

O.R.S.T.O.M.

CENTRE DE BRAZZAVILLE

MEASUREMENTS PLUVIOMETRIQUES ET
LIMNIMETRIQUES PAR SATELLITE

Par

R. CHARTIER
R. GATHÉLIER
M. MOLINIER

25 MAI 1976

O. R. S. T. O. M.

Brazzaville, Mai 1974

Collection de Référence

nr. B 8487 Hyd

Directeur Lydas

21444

S O M M A I R E

	page
Chapitre 1 - INTRODUCTION	2
Chapitre 2 - DESCRIPTION SOMMAIRE DU PROJET EOLE	3
2.1. Mission météorologique principale	3
2.2. Balises de collecte	3
Chapitre 3 - FONCTIONNEMENT DU SYSTEME EOLE	4
3.1. Fonctionnement de l'ensemble	4
3.2. Fonctionnement du répondeur	5
3.3. Performances	5
3.4. Délai de restitution des données	6
Chapitre 4 - EXPERIENCE REALISEE AU CONGO	7
4.1. Chronologie de l'expérience	7
4.2. Equipement réalisé	8
4.3. Etalonnage des capteurs	12
4.4. Résultats acquis	13
Chapitre 5 - CONCLUSION	25

Chapitre 1 - INTRODUCTION.

Depuis quelques années divers projets d'utilisation des satellites dans les mesures hydrométéorologiques ont été entrepris, notamment aux U.S.A. Les projets utilisent principalement les renseignements transmis par les photographies effectuées à partir des satellites météorologiques. Ces procédés paraissent particulièrement prometteurs dans le cas où les stations de mesures sont d'accès difficile. En effet, aucun déplacement n'est nécessaire et les délais de transmissions sont très courts. Malheureusement, la photographie ne donne que des renseignements assez succincts et souvent peu précis. Il est, en particulier, impossible de transmettre par cette voie les hauteurs pluviométriques et limnimétriques, et donc d'utiliser un tel dispositif pour la prévision des crues.

En mai 1972, à la fin de l'expérience primitive "EOLE", le CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES (CNES) proposait de mettre à la disposition de l'ORSTOM, à titre gracieux, quelques-unes des voies rendues libres à la suite de la destruction accidentelle de quelques dizaines de ballons.

Dès le mois d'août 1972, l'expérience commençait à Brazzaville, puis en brousse, par la mise au point d'un télépluviomètre. En 1974, un dispositif de télélimnimétrie, utilisant le même matériel a été rajouté au premier ~~dispositif~~.

Le présent rapport expose les principes de fonctionnement de ces dispositifs, les résultats obtenus, les difficultés rencontrées et les perspectives envisagées.

Le télépluviomètre est basé sur la mesure de la réflectivité de la pluie à l'aide d'un radar météorologique. Le télélimnimètre est basé sur la mesure de la réflectivité de la surface de l'eau à l'aide d'un radar météorologique.

Les résultats obtenus montrent que ces dispositifs sont capables de fournir des renseignements précieux sur les précipitations et les niveaux d'eau, en particulier dans les zones où les stations de mesures sont rares.

Chapitre 2 - DESCRIPTION SOMMAIRE DU PROJET EOLE.

2.1. Mission météorologique principale.

Dans un premier temps, le programme EOLE avait pour but d'observer les mouvements de l'atmosphère, dans l'hémisphère Sud, à un certain niveau de référence. Le satellite interrogeait une flottille de ballons qui lui transmettaient, en plus de quelques paramètres physiques (télémessures scientifiques), leur localisation exacte (télémessures de servitudes). Les données collectées étaient recueillies par six stations du CNES et ensuite acheminées vers le centre de BRETAGNE pour y être traitées.

Dans un second temps, EOLE interrogeait et localisait des répondeurs dérivant en mer (bouées, icebergs, ou navires).

Le satellite a été lancé le 16 août 1971 depuis WALLOPS-ISLAND (USA). L'orbite circulaire de 900 km d'altitude (Périgée : 899,9 km - Apogée : 901,3 km) et de 47° d'inclinaison, parcourue en 103 minutes, permet d'assurer une couverture entre 60° S et 60° N.

2.2. Balises de collecte.

Les répondeurs se présentent sous deux formes :

- Nacelle de ballon : l'électronique est logée dans un cylindre de carton phénolique argenté de 2 m de long et de 71 mm de diamètre. L'alimentation est assurée par des batteries rechargées à partir d'un générateur solaire.

- Répondeur en tiroir : il se présente sous la forme d'un tiroir de 483 mm de largeur, 222 mm de hauteur et 500 mm de profondeur. L'alimentation se fait en 12 volts continu, 127 V ou 220 V alternatif.

Dans les deux cas, les circuits sont les mêmes mais les répondeurs en tiroir admettent une entrée capteur supplémentaire (quatre en tout). De plus ces derniers permettent un cycle de recherche de l'émission satellite plus rapide que les nacelles (6.5 secondes au lieu de 26.5 secondes).

Chapitre 3 - FONCTIONNEMENT DU SYSTEME EOLE.

Le programme de travail du satellite est établi au Centre de BRETAGNE et lui est transmis à partir des stations du réseau.

3.1. Fonctionnement de l'ensemble.

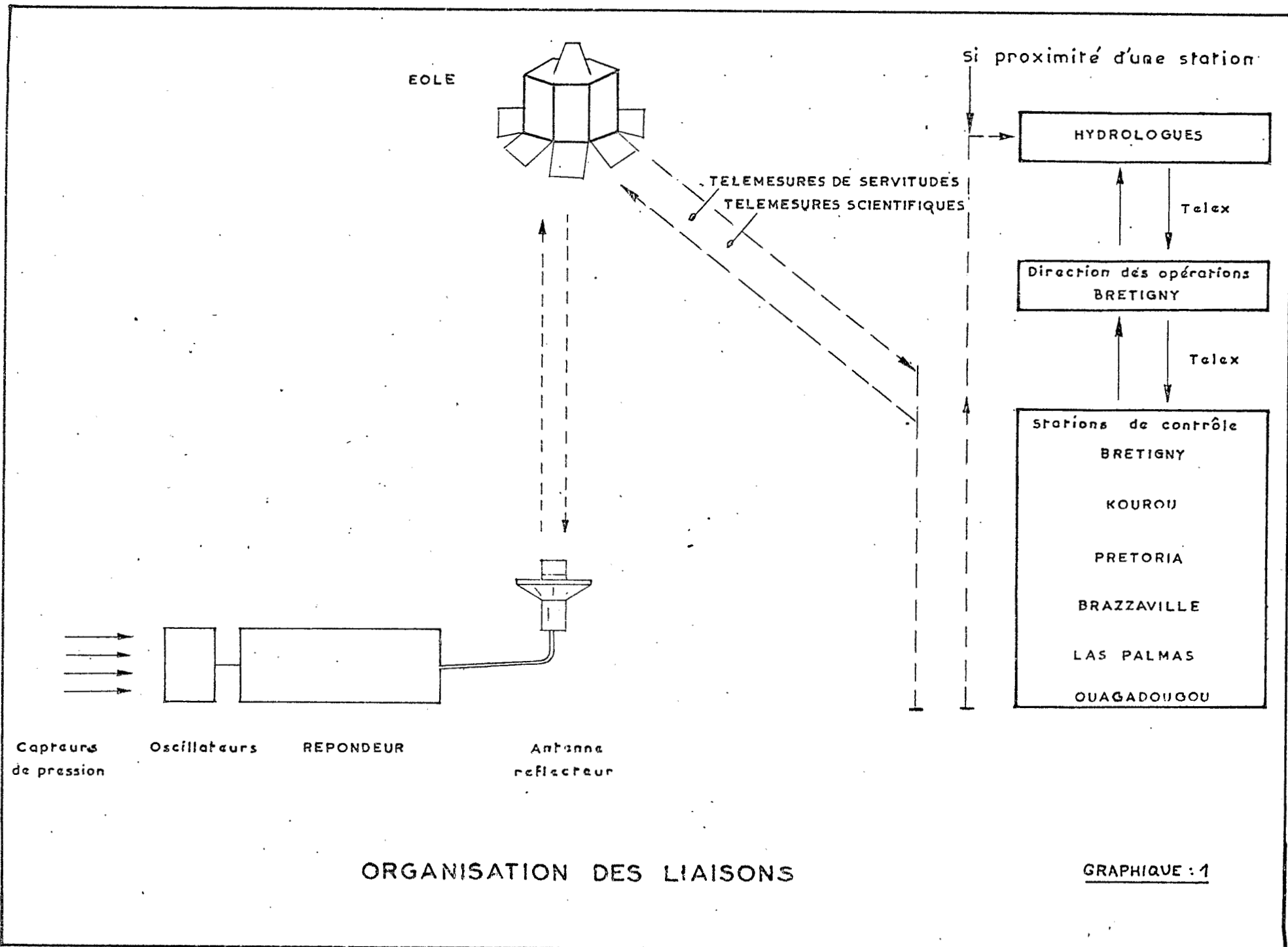
Le satellite émet en permanence la porteuse UHF (464 MHz). A l'instant prévu par le programme de travail du satellite celui-ci envoie l'adresse codée de la balise à interroger. Lorsque celle-ci a reconnu son adresse, elle la retransmet immédiatement ainsi que les signaux de localisation et enfin les télémessures scientifiques. Le message enregistré dans la mémoire du satellite est de 131 bits par interrogation.

