



# JAUGES RADIOACTIVES EN SÉDIMENTOLOGIE APPLICATION FAISANT APPEL A L'INSTRUMENTATION NUCLÉAIRE

PAR G. COURTOIS \*

Le but du présent article est de soumettre au lecteur quelques applications possibles, dans le domaine de la sédimentologie, des ensembles « sources de rayonnement capteurs nucléaires » dénommés assez couramment : jauges nucléaires ou radioactives.

Accessoirement dans une deuxième partie seront données quelques informations sur quelques applications utilisant le rayonnement sous diverses formes, regroupées sous la dénomination générale : « Applications faisant appel à l'instrumentation nucléaire », bien que cette dénomination ne soit pas parfaitement satisfaisante.

L'introduction générale d'un tel exposé peut être trouvée dans un récent article intitulé : « Radioisotope and Oceanography » [1]. L'auteur dit ceci :

« Un des buts des scientifiques est de déterminer et de mesurer les paramètres d'intérêt général, dans leurs conditions naturelles d'environnement. Pour les spécialistes de l'océanographie, ceci est en train de devenir une réalité dans un certain nombre de domaines, lorsqu'il a été possible de faire avancer les techniques plutôt simples et imparfaites de prélèvement vers des procédés électroniques plus sophistiqués de mesures *in situ*. L'adaptation des techniques nucléaires aux problèmes de l'environnement marin a un développement récent qui est certes encore dans son premier âge mais qui apparaît comme fort prometteur ».

## 1. — Jauges radioactives en sédimentologie

### 1.1 Jauges de turbidimétrie.

Après cette introduction un peu longue, je vais enfin aborder le vif du sujet en abordant les jauges, et tout d'abord les jauges de turbidimétrie.

Celles-ci ne sont citées ici que pour mémoire car les mesures de turbidimétrie font l'objet d'une communication personnelle de M. Martin, reproduite dans la présente revue.

Cependant, en vue de brosser un tableau complet des jauges, rappelons leur existence basée sur deux principes différents :

- soit l'absorptiométrie des rayons X ou  $\gamma$  émis par une source de rayonnements, à travers une certaine épaisseur d'eau turbide : c'est en définitive une mesure de la densité de la suspension entre source et détecteur, densité directement liée à la turbidité;
- soit par le simple enregistrement de la radioactivité naturelle des sédiments en suspension en plongeant un détecteur dans le milieu turbide et enregistrant la radioactivité émise par les particules en suspension au voisinage du détecteur.

Les caractéristiques et performances de tels procédés et appareillages sont traités dans l'article de M. Martin, qui, en spécialiste de la dynamique sédimentaire, aborde plus particulièrement l'application de ces techniques aux problèmes estuariens.

Il convient cependant de souligner ceci : une des caractéristiques essentielles de ces types de procédés est que contrairement aux principes rencontrés dans les turbidimètres à absorption de lumière, la sensibilité est d'autant plus grande que la turbidité est élevée; par suite, ils ouvrent le domaine à peu près inexploré jusqu'à maintenant des fortes turbidités, disons de cinq à plusieurs centaines de grammes par litre.

Ce domaine peut devenir l'apanage d'applications fort importantes, ainsi qu'en témoignent les deux exemples suivants :

\* Commissariat à l'Energie Atomique, Chef des Laboratoires de la Section d'Application des Radioéléments de Saclay (S.A.R.).

## G. COURTOIS

### 1) L'envasement progressif des barrages :

Dans les barrages alimentés par des eaux à turbidité élevée, la sédimentation des vases intervenant, le réservoir peut être amené à être très rapidement comblé, si on ne le purge pas périodiquement avant que les sédiments ne soient consolidés. Il ne convient pas non plus de le purger avant qu'une certaine concentration au voisinage du fond ne soit atteinte, car naturellement des vidanges fréquentes nuisent à l'efficacité maximale de l'utilisation de la réserve hydraulique. Il faut donc pour régler ce problème, connaître la densité des sédiments en cours de sédimentation et disposer d'une alarme lorsque celle-ci dépasse un certain taux, qui dépend d'ailleurs de la nature du sédiment et qui peut être élevé, disons de 150 à 400 g/l.

Cette alarme peut facilement être donnée par l'installation *in situ* de jauges de turbidimétrie basées sur l'un des deux principes précédents, soit que cette jauge soit installée à poste fixe et délivre son information en continu, soit qu'on utilise un ensemble de mesure portatif, associé à des déterminations périodiques dans le temps et dans l'espace.

Certes, ce genre de problème est assez rare en France, où les turbidités dans les rivières alimentant les barrages sont très faibles; par contre, il se rencontre très fréquemment dans les pays d'outre-mer, plus particulièrement en Afrique du Nord. Par suite, ce genre d'applications est susceptible d'intéresser :

1. Les sociétés tournées vers des applications de l'hydraulique dans le monde.

2. Les organismes spécialisés dans la recherche Outre-mer.

Signalons pour mémoire, que dans un domaine tout à fait analogue, l'équipe de M. Guizerix à Grenoble avait réalisé une jauge par absorptiométrie pour l'engravement des fosses de décantation avant barrage [2].

