

# Dispositif d'enregistrement pour sismomètre large bande

Robert PILLET<sup>(1)(2)</sup>, Jean-Michel CANTIN<sup>(1)</sup> et Daniel ROULAND<sup>(1)</sup>

---

**Résumé :** Dans le cadre des programmes de recherche en sismologie large bande, nous avons construit un dispositif d'enregistrement numérique de signaux sismiques à partir d'un ordinateur portable compatible IBM PC xt. Un algorithme de détection original très performant, utilisant la pente du signal, a été mis au point. Il fonctionne à partir de la voie HGLP verticale pour laquelle le bruit de fond sismique est minimal. Neuf stations sont actuellement en service.

**Mots-clés :** Sismologie large bande - Géoscope - Acquisition numérique - PC compatible - Détection d'événement - Spectre du bruit de fond.

**Abstract :** Digital recording device for broad-band seismometer. In the framework of research programs in broad-band seismology, we developed a digital recording system for seismological signals based on a portable PC xt computer. An original and very performant triggering algorithm, using the slope of the signal, has been developed. This algorithm uses the vertical HGLP channel where the seismic noise is very low. Presently, 9 stations are at work.

**Key words :** Broad-band seismology - Geoscope - Digital recording - Compatible PC - Event trigger - Noise spectrum.

**Resumen :** Sistema de registro numérico para sismómetro de banda ancha. Dentro de los programas de investigación de sismología de banda ancha, hemos construido un sistema de registro numérico de señales sísmicas a partir de un computador compatible con un PC xt IBM. Se montó y desarrolló una técnica de detección de algoritmos muy original y precisa que utiliza el calculo de la pendiente de la señal sísmica. Esta funciona a partir de una vía vertical del HGLP en la que el ruido de fondo sísmico es mínimo. Nueve estaciones lo han montado y puesto en servicio.

**Palabras claves :** Sismología de banda ancha - Geoscopio - Adquisición numerica - PC compatible - Detección de eventos - Espectro de ruido de fondo.

---

(1) École et observatoire de Physique du globe de Strasbourg, 5, rue René-Descartes, 67084 Strasbourg cedex, France.  
(2) ORSTOM, 213, rue La Fayette, 75480 Paris Cedex.

## INTRODUCTION

Dans le cadre des programmes de sismologie large bande mis en œuvre par l'ORSTOM et les TAAF<sup>(1)</sup> et du programme Géoscope développé par l'INSU<sup>(2)</sup> et l'IPGP<sup>(3)</sup> (ROMANOWICZ *et al.*, 1984), l'EOPG<sup>(4)</sup> de Strasbourg et l'ORSTOM ont entrepris en 1986 la réalisation d'un dispositif d'acquisition numérique large bande de signaux sismiques.

Les critères de faible consommation électrique, de faible coût et le souci d'utiliser du matériel de grande diffusion ont été primordiaux.

A cette époque, le cahier des charges prévoyait l'acquisition en continu des composantes VLP (Very Long Period = très longue période) à la fréquence

d'échantillonnage de 1/10 Hz et des composantes BRB (Broad Band = bande large) sur détection d'un événement sismique à la fréquence d'échantillonnage de 5 Hz (fig. 1) (WIELANDT et STRECKEISEN, 1982).

Pour obtenir un plus grand nombre de séismes, nous avons cru judicieux d'enregistrer de plus, en continu, les composantes HGLP (High Gain Long Period = longue période à gain élevé) à 1 Hz et, pour suivre les marées terrestres, les composantes POS (Position de la masse du sismomètre) à un point par minute. Nous avons prévu par ailleurs la possibilité d'enregistrer d'autres paramètres telles la température et la pression à des fréquences d'échantillonnage pouvant varier de 10 Hz à 1/60 Hz.

