

Annales Hydrographiques

5^e Série - Vol. 21

N° 768



Service
Hydrographique
et Océanographique
de la Marine



1997

ANNALES HYDROGRAPHIQUES

TABLE DES MATIÈRES

Pages

Première partie

Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre: preliminary results from the Semane and Interafos experiments. par L. CHÉRUBIN, A. SERPETTE, X. CARTON, J. PAILLET, O. CONNAN, P. MORIN, R. ROUSSELET, B. LE CANN, P. LE CORRE, T. LABASQUE, D. CORMAN, N. POETE.....	5
<i>Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos</i>	70
Mixing processus in the Mediterranean outflow along the Iberian shelf par L. CHÉRUBIN.....	83
<i>Processus de mélange dans l'écoulement d'eau méditerranéenne sur le talus ibérique.....</i>	99
Bilan de l'évaluation des possibilités de la photobathymétrie, par M. EVEN , Ingénieur Principal de l'Armement.....	107
Production de documents et bases de données hydrographiques du SHOM, par Y. LE FRANC, Ingénieur sur contrat	113
La responsabilité des services hydrographiques, par G. BESSERO, Ingénieur en Chef de l'Armement	119

Deuxième partie

Mission Océanographique du Pacifique - Échelon de Nouvelle-Calédonie (mai 1992 - mai 1994), par H. DOLOU, Ingénieur Principal des Études et Techniques d'Armement	131
---	-----

5^e Série - Vol. 21 - 1997
N° 768

© S.H.O.M. 1997 — Tous droits réservés.

ISBN 2-11-088177-1

PREMIÈRE PARTIE



Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre: preliminary results from the Semane and Interafos experiments

**L. Chérubin¹, A. Serpette¹, X. Carton¹, J. Paillet¹, O. Connan², P. Morin²,
R. Rousselet¹, B. Le Cann³, P. Le Corre², T. Labasque¹, D. Corman¹, N. Poete¹**

*(1) SHOM/CMO, (2) LOC/UBO, (3) LPO/UBO
Brest, France*

Abstract

We present an overview of the hydrological and dynamical situations during the summer and fall of 1995 in the Cadiz-West Portugal (CWP) area of the north-Atlantic ocean. This composite analysis is based on data collected during the Interafos and Semane experiments. We focus on the evolution of the Mediterranean Water (MW) outflow in the vicinity of the continental slope, from its outlet at the Straits of Gibraltar to its entry into the Bay of Biscay, around Cape Finisterre. Horizontal maps and vertical cross-sections of temperature and salinity clearly indicate the role of mixing, of topographic steering and of instabilities in this progression. Two main undercurrents are formed after hydrostatic and geostrophic adjustment of the outflow close to the straits, and follow distinct paths. These paths later join, near the Portimao canyon (8° 35' W, 36° 45' N), where both cores mutually exert a strong dynamical influence. This canyon induces a widening of the lower core resulting in filament shedding. The blobs which detach there may later merge with the wide overshooting of MW cores at cape St Vincent, and form anticyclonic lens eddies (meddies). A similar instability occurs north and south of the Tagus plateau, where meddies detach from the MW currents. South of the Tagus plateau, considerable westward spreading occurs, mainly driven by eddy fluxes. North of the Tagus plateau, the undercurrents seem to form a double cyclonic/ anticyclonic gyre. North of 41° N, two branches of MW are found, one progressing northwestward to the Galicia Bank, the other flowing northward along the Iberian shelf. This global circulation regime, and the detachment of meddies from the undercurrents, are confirmed by the Lagrangian trajectories of Rafos and of deep-drogued Surdrift buoys. Finally, concentration measurements of volatile halocarbon compounds indicate that the MW outflow at Gibraltar was formed 10 to 13 years earlier in the Liguro-Provencal basin, and has been advected since at about 0.3 cm/s.

Submitted to Annales Hydrographiques, December 1996

I. Introduction

The Cadiz-West Portugal area (hereafter CWP) investigated during the Semane and Interafos experiments, covers the oceanic region east of 15° W and between 35° N and 45° N. The bottom topography in this region is a (rather) gentle slope in the gulf of Cadiz, much more abrupt along the European and African coasts. The continental shelf is quite narrow (at most 40 km wide) and is indented by numerous transverse canyons.

Oceanographically, the region is of considerable interest in two respects :

a) it is the eastern boundary of the intergyre region. Though the general circulation in this region was traditionally considered weak and fluctuating, lateral exchanges between the ocean interior and CWP were recently proved to be non-zero (Arhan et al., 1994 ; Mazé, 1995 ; Paillet, 1996). They are even quite necessary to close the vorticity and tracer budgets, and significant meridional and vertical transfers result from the convergent/divergent current system in CWP.

b) Mediterranean water (hereafter MW) enters this region through the Straits of Gibraltar, undergoes hydrostatic and geostrophic adjustment in the eastern part of the gulf of Cadiz, and progressively mixes with the surrounding water. Once stabilized in the permanent thermocline, it flows as topographically steered undercurrents along the Iberian shelf, as a westward diffusive tongue itself fed by south-westward propagating anticyclonic lenses (meddies).

CWP has often been surveyed, mainly to determine with ever greater accuracy the various paths of the MW outflow. Many experiments have been conducted, among which those of the "Calypso" and "Discovery-II", during the IGY (1957-58), of the "Jean Charcot" and of the "Meteor" in 1967 (Madelain, 1970 ; Zenk, 1970, 1975). CWP was revisited in 1976 by the "Challenger expedition" (Ambar and Howe, 1979), and in 1988 by the "Gulf of Cadiz expedition" aboard the "Oceanus" (Prater, 1992 ; O'Neil-Baringer, 1994). Quite recently (1993), the "Mediterranean Undercurrent Seeding Experiment" aimed at tracking meddies from their generation sites, close to the Portimao canyon and to cape St Vincent (Bower et al., 1995). In the context of the general circulation in the northeastern Atlantic and of its eastern boundary conditions, "Bord-Est-2" was conducted in 1988 along 15° W (Arhan et al., 1994). The "Bord-Est-3" experiment added a description of the zonal and meridional fluxes along the Iberian Peninsula, east of 12° W (Danialt et al., 1994 ; Mazé et al., 1996).

In 1995, a comprehensive research program, Arcane, was initiated by SHOM and IFREMER to study the MW outflow and the interaction between shelf/slope dynamics and the general circulation in the ocean interior. The experimental program began in 1996; it was preceded by two preparatory expeditions, Interafos (June and October 1995) and Semane (October 1995). Interafos was designed as a technological test of various Rafos floats. It essentially took place between 39° N and 45° N, and 8° W and 14° W. The seeding of Rafos floats at various immersions was accompanied by an hydrological survey to locate the main cores of MW. Semane was Interafos counterpart, as it took place in the southern half of the CWP domain (35° N - 40° N ; 6° 30' W -12° W), chiefly relying on hydrological measurements of the MW undercurrents. A few deep-drogued Surdrift buoys were also released.

We report hereafter the essential results of both experiments. We try to perform a composite analysis of all data sets (within reasonable limits) to provide an overview of the MW paths and instabilities, from its outlet at the Straits of Gibraltar to its entry into the Bay of Biscay, after veering eastward around Cape Finisterre. After a brief review of the essential processes pertaining to MW in CWP, we present the experimental design, the data set and how it was processed (section 2). Section 3 focuses on the hydrological measurements: temperature and salinity vertical profiles, θ/S diagrams and regressions are successively presented, and hydrological cross-sections are analyzed. They illustrate the essential features of MW progression through CWP. In section 4, geostrophic velocities are compared to LAD (lowered acoustic Doppler) measurements, and the potential vorticity distribution of the MW undercurrents is described. The trajectories of the Rafos floats and Surdrift buoys are compared with the other velocity measurements. Section 5 is devoted to transient tracer analyses, in particular halocarbon compounds. It allows us to date the formation of MW flowing at the outlet from the Straits of Gibraltar. Finally section 6, synthesizes and discusses these results in view of the existing literature and suggests possible improvements of our knowledge of this region via future measurements.

2 Regional oceanography, methodology for data gathering and processing

2.1 Descriptive oceanography of the Iberian shelf

The Mediterranean water outflow and lenses

Fig.1 synthesizes the various paths of the Mediterranean water in CWP, according to the literature. We observe that MW enters the northeastern Atlantic ocean through the Straits of Gibraltar. Roughly 1 Sv of warm and salty water ($\theta = 13.4^\circ\text{C}$, $S = 38.4$ psu) flows out of the Straits between 200 and 400 m, around 6° W, with a higher density ($\sigma_\theta = 28.95$ kg/m³) than the surrounding North Atlantic Central Water (NACW, $\sigma_\theta \leq 27.95$ kg/m³). The outflow velocities can reach 1.8 m/s. The zonal orientation of the channel abruptly transforms into quasi-meridional isobaths around $6^\circ 30'$ W. There, under the action of the Coriolis force, the MW undercurrent veers north, then northwest ; it soon bifurcates into several cores near 7° W : Madelain (1970) observes two of them, the shallower one being well channeled between the 300 and 500 m isobaths, while the deeper one plunges westward into canyons. Zenk (1975) observes four cores (which merge into three near $8^\circ 30'$ W). He explains the presence of these multiple cores by the mixing of MW with the surrounding NACW. Around 8° W, Ambar and Howe (1979) confirm the presence of two cores, the shallower one being warmer ($\theta = 13.5^\circ\text{C}$ at 700 m), and the deeper one colder ($\theta = 12.5^\circ\text{C}$ at 1000 m); the salinity then has decreased to 37.2 psu. Near $8^\circ 30'$ W, the two cores become narrower and get closer, and the lower interface deepens to 1200 m, as the shelf becomes steeper (Madelain, 1970 ; Zenk, 1975). Near the Portimao canyon ($8^\circ 35'$ W, $36^\circ 45'$ N), these cores can become unstable (Prater, 1992).

Both cores then flow between the Gorringe Bank and Cape St Vincent (9° W, 37° N) : the shallower core, at 800 m, veers to the north close to the cape (Ambar and Howe, 1979) while the deeper core, around 1200 m, has a northwestward diffusive tendency (Daniault et al., 1994). Their velocity has then decreased to 15-20 cm/s, their temperature to $12-13^\circ\text{C}$ and their maximum salinity to 36.5 psu (Ambar and Howe, 1979). The ratio of pure MW in the outflow has decreased to 50% from the Straits of Gibraltar to around $7^\circ 30'$ W for the shallower core, and to the vicinity of Cape St Vincent for the deeper core. According to Daniault et al. (1994), the cores flow northwestward along west-Portugal, with a recirculation branch turning southward toward the Gorringe Bank. North of the Tagus Plateau, the cores flow northward along the continental slope, and northwestward toward the Galicia Bank. The salinity decreases from 36.5 psu near Cape Saint Vincent down to 36.1 psu near Cape Finisterre. Due to instability and to topographic influences, large anticyclonic lenses of

MW (meddies) detach from the alongshelf cores. The preferred formation sites seem to be the Portimao canyon (Prater, 1992), Cape St Vincent (Bower et al., 1995), and south of the Tagus Plateau (Zenk et al., 1992). These meddies are large ($R = 30-50$ km) and tall ($H = 800-1000$ m) intrathermocline eddies, rapidly spinning ($\zeta/f_0 \approx 0.3$). These meddies are long-lived and drift southwestward; thus they significantly contribute to momentum, heat and salt budgets in the region.

Other dynamical elements

A few other elements can be recalled, which will not be used hereafter, and are thus simply outlined. Depending on the position of the Azores atmospheric anticyclone, winds can blow southward along the coasts of Portugal and Morocco (mostly in summer). This generates upwellings by Ekman drift ; these masses of colder and fresher water, rich in nutrients, are favorable to fish development and have thus been studied in detail. Recently, poleward currents at the level of central water have been found to intensify in winter (Neshyba et al., 1989); they enter the Bay of Biscay, where they can become unstable on the Cape Ferret canyon, and generate anticyclonic eddies (called swoddies, Pingree & Le Cann, 1992).

Finally, CWP is also the eastern boundary layer of the large-scale ocean circulation. Veronis (1973) suggested that zonal transports from the open ocean could be balanced in this boundary layer by a meridional circulation. Pedlosky (1983) and Huang (1989) then proposed that this balance could also be achieved by a downwelling of the surface inflow and a westward transport in the deeper layers. This mechanism was called "eastern boundary thermocline ventilation". From a hydrological survey, Mazé et al. (1996) suggested a combination of both downward and meridional circulation.

2.2 Semane and Interafos data collection

Four ships took part in data collection : BSHM *Alcyon* and BH2 *Lapérouse* during Interafos-I, BH2 *Lapérouse* and BSHM *Ailette* during Interafos-II and BO *D'Entrecasteaux* during Semane. Fig.2a (resp. 2b) presents the locations of the hydrological measurements during Interafos-I (resp. Interafos-II and Semane). Interafos-I investigated the Galicia Bank in detail, and performed a few sections close to the shelf, and also a box-like pattern of larger-scale sections. Interafos-II comprised several across-slope transects, a specific survey of the Galicia Bank and a few sections south of that bank for a meddy search. Semane was divided into two networks, the first one in the Gulf of Cadiz, from the Straits of Gibraltar westward, the second west of Portugal, from the Nazare canyon southward. Both networks were essentially composed of sections perpendicular to the slope. A total of 100 XBT and XCTD casts, and of 44 CTD stations, were performed during

Interafos-I; 150 XBT and XCTD casts and 20 CTD stations were achieved during Interafos-II and finally 210 expendable probe casts and 76 CTD stations during Semane. Fifteen (resp. seventeen and twenty) CTD stations were accompanied by water sampling in nine Niskin bottles for chemical (tracer and salinity) analysis, during Interafos-I (resp. Interafos-II and Semane).

Fig.2c and 2d present the locations of LAD (lowered acoustic Doppler current profiler) measurements, and of Rafos and Surdrift release. LAD measurements were achieved at a fixed point, with 17 deep probings within 24 hours during Interafos-I, and at 61 points, mostly aligned on special transects, during Semane. These transects were located close to the canyons to measure the deviation of the MW undercurrents. Twenty Rafos floats were released between $9^{\circ} 30' W$ and $10^{\circ} W$, at $40^{\circ} N$, during Interafos-I, nine of which surfaced at the end of September 95 and eleven in mid-January 96. Five floats were launched around 500 dbar, six around 1000 dbar, nine around 1500 dbar. During Semane, ten drifting buoys (Surdrifts), drogued between 700 and 1300 m, were released in the MW for a 3-month duration.

2.3 Data processing

Hydrological profiles were first calibrated using the in-situ measurements (surface temperature and chemical analysis of the salinity). A median filter and an individual inspection were applied to eliminate spurious points on each profile. A Newtonian binomial smoothing was then applied, and a reduction to a maximum of 900 points was finally performed, the applied criterion being the ability to reconstruct each profile by linear interpolation from the filtered and reduced profile, with a minimal error.

LAD data was also processed by the sequence of algorithms designed by E. Firing (see also Fisher and Visbeck, 1993). The method globally consists in the vertical integration of vertical shears of horizontal velocity to restore absolute horizontal velocities, with a reference at the surface. Our contribution to the algorithms was to eliminate the bias between the downward and upward profiles. Still, it appeared that a consistent correction on the full length of each profile was difficult to obtain, and corrections were finally applied to the deepest point at each station. Moreover, vertical velocity measurements remained weak, noisy and below the instrument sensitivity.

Float trajectories were low-pass filtered at 3 days and re-sampled every 4 hours. For Surdrift buoys, a test on the amplitude of accelerations was performed in order to determine the loss or the stranding of the drogue. For Rafos floats, time-series of pressure and temperature were plotted to check if the float remained at its nominal immersion.

3 Hydrology of the Iberian shelf

3.1 Temperature, salinity and density data

Fig.3a presents the temperature and salinity profiles for stations located at chosen sites (see Fig.2a, b, for their locations) : the Straits of Gibraltar (215), the two MW cores at cape St Vincent (325 and 327), south of the Tagus Plateau (SB29), north of the Tagus Plateau (SB04), between the 2000 and 3000 m isobaths at $41^{\circ} 40' N$ (008), southwest of the Galicia Bank at $42^{\circ} 30' N$ (035) and at Cape Finisterre (SB10 and SB05). In order to appreciate the extension of Mediterranean water in CWP, we also plot two profiles located far from the outflow, at stations 225 south-west of Gibraltar, and 421 west of the Gorrige Bank, as well as one seemingly located in a meddy (366) southwest of the Tagus Plateau. In CWP, the signature of MW clearly appears in salinity, while that in temperature is not marked by a maximum, but rather by an isothermal layer.

The profile at station 215 shows that the MW has $T = 13.4^{\circ}C$, $S = 37$ psu at the Gibraltar outlet, and that it then flows between 570 and 730 m above the topography. In terms of anomaly against the background values of the north-Atlantic central waters, we find $\delta T = 2^{\circ}C$, $\delta S = 1.4$ psu. The comparison with bottom values at station 214 shows that MW essentially flows on the northern part of this section (at $6^{\circ} 45' W$). Nevertheless, MW diffuses rather strongly, since a salinity anomaly is found between 630 and 850 m (max. $\delta S = 0.3$ psu) at station 225 ($35^{\circ} 10' N -7^{\circ} W$) on the Moroccan continental slope. We do not detail here the evolution of MW from its outlet to Cape St Vincent, since the most interesting hydrological sections will be described later. Focusing on stations 325 and 327 at Cape St Vincent, we note an upper MW core between 550 and 750 m on the continental slope, with $T = 13.2^{\circ}C$, $S = 36.7$ psu and a lower core between 900 and 1400 m, with a peak of $T = 12.8^{\circ}C$, $S = 36.55$ psu at 1200 m.

An interesting feature can be noticed in the vicinity of the Tagus Plateau (stations SB29, SB04 and 008 from south to north) : the decrease in salinity and in temperature between SB29 and SB04 is much stronger than those between SB04 and 008. This might indicate that the transport processes are different (branch or meddy formation, diffusion). Offshore of the Tagus Plateau (station 366), we observe a patch of MW with a lower core stronger than the upper one (lower core: $T = 12.3^{\circ}C$, $S = 36.65$ psu). North of $42^{\circ} N$, station 035 shows a more diluted MW signal than SB10, which indicates a preferred path of MW along the slope. In the vicinity of Cape Finisterre (SB10 and SB05), we note again a strong decrease in the upper core signals. This might be attributed to meddy formation. Stations 415 and 421 are located on the eastern and western flanks of the Gorrige Bank respectively. They show diluted,

but noticeable salinity and temperature anomalies between 800 and 1500 m. This signal is more likely to be associated to regular eddy fluxes than to the actual presence of a meddy.

Fig.3b presents a typical profile of Brunt-Vaisala frequency, $N^2 = -(g/\rho_0) \partial\rho/\partial z$, (at station 327 at Cape St Vincent) ; ρ is the local potential density, ρ_0 its vertical average, and g is gravity. This figure confirms that the stratification is strongest above the upper core (600-700 m) and below the lower core (1500 m), where the isopycnals are squeezed, and that it has a minimum inside the cores between 800 and 1300 m, where the isopycnals are stretched. Note also that the frequency decreases from east to west, suggesting strong mixing processes.

3.2 θ/S diagrams, water masses and regressions

In Fig.4a-b, we display the (θ,S) diagrams for both regions (Gulf of Cadiz and west-Portugal); θ is the potential temperature. In dark red, the properties in the mixed layer show considerable dispersion, due to the variability of atmospheric fluxes. In dark green, the central water (between 200 and 500 m) is better defined in the Gulf of Cadiz than in west-Portugal; that can be attributed to the different latitudinal extent of the two regions, and also to upwellings and surface heating which perturb the relation in west-Portugal. In the Gulf of Cadiz, Mediterranean water is traced starting at 500 m (light blue), and the shallower core lies around 600-800 m; these ranges shift to 600 m, and 700-900 m in west-Portugal. In the Gulf of Cadiz, the deeper core of MW has salinity maxima between 1000 and 1200 m, and lower MW extends into the 1200-1500 m range. In west-Portugal, an intermediate peak appears in the 1000-1100 m interval, which will be attributed to mixing between both MW cores in the St Vincent canyon. We also note the signature of MW in the range 1200-1500 m.

During Semane, a large number of XBT casts were performed. Since the signature of MW is better identified by salinity anomalies, we wish to infer salinity from temperature measurements, using (θ,S) relations. In Fig.4c, we plot the same (θ,S) diagram as in Fig.4a-b, but only for the region close to Cape St Vincent (presenting both MW cores). We notice that the (θ,S) relations are quite linear with little dispersion, at every immersion (these linear relations are obtained by least square fit). We use these relations to infer salinity from temperature on several CTD stations (to check the efficiency of the method by comparing computed salinity to in-situ measurements). The result is shown in Fig.4d for station 322. The measured salinity is plotted in purple, and the calculation in black. The deviation is less than 0.15 psu, between 450 and 950 m, which is satisfactory since the peaks of MW are well restored. The error is concentrated mostly in the troughs of fresh

central water, where MW may be under-represented, and close to the surface where the variability escapes statistical analysis. Using a proper decomposition of the experimental area into subdomains where the (θ,S) relation is linear at every depth, we can thus satisfactorily estimate the salinity from the temperature profiles ; we will use this below for mapping purposes.

3.3 Physical analysis of the hydrological cross-sections

In Fig.5, we present the most significant hydrological cross-sections mentioned on Fig.2b : Cadiz-3 at $7^\circ 15' W$ in the eastern part of the Gulf, Cadiz-7 at $8^\circ 32' W$ on the downstream flank of the Portimao canyon, section Cadiz-8 at $8^\circ 45' W$ after the Portimao canyon, Cadiz-12 close to Cape St Vincent (a northeast to southwest section), Tagus-1 and Tagus-2 at $39^\circ 45' N$ and $39^\circ 20' N$, Interafos-I.4 at $41^\circ 20' N$ ($9^\circ 15' W$ - $10^\circ 15' W$), Interafos-I.5 at $10^\circ 20' W$ ($39^\circ 40' N$ - $41^\circ 30' N$), Interafos-I.9 between $40^\circ N$ - $10^\circ 15' W$ and $41^\circ 30' N$ - $13^\circ W$ and Interafos-II.3 between $43^\circ 30' N$ - $8^\circ 45' W$ and $44^\circ 15' N$ - $9^\circ 45' W$.

Cadiz-3 (Fig.5a) clearly shows that MW flows on the continental slope after the Straits, with maximum salinity $S = 36.8$ psu at 750 m ; it has a width of 70 km and a 400 m thickness, taking the isohaline $S = 36$ psu as the boundary of the core ; it is bounded in the south by a cold countercurrent about 20 km wide. Section Cadiz-7 (Fig.5b) shows two cores of MW, the shallower core with maximum $T = 13.2^\circ C$, $S = 36.5$ psu at 800 m, the deeper core with $T = 12.2^\circ C$, $S = 36.6$ psu at 1300 m. This latter spreads laterally over about 40 km, suggesting an outward meander. Section Cadiz-8 (Fig.5c) exhibits a blob of warm and salty water ($T = 11^\circ C$, $S = 36.3$ psu) detaching from the lower core. Section Cadiz-12 (Fig.5d) shows a wide (40 km) lower core with two salinity and temperature maxima ($S = 36.4$ - 36.5 psu, $T = 11$ - $11.6^\circ C$), one along the coast, one offshore. The upper core is now spreading outwards. This overshooting is reminiscent of the numerical simulations of the generation of eddies by a flow around a cape (Pichevin and Nof, 1996).

In Fig.5e (section Tagus-1), we observe that two cores of MW flow in opposite directions at $39^\circ 45' N$, one northward along the slope, one southward around $10^\circ 15' W$ (50 km west of the shelf). These flow directions are deduced from the slope of the isopycnals. Section Tagus-2 (Fig.5f) , slightly to the south of Tagus-1, confirms that a salty core flows southward, between 800 and 1300 m, along $10^\circ 15' W$. Section Interafos-1.4 (Fig.5g) shows a northward MW current along the slope, with $T > 11.5^\circ C$ at 800 m, and $S > 36.2$ psu at 1200 m, with a warm and salty filament that flows offshore (50 km away from the shelf). Section Interafos-I.5 (Fig.5h) confirms that a double core of MW (warm upper core and salty lower core) flows along $10^\circ 15' W$ from

40° N to 41° 30' N. Section Interafos-I.9 (Fig.5i) nicely evidences a meddy that was seen by an XBT probe to have a maximum temperature of 12.5°C at about 750 m and a second core of high temperature around 1000 m. It has roughly a 800 m vertical extent and a 50 km radius. It must have detached from the coastal MW cores north of the Tagus Plateau, since meddies usually drift southwestward. Finally, section Interafos-II.3 (Fig.5j) is presented to characterize the MW cores at Cape Finisterre: they extend vertically from 700 to 1200 m, and the maximum salinity is now located around 1000 m, with $S = 36.1$ psu, while $T > 11^\circ\text{C}$ at 750 m.

These results are synthetized in Fig.6, where a 3D plot of the salinity anomaly is superimposed on the bottom topography. This anomaly is defined by the value inside the MW cores minus that at the most remote point from these cores on given sections. Fig.6a cuts this volume along the vertical plane of the Cadiz-4 cross-section (7° 30' W), and the horizontal plane at 1200 m. Three cores of MW are observed along Cadiz-4, separated by a peak and a step in bathymetry. Along Cadiz-6 (Fig.6b), the upper and lower MW currents are now well separated, the shallower core flowing above the bottom topography, and the deeper core along the continental slope. Figures 6a and 6b show that, at 1200 m, the lower MW current narrows in the Portimao canyon (rather on the upstream flank of the canyon) and in the Cape St Vincent canyon. A long salinity filament extends close to the Portimao canyon and rolls up at its western tip. Fig.6c shows the veering of both cores at Cape St Vincent: the upper core turns north before the lower core, it bifurcates at the level of the St Vincent canyon, where one part plunges down- and outwards, and the other part heads northward. On the contrary, the lower core veers north close to the canyon, with a wide overshooting, and then progresses northwestward. This western branch, south of the Tagus Plateau, was at the time of the cruise, connected to a meddy (observed at station 366) on the north, and to a southward branch recirculating towards the Gorrige Bank.

4 Eulerian and Lagrangian velocity data

4.1 Geostrophic velocity and reference level

The geostrophic velocities are obtained by vertical integration of the thermal wind relation, $\partial u/\partial z = (g/\rho f) \partial \rho/\partial y$, $\partial v/\partial z = -(g/\rho f) \partial \rho/\partial x$. A reference level of no motion is chosen at the level of minimum salinity between the Central Water and the MW (around 500 m, see also Ambar and Howe, 1979).

Fig.7a presents the horizontal map of geostrophic velocity at 700 m, from the Semane experiment. The MW outflow is clearly concentrated along the slope in the Gulf of Cadiz. Cross-isobath flows and along-isobaths accelerations are noticeable in the vicinity of the Portimao and St Vincent canyons. In the west-

Portugal region, the circulation is more complex, with flow detachment from the slope, meanders and branches. A westward branch is observed at 37° 20' N between 9° 30' W and 11° W. This branch turns southward towards the Gorrige Bank. A northwestward flow appears between the Gorrige seamounts. South of the Tagus Plateau, a southeastward countercurrent flows along the slope, in the vicinity of the Lisbon and Setubal canyons. North of the Tagus Plateau, the flow is northward along the slope and southward offshore (at 39° 30' N, 10° W).

The horizontal currents at 1200 m are shown in Fig.7b. The currents are similar to those at 700 m; still, between 37° 40' N and 38° 30' N, the flow is essentially southward. This may imply that, north of 37° 30' N, the lower core is progressively climbing above 1200 m, while flowing near the shelf : a hint for this is the slightly shorewards orientation of the velocity vectors at 37° 20' N - 9° 30' W.

4.2 Absolute velocity and potential vorticity

Fig.8a shows the vertical section of geostrophic velocities (u and v components) along Cadiz-8T. This section follows the northeast to southwest axis of the Portimao canyon. The reference level is chosen at 550 m. The maximum zonal velocity is 12 cm/s at 800 m and 1200 m. The main meridional component is southward at 800 m and northward at 1200 m; this suggests convergent MW undercurrents in the canyon. This convergence is associated to the horizontal flow acceleration near the canyon observed in the horizontal velocity maps (Fig.7). Fig.8b shows the same cross-section with LAD measurements. They only reach 1300 m over the slope, but include both cores of MW. We first note that the upper MW core has $u > 42$ cm/s, a value four times larger than the geostrophic component, even if it is less accurately sampled because the horizontal spacing of the stations is larger. In the lower core, which is better sampled, the velocities reach 50 cm/s, six times the geostrophic value. The meridional velocity is positive both for the upper and lower cores. Two strong peaks of northward velocity above 500 m (14 cm/s) and below 1200 m (20 cm/s) indicate the narrowing effect of the canyon on the outflow. We note that the zonal LAD velocities reach 4.2 cm/s at 550 m, which thus cannot be considered at rest, but only as a level of minimum velocity.

A comparison between section Cadiz-6 upstream of the canyon (not shown) and section Cadiz-8 downstream indicates a narrowing and an acceleration of the flow upstream of the canyon, followed by a widening and a deceleration downstream. Consequently, the canyon may trigger baroclinic instabilities as the upper core is strongly deflected northward and the lower core southward, when they exit the canyon.

Along Cadiz-8T, we have also computed the vertical distribution of potential vorticity, using all the LAD and CTD stations to obtain relative vorticity and vortex stretching. The density section (not shown) evidences the two MW cores at $\sigma\theta = 27.4 \text{ kg/m}^3$ and at $\sigma\theta = 27.75 \text{ kg/m}^3$. Fig.9 shows the distribution of density-weighted potential vorticity $\rho Q = -(\zeta + f) \partial p / \partial z$, on isopycnal surfaces along Cadiz-8T. Though the two MW cores are not perfectly resolved, they both correspond to strong negative anomalies of potential vorticity, vertically separated by positive anomalies where isopycnals are squeezed. These positive anomalies are stronger below than above the cores, a fact often observed for meddies (Tychensky and Carton, 1997).

4.3 Lagrangian float trajectories

Fig.10a shows the trajectories of the Surdrift buoys launched during Semane. Four buoys, drogued at 700, 750, 1000 and 1300 m, were launched along $8^\circ 20' \text{ W}$, between $36^\circ 30' \text{ N}$ and $36^\circ 45' \text{ N}$. We intended to observe significant deviations over the Portimao canyon. In fact, only the northernmost buoy was rapidly carried away westward, while the other buoys slowly drifted towards the MW cores from their original location. Three other buoys, launched before (along 9° W) and after (along 37° N) Cape St Vincent, were drogued at 1000 m for the first one, and at 1100 and 1150 m for the last two. All these buoys followed trajectories relatively close to the isobaths until $37^\circ 30' \text{ N}$. A slight overshooting can be seen on the most offshore trajectories around the cape. Only two loops, one anticyclonic inwards, one cyclonic outwards, are superimposed on these trajectories. No buoy was trapped in a meddy in this region.

North of $37^\circ 30' \text{ N}$, several events are worth noting. First a buoy drogued at 1100 m was ejected out of the alongslope MW cores, and followed a northwestward route. This buoy then stagnated west of the Tagus Plateau, indicating a reversal in currents there, to finally exhibit a large anticyclonic loop north of the Tagus Plateau, between $11^\circ 15' \text{ W}$ and $10^\circ 20' \text{ W}$, $39^\circ 30' \text{ N}$ and 40° N . A sequence of anticyclonic loops can be observed, initiated by the buoy drogued at 750 m, south of the plateau, and followed by that drogued at 1000 m. This indicates the generation of a meddy. It is of interest to note that, west of the Tagus Plateau, a buoy drogued at 1300 m exhibits cyclonic loops, under the anticyclonic trajectory at 1000 m. This suggests that in meddies, associations of opposite-signed vorticity poles can exist with a near-vertical alignment (Morel, 1995). It is, to our knowledge, the first time that drifting buoys were drogued so deep, and that part of the experiment was thus also a technological test. Although drogue loss or stranding occurred rather fast, this experiment can be considered as successful, since all the buoys followed the known MW undercurrent, and since eddy formations were nicely evidenced.

In Fig.10b, we observe that most of the Rafos floats at 500 m exhibit a clear southward drift along the continental slope, near the Tagus Plateau. All floats released at 40° N drift around the plateau relatively slowly, and accelerate southward at its western tip. This can be due to convergence of currents or to eddy-induced acceleration. This latter mechanism is supported by the observation of cyclonic loops in the float trajectories. These loops are reminiscent of those achieved by the 1300 m Surdrift buoy. Fig.10c displays the trajectories of the Rafos floats at 1000 m. We observe a double gyre system north of the Tagus plateau : a cyclonic circulation is induced over the Nazare canyon; an anticyclonic loop is adjacent to it, with northward currents at $10^\circ 50' \text{ W}$ and a southward return flow at $10^\circ 10' \text{ W}$. The cyclonic loop was already observed in the geostrophic velocity maps (subsection 4.1). A second noticeable feature lies between 41° N and 42° N : all Rafos floats deviate from the along-slope path. This bifurcation along the 3000 m isobath can be understood if the MW undercurrents possess a dynamic signature at that depth, or if an anticyclonic circulation at $41^\circ 30' \text{ N}$ - 10° W induces a detachment of the flow from the slope. This circulation may originate in the presence of an anticyclonic eddy (a meddy ?) in that vicinity, such as that seen in Fig.10c.

Finally, Fig.10d shows that the Lagrangian circulation at 1500 m is roughly southwestward, north of the Tagus Plateau, with a turn southeastward, and a flow reversal to the northwest at 39° N . Anticyclonic loops are observed between $10^\circ 10' \text{ W}$ and $10^\circ 50' \text{ W}$, $39^\circ 30' \text{ N}$ and 40° N , north of the Tagus Plateau. The flow reversals between 500 m, 1000 m and 1500 m interestingly match the basin-scale geostrophic calculations of Saunders (1982) and illustrate the vertical stretching between the southward-flowing Central Water and Labrador Sea Water and the northward-flowing MW.

4.4 Comparison between LAD and Surdrift velocities

We now average the modulus and direction of Surdrift velocities in the vicinity of the LAD stations close to which they drifted. The LAD measurements are also averaged around the trajectory and immersion of the buoy drogue. We first assess the synoptic character of these measurements. Indeed, the buoys were launched in a 24-hour interval between LAD stations. We compute separately the Surdrifts drogued around 750, 1000 and 1300 m. The results are the following:

Immersion	750 m	1000 m	1300 m
LAD (modulus)	17.3 cm/s	35.8 cm/s	18 cm/s
LAD (direction)	297°	321°	293°
Surdrift (modulus)	15.3 cm/s	29.8 cm/s	7.8 cm/s
Surdrift (direction)	289°	284°	274°

The LAD velocities are stronger and more to the north than the Surdrift velocities. Indeed, they were measured in the Portimao canyon (section Cadiz-7), where the shoreward deflection was shown to be important. The Surdrift positions being filtered over a 3-day period, such local deviations are somewhat smoothed.

Nevertheless, the LAD and Surdrift velocities turn out to be comparable. Among the reasons why they may be different are the fact that the LAD samples instantaneous velocities that include the high-frequency ageostrophic components, and the fact that the cable and surface buoys of the Surdrift have an influence on the drogue velocity: these Surdrifts are composed of a surface buoy, with a 3 mm-diameter cable supporting a 70 cm-diameter, 11 m long, drogue. The respective drag coefficients are 1.2 and 2.0 for the cable and the drogue. If the flow at 1300 m reaches 50 cm/s, the surface buoy velocity can be calculated to be 37 cm/s if the current increases linearly from the surface down to 1300 m, but only 30 cm/s if the current vanishes at the surface and increases quadratically from 1150 down to 1300 m, or if there is a slight countercurrent at the surface (-10 cm/s). We conclude however that Surdrifts may give a qualitatively reasonable estimate of deep currents.

5 Volatile halocarbon compounds as transient tracers of MW

During Semane, several volatile halocarbon compounds (freons, CCl₄, CH₃CCl₃, bromoform...) were measured during the CTD stations. The following section presents the principles underlying the use of these compounds as chemical tracers of water masses, the analysis technique used aboard the ship, and several results. The main objective was to examine whether such compounds could trace the deep circulation, too slow and often difficult to determine by classical physical measurements.