### 2) Contrôle continu des conditions d'exploitation des usines de traitements des eaux usées.

Rappelons que dans les stations d'épuration d'eaux, on passe par des phases successives de concentration de boues que l'on peut très schématiquement résumer ainsi :

Phase 1 : concentration des boues activées dans les bassins d'aération de 0,5 à 5 g/l;

Phase 2 : concentration des boues fraîches extraites des décanteurs primaires : 40 à 70 g/l;

Phase 3 : concentration des boues digérées extraites des digesteurs : 50 à 120 g/l.

Dans tous ces appareils de décantation ainsi que dans les conduites d'amenées des boues d'un bassin ou d'un appareil à un autre, il convient que les concentrations en boues restent entre des valeurs déterminées bien précises.

Au moment où la plus grande automation intervient dans ces usines de traitement des eaux, des mesures en continu de densité des boues s'avèrent nécessaires et ce qui peut se faire par procédés de mesure de turbidimétrie par absorptiométrie. Un matériel français existe tant pour installation sur conduite (matériel Nucléomètre par exemple) que pour installation en milieu immergé, en bassin de décantation (matériel SRAT), matériel très facilement adaptable au problème évoqué.

### 1.2 Les jauges de densité de sédiments « in situ ».

Dans ce domaine pourtant important, on ne peut donner qu'un aperçu bibliographique. En effet, il n'y a eu jusqu'à maintenant aucune réalisation française de ce type d'appareillage, et toutes celles décrites ici ont été développées

uniquement aux Etats-Unis; il a encore été confirmé très récemment que pour l'instant ce type de jauge n'est pas commercialisé.

Tous les appareillages ainsi réalisés ont pour but de mesurer *in situ* la densité des sédiments déposés ou en cours de dépôt. Ils s'adressent essentiellement :

— aux océanographes, dans la mesure systématique des densités d'une zone déterminée, tant sur le plateau continental que par des profondeurs beaucoup plus importantes;

— dans l'étude de l'apport sédimentaire à un barrage en déterminant périodiquement la masse de sédiments déposés, par son volume et ses densités en profondeur, ces informations pouvant être reliées à des taux d'érosion des bassins versants avoisinants (je développerai un tel exemple un peu plus loin).

Les jauges de densité ainsi développées, auxquelles sont parfois adjointes des jauges d'humidité par absorption neutronique, ont beaucoup profité des progrès réalisés par les mesures de densité et d'humidité des sols, les pédologues et agronomes étant les véritables promoteurs et principaux utilisateurs de ces jauges, et tout organisme français qui voudrait développer de telles jauges aurait à prospecter cette voie et à consulter par ailleurs les multiples travaux dans ce domaine du Laboratoire des Ponts et Chaussées pour les mesures de densité de revêtements routiers.

De par leur conception, ces jauges sont divisées en deux groupes :

a) Les jauges de densités surfaciques;

b) Les jauges de densité en profondeur, distinguées suivant le procédé :

— par rétrodiffusion  $\gamma$ ;

— par absorptiométrie directe  $\gamma$ .

1.2.1. Les jauges de densité surfacique servent à dresser la cartographie de la densité moyenne des sédiments sur toute une zone donnée. Elle a servi principalement jusqu'à maintenant aux Américains à déterminer les prolongements d'estuaires en mer et la progression des sédiments vers le large.

Elles consistent en une source et un ou plusieurs détecteurs séparés de la source par des écrans de plomb, la quantité de rayonnement diffusé  $\gamma$  recueillie étant une fonction de la densité recherchée. La densité mesurée intéresse environ les quinze premiers centimètres de sédiment. L'ensemble est tracté sur le fond suivant des trajets prévus à l'avance.

1.2.2. Les jauges de densité en profondeur servent à déterminer en un point donné les variations de densité du sédiment en profondeur, généralement sur quelques mètres; les appareils réalisés sont, soit utilisés dans des piézomètres ou des tubings installés à cet effet, et dans ce cas, la technique est à rapprocher étroitement des procédés de diagraphie nucléaire dont nous dirons quelques mots à la fin, soit plus fréquemment foncés dans le sédiment, soit sous l'effet de son propre poids, soit par des moyens mécaniques ou hydrauliques adéquats.