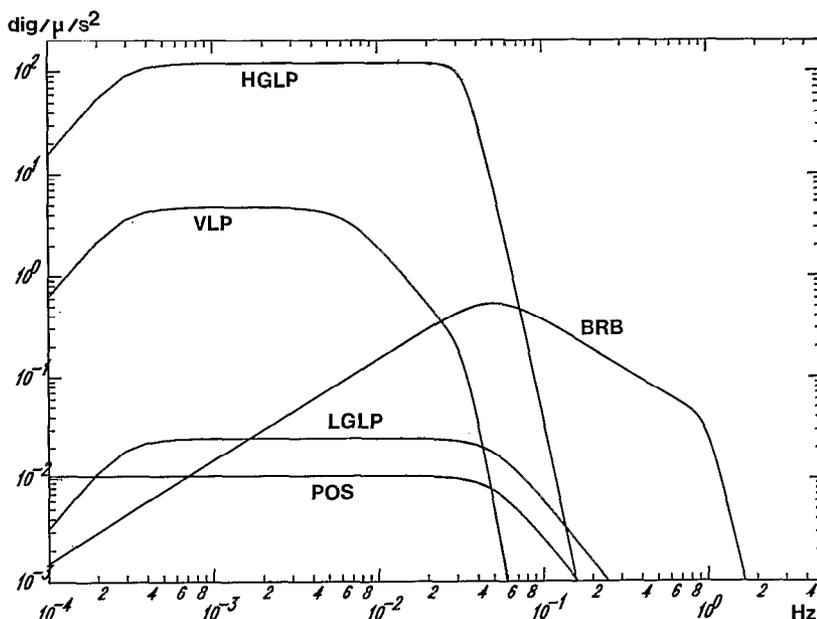


Fig. 1. — Les différentes courbes de sensibilité en accélération (digits/microns/s<sup>2</sup>, 1 digit = 4,88 mV) des sismomètres Wielandt-Streckeisen. Exemple de la station de Bangui.

HGLP = High Gain Long Period (longue période, gain élevé); VLP = Very Long Period (très longue période); LGLP = Low Gain Low Period (courte période, faible gain); POS = Position de la masse du sismomètre; BRB = Broad Band (bande large).

*Different curves of sensitivity in acceleration (digits/microns/s<sup>2</sup>, 1 digit = 4.88 mV) for Wielandt-Streckeisen seismometers. Example from the stations at Bangui.*

(1) TAAF : Terres australes et antarctiques françaises, 24, rue des Renaudes, 75017 Paris.

(2) INSU : Institut national des sciences de l'univers, 77, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

(3) IPGP : Institut de physique du globe de Paris, 4, place Jussieu, 76252 Paris Cedex 05.

(4) EOPGS : Ecole et Observatoire de physique du globe de Strasbourg, 5, rue René-Descartes, 67084 Strasbourg Cedex.

(5) NWU : North Western University, Evanston, IL (USA).