5.1 Rationale for the measurements

Numerous volatile halocarbon compounds have been evidenced in ocean waters, with small concentrations (Krysell and Nightingale, 1994). These compounds mostly result from anthropic sources : industrially synthesized, they are let out into the atmosphere and later penetrate into the marine environment, by gaseous exchanges at the ocean-atmosphere interface. The concentration in these compounds has increased in the atmosphere since the beginning of their production, and their concentration in surface waters reflects this increase. During the formation of water masses, these chemicals are entrained into the deep ocean. Measuring the concentration in the ocean yields that in the atmosphere at the time of convection (or subduction), and thus the age of the water mass. Knowing the

distance between the measurement and the formation region, an average advection velocity can be assessed.

Until now, chlorofluorocarbons F₁₁ (CCl₃F) and F₁₂ (CCl₂F₂) have been mostly used ; they offer the advantage of having no natural source, and of presenting relatively simple penetration functions into the ocean. Most often, convecting water masses are mixed, rendering calculations more complex. To bypass this difficulty, the F₁₁/F₁₂ ratio is used. It is not affected by mixing processes, as long as the surface water is diluted in deep water without freons. The use of this ratio is restricted to the 1950-1975 period. Since 1975, it has become nearly constant in the atmosphere, rendering datation in the ocean more delicate (Fig.11a)

Other volatile halocarbon compounds have been produced in large quantities since the 1920s. Among these chemicals, the trichloro-trifluoroethane CCl₂FCClF₂ (F₁₁₃), the tetrachloromethane (CCl₄) and the 1,1,1-trichloroethane (CH₃CCl₃) present penetration functions into the ocean very different from those of F₁₁ and F₁₂, and are likely to bring complementary information for periods before 1950 and after 1975 (Fig.11a).

Our objective during Semane was to study freons F₁₁ and F₁₂, as well as other volatile halocarbon compounds (CCl₄, CH₃CCl₃...), the potentiality of which has been little exploited. During Semane, 19 stations have been sampled in F₁₁, F₁₂ and F₁₁₃, and 3 stations in other volatile halocarbon compounds than chlorofluorocarbons.

5.2 Analytical methods

The analyses have been performed onboard in a specially equipped laboratory container. Chlorofluorocarbons (F₁₁, F₁₂ and F₁₁₃) and volatile halocarbon compounds were extracted from sea-water by the purge-and-trap method, then analyzed by gas chromatography electron-capture detection technique (Connan et al., 1996). Roughly 15 volatile compounds were measured out yielding concentrations varying between 0 and 15 10⁻¹² mole/l. The detection limits of chlorofluorocarbons are 0.01, 0.005 and 0.03 10⁻¹² mole/l for F₁₁, F₁₂ and F₁₁₃ respectively. The measurement precision in surface waters lies between 1 and 3% depending on the compound. For volatile halocarbon compounds, the detection limits in surface waters are less than 0.05 10⁻¹² mole/l, with a 5 to 10% precision depending on the compound.

5.3 Results

a) Vertical distribution of chlorofluorocarbons (CFC)

The vertical CFC distributions (F₁₁, F₁₂ and F₁₁₃) at station C3 (35° 50' N, 6° 48' W), located at the outlet of

the Straits of Gibraltar, are presented hereafter. Concentrations in F_{11} , F_{12} and F_{113} vary between 2.30 and 2.91 10^{-12} mole/l, 1.01 and 1.38 10^{-12} mole/l and 0.11 and 0.26 10^{-12} mole/l respectively (Fig.11b). Concentrations in freons are high in surface waters and exhibit a subsurface maximum. This maximum results from freon evaporation from the surface layer during the summer warming. At the outlet from the Straits of Gibraltar, high concentrations are also observed in Mediterranean water flowing above the bottom. At intermediate depths (between 200 and 600 m), north-Atlantic central waters present a noticeable gradient in freons, and minimal concentrations (2.30 10^{-12} mole/l for F_{11} and 1.01 10^{-12} mole/l for F_{12}) are observed at 600 m (Fig.11b). High concentrations in chlorofluorocarbons over the whole range of depths indicate the presence in this area of recently formed water masses, especially for MW.

b) Vertical distribution of tetrachloromethane CCl_4 and of 1,1,1-trichloroethane CH_3CCl_3

Vertical distributions of tetrachloromethane and of 1,1,1-trichloroethane at C3 are presented in Fig.11c. Concentrations in CCl_4 lie between 3.95 and 7.0 10^{-12} mole/l. Concentrations in CH_3CCl_3 are higher and vary between 10.15 and 13.90 10^{-12} mole/l. The vertical variation of their concentration is similar to that of freons. Their concentrations are nevertheless rather different. These compounds, with a higher concentration than F_{113} , allow a more precise estimate of the age of water masses.

c) Computing the age of MW at the outlet of Straits of Gibraltar: an estimate of advection velocity from the region of formation

The age of MW at the outlet of the Straits of Gibraltar was assessed using the concentration ratios between the various freons and volatile halocarbon compounds.

- Using the F_{113} : the ratio F_{11}/F_{12} obtained at the level of MW lies between 2.11 and 2.28. This ratio is characteristic of waters formed after 1975 (Fig.11a). Since it has not evolved significantly during the following 20 years, it cannot be used to date precisely this water mass. On the contrary, using the concentration ratios between F_{11} , F_{12} and F_{113} allows a precise estimate of the age of recently formed water masses. Vertical variations of the F_{11}/F_{113} and F_{12}/F_{113} ratios are presented in Fig.11d. These ratios clearly characterize the various water masses. In MW, the F_{11}/F_{113} and F_{12}/F_{113} ratios vary between 15.60 and 19.58 and between 7.40 and 8.94 respectively. Taking these ratios into account, and knowing their variation with time, we can estimate that the MW at station C3 was formed between 1983 and 1986.

- Using CCl_4 and CH_3CCl_3 : CCl_4 and CH_3CCl_3 have the advantage over F_{113} to be present in higher concentrations, and therefore to be measured out more precisely. Vertical variations of the CCl_4/F_{11} and CH_3CCl_3/F_{11} ratios are presented in Fig.11e. The MW is clearly evidenced by the small values of these ratios. The ratio CCl_4/F_{11} lies between 1.96 and 2.10 and the CH_3CCl_3/F_{11} ratio varies between 4.33 and 4.44. They correspond to waters formed between 1983 and 1985 (CCl_4/F_{11}) and between 1981 and 1984 (CH_3CCl_3/F_{11}).

The results obtained from the various tracers are presented in Table 1.

Tracer	F_{11}/F_{12}	F_{11}/F_{113}	F_{12}/F_{113}	CCl_4/F_{11}	CH_3CCl_3/F_{11}
Year of formation	< 1975	1985 +/-1	1984+/-1	1984+/-1	1982+/-1
Advection velocity (cm/s)	–	0.38 , +/- 0.04	0.34 +/- 0.04	0.34 +/- 0.04	0.29 +/- 0.04

Table 1. Year of formation and advection velocity (in cm/s) of MW between its formation area and the outlet of the Straits of Gibraltar

The average transit time of MW between its region of formation (Liguro-Provencal basin) and the outlet from

the Straits of Gibraltar is estimated between 10 and 13 years. The distance between these two areas being 1200 km, the average advection velocity lies between 0.29 and 0.38 cm/s.

6 Summary, discussion and conclusions

The results presented here are preliminary and descriptive. Further analysis is needed to quantify several aspects of the dynamics, in particular the velocities and transport at various locations, in both cores of the MW undercurrent, the detailed aspects of the instability triggered by the canyons and capes, the various mixing effects (described in the companion paper; Chérubin, 1997) and the information content of the Lagrangian float trajectories. Nevertheless, we can already state that the global picture of the MW outflow is confirmed :

- Two main cores exist in the Gulf of Cadiz; secondary branches are formed only locally from one of these two cores, either funneled into lateral canyons or separated by seamounts; after Cape St Vincent, the upper core progresses northward along the western Portuguese coast, while the lower core also bifurcates to the southwest towards the Gorringe Bank, and to the northwest towards the Galicia Bank. A double gyre (cyclonic over the Nazare canyon and anticyclonic offshore) has been observed for the first time north of the Tagus Plateau.

- Mixing in the outflow is most intense in the Gulf; double-diffusion contributes to diapycnal mixing close to Cape St Vincent, and horizontal mixing results from lateral intrusions at the same location (see the companion paper; Chérubin, 1997). Mixing is enhanced by filament and eddy shedding by the MW undercurrents over canyons and at capes.

- Though no meddy detachment from the Portimao canyon was observed, we nevertheless evidenced a warm and salty MW filament in its vicinity. It may be the remnant of a former meddy formation. The canyon induces a narrowing of the MW undercurrents, followed by their widening on its downstream flank. The deeper core seems more disturbed, as predicted by a linear theory of baroclinic instability (Chérubin et al., 1996). Further north, anticyclonic loops were observed in the Surdrift trajectories close to the western tip of the Tagus Plateau. Cyclonic trajectories are observed below these loops, indicating a dipolar vorticity distribution vertically. Though very incomplete, this data suggests that both canyons and capes play a role in meddy formation and detachment (Pichevin and Nof, 1996).

- From a large-scale point of view, north-Atlantic central water is entrained by mixing into the MW outflow at shallow levels in the eastern part of the Gulf of Cadiz, while MW diffuses into Atlantic intermediate waters at deeper levels, west of Portugal. This process takes part in the downwelling of central waters below the thermocline in the eastern boundary of the intergyre region.

- Technically, floats and buoys provide a rather accurate measurement of sub-surface velocities, with the advantage of being autonomous. The Arcane program relies heavily on Rafos seeding, renewed every 6 months over a three-year period.

- The analysis of volatile halocarbon compounds allows us to date the formation period and thus to compute the travel time of MW between the Liguro-Provencal basin and the outlet from the Straits of Gibraltar (10 to 13 years). An average advection velocity of 0.3 cm/s along that path is deduced.

Considerable work still awaits us. As stated hereabove, a finer and more thorough analysis of existing data has to be performed. But this data can also guide us in palliating the observational shortcomings:

- Evidently, the Semane hydrological network in the Gulf of Cadiz lacks spatial resolution, especially in its northeastern part. The details of the upper core is not always well resolved. The mixing processes at the outlet cannot be completely studied with the existing data (see the companion paper; Chérubin, 1997); we plan to use XDP's in the future, to better determine the extent of Kelvin-Helmholtz instability.

- In the vicinity of the Portimao canyon, our knowledge would greatly benefit from renewed sections, and from long time-series (currentmeter moorings or LAD measurements at a fixed point). A comparison of the Semane data with the Gulf of Cadiz Experiment data will certainly help us focus our future measurements on the upstream/downstream sides of the canyon itself, or on the preliminary events upstream of the canyon, which may trigger meddy detachment there. Numerical modeling may also help if realistic enough. This is still halted by technical difficulties in resolving ageostrophic circulation, outcropping isopycnals, steep bathymetry and in obtaining fine enough initial conditions.

- This leads us to wonder if the conditions of meddy formation can be forecasted. A complementary strategy to solve this problem would consist in a fine enough and repeated hydrological network from the Portimao canyon westward, to measure the environmental conditions when meddies are formed. In particular, are meddies directly generated over the canyon, as Prater (1992) hypothesizes, or do meddies detach directly from Cape St Vincent, as Pichevin and Nof (1996) predict, and as Bower et al. (1995) observe ? The blobs detached on the canyon would then first feed the overshooting at the cape.

- What are the westward branches of MW west of Portugal: are they temporary or permanent, driven by diffusion, by the large-scale current or by eddy fluxes ? What is the variability of the double gyre system near the Nazare canyon ? Does it play a role in the detachment of meddies south of the Galicia Bank ? Is this latter a result from, or a cause for the bifurcation of the lower core to the northwest at 42° N ?

- What happens at Cape Finisterre where MW is more diffuse ? Can meddies still be formed there (a blob of MW without dynamical signature was observed in the Bay of Biscay during the Gastom 90 experiment) ? Can the poleward slope current, or the swoddies, interact with the upper MW core in the vicinity of the cape ?

- The three-year long Arcane experiment should answer part of these questions, at least for the

phenomenology occurring north of the Tagus Plateau. A second Semane experiment, due to be realized in June 97, should concentrate on the precursors and

environmental conditions for meddy detachment close to Cape St Vincent.

Acknowledgements

The Interafos and Semane teams are grateful to the Captains and crews of BO *D'Entrecasteaux*, BH2 *Lapérouse* and BSHM *Alcyon* and *Ailette* for their undefatigable participation in data collection. Measurement devices were prepared by EPSHOM/IS. Data processing and preliminary analysis were performed by CMO/CM : Mr A. Coat's, L. Gourmelen's, R. Vennel's and L. Buléon's work were crucial in that respect. Special thanks go to Dr Y. Morel and J.P. Mazé for their careful reading of the manuscript. This work was made possible by special funding of SHOM (French Navy Hydrographic and Oceanographic Service).

References

- Ambar, I. & M.R. Howe, 1979 : Observations of the Mediterranean outflow. I. Mixing in the Mediterranean outflow. *Deep-Sea Res.*, A, **26**, 535-554.
- Ambar, I. & M.R. Howe, 1979 : Observations of the Mediterranean outflow. II. The deep circulation in the vicinity of the Gulf of Cadiz. *Deep-Sea Res.*, A, **26**, 555-568.
- Arhan, M., Colin de Verdière, A. & L. Mémery, 1994 : The eastern boundary of the subtropical north-Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, **24**, 1295-1316.
- Bower, A.S, Armi, L. & I. Ambar, 1995 : Direct evidence of meddy formation off the southwestern coast of Portugal. *Deep-Sea Res.*, I, **42**, 1621-1630.
- Chérubin, L., Carton, X. & D.G. Dritschel, 1996: Vortex expulsion by a zonal coastal jet on a transverse canyon. *Proceedings of the 2nd Int. Workshop on vortex flows*, ESAIM Series, SMAI, Paris, 101-121.
- Chérubin, L., 1997 : Mixing processes in the Mediterranean outflow along the Iberian shelf. *Annales Hydrographiques*, same issue.
- Connan, O., LeCorre, P. & P. Morin, 1996 : Analyse des composés halocarbonés volatils dans l'eau de mer, extraction par un système de purge and trap ; dosage par chromatographie en phase gazeuse. *Analyses*, **24**, 55-59.
- Daniault, N., Mazé, J.P. & M. Arhan, 1994 : Circulation and mixing of Mediterranean water west of the Iberian peninsula. *Deep-Sea Res.*, I, **41**, 1685-1714.
- Fisher, J. & M. Visbeck, 1993 : Deep velocity profiling with self-contained ADCP's. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, **10**, 764773.
- Huang, R.X., 1989: The generalized eastern boundary conditions and the three-dimensional structure of the ideal fluid thermocline. *J. Geophys. Res.*, **94**, C4, 4855-4865.
- Krysell, M. & P.D. Nightingale, 1994 : Low-molecular weight halocarbons in the Humber and Rhine estuaries determined using a new purge-and-trap gas chromatographic method. *Contin. Shelf Res.*, **14**, 1311-1329.
- Madelain, F., 1970 : Influence de la topographie de fond sur l'écoulement méditerranéen entre le détroit de Gibraltar et le cap Saint Vincent. *Cahiers Océanographiques*, **22**, 43-61.
- Mazé, J.P., 1995 : Bilan de volume dans la couche limite est au large de la péninsule ibérique. *Thèse de Doctorat d'Université*, Univ. de Bretagne Occ., **364**, 166 pp., Brest, France.
- Mazé, J.P., Arhan, M. & H. Mercier, 1996 : Volume budget of the eastern boundary layer off the Iberian Peninsula. Submitted to *Deep-Sea Res.*
- Morel, Y., 1995 : Etude des déplacements et de la dynamique des tourbillons géophysiques: Application aux meddies. *Thèse de Doctorat d'Université*, Univ. J. Fourier, 155 pp., Grenoble, France.
- Neshyba, S.J., Moers, C.N.K., Smith, R.L. & R.T. Barber, 1989 : Poleward flows along eastern ocean boundaries. *Coastal and estuarine studies*, Springer Verlag, 374 pp.
- O'Neil-Baringer, M., 1994 : Mixing and dynamics of the Mediterranean outflow. *PhD Thesis*, MIT/WHOI, **WHOI- 93- 52**, 240 pp., Woods Hole, Mass., USA.
- Paillet, J., 1996 : Eau modale et ventilation océanique en Atlantique nord-est. *Thèse de Doctorat d'Université*, Univ. de Bretagne Occ., **402**, 200 pp., Brest, France.
- Pedlosky, J., 1983 : Eastern boundary ventilation and the structure of the thermocline. *J. Phys. Oceanogr.*, **13**, 2038-2044.
- Pingree, R.D. & B. LeCann, 1992 : Three anticyclonic Slope Water eDDIES (SWODDIES) in the southern Bay of Biscay. *Deep-Sea Res.*, **39**, 1147-1175.
- Pichevin, T. & D. Nof, 1996 : The eddy cannon. *J. Geophys. Res.*, in press.
- Prater, M., 1992 : Observations and hypothesized generation of a meddy in the Gulf of Cadiz. *PhD Thesis*, Appl. Phys. Lab., Univ. Washington, **APL-UW TR9210**, 131 pp., Seattle, Wash., USA.
- Saunders, P.M., 1982 : Circulation in the Eastern North Atlantic. *J. Mar. Res.*, **40** (suppl.), 641-657.
- Tychensky, A. & X. Carton, 1997 : Hydrological and dynamical characterization of meddies in the Azores region : a paradigm for baroclinic vortex dynamics. Subm. to *J. Geophys. Res.*
- Veronis, G., 1973 : Model of the world ocean circulation : l- wind-driven, two-layer. *J. Mar. Res.*, **31**, 228-238.
- Zenk, W., 1970 : On the temperature and salinity structure of the Mediterranean water in the northeast Atlantic. *Deep-Sea Res.*, A, **17**, 627-631.
- Zenk, W., 1975 : On the Mediterranean outflow west of Gibraltar. *"Meteor"-Forsh. Ergebnisse*, A, **16**, 15-22.
- Zenk, W., Schultz-Tokos, K. & O. Boebel, 1992 : New observations of meddy movements south of the Tejo plateau. *Geophys. Res. Lett.*, **12**, 2389-2392.

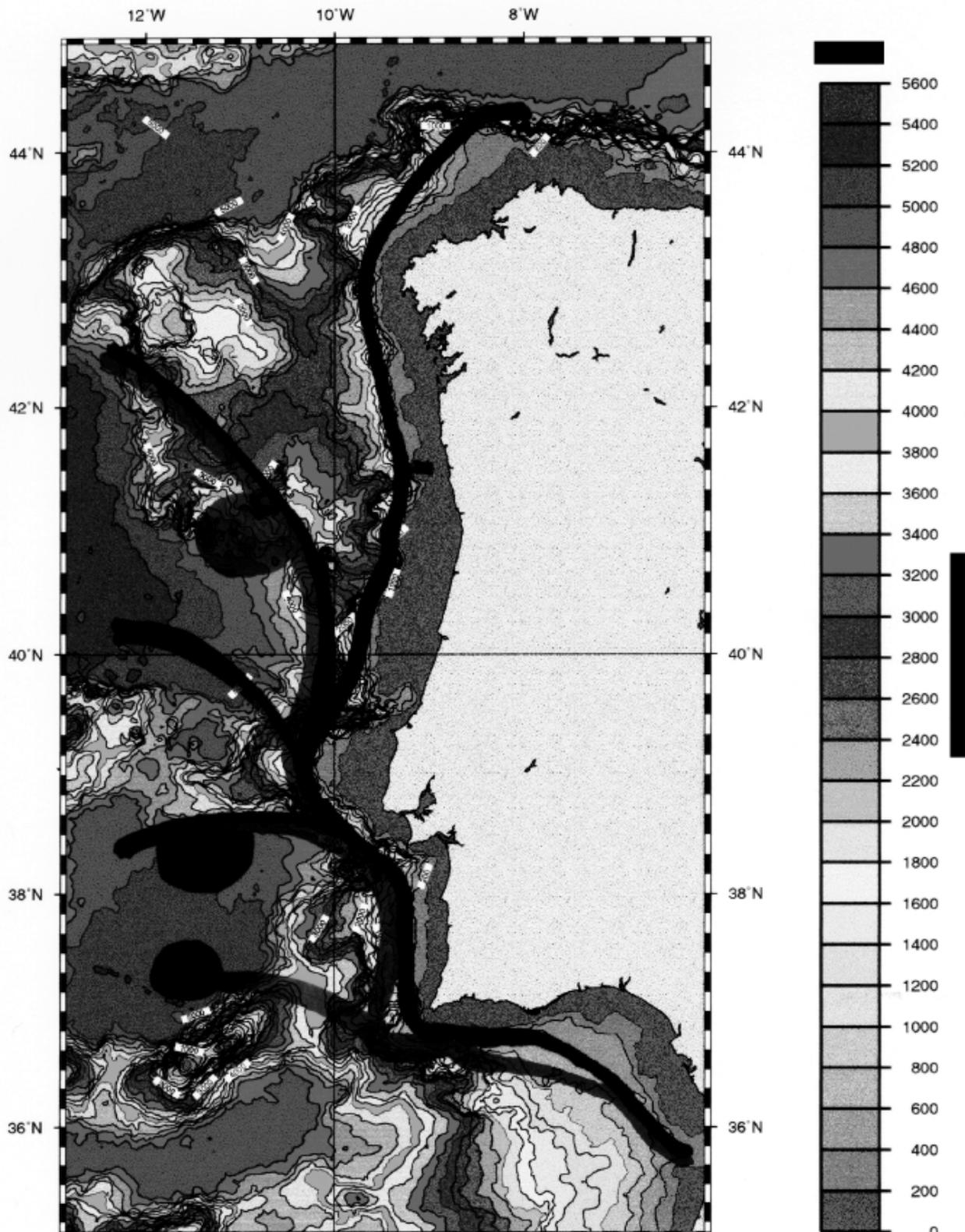


Fig. 1 : Schematic map of the various (permanent or transient) MW paths (according to Madelain, 1970 ; Zenk, 1975 ; Daniault et al., 1994) ; the dots represent meddy formation from the MW cores.

Fig.1 : Carte schématique des différents chemins (transitoires ou permanents) de l'EM (selon Madelain, 1970 ; Zenk, 1975; Daniault et al., 1994) ; les disques représentent des meddies en détachement des veines d'EM.

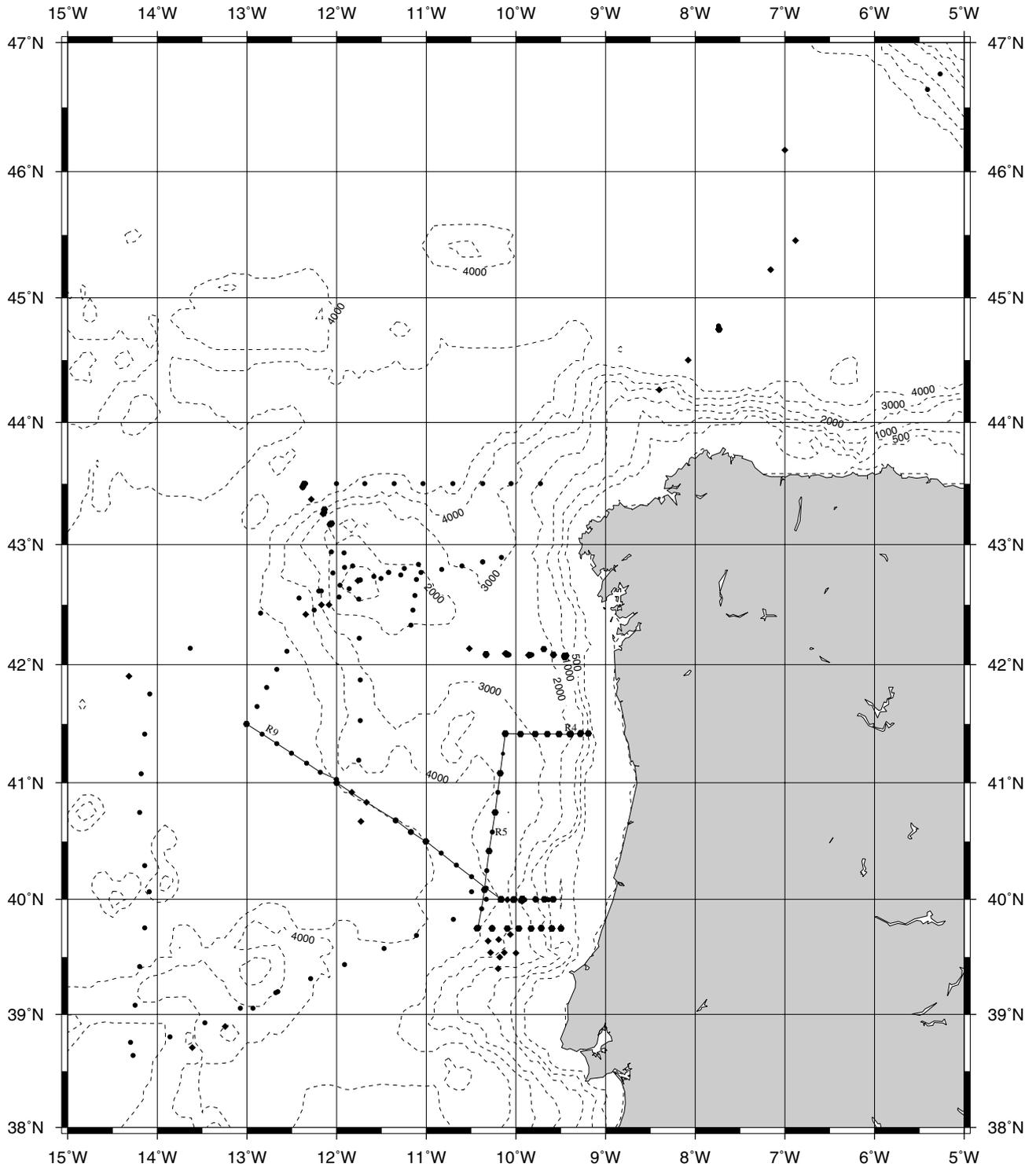


Fig. 2 : (a) locations of the hydrological measurements during Interfos-I.
 Fig. 2 : (a) Emplacements des mesures hydrologiques pendant Interfos-I.

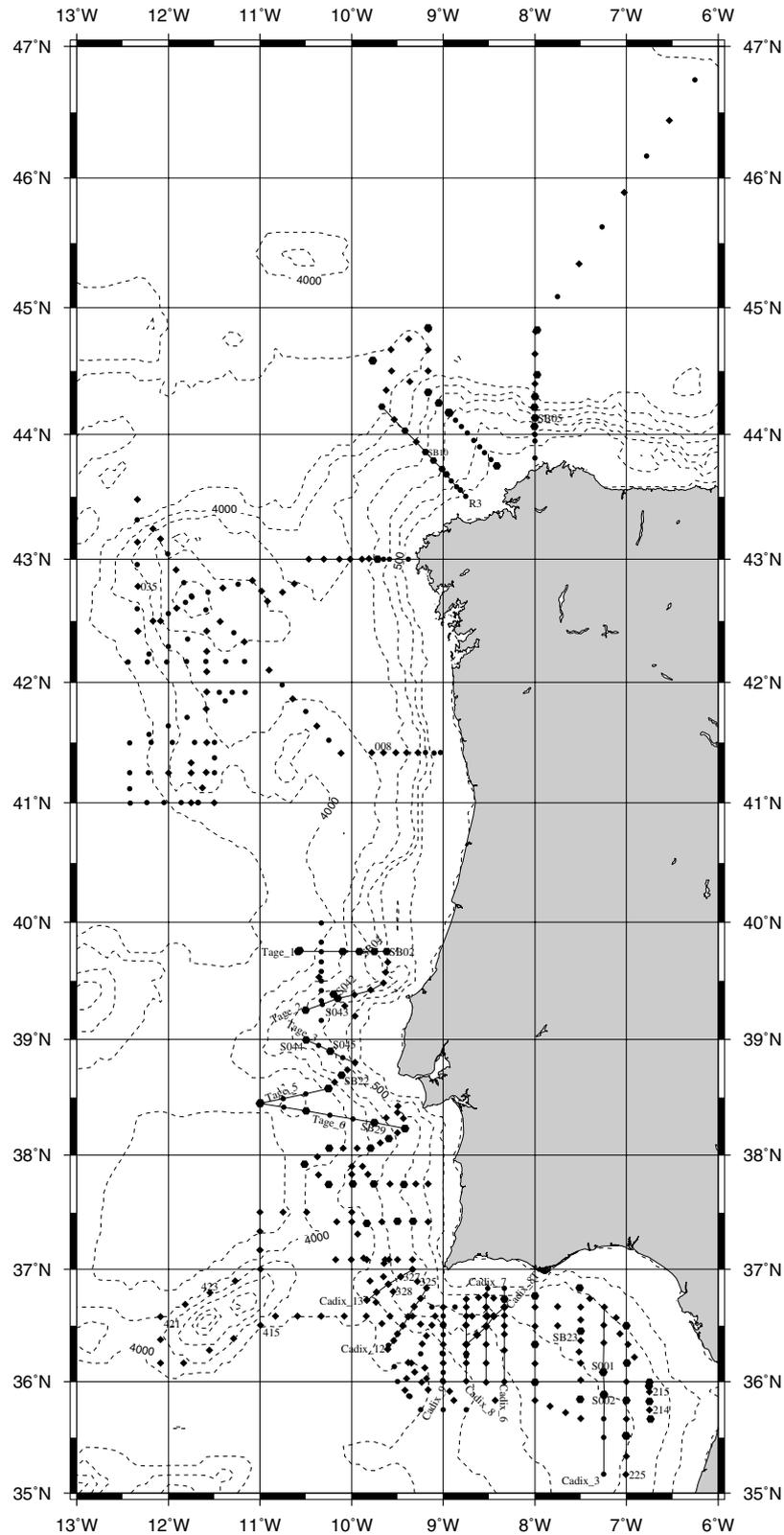


Fig. 2 : (b) same as (a) for Interfos-II and Semane ; hexagons are CTD stations, circles are XBT soundings and diamonds are XCTD soundings.

Fig. 2 : (b) idem pour Interfos-II et Semane ; les hexagones sont les stations CTD, les cercles les tirs XBT et les losanges les tirs XCTD.

Station Plan of LAD surveys and Rafos drops-Interafos I

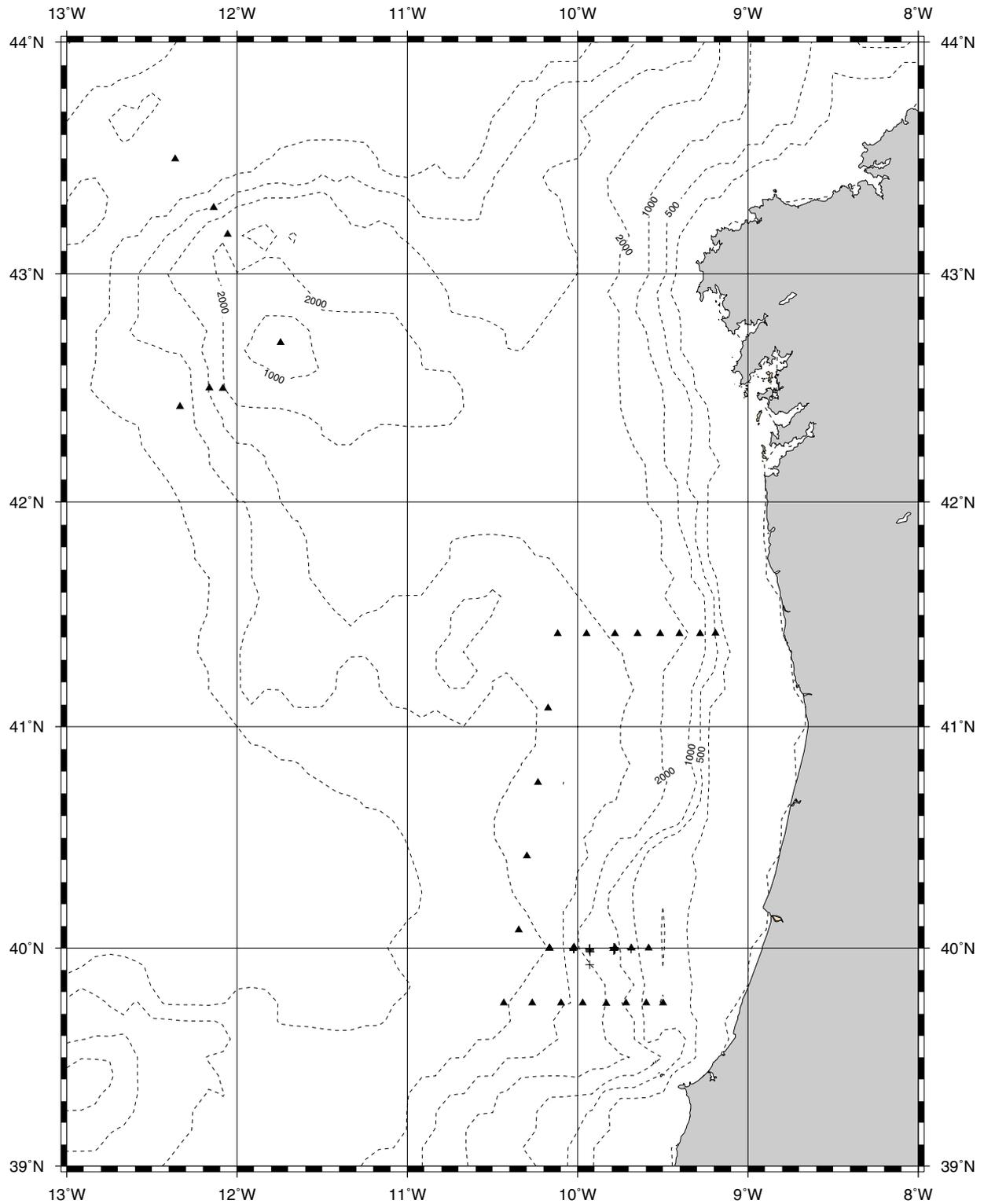


Fig. 2 : (c) location of LAD measurements and of Rafos and Surdrift release, for Interafos-I.

Fig. 2 : (c) emplacement des stations LAD et des lâchers de Rafos et de Surdrifts pendant Interafos-I.

Station Plan of LAD surveys and Surdrift drops-Semane

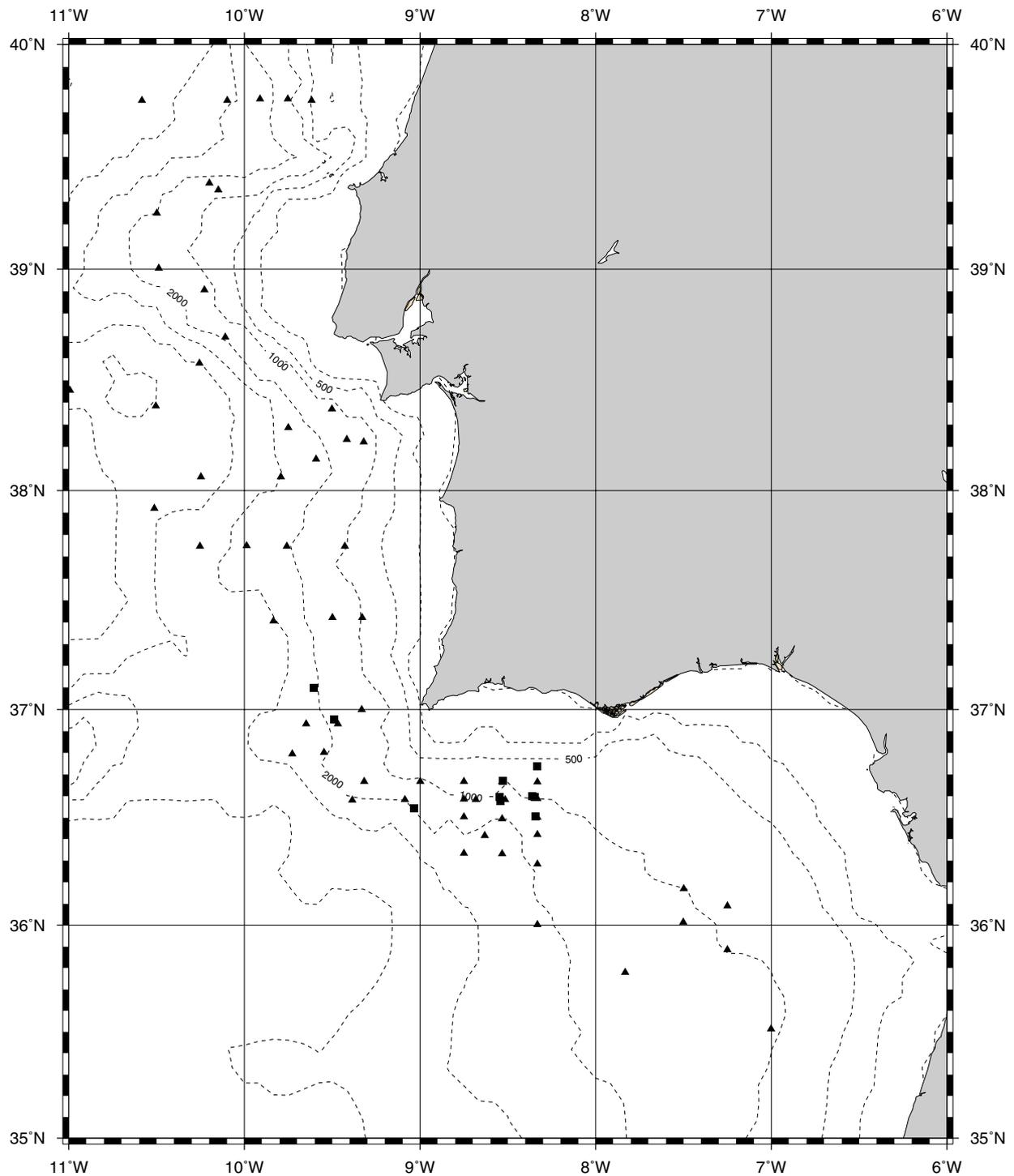


Fig. 2 : (d) same as (c) for Interafos-II and Semane. Triangles are LAD measurements, crosses are Rafos drops and squares are Surdrift drops.

