

CENTRE ORSTOM DE CAYENNE

Section Hydrologique

TELETRANSMISSION PAR SATELLITE

DE DONNEES HYDROMETRIQUES

par M. HOEFFNER

Janvier 1974

S O M M A I R E

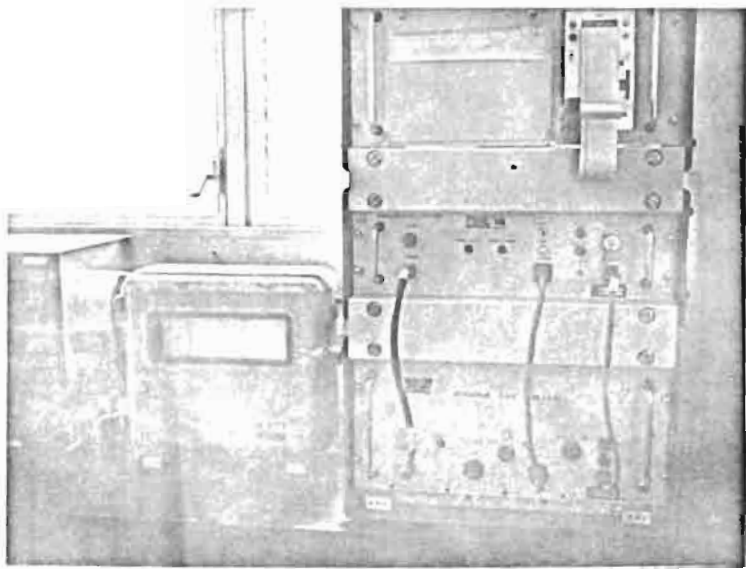
1. <u>Présentation</u>	p. 1
2. <u>Principe de l'expérience Eole</u>	p. 2
3. <u>Equipement</u>	p. 4
3.1 La nacelle fixe	p. 4
3.2 Le capteur	p. 9
4. <u>Installation - Expérimentation - Résultats</u>	p. 10
4.1 Installation	p. 10
4.2 Etalonnage local	p. 10
4.3 Transmission des données par satellite	p. 11
4.4 Analyse critique du capteur	p. 11
5. <u>Conclusion</u>	p. 15

Je tiens à remercier de leur collaboration le personnel
CNES-SODETEG de la station Diane de contrôle des
satellites à Kourou et en particulier :

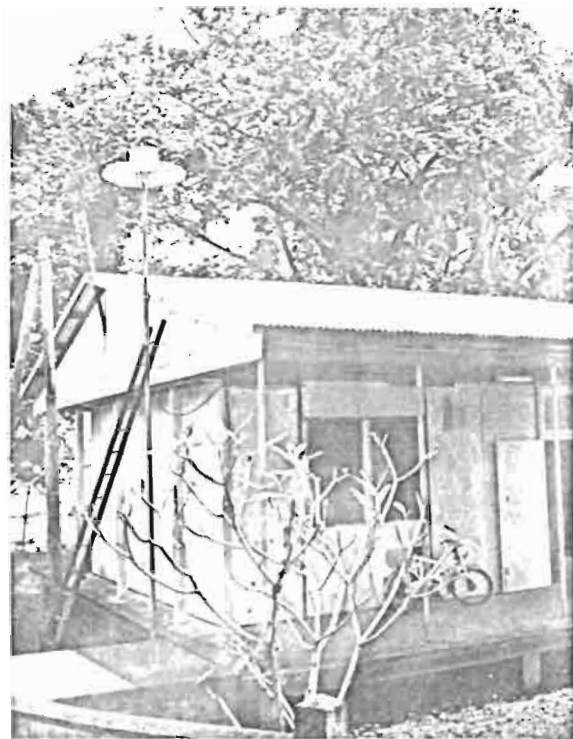
- MM. KUDLIKOWSKI et HUNOT, Chefs de station

- M. GUERNEC qui a bien voulu suivre cette expérience
de bout en bout et nous prodiguer ses conseils, pour
l'expérimentation comme pour la rédaction de cette
note.

Centre ORSTOM de Cayenne



ensemble capteur répondeur dans les locaux
Centre ORSTOM de CAYENNE



L'antenne installée au-dessus des locaux

TELETRANSMISSION PAR SATELLITE

DE DONNEES HYDROMETRIQUES

1. Présentation

Le Centre du CNES à Kourou nous a fait part en mai 1972 de certaines possibilités d'utilisation du satellite Eole pour la télétransmission de données. Il nous a paru intéressant de profiter des moyens qui nous étaient ainsi offerts pour les raisons suivantes :

1.1. A l'exception de la bande côtière la Guyane est peu habitée, et nous n'avons pu trouver pour les stations du réseau les observateurs susceptibles d'effectuer les relevés de hauteurs d'eau nécessaires à la connaissance du régime hydrologique des cours d'eau. C'est pourquoi 11 des 19 stations du réseau hydrométrique guyanais sont équipées de limnigraphes de longue durée, d'une autonomie théorique de 6 mois.

Malgré les nombreuses missions effectuées sur les rivières pour le contrôle de ces appareils, il arrive que des pannes fortuites, dues en général au climat particulièrement humide de ce pays, nous interdisent d'obtenir des relevés sans interruption.

Comme ces missions nécessitent la mise en oeuvre de moyens importants en personnel et en matériel, nous avons pensé dans un premier temps à contrôler, par le dispositif de télétransmission par satellite, le bon fonctionnement de nos appareils, afin de pouvoir pallier rapidement les défauts éventuels des enregistrements.

Il s'est avéré qu'il était tout aussi simple de transmettre directement les hauteurs d'eau enregistrées, et donc de connaître dans un délai incomparablement plus court les variations du plan d'eau : 24 à 48 h au lieu de plusieurs mois d'attente avant la possession de l'enregistrement complet du diagramme.

- 1.2. Si les crues exceptionnelles des rivières guyanaises n'ont pas jusqu'à présent posé de sérieux problèmes quant aux risques encourus par la population ou les ouvrages de génie civil, il était tout de même intéressant d'étudier les possibilités de systèmes d'alerte de crue basés sur ce type de télétransmission.
- 1.3. La présence du CNES à Kourou nous permettait de nous familiariser avec ces techniques de pointe, qui devraient se généraliser dans un proche avenir.

2. Principe de l'expérience Eole

- 2.1. Le projet Eole est le premier programme de satellite d'application mis au point par le CNES.

Eole est un satellite français mis en orbite le 16 août 1971 depuis Wallops Island (U.S.A.). Les caractéristiques effectives sont :

- Périgée : 680,00 km
- Apogée : 903,68 km
- Période nodale : 103 mn
- Inclinaison : 50°

L'expérience météorologique était son objectif principal. Sa durée prévue était de six mois. Il s'agissait d'étudier les vents de l'hémisphère Sud par localisation et interrogation par le satellite Eole d'une flotte de ballons.

