultrasons, bien que les performances de cette méthode soient limitées à cause de la structure anisotrope des soudures d'acier austénitique.

CONDITIONS OPERATOIRES

Les inspections en service auront lieu durant les périodes de manutention du combustible : les conditions de température seront alors de 180°C sur la cuve principale et 120°C sur la cuve de sécurité. Les deux cuves sont réalisées en tôle d'acier inoxydable d'épaisseur 25 à 60 mm pour la cuve principale et 25 à 30 mm pour la cuve de sécurité, elles sont toutes deux suspendues à la dalle (figure 1) qui est équipée de douze traversées ovales (440 x 700 mm). Une barrière thermique située à la partie supérieure des cuves réalise l'isolation thermique de la dalle qui est refroidie à l'eau. Cette barrière thermique comporte également des trous de passage. La distance intercuve durant des inspections varie de 620 à 700 mm : ceci est partiellement dû aux tolérances de fabrication, mais en majeure partie aux effets de la dilatation thermique et des chargements mécaniques.

En résumé, l'engin d'inspection doit d'abord traverser la dalle et la barrière thermique par des trous ovales puis se déployer jusqu'à la valeur de l'espace intercuve qui varie de place en place. La structure de la barrière thermique est telle que l'engin ne doit la soumettre à aucun effort mécanique.

DESCRIPTION DE L'ENGIN MIR

L'engin d'inspection, appelé MIR (Module d'Inspection des réacteurs Rapides) comprend :

- le véhicule proprement dit, porteur des matériels d'inspection
- le treuil et la goulotte s'étendant de la barrière thermique jusqu'à plusieurs mètres au-dessus de la dalle
- le câble composite pour l'alimentation électrique et en fluides, associé à un filin de traction en acier
- le contrôle commande assisté par ordinateur qui est regroupé dans un véhicule laboratoire avec le matériel de contrôle ultrasonore et télévisuel.

Critères de conception

Ce sont des considérations de sûreté qui ont conduit aux principaux critères de conception.

Il est impératif de pouvoir extraire l'engin de l'espace intercuve, quelles que soient les conditions d'incident rencontrées. Comme il était impossible d'équiper l'espace intercuve de rails, même sur la seule cuve de sécurité, l'engin d'inspection doit être automoteur et capable de suivre et d'identifier les soudures sur les cuves.

De plus, tous les matériaux entrant dans la construction de l'engin et de ses périphériques, doivent avoir fait l'objet de tests de compatibilité avec le réacteur : des limitations quant au choix des matériaux peuvent apparaître de ce fait, par exemple pour le liquide de couplage des traducteurs ultrasonores ou pour les matériaux des bandages de roues.

Description de l'engin

Il comprend une structure centrale sur laquelle sont articulés quatre bras, deux longitudinaux et deux transversaux (figure 2). Le mouvement des bras transversaux qui se fait par l'intermédiaire d'une bielle n'est utile que pour déployer l'engin à la sortie de la goulotte. Les mouvements des bras longitudinaux qui sont reliés entre eux par des secteurs dentés sont destinés à permettre le passage dans la goulotte mais également à ce que l'engin s'adapte aux variations de la distance intercuve. A l'extrémité de chaque bras est fixé un actionneur de traction et de rotation avec codeurs associés.

Les fonctions de déploiement et de suspension de l'engin dans l'espace intercuve sont chacune assurées par un vérin à gaz.

Le vérin de déploiement dont la partie fixe est articulée en rotation sur la structure centrale, commande une double chaîne ciné-

matique. D'une part, il relève le bras longitudinal arrière qui prend appui sur le vérin de suspension encore non activé ; un mouvement identique est transmis au bras longitudinal avant par l'intermédiaire des secteurs dentés. Par construction, l'articulation commune aux deux vérins passe au-delà d'un point d'arc-boutement : il n'est donc pas nécessaire de maintenir une pression dans le vérin de déploiement pour assurer à l'engin une position déployée. D'autre part, une bielle transmet un mouvement de rotation aux bras transversaux qui viennent s'appuyer sur la structure centrale.

L'engin est alors complètement déployé mais n'appuie pas encore sur les cuves : ceci est indispensable car les articulations des bras transversaux ne sauraient supporter les efforts nécessaires à la suspension de l'engin. La commande du vérin de suspension est mécaniquement liée au déplacement du vérin de déploiement qui comporte un distributeur de gaz : une seule alimentation suffit pour les deux vérins.