Fig. 2 : (d) idem pour Interafos-II et Semane ; les triangles sont les mesures LAD, les croix les mises à l'eau de flotteurs Rafos et les carrés les lâchers de bouées Surdrifts.

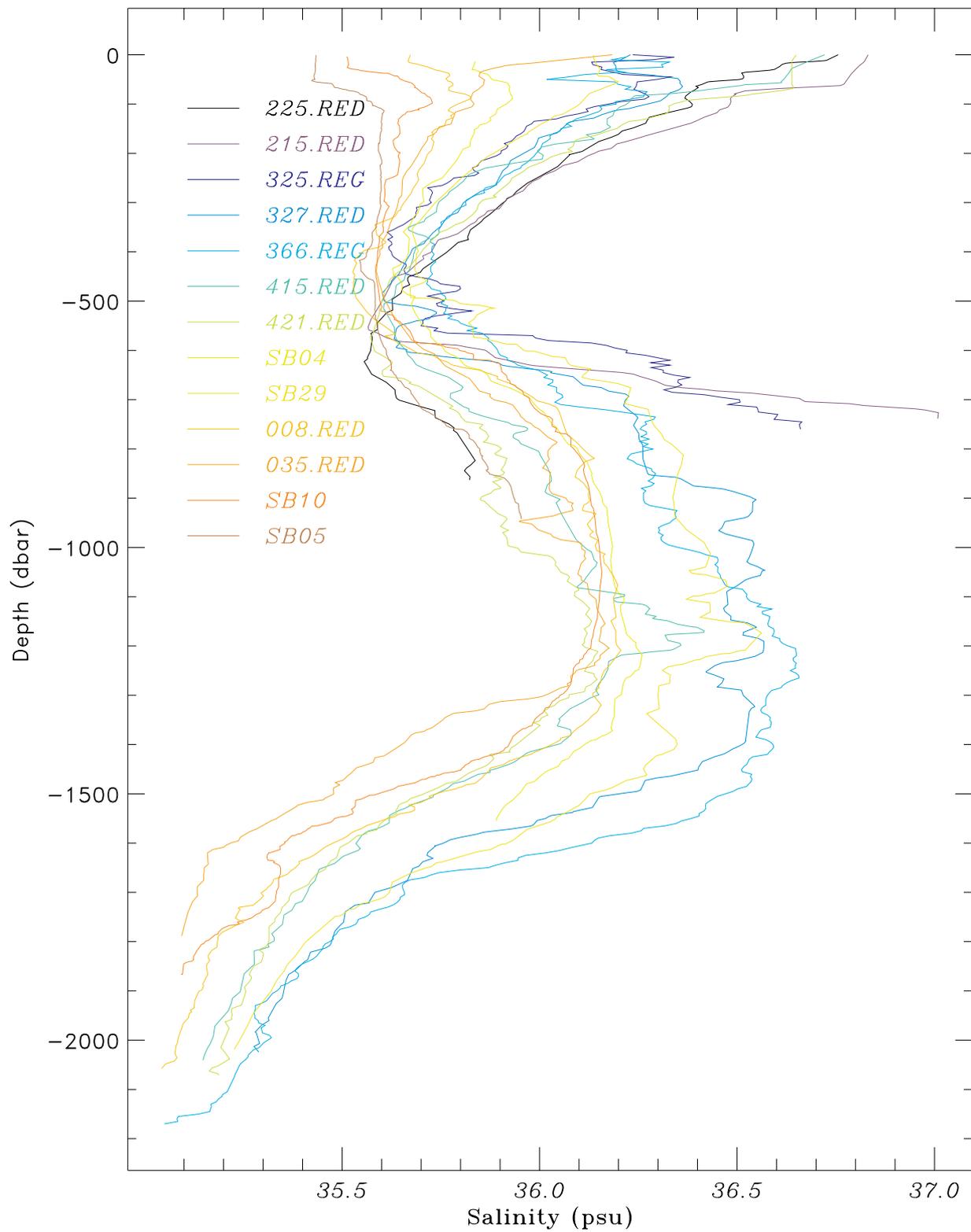


Fig.3 : (a) Vertical temperature and salinity profiles at chosen sites. The xxx.RED are XCTD soundings, xxx.REG are salinity regressions from temperature profiles obtained with XBTs, and SB are CTD stations.

Fig.3 : (a) Profils verticaux de température et de salinité en plusieurs sites. Les courbes xxx.RED sont des profils XCTD, xxx.REG sont des régressions de salinité à partir de profils XBT de température, et SB sont des stations bathysondes .CTD)

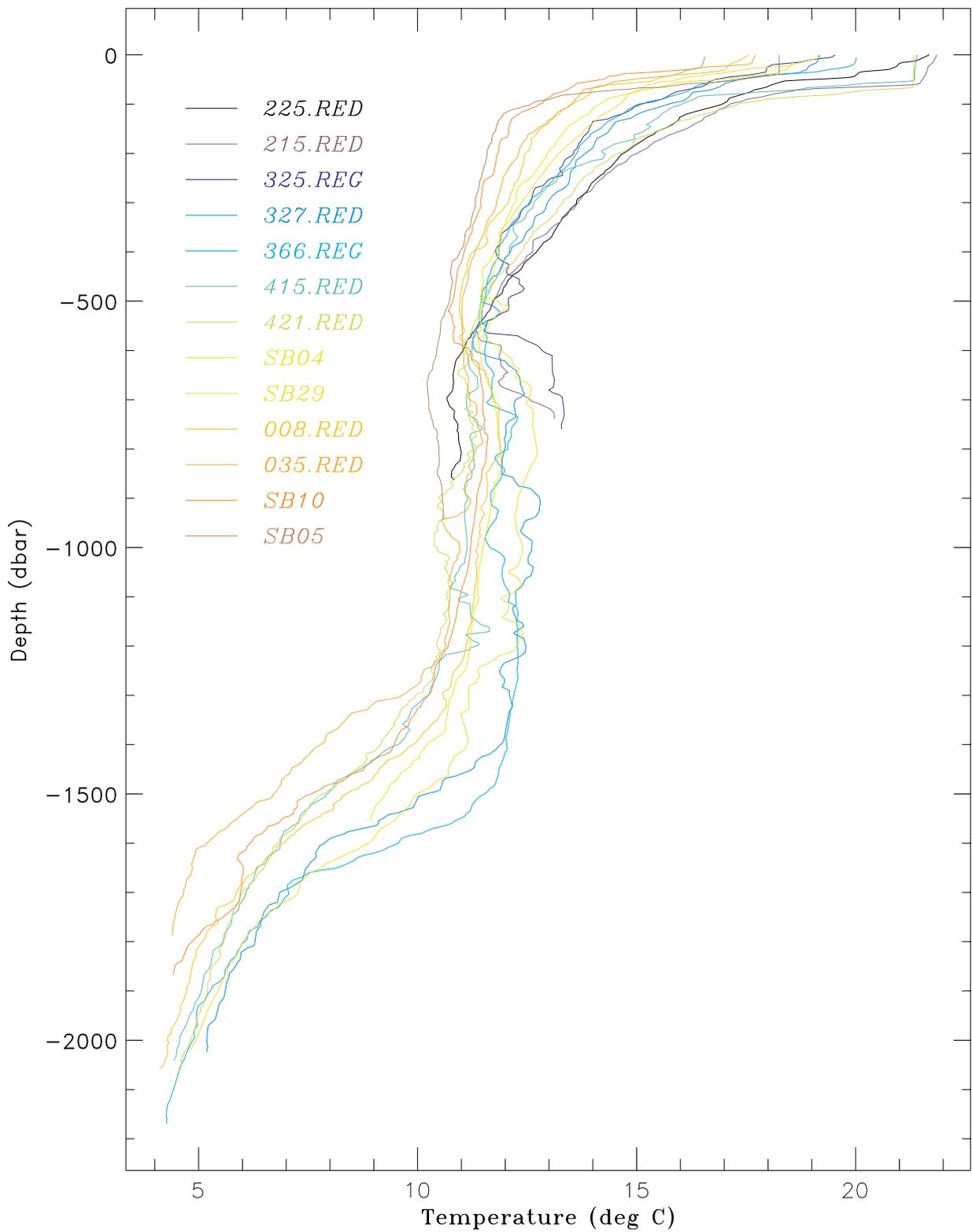


Fig.3 : (a) Vertical temperature and salinity profiles at chosen sites. The xxx.RED are XCTD soundings, xxx.REG are salinity regressions from temperature profiles obtained with XBTs, and SB are CTD stations.

Fig.3 : (a) Profils verticaux de température et de salinité en plusieurs sites. Les courbes xxx.REG sont des profils XCTD, xxx.REG sont des régressions de salinité à partir de profils XBT de température, et SB sont des stations bathysondes .CTD)

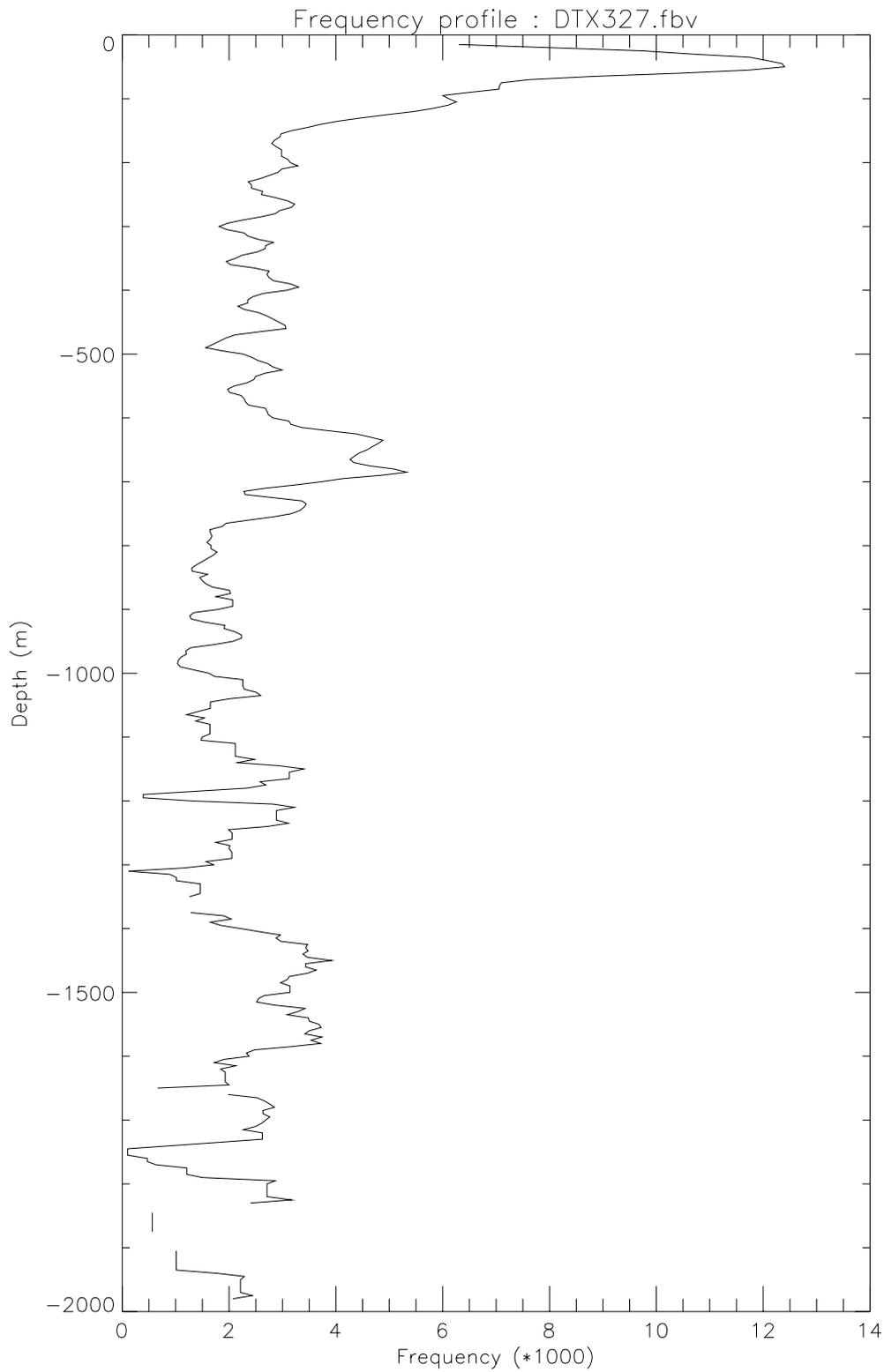


Fig.3 : (b) a typical profile of Brunt-Vaisala frequency at station 327 at cape St Vincent.

Fig.3 : (b) profil typique de fréquence de Brunt-Vaisala à la station 327 près du cap St Vincent.

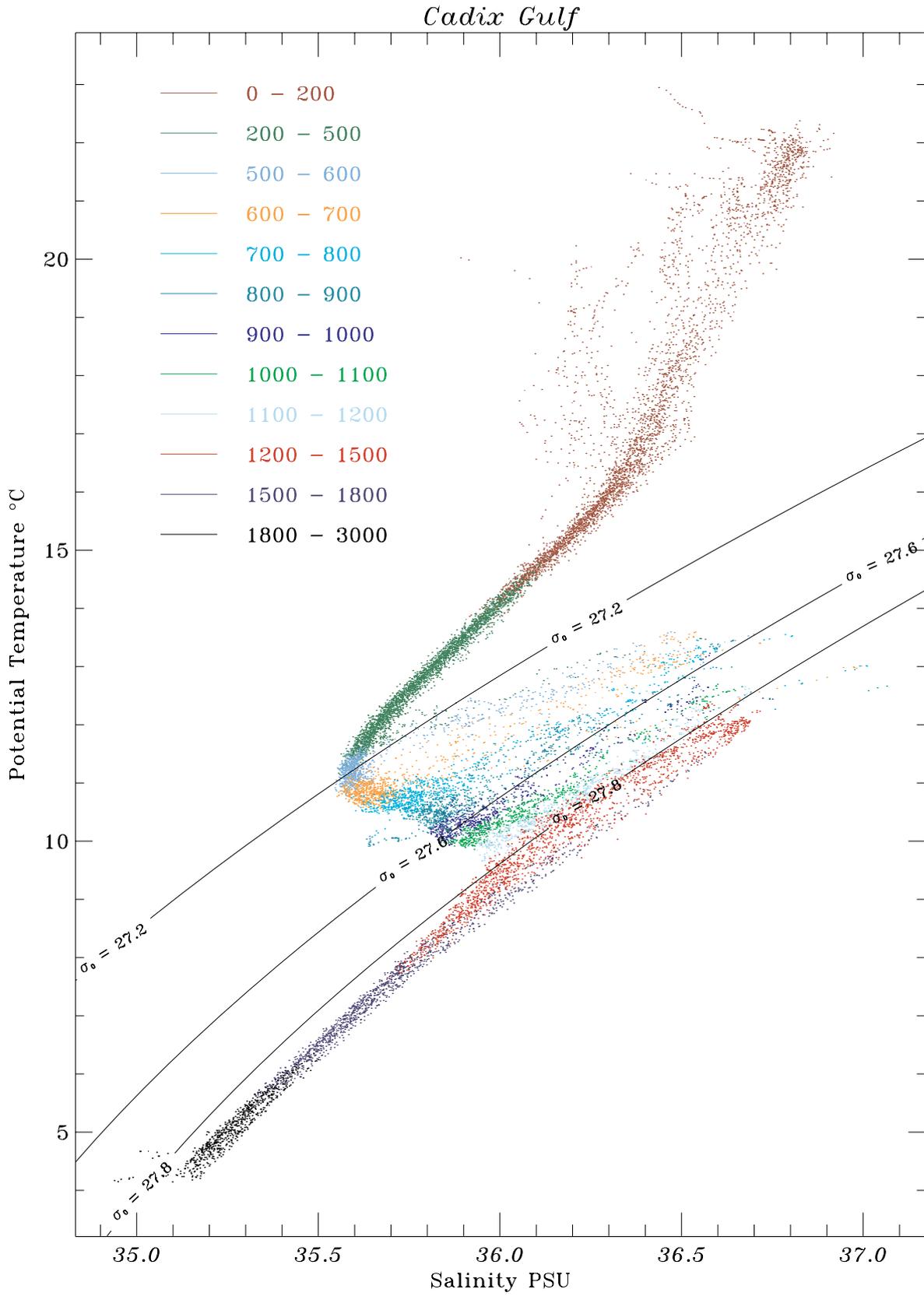


Fig.4 : (a) θ, S diagram for the Gulf of Cadiz.

Fig.4 : (a) Diagramme θ, S dans le golfe de Cadix.

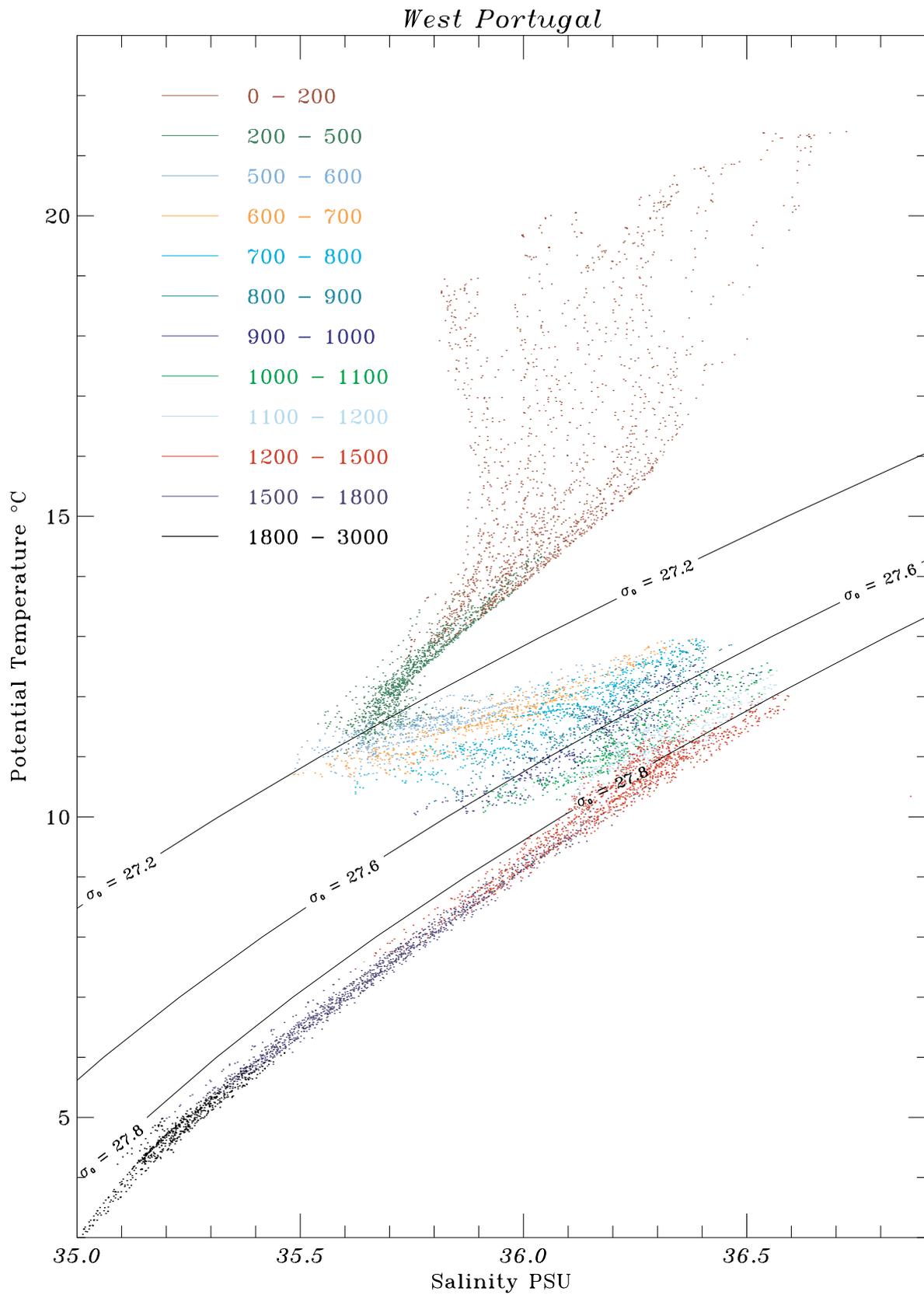


Fig.4 : (b) same as (a) for west-Portugal.

Fig.4 : (b) *idem* pour la façade ouest-Portugal.

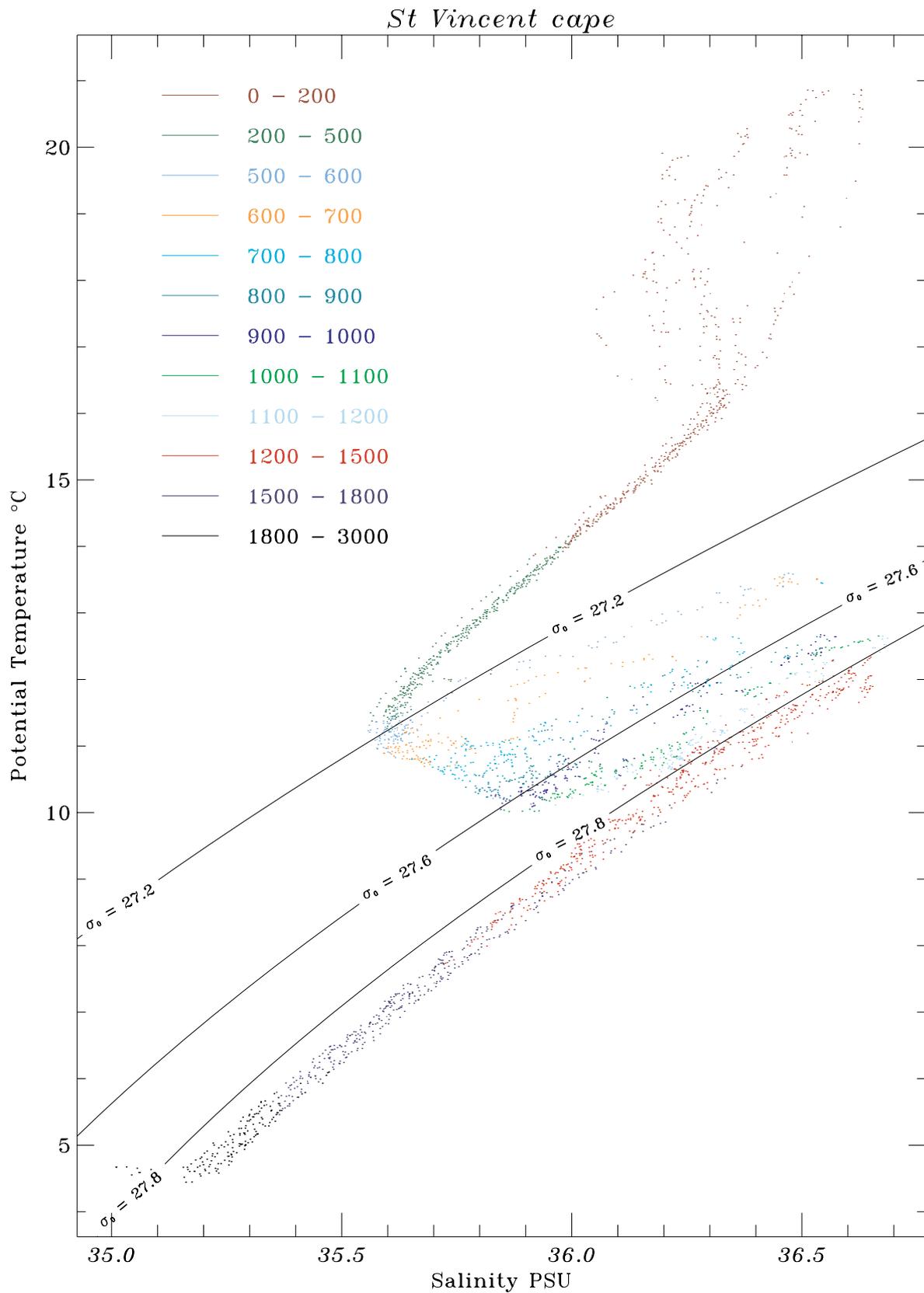


Fig.4 : (c) θ, S diagram close to Cape St Vincent used for regression.

Fig.4 : (c) diagramme θ, S au voisinage du cap St Vincent, utilisé pour la régression.

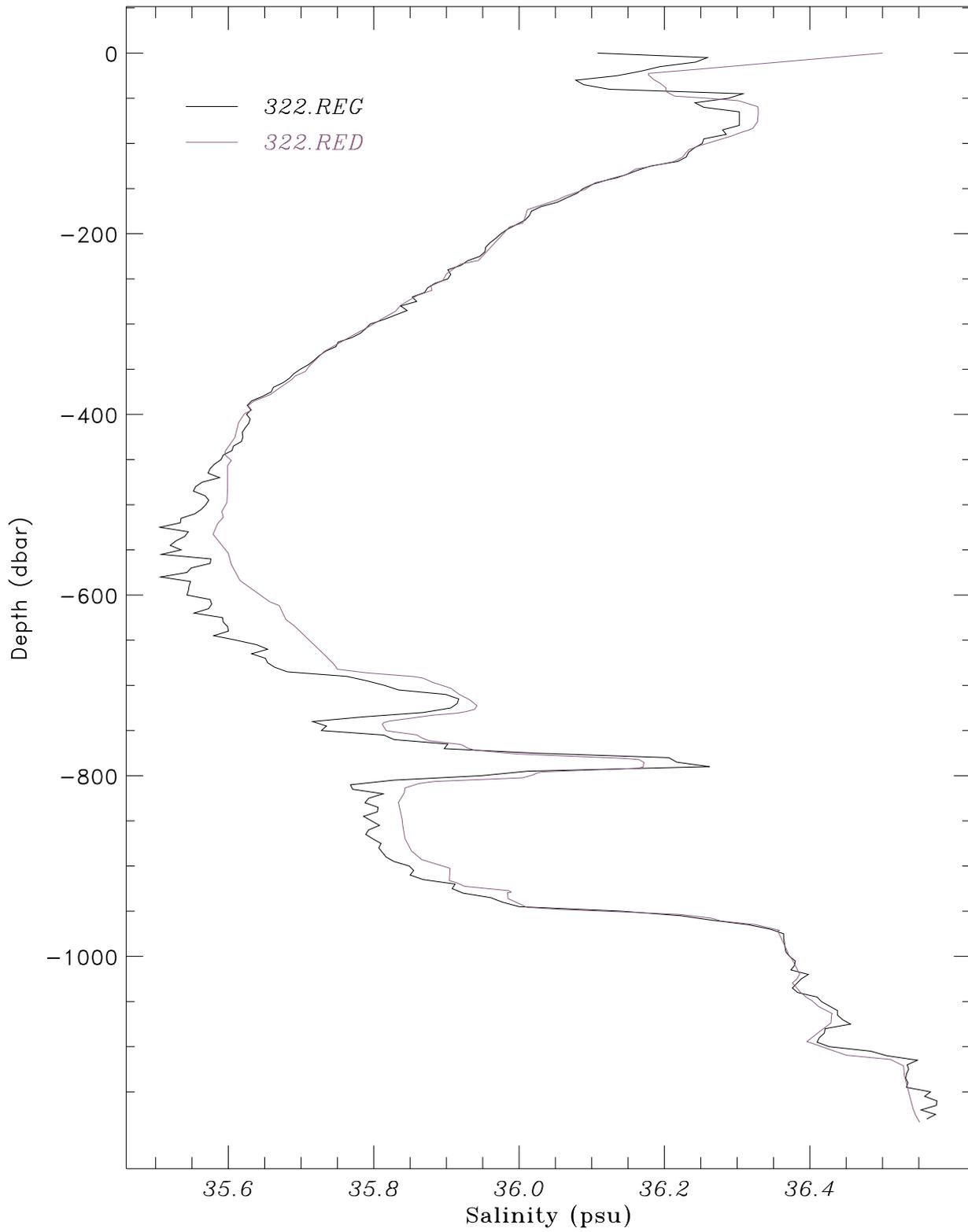


Fig.4 : (d) comparison of measured and calculated salinities at station 322.

Fig.4 : (d) comparaison des salinités calculée et mesurée à la station 322.

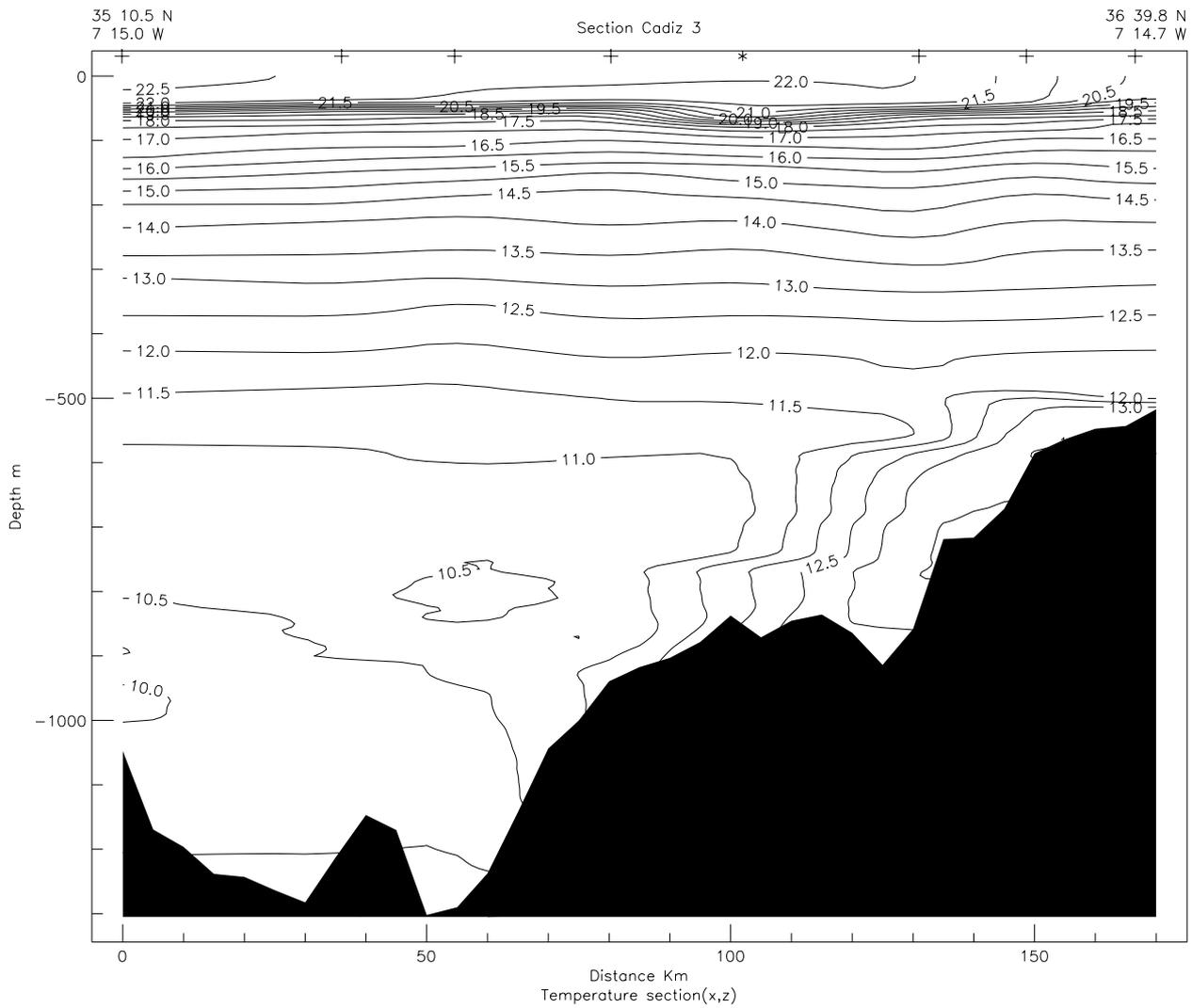


Fig.5 : (a) Hydrological cross-sections Cadiz-3.
 Fig.5 : (a) Sections hydrologiques Cadix-3.

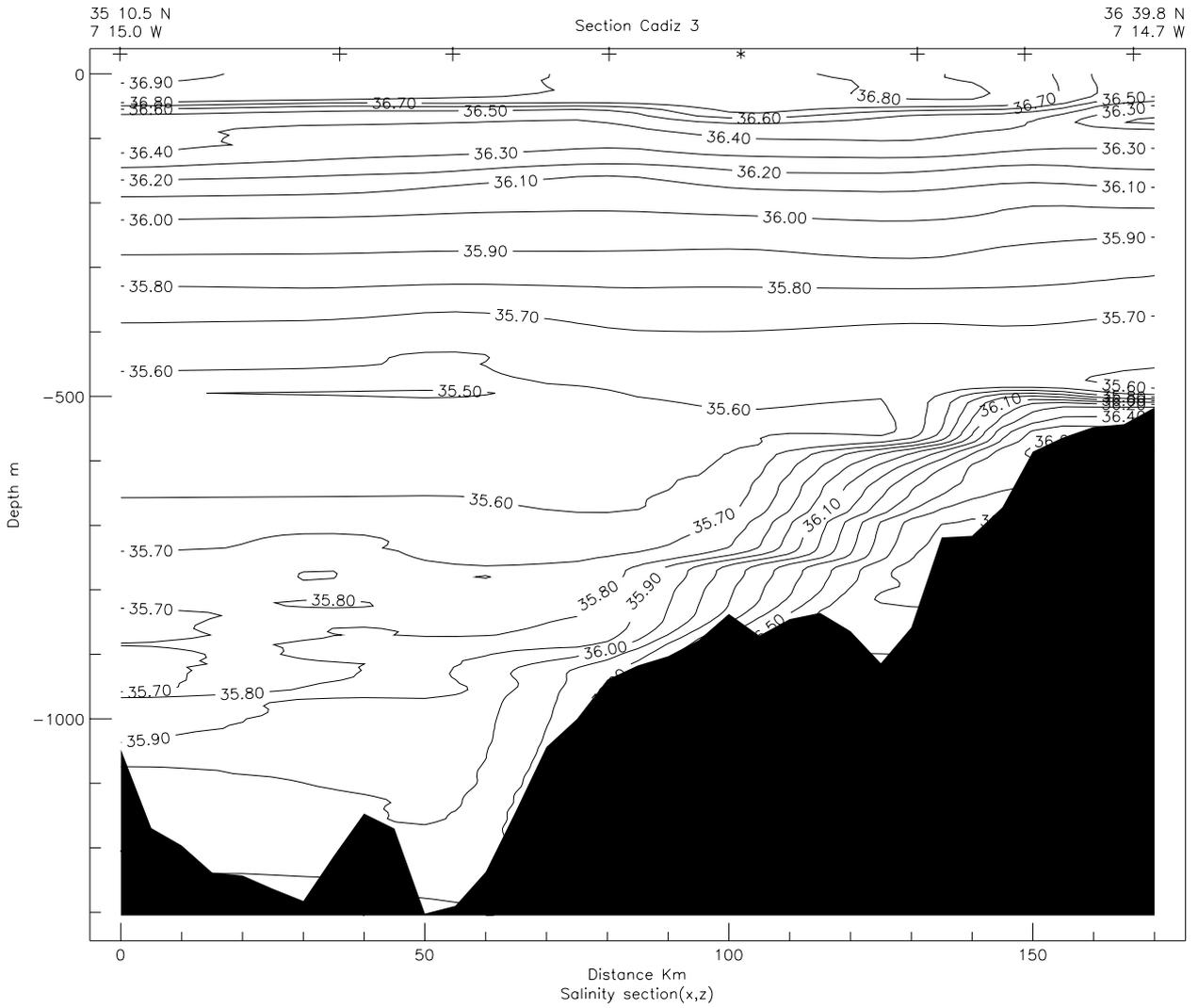


Fig.5 : (a) Hydrological cross-sections Cadiz-3.
 Fig.5 : (a) Sections hydrologiques Cadix-3.