2.2. La disponibilité du satellite à la suite de l'achèvement de cet objectif prioritaire permettait d'entreprendre d'autres expériences tant que le satellite fonctionne correctement. Ces expériences consistent en des transferts de données et de localisation.

Un certain nombre d'organismes se sont intéressés à ces possibilités. Pour satisfaire à ces demandes, il a été défini plusieurs expériences "post-Eole" :

2.2.1 L'expérience "nacelles fixes"

Celle-ci devait permettre le contrôle du bon fonctionnement du satellite Eole.

2.2.2 Les expériences "bouées dérivantes"

Le but de ces expériences est de démontrer qu'il est possible de déterminer les directions et sens des courants marins grâce à la localisation de bouées et à la collecte de données relevées "in situ".

2.2.3 Les stations fixes de collecte de données

Elles doivent permettre la transmission de données locales relevées dans des sites difficiles d'accès.

Dans le cas précis de notre expérience, nous avons utilisé la nacelle fixe de la station de poursuite des satellites de Kourou,

tout en nous plaçant dans le cadre de l'expérience de stations fixes de collecte de données.

3. Equipement

Il se compose d'un ensemble dit "nacelle fixe", par analogie avec le dispositif porté par les ballons du projet Eole, et d'un capteur associé au limnigraphe.

3.1. Nacelle fixe

Cet ensemble comprend :

3.1.1 Un sous-ensemble électronique transportable formé de trois tiroirs :

- un tiroir répondeur Eole
- un tiroir périphérique
- un tiroir enregistreur

L'ensemble électronique est contenu dans des containers encastrés. Il pèse 90 kg et a pour dimensions hors-tout 85 cm x 51 cm x 59.

3.1.1.1 Le tiroir répondeur présente les caractéristiques suivantes :

a) Spécifications

+ Electriques

- Secteur Tension moyenne : 127 V ou 220 V \pm 5%
- Fréquence : 50 Hz \pm 5%

La consommation peut varier entre 8 et 50 W en période d'émission ; elle est de 15 W en position "stand by".

- Batterie Tension moyenne : 11,2 V $< V_m < 15$ V
- Résistance interne : $R \leq 0,5 \Omega$

+ Radioélectriques

- Réception

- Fréquence : 464,4869 MHz
- Sensibilité : -129 dBm sous 50 Ohms

- Emission

- Fréquence : 401,7184 MHz
- Puissance : 1 à 3 Watts sous 50 Ohms

+ Climatiques

En fonctionnement, l'équipement supporte une température comprise entre 0° et 45° , avec une humidité relative inférieure ou égale à 95%.

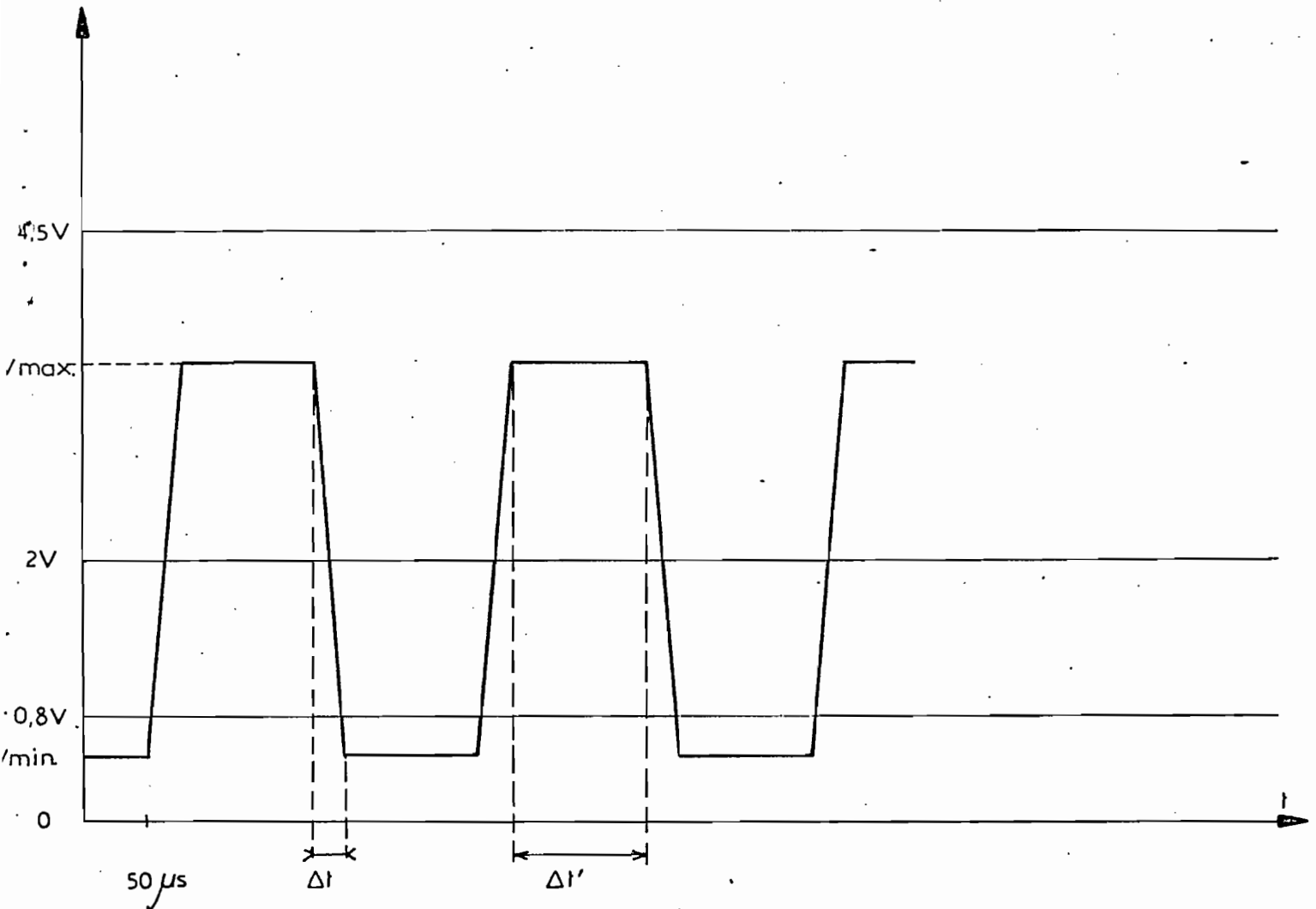
Mais les spécifications sont respectées si la température extérieure est comprise entre 0° et 30° .

b) Principe de fonctionnement

- + Réception : Le répondeur reçoit du satellite un signal dont la fréquence porteuse F_R a pour valeur 464,4869 MHz. L'information transportée est constituée d'une série de messages de 30 bits chacun et destinés aux différents répondeurs.

