

ENREGISTREMENT MICROPROGRAMME DE DONNEES  
- HYDROLOGIQUES SUR MEMOIRE MORTE

J.M. FRITSCH et P. MAILLACH

*Texte de la communication présentée à la  
Conférence Technique de l'Organisation  
Météorologique Mondiale sur l'utilisation  
des microprocesseurs et des micro-ordinateurs  
en Hydrologie Opérationnelle.*

GENEVE - SEPTEMBRE 1984

ORSTOM - CAYENNE - JUILLET 1984

ORSTOM Documentation



010004364

Fonds Documentaire ORSTOM  
Cote: Bx4364 Ex: 1

ENREGISTREMENT MICROPROGRAMME DE DONNEES  
HYDROLOGIQUES SUR MEMOIRE MORTE

J.M. FRITSCH\* et P.MAILLACH\*\*

Cette communication présente la centrale CHLOE développée par des hydrologues de l'ORSTOM et la société ELSYDE pour l'acquisition et l'enregistrement de paramètres hydrologiques. Ce système se compose de 3 éléments principaux :

+ Une sonde immergée, comportant des capteurs de pression piézo résistifs, un système à microprocesseur en-un-boîtier, une mémoire programme et un interface d'entrée-sortie destiné à permettre une liaison conversationnelle avec la centrale d'acquisition. Lorsque cette sonde est activée, celle-ci effectue un ensemble de traitements (mesure de pressions et de température, autocalibration sur un circuit de référence ultra-stable, correction de température et éventuellement de dérive des capteurs). Les paramètres hydrologiques résultants (hauteur d'eau, température, conductivité, masse volumique) sont alors transmis en vraie grandeur sur les lignes de sortie selon un protocole série *synchrone*

+ Une centrale d'acquisition, permettant à l'utilisateur de choisir des seuils de sélection des paramètres mesurés : intervalle d'interrogation du capteur (1 à 99 minutes), seuil de variation jugé significatif pour la hauteur d'eau (0 à 99 cm). Cette unité reçoit une cartouche enfichable, d'une capacité de 64 K octets de mémoire morte effaçable aux rayons ultra-violet (EPROM) qui constitue le support physique de l'information recueillie.

+ Un lecteur de cartouche mémoire, piloté par microprocesseur destiné à transférer au bureau l'information stockée dans les EPROM vers un système micro informatique. Les données sont transmises en code ASCII dans le mode série RS 232C, protocole accepté par la quasi-totalité des micro ordinateurs. Cette sauvegarde terminée, les mémoires sont effacées par exposition aux rayons UV et peuvent retourner sur un site d'acquisition.

++ Une version simplifiée de CHLOE, utilisant le même support et le même protocole de transfert a été développée pour l'acquisition du paramètre "pluie" à partir des capteurs conventionnels mécaniques, à augets basculeurs

++ Dans leurs versions complètes, les deux systèmes sont dotés d'un interface permettant d'attaquer un émetteur du système ARGOS de collecte de données par satellite. Outre la transmission d'une partie des paramètres physiques mesurés, ce dispositif permet de connaître à distance le taux d'occupation des mémoires et d'assurer leur changement dans des conditions optimales.

\* Maître de recherches à l'ORSTOM

\*\* Responsable logiciel - ELSYDE

# ENREGISTREMENT MICROPROGRAMME DE DONNEES HYDROLOGIQUES SUR MEMOIRE MORTE

J.M. FRITSCH\*-et P. MAILLACH\*\*

## 1. INTRODUCTION - PRINCIPES GENERAUX

La recherche d'une instrumentation nouvelle en matière de collecte de données en hydro-climatologie que nous avons menée, s'inspire des principes suivants :

1) Permettre la saisie de l'information sur un support directement lisible par les moyens de traitement électronique, supprimant ainsi le dépouillement manuel ou assisté des enregistrements graphiques qui a toujours constitué un point noir dans l'exécution des études hydrologiques.

2) Améliorer la fiabilité de la collecte.  
Les enregistreurs graphiques sont très sensibles aux caractéristiques de l'environnement et de nombreux organes sont susceptibles de générer des troubles : horlogerie, papier, stylet ou plumes, etc.... Il est certain qu'un système électronique bien conçu permet d'espérer de meilleures performances dans ce domaine.

3) Mémoriser uniquement des paramètres significatifs.  
Le recours au microprocesseur programmable, tout en permettant la scrutation quasi-permanente du capteur, autorise le déclenchement de la mémorisation seulement si la variation du paramètre actuellement mesuré est jugée significative par rapport à la dernière donnée précédemment sauvegardée.

4) Aboutir à des coûts concurrentiels. Le prix de revient de capteurs et de centrales d'acquisition à base de mécanique de précision et d'horlogerie, fabriqués en série limitée, ne peut qu'augmenter dans la conjoncture économique actuelle. On peut prévoir que l'écart des coûts avec les centrales microprogrammées, d'ores et déjà favorable à celles-ci, ne fera que s'accroître avec le temps.

Cet article présente deux réalisations conçues selon ces principes : une centrale hydrologique CHLOE (Centrale HydroLogique ORSTOM-ELSYDE) comportant des capteurs au silicium et une unité de traitement sophistiquée et un enregistreur pluviométrique OEDIPE (Organe d'Enregistrement Digital de l'Information Pluviométrique) utilisant les capteurs mécaniques à augets basculeurs et pourvu d'une unité de traitement plus simple, visant à un coût modeste et à l'utilisation par un personnel non spécifiquement qualifié.

