

FR 203923

25. Meeting of the irradiation devices
working group. Petten, Netherlands,
1978, 18-19 May

CEA-CONF-4329

**TITRE : RE-IRRADIATION ET ESSAIS AUX LIMITES DE COMBUSTIBLES DE LA
FILIERE EAU LEGERE PRESSURISEE.**

par M. ROCHE et M. MOLVAULT

RESUME :

Pour étudier le comportement sous rayonnement neutronique des crayons combustibles de la filière eau légère pressurisée, les S.P.S. ont développé un ensemble de moyens expérimentaux utilisés dans le réacteur OSIRIS du Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay.

Nous montrons comment les dispositifs utilisés permettent de répondre aux problèmes actuels concernant les études de rupture de gaine, les cyclages en puissance et en température, le télé réglage.

Les moyens mis en oeuvre permettent, en outre, soit de faire des études statistiques, et dans ce cas ils peuvent recevoir plusieurs échantillons, soit des études analytiques dans des dispositifs instrumentés, à grande capacité et à cadence d'irradiation accélérée.

REIRRADIATION ET ESSAIS AUX LIMITES DE COMBUSTIBLES DE LA FILIERE EAU LEGERE PRESSURISEE

I - GENERALITES -

Pour répondre aux demandes d'expériences qui leur sont adressées, les réacteurs expérimentaux ont besoin d'être équipés en moyens d'études performants, souples et multiples.

Ces appareillages peuvent être des moyens d'investigation communs à plusieurs expériences ou des dispositifs spécifiques à un problème particulier. Dans ce cas, ils doivent rendre possible la cohabitation dans le réacteur de plusieurs expériences qui demandent des conditions d'irradiation de finalité très distinctes.

De nombreux problèmes concernant les irradiations de matériaux de structure ou de combustibles ont trouvé leur réponse par des expériences en dispositif d'irradiation dans les réacteurs expérimentaux. A titre d'exemple, nous pouvons citer les problèmes liés à la densification des combustibles, au fluage des gaines ou à la consommation de poisons.

De nouveaux problèmes se posent, d'une part pour répondre aux besoins des exploitants en améliorant la souplesse de fonctionnement des centrales de puissance, d'autre part pour parfaire la sélection de matériaux permettant d'améliorer les performances et la sûreté des installations.

Un problème important, qui concerne la filière à eau légère pressurisée, est l'étude de l'apparition des ruptures de gaine et des phénomènes qui peuvent conduire à ces défaillances.

Nombre de problèmes actuels sont liés à des conditions de fonctionnement particuliers de ces combustibles. Les variations de charge des réacteurs de puissance dans la mesure où on envisage de leur faire suivre les demandes du réseau conduisent au niveau du combustible, soit à des sauts de puissance importants, soit à des variations de puissance, faibles mais permanentes, liées au télé réglage.

L'étude de ces combustibles s'effectue parallèlement de façon statistique, dans les réacteurs de puissance ou dans les réacteurs prototypes et de façon plus analytique dans les réacteurs de recherche. Cependant, compte tenu des contraintes liées au fonctionnement des réacteurs de puissance et à la quasi impossibilité d'instrumenter les combustibles à tester, de nombreuses expériences s'effectuent en deux temps :

- une phase de "pré-irradiation ou accumulation de doses" dans un réacteur de puissance ou prototype avec un retrait de certains crayons lors des arrêts, de façon à obtenir des taux de combustion échelonnés,
- une phase de réirradiation dans des dispositifs instrumentés des réacteurs expérimentaux.

Pour cette seconde phase, les longs crayons des réacteurs de puissance peuvent être tronçonnés en cellule chaude et reconstitués de façon à obtenir des crayons plus courts compatibles avec les hauteurs de flux des réacteurs expérimentaux (cellule FABRICE au C.E.A.).

Les crayons irradiés dans les réacteurs prototypes et dont la longueur avoisine 1 mètre peuvent être directement réirradiés dans les dispositifs.

Le moyen le plus souple serait évidemment la pré-irradiation directement dans les piles expérimentales. Cependant, compte tenu des durées d'immobilisation des dispositifs, donc des coûts élevés, ces pré-irradiations sont plutôt réservées aux combustibles d'un nouveau type. De plus, pour être significatives, ces pré-irradiations doivent intéresser un nombre élevé de crayons.

Les dispositifs permettant de réaliser ces pré-irradiations sont à OSIRIS du type "bouilleurs à eau" dans lesquels sont disposés 6 à 8 crayons (capsule ELIANE) ou du type capsules à NaK dans lesquelles on dispose un seul crayon (capsules TIZ). Ces dispositifs entrent dans le coeur du réacteur.

Les ré-irradiations peuvent s'effectuer plus spécifiquement dans le dispositif ISABELLE pour les études qui nécessitent un fonctionnement avec gaines ruptées. Les capsules BOSS ou CADENCE, rechargeables respectivement en cellule chaude et en piscine sont adaptées aux études d'augmentation de puissance et de télé réglage par déplacement horizontal.

L'étude du télé réglage par déplacement vertical du combustible peut être effectué dans la capsule PEPITA.

Enfin, la boucle d'irradiation IRENE permet de réaliser les conditions thermodynamiques et hydrauliques d'un PWR sur une grappe de 4 à 8 crayons avec la possibilité d'effectuer des cyclages de puissance et des suivis de rupture de gaine.

II - RE-IRRADIATIONS -

Nous examinons différents exemples d'adaptation de dispositifs aux problèmes exposés ci-dessus, la possibilité de certains à répondre à plusieurs objectifs (IRENE et ISABELLE), la plus grande spécialisation d'autres vers des recherches particulières (PEPITA).

II,1 - Suivi de ruptures de gaine :

II,1,1 - La boucle ISABELLE :

Placée dans le coeur ou en piscine du réacteur OSIRIS, cette boucle permet de tester un, deux ou trois crayons combustibles des réacteurs à eau ordinaire pressurisée, et de longueur variable jusqu'à 1200mm, lors de régimes de fonctionnement normaux, transitoires ou accidentels conduisant ou non à des dépassements de flux critique.

Un réchauffeur électrique et un pressuriseur, disposés sur le circuit d'eau primaire, maintiennent l'expérience aux conditions de température et de pression correspondant à l'état "d'attente à chaud" d'un réacteur de puissance.

Les irradiations peuvent être effectuées, soit dans le coeur du réacteur OSIRIS où les flux de neutrons permettent d'atteindre, dans un temps limité, des fluences et des combustions massiques importantes, soit en périphérie du réacteur où, après mise en place de la boucle sur un support mobile, il est alors possible de faire subir aux crayons combustibles des rampes de puissance à pente variable. Entre deux positions extrêmes d'irradiation, l'amplitude maximale de puissance atteint un facteur 40.

Associée à un laboratoire de chimie de l'eau, ISABELLE permet le contrôle et le suivi de fonctionnements avec un conditionnement chimique hors spécification. Comme par ailleurs tous les circuits situés à l'extérieur de la piscine sont blindés, la boucle est particulièrement adaptée pour suivre l'évolution d'une rupture de gaine et étudier le transfert des produits de fission. Le blindage du circuit hors pile est conçu pour permettre un fonctionnement avec rupture de gaine jusqu'à une activité de 5000 Ci/m^3 d'eau.