EXPERIENCE POST-EOLE

SIGNAUX DU CAPTEUR



- + Emission : Quand le répondeur reconnaît son adresse dans un message reçu, il transmet au satellite une réponse de 28 bits sur une fréquence porteuse de $F_E = \frac{F_R \times 32}{37} = 401,7184 \text{ MHz}$.
A l'intérieur du message, 2 bits (durée de 40 ms environ) sont réservés à chacun des 4 capteurs.

c) Les entrées

- Antenne : 1

- Capteurs : 4

Elles reçoivent de la part des capteurs des signaux périodiques dont la fréquence est le support de l'information (voir figure n° 1).

Les capteurs comportent :

- le détecteur sensible du paramètre physique à mesurer
- l'oscillateur à fréquence variable commandée par le détecteur.

Les caractéristiques des signaux des capteurs sont les suivantes :

- fréquence comprise entre 15 et 20 kHz
- niveau bas du signal V_{min} compris entre 0 et 0,8 V
- niveau haut du signal V_{max} compris entre 2 et 4,5 V
- temps de montée et de descente $\Delta t \leq 50 \mu\text{s}$
- durée des états "bas" et "haut" $\Delta t' \geq 50 \mu\text{s}$
- résistance interne du capteur : 1 k Ω

d) Les phases de fonctionnement (voir figure n° 2)

o Absence du satellite

Une minuterie alterne les périodes de repos, de durée T_r , où le répondeur est inactif, et les périodes de recherche, de durée Θ_r , où le récepteur est mis sous tension et balaie un intervalle de fréquence pour s'adapter à un signal du satellite.

$$\begin{aligned} \text{On a} \quad T_r &= 5\text{s} \\ \Theta_r &= 1,5\text{s} \\ \Delta f &> 22 \text{ kHz} \end{aligned}$$

o Présence du satellite

Quand le satellite est dans la zone de visibilité, le récepteur se verrouille en phase sur le signal satellite et commande la mise sous tension du système de traitement des informations : c'est la période d'acquisition.

Ensuite le répondeur

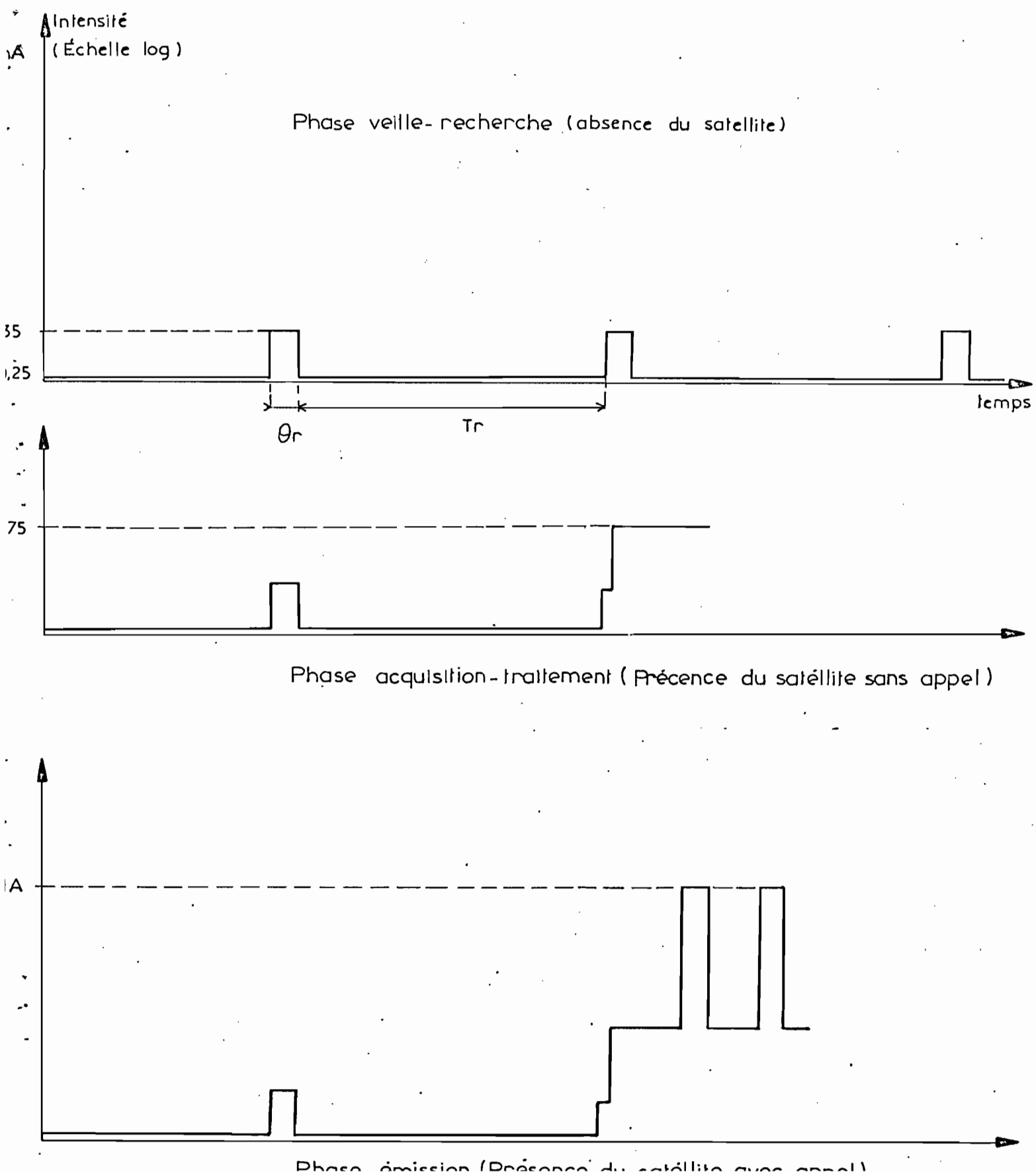
- verrouille en phase son système de restitution de la cadence des bits
- reconstitue le train de bits émis par le satellite
- traite ce train de bits en vue de reconnaître le début du message, son adresse et l'ordre à exécuter.

3.1.1.2 Le tiroir périphérique

Il sert d'intermédiaire entre le répondeur et l'enregistreur

EXPERIENCE POST-EOLE

Diagrammes de consommation de la nacelle



d'une part, et d'autre part entre le répondeur et les simulateurs de capteur.

a) Les entrées

- Signal de courant du répondeur nacelle. Son amplitude peut atteindre 1 à 1,5 V en période d'émission.
- Signal " présence satellite "

b) Les sorties

- Quatre sorties "capteurs" vers le tiroir répondeur. C'est un signal périodique rectangulaire de fréquence choisie dans la gamme 15 - 20 kHz, avec une stabilité de 2%, et dont l'amplitude est de 5 V crête-à-crête.
- Sortie "mesure de courant" vers l'enregistreur
- Sortie "commande de l'enregistreur".