Les deux systèmes utilisent le même support d'enregistrement et le même module de relecture des données, décrits ci-après :

## 2. LA CARTOUCHE MEMOIRE CE64

La cartouche CE64 est un module amovible, adaptable sur les centrales d'acquisition par un connecteur 96 points. Ses dimensions extérieures

\* Maître de recherches à l'ORSTOM - BP 165 - 97323 CAYENNE-Cedex - Guyane Française

\*\* Responsable 'Logiciel' - ELSYDE - 95 route de Corbeil - 91700 Ste GENEVIEVE-DES-BOIS

sont de 115 mm x 115 mm x 20 mm.

La capacité de la cartouche est de 64 K octets de mémoire programmable, effaçable aux rayons ultra-violet (EPROM), obtenue par l'implantation de 8 boîtiers au standard 28 broches de 64 K bits chacun (type INTEL 2716 par exemple).

L'avantage essentiel de la mémoire EPROM est l'absence de courant d'alimentation pour la sauvegarde de l'information stockée dans la cartouche, ce qui en fait un support particulièrement rustique et fiable.

Dans cette technologie, les bits sollicités au moment de l'écriture sont positionnés électriquement à 'zéro', le retour à l'état initial n'étant plus possible qu'en appliquant à la puce une énergie de l'ordre de 15 Watts par seconde et par centimètre carré, sous forme d'un rayonnement de 250 nanomètres de longueur d'onde fourni par la lampe d'un effaceur.

Le temps d'effacement est de l'ordre de quelques minutes (de 5 à 40 minutes) selon la position du boîtier dans le tiroir de l'effaceur. Après cette opération, tous les bits de la mémoire sont remis à "un".

Le nombre de cycles écriture-effacement que peut subir un boîtier est extrêmement variable, à en croire les différents constructeurs. Certains annoncent 1000 cycles, d'autres 50 !. En ce qui nous concerne, nous avons procédé à une série de tests d'utilisation des mémoires implantées dans la cartouche CE64 et celles-ci ont supporté sans dommages plus de 200 cycles écriture-effacement.

En fait, la défectuosité la plus probable susceptible de se manifester au bout d'un certain temps, c'est que quelques bits ou octets d'un boîtier restent figés et ne basculent plus à l'état zéro sous la sollicitation du courant d'écriture. Avec la technologie EPROM, la procédure utilisée avec les mémoires vives RAM (nouvelle tentative d'écriture si l'information relue n'est pas conforme à l'information source) n'est pas utilisable : l'EPROM est un fusil à un seul coup !. Il serait également aléatoire de vouloir baliser l'octet suivant par un code-erreur approprié, ce qui permettrait au moment de la lecture au laboratoire d'invalidier l'octet défectueux, car il est également possible que toute une zone contigue de la mémoire, voire l'ensemble d'un boîtier de 8 k octets soit défectueux. Cette contrainte réelle a parfois été avancée comme défaut majeur du support EPROM pour le stockage de données.

Dans CHLOE et OEDIPE, nous utilisons une procédure particulière de traitement et de lecture par le micro ordinateur qui permet d'identifier sans ambiguïté les octets défectueux qui ont été abandonnés au moment de l'écriture, ce qui permet à la centrale d'acquisition de poursuivre son fonctionnement, même avec un ou plusieurs boîtiers hors d'usage, au prix d'une réduction de la capacité utile de la cartouche, mais sans incidence sur la validité des données mémorisées.

### 3. LA LECTURE DES DONNEES PAR MICRO-ORDINATEUR

La lecture en laboratoire des cartouches CE64 s'effectue par l'intermédiaire d'un module LCM (Lecteur de Cartouche Mémoire), piloté par micro-processeur capable de supporter une procédure conversationnelle avec n'importe quel micro ou mini-ordinateur équipé d'une liaison série asynchrone du type RS 232C.

Lorsque ce module identifie une commande du type "C AAAA FFFF" en provenance de l'ordinateur, le contenu de la cartouche compris entre les adresses hexadécimales AAAA et FFFF est transmis vers le système de traitement par la liaison série à la vitesse de 4800 bauds, selon le code ASCII généralement utilisé par la micro-informatique et également directement interprétables sur une console de visualisation. Avec la centrale CHLOE, l'information de la cartouche étant codé en BCD (4 bits pour un caractère), c'est donc 128 K caractères qui seront transmis pendant une opération de lecture complète de la cartouche.

Cette transmission donne lieu à l'émission de 10 bits par caractère : 1 start, 7 data, 1 parité paire, 1 stop. En plus de ce bit de parité transversale au niveau de l'octet, le LCM génère un octet de parité longitudinale, qui est un OU Exclusif de tous les octets transmis. Cet octet de parité (BCC) est transmis à la fin de chaque flot de données, ce qui assure à l'utilisateur qui désire gérer cette procédure, une sécurité quasi-absolue de la conformité des données reçues avec celles mémorisées sur la cartouche CE64.

Une fonction supplémentaire assurée par le module LCM permet de s'assurer de la vacuité parfaite de la cartouche après un effacement par les rayons U.V.. Un bouton poussoir déclenche la lecture séquentielle des 64K octets par le microprocesseur du LCM et une diode électroluminescente clignote si un défaut d'effacement est rencontré. Cette utilisation du module est destinée à éviter d'empêcher sur le terrain des cartouches pleines ou partiellement effacées, qui seraient de toutes façons rejetées par les centrales d'acquisition.

Le coût d'une cartouche CE64 est de l'ordre de US \$ 200 et celui du module de lecture et de test LCM de l'ordre de US \$ 650. (prix H.T. - 1983).

#### 4. L'ENREGISTREUR PLUVIOMETRIQUE OEDIPE

La fonction d'OEDIPE (Organe d'Enregistrement Digital de l'Information Pluviométrique) est la mémorisation sur la cartouche CE64 des dates et heures où ont été reçues des impulsions électriques déclenchées par le basculement des augets d'un pluviographe.