Sismomètres 3 composantes

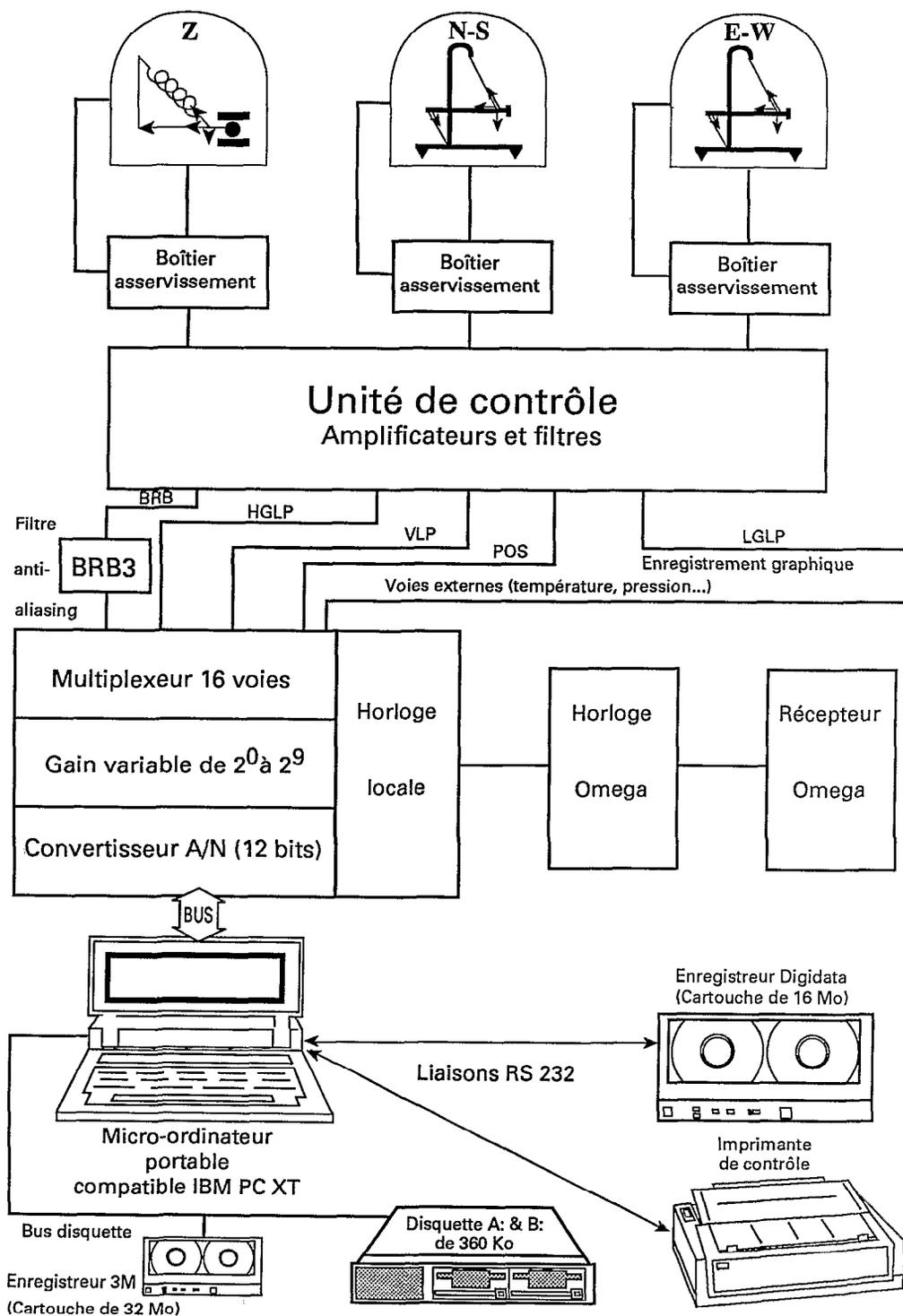


Fig. 2. — Schéma synoptique des stations large bande EOPGS-ORSTOM.  
 Synopsis of broad band stations of EOPGS and ORSTOM.

## MATÉRIEL UTILISÉ

Nous avons articulé ce dispositif d'enregistrement numérique autour d'un micro-ordinateur portable compatible IBM PC xt et d'une carte de conversion analogique-numérique connectée directement au bus du micro-ordinateur. La conversion des 16 voies est réalisée sur 12 bits avec un gain variable à 10 niveaux en puissance de 2 (soit une dynamique de 126 dB). Une carte horloge équipée d'un quartz compensé des variations de température permet d'avoir une référence de temps stable. La correction de cette horloge se fait à partir d'un top minute délivré par une base de temps universelle (réseau mondial Omega).

Le stockage des données se fait sur un enregistreur à cartouche connecté au micro-ordinateur par une liaison de type standard. Nous avons successivement utilisé un enregistreur à cartouche de marque Digidata (liaison RS 232, capacité de 16 Mo) puis un « streamer » de marque 3M (liaison bus, disquette, capacité de 32 Mo) (fig. 2 et 3).

Le prix d'un tel ensemble au début de l'année 1989, en France — y compris l'enregistreur 3 M — était d'environ 40 000 francs HT. La consommation électrique moyenne est d'environ 30 watts avec de fortes pointes d'intensité au démarrage des moteurs des enregistreurs.

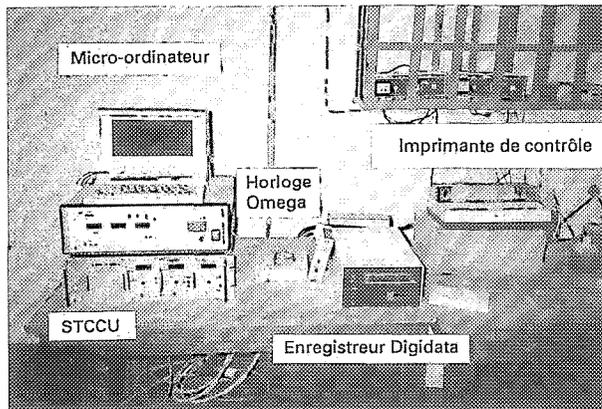


Fig. 3. — Exemple de dispositif d'acquisition numérique EOPGS-ORSTOM en place, station de Bangui (Centrafrique). STCCU = Unité de contrôle et de conditionnement des signaux sismiques (Streckeisen).

Example of the setup for a numerical acquisition device EOPGS-ORSTOM at the station of Bangui (Central Africa). STCCU = Seismic signals control and conditioning unit (Streckeisen).

## LOGICIEL

Le programme d'acquisition est écrit en Assembleur (Microsoft). Il est exécuté à chaque interruption d'horloge (10 Hz) et permet la mesure de 16 voies réparties en un maximum de 6 fichiers distincts (BRB, HGLP, VLP, POS, etc.). Le traitement des données, l'affichage de l'heure et des tops minutes ainsi que la création des en-têtes de bloc dépendent de ce module Assembleur.

La gestion des écritures des données sur les supports magnétiques, les sous-programmes de dessin, l'algorithme de détection d'événement sismique sont écrits en Basic compilé (Olivetti-Microsoft) et se déroulent dans le laps de temps compris entre deux exécutions du programme d'acquisition Assembleur.

## ALGORITHME DE DÉTECTION

La détection d'événement sismique est faite à partir de la voie HGLP verticale. C'est sur cette composante que l'on observe le bruit de fond sismique le plus faible et le plus stable (fig. 9). Le dispositif de détection est basé sur la reconnaissance du dépassement d'un seuil bas (A), légèrement supérieur aux conditions locales du bruit naturel, suivi d'un test sur le dépassement d'un seuil haut (A + B), 3 secondes plus tard (ROULAND et al., 1989). Un troisième seuil définit la fin de la détection (fig. 4).