Le vérin de déploiement, étant à double effet, est également utilisé pour le repliement de l'engin.

Pour d'évidentes raisons de sûreté, il n'est pas envisageable qu'une panne rende périlleuse, sinon impossible, la sortie de l'engin. Les pannes les plus probables concernent les actionneurs, plus particulièrement les moteurs de traction, et les vérins qu'une conception même très soignée ne peut mettre à l'abri d'un grippage.

Chaque actionneur est muni d'un dispositif fusible qui désolidarise la roue de l'arbre du motoréducteur de traction : il est alors possible de rapatrier l'engin vers la goulotte, en utilisant les trois moteurs de traction restants.

L'éventualité d'un grippage de vérin a été résolue par l'adjonction d'un dispositif d'extraction de secours. De l'engin, partent d'une part un cordon ombilical permettant les alimentations électriques et en fluide, d'autre part un filin de traction dont les fonctions sont multiples. A l'introduction de l'engin, il le retient jusqu'à ce qu'il soit entièrement déployé dans l'espace intercuve. Lors de la progression normale de l'engin, le filin de traction est toujours maintenu tendu pour minimiser les conséquences d'une éventuelle perte d'adhérence des roues. Enfin, c'est par le filin de traction qu'un repliement de secours peut être effectué en cas de grippage d'un vérin : par une traction dosée sur le filin (environ 4 fois son poids), la tige du vérin de déploiement est désaccouplée de son articulation, ce qui replie entièrement l'engin. De plus, cette opération s'effectue alors qu'il est accosté à la goulotte : celle-ci comporte un chariot coulissant, muni d'un verrouillage dans sa partie basse, sur lequel l'engin vient s'appuyer. Alors, la gravité contribue également à replier l'engin.

EQUIPEMENTS DE CONTROLE

Ils sont situés à l'avant de l'engin (figure 2) et permettent un examen visuel et ultrasonore.

Pour l'examen visuel, une caméra de télévision est placée dans une enceinte calorifugée refroidie par un flux d'azote gazeux rejeté dans l'espace intercuve. Grâce à un prisme, la caméra vise simultanément les deux cuves : à l'image d'une soudure sur la cuve principale est associée celle de repères gravés sur la cuve de sécurité, qui constitue l'un des modes de repérage de l'engin dans l'espace intercuve. Une deuxième caméra, dite de navigation, solidaire du bras longitudinal avant, est destinée à assurer la sécurité d'évolution de l'engin dans l'espace intercuve. Mobile en rotation, elle est utilisée pour apprécier la distance entre l'engin et l'instrumentation du réacteur placée dans l'espace intercuve selon trois méridiens, et également pour faciliter l'extraction de l'engin. Ces deux caméras sont d'un type standard (tube vidicon 2/3", définition de 625 lignes). Leur originalité réside dans leurs faibles dimensions, tant pour des raisons d'encombrement que pour minimiser les surfaces d'échange thermique avec l'espace intercuve.

Le contrôle ultrasonore est réalisé par des traducteurs focalisés contenus dans une cuve munie d'un joint à lèvres, à l'intérieur de laquelle ils sont animés d'un mouvement de balayage parallèle à l'axe longitudinal de l'engin. La combinaison de ce mouvement avec une avance transversale de l'engin permet l'examen total des joints soudés.

Les soudures courantes sont contrôlées en ondes longitudinales à 45° et 70° (figure 3), tandis que la soudure du platelage sur la cuve principale est contrôlée en ondes longitudinales à 0° et 35° (Fig.4). Le couplage acoustique est assuré par un liquide, le Gilotherm RD. Des essais en température ont prouvé sa compatibilité avec le réacteur. Sa tension de vapeur permet son élimination après un contrôle.

Le liquide de couplage circule en permanence entre la cuve de contrôle et un réservoir : le moteur assurant le mouvement des traducteurs commande également une pompe à engrenages. Quelle que soit l'orientation de l'engin dans l'espace intercuve, un sens de rotation de la pompe assure le remplissage de la cuve, tandis que le liquide est refoulé dans le réservoir pour une rotation en sens inverse. Ainsi, la quantité de liquide déversé dans l'espace intercuve est minimisée.