OEDIPE est conditionné dans un boîtier plastique étanche au jet (norme IP 569), d'une masse d'environ 5 kilogrammes et qui mesure 350 mm x 250 mm x 150 mm.

Le module est équipé d'un bornier à 4 plots destinés à recevoir les fils de l'alimentation et ceux reliés au contacteur à mercure, solidaire des augets du pluviographe. Une diode électro-luminescente signalant l'activation de la cartouche (lecture ou écriture) complète la face avant. Cette structure de "boîte-noire" a été retenue à la fois pour simplifier au maximum la mise en oeuvre et pour réduire les coûts de fabrication.

La mise en service de l'enregistreur est automatique et déclenchée par l'insertion d'une cartouche. Le système est mis sous tension et le microprocesseur exécute le programme d'initialisation suivant :

- lecture des 64 K octets pour contrôler la vacuité de la cartouche CE64 (tous les octets sont à 'FF').

- écriture du numéro de série de l'enregistreur (câblé en usine) sur les deux premiers octets de la cartouche.

Cette séquence dure environ 30 secondes, et pendant ce temps la diode LED 'cartouche activée' est allumée. Si la procédure se termine normalement, la diode s'éteint; dans le cas contraire un clignotement continu signale à l'opérateur l'échec de la procédure d'initialisation.

2 possibilités peuvent être à l'origine de cette anomalie :

1) la cartouche n'est pas vierge

2) l'écriture du code enregistreur n'a pas été possible et la cartouche est défectueuse.

L'extraction de la cartouche coupe l'alimentation du système.

Au moment de l'insertion, la base de temps interne d'OEDIPE est initialisée à zéro. Chaque basculement sera référencé en temps relatif à cet instant origine. Il appartient à l'utilisateur de noter sur la cartouche la date et l'heure de mise en route de manière à pouvoir créer un fichier pluviographique référencé en temps absolu, au moment de la lecture et du traitement de la cartouche au laboratoire.

Les coordonnées temporelles de chaque basculement sont immédiatement mémorisées en binaire, sur 4 octets dans le format suivant :

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| quantième (numéro du jour) | 10 bits |
| heures                     | 6 bits  |
| minutes                    | 8 bits  |
| secondes                   | 8 bits  |

Avec ce codage chaque cartouche CE64 peut mémoriser 16 383 basculements, ce qui correspond aux 'autonomies climatologiques' suivantes :

- 8191.5 millimètres de pluie avec 1 basculement d'auget tous les 0,5 mm de pluie (augets de 20 cm<sup>3</sup> et entonnoir de 400 cm<sup>2</sup>).

- 1638.3 millimètres de pluie avec 1 basculement tous les 0,1 mm de pluie (entonnoir de 2000 cm<sup>2</sup>).

La tension d'alimentation requise peut varier entre 15 et 11,5 volts continu. Grâce à la technologie C. MoS utilisée, la consommation d'OEDIPE n'est que de 3 mA sous 12 volts au repos. Pendant un cycle d'écriture, c'est-à-dire à chaque basculement, le courant consommé atteint 400 mA pendant 1 seconde environ. La consommation mensuelle, pour 2000 basculements, n'est ainsi que de l'ordre de 2,5 Ah, ce qui permet facilement d'atteindre l'autonomie électrique souhaitée en utilisant des batteries rechargeables, des mini-panneaux solaire, voire des piles sèches.

Il a été prévu de pouvoir inspecter et contrôler les unités OEDIPE en service sur le terrain. Cette opération est possible grâce à un mini-terminal de poche, doté d'un affichage à cristaux liquides, qui communique

à l'utilisateur la situation de l'enregistreur à l'instant du raccordement, c'est-à-dire :

- le nombre de basculements enregistrés
- le coefficient d'occupation de la mémoire
- le nombre d'octets défectueux rencontrés
- la date et l'heure du dernier basculement enregistré
- la date courante depuis la mise en route
- la tension de la batterie.

Ces données sont susceptibles d'être transmises par un émetteur du système ARGOS de collecte de données par satellite, ce qui permet la télé-surveillance du fonctionnement d'OEDIPE, et l'optimisation des changements de cartouches sur les sites éloignés ou difficiles d'accès.

Le coût d'un enregistreur OEDIPE est de l'ordre de US\$ 550 et celui d'un terminal d'inspection de l'ordre US\$ 600 (prix H.T. - 1983).

#### 5. L'ENREGISTREUR HYDROLOGIQUE MULTI-PARAMETRES CHLOE (Centrale HydroLogique Orstom-Elsyde)

A la différence d'OEDIPE qui utilise un capteur mécanique et un logiciel de traitement relativement simple, la centrale CHLOE est constituée d'un module immergé (SPI), pourvu de capteurs au silicium, d'un microprocesseur, d'une mémoire-programme, d'interfaces d'entrée sortie, véritable système informatique sub-aquatique, et d'une unité aérienne de contrôle (SET) dont la face avant comporte 1 clavier de 12 boutons poussoirs étanches, 2 roues codeuses à 2 digits, 1 dip-switch à 4 digits et un afficheur LCD (fig. 1). C'est donc un système plus évolué, capable de mesurer des paramètres qui varient de façon continue, mais qui est aussi plus complexe à mettre en oeuvre qu'OEDIPE.

##### 5.1 Le SPI (Sonde Piezo-resistive Immergée)

###### 5.1.1 Fonction et caractéristiques thermiques

La première fonction du SPI est la mesure de la hauteur d'eau d'une rivière en vraie grandeur dans le système hydrologique de référence du site (batterie d'échelles limnimétriques).