1.2.2.1 Les densimètres à diffusion  $\gamma$ , ne sont en définitive en conception que des densimètres surfaciques placés verticalement; on en retrouve les mêmes éléments, source, écran de Pb, détecteur en général unique, le rayonnement parvenant à ce dernier par l'intermédiaire du milieu diffusant  $\gamma$  à mesurer. L'épaisseur sur laquelle la mesure intervient est également de l'ordre de 15 cm, ce qui fait que verticalement, compte tenu de l'écran de plomb la mesure

intéresse 25 à 40 cm d'épaisseur, et on ne saurait considérer que la mesure est très ponctuelle. C'est le principal inconvénient de ce type de jauge, dont l'avantage principal est de constituer un ensemble dont toutes les parties constituantes : source, blindage, détecteur, électronique associée, forment un ensemble compact d'éléments rigidement liés entre eux, particulièrement robustes et de manipulation aisée.

Par contre, l'inconvénient précédent, mesure sur 25 à 40 cm d'épaisseur, a suscité pour un certain nombre d'applications particulières la mise au point des densimètres à transmission.

#### 1.2.2.2 Densimètres à transmission $\gamma$ .

Dans les premières couches d'un sédiment en cours de tassement, la densité peut varier très vite sur des profondeurs de quelques centimètres. Il vient d'être vu, que, par sa géométrie et son volume, la jauge à diffusion  $\gamma$  est incapable de déterminer de telles variations.

La méthode de mesure de densité par transmission  $\gamma$  nécessite deux accès : l'un contient la source, l'autre le système de détection, et la mesure se fait sur l'atténuation du rayonnement  $\gamma$  par le sédiment situé entre source et détecteur, celui-ci étant éventuellement collimaté pour éviter l'action du rayonnement diffusé. Il est ainsi possible de déterminer la densité *in situ* de couches successives de dépôts sédimentaires. Il est certain que les formes d'appareillage ainsi conçues sont moins robustes, quoique certaines réalisations adoptant une géométrie particulièrement rigide puissent prétendre s'affranchir de ce reproche (voir plus loin jauge de Keller). De l'examen bibliographique, il ressort que la meilleure performance citée est un pouvoir de résolution de l'ordre de 3 cm, auquel on a peine à croire [3] [4].

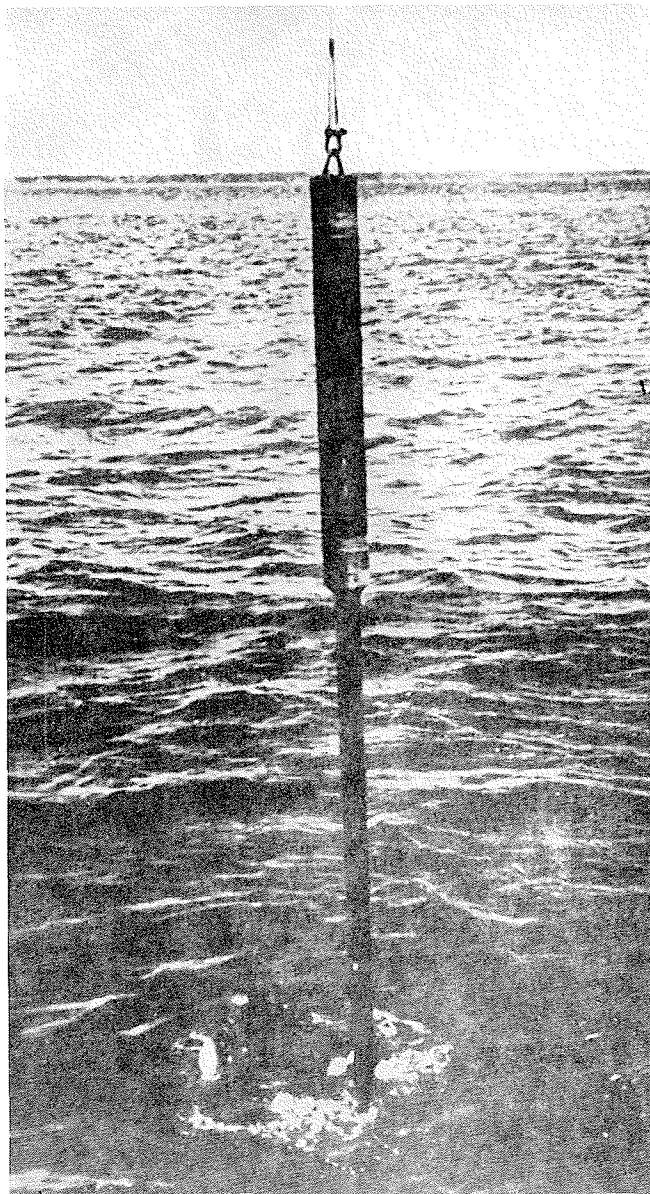
Toutes ces réalisations ont un certain nombre de points communs :

- elles utilisent une source d'émission  $\gamma$  qui est généralement du  $^{137}\text{Cs}$  avec des activités allant de 5 à 100 mCi;
- leur précision est pour toutes la même : de l'ordre de 1 à quelques %, en pratique disons une détermination à 0,03 absolue : *exemple* :  $1,28 \pm 0,02$ ;
- les densités mesurées sont des densités humides.