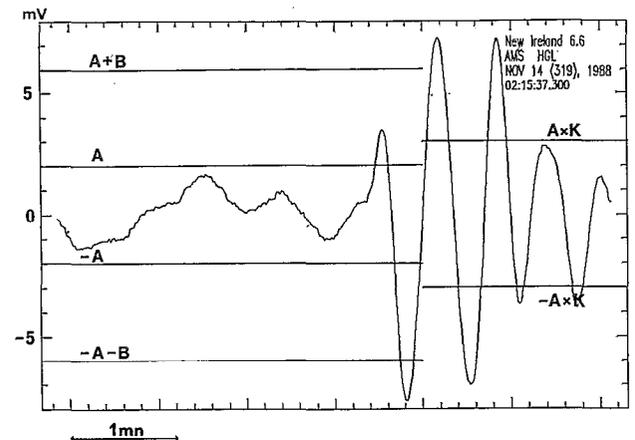


Fig. 4 — Organigramme de l'algorithme de détection. Exemple d'un séisme (Nouvelle-Irlande du 14 novembre 1988, 2 h 14 min 37,30 s) enregistré à la station de la Nouvelle-Amsterdam (océan Indien). Les deux seuils de la détection A et A + B et le seuil de fin de la détection A × K sont représentés.

Flow diagram for the detection algorithm. Example of a seismic event (New Ireland, november 14<sup>th</sup>, 1988, 2 h 15 min 37,30 s) recorded at the station of New Amsterdam (Indian Ocean). Both detection thresholds A and A+B and the threshold of end of detection A × K are represented.

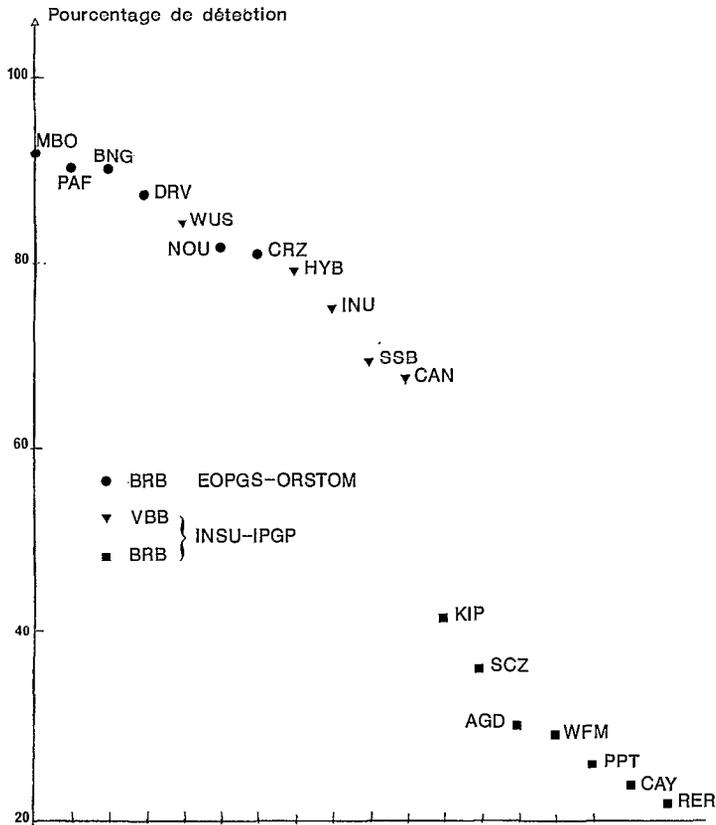


Fig. 5. — Performance du dispositif de détection du réseau Géoscope, à partir d'une sélection de 55 événements du premier semestre 1989.

*Performance of the detection setup of Geoscope network, from a selection of 55 events occurring during the first half of the year 1989.*

Les performances des stations du réseau Géoscope sont très variables. Un test a été fait sur une sélection de 55 événements de plus forte magnitude  $M_b$  (magnitude calculée à partir des ondes de volume) durant le premier semestre 1989 (fig. 5).

On relève :

- plus de 80 % de détections pour toutes les stations du type EOGPS- ORSTOM;
- entre 65 et 85 % pour les stations INSU St-Maur - IGP Paris équipées de la nouvelle instrumentation VBB (Very Broad Band = très large bande);
- entre 20 et 45 % pour l'instrumentation standard initiale BRB.

A titre d'exemple, tous les événements sismiques de magnitude  $M_{sz}$  (magnitude calculée à partir des ondes de surface) supérieure à 5,0 ont été correctement détectés à la station de M'Bour/Sénégal (MBO), 33 détections au total pendant le mois de janvier 1988. Seuls deux événements de magnitude  $M_{sz}$  5,2 et 5,3, à des distances épacentrales de 120 et 160 degrés respectivement, n'ont pas été reconnus (fig. 6).