Cette information est obtenue par mesure différentielle de la pression hydrostatique et de la pression atmosphérique. Le SPI mesure également la température et sur la version prototype testée en GUYANE, on mesurait la masse volumique de l'eau (version dite SPI2) et la conductivité par l'intermédiaire d'une sonde supplémentaire (PONSELLE - CTSIO).

La pression est mesurée par un capteur piézo-résistif constituant une jauge de contrainte au silicium implantée sur une membrane métallique, se déformant sous la pression du fluide. Cette déformation a pour effet de modifier la résistance interne de la pastille de silicium, qui génère une variation de tension à ses bornes lorsqu'elle est alimentée à courant constant.

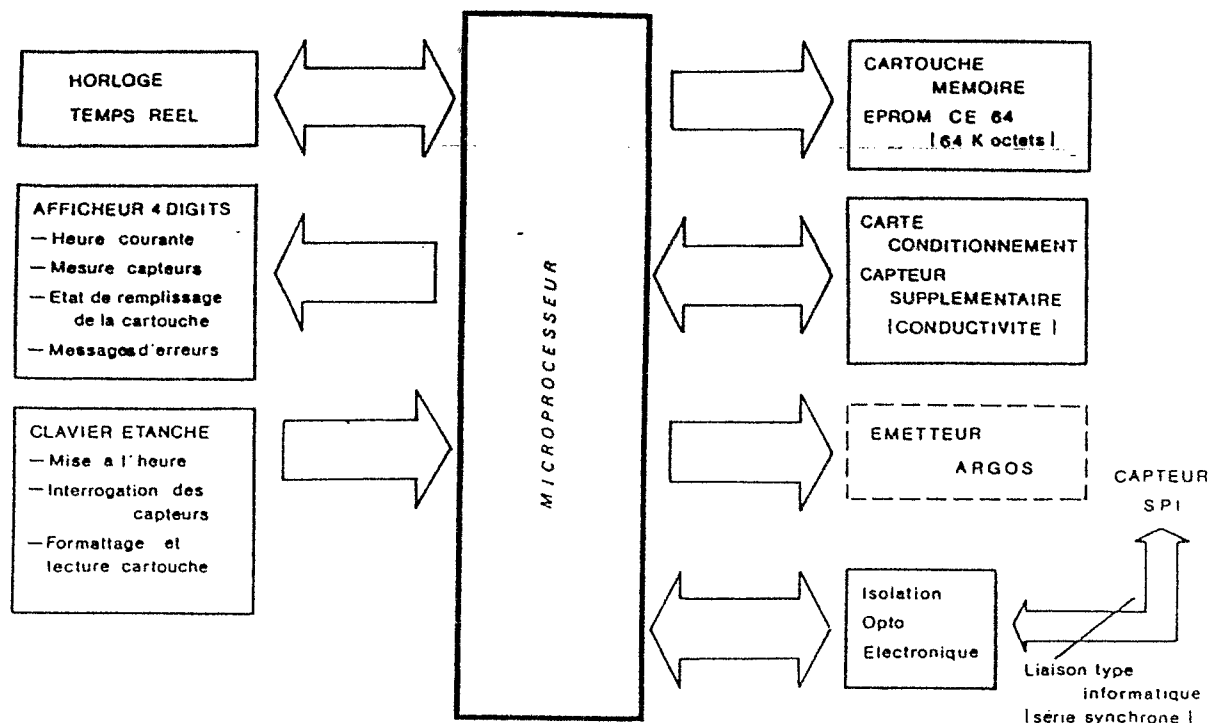


Fig. 1 CENTRALE CHLOE

SCHEMA SYNOPTIQUE DU SYSTEME ENREGISTREUR TRANSMETTEUR (S.E.T.)