La couverture assurée dépend de la latitude de la balise et du site minimum auquel la liaison est possible. Le tableau suivant donne le temps moyen de visibilité et le nombre moyen de passage par 24 heures pour des sites minima de 10° et 20° et pour des latitudes de 0°, 20° et 40°.

Latitude	Site minimum	Temps moyen de visibilité par passage	Nombre moyen de passage par 24 h
degrés	degrés	minutes	
0	10	9,60	4,32
20		9,44	5,21
40		10,81	6,31
0	20	6,8	3,03
20		6,8	3,54
40		7,7	5,41

Le message d'interrogation peut comporter un ordre de destruction qui peut être utilisé dans une autre but par les balises.

Le graphique 1 donne le principe de l'organisation des liaisons répondeur - satellite - stations de contrôle.



ORGANISATION DES LIAISONS

GRAPHIQUE : 1

3.2. Fonctionnement du répondeur.

Hors de la présence satellite, le répondeur est en phase de veille pulsée (repos). Sa consommation est des 0,006 W. Toutes les 25 secondes pour les nacelles, ou toutes les 5 secondes pour les répondeurs en tircoir, la balise recherche l'émission du satellite pendant 1,5 s ; la consommation passe alors à 0,450 W.

Deux cas peuvent se présenter lors de la présence du satellite :

- 1) Le répondeur a reconnu EOLE, il entre en phase "éveil". S'il ne reconnaît pas son adresse il retombe en phase "veille pulsée" jusqu'au prochain passage.
- 2) EOLE a reçu l'ordre d'interroger le répondeur qui reconnaît alors son identité. Le dialogue s'établit. C'est la phase "acquisition - émission". Au cours de la réception (durée : 42 ms) la consommation est de 1,15 W et au cours de l'émission (durée : 0,583 ms) la consommation est de 18 W (cf schéma de consommation graphique 2). L'interrogation se poursuit pendant toute la durée de passage du satellite. Nous avons pu observer jusqu'à 33 réponses.

3.3. Performances.

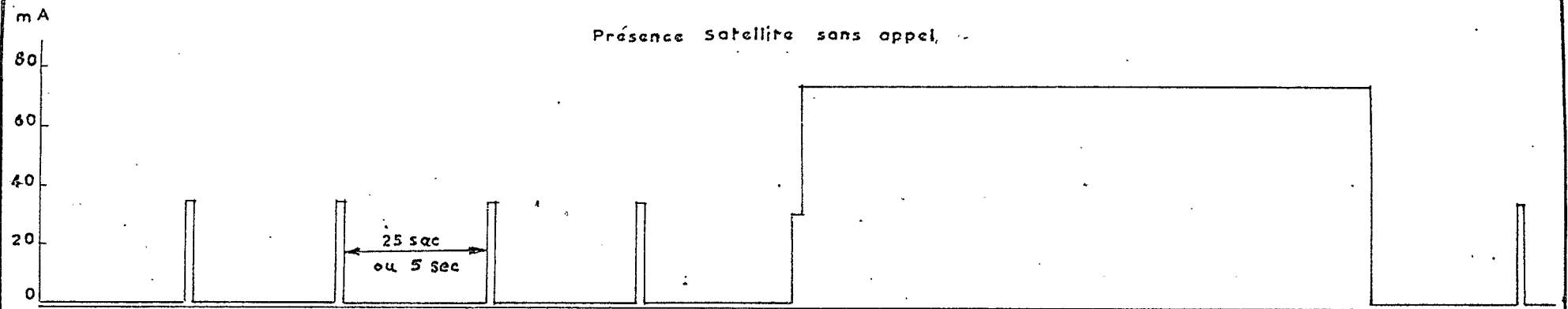
3.3.1. Consommation.

La consommation moyenne est de 32 m W pour un cycle de recherche de 26,5 S et de 110 m W pour un cycle de 6.5.S. La consommation de pointe est la même pour chacun des cycles : 18 W pendant 0.58_{ms}.

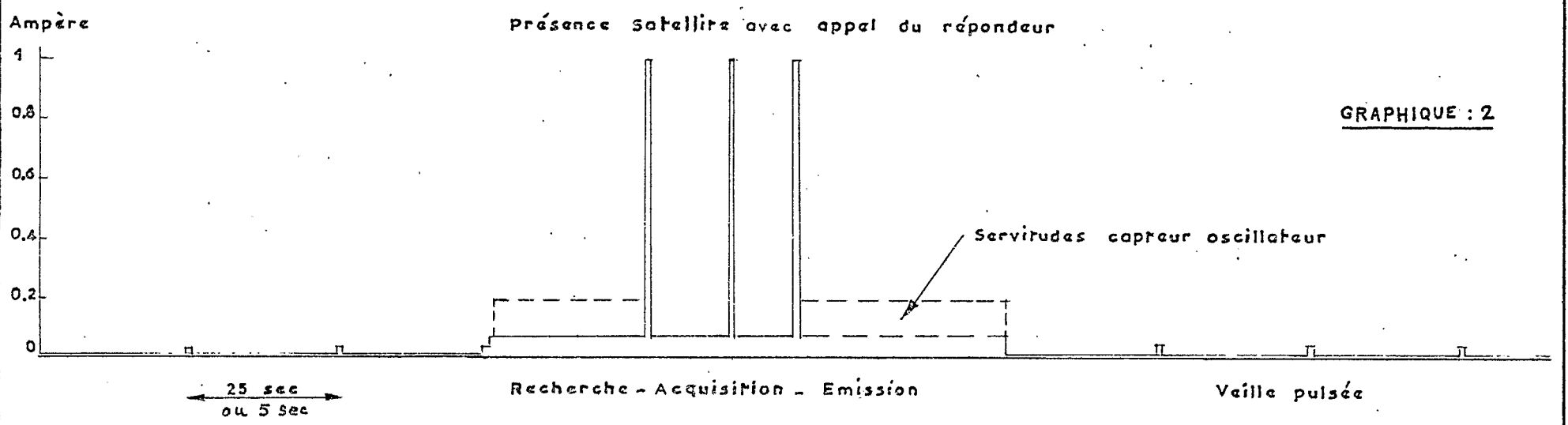
3.3.2. Signaux d'entrée.

Le signal délivré par le capteur est un signal périodique à tension positive et de forme compatible avec les conditions suivantes :

- Fréquence fondamentale entre 15 et 20 KHz
- Maximum compris entre 2 et 4,5 V pendant 5 μ s



Veille pulsée Recherche Veille pulsée



GRAPHIQUE : 2

DIFFERENTES PHASES DU FONCTIONNEMENT ET CONSOMMATION D'UN REPONDEUR

- minimum entre 0 et 0.8 V pendant 5 μ s
- résistance interne du capteur $\leq 1 \text{ K}\Omega$

La précision de la lecture des retransmissions est de 50 Hz.

3.3.3. Spécifications d'ambiance.

La température doit être comprise en fonctionnement entre 0°C et 30°C et l'humidité inférieure à 95 %.

Au-dessus de 30°C, les performances du répondeur ne sont pas garanties, sans que l'on sache exactement comment il se comporte.