3.1.1.3 Le tiroir enregistreur

Il contient un enregistreur à une piste

- Sans satellite en visibilité, l'enregistreur est en situation d'attente. Le papier ne se déroule pas et l'aiguille d'inscription témoigne par son battement des phases veille-recherche du répondeur (figure 2A).
- Lorsque le satellite est en visibilité et en émission et que le répondeur se verrouille sur F_R (fréquence reçue), un voyant "présence satellite" s'allume sur la face avant du répondeur tandis que le déroulement du papier de l'enregistreur se met en marche. L'aiguille d'inscription occupe un niveau stable et plus élevé que les précédents (figure 2B).

- Lorsque le répondeur émet une réponse, une impulsion apparaît sur le papier de l'enregistreur (figure 2C).

3.1.2 L'antenne

Les antennes utilisées en station fixe avec les répondeurs Eole sont du type spirale plane encastrée.

Elles sont reliées au répondeur par un câble coaxial.

3.2 Le capteur

Pour notre expérience, le CNES mettait à notre disposition une des quatre entrées du répondeur de la station fixe de Kourou.

Nous devions concevoir et réaliser le détecteur du paramètre physique qui nous intéressait, à savoir les hauteurs d'eau à nos stations hydrométriques.

Il s'agissait de transformer une variation de hauteur d'eau en une variation de fréquence compatible avec les caractéristiques des signaux définis plus haut.

Le détecteur finalement utilisé est un potentiomètre 10 tours fabriqué par la société A. OTT, conçu pour être adapté sur son limnigraphe de type XX (voir figure n° 3).

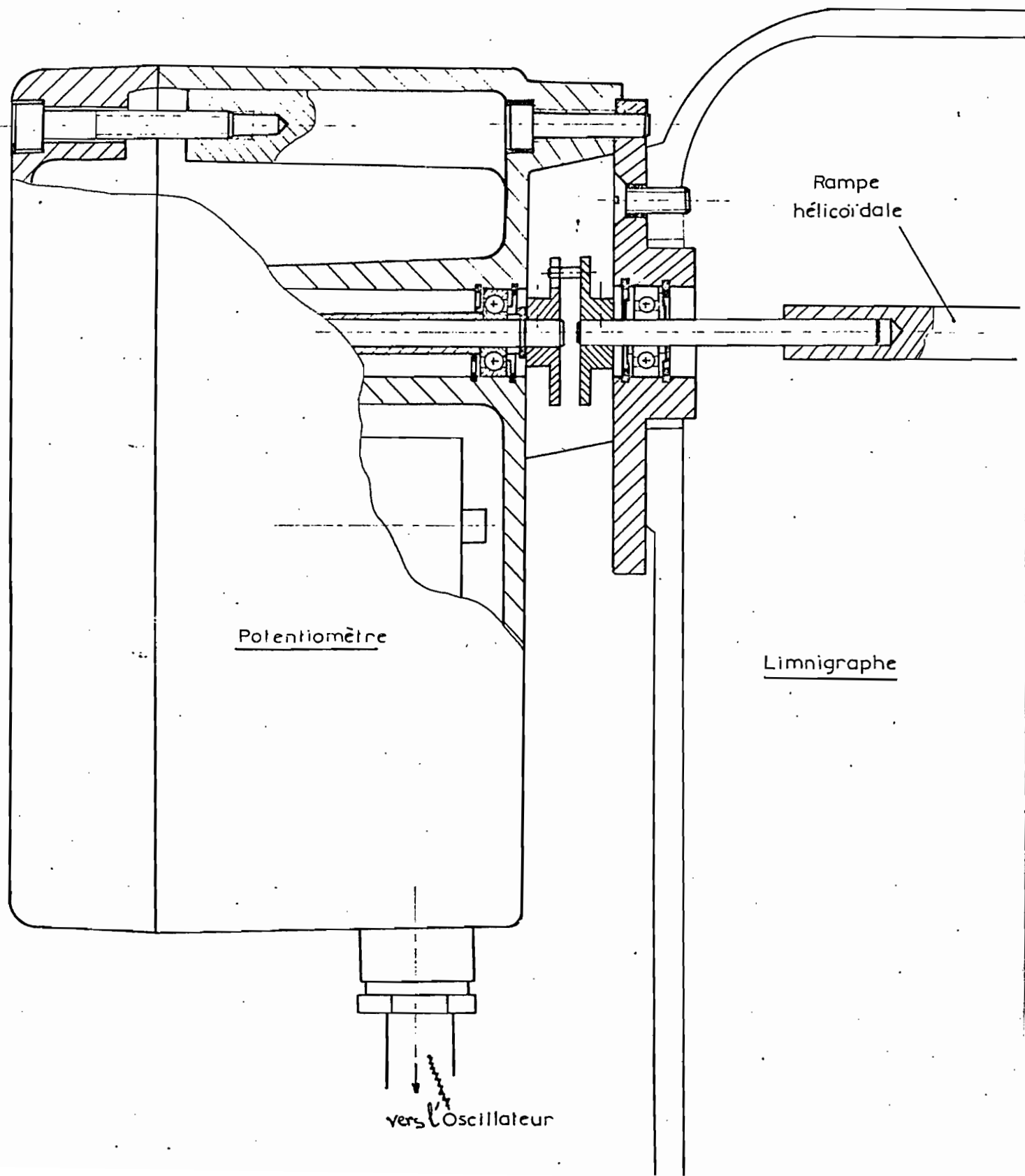
La rotation de la poulie, qu'entraîne la variation du plan d'eau, est transmise par la rampe hélicoïdale au potentiomètre.

A une cote donnée correspond donc une résistance donnée. Et la valeur de la tension aux bornes de cette résistance est fournie à l'entrée d'un oscillateur V.C.O. (à fréquence variable contrôlée par une tension) que M. GUERNEC a fait réaliser sur le type de celui qui équipe les nacelles fixes (voir figure n° 4).