Un ensemble de détection de neutrons différés et une mesure d'activité permettent le suivi en continu de la formation, puis de l'évolution d'une rupture de gaine.

Il est en outre possible d'utiliser pendant l'expérience les moyens de contrôles propres au réacteur OSIRIS, tels que neutronographie immergée et spectrométrie gamma pour aider à l'analyse de tous les incidents provoqués ou non.

Conception générale :

L'ensemble de l'installation est constitué de 3 parties principales :

- la partie en pile supportée ou non par un dispositif de déplacement,
- les circuits hors pile,
- les liaisons entre la boucle et le circuit à terre.

La partie en pile renfermant l'eau sous pression est réalisée en double enceinte, tant pour des raisons thermiques que pour des raisons de sécurité ; elle ne comporte aucun organe mobile pour en accroître la robustesse. Sa conception gigogne facilite la mise en place et la récupération en cellule chaude des crayons irradiés, sans qu'il soit nécessaire de faire des découpes.

La circulation du fluide de refroidissement le long des crayons combustibles est obtenue à l'aide de 4 pompes jet (ensemble injecteurs - tuyères) disposées en couronne en partie haute du canal d'essai. L'utilisation d'un tel type de pompage présente en effet de nombreux avantages dus au fait que le débit moteur injecté dans la partie en pile et restitué à la partie hors pile est nettement plus faible que le débit total assurant le refroidissement du combustible.

Le raccordement de la boucle se fait dans la partie supérieure du dispositif. Les liaisons pneumatiques et hydrauliques cheminent sous eau dans des tuyaux métalliques flexibles pressurisés. Pour traverser le mur de la piscine on utilise un passage étanche situé à -3,70 mètres au-dessous du niveau libre de l'eau ; ce système assure une protection efficace en cas de transport d'activité par le fluide caloporteur.

II,1,2 - Boucle IRENE :

- Généralités :

La boucle IRENE est destinée à étudier, dans le réacteur OSIRIS au Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, le comportement sous flux de crayons combustibles pour la filière PWR.

Les caractéristiques et performances de la boucle sont les suivantes : -

- puissance totale : 140 kW
- flux thermique maximal : 250 W/cm^2
- vitesse maximale de l'eau au niveau du combustible : 5 à 6 m/s
- pression nominale : 155 bars
- température de l'eau à l'entrée du combustible : 280 à 300°C
- diamètre intérieur du canal d'essais : 54mm

Ce diamètre permet d'irradier simultanément 8 crayons 17 x 17 d'une longueur de 600mm environ.

L'eau en circulation est suivie chimiquement en permanence, ce qui permet de la conditionner conformément aux normes des PWR. D'autre part, une installation de DRG, montée sur le circuit, renseigne rapidement sur une éventuelle rupture de gaine et assure ainsi un contrôle de son évolution jusqu'à une activité acceptable pour le voisinage de la casemate.

- Implantation :

La boucle est implantée en périphérie du coeur d'OSIRIS, sur un mécanisme de déplacement qui permet d'ajuster la puissance souhaitée dans le combustible, d'en compenser l'usure, de reculer en cas de besoin la boucle pour la mettre pratiquement hors flux.

Tout l'ensemble de pompage et de pressurisation est installé au sous-sol 4m du réacteur. La liaison avec la partie en pile se fait par l'intermédiaire d'un bouchon au niveau -3,70m aménagé spécialement à cet effet.

- Possibilités de la boucle :

La possibilité de pouvoir irradier plusieurs crayons simultanément offre les avantages suivants :

- Etudes statistiques.
- Comparaisons thermiques entre différents combustibles.
- Etudes de densification.
- Etudes de tenue du combustible sous pressurisations différentes.
- Etudes sous cyclages thermiques avec asservissement à un ordinateur.
- Etudes de taux de combustion.
- Etudes de réirradiation.

- Instrumentation de la boucle :

Suivant l'irradiation, il est possible d'instrumenter la grappe combustible de différentes façons :

- soit avec des thermocouples entrée et sortie grappe et des sondes neutroniques, ce qui permet de faire un bilan thermique et un bilan neutronique pour déterminer la puissance de la grappe et par calcul machine de chaque crayon,
- soit avec des thermocouples à coeur de l' UO_2 en plus de l'instrumentation précitée.

Comme autres instrumentations, on dispose bien évidemment de tous les appareils nécessaires au fonctionnement de l'installation :

- mesures de température,
- mesures de pression,
- mesures de débit
- mesures de ΔP
- etc.....

- Utilisation de la boucle :

Cette boucle est en fonctionnement depuis juillet 1972 et 11 irradiations de différents types ont déjà eu lieu, certaines menées jusqu'à atteindre 15 à 20000 MWJ/T. En dehors de cette utilisation, disons classique, et parallèlement d'autres études ont été poursuivies :

- Etudes de dépôts de produits de corrosion.
- Etudes de contamination de matériaux.
- Etudes de filtration: (graphite et électromagnétique).

De plus, cette boucle permet d'effectuer des réirradiations de combustible.

Il suffit d'étudier une grappe dont quelques crayons soient prévus démontables en cellule chaude, sans que l'instrumentation ne souffre de cette intervention. Ces crayons peuvent alors être remplacés par d'autres ayant déjà été irradiés, soit dans un autre dispositif, soit dans un réacteur, sous réserve de les adapter aux cotes de la grappe IRENE.

II,2 - Les sauts de puissance :

II,2,1 - Les capsules BOSS :

Ces capsules sont des dispositifs simples, de type bouilleur à un crayon, rechargeables et déchargeables en cellule chaude. Après la mise en place du crayon actif dans la capsule, une double étanchéité de celle-ci est réalisée, puis contrôlée dans la cellule.

Le crayon entouré d'un panier de coupelles est irradié dans une ambiance d'eau déminéralisée, pressurisée à 150 bars.

La capsule est reliée au circuit de pressurisation hors pile par deux minitubes qui traversent le mur de la piscine par un passage étanche, aménagé à - 3,70m au dessous du niveau libre de l'eau. Ils assurent, par ailleurs, une circulation d'eau de quelques litres heure jusqu'aux détecteurs de neutrons différés et d'activité β, γ , ce qui permet de contrôler, en continu, l'intégrité de la gaine du crayon.

La géométrie de cette capsule est adaptée au dispositif de déplacement sous flux T424 qui permet d'effectuer des cyclages de puissance en périphérie du coeur du réacteur avec des variations de puissance d'un facteur 20.

La puissance dissipée est mesurée par bilan thermique sur l'eau de refroidissement et par bilan neutronique. Les thermocouples qui équipent cette capsule permettent de mesurer les températures en différents points du dispositif.

II,2,2 - La capsule CADENCE :

CADENCE est un dispositif de type bouilleur essentiellement constitué d'un tube de pression de 29mm de diamètre et d'environ 4m de haut.

La capsule est conçue pour réirradier des crayons combustibles de la filière eau légère, jusqu'à une longueur de 1300mm.

La caractéristique principale de cette capsule est de permettre le chargement et le déchargement directement dans la piscine du réacteur de crayons n'ayant pas subi de rupture de gaine.