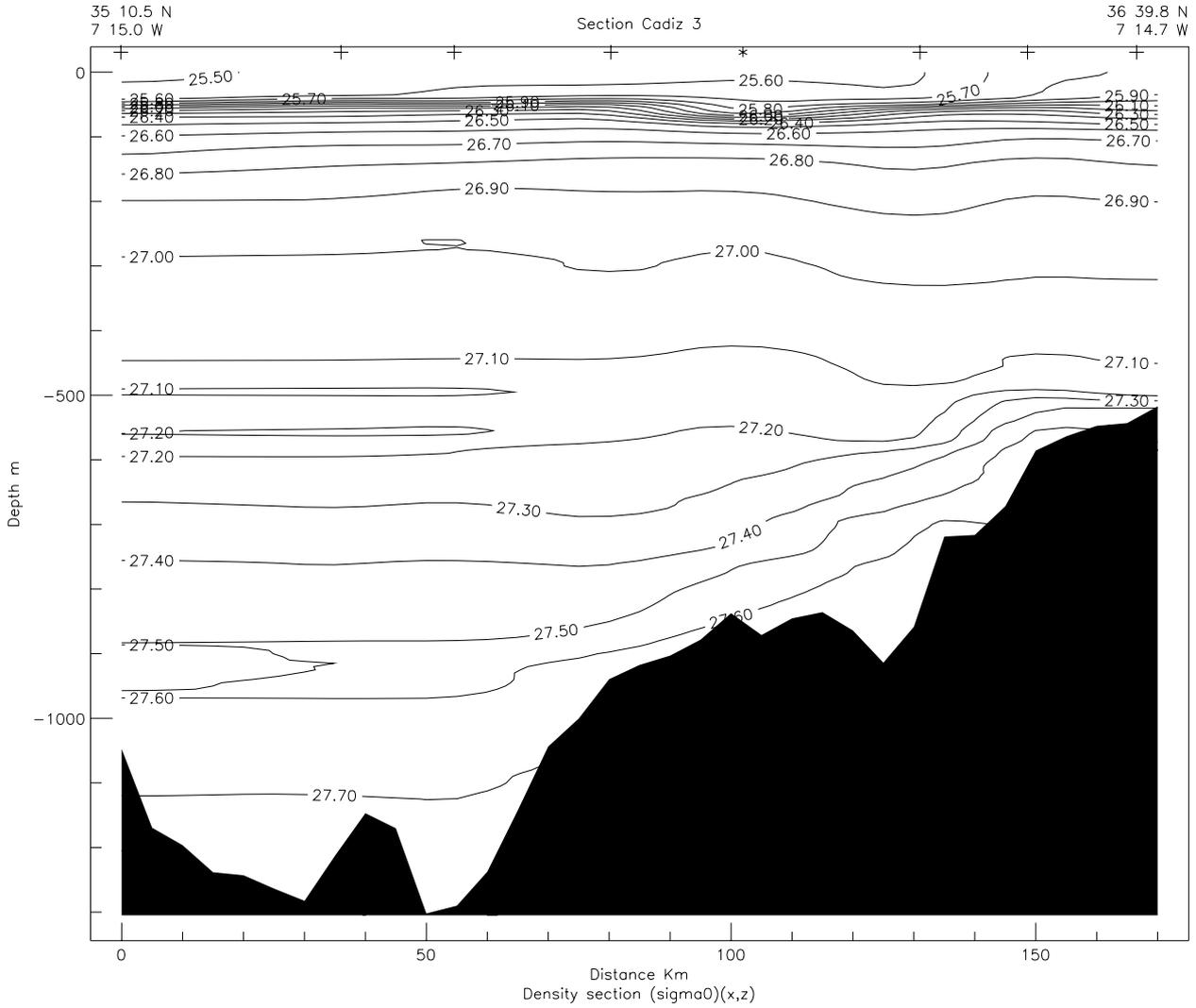


Fig.5 : (a) Hydrological cross-sections Cadiz-3.
 Fig.5 : (a) Sections hydrologiques Cadix-3.