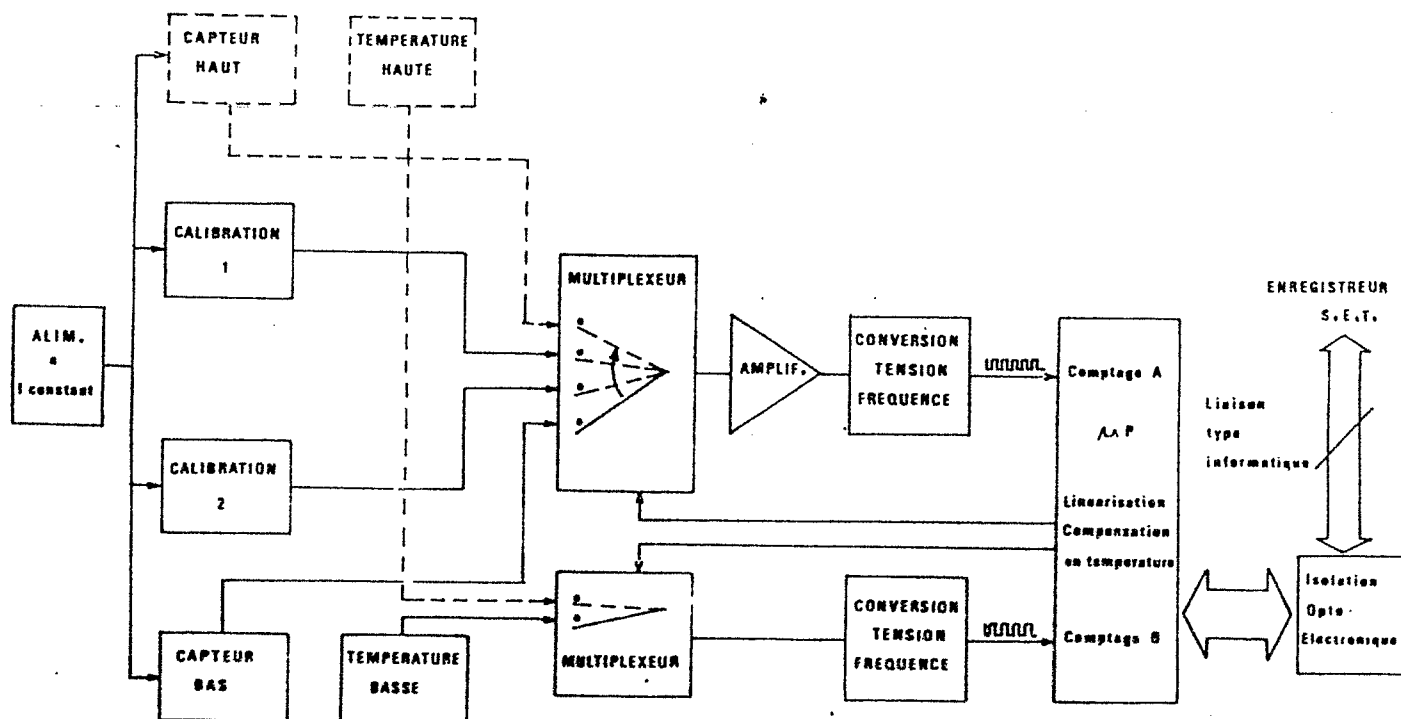


Fig. 3 CAPTEUR SPI : SCHEMA SYNOPTIQUE

Cette tension, convertie en fréquence, est analysée par le microprocesseur et convertie en pression, puis en hauteur d'eau à l'échelle limnimétrique grâce à une courbe pression-fréquence, spécifique au capteur et établie sur un banc d'étalonnage. La sensibilité du procédé est telle qu'avec un capteur susceptible de supporter 1,5 bar ( $\sim 15$  m d'eau), une différence de pression de 1/10 de millibars (soit environ 1 mm d'eau) est identifiable au niveau du comptage des fréquences.

### 5.1.2 La compensation thermique de l'électronique et des capteurs

Le SPI est prévu pour travailler dans un environnement thermique assez large (0 à 50°C) et malheureusement une variation de température provoque sur le silicium les mêmes effets qu'une déformation causée par la pression et génère une information parasite non significative. De la même façon, l'électronique analogique qui réalise la mise en forme du signal pour le microprocesseur (amplification et conversion en fréquence) dérive sensiblement avec la température. Par contre on peut considérer comme parfaitement négligeables les effets thermiques sur l'électronique digitale du SPI.

Deux influences distinctes doivent donc être corrigées : au niveau des capteurs et au niveau électronique analogique.

#### La correction de température au niveau des capteurs

Les capteurs piezo-résistifs utilisés sont constitués de plusieurs pastilles de silicium implantées sur la même membrane déformante et câblées entre-elles en pont de WHEASTONE. L'effet de la variation de température, étant en théorie identique sur toutes les jauges, se trouve annulée. En fait, et malgré ces précautions, les jauges restent fréquemment dépareillées après leur intégration, ce qui entraîne en statique un déséquilibre du pont et en dynamique une dérive de température non linéaire. Les constructeurs proposent sur la fiche d'étalonnage de chaque capteur plusieurs valeurs de résistances à implanter dans l'une ou l'autre branche du pont, en série ou en parallèle avec les jauges de façon à compenser au mieux ces déséquilibres. Cette compensation restant imparfaite, nous l'améliorons par logiciel, par programmation des résultats d'un étalonnage au banc, en faisant varier température et pression. Pour une température donnée, la fréquence de sortie du capteur est relevée tous les 20 mb entre 0 et 1000 mb, pour des températures variant de 10 en 10 degrés.

Ce faisceau de courbes est mémorisé dans le logiciel de la sonde, qui est à même de procéder aux interpolations nécessaires.

Pendant cet étalonnage, seul le capteur est soumis à des variations de température dans le caisson, la carte de traitement électronique restant à température constante.

La figure 2 présente un fragment de courbe d'étalonnage pour deux capteurs C1 et C2. De part et d'autre de la courbe  $H = f(K)$ , donnant la hauteur d'eau en fonction de la fréquence de sortie pour une température donnée (18°7 pour C1 et 21°5 pour C2), on a représenté l'écart en Hertz pour deux températures encadrant la température de calibration ( $K = f(H, t)$ ).

On constate que chaque capteur présente un comportement particulier : pour C1 la fréquence de sortie augmente avec la température, alors que c'est exactement l'inverse qui se produit pour C2. Les écarts relatifs en Hertz sont importants compte-tenu de l'utilisation prévue surtout pour les faibles pressions, de l'ordre de 4,5% par 10°C de dérive, au voisinage du zéro.