3.3.4. Précision des paramètres transmis.

La quantification effectuée dans le satellite introduit une erreur de 1 % à l'échelle de mesure. Cette précision n'est garantie sur le paramètre physique mesuré que si la fonction de transfert paramètre physique - fréquence de mesure est suffisamment proche de la linéarité.

3.4. Délai de restitution des données.

Les informations collectées sont retransmises à BRETIGNY dans un délai allant de quelques minutes à une heure dans notre cas. Les données peuvent être envoyées à l'utilisateur après traitement sur ordinateur dans un délai de une heure lors de l'emploi d'un TELEX.

Chaque station du CNES peut décommuter la mémoire et retransmettre immédiatement les informations au destinataire. Cette possibilité a été très largement utilisée lors de la première phase de l'expérience en mai 1973. Le centre spatial de Brazzaville décommutait au passage la mémoire du satellite et nous transmettait les résultats par liaison radio. Ceci permettait de vérifier sur place le bon fonctionnement du dispositif.

Chapitre 4 : EXPERIENCE REALISEE AU CONGO.

4.1. Chronologie de l'expérience.

L'expérience a débuté en octobre 1972, d'abord dans les locaux du CNES à BRAZZAVILLE où une simulation pluviométrique a donné entière satisfaction. Tout le matériel a ensuite été transféré sur le bassin versant de la COMBA à 150 km de Brazzaville.

L'expérience a été arrêtée en décembre 1972 ; un des circuits du répondeur étant défaillant. Après appel du satellite, le répondeur restait en phase "éveil" au lieu de revenir en phase "veille pulsée".

Le même répondeur a été remis en place en avril 1973 après réparation et modification. Le tiroir étanche a été fermé en laboratoire et placé dans un container dans le couvercle duquel les différentes connexions passaient par des "traversées étanches". Des résultats ont montré que le "capteur de pression" ne donnait pas entière satisfaction. Celui-ci, ainsi que l'oscillateur ont été remplacés en novembre 1973.

Malgré de nombreuses défaillances, dues à la nécessité d'adapter un matériel qui n'était pas prévu à cette fin, l'expérience s'est poursuivie jusqu'à la fin du mois de mars 74, date à laquelle le CNES a cessé de nous faire parvenir les résultats. A la fin du mois d'avril le répondeur et l'antenne ont été démontés pour être restitués au CNES à sa demande.

Il est regrettable, que l'expérience se soit arrêtée si tôt. Car après de nombreux tâtonnements nous avons réussi à mettre au point, en avril, un ensemble qui semblait donner des valeurs beaucoup plus précises. Malheureusement faute de résultats il nous est impossible d'en tirer des conclusions.

En janvier 1974, l'expérience a été complétée par la mise en place d'un télélimnimètre installé à proximité du télópluviomètre et utilisant le même équipement satellite.

4.2. Equipement réalisé.

L'équipement au sol, fourni par le CNES, comporte un répondeur (répondeur en tiroir dans notre cas) et son antenne. Ce répondeur comporte quatre entrées - capteurs.

Nous avons vu que la fréquence du signal doit être comprise entre 15 et 20 KHz. Il restait donc, à partir du matériel déjà existant, à réaliser un ensemble capable de transformer des hauteurs de pluie ou les hauteurs d'eau d'une rivière en fréquence admissibles par le satellite.

Le capteur doit donc se composer :

- d'une part, d'un détecteur sensible au paramètre physique à mesurer
- d'autre part, d'une électronique élaborant un signal dont la période mesure le paramètre recherché. Il s'agit donc d'un oscillateur à fréquence variable commandé par le détecteur.

4.2.1. Détecteur pluviométrique.

Celui-ci doit transformer les hauteurs de précipitations en un signal électrique capable de faire varier, dans la gamme de mesure, la fréquence de l'oscillateur entre 15 et 20 KHz.

Le pluviomètre réalisé est un totalisateur de 2.50 m de haut avec amplification au dixième (1 mm de pluie correspond à 10 mm dans le totalisateur). Un niveau visible permet de contrôler la qualité des mesures. Un siphon auto-amorçable permet de vidanger, en 3 minutes, l'appareil lorsqu'il est plein (cf graphique 3).

Dans ce cas particulier, le détecteur pouvait être un "capteur de pression" qui donne directement la hauteur d'eau dans le pluviomètre :

Deux types de détecteurs ont été utilisés au cours de l'expérience :

- dans un premier temps il s'agissait d'un appareil fabriqué par CMR dont le principe est le suivant : un soufflet se déforme sous l'action de la pression à mesurer, il agit alors sur un petit noyau qui fait varier le coefficient d'induction mutuelle de deux bobines. Un deuxième soufflet, relié à la pression ambiante, compense la pression atmosphérique agissant sur la colonne d'eau. Ce détecteur fournissait donc une tension alternative variable. La gamme de mesure était de 0 à 0.25 bar, soit une hauteur de 2.50 m pour la colonne d'eau.

- un deuxième détecteur a remplacé le précédent en novembre 1973. Le principe de fonctionnement est identique. Cependant, au lieu d'agir sur un noyau, les soufflets font varier un potentiomètre. La gamme de mesure s'étend de 0 à 2,40 m pour une valeur de la résistance de sortie variant de 27 Ohms à 940 Ohms.

4.2.2. Détecteur limnimétrique.

Le télélimnimètre fonctionne sur le même principe que le télépluviomètre. Il utilise une des trois entrées - capteurs restées libres.

Le détecteur est un potentiomètre monté en bout de l'axe de la poulie de réduction d'un limnigraphe OPT X. Un système de démultiplication permet d'enregistrer des hauteurs variant de 0 à 7,20 m. Cependant un choix judicieux des roues dentées peut permettre d'obtenir une gamme assez étendue de cette amplitude en fonction des caractéristiques du cours d'eau.

En raison du choix très restreint de matériel offert par le marché local, les liaisons mécaniques, très lâches, furent à l'origine de nombreuses difficultés et de la dispersion des résultats comme nous le verrons par la suite.

Notre but étant de ne pas trop compliquer les manipulations et la réalisation de l'oscillateur, nous avons essayé d'adapter les montages déjà existants aux nouveaux problèmes, et donc d'utiliser un potentiomètre. Ce système avait, de plus, l'avantage d'être monté sur un limnigraphe ce qui permettait de suivre lors de la phase expérimentale, les variations de la fonction hauteur d'eau/temps et ainsi de bien situer chaque valeur dans le temps.

4.2.3. Les oscillateurs.

Dans les deux montages utilisés, l'élément "variateur de fréquence" est composé de deux diodes VARICAP, dont la particularité est de se comporter comme un condensateur variable. L'oscillateur est un oscillateur classique avec c.o. dans le collecteur. Les diodes VARICAP se trouvent en parallèle sur le c.o. Il est donc très facile de faire varier la fréquence sachant que :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

et $C = C_1 + C_2$
où C_1 a une valeur constante (condensateur du circuit oscillant) et C_2 a une valeur variable (capacités des varicaps).

$$C_2 = \frac{k}{\sqrt{|V|}}$$

Il suffit donc d'appliquer sur les varicaps une tension variable pour avoir une excursion en fréquence. Cette tension est fournie par le ~~capteur de~~ ^{détecteur} ~~pression~~ dont la résistance est insérée dans un montage à transistors classiques.