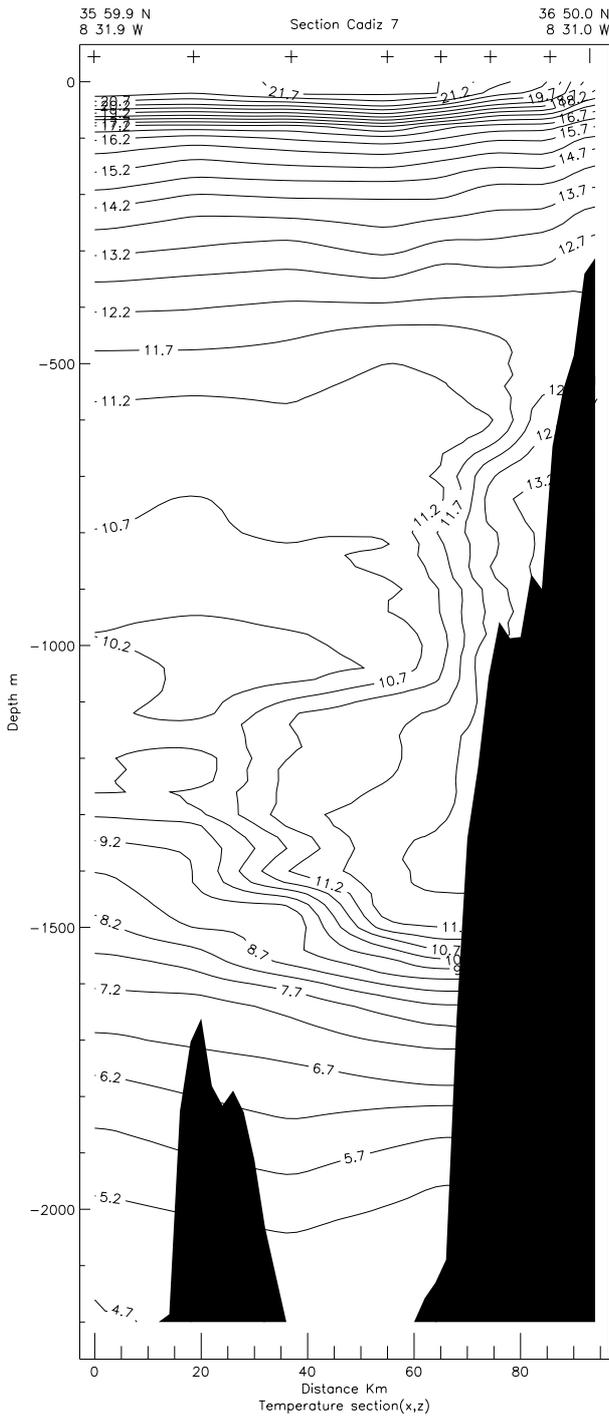


Fig. 5 : (b) Cadiz-7
Fig. 5 : (b) Cadix-7

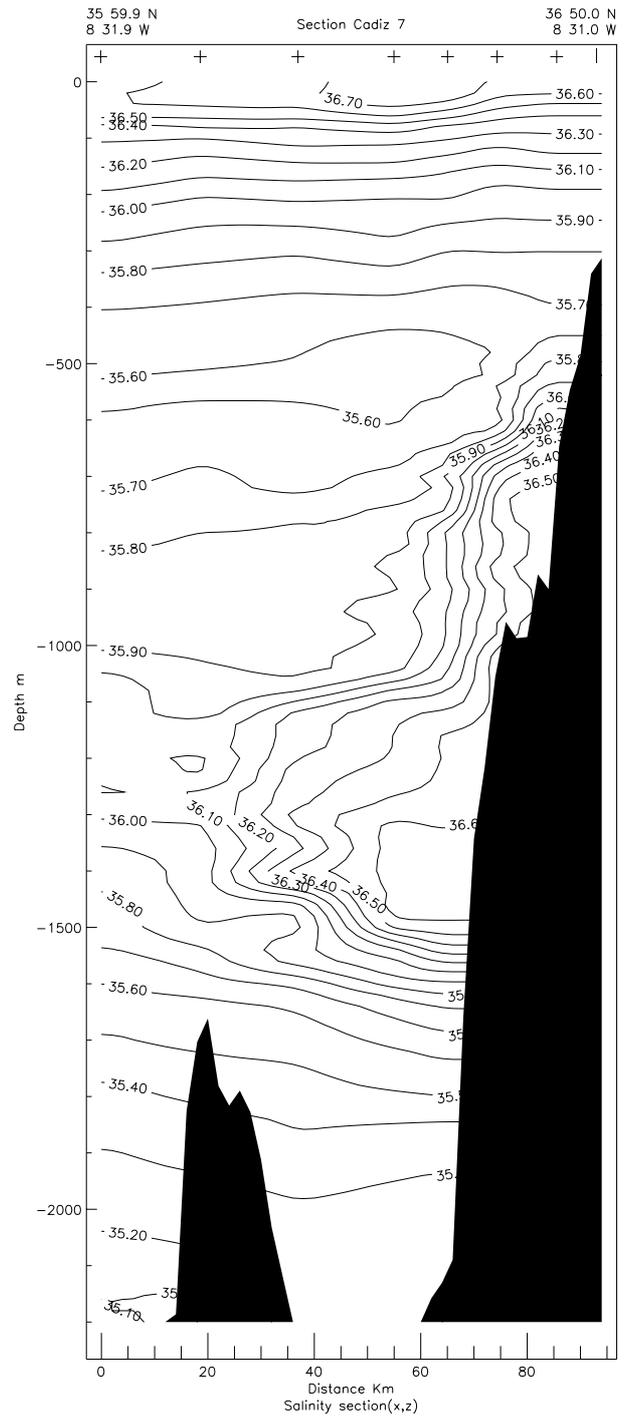


Fig. 5 : (b) Cadiz-7
Fig. 5 : (b) Cadix-7

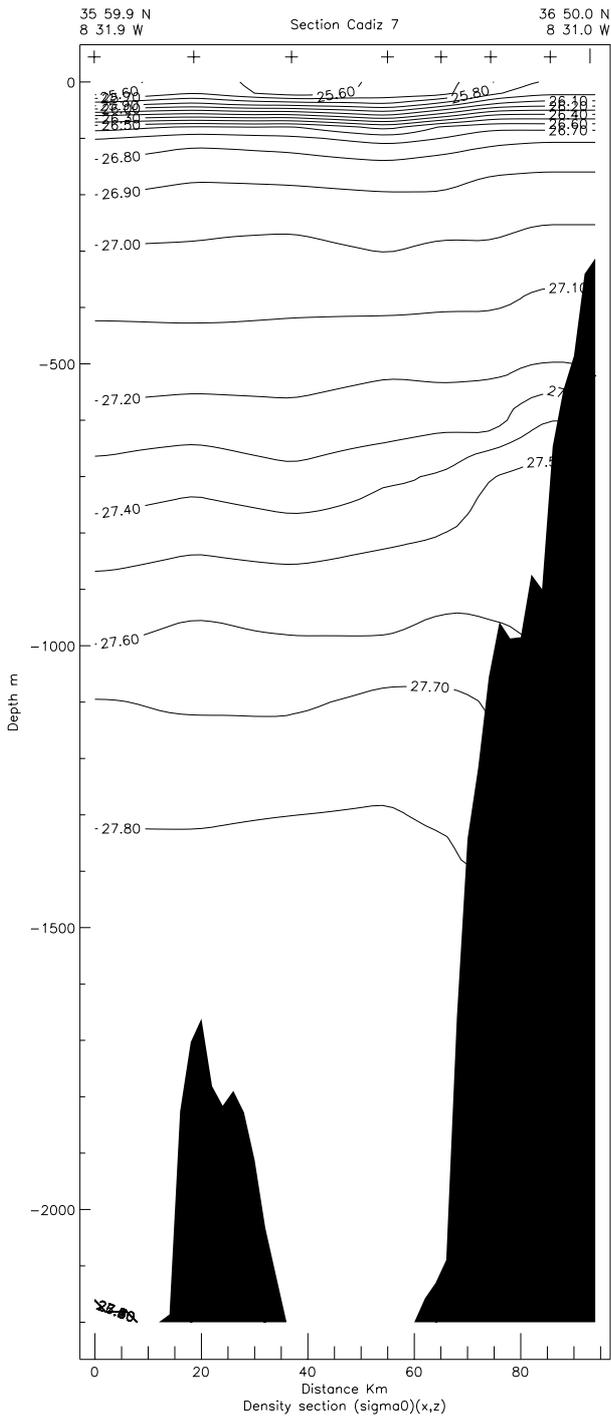


Fig. 5 : (b) Cadiz-7
Fig. 5 : (b) Cadix-7

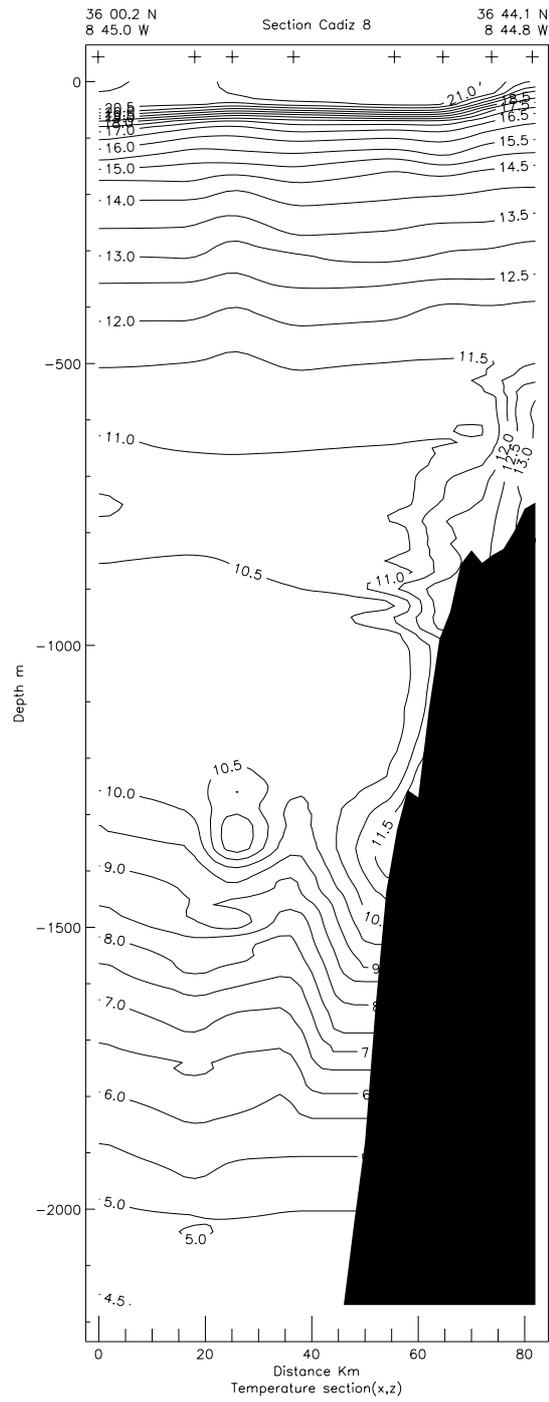


Fig. 5 : (c) Cadiz-8
Fig. 5 : (c) Cadix-8

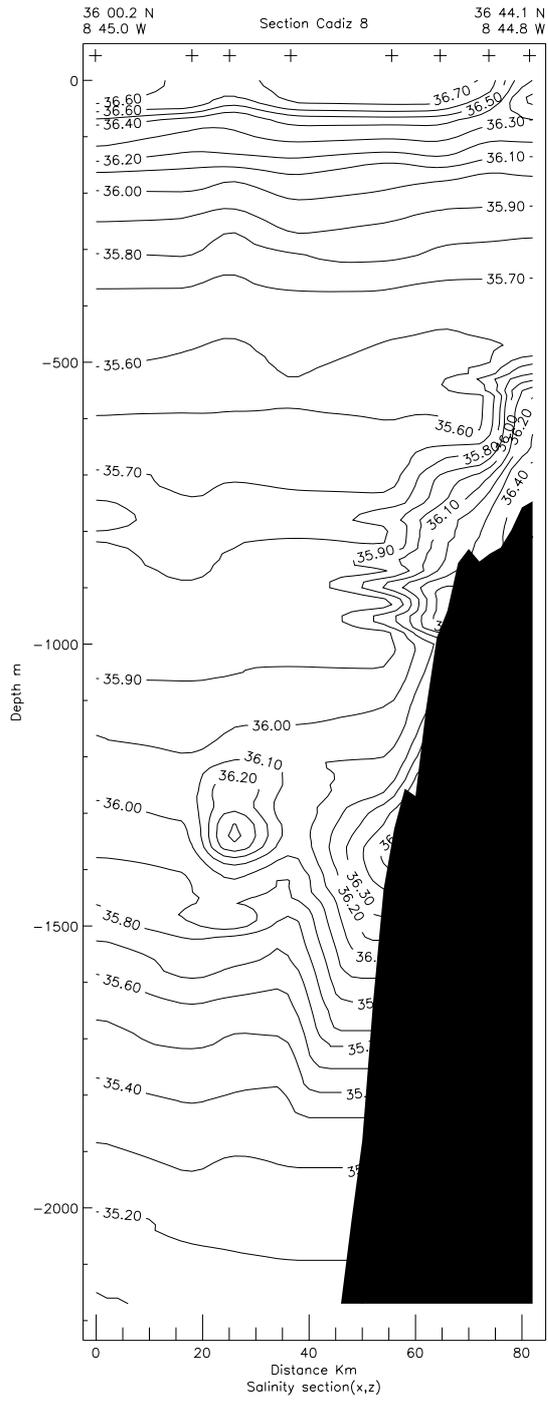


Fig. 5 : (c) Cadiz-8
Fig. 5 : (c) Cadix-8

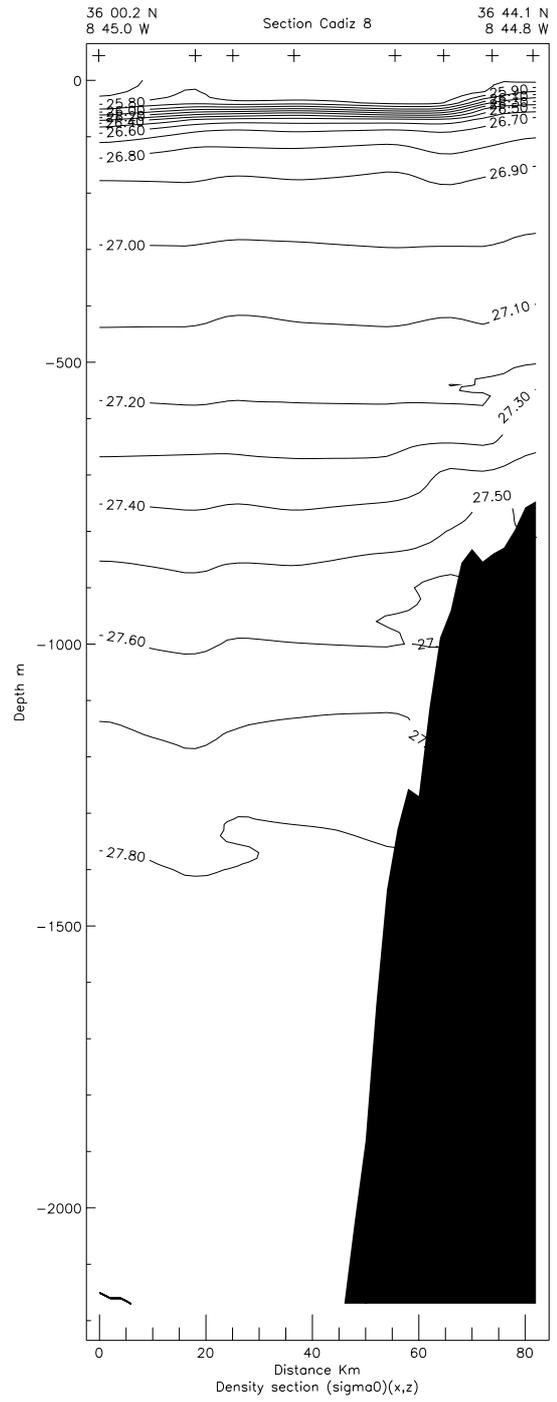


Fig. 5 : (c) Cadiz-8
Fig. 5 : (c) Cadix-8

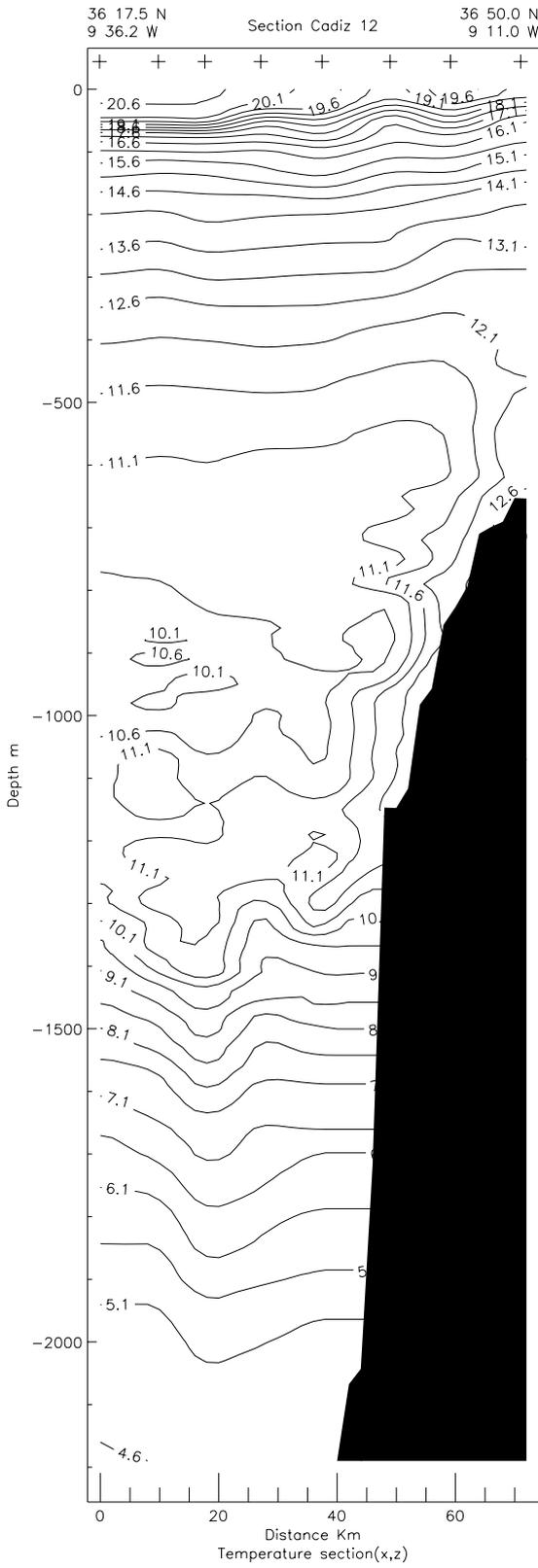


Fig. 5 : (d) Cadiz-12
Fig. 5 : (d) Cadix-12

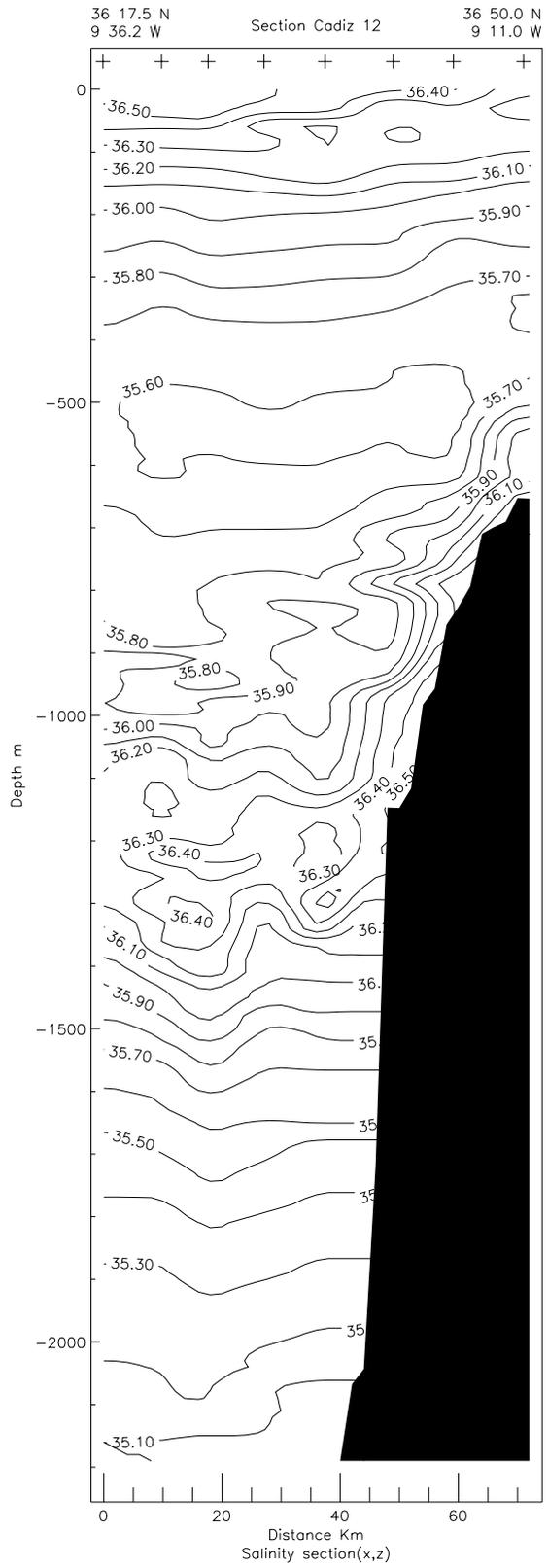


Fig. 5 : (d) Cadiz-12
Fig. 5 : (d) Cadix-12

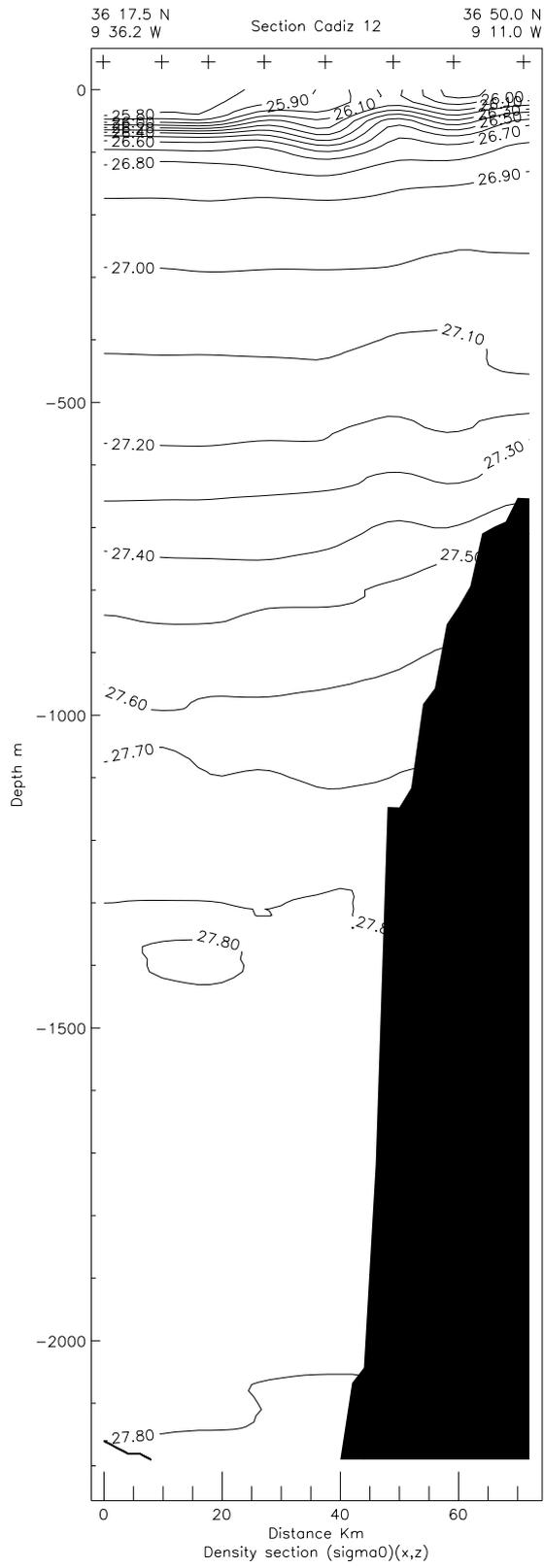


Fig. 5 : (d) Cadiz-12
Fig. 5 : (d) Cadix-12

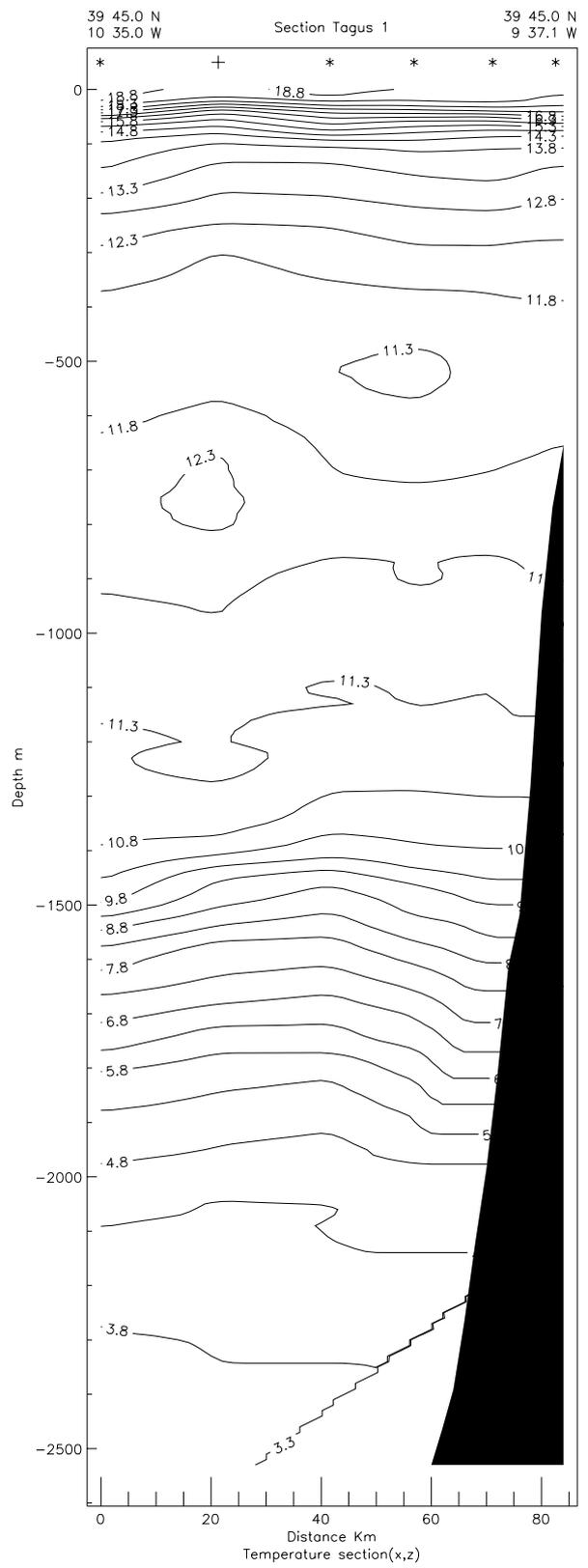


Fig. 5 : (e) Tagus-1
Fig. 5 : (e) Tage-1

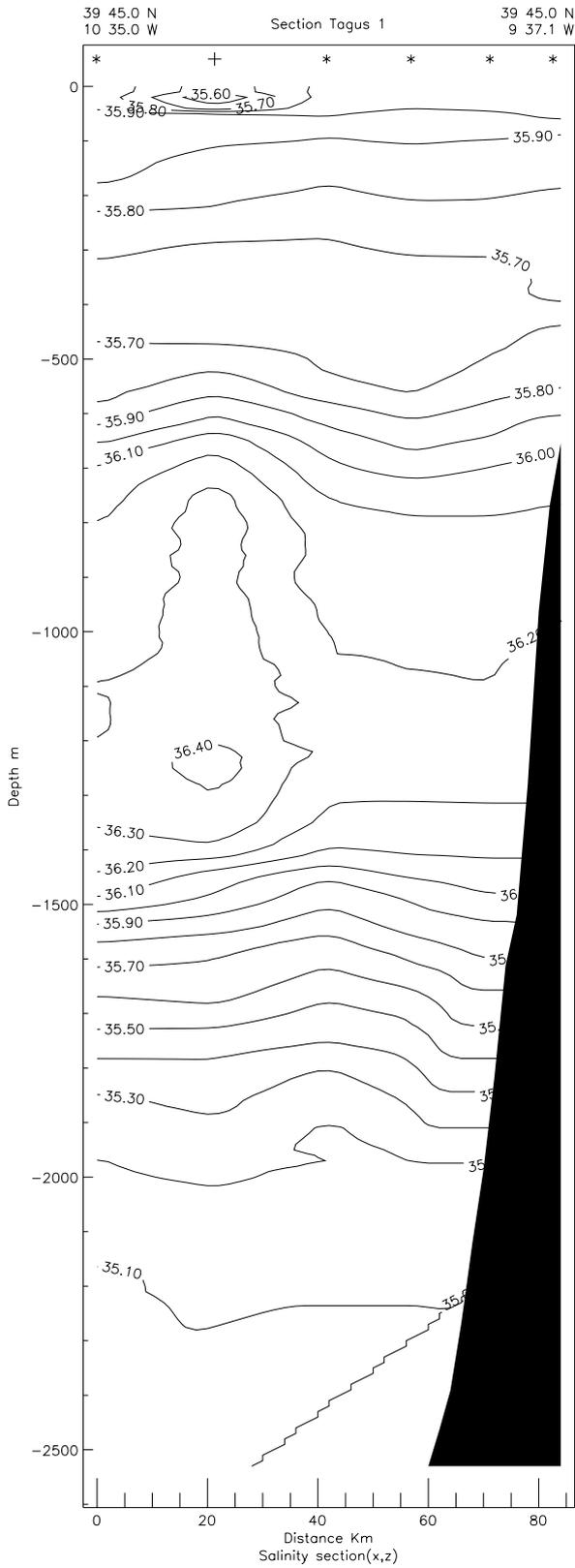


Fig. 5 : (e) Tagus-1
Fig. 5 : (e) Tague-1

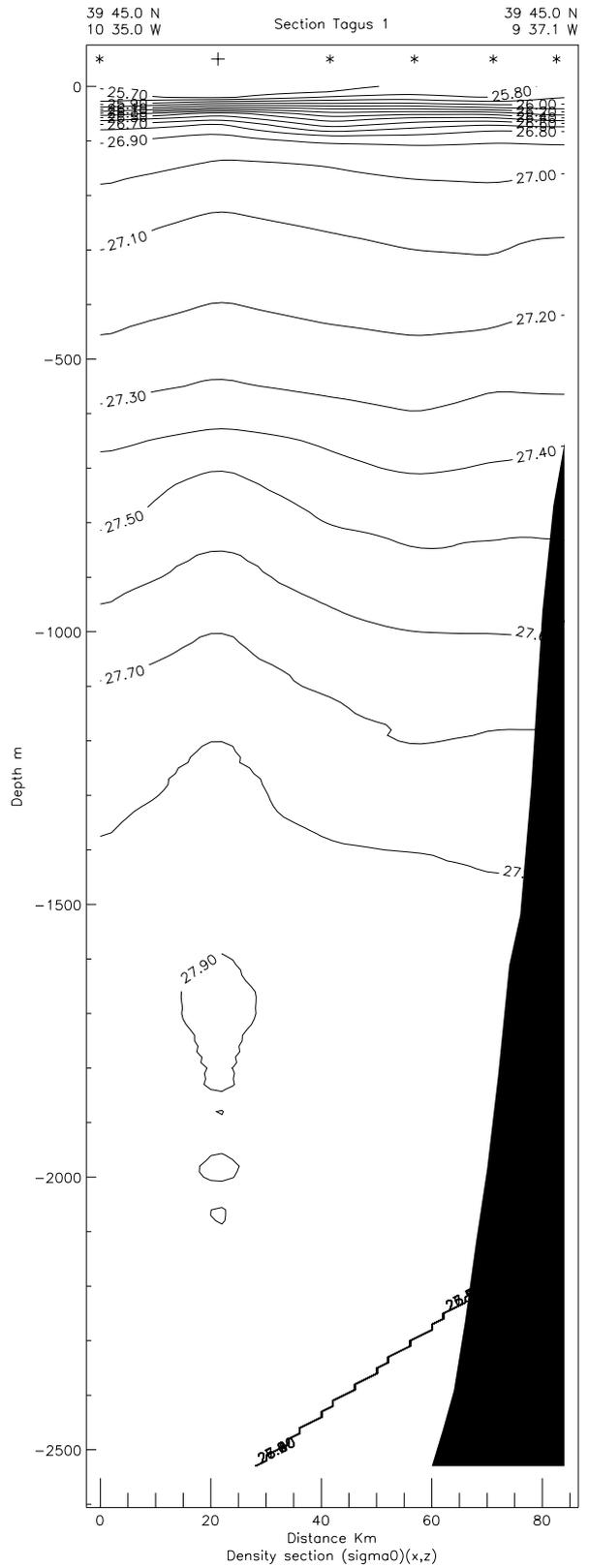


Fig. 5 : (e) Tagus-1
Fig. 5 : (e) Tague-1

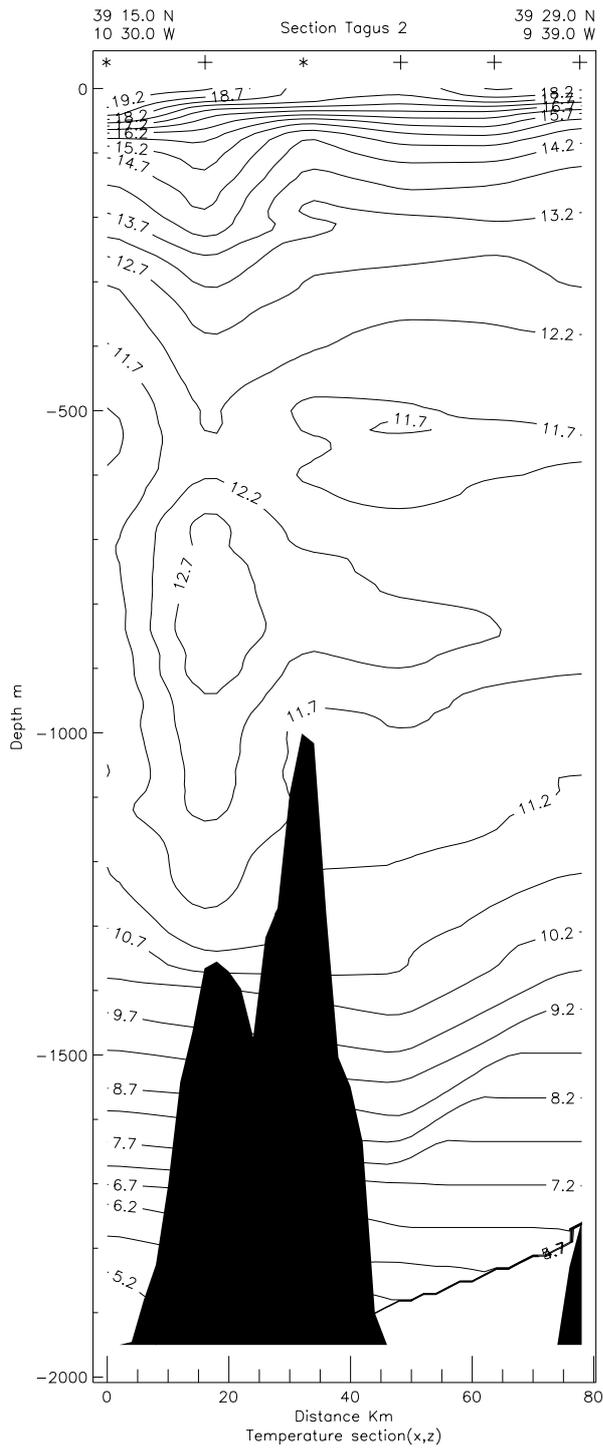


Fig. 5 : (f) Tagus-2
Fig. 5 : (f) Tague-2

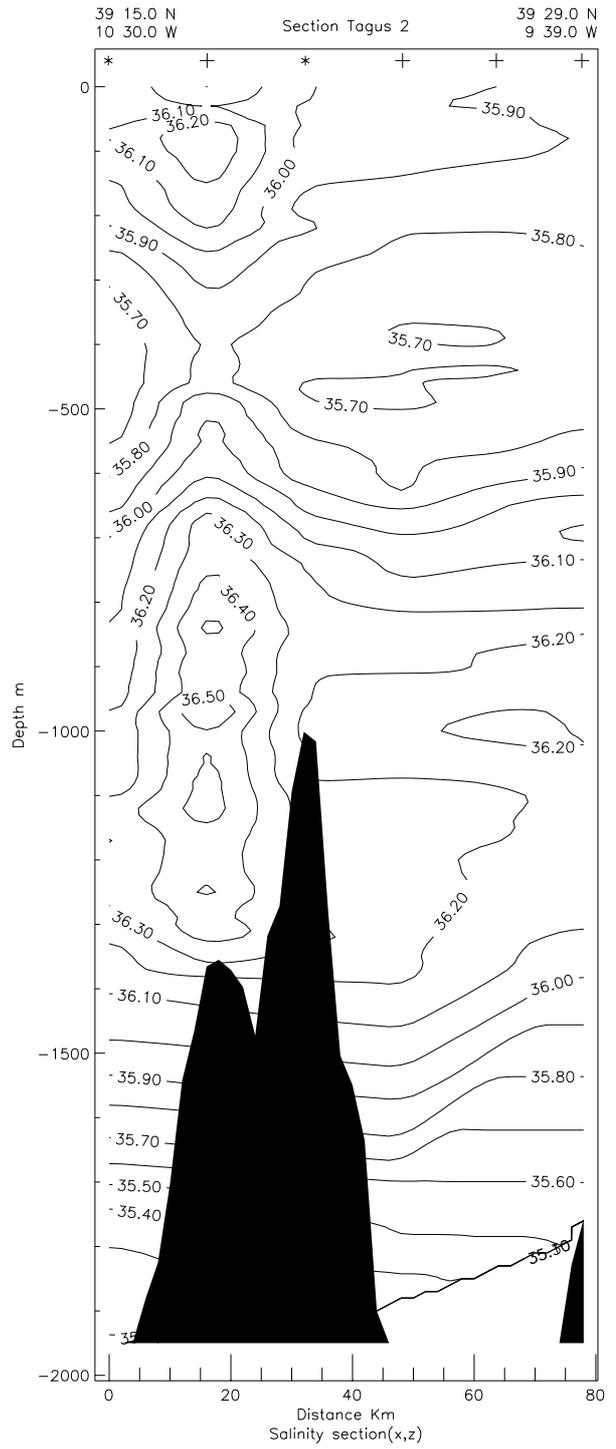


Fig. 5 : (f) Tagus-2
Fig. 5 : (f) Tague-2

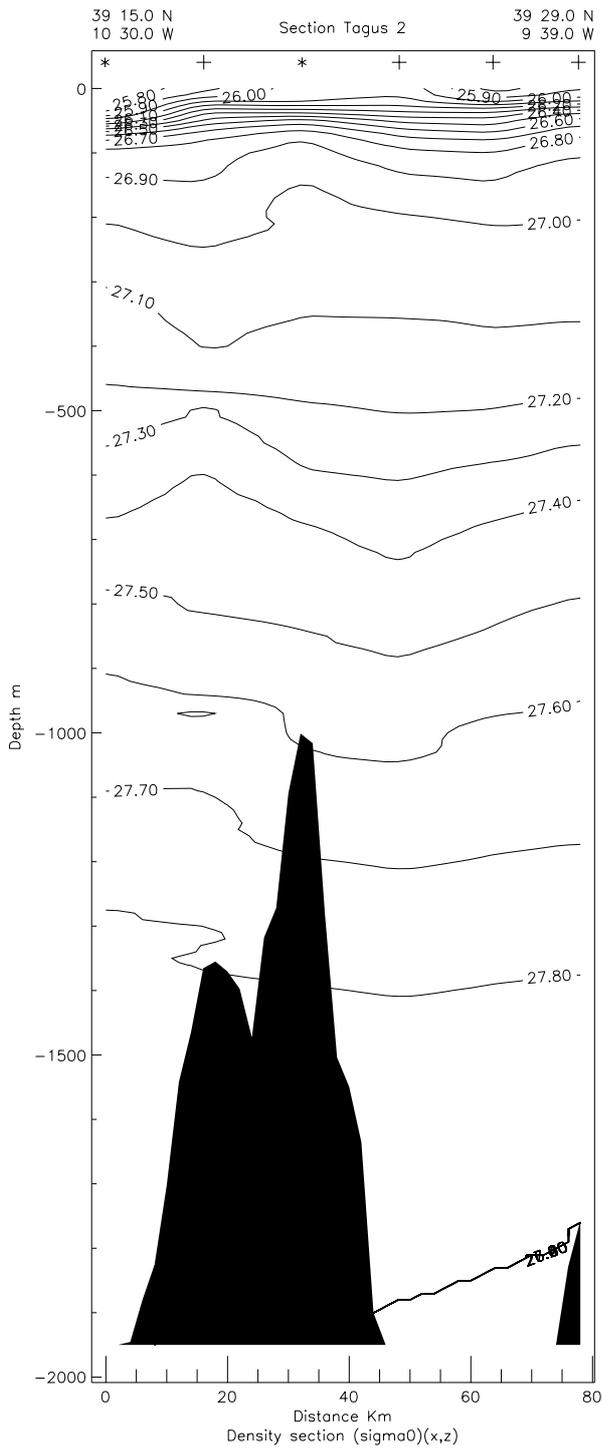


Fig. 5 : (f) Tagus-2
Fig. 5 : (f) Tage-2

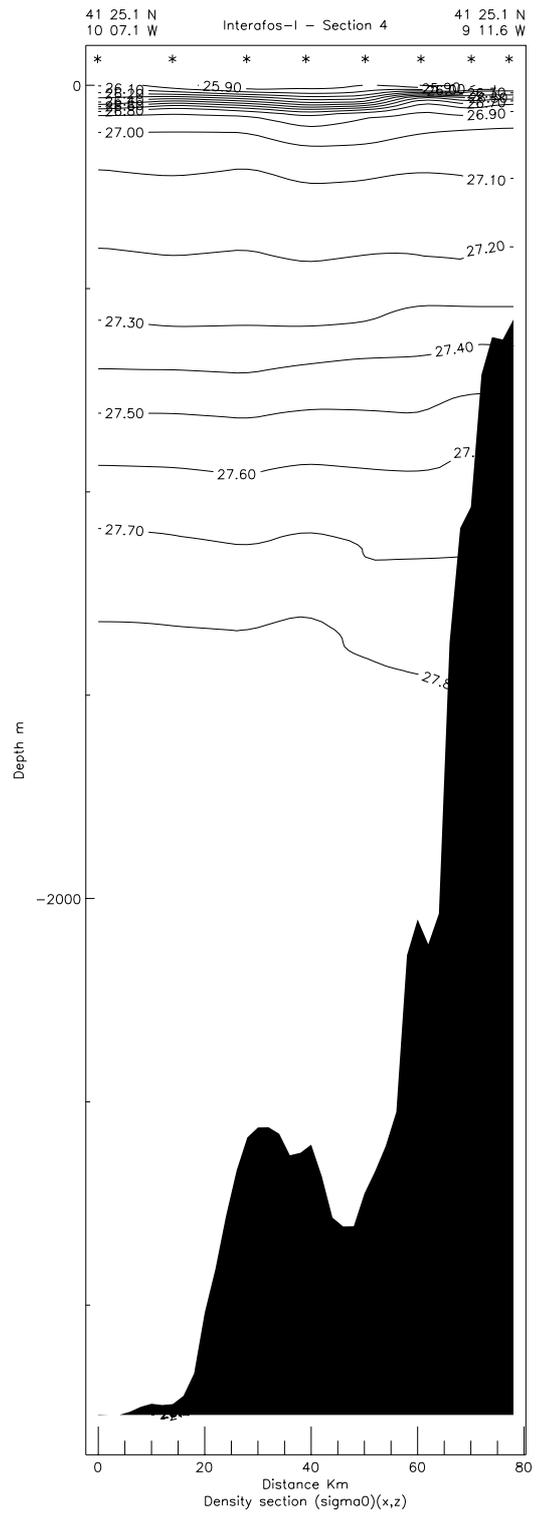


Fig. 5 : (g) Interafos-I.4
Fig. 5 : (g) Interafos-I.4

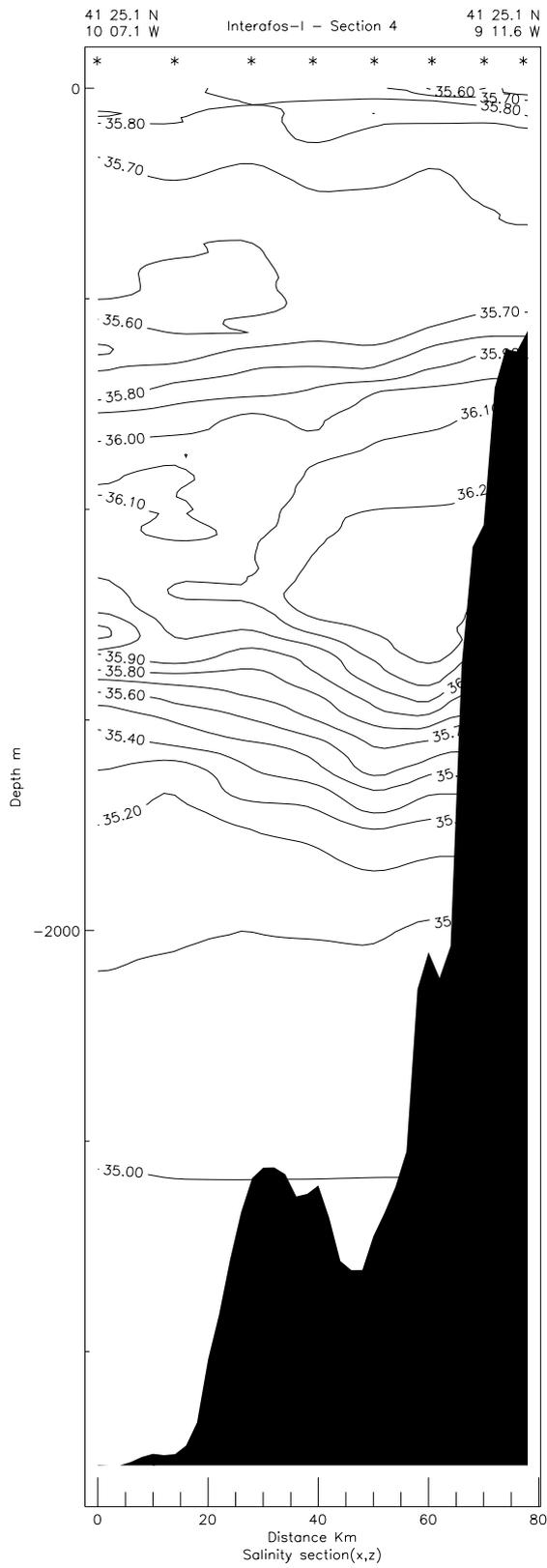


Fig. 5 : (g) Interfos-I.4
Fig. 5 : (g) Interfos-I.4

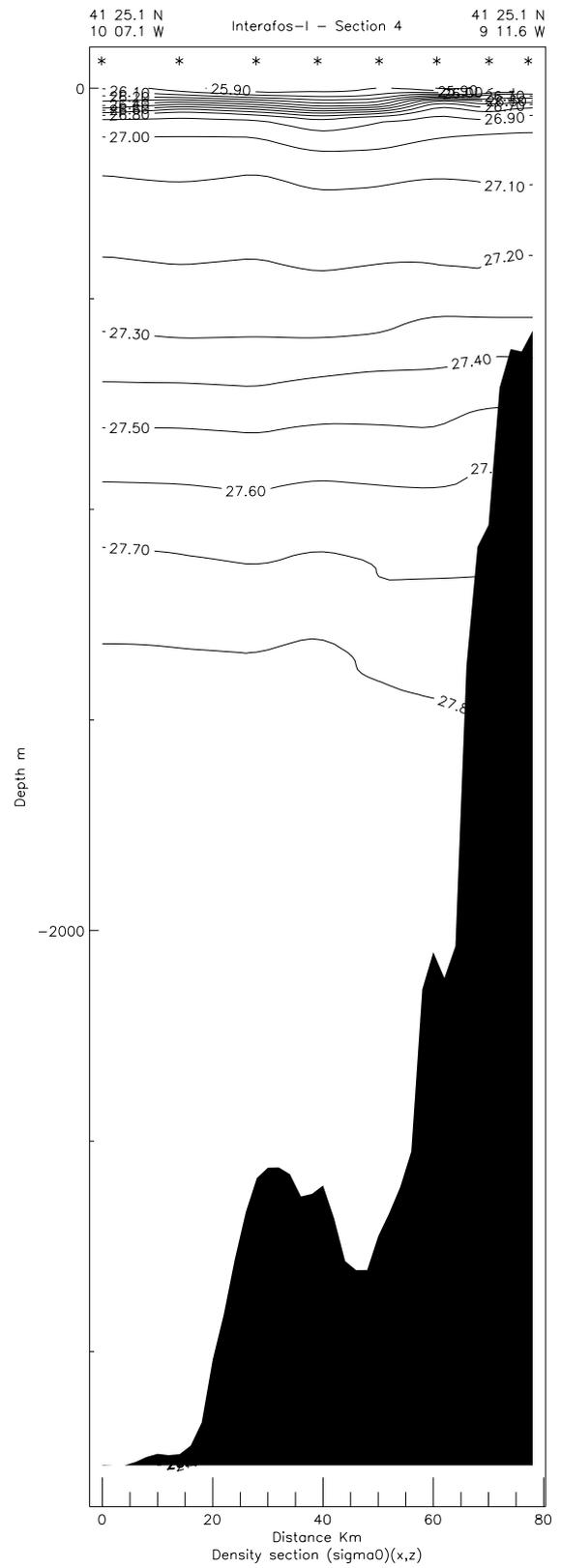


Fig. 5 : (g) Interfos-I.4
Fig. 5 : (g) Interfos-I.4

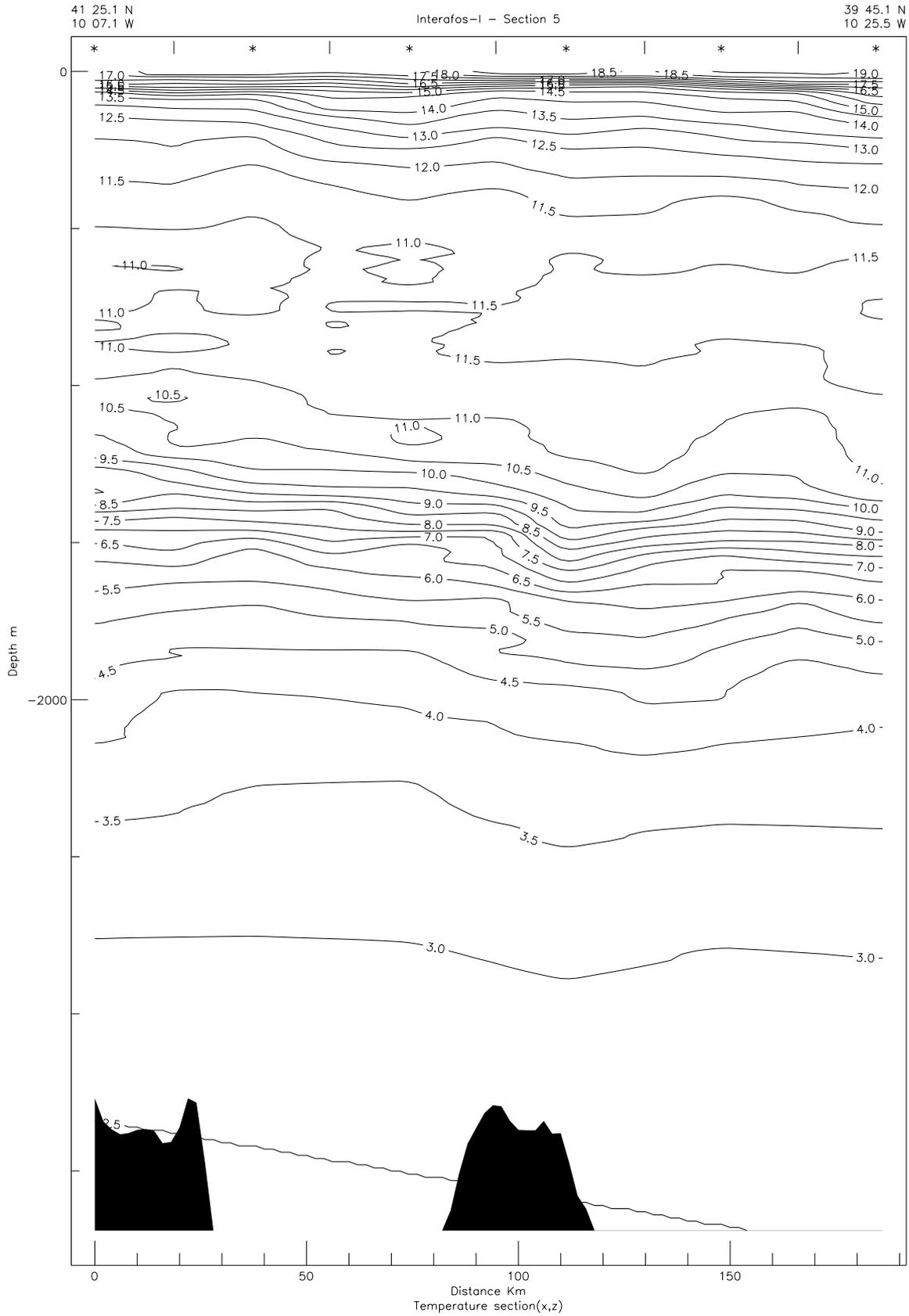


Fig.5 : (h) Interafos-I.5
Fig.5 : (h) Interafos-I.5

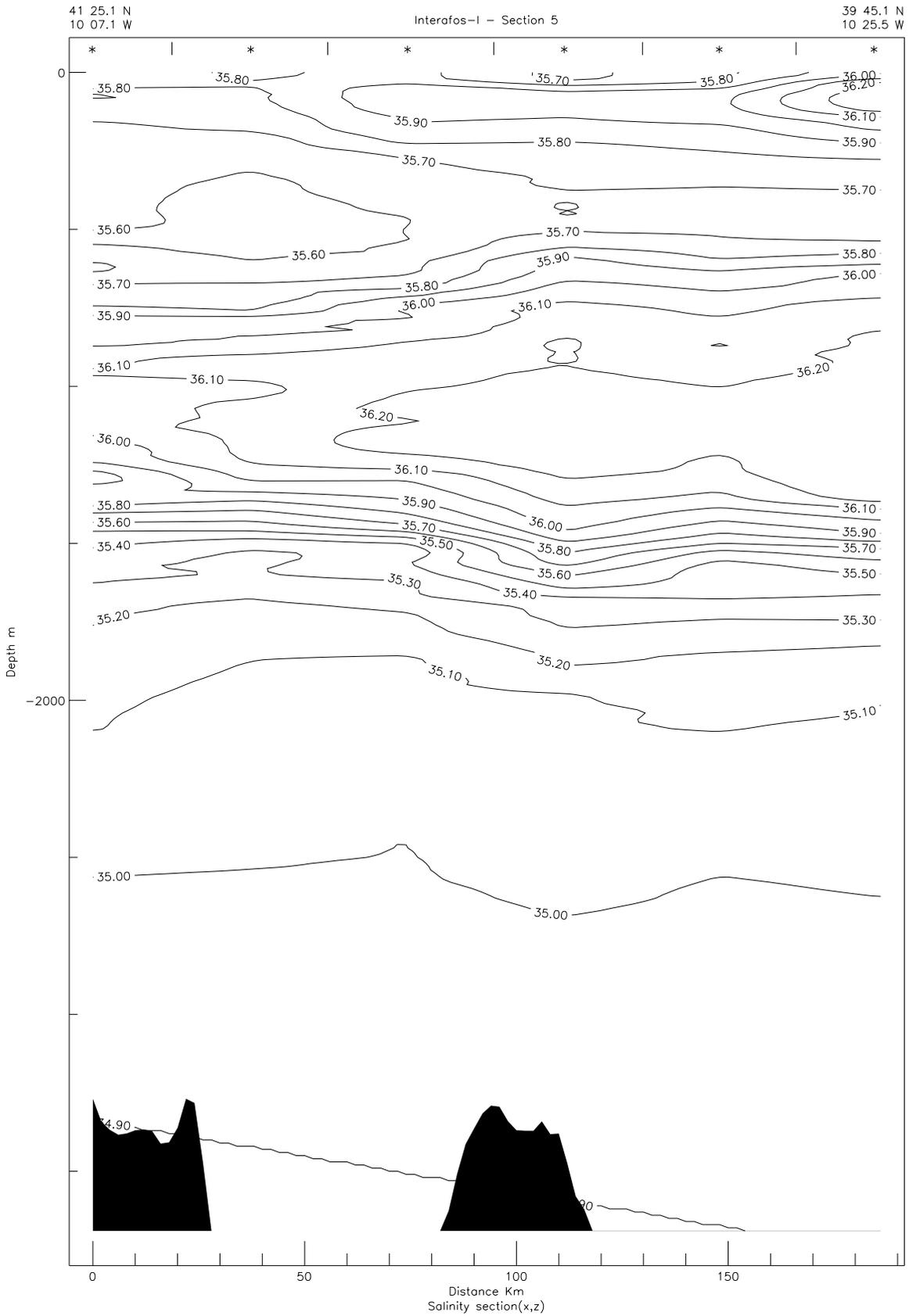


Fig.5 : (h) Interafos-I.5
Fig.5 : (h) Interafos-I.5

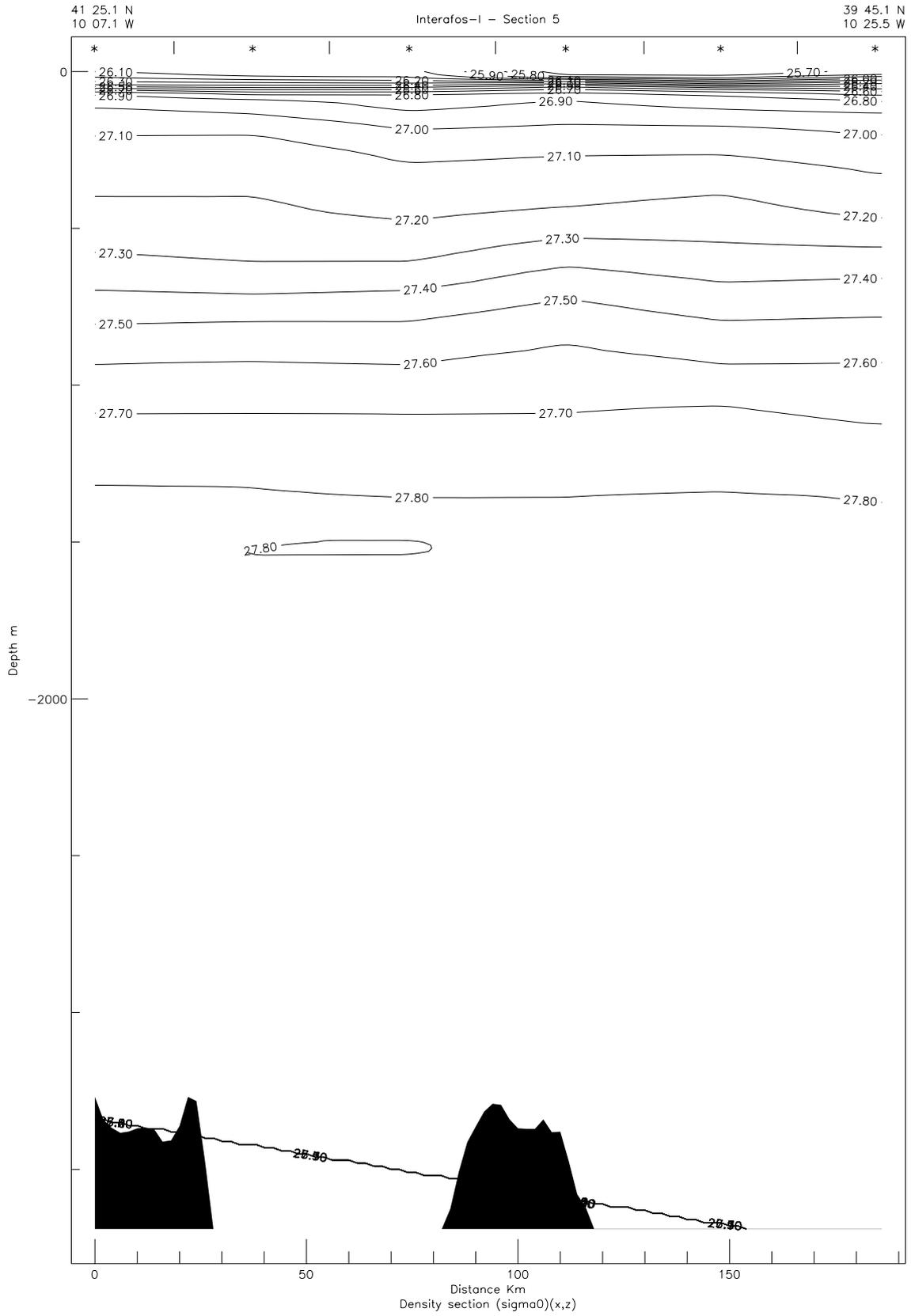


Fig.5 : (h) Interafos-I.5