En vue de leur chargement en piscine, les crayons à irradier sont introduits à l'intérieur d'un panier de coupelles. L'ensemble est ensuite transféré au lieu de chargement où un élévateur placé en bordure de piscine permet l'introduction du crayon dans la capsule.

Cette opération est réalisée sans déconnecter les liaisons de la capsule avec les ensembles hors pile

En cas de rupture de la gaine d'un crayon, le déchargement peut s'effectuer en cellule chaude.

La capsule est supportée, en périphérie du coeur OSIRIS, sur un dispositif de déplacement (T634) dont la course maximale permet une variation de puissance d'un facteur 20.

La puissance dissipée par l'échantillon est mesurée par bilan thermique sur l'eau secondaire de refroidissement et par bilan neutronique à l'aide de collecteurs argent et cobalt.

L'instrumentation du dispositif est regroupée sur le tube du système de déplacement sous flux, ce qui permet de suivre en permanence les températures et le débit de l'eau de refroidissement ainsi que le flux d'irradiation.

II,3 - Le télé réglage :

II,3,1 - Par déplacement latéral :

Les boucles et capsules décrites précédemment sont toutes placées sur des dispositifs de déplacement qui permettent d'effectuer des variations de flux de 3% par minute à environ 30% par seconde, domaine qui recouvre les variations dues au télé réglage et aux accroissements de puissance des réacteurs PWR.

Un pilotage automatique par le calculateur MITRA, utilisé par ailleurs pour la collecte et le traitement des paramètres des expériences, permet de réaliser de tels cyclages à la fréquence désirée : depuis quelques cycles à l'heure jusqu'à plusieurs cycles par minute.

II,3,2 - Par déplacement vertical : la capsule PEPITA :

Le dispositif PEPITA est conçu pour réaliser un cyclage de puissance par déplacement vertical d'un crayon dans le coeur du réacteur OSIRIS.

"PEPITA" est constitué essentiellement d'une capsule type "bouilleur", disposée dans le coeur d'OSIRIS et accrochée à un mécanisme de commande de barre de contrôle standard. Le combustible à tester se déplace donc dans les mêmes conditions qu'un élément de barre. En montant ou descendant, il subit des variations de puissance axiales. Ses déplacements peuvent être programmés à la demande.

Un écran interchangeable enveloppant la capsule permet d'une part d'ajuster la puissance moyenne à environ 300 - 400 W/cm et d'autre part d'assurer l'intégrité du canal en cas de rupture du tube de force du bouilleur.

La longueur sous flux à chaque instant est de 600mm et la course maximale permet d'irradier le combustible sur 1250mm environ. La vitesse de déplacement est réglable et programmable.

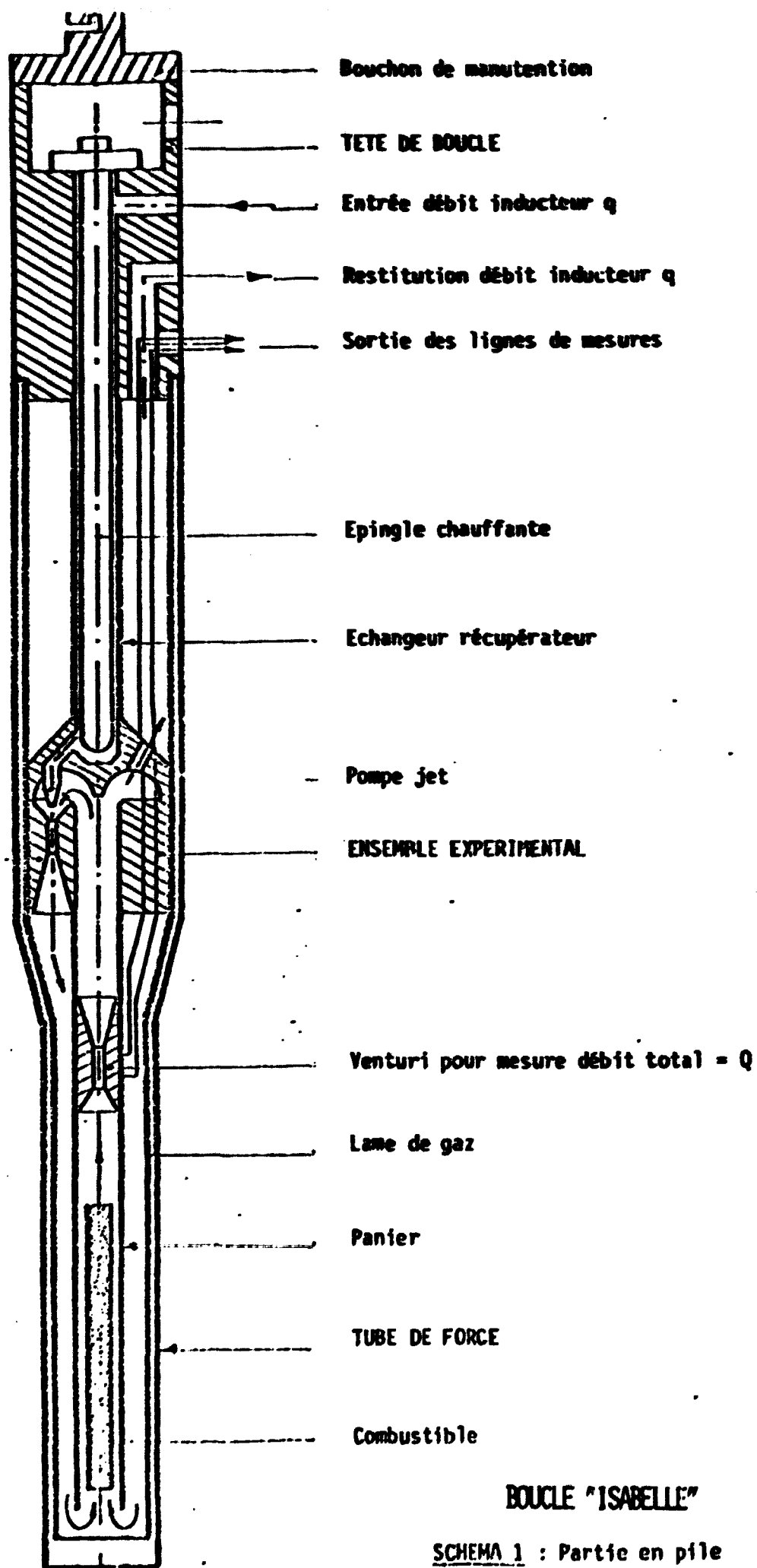
Cette capsule, rechargée en cellule chaude permet de réirradier des crayons jusqu'à une longueur de 2 mètres. Moyennant quelques adaptations nécessitées par la radioprotection lors des manutentions, PEPITA est susceptible d'accepter des crayons de 4 mètres.

La conception de la capsule, comme la plupart de celles utilisées à OSIRIS, permet en outre d'effectuer des neutronographies et des gammamétries.