On peut théoriquement, sur le papier, atteindre la densité équivalente sèche en adjoignant aux sondes de densité, une sonde d'humidité utilisant des géométriques analogues, mais où la source de rayons  $\gamma$  est remplacée par une source de neutrons. Ce genre d'applications s'est très bien développé en pédologie; par contre, à notre connaissance, on ne peut citer qu'une seule référence sur le sujet en sédimentologie (Mac Henry) [5] qui n'est guère optimiste.

Il serait trop long et fastidieux de décrire toutes les jauges décrites dans la littérature qui se ressemblent beaucoup et varient de l'une à l'autre par de petits détails technologiques : puissance de la source, assemblage des détecteurs, etc. On se limitera à la présentation des trois exemples suivants jugés caractéristiques :

1. La jauge de densité de Wilson (1964) [6], est une longue aiguille de 6 m de long, 10 cm de diamètre, équipée d'une source de 100 mCi de  $^{137}\text{Cs}$ , la détection étant assurée par un faisceau de 30 détecteurs Geiger Muller. Les résultats sont enregistrés sur des films par une caméra photographiant une échelle de comptage. Le porte-sonde est enfoncé entièrement dans le sédiment, par un procédé qui n'est pas décrit dans la littérature, et à l'intérieur de cette enceinte l'ensemble de densimétrie se déplace par intervalles de 60 cm, le comptage étant alors déclenché pour



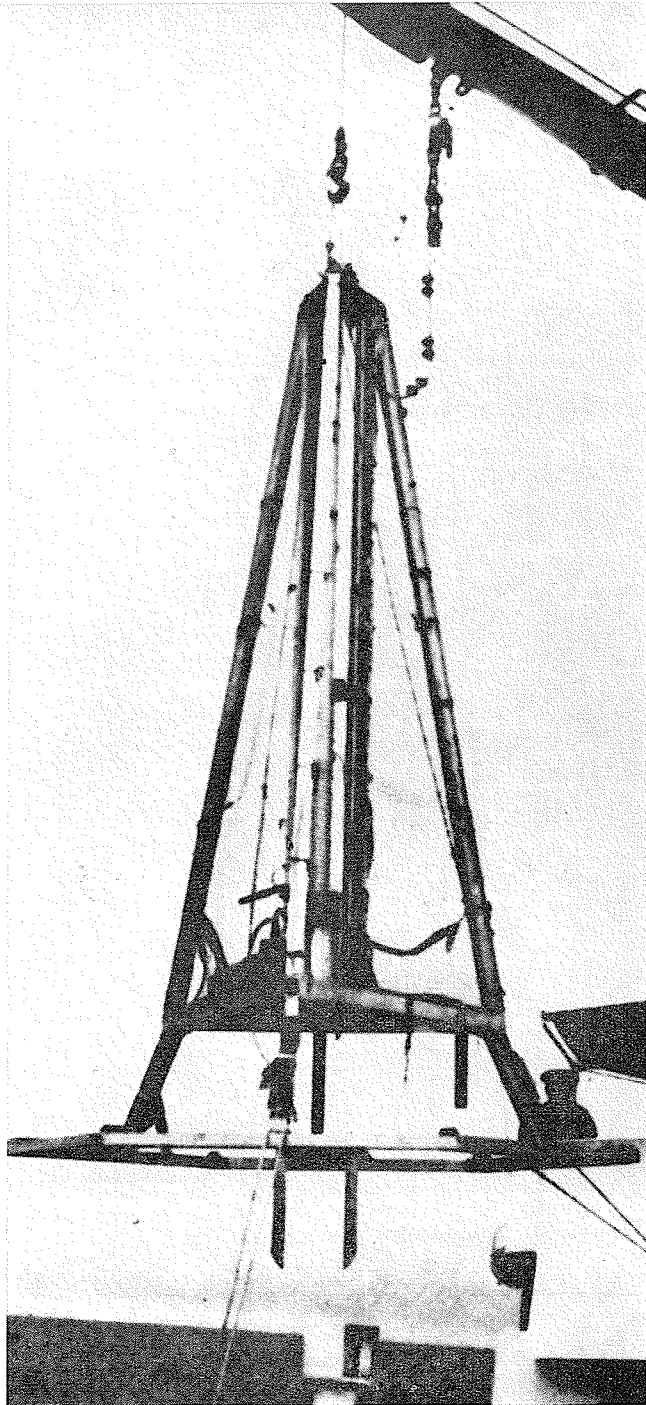
1/ Sonde de densité en profondeur.

10 s. La sonde est utilisée en mer jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 6 000 m. Par de tels fonds, l'appareil permet d'explorer 60 sites en 8 h tandis que dans le même temps, on ne peut prélever que 4 ou 5 carottes (fig. 1).

2. La figure 2 présente la version due à Keller [7], (1965), d'une jauge à transmission  $\gamma$  permettant une analyse fine en associant deux tubes pénétrant, l'un contenant la source, l'autre l'ensemble de détection.