Ainsi, chaque station du réseau Géoscope serait en mesure de détecter quelque 600 séismes de magnitude  $M_{sz}$  supérieure à 5 1/2 (1). On peut imaginer des performances encore meilleures dans de très bons sites sismiques (jusqu'à 1000 séismes par an de magnitude  $M_{sz}$  supérieure à 5 1/4 (1).

## STATIONS

A l'heure actuelle, 9 stations équipées de ce système d'acquisition numérique et de sismomètres Wielandt-Streckeisen sont en fonctionnement dans le monde (fig. 7).

Ce matériel a été installé en janvier 1987 à la station Dumont-d'Urville (Terre Adélie, TAAF), puis à celles de M'Bour (ORSTOM) au Sénégal et Bangui (ORSTOM) en République centrafricaine dans la même année.

(1) Selon les statistiques de GRONTAL (1979).

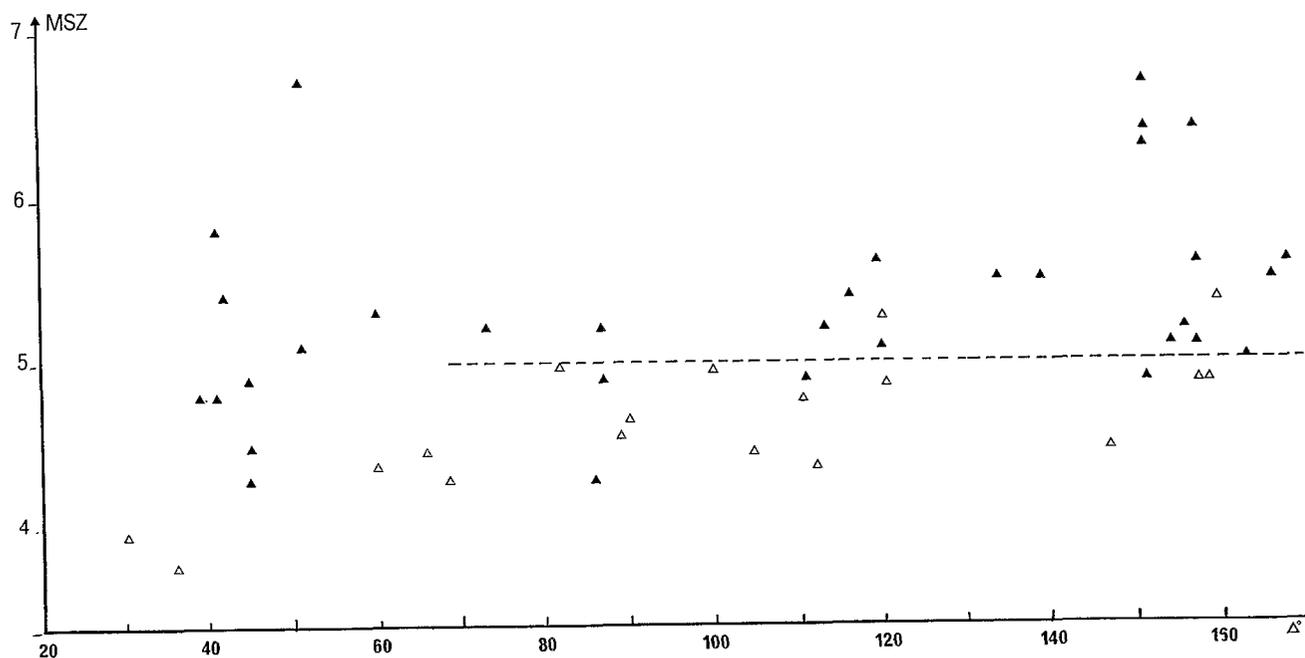


Fig. 6. — Séismes détectés et enregistrés (▲) à M'bour pendant le mois de janvier 1988. (△) séismes non reconnus par l'algorithme de détection. Sur un total de 51 séismes, 33 détections et 2 événements non détectés avaient des magnitudes supérieures à 5,0.  
 Detected and recorded seisms (▲) at M'bour during the month of January, 1988. (△) = seisms not recognized by the detection algorithm. From a total of 51, 33 detected seisms and 2 not-detected events had magnitudes greater than 5.0.