CONCLUSION -

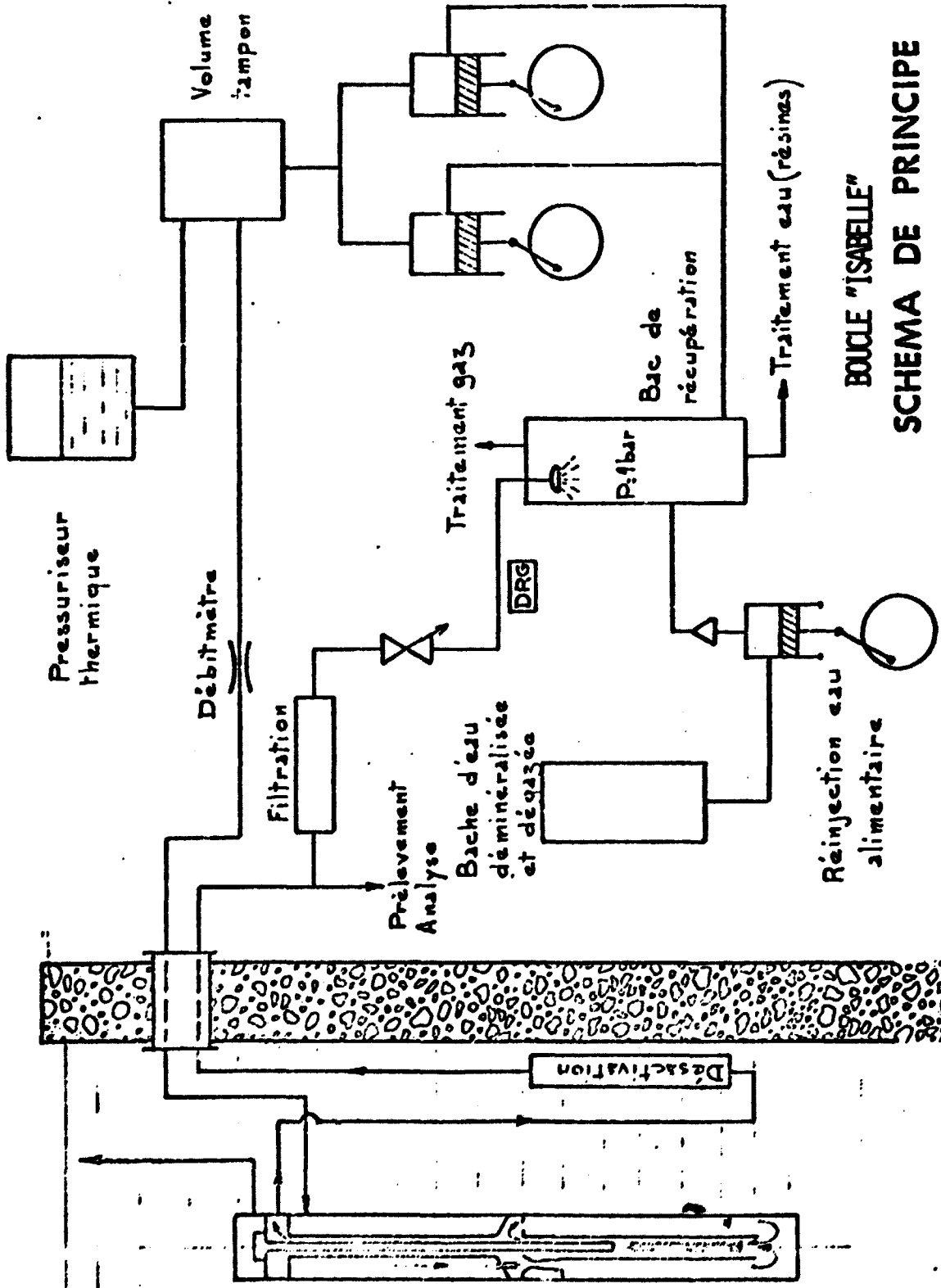
Nous avons vu que dans le double but d'améliorer la souplesse de fonctionnement des centrales et de sélectionner des combustibles plus résistants, il est important de développer, dans les piles expérimentales, des moyens de grandes capacités et de mise en oeuvre rapide, permettant de tester les combustibles jusqu'aux limites possibles de leur fonctionnement, c'est à dire la rupture de gaine.

Les Services des Piles de Saclay ont mis en oeuvre, autour du réacteur OSIRIS, un ensemble de moyens dont la conception permet une adaptation aux demandes des plus diverses. Certains de ces dispositifs d'irradiation ont été plus spécialisés pour répondre à des objectifs précis qui sont apparus comme des points particulièrement importants. Cependant, par leur conception tous ces moyens d'irradiation sont susceptibles d'évoluer et/ou d'être plus spécialisés vers des objectifs nouveaux.



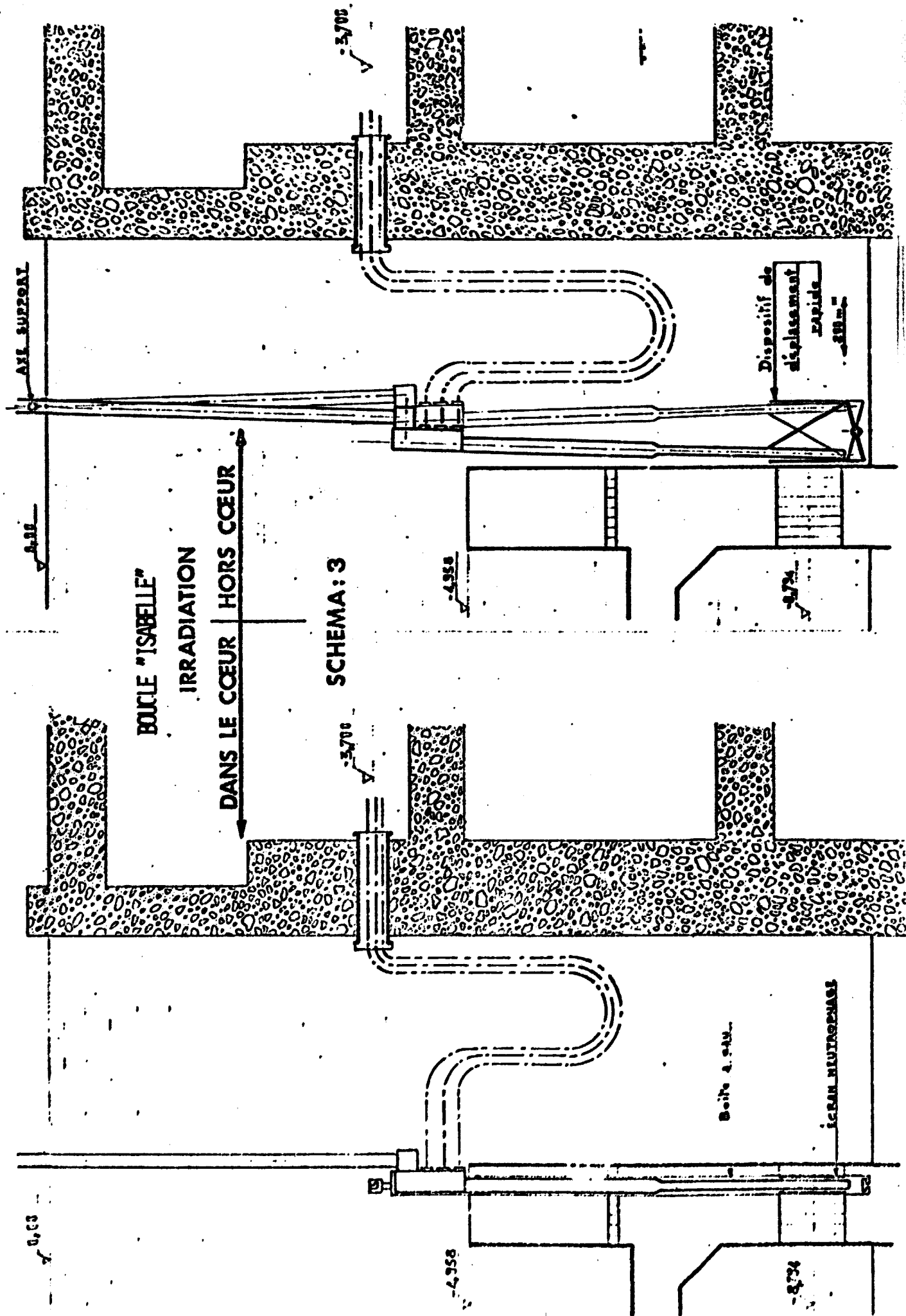
BOUCLE "ISABELLE"