3. Mac Henry (U.S.D.A.) a adapté ce système de transmission  $\gamma$  à la réalisation d'un appareil transistorisé facilement transportable de 10 kg environ, comprenant une forme en U comportant d'un côté une source de 7 mCi de  $^{137}\text{Cs}$ , de l'autre un détecteur à scintillation muni d'un cristal  $1\frac{1}{2} \times 1$ ", la distance source-détecteur étant de 30 cm [8].

Un type d'application de cette jauge est montré figure 3 [9] : elle concerne l'étude de la sédimentation dans un petit barrage du nord du Mississippi : l'étude s'est faite par une prospection systématique en 1962 et 1967 : 5 profils, 55 verticales au total, identiques entre ces deux dates, sur chaque profil; la sonde est descendue de 15 en 15 cm par simple pénétration sous l'action de son poids. Ceci permet de mettre en évidence un dépôt de 2 000 t/ha pendant ces cinq ans; l'auteur transforme ceci en taux d'érosion moyen du bassin versant : 0,3 mm par an pendant cette période, à comparer à une estimation de 1,5 mm par an entre 1953



2/ Sonde de densité en profondeur à double corps.

et 1962, l'auteur ayant ainsi démontré l'efficacité des méthodes de conservations des terres pendant la période envisagée.

Cette expérience intéressante est bien à même de montrer les possibilités de la méthode.

### 1.3 Les jauges d'études des lois de tassement des sédiments fins et densité de carottes prélevées.

Nous reportons ici le lecteur à l'annexe I qui suit immédiatement le présent rapport. Il y est reporté la réalisation et l'utilisation de deux jauges nucléaires françaises récentes :

1. Une jauge d'études des lois de tassements de sédiments fins permettant de déterminer la variation des concentrations en sédiments pélitiques en cours de tassement dans une éprouvette.

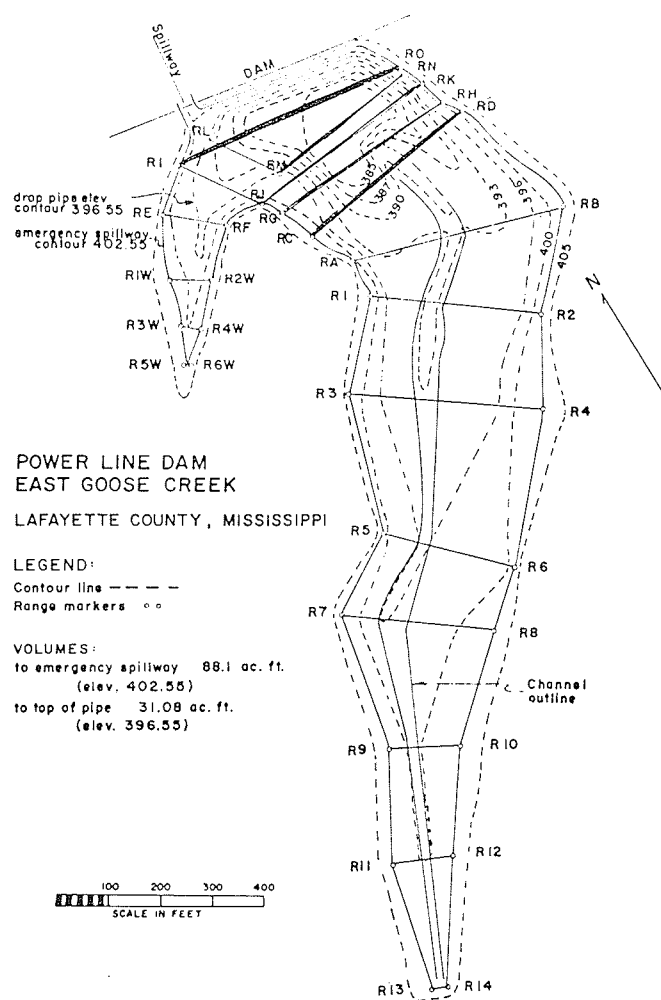
2. Une jauge de déterminations des densités des carottes sédimentaires entrant dans le cadre des méthodes permettant une étude rapide de leurs caractéristiques à travers leurs tubes plastiques et sans les ouvrir.

### 1.4 Jauges de densité de sédiment en cours de pompage.

Le Port Autonome de Bordeaux s'est préoccupé il y a quelques temps d'examiner les performances de la mesure en continu des sédiments en cours de pompage. Le projet a abouti à une phase préliminaire de trois mois, phase qui vient de se terminer, et pendant laquelle une jauge à absorptionmétrique (nucléomètre type DG4) a été installée sur une des canalisations de remplissage des puits de la drague *La Durepaire*, canalisation de 70 cm de diamètre de 3,5 cm d'acier.