EXPERIENCE POST-EOLE

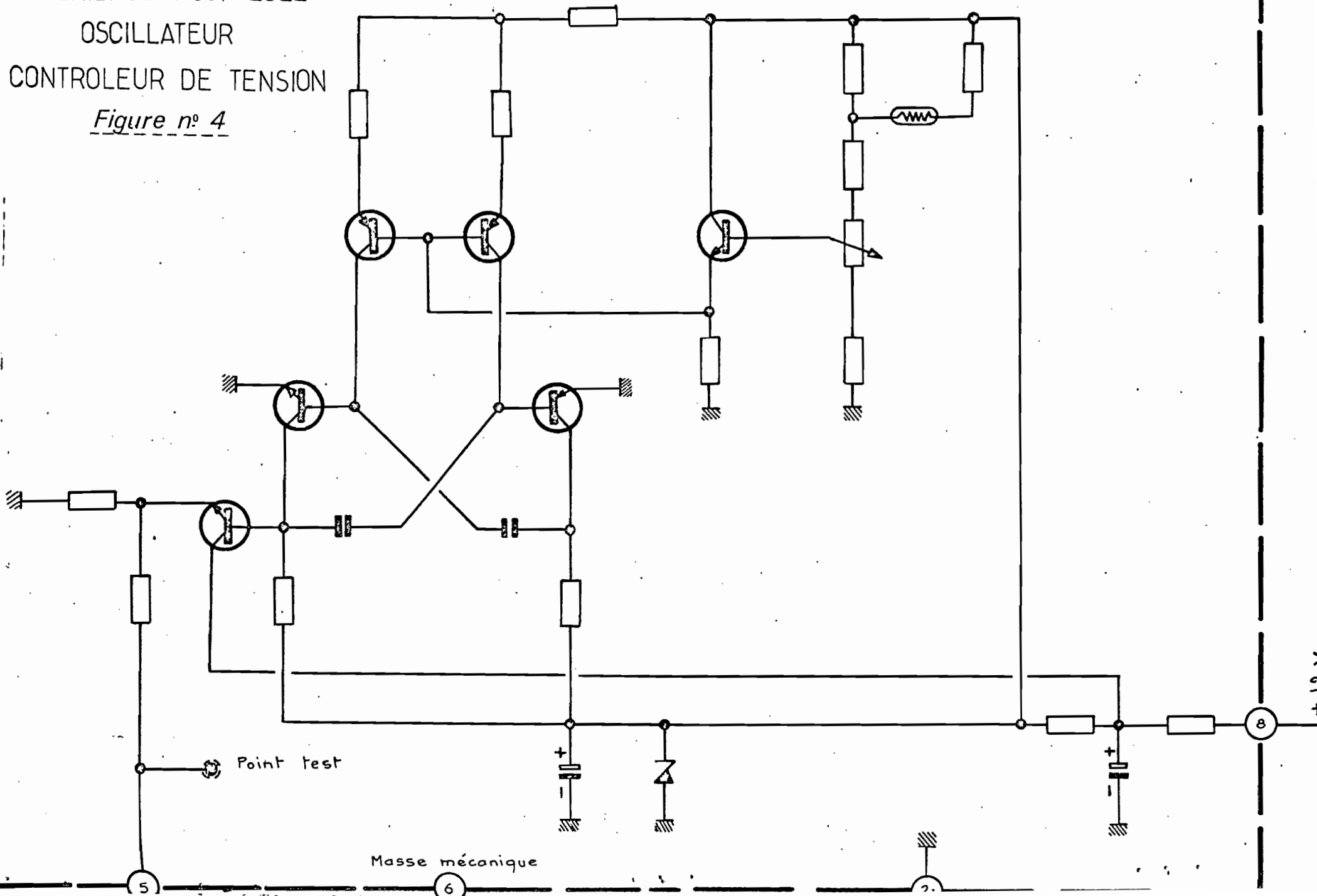
Potentiomètre A.OTT

adapté sur le limnigraphe XX



EXPERIENCE POST-ÉOLE
OSCILLATEUR
CONTROLEUR DE TENSION

Figure n° 4



La fonction de transfert $H = g(F) = g'(F/2)$, H étant la hauteur du plan d'eau et F la fréquence fournie par l'oscillateur au répondeur, doit permettre de faire correspondre à une valeur de F comprise entre 15 et 20 kHz une valeur de H et une seule.

4. Installation - Expérimentation - Résultats

4.1. Installation

Le répondeur et les tiroirs associés ont été placés le 4 Juillet 1973 dans les bureaux climatisés de la section hydrologique à Cayenne, étant donné les spécifications d'ambiance de ces appareils qui ne correspondent pas aux températures et humidités de la Guyane.

L'antenne, installée le même jour au-dessus du toit de ces locaux, a dû être rehaussée le 17 Juillet 1973 pour obtenir un bon bilan de liaison.

La distance entre le réflecteur d'antenne et le toit métallique (qui joue le rôle d'écran) a été fixée à 2 longueurs d'onde (1,50 m) et la longueur du coaxial à 15 mètres environ (qui donne seulement une atténuation de 2,2 dB).

4.2. Etalonnage local

La société A. OTT nous a fourni dans un premier temps un jeu de pignons correspondant à une variation de hauteur de 3,40 m. Celui-ci a été utilisé du 17 au 21 juillet 1973.

Par la suite il nous a été adressé un deuxième jeu qui nous permettait de suivre une amplitude de plus de 10 mètres (amplitude maximale jamais observée jusqu'à ce jour à la plupart des stations hydrométriques guyanaises).

Les deux fonctions de transfert obtenues lors de l'étalonnage du capteur sont linéaires (voir figures n° 5 et 6):

$$H_1 = \frac{F - 15\,212}{1452} \quad \text{pour } 0,00 < H < 3,40 \text{ m}$$

avec $\Delta H_1 \leq 0,3 \text{ cm}$

$$H_2 = \frac{F - 15\,212}{457} \quad \text{pour } 0,00 < H < 10,64 \text{ m}$$

avec $\Delta H_2 \leq 1 \text{ cm}$

ΔH est l'erreur absolue sur les hauteurs, différence entre la hauteur affichée au limnigraphe et la hauteur calculée.

4.3. Transmission par satellite des données

La deuxième phase de l'expérimentation consiste en la comparaison des données premières H avec celles H' correspondant à $F' = \frac{F + \Delta F}{2}$, que transmet le satellite au Centre de Brétigny après enregistrement et mémorisation lors de son passage au-dessus de la station.

Si $H' = g'(F')$, nous constatons que $H' = 0,98H$ pour les deux jeux de pignon (voir figure n° 7) avec une erreur absolue $\Delta H' \leq \pm 5 \text{ cm}$.

4.4. Analyse critique du capteur

4.4.1 - Les principales qualités d'un potentiomètre sont :

- sa robustesse
- sa simplicité
- son insensibilité à l'ambiance
- la linéarité de sa fonction de transfert
- sa précision (erreur inférieure à 1/1000).

De plus le potentiomètre choisi est conçu pour être adapté au type de limnigraphe standard utilisé couramment en hydrologie.

EXPERIENCE POST-EOLE

COURBE DE TRANSFERT $H=g'(F/2)$

(PREMIER JEU DE PIGNON)