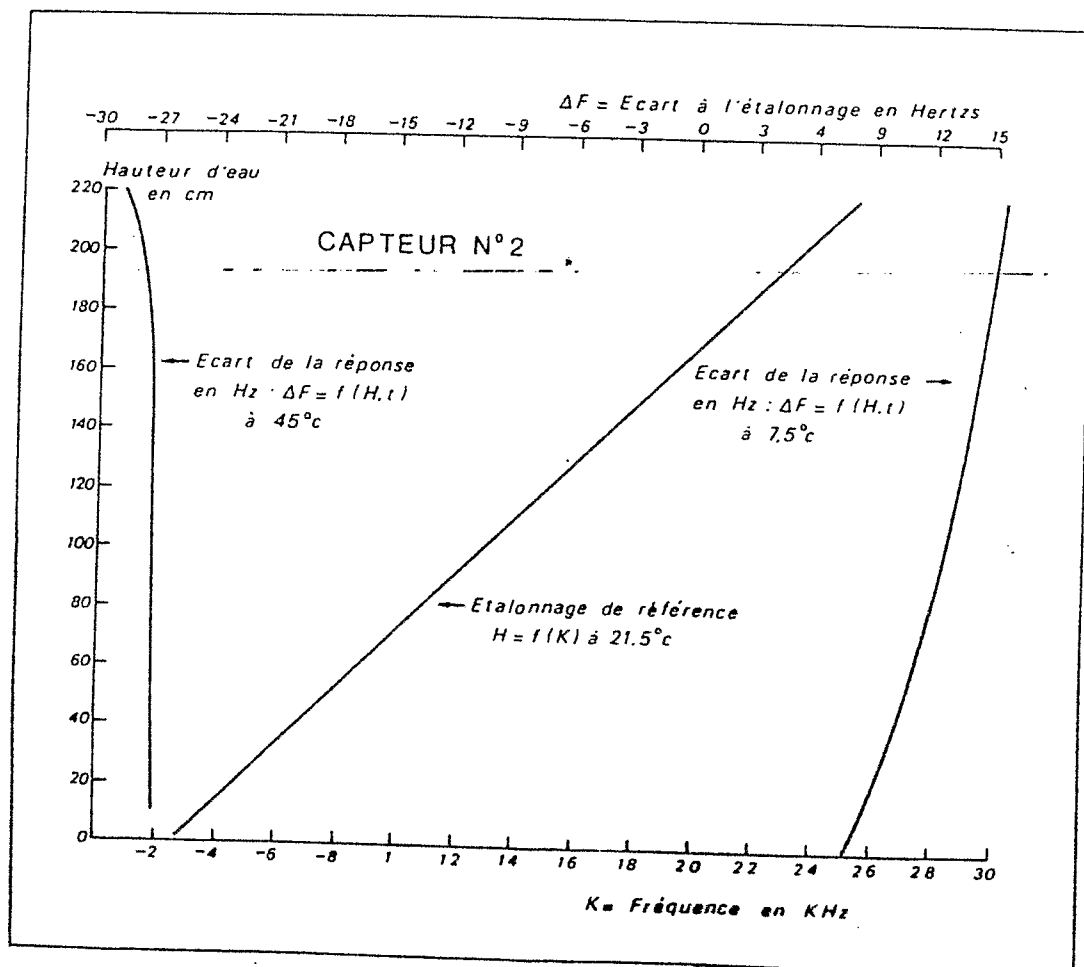
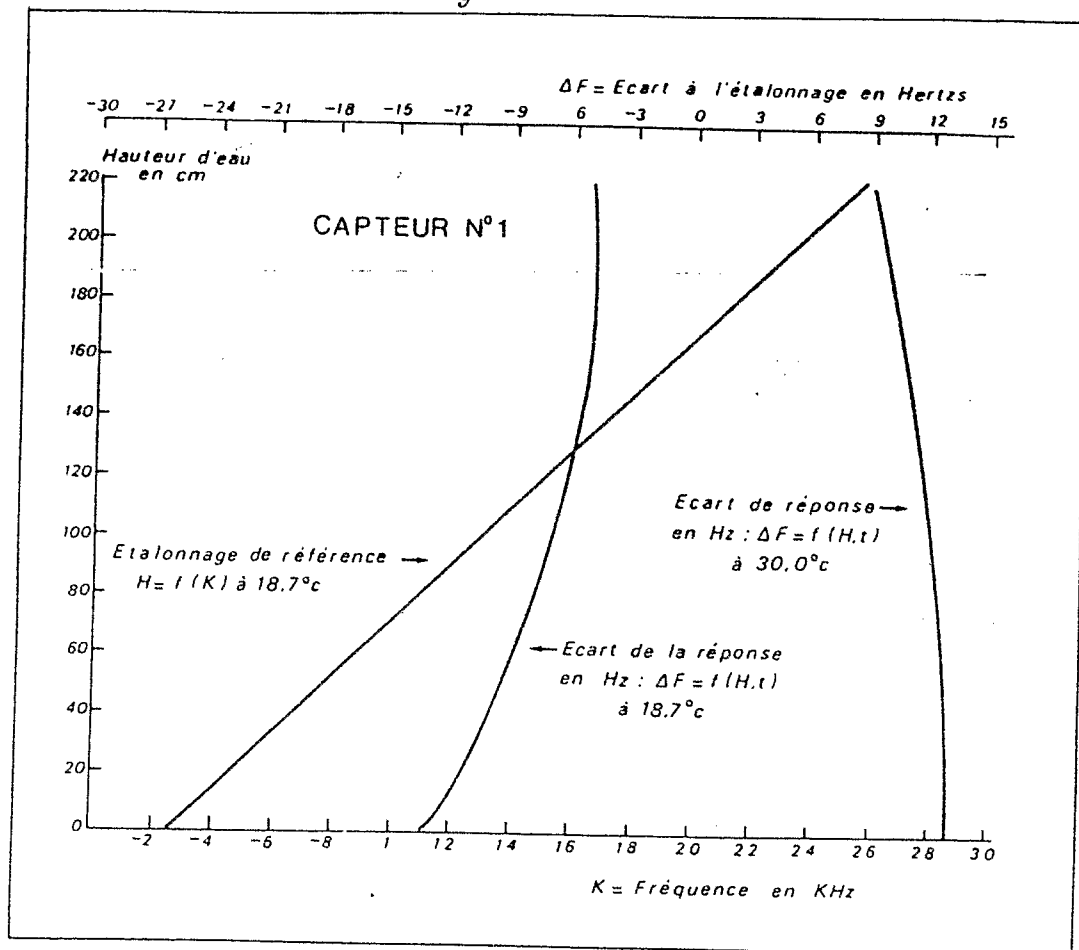


Figure 2 : Réponses en pression et température des capteurs piézo-résistifs.