La figure 4 représente le schéma de principe de l'installation : deux sources de  $^{137}\text{Cs}$  de 4 Ci chacune, intéressant deux cordes assez proches de l'axe de symétrie et le détecteur : une chambre d'ionisation haute pression.

La phase principale de cette étude et la plus délicate est l'étalonnage de la sonde, c'est-à-dire la détermination de la relation existant entre le courant de sortie de l'appareil et la densité à mesurer.



a/

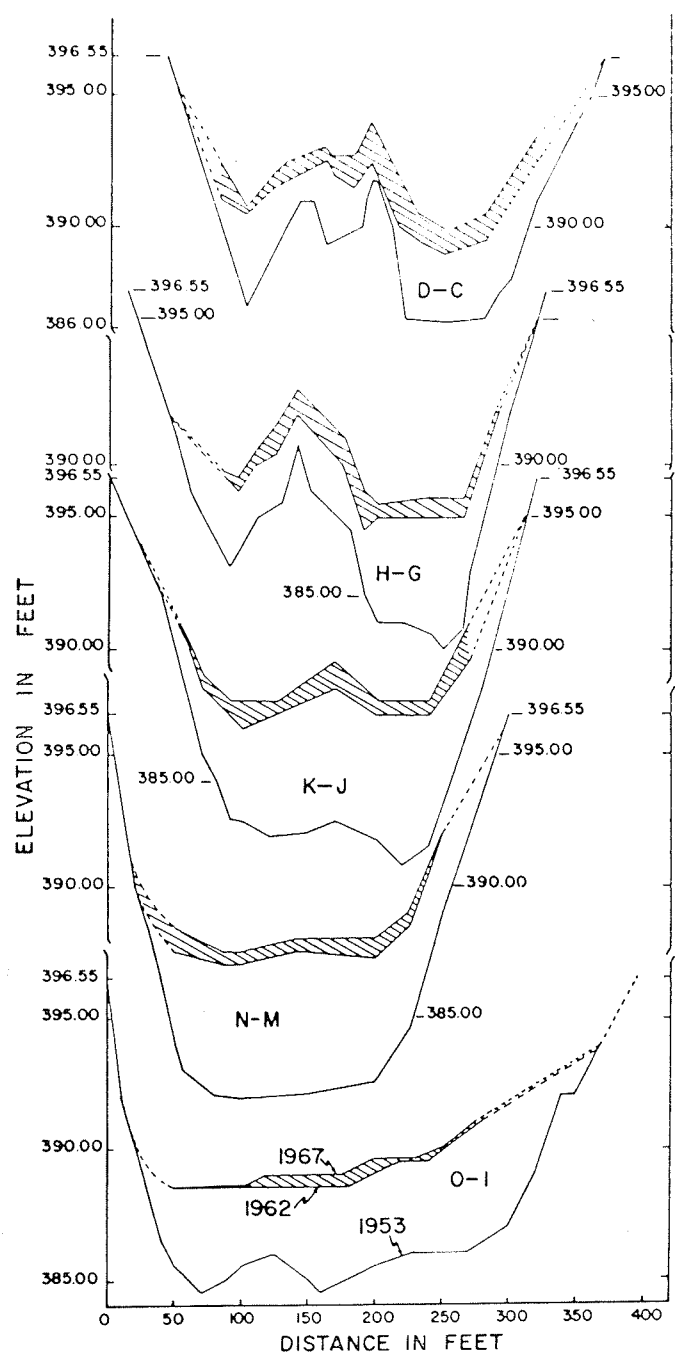
3/ Examen de sédimentation dans un réservoir par mesure de densité.

L'étalonnage s'est effectué en deux parties :

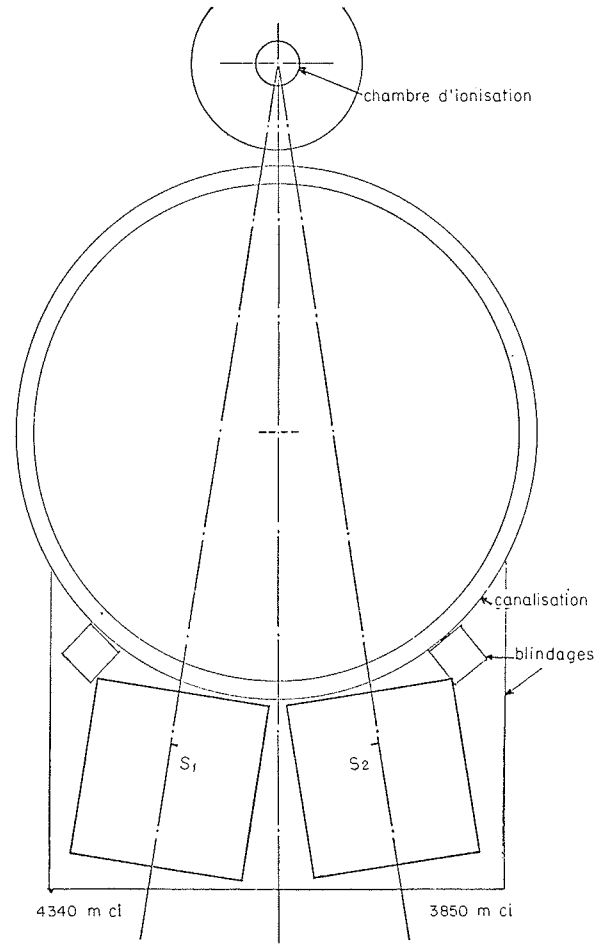
- un étalonnage en statique à terre sur un élément de canalisation très semblable à celui de la drague, et rempli tour à tour de sédiments variables en densité;
- un étalonnage en dynamique, c'est-à-dire en Gironde dans les conditions réelles d'utilisation, en reliant la densité moyenne du matériau pompé au tirant d'eau de la drague d'une part, et en analysant la densité de multiples échantillons prélevés au niveau du rejet dans les puits.