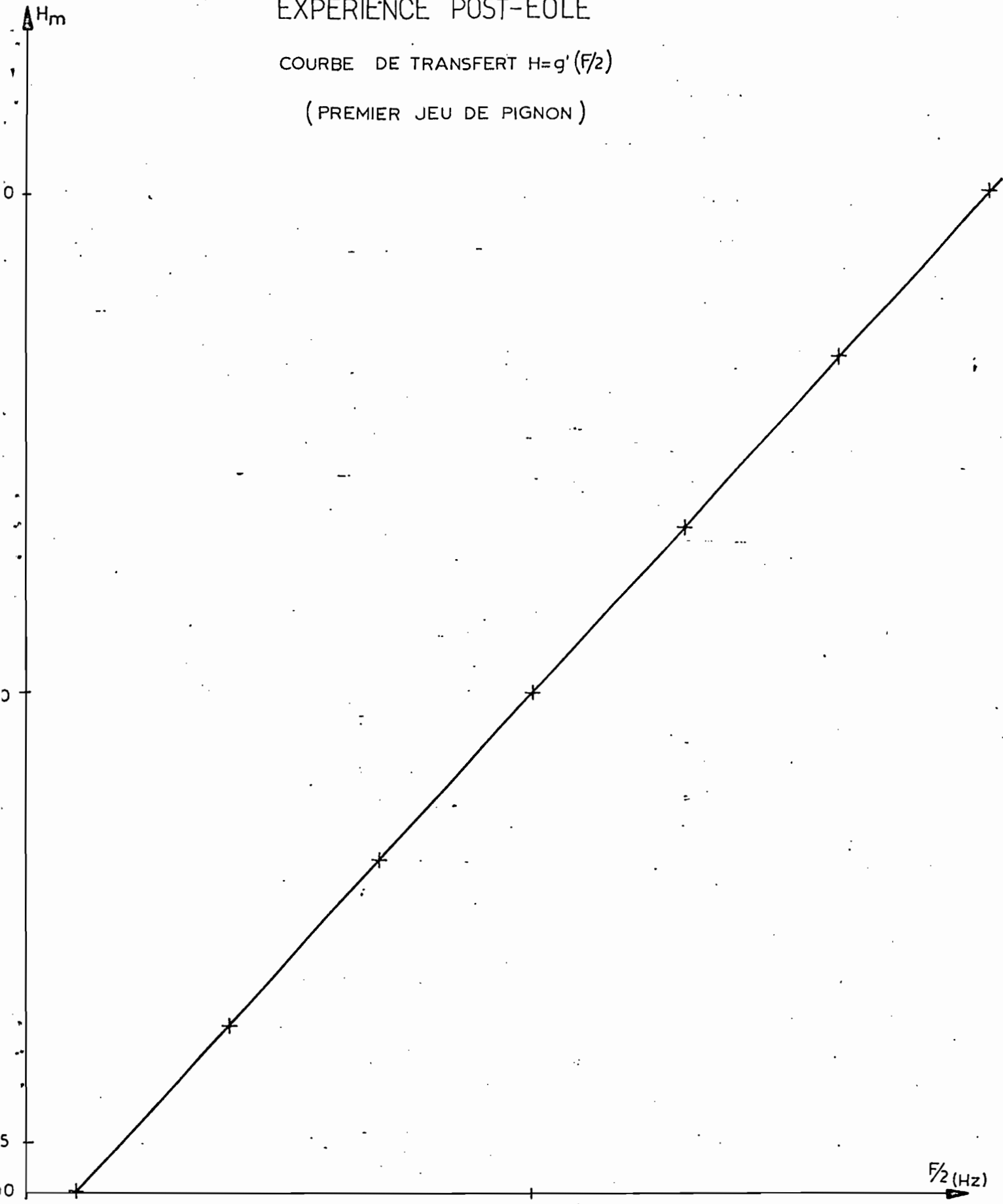
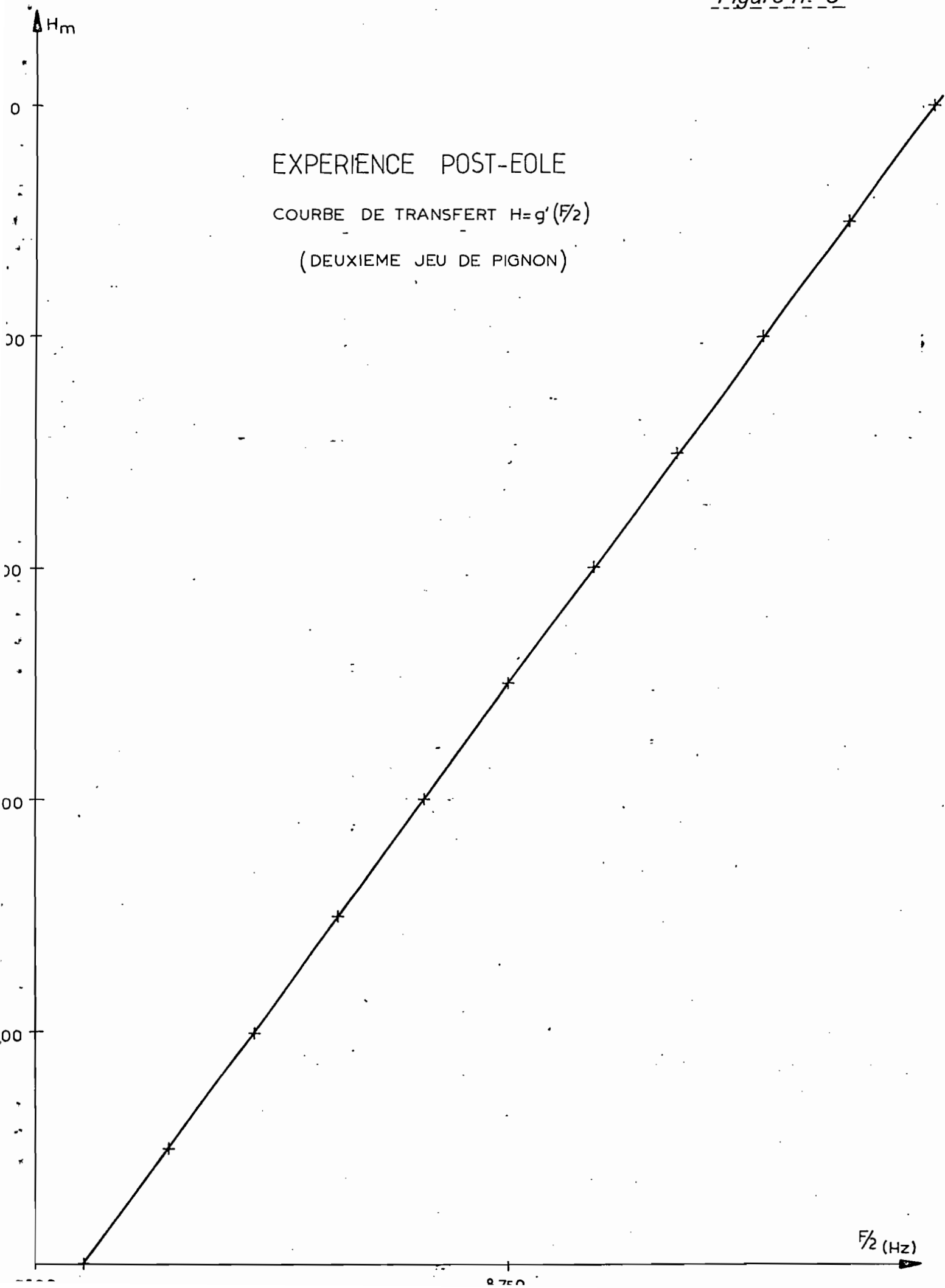
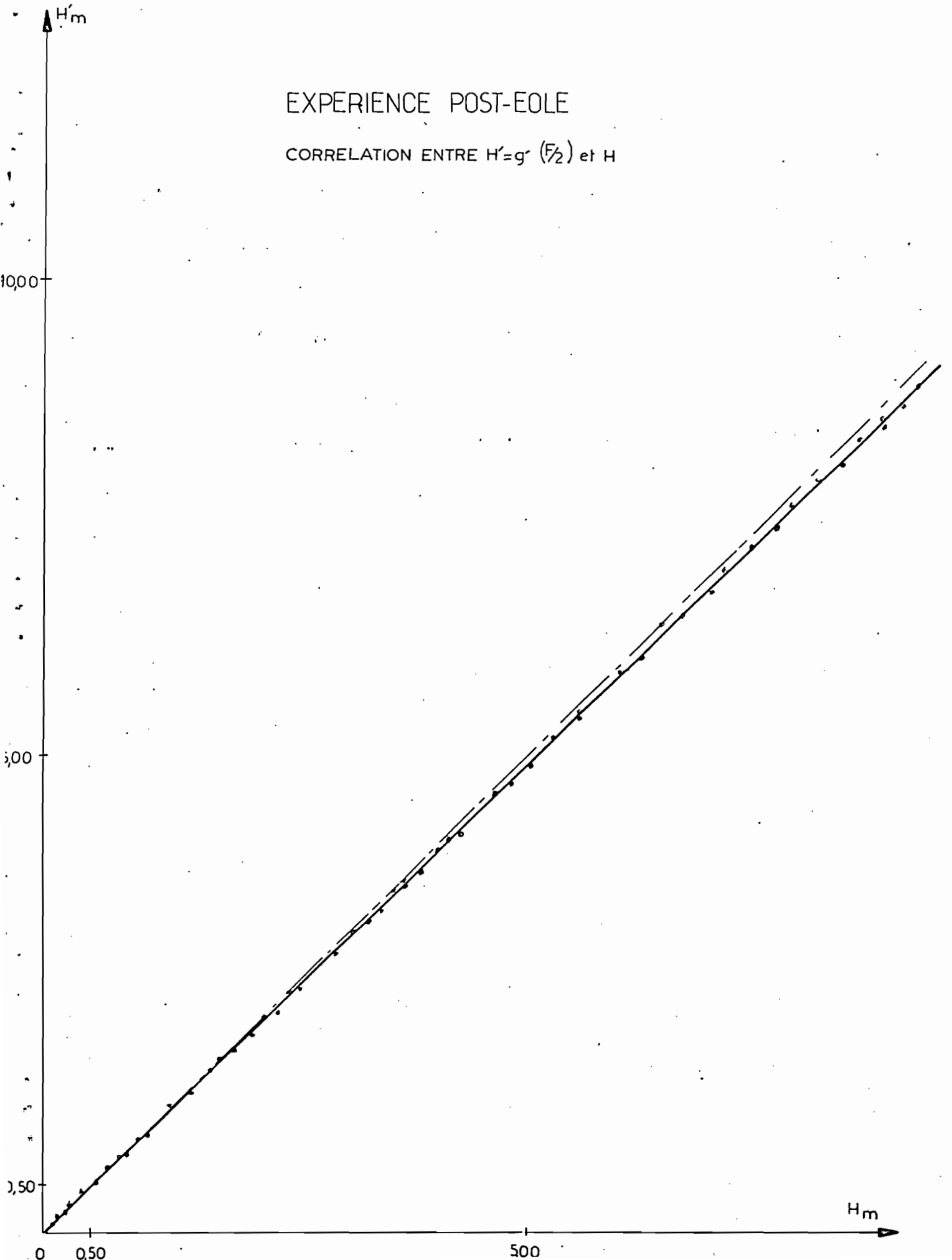