L'ensemble oscillateur du télépluviomètre comprend :

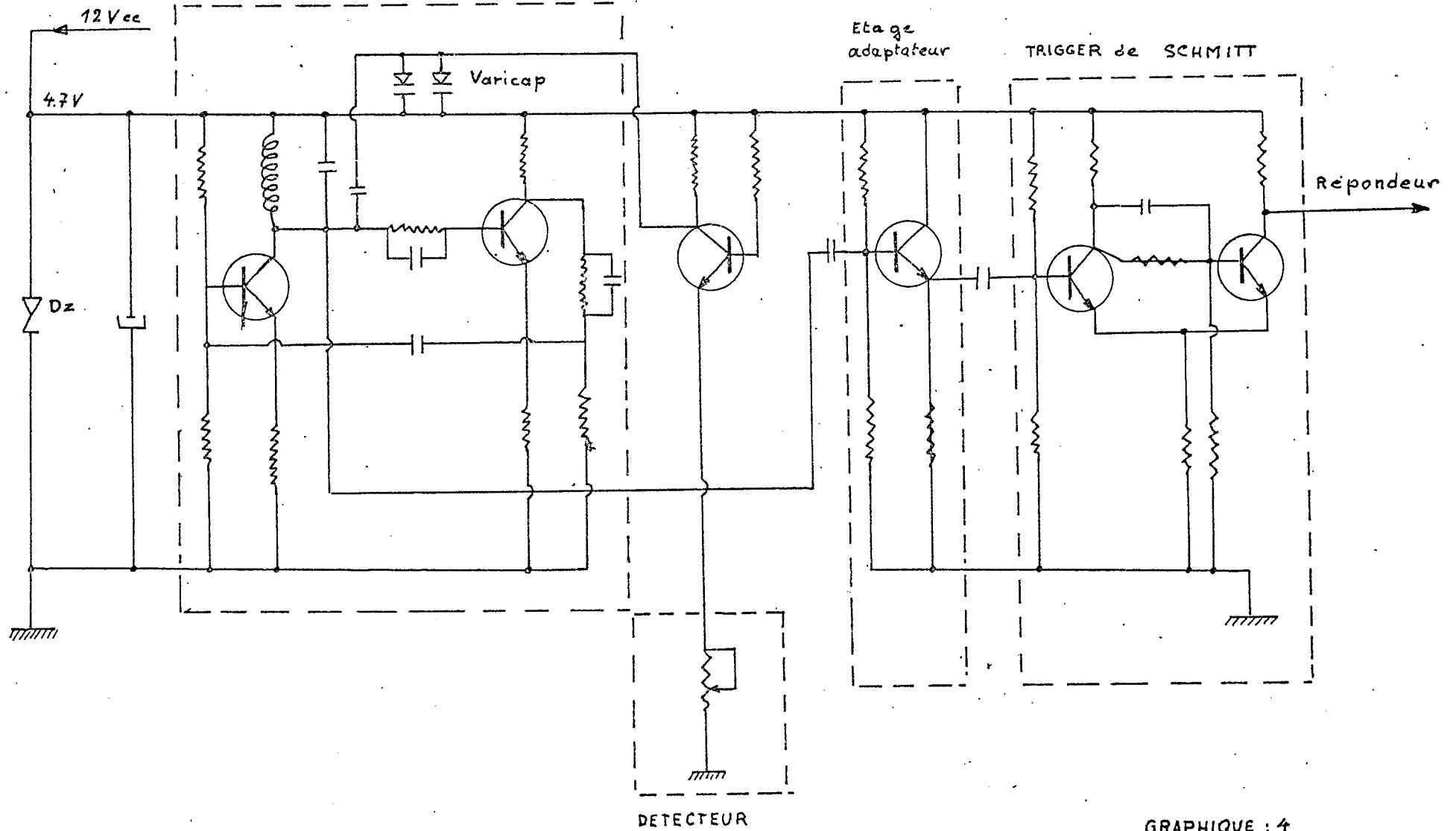
- 1°) Un oscillateur classique délivrant une tension sinusoïdale d'amplitude suffisante et de fréquence initiale stable (50 Hz de variation). Le manque de temps nous a empêché de tester notre matériel (risques d'une dérive en fréquence due aux conditions du milieu) et d'en trouver les défauts. Cependant le principe lui-même reste valable.
- 2°) La partie commande en fréquence est constituée d'un montage classique à transistors avec dans le circuit le potentiomètre du ~~capteur de pression~~ détecteur.
- 3°) Un étage séparateur évitant une interaction entre l'oscillateur proprement dit et les étages suivants.
- 4°) Un trigger de SCHMITT qui transforme les signaux sinusoïdaux en signaux rectangulaires appliqués à une entrée - capteur du répondeur.

L'oscillateur du télélimnimètre diffère du précédent par l'adjonction de deux étages supplémentaires.

Pour des raisons matérielles, il n'a pas été possible de construire une self de valeur identique au premier montage. Finalement, la fréquence obtenue était double de celle du premier étage. Il a donc fallu ajouter, en sortie du trigger, un diviseur de fréquence et à l'étage final mettre un montage adaptateur d'impédance afin que le signal reçu par le répondeur ne soit pas déformé et ainsi éviter un retour d'information nulle.

Cet oscillateur a l'avantage de présenter une meilleure stabilité en fréquence que celui du télépluviomètre, par suite de l'adjonction d'un diviseur de fréquence.

SCHEMA DE L'OSCILLATEUR DU TELEPLUVIOMETRE



GRAPHIQUE : 4

4.2.4. Alimentation.

Le répondeur et les oscillateurs sont alimentés à partir d'une batterie de 12 volts. Chaque oscillateur comprend une alimentation stabilisée par diode ZENER qui permet d'obtenir une bonne stabilité dans le montage. Dans des conditions extrêmes (batteries déchargées ou à pleine charge) les variations de tension aux bornes de la diode ZENER ne dépasse pas 7 %.

Contrairement à la consommation du répondeur qui est minime, celle du détecteur et de l'oscillateur est très importante. Cet équipement étant destiné à rester sur le terrain pendant une période assez prolongée, il était nécessaire de limiter cette consommation. Dans ce but, les capteurs ont été connectés à partir d'un circuit du répondeur qui ne fonctionnait que lors de la présence du satellite.

4.3. Etalonnage des capteurs.

Pour le télépluviomètre, aussi bien que pour le télélimeimètre, l'étalonnage des ensembles capteurs a, tout d'abord été réalisé à Brazzaville afin de tester les montages et de connaître l'allure de la fonction de transfert. Cet étalonnage s'effectuait directement dans un local climatisé, sans passer par les transmissions satellite.

Le graphique 5 donne les courbes ainsi obtenues pour les deux dispositifs de télésures. Pour le télépluviomètre il y eut deux étalonnages, l'un en novembre 1973 et l'autre en janvier 1974 après modification de l'oscillateur. Ce graphique montre que seul l'étalonnage de novembre 73 est satisfaisant parce que proche de la linéarité. Cependant il s'est avéré que ce capteur était trop sensible aux conditions du milieu, comme nous le verrons par la suite. Dans le deuxième étalonnage la fonction de transfert pluviométrie/fréquence est très éloignée de la linéarité. Ceci peut expliquer, tout au moins en partie, la dispersion des points que nous avons obtenu sur le terrain. L'étalonnage du télélimeimètre semble beaucoup plus satisfaisant.

250

hauteur de pluie (mm)

ETALONNAGES

Hauteur d'eau (m)

- | | | |
|---|---------------|---------|
| Δ | : pluviomètre | Nov 73 |
| x | : " | Janv 74 |
| ● | : limnimètre | Janv 74 |