SCHEMA 1 : Partie en pile



BOUCLE "ISABELLE"
SCHEMA DE PRINCIPE

SCHEMA: 2



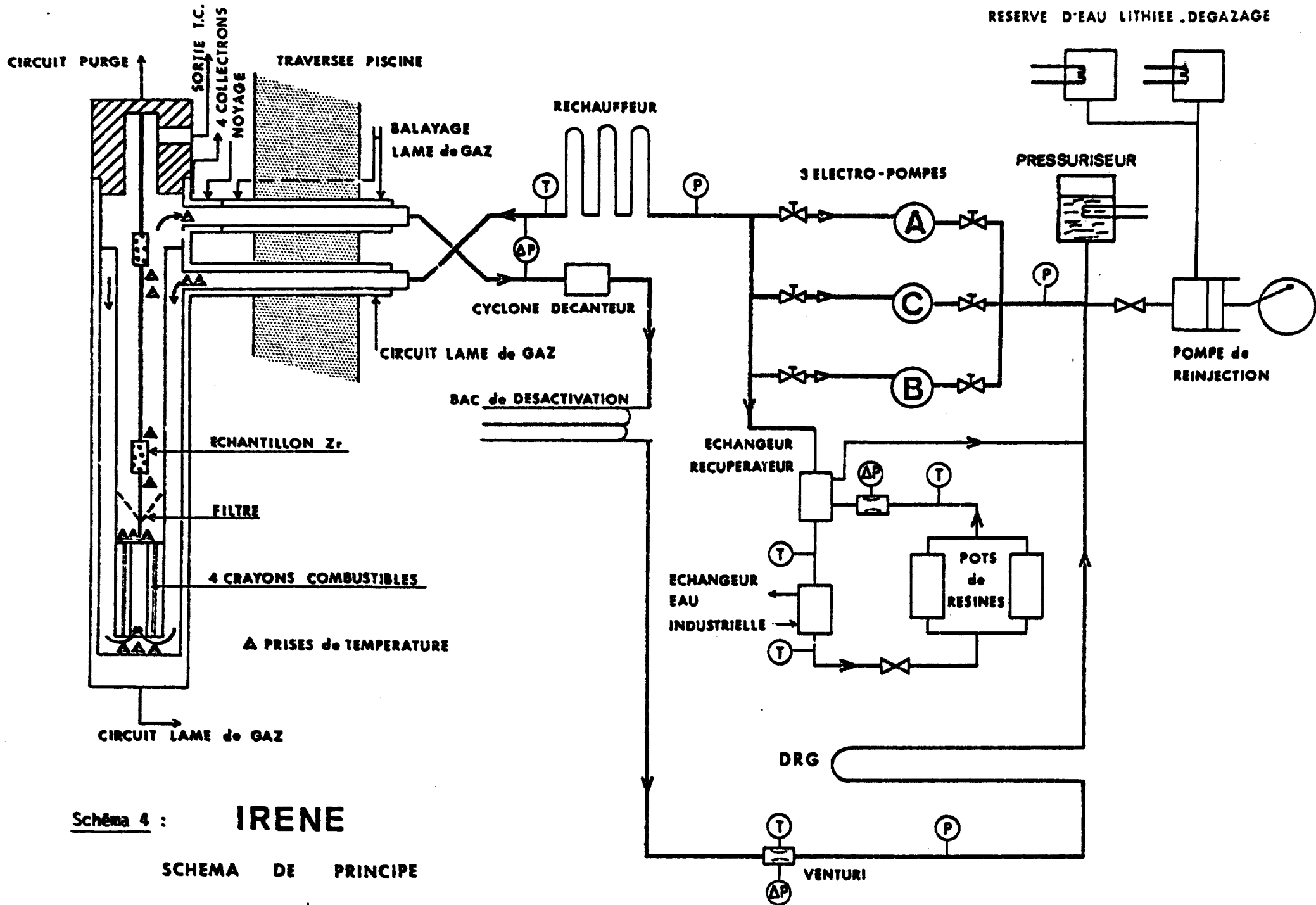
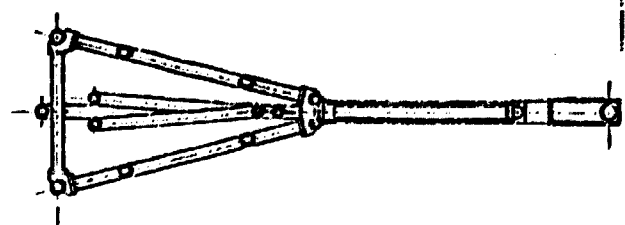
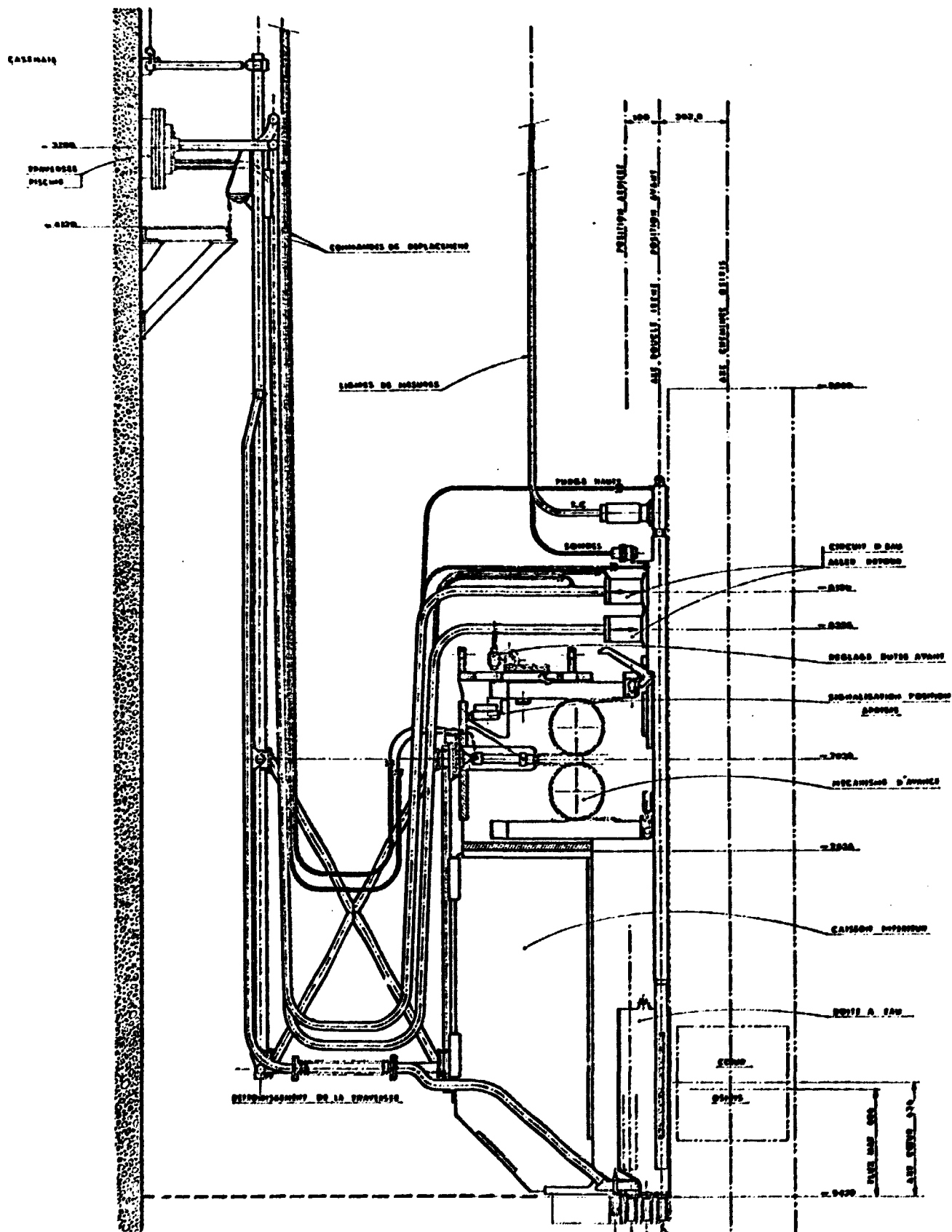