Les résultats obtenus permettent de penser que la mesure est assez bien représentative de la densité du matériau pompé.

Une telle jauge de densité peut être utilisée tant pour le contrôle des conditions de dragage sur le fond que sur les canalisations de rejet à terre ou en mer. Elle peut être associée à des moyens non radioactifs de déter-



b/



Dispositions Sources - Détecteur

4/ Géométrie d'une sonde de densité de sédiment en cours de pompage sur une drague.

mination des vitesses des sédiments à l'intérieur de la canalisation (procédés magnéto-hydrodynamiques par exemple) pour aboutir à un rentable contrôle en continu de la masse sédimentaire draguée.

Suite à cette première campagne, le Port Autonome de Bordeaux a décidé de s'équiper de telles jauges. Il est trop tôt naturellement pour préjuger de l'utilisation de l'information qu'il pourrait, d'un strict point de vue pratique en extraire, un emploi de six mois de l'appareillage étant pour le moins nécessaire à de telles conclusions. Cependant, les résultats intéressants que nous avons obtenus doivent encourager les spécialistes de dragage à regarder d'un œil favorable ce genre d'installation.

2. — Applications diverses de l'instrumentation nucléaire

On traitera ici très sommairement de quelques applications diverses de la radioactivité et des radio-éléments pouvant intéresser la sédimentologie.

1. LA GAMMAGRAPHIE ET LA RADIOGRAPHIE, obtenues en remplaçant le classique poste à rayons X par une source de gammagraphie [<sup>192</sup>Ir, <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co]. Elle permet de traverser des épaisseurs très importantes et serait bien adaptée à la radiographie de carottes de fortes épaisseurs,

par exemple du style de celles prélevées par la Société ARMOR en Gironde à la demande du Port Autonome de Bordeaux. L'autonomie de la gammagraphie et son indépendance vis-à-vis du courant électrique, permet de l'utiliser facilement en chantier ou sur le navire de prélèvements : éventuellement des applications sous-marines peuvent être envisagées.

Signalons que dans ce domaine, nous nous sommes aussi intéressés de très près à la radiographie en couleurs.

2. L'ANALYSE PAR FLUORESCENCE X, se fait de la même manière en remplaçant le classique poste à rayons X par une source de radio-éléments, émettrice soit : d' $X$  ( $^{55}\text{Fe}$ ), soit de  $\gamma$  ( $^{192}\text{Ir}$ ), soit d' $\alpha$  ( $^{210}\text{Po}$ ). Il en résulte un appareillage peut être moins précis, mais plus compact et moins coûteux, s'adaptant bien à des mesures en continu par exemple tout le long des carottes. Son emploi peut être également envisagé *in situ*, surtout pour les éléments de numéro atomique relativement élevé (on cite à l'étranger le cas d'une étude en cours sur l'analyse *in situ* de l'étain).

3. L'ANALYSE PAR ACTIVATION est un moyen d'analyse d'échantillons permettant sur certains éléments une sensibilité très élevée de l'ordre du ppb (1/1 000<sup>e</sup> de ppm). C'est donc une technique particulièrement bien adaptée dans la géochimie des sédiments à la recherche des éléments traces, et à l'étude de leur évolution dans le temps.

On envisage actuellement de construire des têtes de mesures *in situ* pour quelques éléments particuliers, par exemple : le phosphore et le manganèse.

Plus importantes sont les deux dernières techniques.

4. LA DIAGRAPHIE NUCLÉAIRE qu'on ne peut dissocier de la diagraphie électrique, est née de l'industrie pétrolière, plus exactement des forages. Les personnes intéressées devraient obligatoirement se procurer les véritables cours sur le sujet publiés tant par l'Institut Français du Pétrole que par les sociétés spécialisées dans ces diagraphies comme la Schlumberger.