Fig.5 : (h) Interafos-I.5

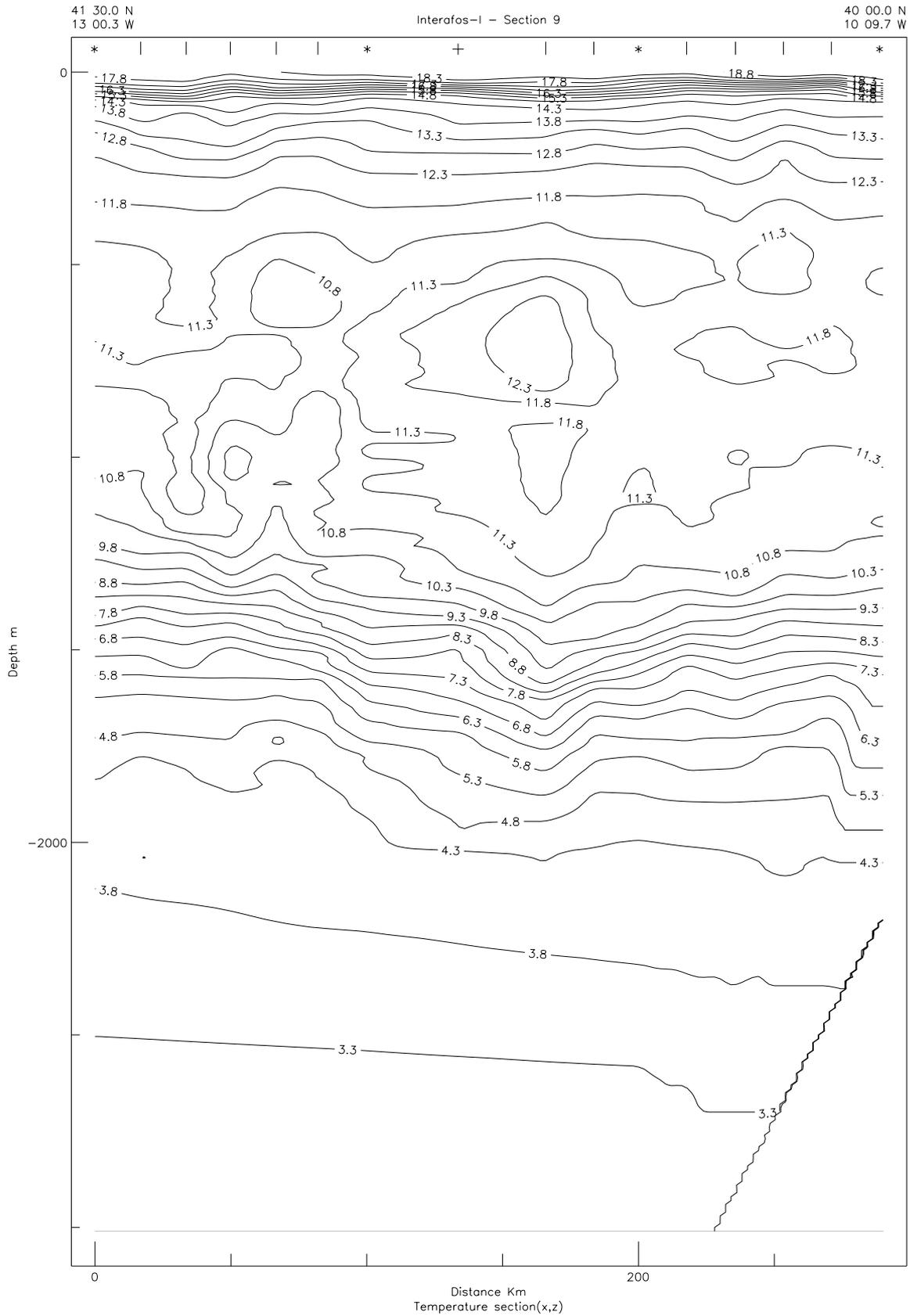


Fig. 5 : (i) Interafos-I.9
Fig. 5 : (i) Interafos-I.9

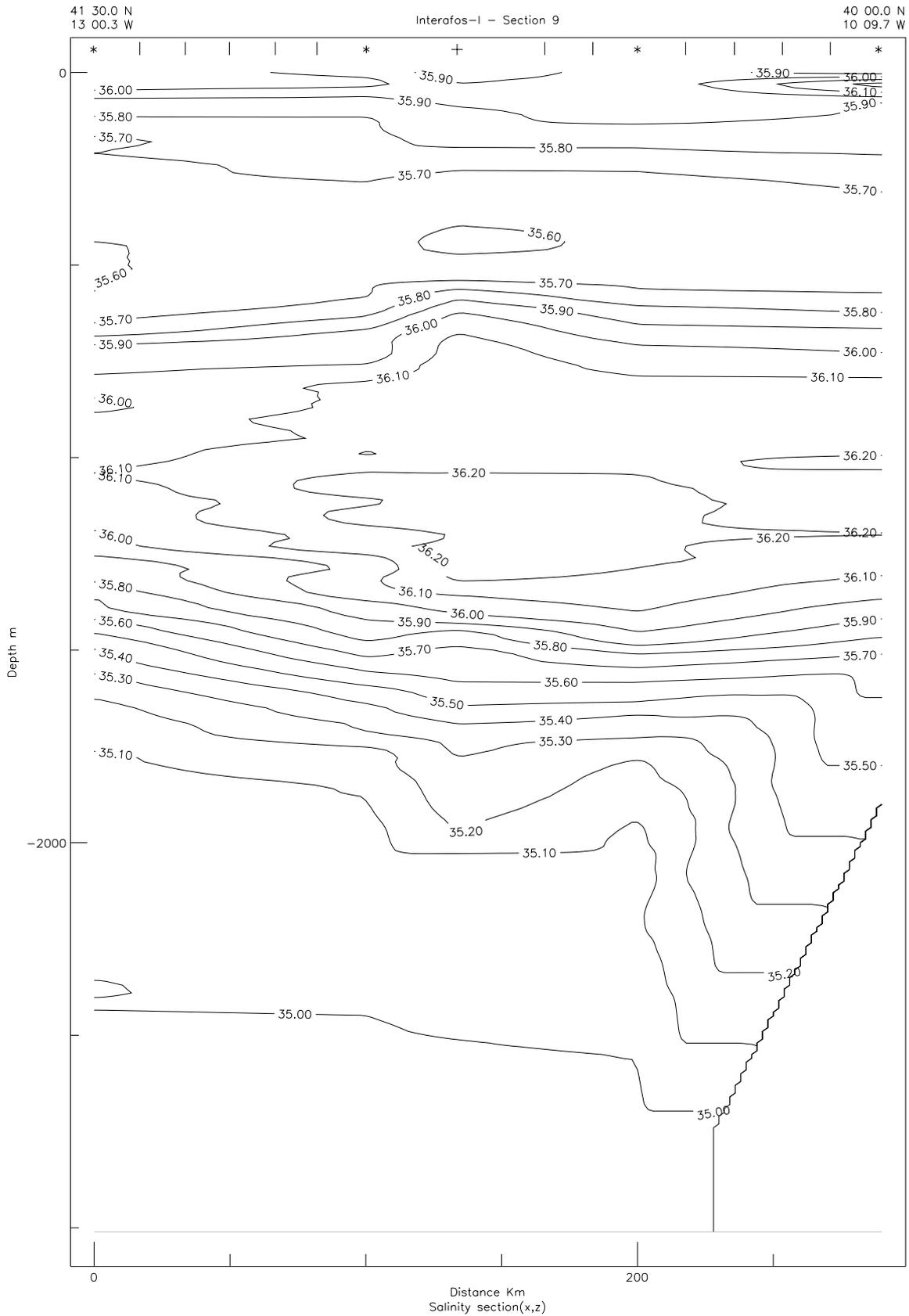


Fig. 5 : (i) Interafos-I.9
Fig. 5 : (i) Interafos-I.9

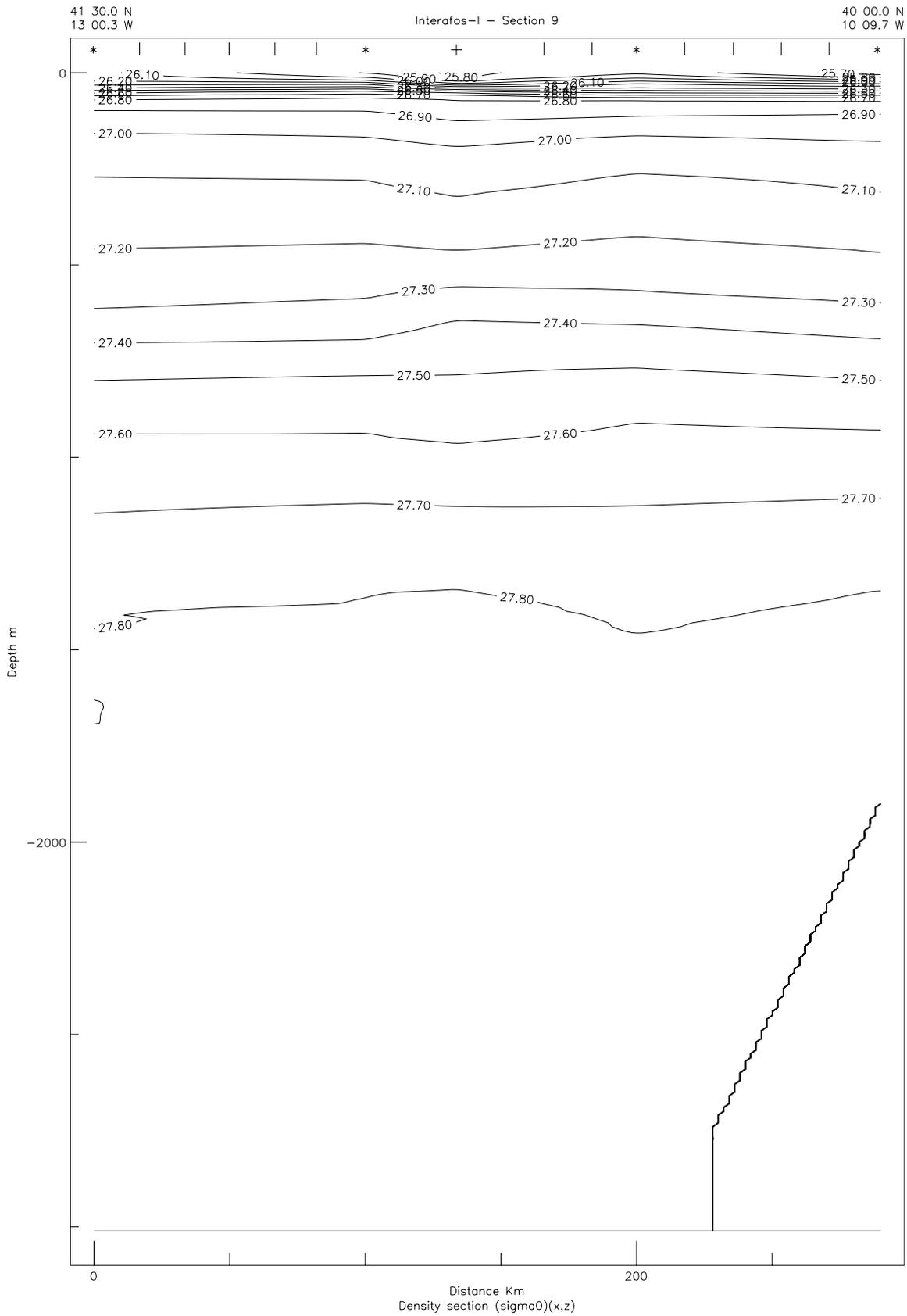


Fig. 5 : (i) Interafos-I.9
Fig. 5 : (i) Interafos-I.9

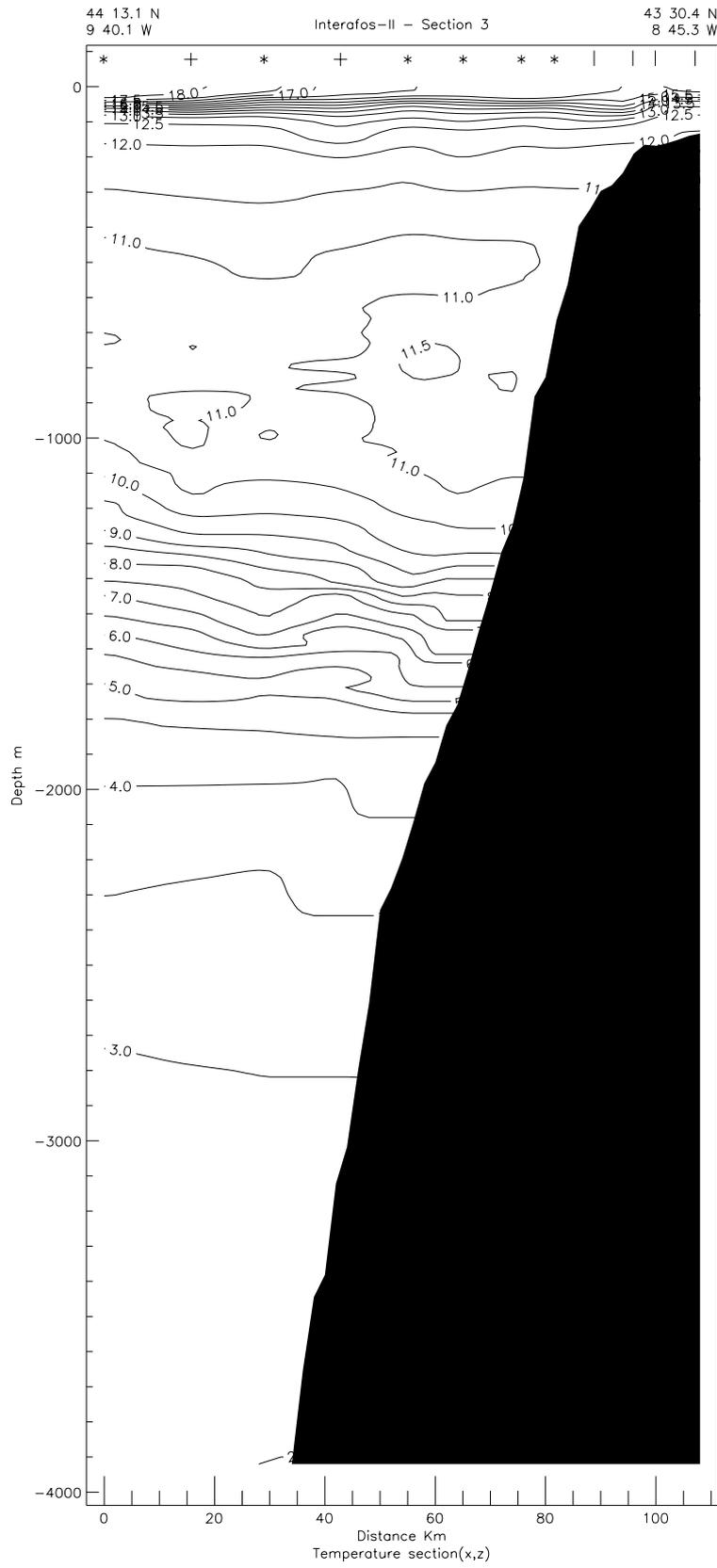


Fig. 5 : (j) Interafos-II.3
Fig. 5 : (j) Interafos-II.3

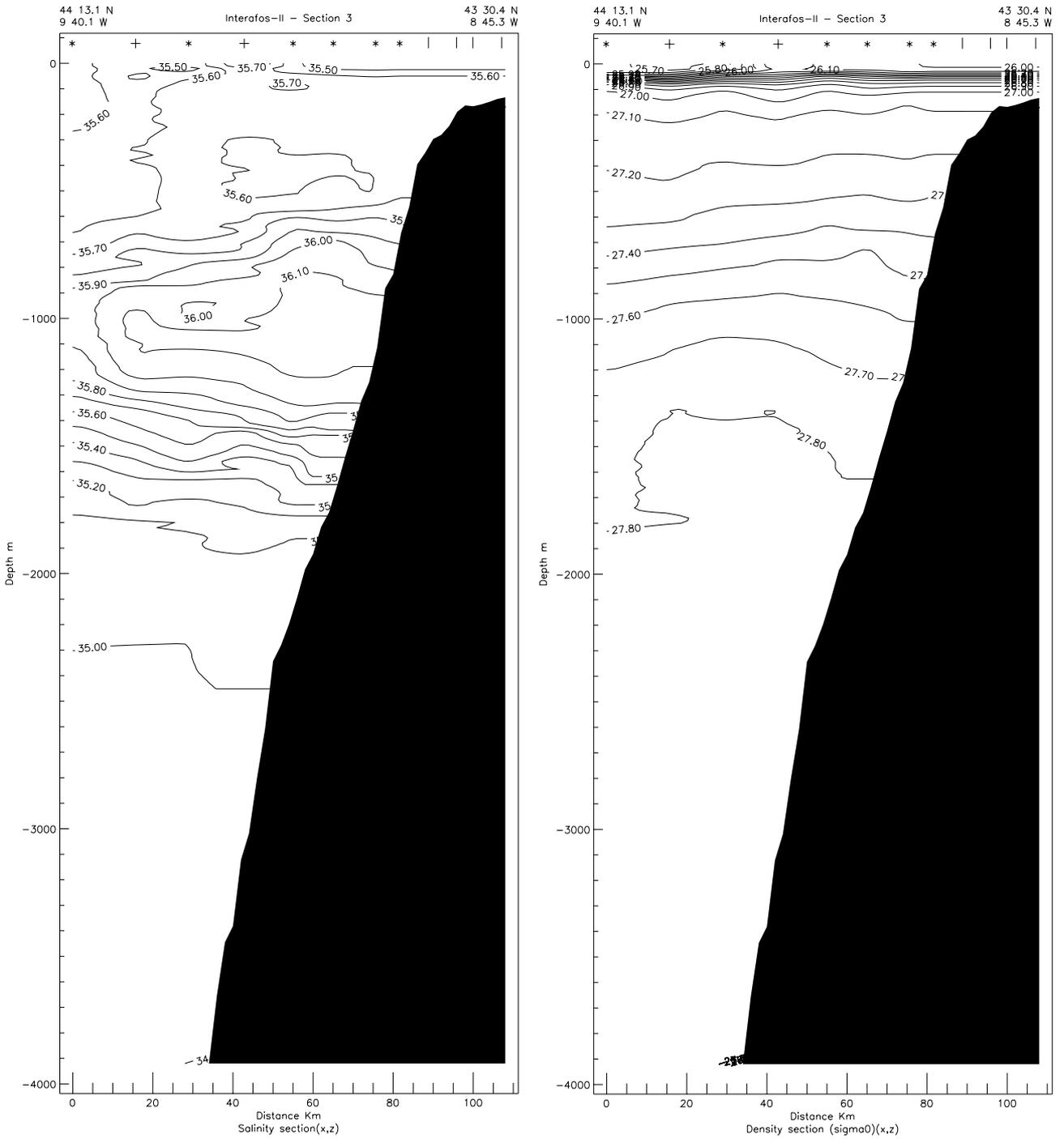


Fig. 5 : (j) Interafos-II.3
Fig. 5 : (j) Interafos-II.3

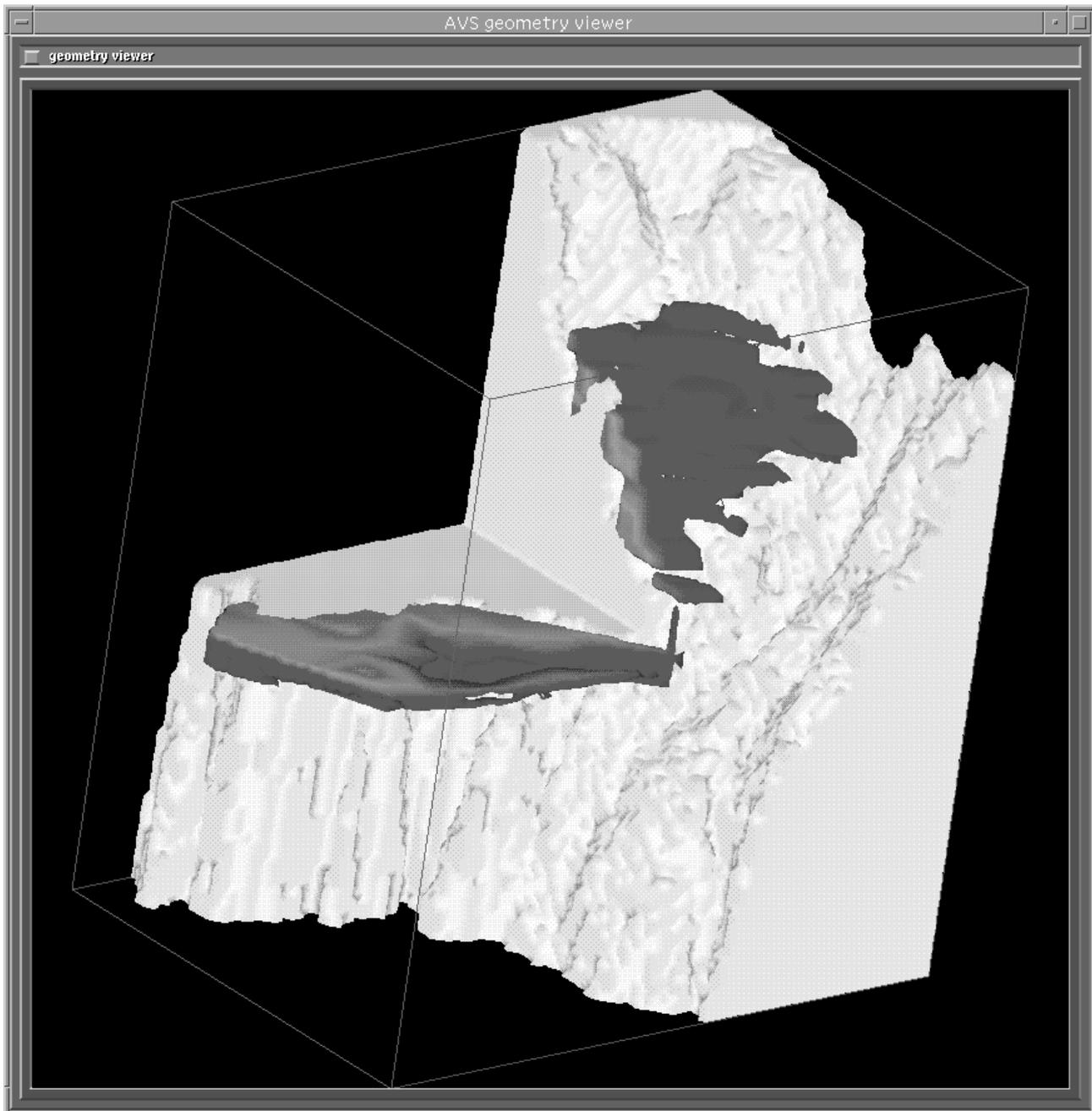


Fig. 6 : 3D view of the salinity anomaly ; (a) along Cadiz-4 ($7^{\circ}30'$ W) and at 1200 m.
Fig. 6 : Vue 3D de l'anomalie de salinité ; (a) coupes le long de Cadix-4 ($7^{\circ}30'$ W) et à 1200 m.

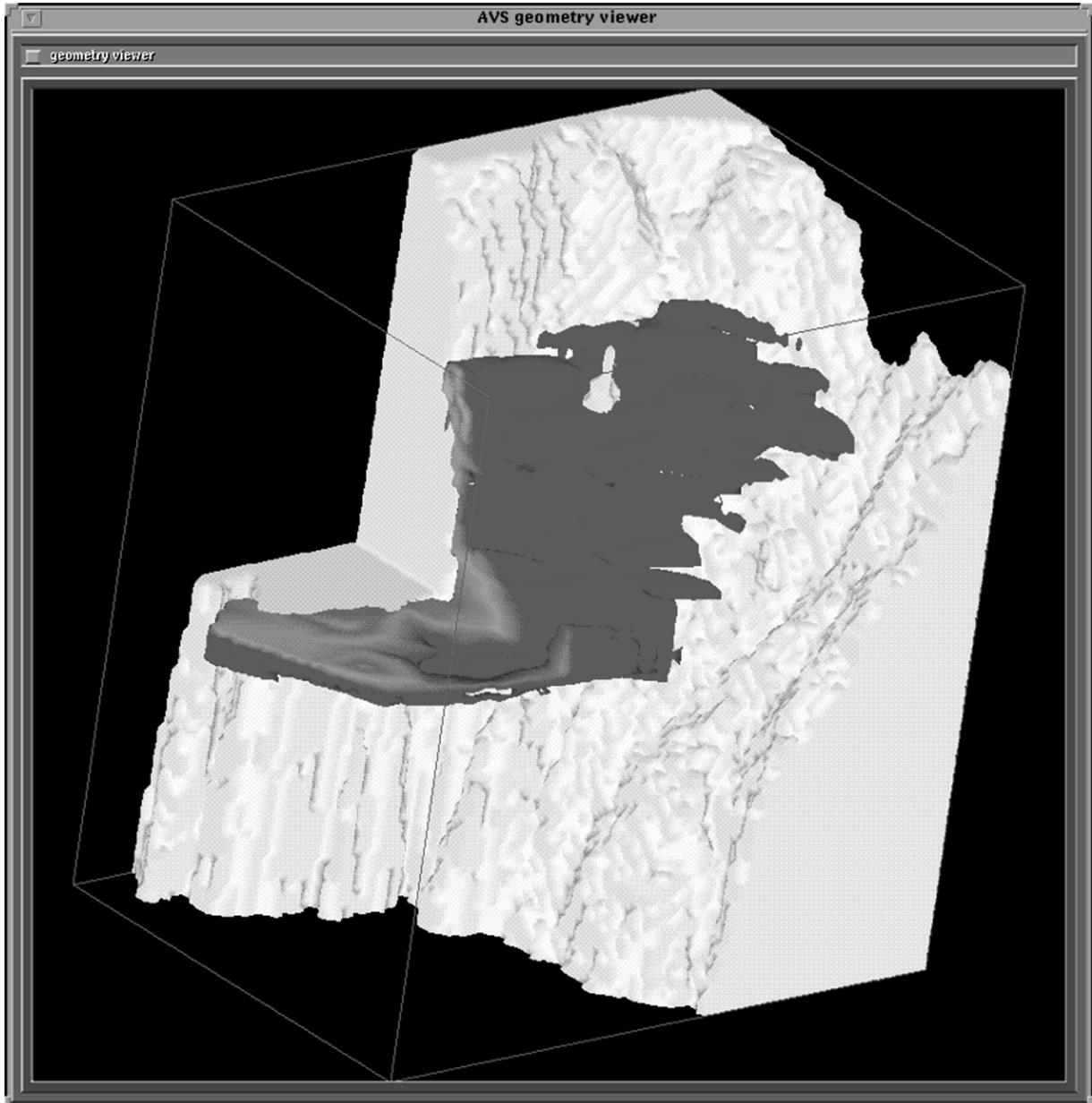


Fig. 6 : 3D view of the salinity anomaly ; (b) along $8^{\circ} 20' W$ and at 1200 m.
Fig. 6 : Vue 3D de l'anomalie de salinité ; (b) le long de $8^{\circ} 20' W$ et à 1200 m.

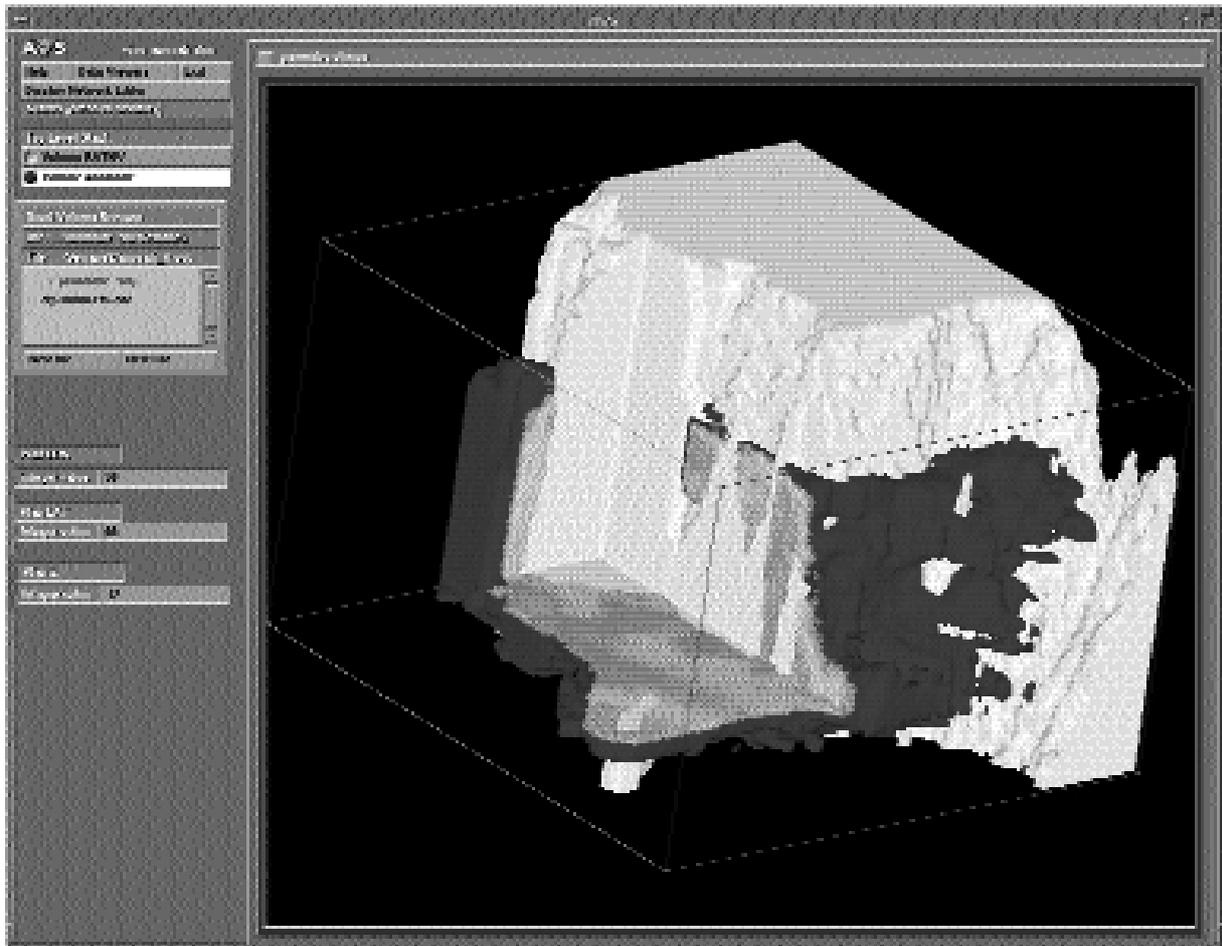


Fig. 6 : 3D view of the salinity anomaly ; (c) at Cape St Vincent.
 Fig. 6 : Vue 3D de l'anomalie de salinité ; (c) au cap St Vincent.

Geostrophic current (cm/s) - Depth 700 m

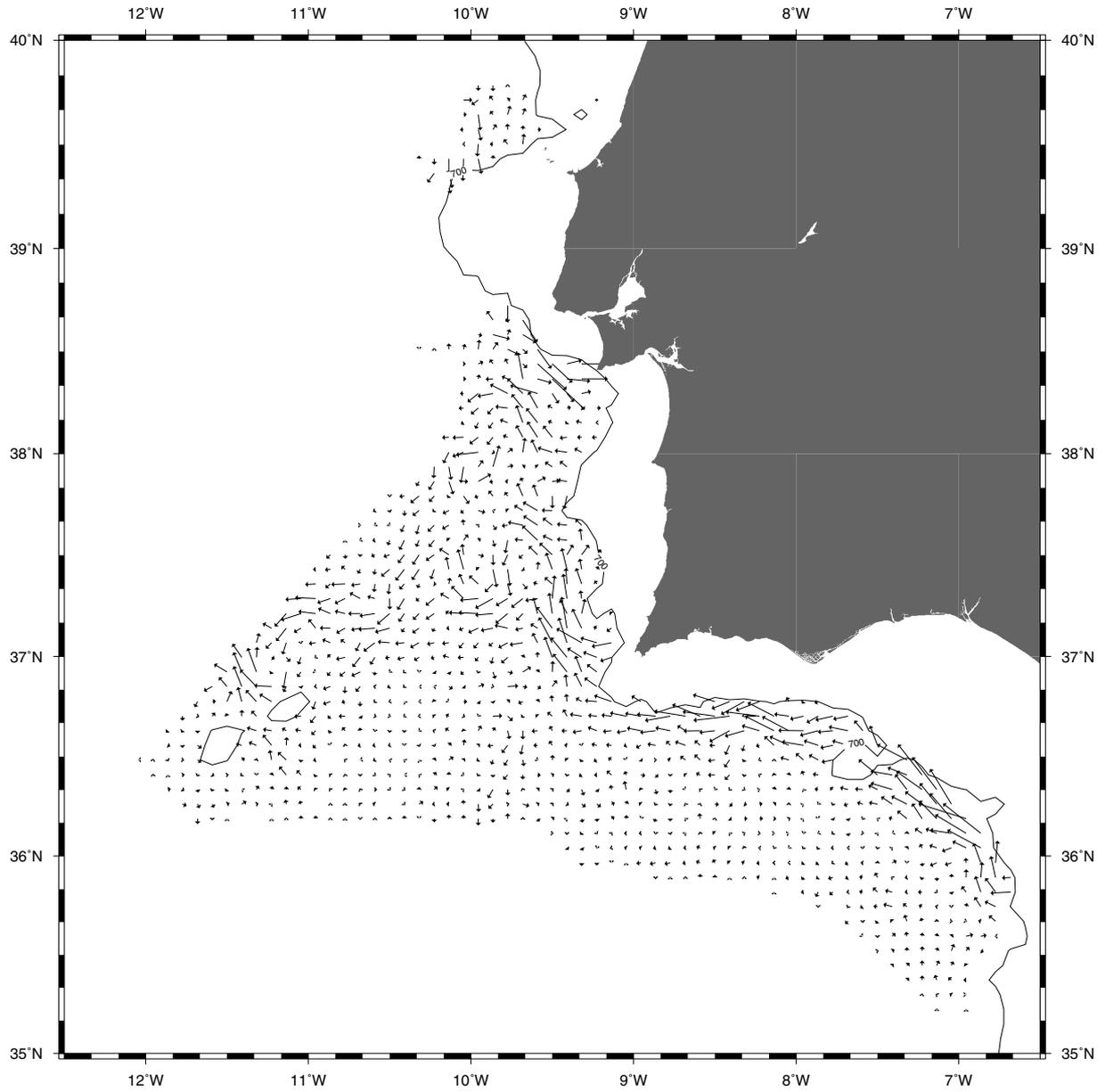


Fig. 7 : Horizontal maps of geostrophic velocity from the Semane hydrological data ; (a) at 700 m.
 Fig. 7 : Cartes horizontales de vitesse géostrophique calculée à partir des données hydrologiques de Semane ; (a) à 700 m.

Geostrophic current (cm/s) - Depth 900 m

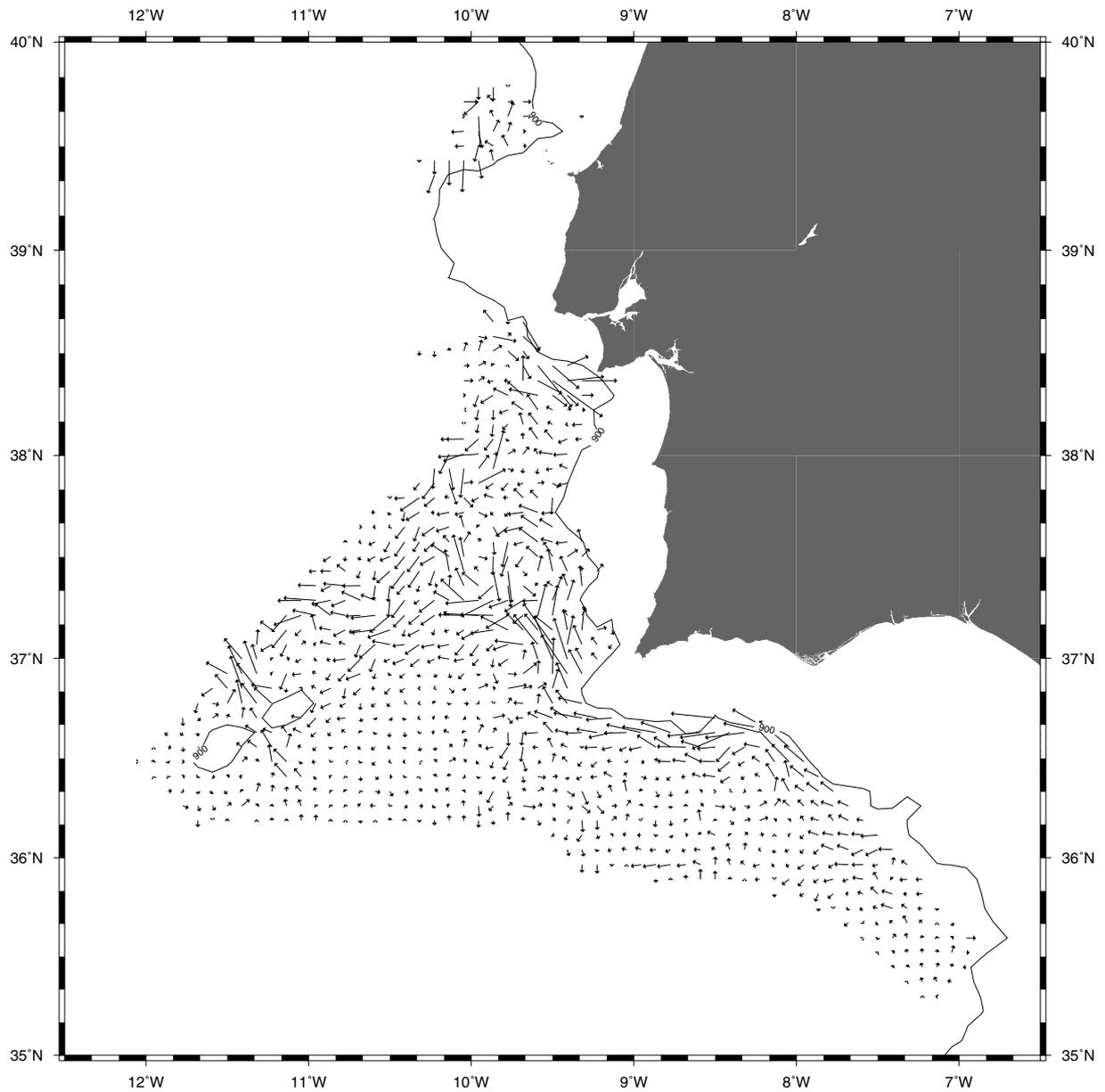


Fig. 7 : Horizontal maps of geostrophic velocity from the Semane hydrological data ; (b) at 1200 m. 1 cm-long arrow = 25 cm/s.
 Fig. 7 : Cartes horizontales de vitesse géostrophique calculée à partir des données hydrologiques de Semane ;
 (b) à 1200 m. Une flèche de 1 cm représente un courant de 25 cm/s.