La cuve de contrôle est appliquée contre la paroi à examiner, cuve principale ou de sécurité, par l'intermédiaire d'un pantographe solidaire du bras longitudinal avant. Par construction, la cuve de contrôle n'est pas appliquée contre la paroi lorsque l'engin est replié, afin de diminuer les risques de déchirement du joint à lèvres assurant l'étanchéité vis à vis du liquide de couplage. L'orientation de la cuve de contrôle est maintenue constante par des billes d'appui.

REPERAGE ET GUIDAGE DE L'ENGIN

La conception générale de l'engin le rend capable de se mouvoir dans tout l'espace intercuve. Plusieurs dispositifs ont été prévus tant sur le réacteur que sur l'engin pour permettre son repérage et son guidage dans l'espace intercuve.

La cuve de sécurité comporte un nombre important de repères gravés et codés qui sont alignés suivant les projections sur la cuve sécurité des joints soudés de la cuve principale, et suivant les joints soudés de la cuve de sécurité elle-même. La distance entre deux repères gravés consécutifs le long d'une soudure est d'environ 0,5 m. Globalement, environ 12 000 caractères, lettre ou chiffre, ont été marqués par des poinçons à boules. Ces repères gravés sont vus par la caméra télévisuelle d'inspection en même temps que la partie correspondante de joint soudé de la cuve principale.

L'engin lui-même comporte plusieurs dispositifs permettant de connaître sa position et son orientation dans l'espace intercuve. Trois inclinomètres déterminent avec précision son orientation globale. Un codage du chemin parcouru selon ses axes principaux permet de connaître la longueur contrôlée d'un joint soudé et de déterminer en conjonction avec les inclinomètres la position (altitude et longitude) dans l'espace intercuve. Enfin, l'asservissement de l'engin le long d'un joint soudé utilise les différences de propriétés magnétiques qui existent entre la pleine tôle et le métal déposé lors du soudage.

TREUIL ET GOULOTTE D'INTRODUCTION

La forte densité de composants sur la dalle du réacteur a conduit à placer le treuil d'enroulement des câbles à environ 6 m au-dessus du niveau de celle-ci. Le treuil est schématisé à la figure 5 : son principe a été dicté par un impératif de compacité et par le fait qu'il était hautement souhaitable de ne pas avoir recours à des contacts électriques tournants, le cordon ombilical en comprenant environ 200. Il assure simultanément l'enroulement et le déroulement du filin de traction et du cordon ombilical. Sa particularité principale réside dans la manière dont est réalisée la partie concernant le cordon ombilical : elle est constituée de deux tambours dont l'un est fixe. Une poulie différentielle située entre les deux tambours tourne autour de ceux-ci à une vitesse double de celle du tambour supérieur. L'ensemble des mouvements, y compris l'enroulement du filin de traction est commandé par une même chaîne cinématique actionnée par un seul motoréducteur. Le cordon ombilical est maintenu tendu sur ses tambours par un moteur couple alimenté en permanence.

La goulotte d'introduction, qui s'appuie sur la dalle, supporte le treuil et est divisée en deux parties : une partie basse, de forme ovale, d'étendant de la face supérieure de la dalle jusqu'à la barrière thermique dans l'espace intercuve, et une partie haute, de forme rec-

tangulaire, depuis la dalle jusqu'au treuil. La partie basse assure un guidage efficace de l'engin lorsqu'il est replié et prévient toute reprise d'effort sur la barrière thermique.

CONTROLE COMMANDE

De très nombreuses fonctions doivent être assurées et surveillées simultanément. Seul un contrôle-commande assisté par ordinateur peut permettre de piloter l'engin et ses périphériques dans des conditions acceptables de sûreté. Les principales caractéristiques du système qui a été retenu après une analyse détaillée des conditions de fonctionnement, tant normales qu'incidentelles ou accidentelles, sont les suivantes :

- la commande de puissance est située à proximité du treuil tandis que la partie mesure et contrôle est regroupée dans un véhicule laboratoire placé à l'extérieur du bâtiment réacteur.
- en mode nominal, la transmission des mesures et des commandes est assurée par une ligne numérique doublée par souci de redondance et surveillée en permanence par le calculateur. Seules les mesures indispensables sont affichées, mais toutes sont surveillées par le calculateur qui délivre à l'opérateur un diagnostic complet en cas de franchissement de seuil. Cette surveillance est étendue à la ligne de transmission de données ainsi qu'au calculateur lui-même ("chien de garde").
- en cas de panne simple des composants les plus critiques, le calculateur effectue une reconfiguration du système, en utilisant ses ressources restantes.
- en cas de panne de l'équipement informatique ou de panne multiple de l'engin, un mode de secours par transmission analogique permet d'extraire l'engin de l'espace intercuve.
- une panne de refroidissement affecte les caméras de télévision, les inclinomètres et partiellement les moteurs des actionneurs qui supportent la température ambiante de l'espace intercuve mais ne peuvent alors dissiper qu'une puissance réduite : ici encore, l'extraction de l'engin est assurée grâce aux divers codeurs restants, potentiomètres et détecteurs électromagnétiques de soudure.
- en mode nominal, l'opérateur dispose d'une maquette animée représentant l'engin et son orientation dans l'espace intercuve.