200
150
100
50

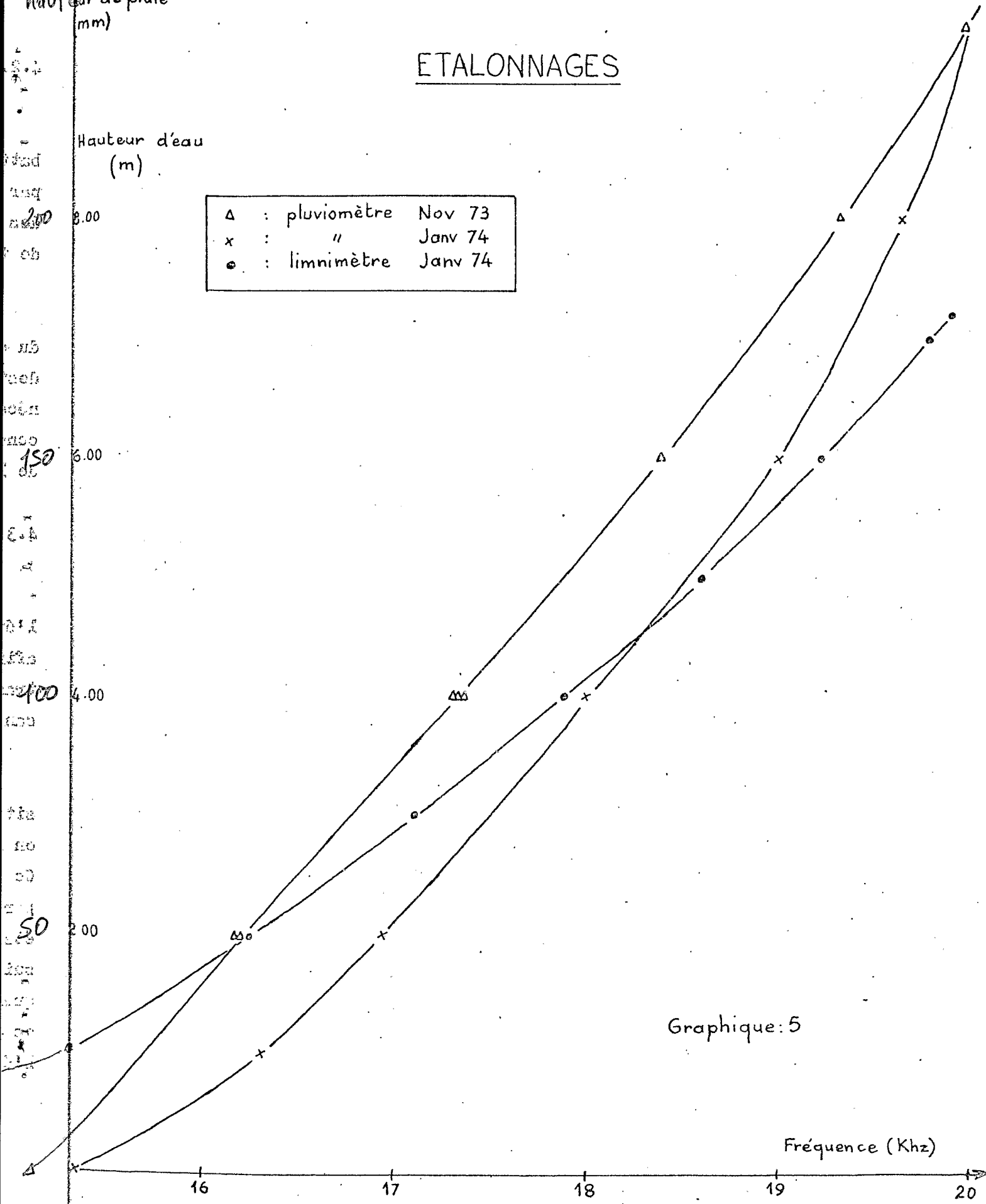
400
300
200
100

50
100
150
200
250

16 17 18 19 20

Graphique: 5

Fréquence (Khz)



Après ce test, l'ensemble capteur (détecteur -oscillateur) était transféré sur le terrain et connecté au répondeur afin de passer au stade expérimental proprement dit, c'est-à-dire à la transmission des données par satellite. Sur place, les hauteurs d'eau étaient simulées dans le pluviomètre et les fréquences lues et retransmises par EOLE.

Au début de l'expérience, la station spatiale de Brazzaville décommutait directement les mémoires du satellite et nous donnait aussitôt, par liaison radio, les valeurs brutes non traitées par l'ordinateur de BRETIQNY (cf plus loin "valeurs décommutées" de mai 73). Par TELEX, nous recevions, 24 heures après, les résultats restitués en fréquences. C'est ce mode de transmission qui fut adopté ensuite.

4.4. Résultats acquis.

4.4.1. Télépluviomètre.

Les résultats étaient donc transmis à Brazzaville sous forme de listing. Le nombre d'interrogation journalières pouvait varier entre 1 et 6.

Les premiers résultats exploitables, hormis l'étalonnage effectué en novembre 1972, ont été obtenus à partir du 1er mai 1973, puis en novembre 1973 après remplacement de l'ensemble capteur et enfin de janvier à mars 1974.

Le tableau I, ci-après, donne les différents résultats obtenus. A chaque passage il y a en général un assez grand nombre de réponses identiques pour une même hauteur de pluie, à 40 Hz près. Une seule valeur par hauteur ou par passage a été reportée dans ce tableau.

En mai 73 sont reportées, en plus des fréquences, les valeurs brutes décommutées à Brazzaville (cf paragraphe 4.3.).

Les graphiques 6 et 7 donnent les valeurs expérimentales obtenues en mai 73. Si la fonction est pratiquement linéaire, il existe cependant une très forte dispersion autour de la courbe moyenne. C'est la raison pour laquelle l'ensemble ~~oscillateur - détecteur~~ - oscillateur avait été jugé peu fiable et remplacé par un autre en novembre 1973. Celui-ci après essais sur le terrain (cf graphique 8) a été modifié par adjonction d'une deuxième diode VARICAP à l'oscillateur afin de minimiser l'importance de la dérive dans le temps observée sur les valeurs retransmises par EOLE.

Les dernières valeurs obtenues font encore apparaître une importante dispersion autour de la courbe moyenne de la fonction de transfert. Cette dispersion s'accroît d'ailleurs pour les fortes valeurs ($H > 150$ mm). Il est probable qu'un choix plus judicieux des transistors permettrait d'éviter cette nouvelle imprécision.

Si l'erreur relative sur la fréquence est faible (2 à 3 %), elle est, par contre, beaucoup plus importante sur les hauteurs de pluie (jusqu'à 60 % pour les faibles valeurs).

Cette dispersion a deux causes principales :

- d'une part le manque de linéarité de la fonction de transfert. En effet, nous avons vu au paragraphe 334 que la précision des paramètres transmis par EOLE n'est garantie avec une erreur de 1 % que dans le cas où cette fonction est suffisamment proche de la linéarité.
- d'autre part l'influence de la température sur les performances de l'oscillateur. Celui-ci est très sensible aux variations de température. Pour éliminer cette cause d'erreur, l'oscillateur avait été placé, le 7 mars 74, dans une enceinte isolée thermiquement et l'alimentation au lieu d'être intermittente (alimentation uniquement au cours de la phase acquisition-émission) se faisait en continu.

Ceci a entraîné un échauffement progressif de l'oscillateur et donc une importante dérive des valeurs obtenus, ainsi que le montre le graphique 8 pour les observations effectuées après le 19 mars 74. En 15 jours, la température de l'oscillateur est montée d'une dizaine de degrés modifiant profondément ces caractéristiques. Pour une même valeur du paramètre la fréquence obtenue a ainsi augmenté de 2 à 3 KHz. A la fin du mois de mars, nous avons repris le système d'alimentation intermittente, tout en laissant l'oscillateur dans son enceinte isolée. Malheureusement, nous n'avons pas pu poursuivre notre expérience, car le CNES a cessé de nous faire parvenir les résultats. Il est fort probable que nous aurions obtenu des valeurs beaucoup plus satisfaisantes.

En faisant effectuer le montage par des spécialistes il doit être possible d'éliminer, ou tout au moins de minimiser, les causes de dispersion. Nous n'avions pas en effet, sur place toutes les composantes électroniques nécessaires pour effectuer un montage fiable.

4.4.2. Télélimnimètre.

Pour le télélimnimètre la réalisation du détecteur, et surtout de l'oscillateur, a été assez longue, ce qui explique le petit nombre de valeurs obtenues.

L'appareil n'a commencé à fonctionner que le 21 février 74, et, par suite d'une défaillance d'une des composantes de l'oscillateur, n'a plus donné de résultat à partir du 5 mars. Il a été impossible de trouver sur place un élément de remplacement.

Les points représentatifs de la fonction de transfert (hauteur d'eau/fréquence) sont aussi très dispersés. Mais les causes n'en sont pas les mêmes. Effectivement, l'influence des conditions du milieu, température en particulier, peut modifier les performances de l'oscillateur. Cependant l'imprécision provient surtout de la partie mécanique du détecteur. En effet, le système de démultiplication obtenu par un jeu de roues dentées entre la poulie du limnigraphe et le potentiomètre était d'une conception assez rudimentaire faute de moyens et surtout de matériel disponible. En conséquence la relation

entre les deux premiers éléments du dispositif (hauteur d'eau - potentiomètre) était très lâche. Il serait très facile, avec du matériel approprié et une finition plus soignée d'améliorer cette liaison et d'éliminer ainsi cette cause d'erreur. L'oscillateur donnait, par contre, beaucoup plus de satisfaction que celui du télépluviomètre.