L'étalonnage individuel des capteurs en fréquence-température-pression constitue donc une phase essentielle pour la qualité des mesures transmises par le SPI.

### La correction de température sur l'électronique de traitement

La compensation des dérives de l'électronique est réalisée de façon à la fois matérielle et logicielle, selon le principe de l'auto-calibration des composants : 2 sources de référence ultra-stables simulent des réponses-capteur correspondant aux deux bornes extrêmes des pressions que l'on peut être amené à mesurer. L'écart entre les fréquences émises par les 2 sources par rapport à celles obtenues à la température de calibration, permet au programme de traitement d'appliquer au signal les corrections requises, en pente et en translation.

#### 5.1.3 Conditionnement et synoptique de fonctionnement du SPI.

L'ensemble capteurs de pression et de température et carte de traitement est conditionné dans un tube PVC de 70 mm de diamètre et de 300 mm de haut. Un câble ovoïde de 16 x 8 mm comportant un tube armé de mise à la pression atmosphérique et un câble électrique blindé permet de relier la sonde à la centrale de contrôle SET. La masse de la sonde équipée d'un câble de 12 mètres est de 6 kilogrammes.

L'alimentation du SPI est assurée par le SET, sous 12 volts continus. Les consommations sont de 13 mA au repos et de 17 mA en mesure et en transmission.

Lorsque le microprocesseur du SPI reçoit une demande de message généré par la logique du SET, celui-ci déclenche la procédure de comptage des fréquences sur le capteur bas, sur la référence d'auto-calibration haute, sur la référence basse et sur le capteur de température. Dans la version SPI2 à 2 capteurs de pression (voir 5.1.4 - SPI2), cette procédure est répétée pour les fréquences issues du capteur 'haut' et de la température 'haute' (fig. 3).

L'ensemble des traitements de décodage, de correction de température et de mise à l'échelle en unités-utilisateur (hauteur d'eau en cm, température en dixièmes de degrés Celsius), est alors réalisé et un message est élaboré. Sa transmission vers la centrale d'acquisition est faite selon une liaison série synchrone, isolée par coupleur opto-électronique, à la vitesse de 100 bps.

La précision finale sur les mesures de niveaux après traitement est meilleure que 0,1% de la pleine échelle (+ 1 cm). Le temps d'élaboration d'un message est de l'ordre de 7 secondes et la vitesse maximum de poursuite

des niveaux est de 0,5 cm par seconde.

Le message, codé en binaire, comporte 45 bits ainsi formatés  
(SPI 1 capteur)

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| N° de série du SPI        | 16 bits |
| hauteur d'eau             | 10 bits |
| température               | 11 bits |
| parité longitudinale(BCC) | 8 bits  |

#### 5.1.4 La mesure de la masse volumique

Compte-tenu des performances des capteurs piezo-résistifs en sensibilité, il était intéressant de mesurer la masse volumique du fluide par pression différentielle entre deux capteurs placés verticalement à une distance connue. Cette configuration est celle du SPI2, avec un capteur à chaque extrémité, haute et basse, du cylindre constituant la sonde.

Cette adaptation permet à la fois de corriger les hauteurs d'eau en associant pression et masse volumique et de transmettre et mémoriser les variations de masse volumique elle-même qui selon l'environnement peuvent être reliées à la salinité ou à la turbidité, ce qui ouvre des domaines d'application très vastes à cette sonde (océanographie, transports solides, assainissement, etc...).

Suit P1 la pression sur le capteur supérieur, P2 la pression sur le capteur inférieur et D la distance verticale séparant les 2 capteurs, la masse volumique  $M_v$  s'exprime par :

$$M_v = \frac{1}{g} \times \frac{P_2 - P_1}{D}$$

Cette expression permet de constater que 3 conditions doivent être nécessairement réunies pour rendre performante la mesure de la masse volumique :

1) la distance D doit être la plus grande possible pour obtenir  $P_2 - P_1$  grand par rapport à la précision avec laquelle on connaît  $P_2$  et  $P_1$ . Compte-tenu de la sensibilité des capteurs, la précision sur  $M_v$  serait de 1% pour  $D = 30$  cm mais de 0,2% pour un SPI de 1 m de haut.

2) Indépendamment de la sensibilité des capteurs, la justesse de ceux-ci et par conséquent la qualité de l'étalonnage au banc doit être particulièrement soignée si ceux-ci sont destinés à un SPI à 2 capteurs. Une erreur de justesse, équivalente à 0,4 cm d'eau n'a pas d'influence perceptible avec un SPI à 1 capteur qui retourne la hauteur d'eau au centimètre près. Par contre elle induirait une erreur de 13 pour mille avec un SPI2 de 30 cm de haut, ce qui est considérable, eu égard aux masses volumiques que l'on est réellement amené à mesurer.

3) La sonde doit être placée verticalement, de façon à ce que la différence d'altitude entre capteurs soit effectivement égal à D. Cette contrainte peut nécessiter de monter la sonde sur un portique, si les courants ou les turbulences sont importants.

La masse volumique est transmise au SET en binaire sur 11 bits, intercalés entre la hauteur d'eau et la température. Le SPI 2 génère donc des messages de 56 bits.