CONCLUSION

La structure de SUPERPHENIX 1 et son environnement ont nécessité le développement d'une machine spécifique d'Inspection en Service des cuves, MIR, dont les caractéristiques en font un véritable robot. Actuellement en cours de réalisation, après des essais sur diverses maquettes dont une maquette à l'échelle 1 d'une portion d'espace intercuve, sa première utilisation sur le site du réacteur est prévue vers la fin de l'année 1983.

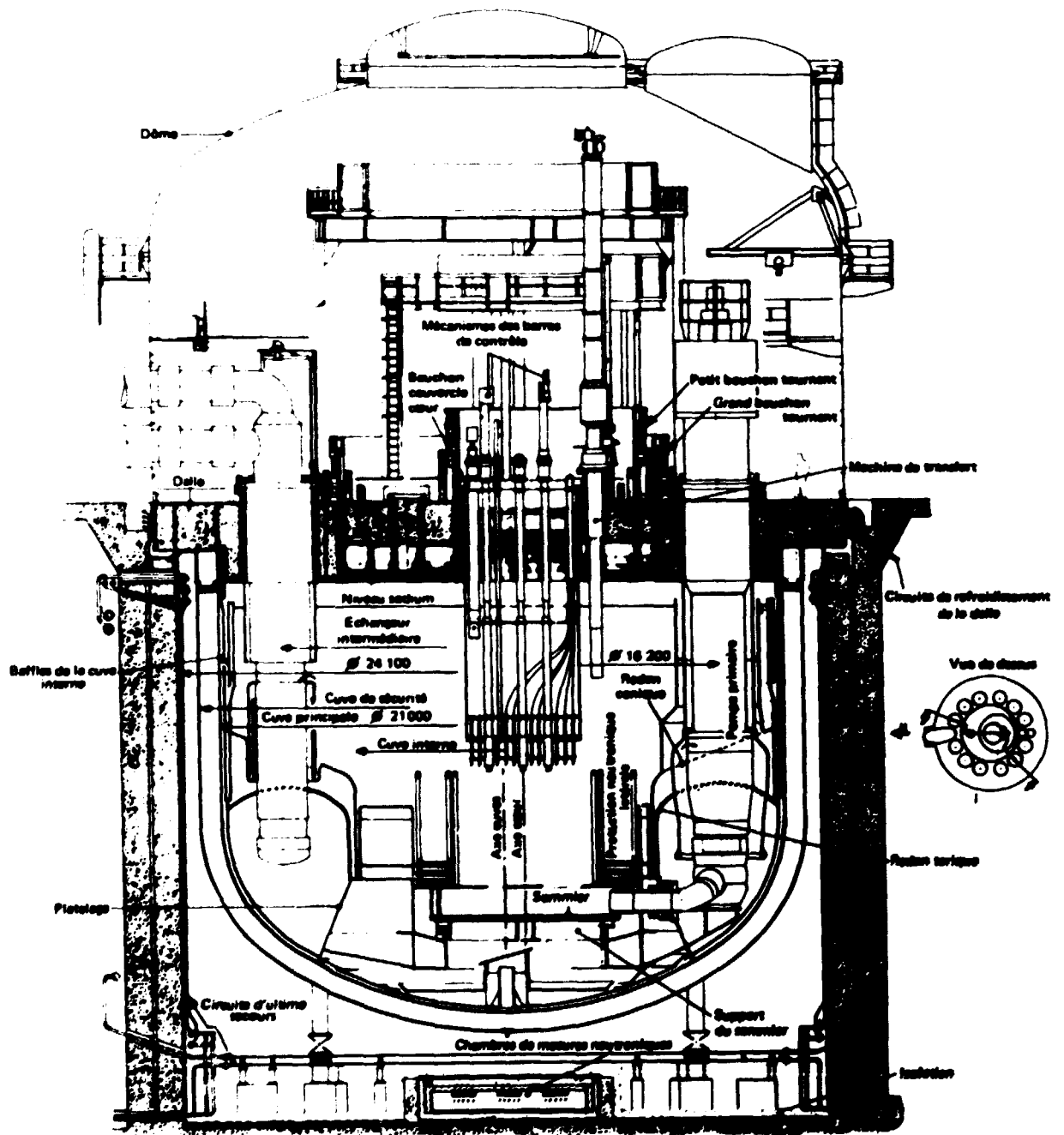


Fig. 1 - VUE EN COUPE DE SUPER PHENIX 1

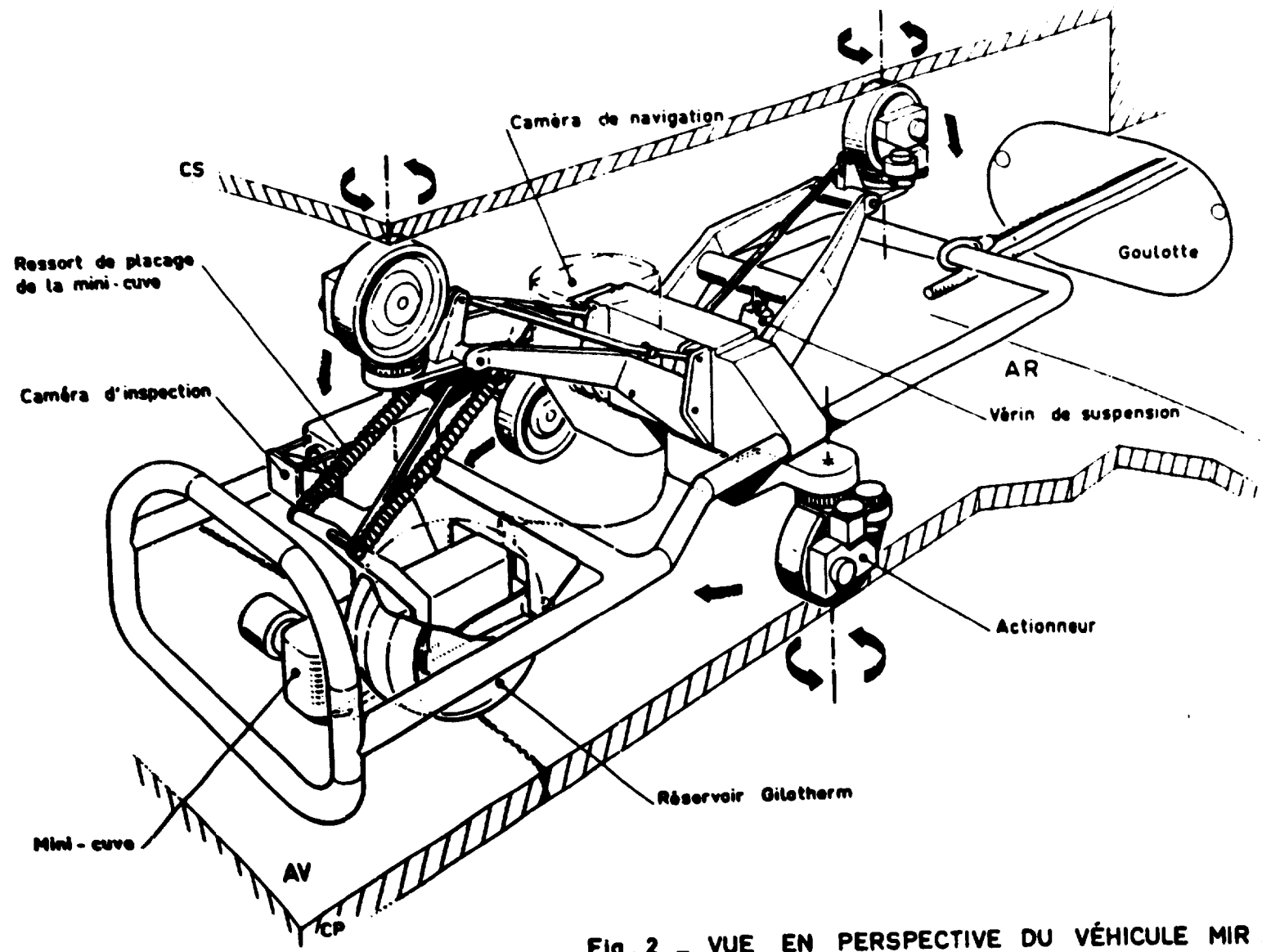


Fig. 2 - VUE EN PERSPECTIVE DU VÉHICULE MIR.