Schéma 4 : IRENE

SCHEMA DE PRINCIPE



"IRENE"
 CIRCUIT EN PILE
 Schéma 5

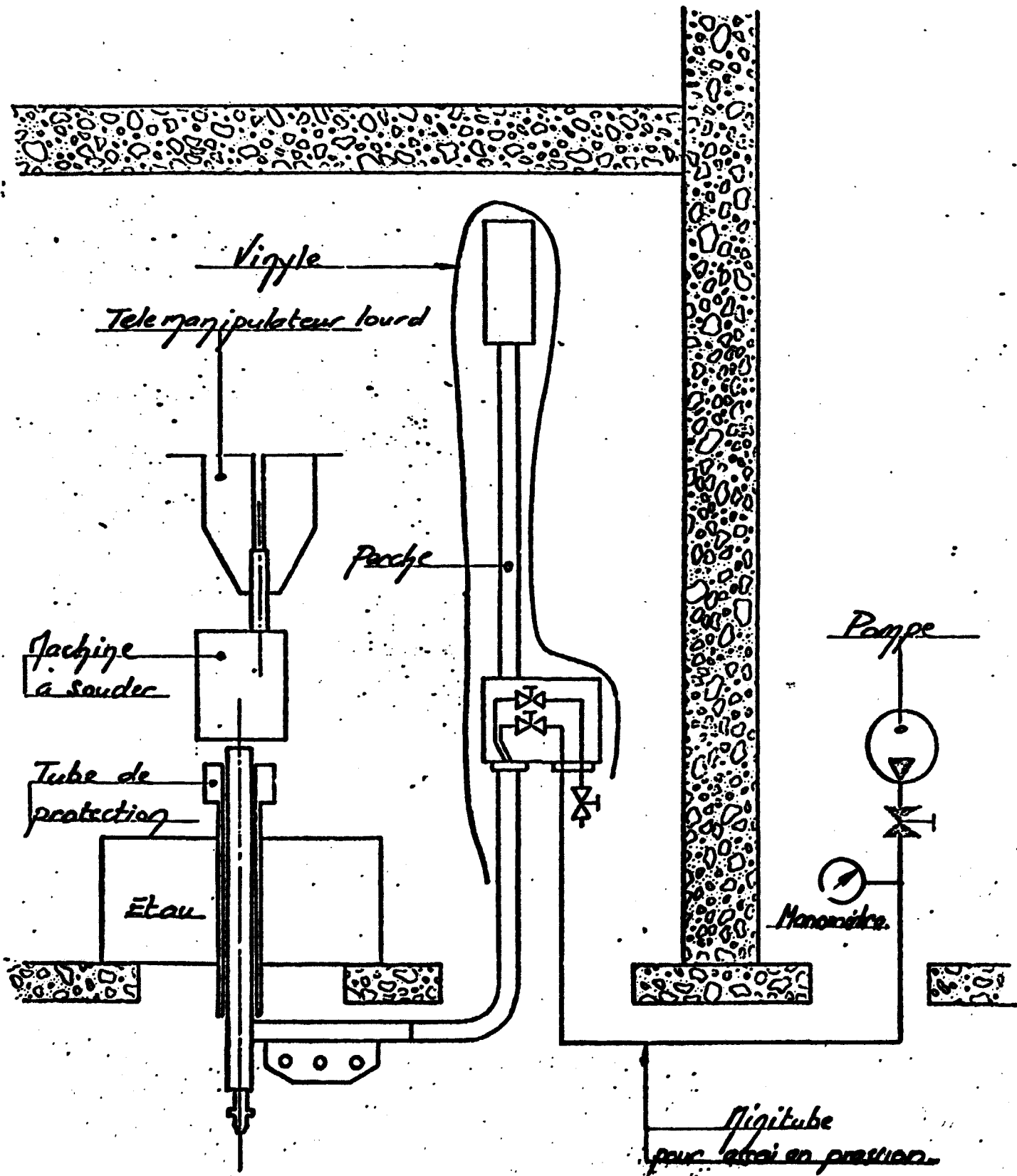


Schéma 6

- Capsule BOSS -

Montage pour soudure en cellule