La diagraphie nucléaire consiste à un certain nombre de sondes détectrices dans des trous de forages, et peut prendre des formes très diverses; elle est divisée en cinq catégories principales :

- 1) la diagraphie basée sur la détection de la radioactivité naturelle des formations;
- 2) la diagraphie basée sur le phénomène de diffusion  $\gamma$  émis par un radio-élément;
- 3) la diagraphie basée sur le ralentissement des neutrons;
- 4) la diagraphie basée sur la détection des  $\gamma$  émis par un élément lors de la capture d'un neutron;
- 5) la diagraphie basée sur la détection de la radioactivité artificielle obtenue par irradiation des formations géologiques au moyen d'une source de neutron.

Toutes ces informations permettent d'obtenir un nombre important de renseignements sur le sédiment en place : sa nature, sa teneur en argile, sa densité, sa teneur en eau, sa porosité, la présence de certains éléments caractéristiques, toutes informations fort utiles aux sédimentologues.

Dans le domaine de la sédimentologie, M. Levêque de l'I.G.B.A., pratique volontiers cette technique, et les lecteurs se rapporteront, avec profit, à ses travaux.

5. LES GÉNÉRATEURS ISOTOPIQUES constituent un sujet évoqué ici pour mémoire, car il s'écarte un peu du contenu de ce sujet, à savoir la sédimentologie, pour aborder le problème de l'océanographie. Mais comme nombre d'ex-

périences en mer, y compris celles ayant trait à la sédimentologie, risquent d'en faire usage tôt ou tard, il convient d'en dire quelques mots.

Par générateurs isotopiques, on entend un générateur électrique dont la source de puissance est constituée par le rayonnement émis par des sources de radio-éléments, puissance convertie en puissance électrique par divers procédés physiques et électrochimiques (thermo-électricité, effet radiovoltaïque, thermoïonique, turbines à gaz ou à vapeur). On obtient ainsi des systèmes stables, fiables, pouvant fonctionner dans des environnements difficiles tels que le milieu marin, pour des puissances disponibles allant du  $\mu\text{W}$  à quelques kW électriques. Leur désavantage actuel est certainement leur prix. Citons dans ce domaine, les réalisations en 1969 en France des appareils suivants :

*Marguerite 20* : 120 000 Ci de  $^{90}\text{Sr}$ , générateur thermo-électrique de 25 We actuellement utilisé à l'alimentation d'une tête de puits pétrolier sous-marin dans le Golfe Persique.

*Gisète 5* : 85 000 Ci de  $^{90}\text{Sr}$ , générateur thermo-électrique de 15 We, en essai sur plate-forme sous-marine dans le Golfe de Gascogne.

*Gicodyne 400* : 300 000 Ci de  $^{60}\text{Co}$ , générateur à turbine à vapeur, 400 We, utilisé en alimentation d'un relais hertzien en zone d'accès difficile.

Dans le domaine océanologique, les applications potentielles sont les suivantes :

- alimentation de capteurs biologiques ou médicaux sur plongeurs ou éventuellement animaux marins;
- alimentation de bouées expérimentales;
- alimentation d'appareillage de forage ou d'exploitation sous-marine (domaine du pétrole notamment);
- sources de chaleur utilisables pour la climatisation d'équipements de plongée collectifs, voire individuels.

### 3. — Références

- [1] KELLER (G. H.). — Radioisotopes and oceanography. *Isotopes and Radiation Technology*, vol. 6, n° 4, p. 376 (1969).
- [2] GRANDCLEMENT. — Jauge d'engravement utilisant un élément radioactif. Note Interne SAR. G, n° AP/5 (avril 1962).
- [3] MACHENRY (J. R.) and DINDY (F. E.). — Measurement of sediment density by attenuation of transmitted Gamma-Rays. *Soil Science Society of America Proceedings*, 28, 6, p. 566 (novembre-décembre 1962).
- [4] TIMBLIN (L. O.). — Density measurement of saturated submersed sediment by gamma-ray scattering. *Material Research and Standards*, vol. 2, n° 7, p. 566 (July 1962).
- [5] MACHENRY (J. R.). — Some application of nuclear techniques to sedimentation research. *Working group on Radioisotopes in hydrology*, A.I.E.A., Grenoble, (octobre 1965).
- [6] WILSON (B. F.). — A sediment density meter. Rapport ORO 622 (April 1964).
- [7] KELLER (G. H.). — Deep Sea Nuclear Sediment Density probe. *Deep Sea Research*, 12, p. 373-376 (1965).
- [8] MACHENRY (J. R.). — A two-probe nuclear device for determining the density of sediments. *Publication n° 65 of I.A.H.S.* Land Erosion, Precipitations, Hydrometry soil moisture, p. 189-202.
- [9] MACHENRY (J. R.), HAWKS (P. H.) and GILL (A. C.). — Consolidation of sediments in a small reservoir in North Mississippi measured in situ with a gamma probe. *Proceedings of Mississippi water resources conference 1969*, Mississippi State University.