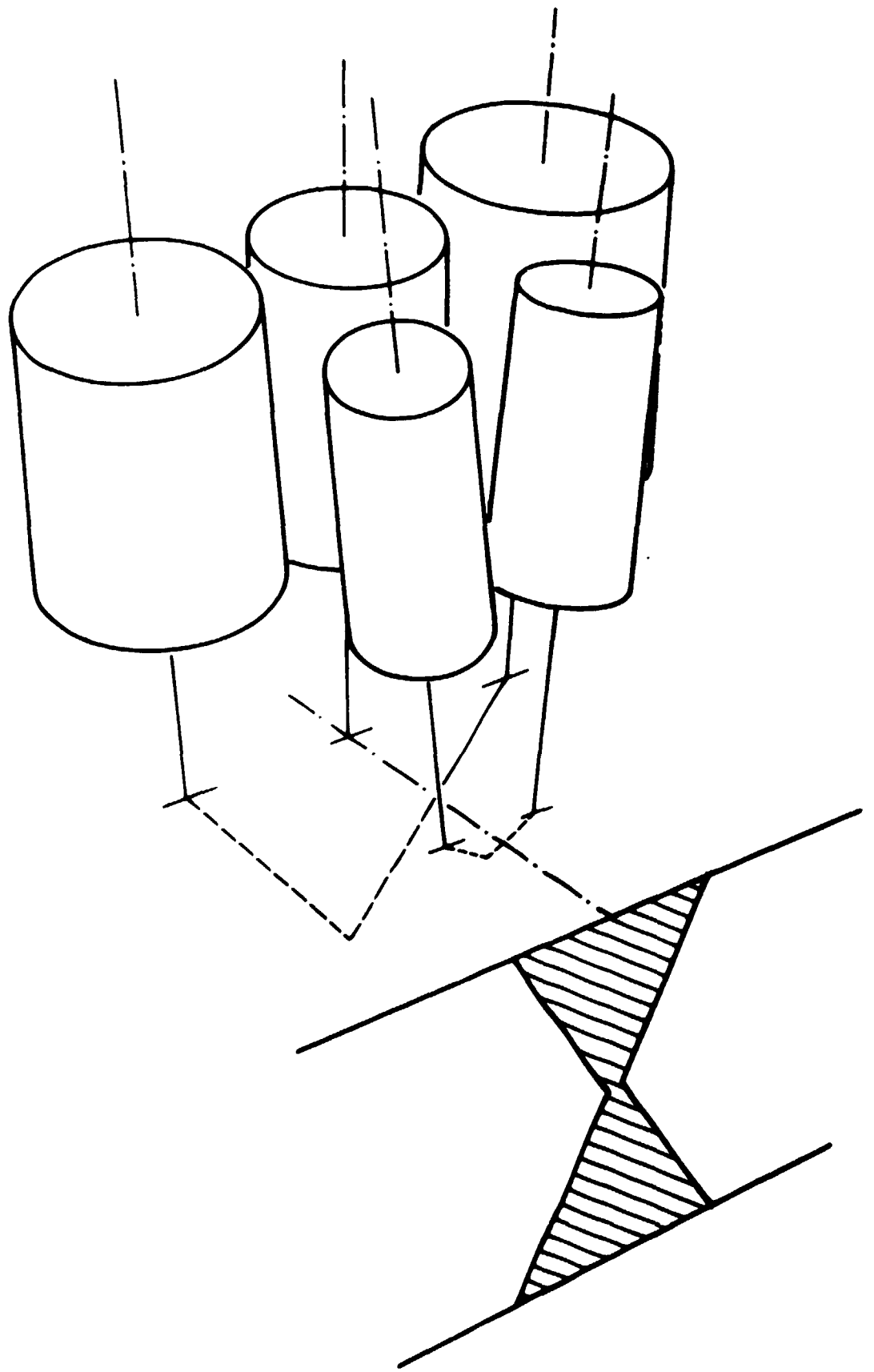


Fig. 3 - ASSEMBLAGE TYPIQUE DES TRANSDUCTEURS .