## 5.2 La mesure de la conductivité

Sur les appareils de la série prototype, la conductivité était mesurée avec un ensemble PONSELLE composé d'une sonde CTS10 à 4 électrodes surmoulées et d'une carte électronique analogique directement implantée dans le SET. L'étalonnage de la sortie en tension, établi par le constructeur va de 0 à 55 000 micro-siemens, pour une précision annoncée de 1%.

## 6. Le Système Enregistreur Transmetteur (SET)

Le SET est conditionné dans un coffret plastique étanche de 350 x 250 x 150 mm d'une masse d'environ 5 kg.

Les fonctions de ce module sont l'interrogation du capteur SPI, la collecte des informations transmises en retour par celui-ci ainsi que par la sonde de conductivité. Le SET assure également la mémorisation sur la cartouche CE64 et l'élaboration d'un message dans un format compatible avec celui utilisé par le système ARGOS de collecte de données par satellite.

Le SET possède une base chronologique absolue de l'année à la minute, accessible par des boutons de calage et visualisée sur un afficheur à cristaux liquides. Un bouton de synchronisation permet la mise en route de la base de temps et de la logique de l'enregistreur.

L'utilisateur accède à deux roues codeurs de 2 digits chacune, qui correspondent à l'intervalle  $\Delta T$  de scrutation du capteur SPI exprimé en minutes (1 à 99 minutes) et au seuil  $\Delta H$  de variation significative du niveau d'eau pour le site considéré en centimètres (0 à 99 centimètres). La hauteur d'eau ne sera mémorisée sur la cartouche EPROM, seulement si la variation du niveau mesurée entre deux scrutations dépasse  $\Delta H$ . Cet enregistrement conditionnel de la hauteur d'eau est appelé 'message intermédiaire': La cartouche comporte aussi des messages dits "demi-heure" stockés obligatoirement, aux heures et demies heures rondes, et dans lesquels on peut trouver, en plus de la hauteur d'eau, la conductivité, la température et la masse volumique. Certains paramètres des messages "demi heure" peuvent être omis : un interrupteur à bascules, disposé sur la face avant permet à l'utilisateur de sélectionner pour l'enregistrement ou d'ignorer la conductivité, la température ou la masse volumique.

Après mise à l'heure de la station, sélection et affichage de  $\Delta H$  et  $\Delta T$ , sélection des paramètres à mesurer et insertion d'une cartouche vierge, la procédure normale continue par l'initialisation de la cartouche, déclenchée par commande de l'opérateur, (bouton poussoir).

Après avoir vérifié la vacuité de la cartouche, le système y copie les caractéristiques choisies par l'utilisateur pour cette collecte de données à savoir :

| Paramètre                                              | Codage      | Longueur(octets) |
|--------------------------------------------------------|-------------|------------------|
| Numéro du SET                                          | Hexadécimal | 4                |
| Numéro du SPI                                          | "           | 4                |
| Bascule de sélection des paramètres                    | "           | 2                |
| Seuil de sensibilité en hauteur ( $\Delta H$ )         | BCD         | 2                |
| Intervalle d'interrogation des capteurs ( $\Delta T$ ) | "           | 2                |
| Date de mise en route                                  |             |                  |
| Année                                                  | "           | 2                |
| Mois                                                   | "           | 2                |
| Jour                                                   | "           | 2                |
| Heure minutes                                          | "           | 4                |

En cas d'échec de la procédure, un message d'erreur est visualisé sur l'afficheur pour signifier 'cartouche non vierge' ou 'écriture impossible'.

Le SET comporte des boutons-poussoirs permettant d'activer le SPI et la sonde de conductivité et d'afficher les valeurs mesurées à cet instant.

Une commande autorise l'alignement de la hauteur-pression du capteur avec celle des échelles limnimétriques du site (décalage de zéro).

Enfin on peut visualiser à tout instant, la dernière adresse mémoire de la cartouche et même lire son contenu par défilement sur l'afficheur.

Un message ARGOS est généré toutes les 30 minutes, ce qui permet l'émission de tous les paramètres collectés pendant les 2h30 précédentes. (5 blocs-capteurs de 6 octets). 2 octets restent disponibles dans le message pour transmettre l'adresse de la dernière donnée écrite dans la cartouche CE64.

La tension d'alimentation du SET est de 12 volts continus (11,5 à 15 V) et la consommation de 18 mA hors enregistrement et 400 mA pendant l'écriture sur la cartouche. Le module prototype testé en GUYANE était alimenté par un panneau solaire 8 Watts, alimentant à la fois CHLOE (SET + SPI) et l'émetteur ARGOS (CEIS - LAMD92).

Les données sont codées en BCD de la façon suivante :

Message "intermédiaire" (3 octets)

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| n° de la minute (0 à 59)     | 1 octet   |
| hauteur d'eau (0 à 999)      | 1,5 octet |
| caractère d'alignement ('F') | 0,5 octet |

Message "demie-heure" (3 à 7 octets)

|             |                                                         |           |
|-------------|---------------------------------------------------------|-----------|
|             | n° de la minute (00 ou 30)                              | 1 octet   |
|             | hauteur d'eau (0 à 999)                                 | 1,5 octet |
| en option : | conductivité en<br>centaines de micro siemens (0 à 550) | 1,5 octet |
|             | Masse volumique (00 à 99)<br>(M <sub>v</sub> - 1000)    | 1 octet   |
|             | température en 1/10 de<br>degré (000 à 500)             | 1,5 octet |
|             | caractère d'alignement ("F")                            | 0,5 octet |

Le coût d'une centrale CHLOE, composée d'un SET et d'un SPI était de l'ordre de US\$ 2600 fin 1983 avec un SPI à 1 capteur et de l'ordre de US\$ 3000 avec un SPI à 2 capteurs, mesurant la masse volumique.