Figure n° 6



EXPERIENCE POST-EOLE

CORRELATION ENTRE $H' = g' (F/2)$ et H



→ Son principal défaut réside dans la définition très stricte de l'amplitude maximale des hauteurs à transmettre, car le système est bloqué lorsque le potentiomètre est en fin de course.

Mais il suffit d'adapter un jeu de pignons approprié à l'amplitude prévisible des hauteurs d'eau pour pallier cet inconvénient.

Alors que l'inertie relativement importante d'un potentiomètre est généralement un défaut, dans le cas qui nous préoccupe, le temps de réponse de l'ensemble capteur-répondeur à une variation brusque de 10 cm de hauteur d'eau, effectuée entre deux interrogations lors d'un passage du satellite, est inférieur à la seconde.

D'autre part il faut appliquer sur la poulie un couple relativement important pour faire mouvoir le potentiomètre. On doit donc envisager l'utilisation d'un flotteur et d'un contrepois plus lourds.

4.4.2 La précision

Nous allons étudier les imprécisions dues à chacun des éléments constitutifs de la chaîne expérimentale : potentiomètre - oscillateur - répondeur - satellite.

4.4.2.1 Le potentiomètre

Les caractéristiques sont données par le fabricant :

Résistance	: 0-1000 Ω
Erreur sur la résistance	: $\pm 5\%$
Résistance d'extrémité	: 0,2 %
Linéarité	: 0,003 %

L'erreur sur la résistance étant constante, il suffit de régler l'oscillateur en conséquence pour l'annuler.

Si l'on excepte l'erreur d'extrémité, qui n'intervient pas si l'on choisit convenablement le rapport des pignons, l'erreur due au potentiomètre est donnée par sa linéarité : $\frac{\Delta R}{R} = 0,003 \%$ si l'on utilise la formule linéaire d'étalonnage $H = g(F) = g_1(R)$ donnée dans le chapitre 4.2.

Avec $R = 1000 \Omega$: $\Delta R = 0,03 \Omega$

Nous avons remarqué que cette incertitude sur la résistance donne lors de l'étalonnage une erreur $\Delta_1 F = \Delta H \times 457 \approx 6 \text{ Hz}$

4.4.2.2. L'oscillateur

La fréquence fournie par l'oscillateur varie de $\Delta_2 F = 20 \text{ Hz}$ environ pour une variation de température de 5°C , écart maximum observé dans les locaux climatisés lors de l'expérience.

4.4.2.3. Le répondeur

L'erreur due au répondeur est liée à la stabilité de la tension d'alimentation. La tension fournie était celle du réseau de Cayenne, que nous pouvons considérer comme constante à $\pm 5 \%$. Et cet écart relatif est absorbé par le répondeur.

4.4.2.4. Le satellite

A bord du satellite, un nombre binaire de 0 à 128 en décimal caractérise la fréquence de 15 à 20 kHz délivrée par le V.C.O. du capteur. Le pas de numération ainsi défini introduit une erreur relative de $\pm \frac{1}{128}$, soit une incertitude

$\Delta_3 F = \pm \frac{5000}{128} = \pm 39 \text{ Hz}$ sur la connaissance exacte de la fréquence-capteur.

4.4.2.5.