TABLEAU I

PLUVIOMETRIE - RESULTATS

DATE	HAUTEUR PLUIE (mm)	RESULTATS BRUFS	FREQUENCE (Hz)
1.5.73	0	006	15.062
1	0	-	15.182
2	0	-	15.102
2	0	-	15.022
3	0	-	14.982
3	50	027	16.024
4	50	047	16.144
4	50	-	15.824
4	100	-	17.066
4	100	-	16.986
4	100	-	16.824
5	100	067	16.864
5	100	-	16.344
5	150	-	17.506
5	150	-	17.866
5	150	-	17.746
5	150	-	17.826
5	150	-	17.466
5	150	-	17.666
6	200	086	18.508
6	200	-	18.628
6	200	-	18.388
7	248,5	099	18.188
7	248,5	-	17.626
7	248,5	-	19.148
7	248,5	-	19.108
7	248,5	-	18.388
8	25	016	15.864
8	25	-	15.462
9	75	-	16.824
9	75	-	16.104
9	75	038	16.544
11	125	061	17.386
12	125	054	17.146
12	125	-	17.586
12	125	-	16.946
13	175	070	-
13	175	-	17.706
14	175	071	17.826
14	175	-	18.188

TABLEAU I (suite)

DATE	HAUTEUR PLUIE (mm)	RESULTATS BRUTS	FREQUENCE (Hz)
15 - 5-73	225	090	19.068
15	225	-	18.388
16	250	-	19.268
17	250	099	18.948
20	250	095	18.628
21	250	099	18.434
28	50	030	16.144
28	50	-	16.384
29		-	16.464
30	100	-	16.986
30	100	045	-
2 - 6	100	047	-

TABLEAU I (suite)

DATE	HEURE LOCALE	HAUTEUR PLUIE (mm)	FREQUENCE Hz	OBSERVATIONS
18.11.73	18h.57	48	15.644	
18.11.73	18h.58	73	16.144	
18.11.73	18h.59	98	16.584	
19.11.73	14h.52	157	17.786	
19.11.73	18h.19	159,5	17.766	
19.11.73	18h.21	184,5	18.106	
19.11.73	18h.22	209,5	18.428	
19.11.73	18h.23	234,5	18.708	
20.11.73	16h.08	3	14.982	
20.11.73	16h.09	28	15.342	
20.11.73	16h.10	52,5	15.924	
20.11.73	17h.47	52,5	15.904	
20.11.73	17h.50	77	16.424	
21.11.73	2h.52	102	17.166	
21.11.73	15h.30	115,7	17.486	
24.11.73	14h.00	134,5	17.506	
28.11.73	11h.46	200	18.268	
				Amélioration de l'oscillateur
25.1.74	18h.08	39	16.024	
26.1.74	17h.35	39	16.104	
27.1.74	15h.20	64	16.664	
27.1.74	17h.00	64	16.664	
28.1.74	14h.48	73	17.186	
28.1.74	16h.30	73	17.186	
29.1.74	14h.15	98	17.706	
29.1.74	15h.55	98	17.666	
30.1.74	15h.23	123	18.056	
30.1.74	17h.10	123	18.026	
31.1.74	14h.52	176	18.828	
31.1.74	16h.40	176	18.868	

TABLEAU I (suite)

DATE	HEURE LOCALE	HAUTEUR PLUIE (mm)	FREQUENCE Hz	OBSERVATIONS
1.2.74	16h.05	202	18.784	
2.2.	15h.35	0,8	15.262	
2.2.	13h.46	0,8	15.382	
3.2.	13h.15	33	15.984	
3.2.	15h.02	33	15.984	
4.2.	13h.32	58,5	16.784	
5.2.	2h.19	-	-	
5.2.	12h.15	-	16.824	
5.2.	14h.02	63,5	16.824	
6.2.	0h.44	88,5	17.546	
6.2.	11h.40	88,5	17.266	
6.2.	13h.28	88,5	17.266	
7.2.	0h.13	114	18.106	
7.2.	11h.11	114	18.106	
7.2.	12h.57	114	18.106	
7.2.	23h.40	114	18.106	
8.2.	1h.26	114	18.146	
8.2.	12h.20	113	17.946	
8.2.	14h.10	113	17.666	
9.2.	0h.55	138,5	18.106	
9.2.	11h.47	138,5	18.146	
9.2.	13h.38	138,5	18.146	
10.2.	11h.15	170	18.588	
10.2.	13h.02	170	18.508	
11.2.	10h.47	181	18.708	
11.2.	12h.30	181	18.188	
12.2.	10h.16	181	18.388	
12.2.	11h.57	181	18.188	
13.2.	9h.54	206	18.903	
14.2.	10h.54	208,7	-	
17.2.	21h.51	233	19.188	
18.2.	8h.47	26,5	15.904	
18.2.	21h.19	26,5	15.864	
19.2.	19h.04	72,2	17.106	
20.2.	9h.24	73,1	17.026	
20.2.	18h.33	73,1	16.906	
21.2.	8h.52	98,1	17.426	
21.2.	9h.00	98,1	17.466	
21.2.	18h.02	98,1	17.186	
22.2.	6h.41	98,1	-	
22.2.	8h.20	106,7	17.546	
22.2.	20h.52	106,7	17.706	

TABLEAU I (suite)

DATE	HEURE LOCALE	HAUTEUR PLUIE (mm)	FREQUENCE Hz	OBSERVATIONS
23.2.74	7h.47	131,2	18.168	
23.2.	20h.20	131,2	18.146	
24.2.	7h.22	134,6	18.308	
24.2.	19h.49	191,2	18.948	
25.2.	6h.50	191	19.028	
25.2.	8h.26	191	18.828	
25.2.	19h.16	191	18.668	
26.2.	6h.18	217	19.068	
26.2.	18h.45	216,7	18.908	
27.2.	5h.45	217	19.028	
27.2.	7h.21	241	19.028	
28.2.	5h.13	241	19.068	
28.2.	6h.55	241	19.068	
28.2.	16h.02	24,5	15.664	

TABLEAU I (suite)

DATE	HEURE LOCALE	HAUTEUR PLUIE (mm)	FREQUENCE Hz	OBSERVATIONS
1.3.	4h.41	52,7	16.704	
1.3.	6h.24	52,7	16.704	
1.3.	15h.30	53	16.624	
2.3.	4h.09	53,4	16.824	
2.3.	5h.51	53,4	16.784	
3.3.	3h.37	78,8	17.506	
3.3.	17h.51	103,8	(17.346)	
4.3.	4h.47	104	17.786	
4.3.	6h.28	104	17.786	
5.3.	2h.32	(environ 200)	18.748	
5.3.	4h.15	207	18.788	
5.3.	16h.47	208	18.988	
6.3.	1h.59	209	18.868	
6.3.	3h.42	209	18.908	
6.3.	5h.24	209	18.908	
6.3.	16h.15	5,9	15.262	
7.3.	1h.26	5,9	15.422	
7.3.	3h.11	5,9	15.462	Alimentation en continu
7.3.	13h.58	29,6	15.824	
8.3.	2h.39	54,3	16.464	
8.3.	4h.20	54,3	16.464	
8.3.	13h.29	54,3	16.544	
9.3.	2h.07	54,6	16.384	
9.3.	3h.48	54,6	16.504	
9.3.	12h.57	79,6	16.824	
10.3.	12h.24	104,5	17.546	
11.3.	2h.44	117	17.986	
11.3.	13h.33	117	17.706	
12.3.	0h.31	124,7	18.146	
12.3.	2h.12	124,7	18.388	
12.3.	13h.03	124,7	18.146	
13.3.	0h.28	143	-	
13.3.	1h.39	143	-	
13.3.	3h.21	143	-	
13.3.	14h.10	143	18.888	
13.3.	23h.25	143	-	
14.3.	1h.09	143	-	
14.3.	22h.54	168	18.188	
15.3.	2h.18	168	18.228	

TABLEAU I (suite)