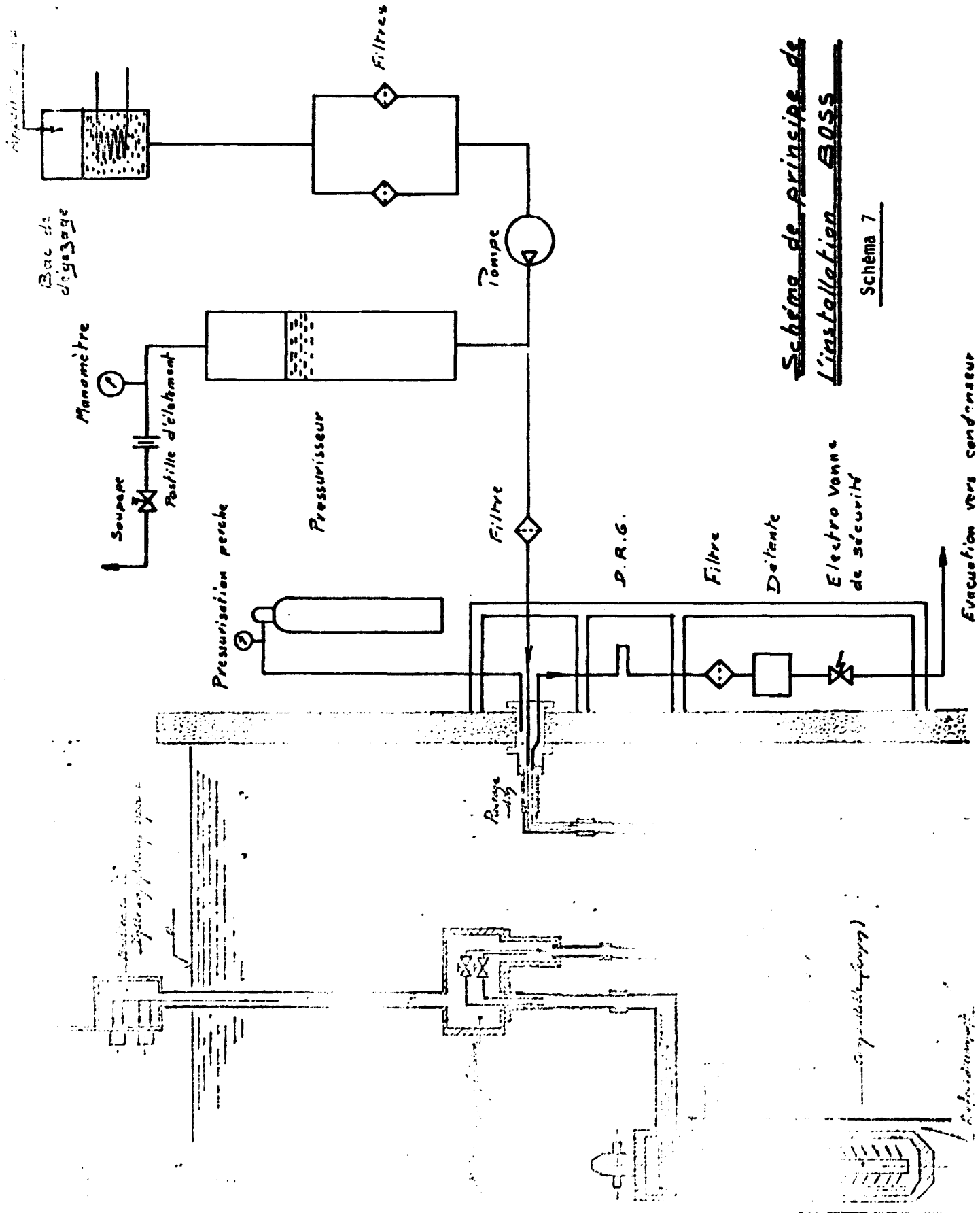


Schéma de principe de l'installation BOSS

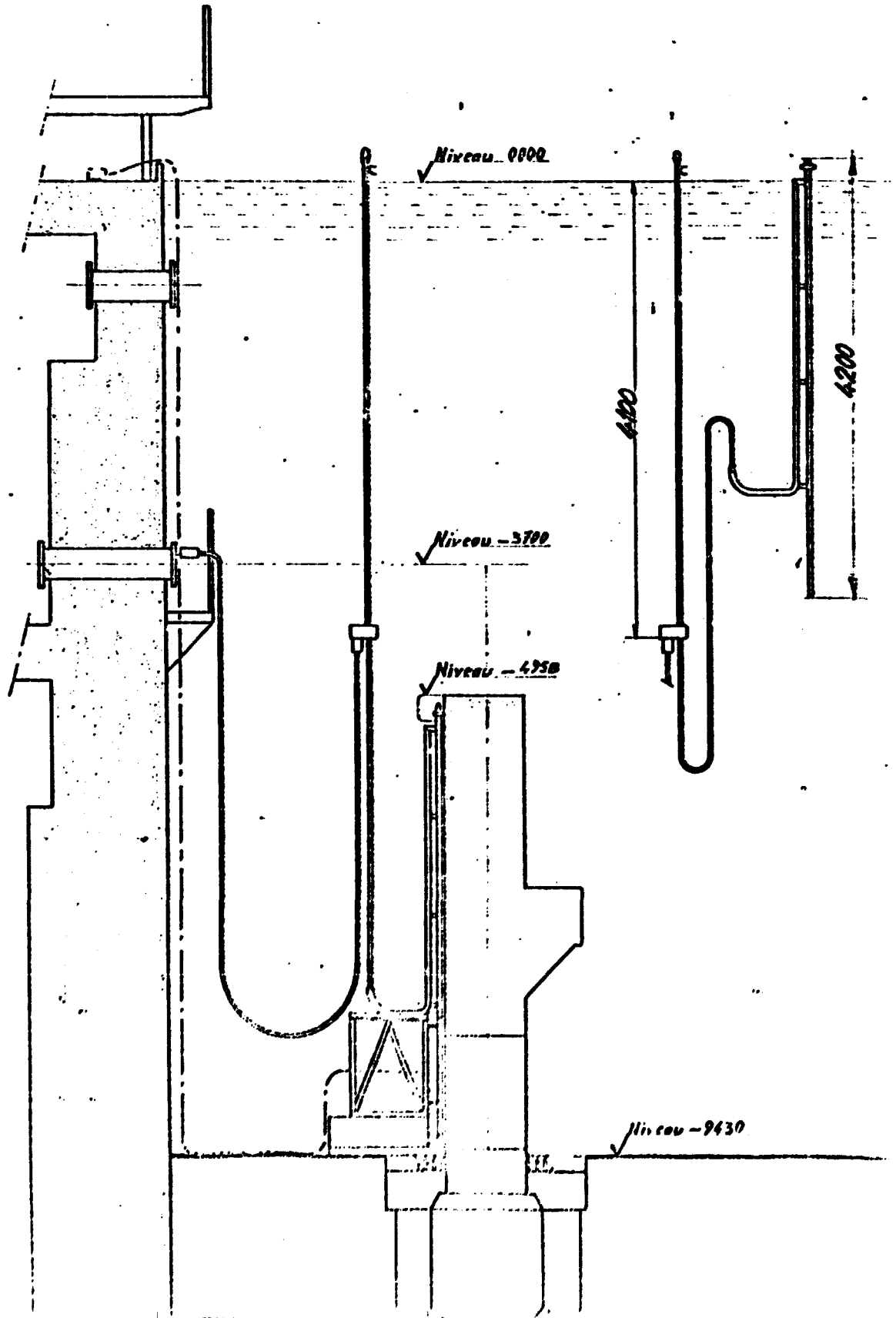
Schéma 7

CAPSULE "CADENCE"