Comme l'on raisonne sur les résultats après traitement, et la fréquence transmise par le répondeur étant en réalité la moitié de la fréquence-capteur, ces incertitudes définies plus haut sont à diviser par deux.

$$\text{Nous avons donc } \Delta F' = \frac{\Delta_1 F + \Delta_2 F + \Delta_3 F}{2} = \pm \frac{6+20+39}{2} H_Z = \pm 32 H_Z$$

En utilisant la formule linéaire qui donne H' en fonction de F' :

$$F' = \frac{F}{2} :$$

$$\begin{aligned} \Delta H' &= \frac{\Delta F'}{457} \quad (\text{en mètres}) \\ &= \pm 7 \text{ cm} \end{aligned}$$

L'incertitude expérimentale $\Delta H' \leq \pm 5 \text{ cm}$ est donnée en 4.3 est compatible avec l'incertitude maximale théorique de 7 cm.

Remarque :

Nous n'avons pu trouver les raisons pour lesquelles nous avons

$$\frac{H'}{H} = 0,98 \quad (\text{figure n° 7})$$

Elles pourraient être dûes :

- à un mauvais étalonnage du fréquencemètre utilisé pour l'étalonnage local (ce n'est pas le cas).
- à un changement de la tension continue d'alimentation du V.C.0 (12 volts) Cela est exclu : la source de 12 volts est stabilisée par une diode et une résistance de 12 000 ohms.
- à une erreur systématique de numérisation du satellite où à une dérive de son horloge.
- enfin, à une erreur de calcul due au centre de traitement.

5. Conclusion

5.1 Les résultats obtenus démontrent que l'expérience a été probante : la comparaison des données enregistrées avec celles que transmet le satellite le montre bien. Et le capteur donne entière satisfaction, aussi bien en précision qu'en stabilité.

- D'autre part la cadence et la régularité des données fournies correspondent au problème posé.

En effet le satellite effectue quatre passages en 24 h au-dessus de la station, à des azimuts variables. Seuls des azimuts élevés ($\alpha \gtrsim 20^\circ$) permettent une bonne transmission, car lorsque le satellite est trop bas au-dessus de l'horizon, le message donne une fréquence-plancher caractéristique du non-enregistrement par le satellite. On obtient en général une à deux valeurs vraies par 24 h, ce qui, dans le cas des rivières de Guyane soumises à des variations quotidiennes peu importantes, suffit pour déterminer les caractéristiques hydrologiques de leur régime.

- Il se peut que, lors de certaines périodes, il ne soit pas possible d'obtenir de données. Ce sont les périodes de "plein-soleil" pendant lesquelles le satellite est surchauffé, et les périodes de vérification de bon fonctionnement.

Mais ces périodes sont relativement courtes et peu fréquentes.

5.2 Il est certain que les conditions d'utilisation réelles du répondeur ne sont pas celles de cette expérience. :

- Les spécifications d'ambiance très restrictives du seul répondeur disponible ne nous ont pas permis d'installer l'ensemble sur une station du réseau, en liaison avec un limnigraphe fonctionnant effectivement.

Pour que les résultats de l'expérience soient entièrement probants, il aurait fallu disposer d'un répondeur supportant des températures de 15 à 45° C, et des humidités de 40 à 100%.

Un répondeur de ce type aurait été alimenté par une batterie en cadmium-nickel de 12 volts, et l'antenne fixée sur l'un des poteaux du mirador utilisé sur nos stations pour l'installation du limnigraphe.

- D'autre part l'encombrement important du répondeur de nacelle fixe utilisé est dû aux tiroirs périphérique et d'enregistrement, qui ne sont pas nécessaires à une station fixe de collecte de données.
- Enfin la fréquence donnée par l'oscillateur variant de 20Hz environ pour une variation de température de 5° C, son adaptation aux conditions ambiantes devrait être obtenue par introduction d'une thermistance appropriée.

5.3 Ce système de télétransmission permettrait aussi de résoudre trois problèmes majeurs :

a) Non-enregistrement des hauteurs d'eaux

Les non-enregistrements limnigraphiques sont dus dans la plupart des cas, soit à un arrêt du mouvement d'entraînement du limnigramme, soit à une non-rotation de la poulie qu'entraîne le flotteur.

Dans les deux cas, le procédé de télétransmission par satellite permettrait de pallier ces défauts.

En effet :

- Malgré l'arrêt du mouvement d'entraînement, les variations de hauteurs d'eau sont toujours transmises
- lorsque la poulie, bloquée, ne transmet plus le mouvement des eaux au potentiomètre, il est facile, de Cayenne, de se rendre compte dans un délai relativement court du non-fonctionnement de l'appareil en comparant les données, restées constantes à cette station, à celles des stations les plus proches (qui doivent connaître, dans la même période, des variations du plan d'eau).

b) Alerte de crue

Il est possible d'obtenir des corrélations entre les crues maximales annuelles relevées à deux stations situées sur un même cours d'eau. Sachant qu'à la station aval la cote d'alerte est de tant, et connaissant le temps de propagation de l'onde de crue entre les stations, il suffit de suivre les variations de cote aux stations amont, pour être averti très rapidement (quelques heures après réception à Brétigny d'une fréquence d'alerte) du dépassement prévisible de la cote d'alerte à la station aval.

c) Pluviométrie

On peut aussi envisager la mesure des pluies (et leur télé-transmission) par l'installation d'un flotteur de limnigraphe dans la cuve du pluviomètre.

6. Extension de l'expérimentation

D'autres paramètres hydrologiques pourraient faire l'objet d'une télé-transmission par satellite. Nous pensons en particulier aux températures, turbidités et salinités des eaux estuariennes.

En effet la Section Hydrologie a déjà entrepris depuis octobre 1974³ des campagnes de prélèvements d'échantillons d'eaux sur les estuaires de l'Approuague et du Mahury pour l'étude de ces paramètres.

Il serait intéressant de poursuivre cette étude en installant en poste fixe des capteurs pour l'obtention en continu des variations de ces données estuariennes.

Pour obtenir ces données dans les meilleurs délais, nous avons envisagé d'étudier les possibilités de leur télétransmission par satellite, donc de concevoir et de réaliser un capteur susceptible de les détecter sur le terrain et de les transformer en fréquence de caractéristiques données. L'appareil "Martek" de mesure "in situ" de température, de turbidité et de salinité conviendrait si l'on pouvait lui adapter un oscillateur contrôleur de tension.

Le mesureur d'oxygène dissous "Martek" que nous possédons au Centre de Cayenne ayant les mêmes caractéristiques, nous cherchons, en liaison avec le Centre de poursuite des satellites de Kourou, à lui adjoindre un V.C.O. de même type que celui que nous utilisons avec le potentiomètre.

Bibliographie

- Le Programme Eole-Synthèse d'ensemble Tome V : Expérience Post-Eole (CNES-SODETEG), utilisé largement pour les chapitres 2 et 3.
- Utilisation du satellite Eole pour la collecte et la transmission des données pluviométriques et limnimétriques, par R. CHARTIER.