DATE	HEURE LOCALE	HAUTEUR PLUIE (mm)	FREQUENCE Hz	OBSERVATIONS
16.3.	1h.46	194	74.70	
17.3.	12h.05	219	18.868	
17.3.	14h.19	219	-	
18.3.	0h.42	219	-	
18.3.	11h.33	244	18.068	
18.3.	22h.31	244	-	
19.3.	0h.10	244	19.068	
19.3.	11h.01	0	17.146	Echauffement
19.3.	18h.18	8	-	de l'oscillateur
19.3.	20h.02	8	?	
19.3.	21h.59	8	-	
19.3.	23h.38	8	17.466	
20.3.	10h.27	8	17.226	
20.3.	17h.47	8	18.388	
20.3.	19h.30	14	-	
20.3.	23h.44	14	17.546	
21.3.	17h.16	39	18.188	
21.3.	18h.59	39	18.828	
22.3.	23h.43	64,4	17.686	
23.3.	10h.34	115	17.666	
23.3.	21h.35	115	19.470	
24.3.	10h.02	140	18.304	
24.3.	21h.03	140	19.268	
24.3.	22h.45	140	19.148	
25.3.	7h.52	164,5	-	
25.3.	20h.31	164,5	-	
25.3.	22h.12	164,5	-	
26.3.	7h.20	170	18.508	
26.3.	19h.58	(210)	20.030	
26.3.	21h.42	(210)	20.030	

Hauteur de pluie
(mm)