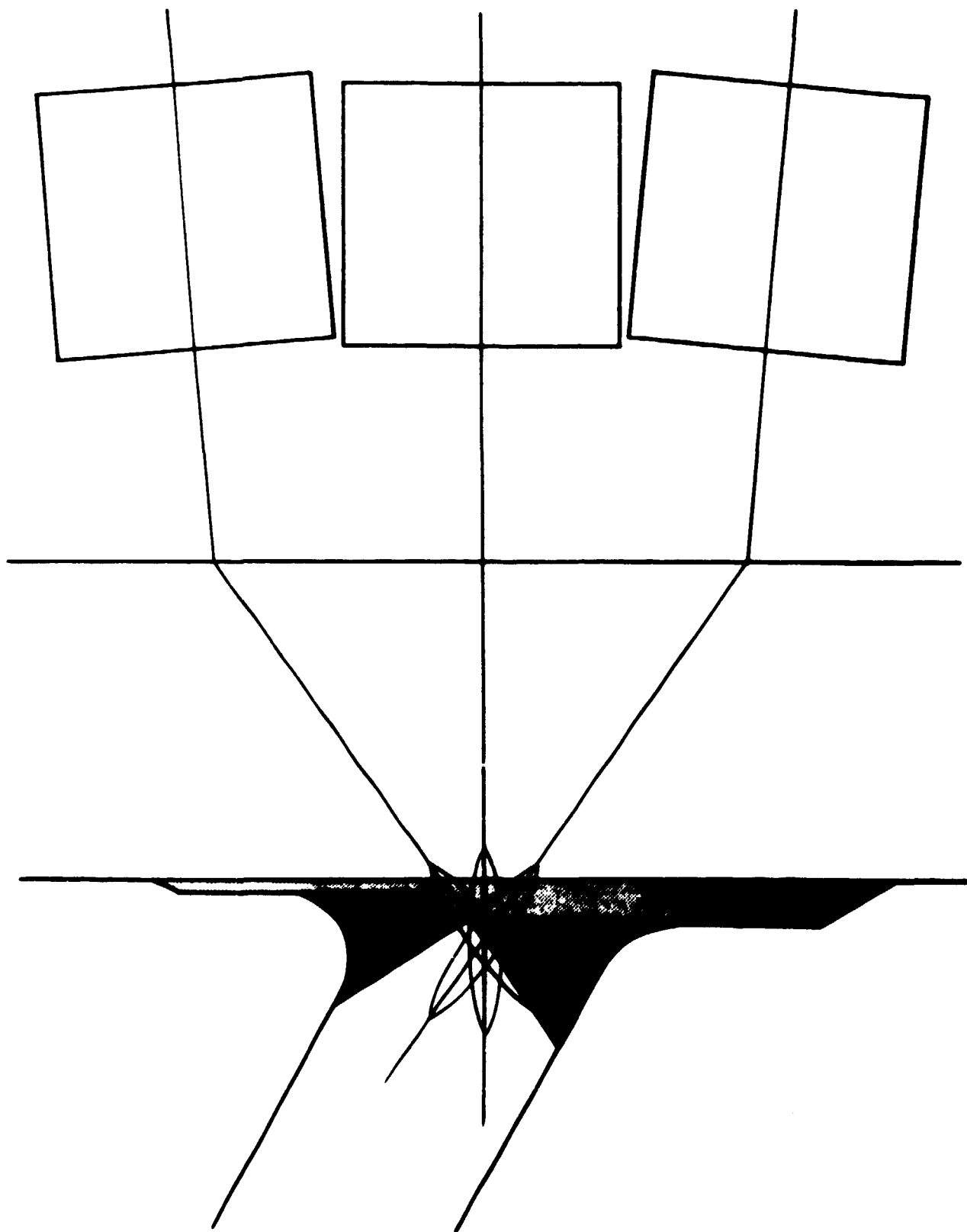


Fig. 4 - BLOC TRANSDUCTEUR ADAPTÉ AU CONTRÔLE
DU POINT TRIPLE .