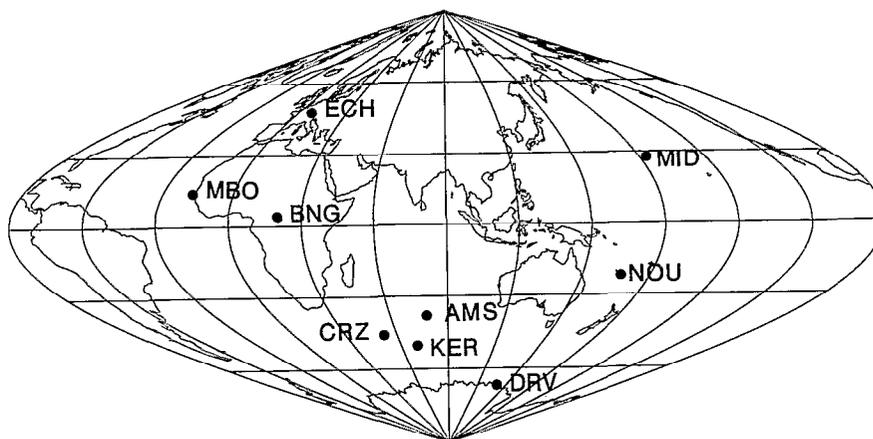


Fig. 7. — Situation géographique des 9 stations large bande utilisant le dispositif d'acquisition numérique EOPGS-ORSTOM.  
 Geographical distribution of the 9 stations Broad Band using the numerical acquisition device of EOPGS-ORSTOM.

Les stations des îles Crozet, Kerguelen et de la Nouvelle-Amsterdam (océan Indien/TAAF) ont été équipées en janvier et février 1988, puis celle de Midway [océan Pacifique, NWU (2) - EOPGS] en décembre 1988.

La station d'Echery (France, EOPGS) a été équipée en avril 1989 d'une transmission radio numérique reliant Echery (Vosges) à Strasbourg, en utilisant un dispositif numérique légèrement modifié.

La station de Nouméa a été équipée du même matériel en mai 1989 pour relier la cave sismique de Port-Laguerre au Centre ORSTOM de Nouméa.

Une version modifiée de ce dispositif enregistre depuis août 1988, à la fréquence d'échantillonnage de 60 Hz, les deux composantes du pendule de 19 tonnes de l'observatoire de Strasbourg (TRAMPERT, CARA et PILLET, 1988).

Moyennant quelques modifications spécifiques, l'observatoire magnétique de l'EOPGS a adapté le même matériel et le même logiciel aux mesures du champ magnétique terrestre (Z, H, D), de ses variations rapides et des variations des courants magnétotelluriques (CANTIN *et al.*, 1990).

## ENREGISTREMENT

Le volume des données à stocker est de l'ordre de 1 mégaoctet par jour et par station en estimant à 4 heures par jour la durée des détections du canal BRB. L'autonomie est de 15 à 30 jours selon l'enregistreur.

En plus d'un enregistrement graphique de la voie LGLP (Long Period Low Gain = longue période faible gain) et une sortie des messages de contrôle sur l'imprimante, nous avons prévu la possibilité d'enregistrer lors de chaque détection, une séquence des voies BRB, HGLP et VLP sur la disquette du micro-ordinateur. Ainsi l'opérateur peut relire aisément ces disquettes et accéder rapidement au signal numérique. A la suite d'un événement majeur, les données sont ainsi plus facilement disponibles et peuvent être expédiées sur l'heure à un centre de traitement.

## RELECTURE

Les données (disquettes, cartouches de l'enregistreur 3M et du Digidata) sont relues sur un micro-

ordinateur compatible IBM PC, connecté par un réseau Ethernet à des stations de travail Sun.

Des logiciels de routine ont été écrits en Fortran sur Sun :

— « Catalog » donne les dates de début et de fin des fichiers ainsi que les ruptures de séquence.

— « Recure » élimine les éventuelles séquences parasites.

— « Journal » dessine la trace continue de la composante HGLP verticale, à raison d'un dessin journalier, ce qui permet de voir rapidement les séismes enregistrés et de suivre le bon fonctionnement de la station (fig. 8).

— « Corhoraire » calcule et dessine la dérive de l'horloge pendant la durée de la séquence.

— « Extraction » permet de stocker, dans un fichier compatible au logiciel d'exploitation SAC (Seismic Analysis Code, TULL *et al.*, 1988), une fenêtre de temps désirée (maximum de 1 h 40 min pour BRB, 8 h 20 min pour HGLP, 3 j 6 h pour VLP, et près de 21 j pour POS).

Ainsi, quelques heures après la réception d'une cartouche, les données sont écrites sous une forme directement exploitable.

## BRUIT DE FOND

Afin de vérifier la qualité de nos enregistrements et de tester celle des sites choisis, nous avons calculé la densité spectrale de puissance (fig. 9) en dB relatif à des  $m^2/s^3$  du bruit de fond de la composante verticale dans les différentes bandes passantes, de 0,5 s jusqu'à 48 heures.

En-dessous de 10 secondes, le bruit de fond dépend principalement du site et des conditions météorologiques. Les exemples de Bangui, situé sur le craton centrafricain à 1000 km de l'océan, et de Port-aux-Français, sur le plateau de Kerguelen en plein océan Indien, sont présentés sur la figure 9.