Position en
Irradiation

Ouverture de la
tête de capsule

Schéma 8



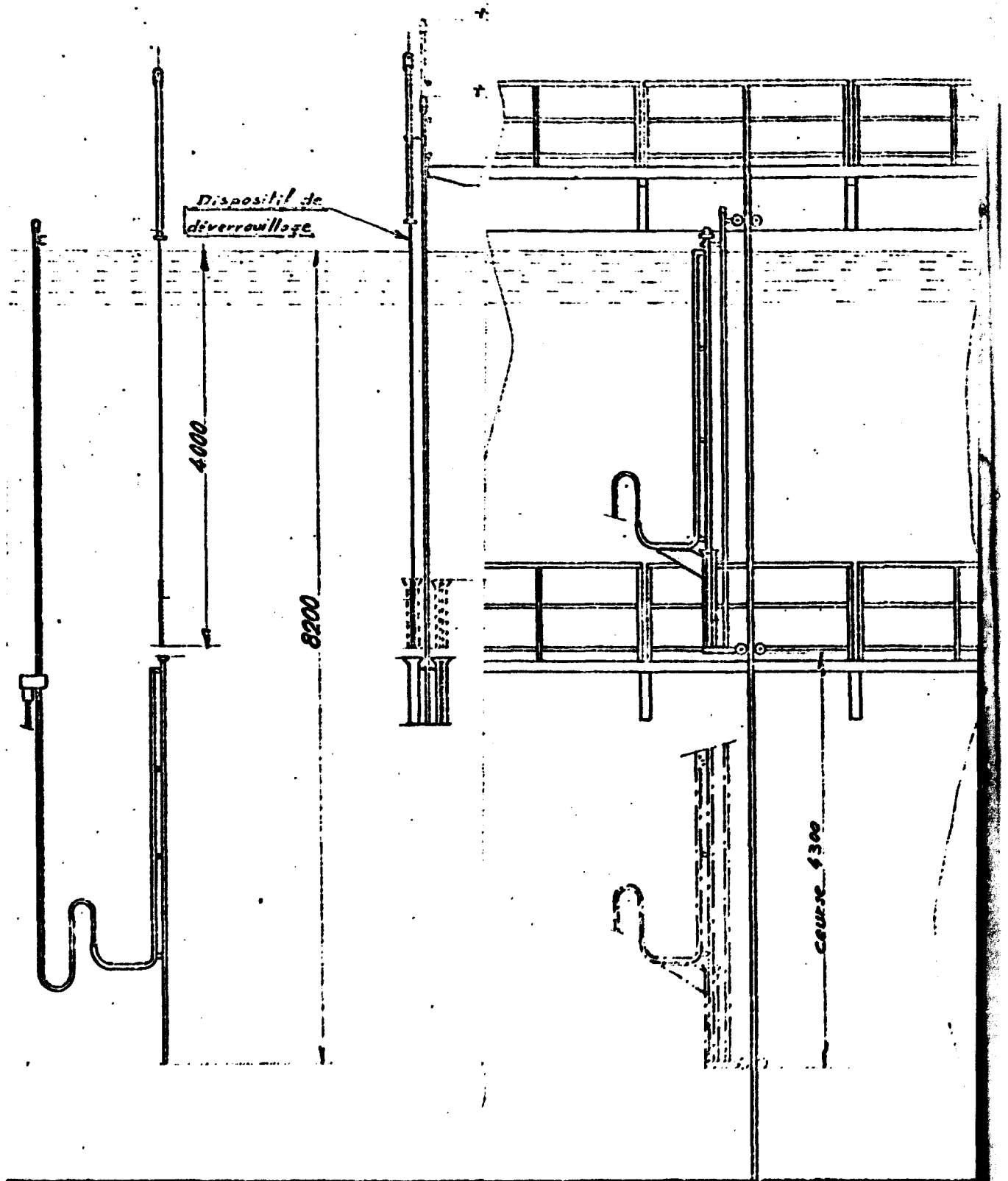
CAPSULE "CADENCE"

Sortie du
banier

Transfert du
clayon

Chariot ascenseur

Schéma 9



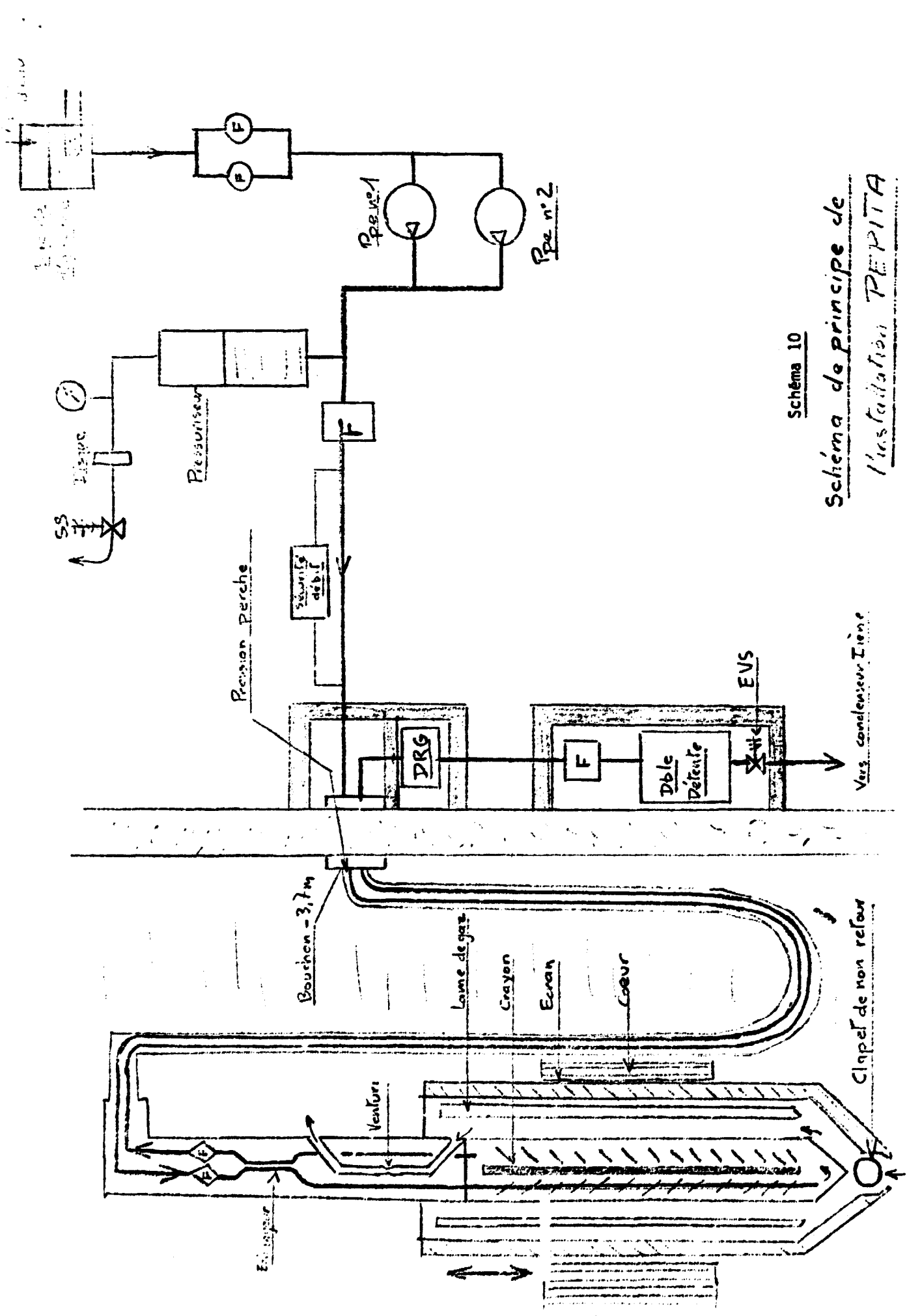


Schéma 10

Schéma de principe de l'installation PEPITA