Geostrophic current (cm/s) - Depth 1200 m

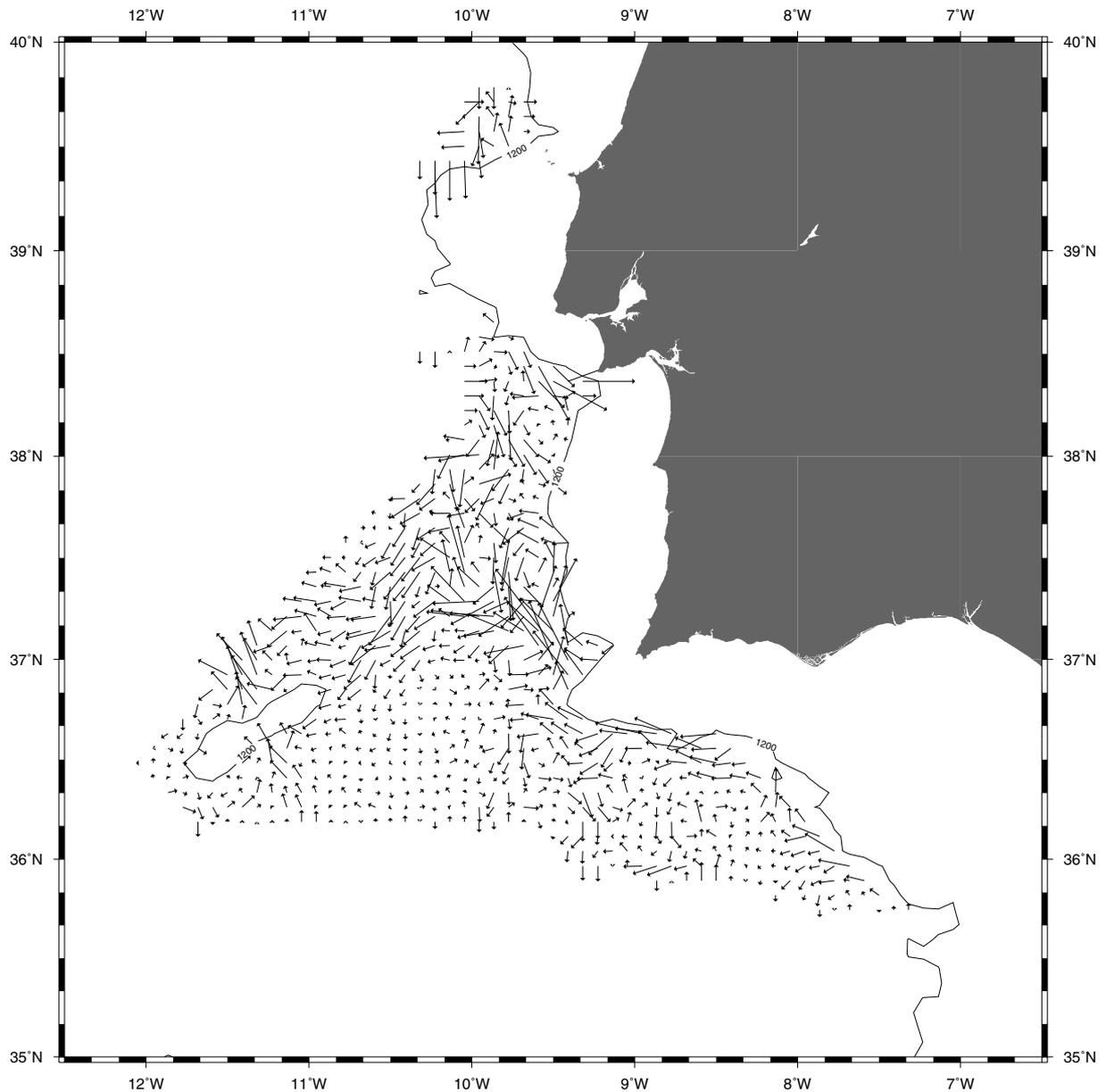


Fig. 7 : Horizontal maps of geostrophic velocity from the Semane hydrological data ; (b) at 1200 m. 1 cm-long arrow = 25 cm/s.
 Fig. 7 : Cartes horizontales de vitesse géostrophique calculée à partir des données hydrologiques de Semane ;
 (b) à 1200 m. Une flèche de 1 cm représente un courant de 25 cm/s.

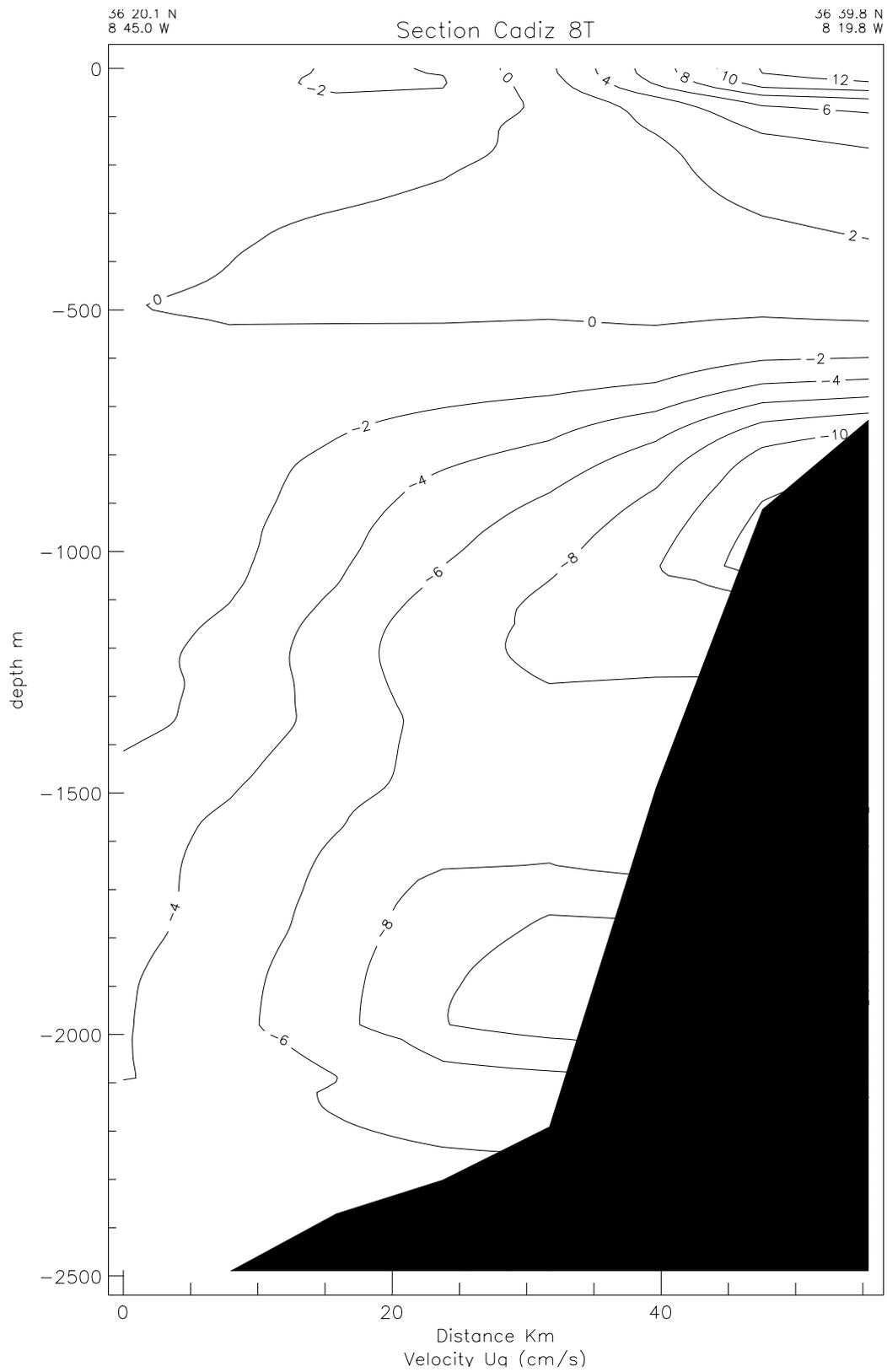


Fig. 8 : Comparison of geostrophic and LAD velocities along section Cadiz-8T : (a) u and v geostrophic components.

Fig. 8 : Comparaison des vitesses géostrophiques et LAD le long de la section Cadix-8T :

(a) composantes u et v géostrophiques .

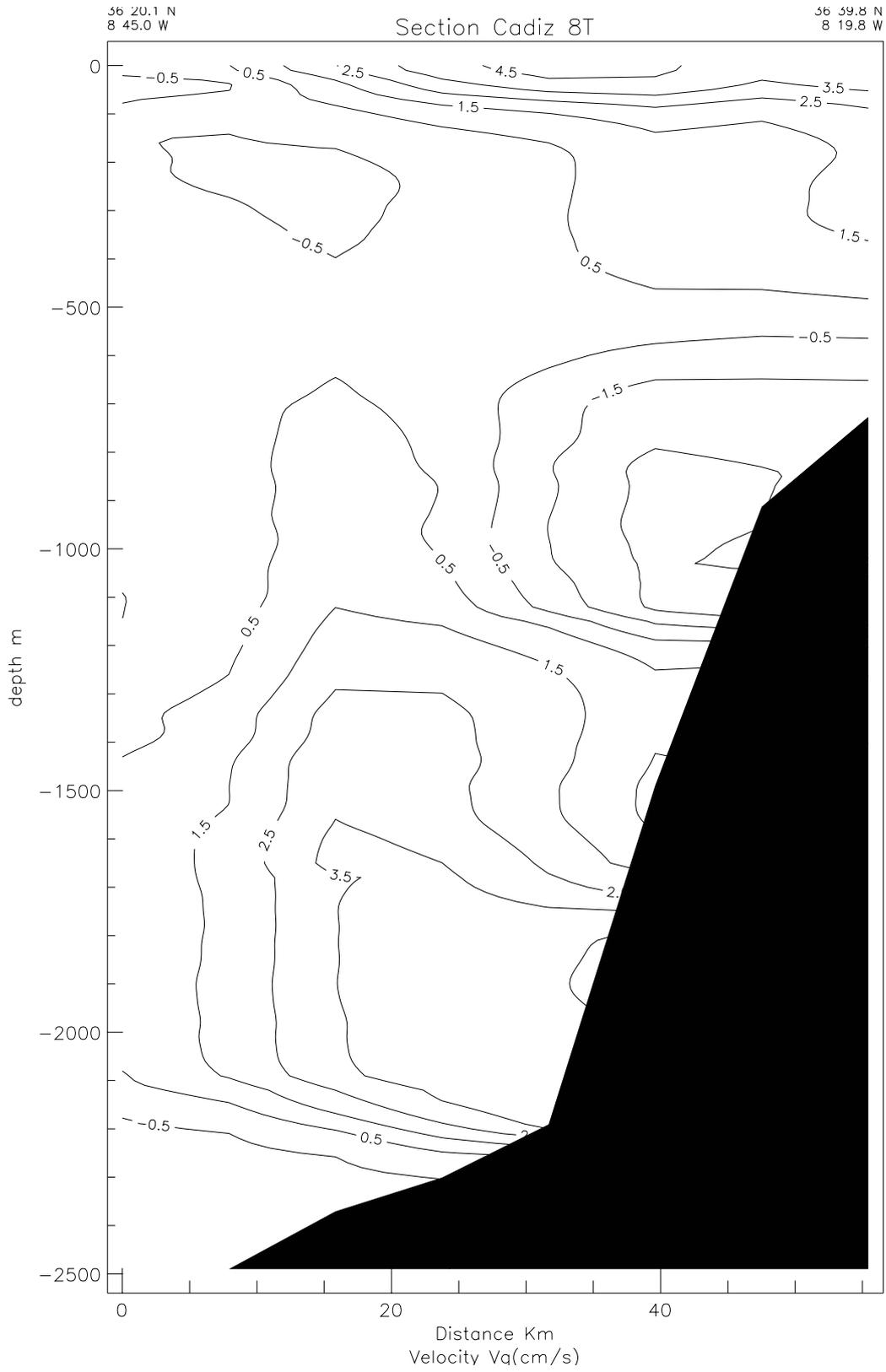


Fig. 8 : Comparison of geostrophic and LAD velocities along section Cadiz-8T : (a) u and v geostrophic components.
 Fig. 8 : Comparaison des vitesses géostrophiques et LAD le long de la section Cadix-8T :
 (a) composantes u et v géostrophiques .

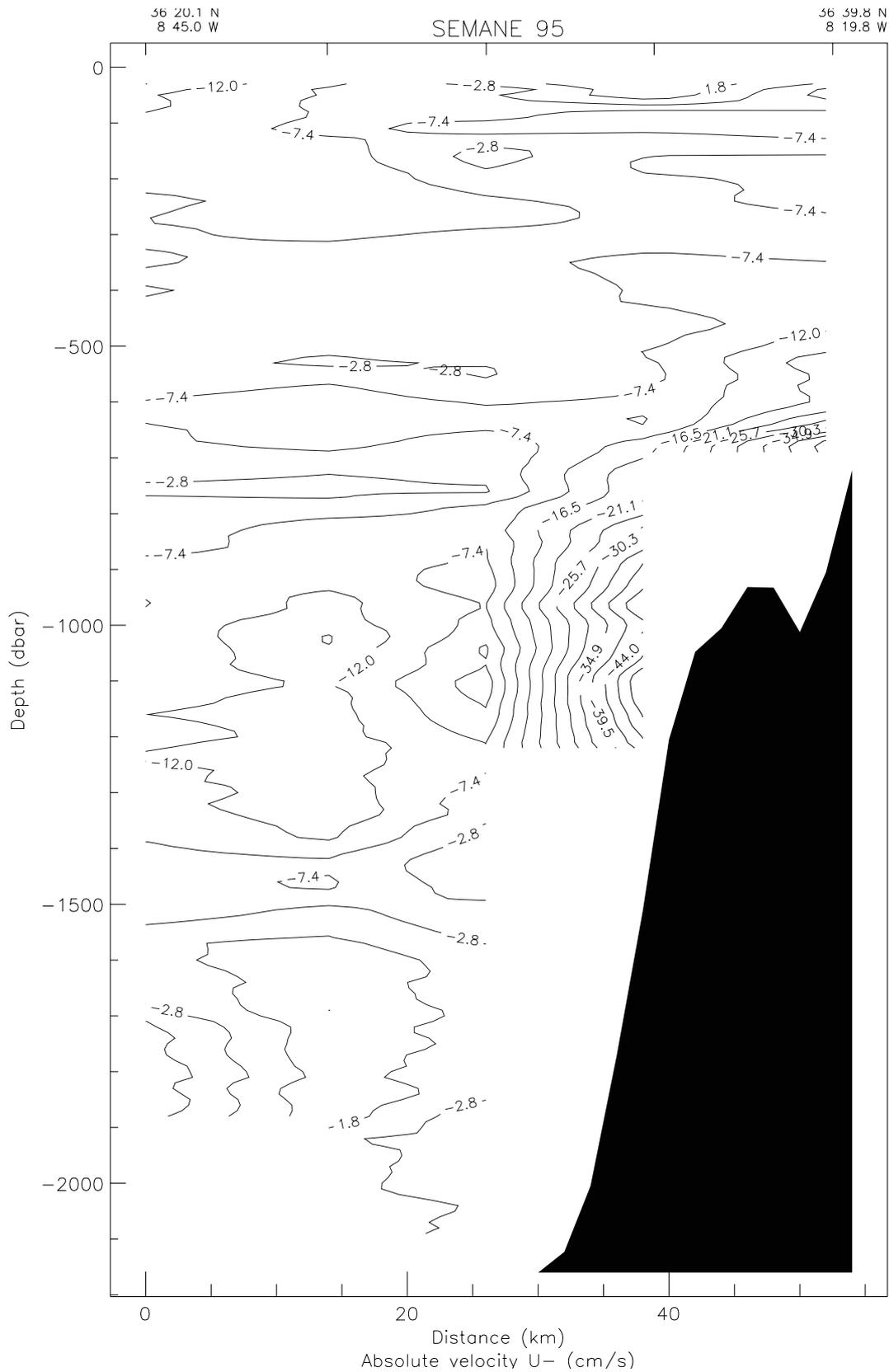


Fig. 8 : Comparison of geostrophic and LAD velocities along section Cadiz-8T : (b) u and v LAD measurements.
 Fig. 8 : Comparaison des vitesses géostrophiques et LAD le long de la section Cadix-8T : (b) mesures LAD u et v.

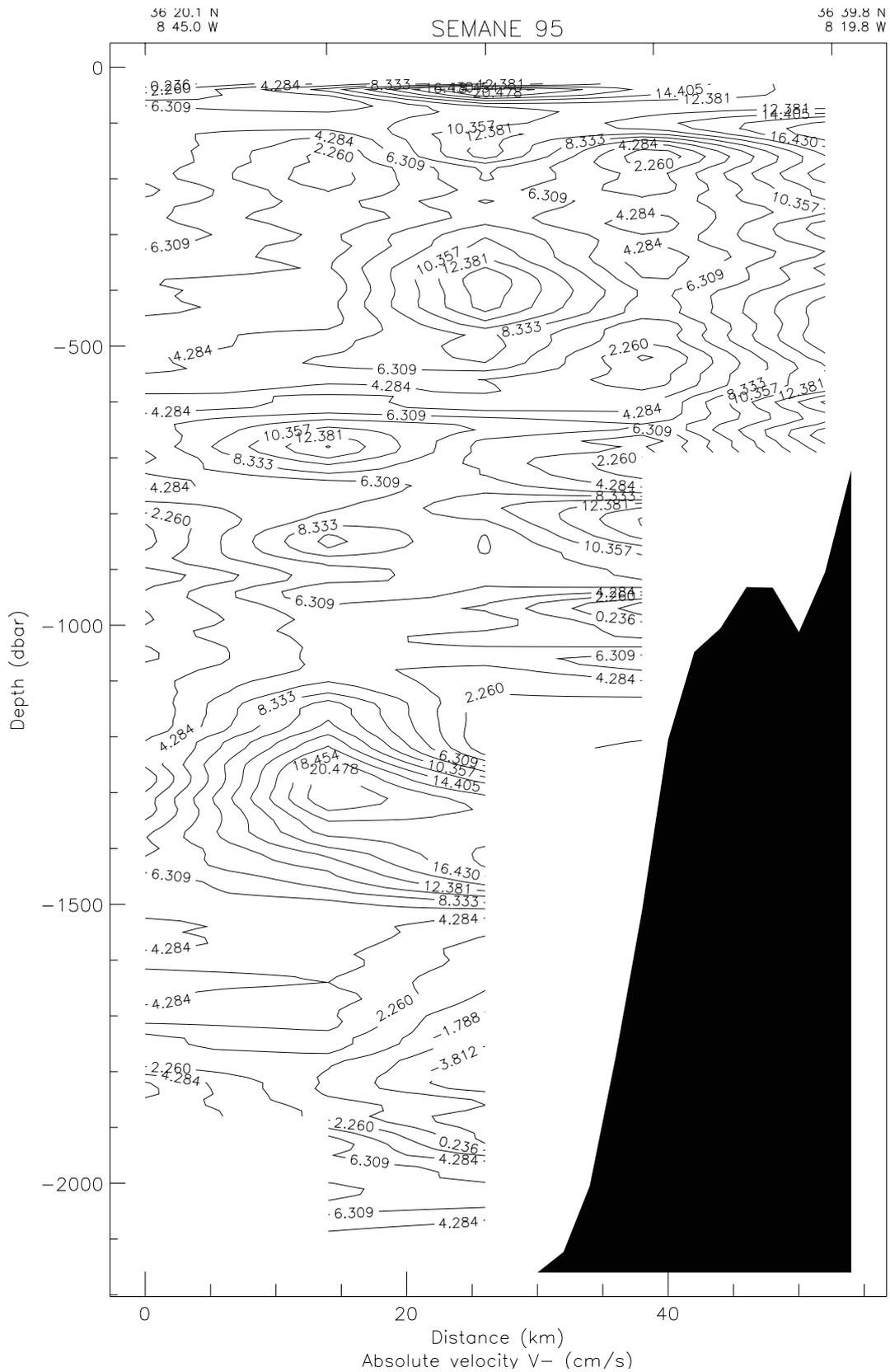


Fig. 8 : Comparison of geostrophic and LAD velocities along section Cadiz-8T : (b) u and v LAD measurements.
 Fig. 8 : Comparaison des vitesses géostrophiques et LAD le long de la section Cadix-8T : (b) mesures LAD u et v.

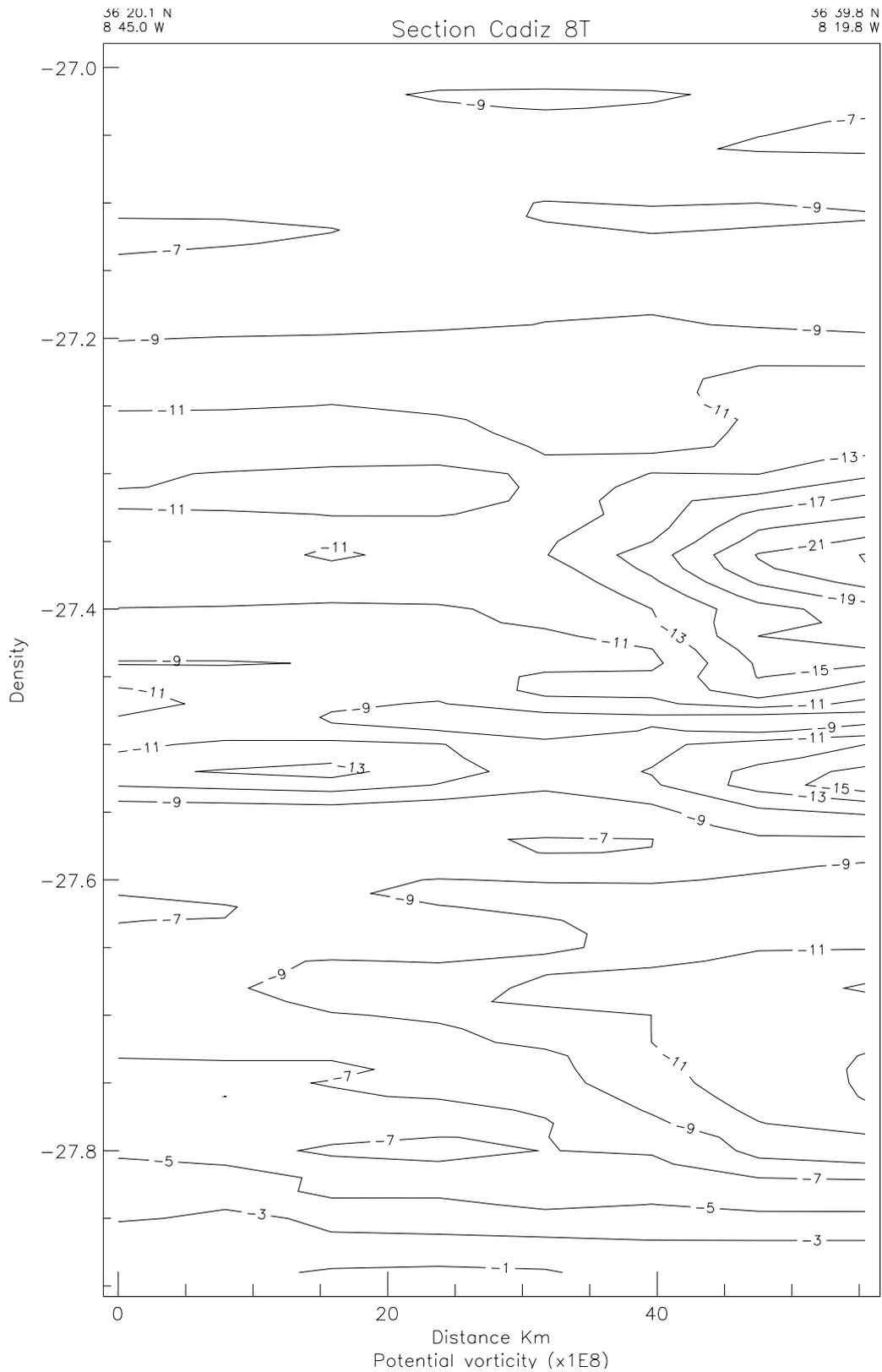


Fig.9 : Section of potential vorticity in the Portimao canyon, computed from hydrology (CTD stations) and LAD velocity measurements.

Fig.9 : Section de vorticité potentielle dans le canyon de Portimao, calculée à partir de l'hydrologie (stations CTD) et des mesures de vitesse LAD.

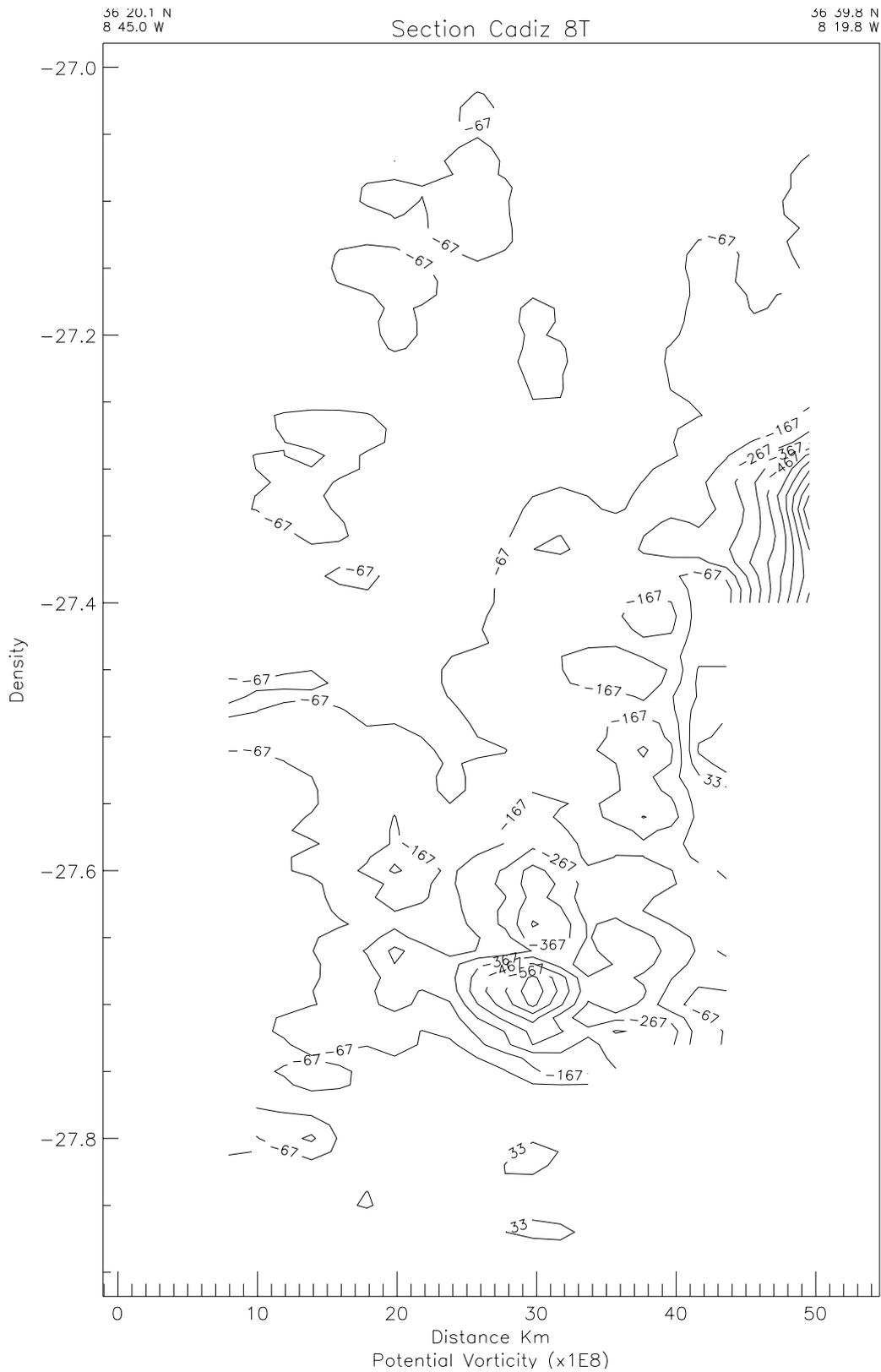


Fig.9 : Section of potential vorticity in the Portimao canyon, computed from hydrology (CTD stations) and LAD velocity measurements.

Fig.9 : Section de vorticité potentielle dans le canyon de Portimao, calculée à partir de l'hydrologie (stations CTD) et des mesures de vitesse LAD.

- Buoy 17578 (700m)**
- Buoy 23441 (1000m)**
- Buoy 23442 (1150m)**
- Buoy 23444 (800m)**
- Buoy 23445 (1200m)**
- Buoy 23446 (1100m)**
- Buoy 23447 (800m)**
- Buoy 23448 (1300m)**
- Buoy 23450 (1000m)**
- Buoy 23451 (750m)**

Surdrift buoys

SEMANE 95

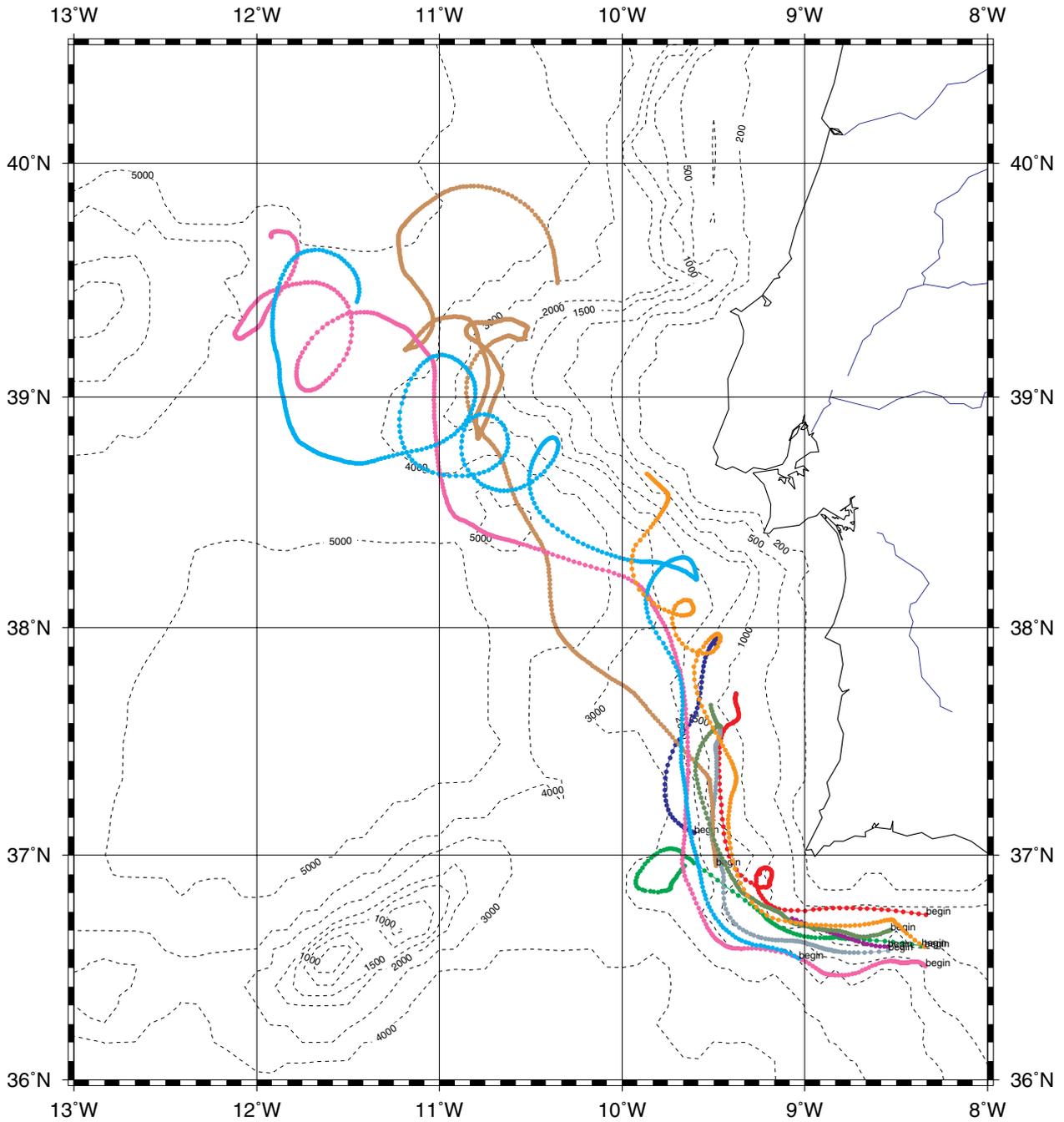


Fig.10 : Trajectories of Semane and Interafos drogued buoys and Rafos floats; (a) Surdrift buoys.
 Fig.10 : Trajectoires des bouées et des flotteurs d'Interafos et Semane ; (a) bouées Surdrift.

INTERAFOS
Rafos 500 m

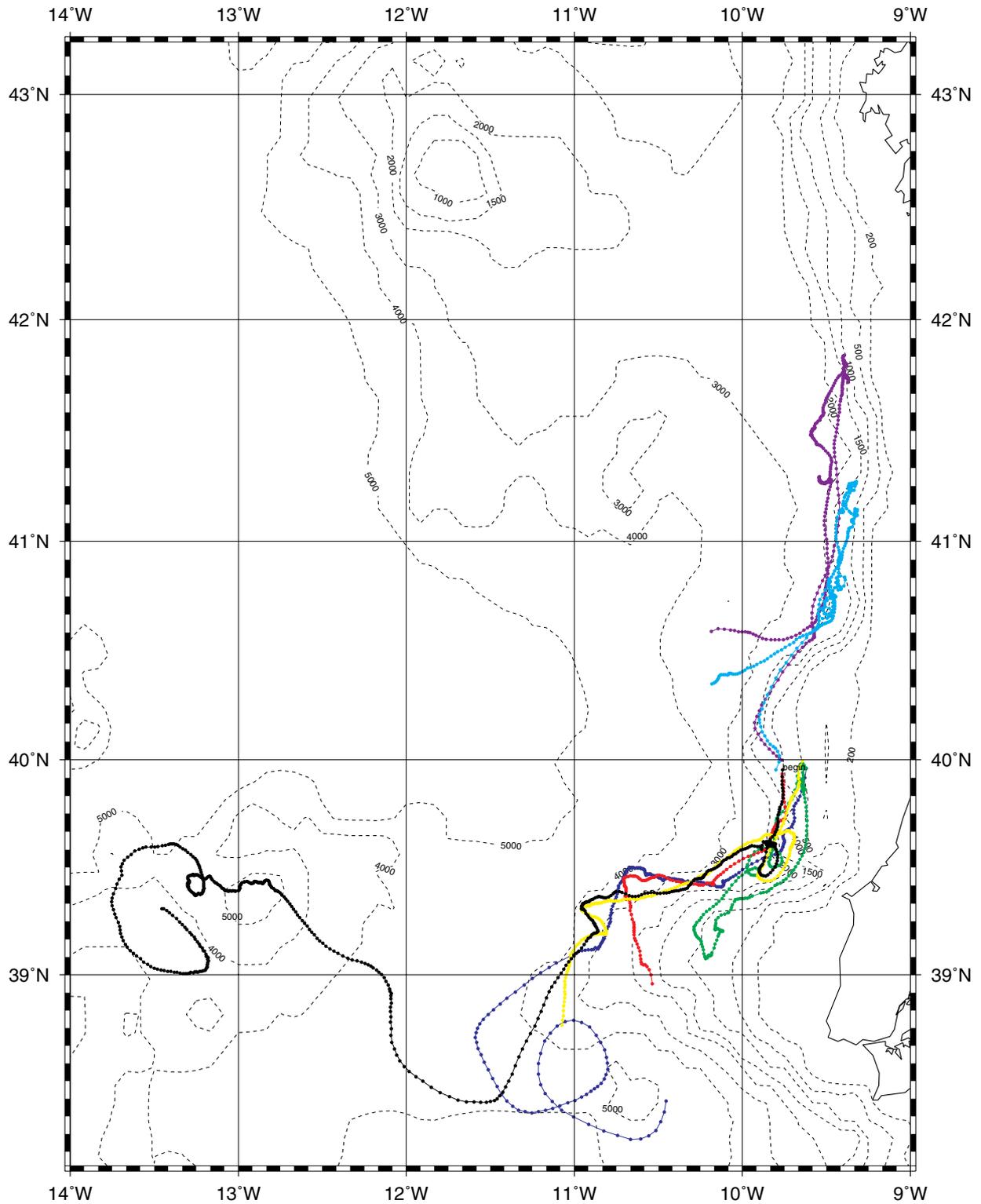


Fig.10 : Trajectories of Semane and Interafos drogued buoys and Rafos floats; (b) Rafos floats at 500 m.
Fig.10 : Trajectoires des bouées et des flotteurs d'Interafos et Semane ; b) flotteurs Rafos à 500 m.