Entre 20 et 1000 secondes, le bruit de fond passe par un minimum d'environ  $-180$  dB. Il est stable d'une station à l'autre et dans le temps. C'est dans cette bande de fréquence, sur la composante verticale (10 fois moins bruitée que les voies horizontales) que l'on applique l'algorithme de détection.

A plus longue période, on voit apparaître deux pics correspondant aux ondes de marée semi-diurne ( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ), et diurne ( $O_1$ ,  $P_1$ ,  $K_1$ ) (MELCHIOR).

(2) NWU : North western University, Branston, IL (USA).

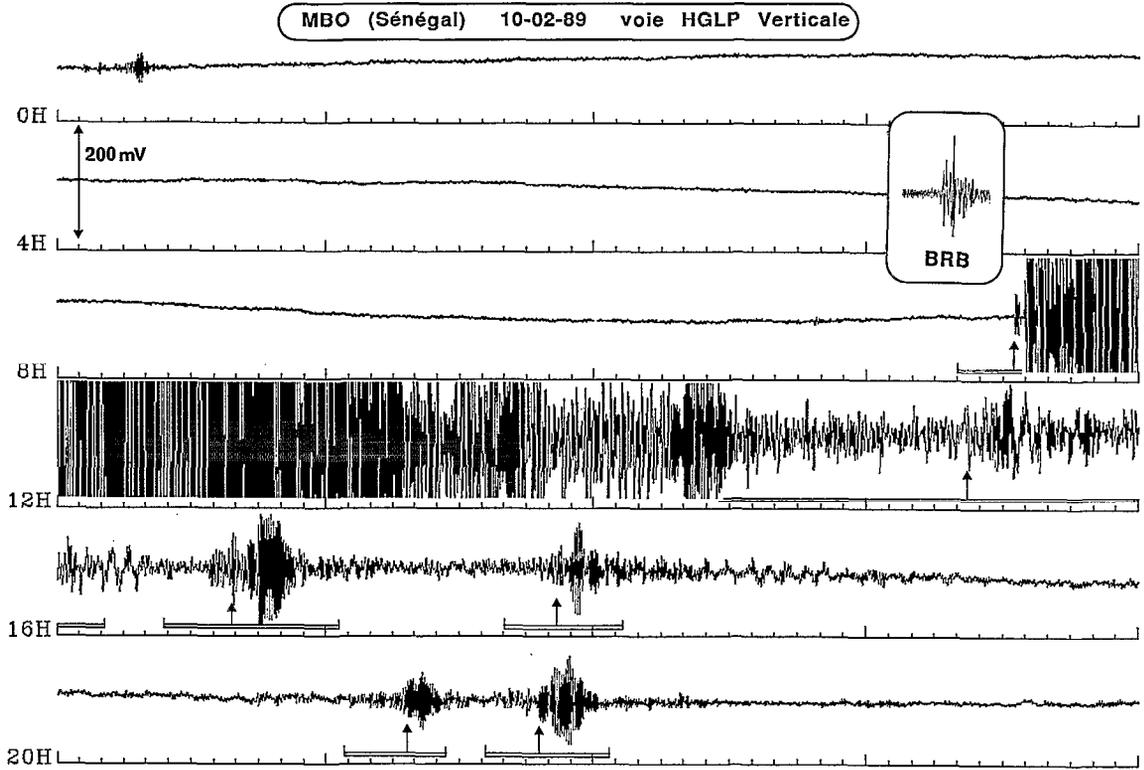


Fig. 8. — Exemple de rejeu d'une journée de l'enregistrement de la composante HGLP verticale de la station de M'Bour. Les périodes d'enregistrement de la composante BRB sont soulignées. Les flèches indiquent l'instant de la détection et la longueur du trait dédoublé correspond à la durée totale enregistrée.

Example of the reconstitution of one day of registration of the HGLP vertical component for the Bangui station. Recording periods of the BRB component are underlined. Arrows indicate instant of event detection and length of the doubled lines correspond to the duration of registration.