250

VALEURS DECOMMUTEES

MAI 1973

200

150

100

50

Graphique : 6

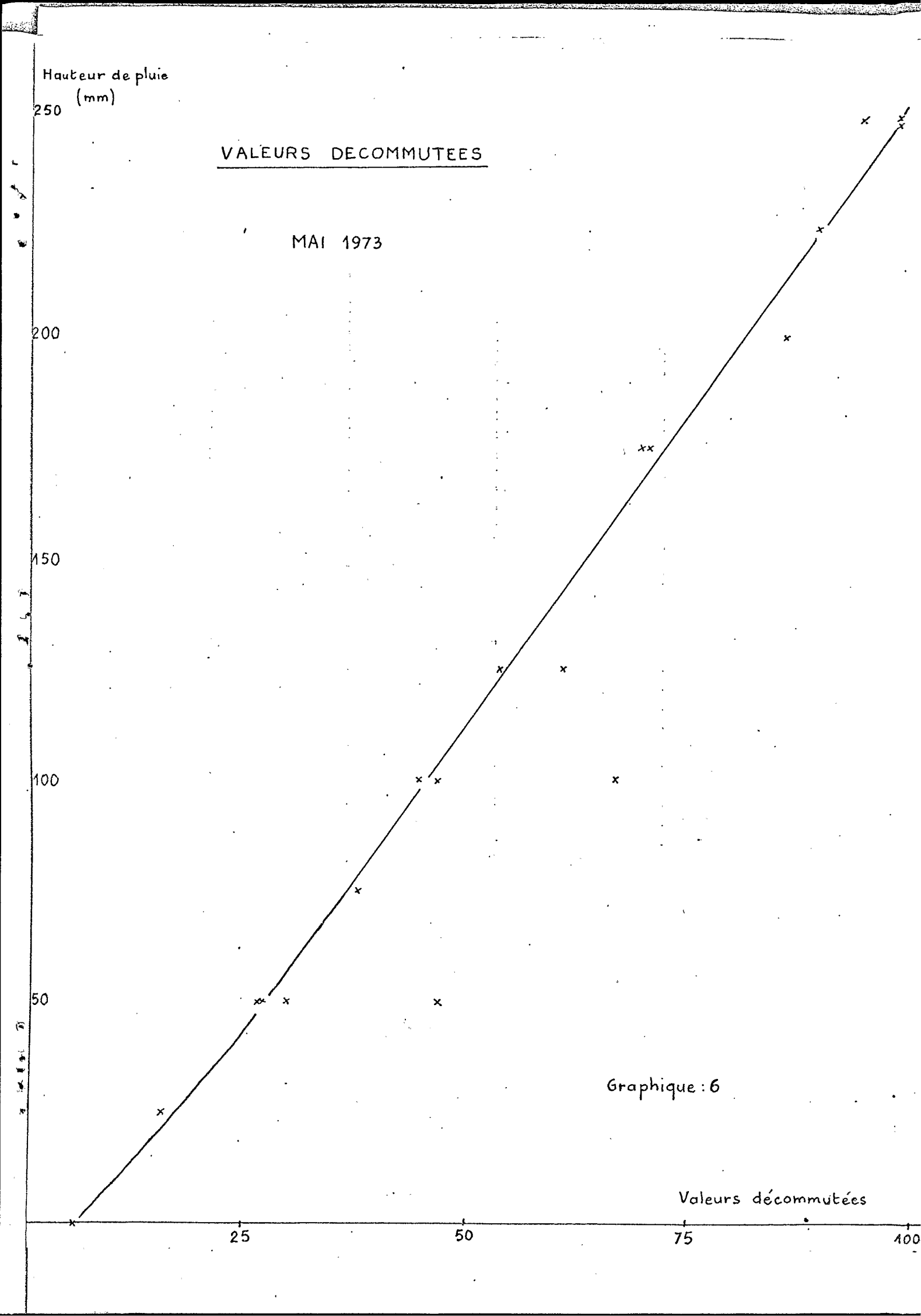
Valeurs décommutées

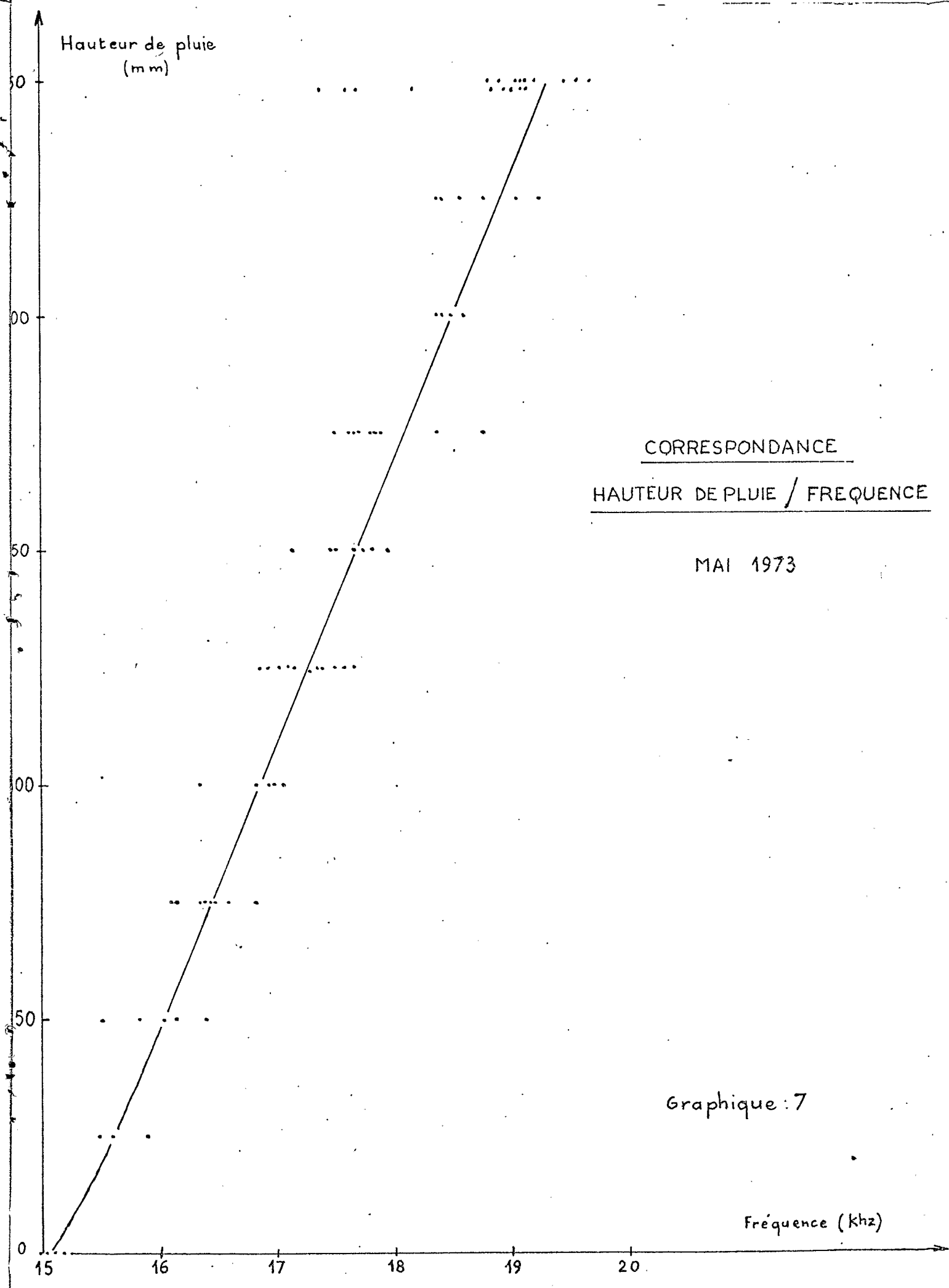
25

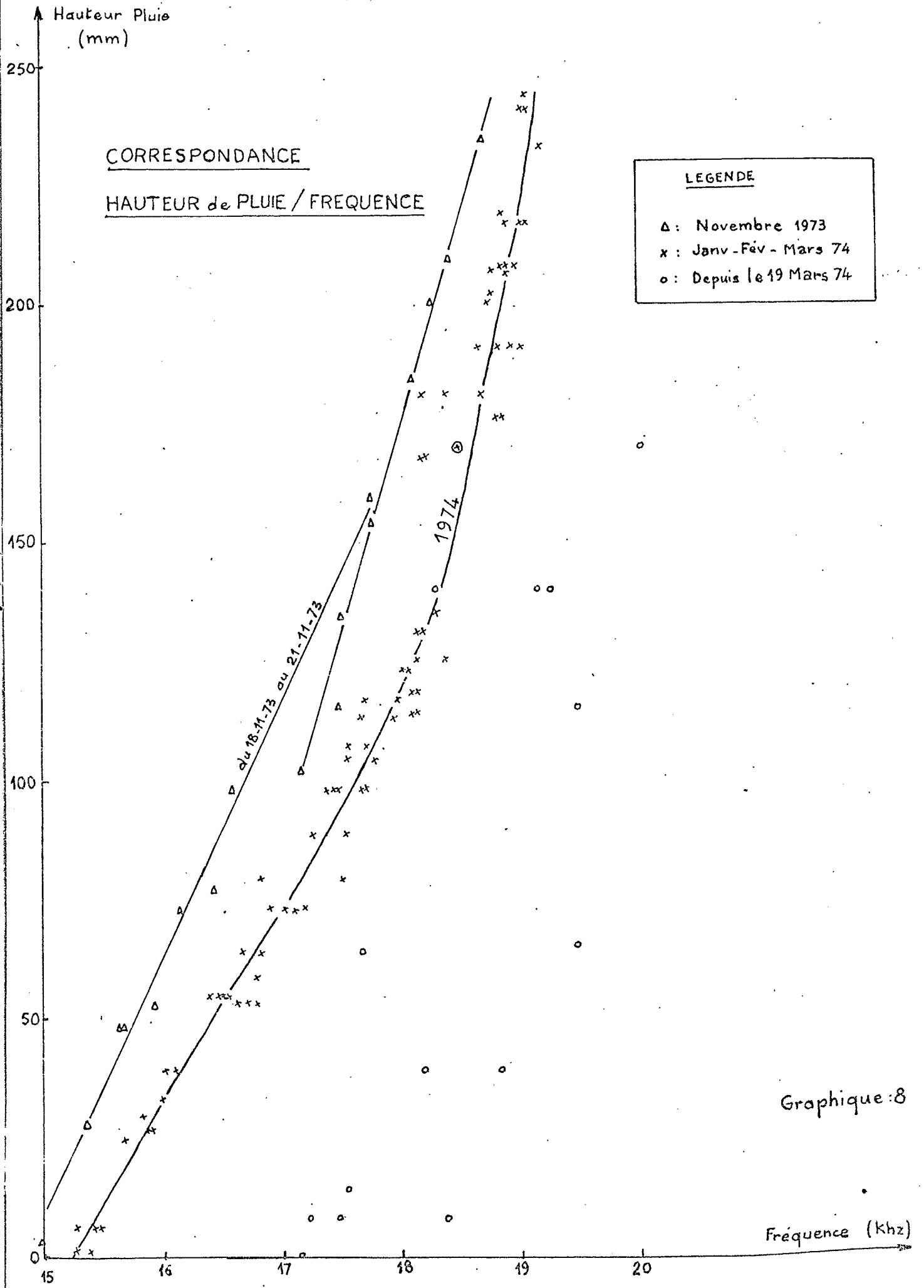
50

75

100







Graphique: 8

TABLEAU II

LIMNIMETRE - RESULTATS

DATE	HEURE LOCALE	HAUTEUR (cm)	FREQUENCE Hz
21.2.74	9h.00	025	--
22.2.74	20h.52	126	15.142
23.2.74	20h.19	126	15.182
24.2.74	7h.21	126,5	15.262
24.2.74	19h.49	137	15.222
25.2.74	6h.50	127,5	15.302
25.2.74	19h.16	126	15.182
26.2.74	6h.18	126,5	15.302
26.2.74	14h.13	125,5	15.182
26.2.74	18h.45	125	15.182
27.2.74	5h.45	125	15.262
28.2.74	5h.12	125	15.302
28.2.74	6h.53	125	15.302
28.2.74	16h.02	124,5	15.262
1.3.74	4h.38	144	15.342
1.3.74	6h.19	137	15.342
1.3.74	15h.29	126,5	15.262
2.3.74	4h.06	125,5	15.422
2.3.74	5h.48	125,5	15.422
3.3.74	3h.36	124,5	15.342
3.3.74	17h.49	124,5	15.222
4.3.74	4h.43	124	15.262
4.3.74	6h.27	124	15.262

Chapitre 5 - CONCLUSION.

Avec un tel dispositif de télésures il est donc possible de retransmettre simultanément les données pluviométriques et limnimétriques à partir de sites d'accès difficile, voire impossible à certaines époques de l'année. Cette méthode ouvre donc de nouvelles perspectives pour la prévision des crues dans des territoires tels que ceux que l'on rencontre en Afrique.

Il existe, évidemment, encore de nombreuses difficultés à surmonter.

En premier lieu le coût de l'équipement. Le répondeur utilisé à Brazzaville était un répondeur mis gracieusement à la disposition de l'ORSTOM par le CNES. Son coût s'élève à environ trente mille francs français. Cependant, celui-ci était prévu à l'origine pour retransmettre plusieurs paramètres physiques et comportait donc une électronique beaucoup trop élaborée pour nos besoins. Dans le cas où un tel dispositif de télésure serait mis en application, il serait possible de faire mettre au point des répondeurs simplifiés et donc d'un coût très nettement inférieur.

L'équipement capteur (détecteur de paramètre physique et oscillateur) est par contre d'un prix assez modeste, même si les oscillateurs sont montés par des spécialistes.

A la suite de cette expérience, il apparaît qu'il reste encore de nombreuses améliorations à apporter à l'ensemble du dispositif au sol.

1) Détecteurs.

Le pluviomètre mis au point à Brazzaville, ainsi que le détecteur utilisé semblent assez satisfaisants. Il y aurait cependant lieu de prévoir un système de vidange qui soit déclenché, soit à intervalles réguliers, soit après une pluie, de façon à éviter une remise à zéro pendant

l'averse et ainsi perdre une partie de l'information entre deux passages. A ce propos, il est possible d'utiliser l'ordre de destruction du répondeur pour commander une électro-vanne de vidange à la fin de chaque passage, où tous les trois ou quatre jours par exemple. Ce message serait incorporé dans le programme de travail du satellite.

En outre, pour éviter l'installation onéreuse d'un limnigraphe, on peut très bien envisager de placer, comme détecteur du niveau d'eau d'une rivière, un "capteur de pression" du même type que celui utilisé pour le télépluviomètre.

2) Oscillateurs.

Ce sont les oscillateurs qui semblent à l'origine des plus grosses difficultés rencontrées au cours de cette phase expérimentale, tout au moins en ce qui concerne le télépluviomètre. Nous avons vu que la principale cause d'instabilité venait de l'influence des conditions du milieu, et en particulier de la température ambiante. Il faut donc chercher à réaliser un montage qui soit indépendant de ce facteur. Dans ce but, on peut apporter les améliorations suivantes :

- utilisation de transistors au silicium qui peuvent travailler à des températures beaucoup plus élevées sans trop de déformation des caractéristiques.
- utilisation de thermistances dans les circuits de polarisation pour une meilleure stabilité.
- tropicalisation des éléments.
- thermostatier l'enceinte de l'oscillateur.
- enfin, faire réaliser le montage par des spécialistes.