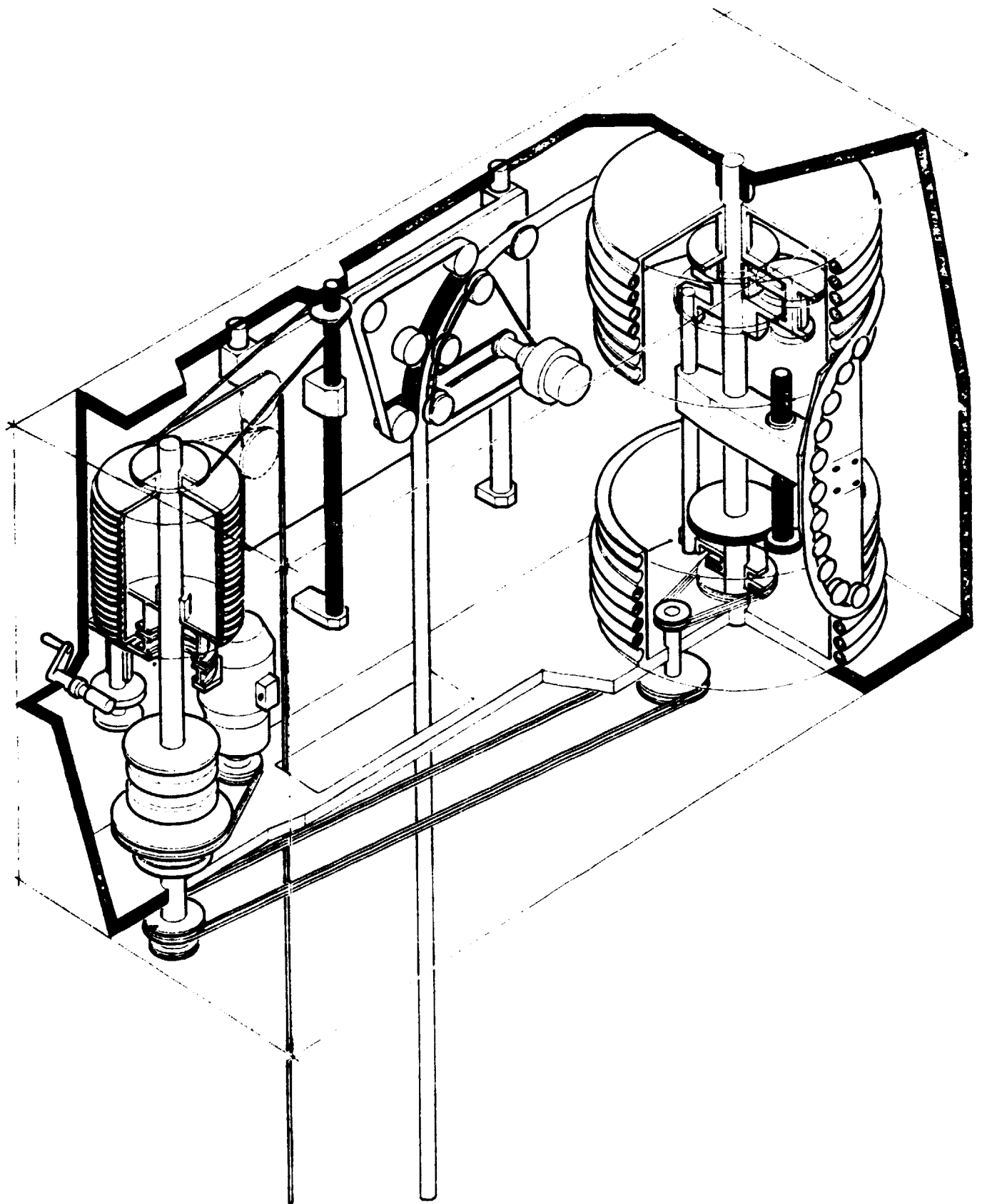


Fig. 5 : VUE SCHEMATIQUE DU TREUIL

INSPECTION EN SERVICE DE SUPERPHENIX 1

PAR L'ESPACE INTERCUVE

M. ASTY - R. SAGLIO

RESUME

La conception des cuves du réacteur SUPERPHENIX 1 permet leur inspection en service. Un engin auto-moteur, le MIR, a été spécialement développé pour ce besoin : il est capable d'effectuer une inspection visuelle et ultrasonore.

Schématiquement, la structure de l'engin MIR est un tétraèdre dont chaque sommet est équipé d'une roue de traction et direction, deux roues s'appuyant sur chaque cuve. Grâce à un contrôle commande assisté par ordinateur, l'engin MIR peut se déplacer dans tout l'espace intercuve.

Après avoir précisé les conditions opératoires, nous présentons brièvement les caractéristiques principales de l'engin MIR.

à voir avec Superphenix