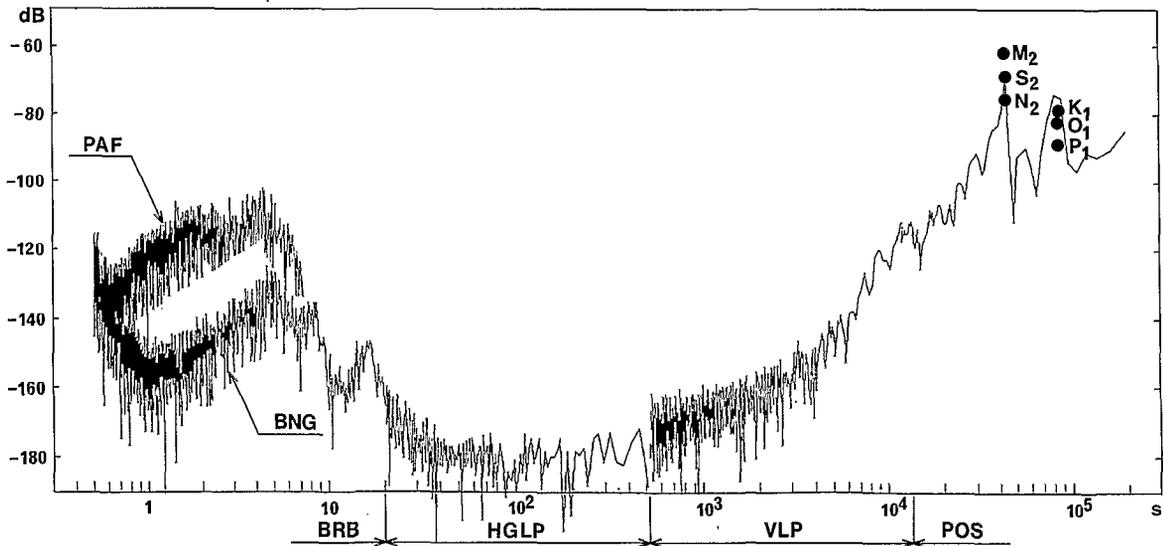


Fig. 9. — Spectre du bruit de fond (en dB relatif à des  $m^2/s^2$ ) à la station BNG (Bangui, Centrafrique). Comparaison avec le spectre BRB de PAF (Port-aux-Français, site insulaire fortement bruité). Les valeurs théoriques des marées semi-diurnes et diurnes sont indiquées.

Noise spectrum (dB in  $m^2/s^2$ ) at station BNG (Bangui, Central Africa). Comparison with the spectrum BRB from PAF (Port-aux-Français, a strongly disturbed insular site). Theoretical values for semi-diurnal and diurnal tides are indicated.

## CONCLUSION

Nous sommes loin de l'élégante, mais très coûteuse solution de l'enregistrement du « Very Broad Band » (VBB) (WIELANDT et STEIM, 1986) numérisée sur 24 bits à la fréquence d'échantillonnage de 20 Hz et transmis en temps quasi réel au centre de traitement.

Mais la qualité des enregistrements, le faible coût d'achat et la fiabilité du matériel en font un dispositif

concurrentiel très bien adapté à des conditions difficiles d'exploitation que l'on peut rencontrer parfois (accès difficiles, alimentation électrique précaire, moyens de communication réduits ...).

## Remerciements

Nous remercions E. J. TULL du Lawrence Livermore National Laboratory de nous avoir fourni le logiciel SAC (Seismic Analysis Code), ainsi que l'équipe locale Géoscope : C. CONDIS, A. MULLER et M. BITTERLY.

*Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 15 février 1991.*

## BIBLIOGRAPHIE

- CANTIN (J.M.), BITTERLY (L.), BURDIN (J.), FOLQUES (J.), PILLET (R.), BITTERLY (M.), GILBERT (D.), MENVIELLE (M.) and CLERC (G.), 1990. — Recent developments of the instrumentation in French Antarctic magnetic observatories. Workshop on Geomagnetic observatory instruments and data acquisition, Tihany Geophysical Observatory, Hungary. September 10-20, 1990.
- MELCHIOR (P.), 1978. — The tides of the Planet Earth. Pergamon Press. Oxford, 609 p.
- GRÜNTAL (G.), 1979. — The seismic regime in the German Democratic Republic. *In*: Proceedings of the Meeting of the Working Group 4.3 KAPG, Bratislava.
- ROMANOWICZ (B.), CARA (M.), FELS (J.F.) and ROULAND (D.), 1984. — GEOSCOPE: A French initiative in long-period three component global seismic network. *EOS*, vol. 65: 753-754.
- ROULAND (D.), PILLET (R.), JIMENEZ (E.) and MAISONS (C.), 1987. — An application of an event detection algorithm to real time digital recording and work station processing. *Terra Cognita*, vol. 7.
- ROULAND (D.), PILLET (R.), MAISONS (C.), CONDIS (C.) et MULLER (A.), 1989. — A propos d'un algorithme de détection. *Cahiers des Observatoires Sismologiques Large Bande*, fasc. 1, EOPG Strasbourg.
- TRAMPERT (J.), CARA (M.) and PILLET (R.), 1988. — The use of the large pendulum of Strasbourg for magnitude determination. XIII EGS, Bologna.
- WIELANDT (E.) and STRECKEISEN (G.), 1982. — The leaf spring seismometer: Design and performance. *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 72: 2349-2368.
- WIELANDT (E.) and STEIM (J.M.), 1986. — A digital very-broad-band seismograph. *Annales Geophysicae*, vol. 4B: 227-232.