INTERAFOS
Rafos 1000 m

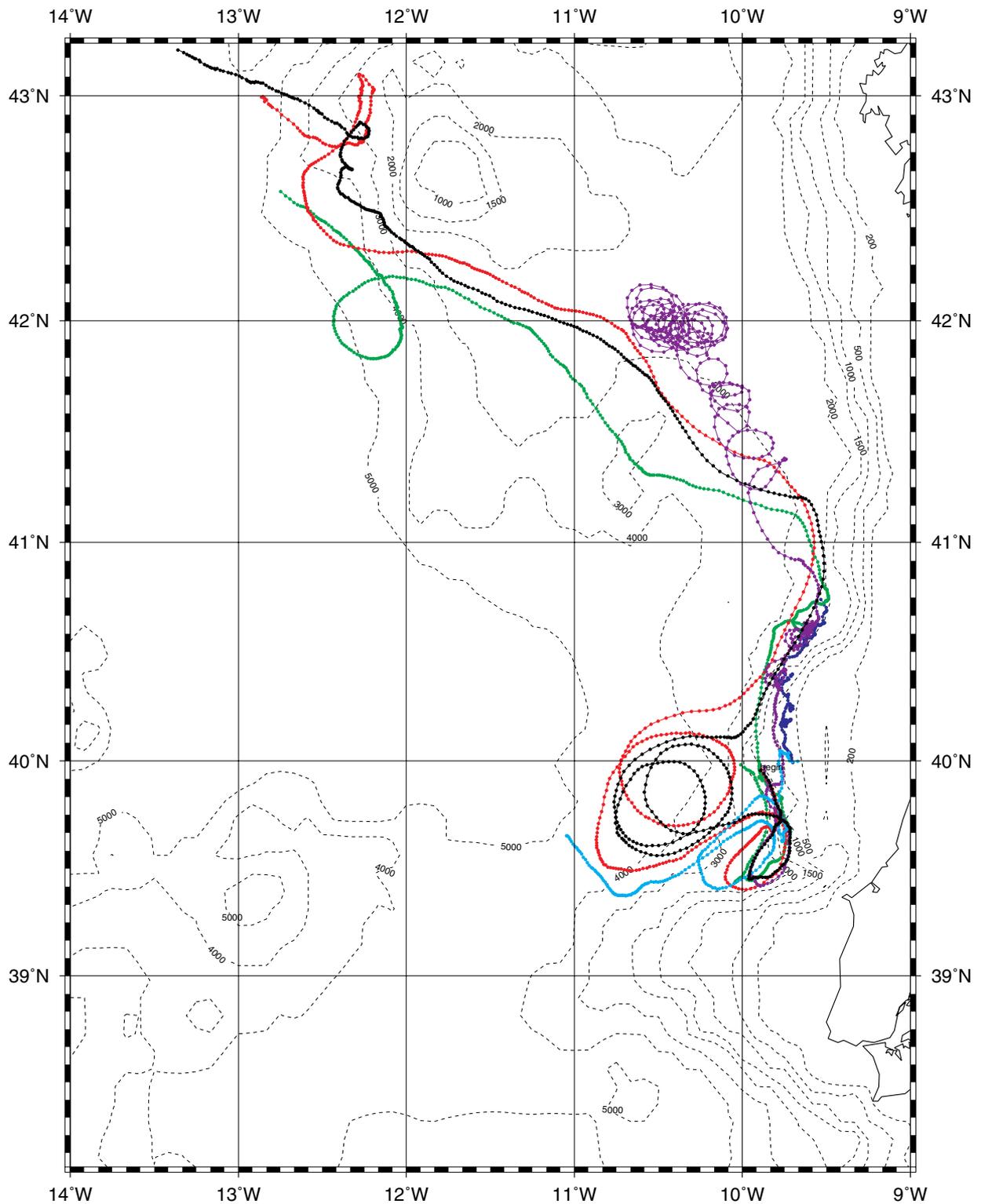


Fig.10 : Trajectories of Semane and Interafos drogued buoys and Rafos floats; (c) Rafos floats at 1000 m.
 Fig.10 : Trajectoires des bouées et des flotteurs d'Interafos et Semane ; (c) flotteurs Rafos à 1000 m.

INTERAFOS
Rafos 1500 m

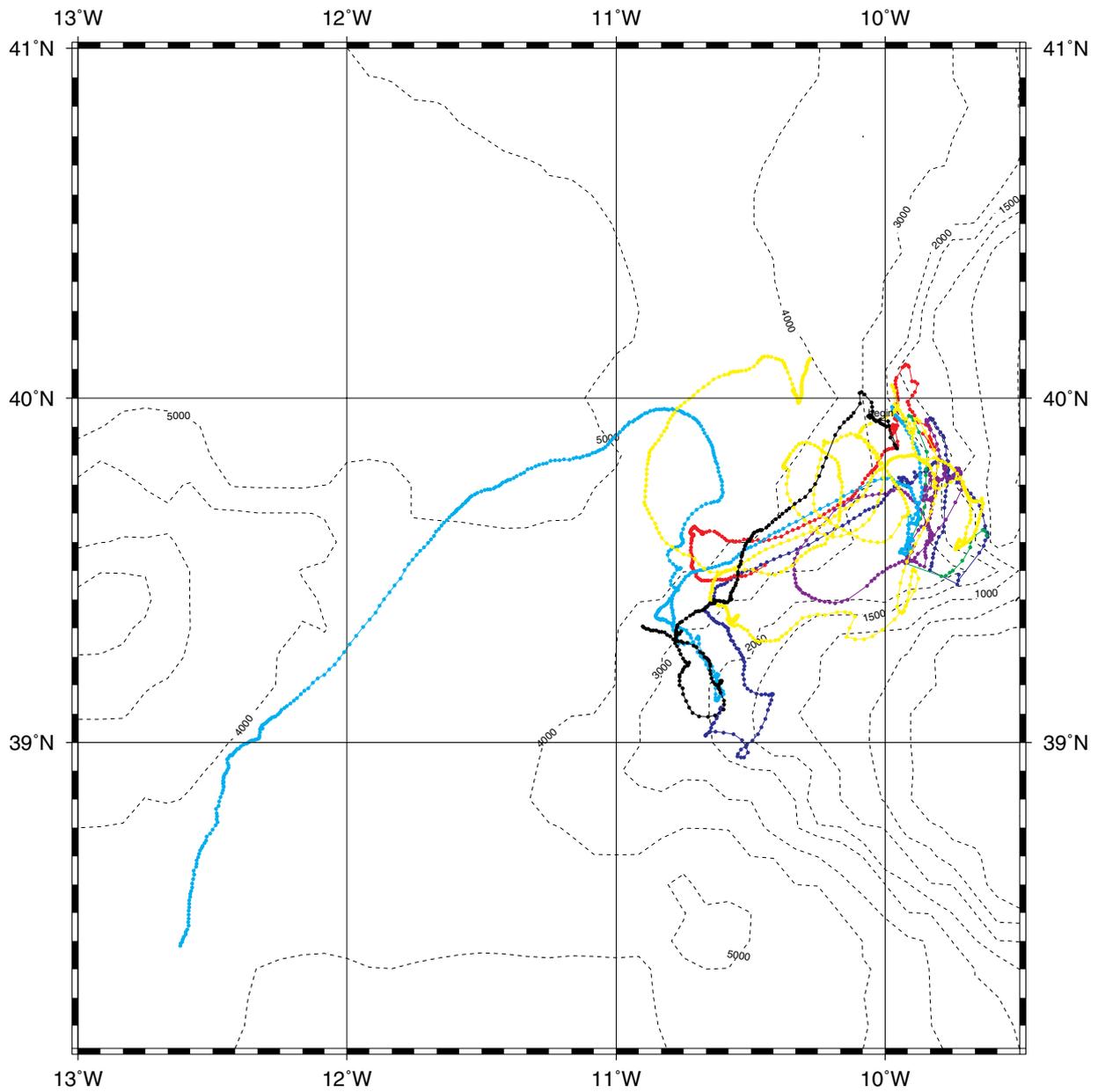


Fig.10 : Trajectories of Semane and Interafos drogued buoys and Rafos floats; (d) Rafos floats at 1500 m.
 Fig.10 : Trajectoires des bouées et des flotteurs d'Interafos et Semane ; (d) flotteurs Rafos à 1500 m.

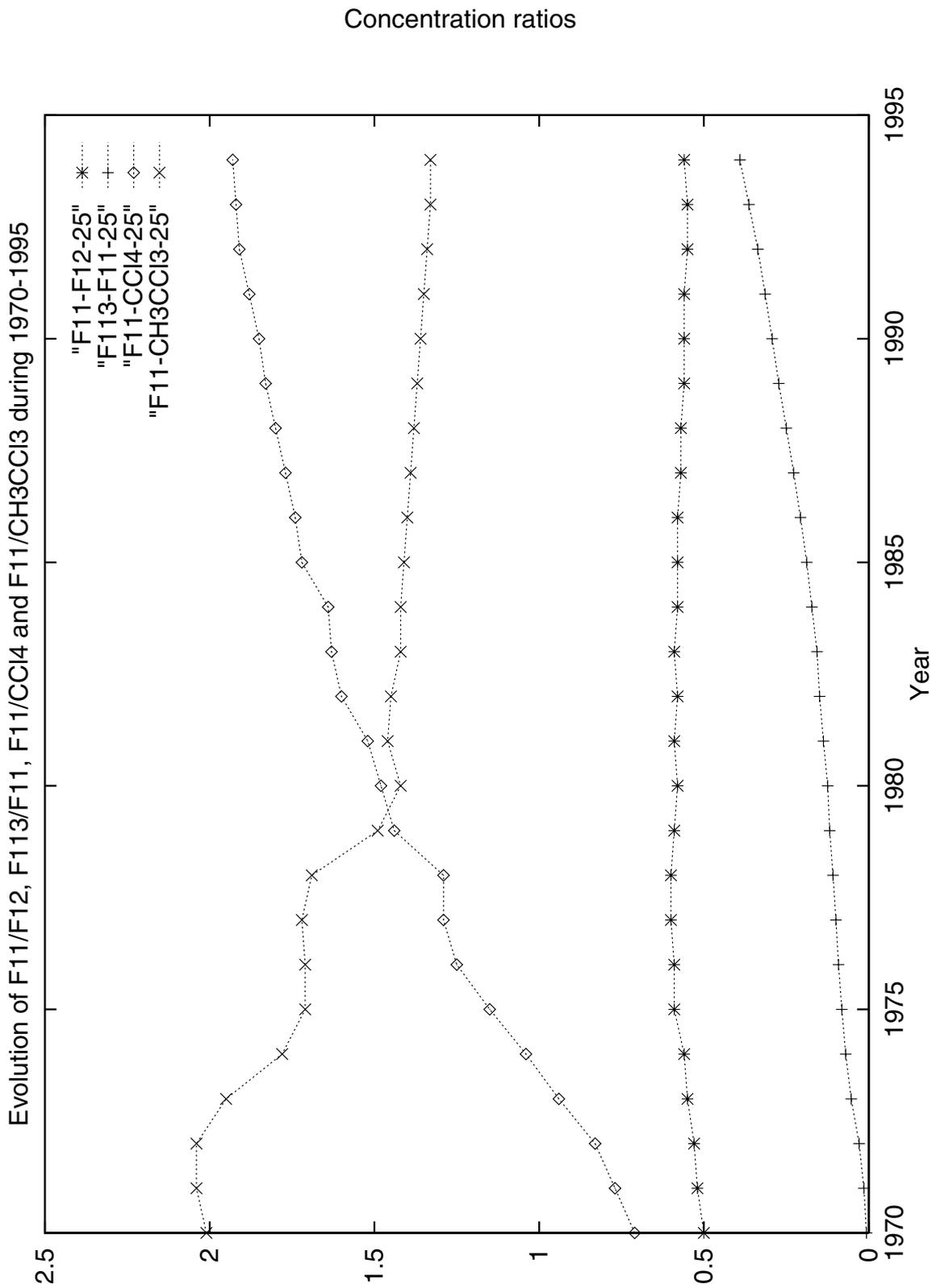


Fig.11 : (a) evolution of various ratios of halocarbon compounds during the past 25 years.

Fig.11 : (a) Evolution de différents rapports de concentrations de composés halocarbonés pendant les 25 dernières années.

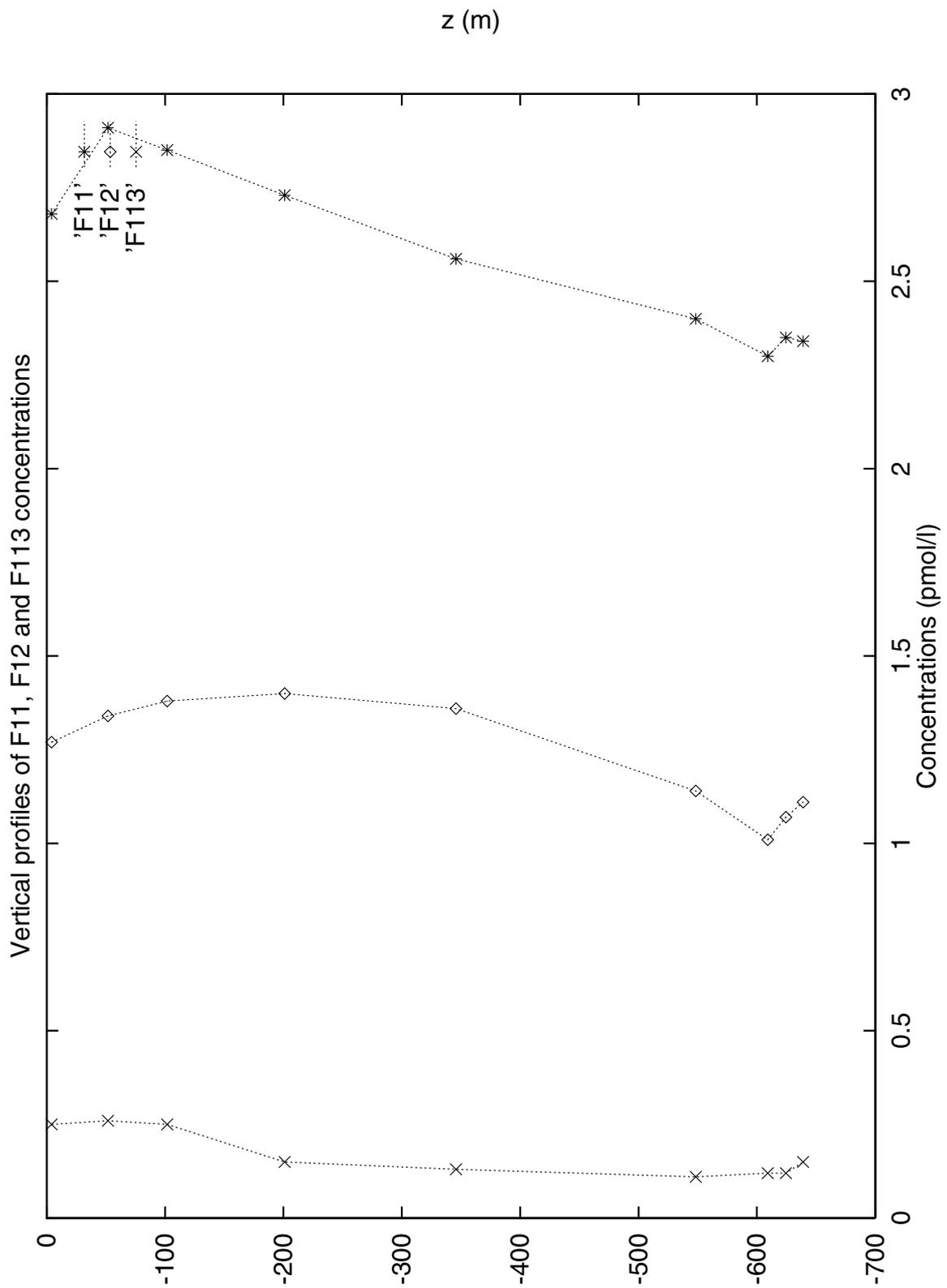


Fig.11 : (b) vertical profiles of F11, F12 and F113 concentrations (in pmol/l).
 Fig.11 : (b) profils verticaux de concentrations de F11, F12 et de F113 (en pmol/l).

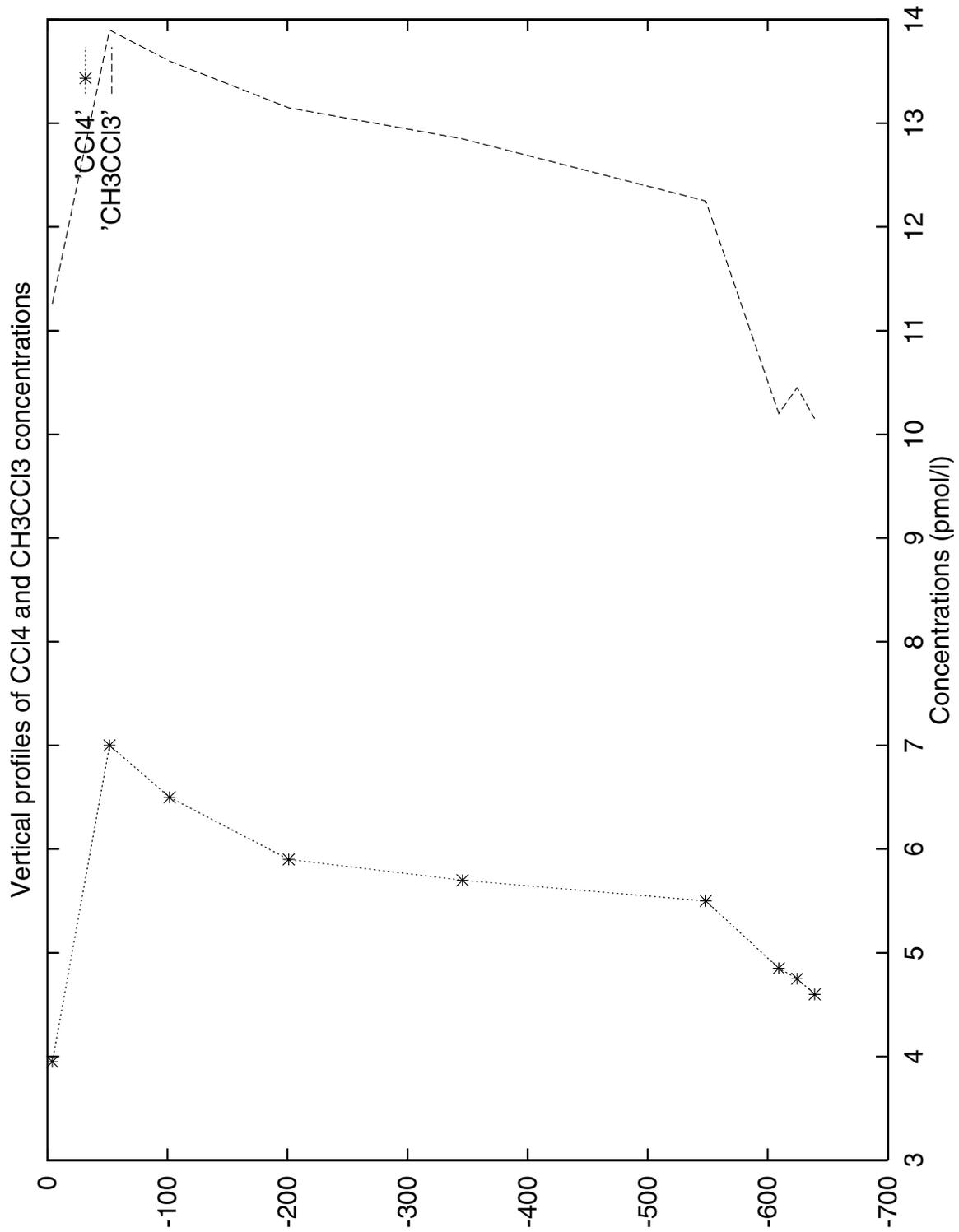


Fig.11 : (c) vertical profiles of CH_3CCl_3 and CCl_4 concentrations (in pmol/l).
 Fig.11 : (c) profils verticaux de concentration de CH_3CCl_3 et de CCl_4 (en pmol/l).

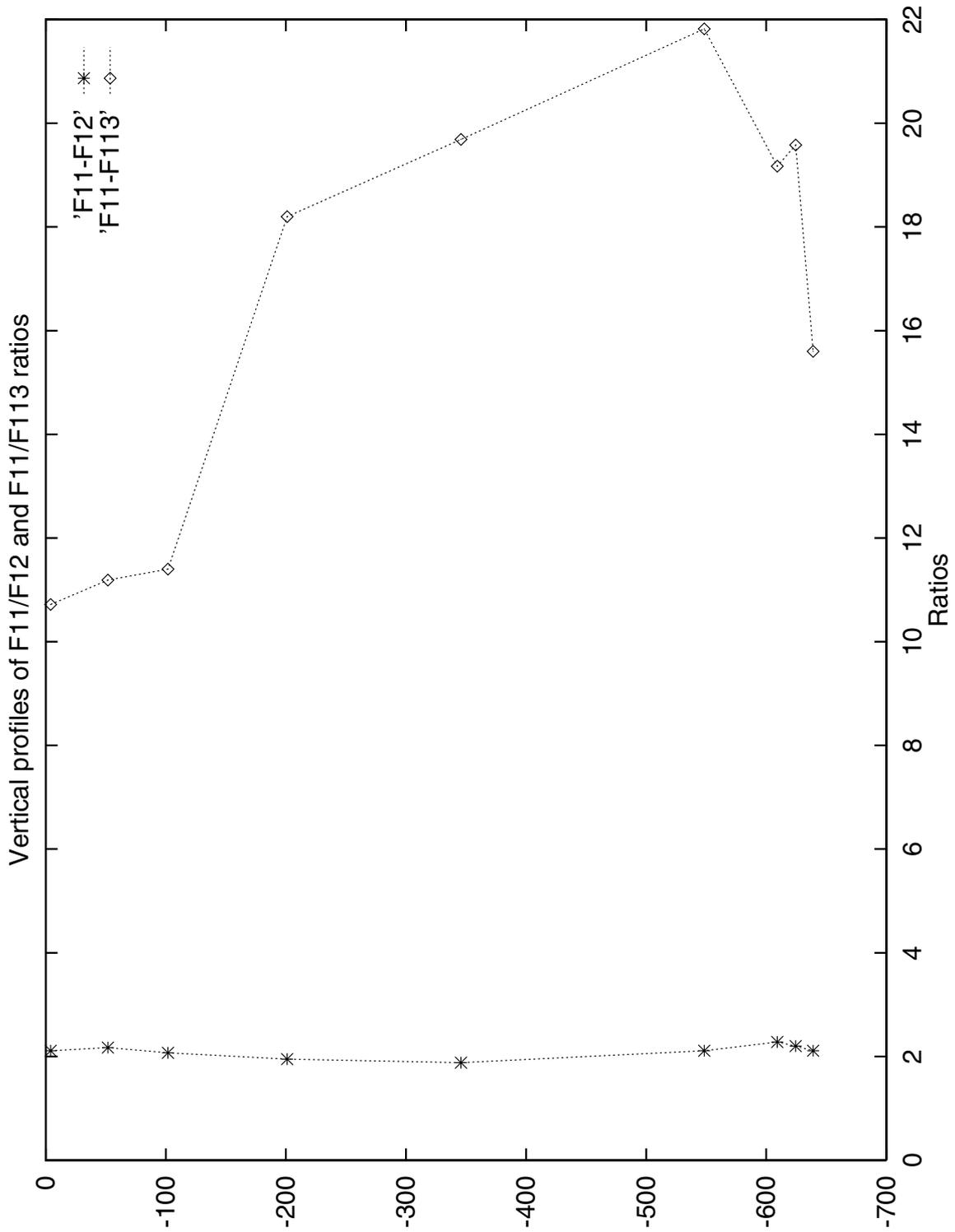


Fig.11 : (d) vertical profiles of F_{11}/F_{113} and of F_{12}/F_{113} .
 Fig.11 : d) profils verticaux de F_{11}/F_{113} et de F_{12}/F_{113} .

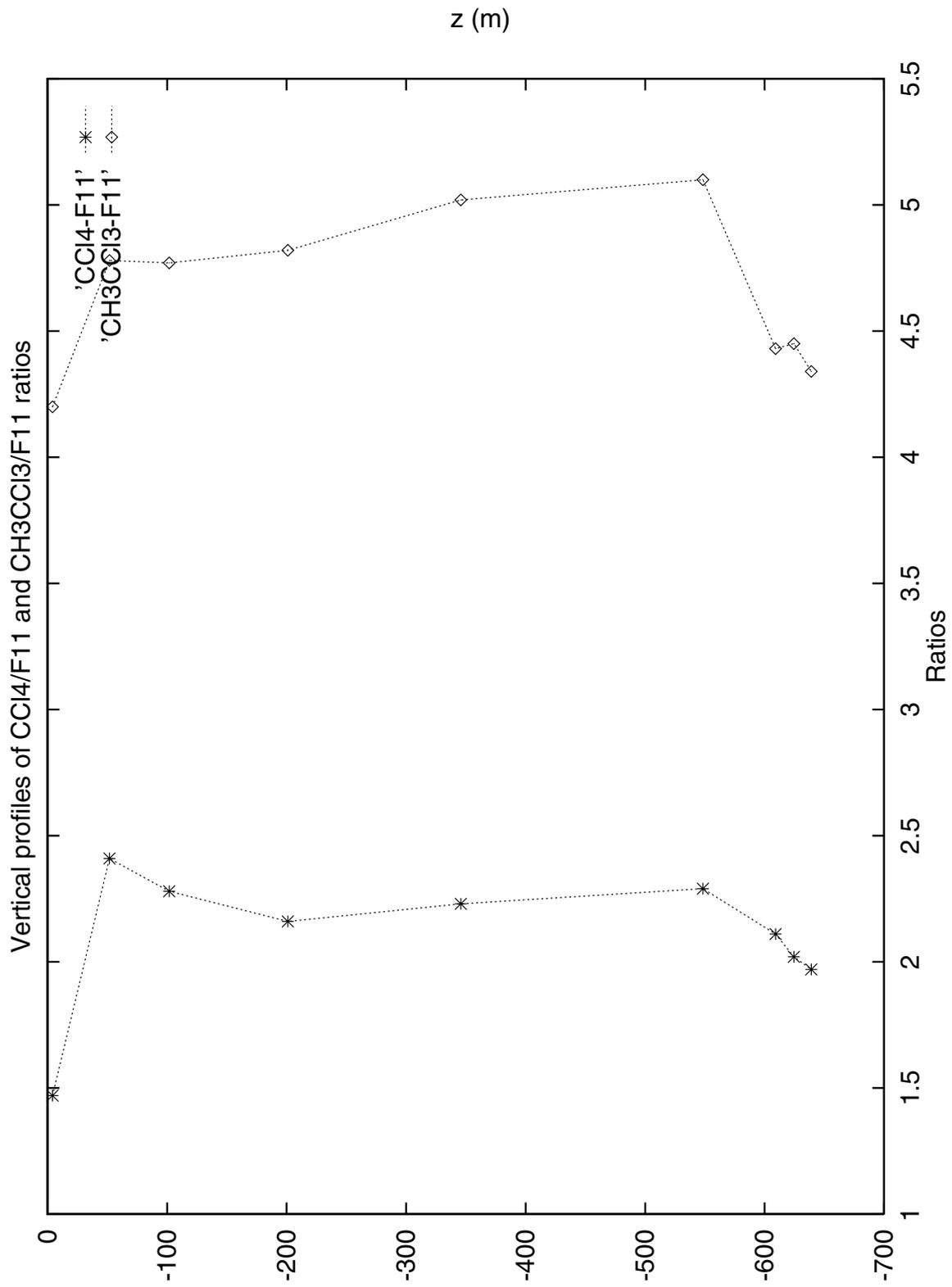


Fig.11 : (e) vertical profiles of $\text{CCl}_4/\text{F11}$ and of $\text{CH}_3\text{CCl}_3/\text{F11}$.
 Fig.11 : (e) profils verticaux de $\text{CCl}_4/\text{F11}$ et de $\text{CH}_3\text{CCl}_3/\text{F11}$.

Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus Ibérique de Gibraltar au Cap Finisterre : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos

**L. Chérubin¹, A. Serpette¹, X. Carton¹, J. Paillet¹, O. Connan², P. Morin²,
R.Rousselet¹, B. Le Cann³, P. Le Corre², T. Labasque¹, D. Corman¹, N. Poete¹**

*(1) SHOM/CMO, (2) LOC/UBO, (3) LPO/UBO
Brest, France*

Résumé

Nous présentons ici une situation synoptique de l'hydrologie et de la dynamique océanique moyenne-échelle dans la région Cadix-ouest Portugal (COP) pendant l'été et l'automne 1995. Cette analyse composite est basée sur les données collectées pendant les campagnes Semane et Interafos. Nous nous focalisons sur l'évolution de l'écoulement d'eau méditerranéenne (EM) sur la pente continentale ibérique, de son dévers au détroit de Gibraltar à son entrée dans le golfe de Gascogne, après avoir contourné les caps Saint-Vincent et Finisterre. Les cartes horizontales et les sections verticales de température et de salinité indiquent clairement le rôle du mélange, des contraintes topographiques et des instabilités dans la progression de ce sous-courant. Après s'être ajusté en densité et géostrophiquement à la sortie du détroit, ce sous-courant se divise en deux veines qui suivent des chemins différents. Ces chemins se rapprochent au voisinage du canyon de Portimao (8° 35' W, 36° 45' N), où les deux veines exercent l'une sur l'autre une influence dynamique notable. Le canyon induit en aval un élargissement de la veine inférieure qui résulte en détachement de filaments. Ces fragments d'EM peuvent ensuite fusionner avec le renflement des veines au passage du cap Saint Vincent et y former des tourbillons anticycloniques lenticulaires (meddies). Une instabilité similaire se produit au nord et au sud du plateau du Tage, où des meddies se détachent des veines d'EM. Au sud du plateau du Tage, une diffusion considérable d'EM se produit vers l'ouest, principalement entretenue par les flux tourbillonnaires. Au nord du plateau du Tage, les veines semblent former un double gyre cyclonique/anticyclonique. Au nord de 41°N, deux branches d'EM sont observées, l'une progressant vers le nord-ouest en direction du banc de Galice, l'autre vers le nord le long du talus ibérique. Ce régime global de circulation et le détachement de meddies des veines sont confirmés par les trajectoires lagrangiennes de flotteurs Rafos et de bouées Surdrifts droguées à la profondeur de l'EM. Enfin, les dosages de composés halocarbonés volatils pendant Semane indiquent que le sous-courant de sortie d'EM à Gibraltar provient d'une source antérieure de 10 à 13 ans, dans le bassin Liguro-Provençal, et s'est advecté entre temps à une vitesse moyenne de 0,3 cm/s.

Soumis aux Annales Hydrographiques, décembre 1996

I. Introduction

La région Cadix-ouest Portugal (ci-après COP), que nous avons étudiée pendant les campagnes Semane et Interafos, est limitée à l'ouest par le méridien 15° W, et au nord et au sud par les parallèles 35° N et 45° N. La bathymétrie dans cette région est constituée d'une pente continentale (plutôt) douce dans le golfe de Cadix, mais beaucoup plus abrupte le long des côtes européennes et africaines. Le plateau continental y est assez étroit (au plus 40 km de large) et est indenté par de nombreux canyons transverses.

D'un point de vue océanographique, la région présente deux caractéristiques essentielles :

a) elle est la frontière est de la région intergyre. Quoique la circulation générale océanique dans cette région ait été traditionnellement considérée comme faible et fluctuante, on a montré récemment que les échanges latéraux entre l'intérieur de l'océan et COP sont non nuls (Arhan et al., 1994 ; Mazé, 1995 ; Paillet, 1996). Ils sont même tout-à-fait nécessaires à la fermeture des budgets de vorticité et de traceurs, et des courants méridiens et verticaux significatifs résultent du système de courants convergents/divergents dans COP.

b) L'eau Méditerranéenne (ci-après EM) entre dans cette région par le détroit de Gibraltar, subit un ajustement hydrostatique et géostrophique dans le fond du golfe de Cadix et se mélange progressivement avec l'eau environnante. Une fois stabilisée dans la thermocline permanente, elle s'écoule en sous-courants guidés par la topographie le long du talus ibérique, et diffuse vers l'ouest comme une langue d'eau nourrie par des tourbillons anticycloniques lenticulaires (meddies) qui se propagent vers le sud-ouest.

COP a été souvent explorée, principalement pour déterminer avec une précision toujours accrue les différents chemins de l'EM. De nombreuses campagnes ont été conduites dans cette région, parmi lesquelles celles de la « Calypso » et du « Discovery-II » pendant l'année géophysique internationale (1957-58), celles du « Jean Charcot » et du « Meteor » en 1967 (Madelain, 1970 ; Zenk, 1970, 1975). COP a été revisitée en 1976 par la « Challenger expedition » (Ambar and Howe, 1979), et en 1988 par la « Gulf of Cadiz expedition » à bord de l'« Oceanus » (Prater, 1992 ; O'Neil-Baringer, 1994). Très récemment, la « Mediterranean Undercurrent Seeding Experiment » a été réalisée pour suivre les meddies depuis leurs sites de génération près du canyon de Portimao et du cap Saint Vincent (Bower et al., 1995). Dans le contexte de la circulation générale de l'Atlantique nord-est et de ses conditions de bord-est, la radiale hydrologique « Bord-Est-2 » a été menée en 1988 le long du méridien 15° W (Arhan et al., 1994). La campagne « Bord-Est-3 » a complété la description des flux zonaux et méridiens le long de la péninsule ibérique, à l'est de 12° W (Danialt et al., 1994 ; Mazé et al., 1996).

En 1995, un programme complet de recherches, Arcane, a été entrepris par le SHOM et l'IFREMER pour l'étude des sous-courant d'EM en Atlantique et de l'interaction entre la dynamique de pente et la circulation générale dans l'intérieur de l'océan. Le programme à la mer a commencé en 1996 ; il a été précédé par 2 campagnes préparatoires, Interafos (en juin et octobre 1995) et Semane (en octobre 1995). Interafos a été conçue comme un test technologique de plusieurs flotteurs Rafos. Elle a principalement pris place entre 39° N et 45° N, et 8° W et 14° W. La mise à l'eau des flotteurs Rafos à diverses immersions a été accompagnée par des réseaux hydrologiques pour déterminer la position des veines d'EM. Semane a représenté le complément d'Interafos, en ce qu'elle s'est située dans la moitié sud de COP (35° N - 40° N ; 6° 30' W - 12° W), et qu'elle a reposé essentiellement sur des mesures hydrologiques des sous-courants d'EM. Quelques bouées Surdrift droguées à grande profondeur ont également été larguées.

Nous décrivons ici les principaux résultats de ces deux campagnes. Nous essayons de réaliser une analyse composite des jeux de données (dans la limite du réalisme) pour fournir une vision synthétique des chemins de l'EM et de ses instabilités, de sa sortie de Gibraltar à son entrée dans le golfe de Gascogne, après avoir franchi le cap Finistère. Après une brève revue des principaux processus gouvernant l'EM dans COP, nous décrivons le schéma expérimental, les jeux de données et leur traitement (Section 2). La section 3 est axée sur les mesures hydrologiques : profils verticaux de température et de salinité, diagrammes θ/S et régressions sont successivement présentés, et les sections hydrologiques sont analysées. Ils illustrent les caractéristiques essentielles de la progression de l'EM à travers COP. Dans la section 4, les vitesses géostrophiques sont comparées aux mesures LAD (Courantomètre Doppler autonome), et la distribution de vorticité potentielle de l'EM est présentée. Les trajectoires des Rafos et des Surdrifts sont comparées aux autres mesures de courants. La section 5 est consacrée aux dosages de traceurs transitoires, en particulier les composés halocarbonés volatils. Ils nous permettent de dater l'EM sortant de Gibraltar à partir de sa période de formation. Finalement, la section 6 synthétise et discute ces résultats par rapport à la littérature, et suggère de possibles améliorations de notre connaissance de cette région par de futures mesures.

2 Océanographie régionale, méthodologie expérimentale et traitement des données

2.1 Océanographie descriptive du talus ibérique

Les sous-courants et les lentilles d'eau méditerranéenne

La figure 1 synthétise les différents chemins de l'EM dans COP selon la littérature. L'eau méditerranéenne se déverse en Atlantique nord-est à partir du détroit de Gibraltar. Environ 1 Sv d'eau chaude et salée ($\theta = 13,4^{\circ}\text{C}$, $S = 38,4$ psu) s'écoule hors du détroit entre 200 et 400 m, vers 6° W, avec une densité ($\sigma\theta = 28,95$ kg/m³) supérieure à celle de l'eau centrale nord-Atlantique environnante (ECNA, $\sigma\theta \leq 27,95$ kg/m³). Les vitesses dans l'écoulement peuvent atteindre 1,8 m/s. L'orientation zonale du canal débouche brutalement sur des isobathes quasi-méridiennes vers $6^{\circ} 30'$ W. Là, sous l'influence de la force de Coriolis, l'EM tourne vers le nord, puis vers le nord-ouest; elle bifurque en plusieurs veines vers 7° W : Madelain (1970) en observe deux, dont la moins profonde est bien canalisée entre les isobathes 300 et 500 m, alors que la plus profonde plonge vers l'ouest dans des canyons. Zenk (1975) observe quatre veines (qui fusionnent en trois près de $8^{\circ} 30'$ W). Il justifie la présence de ces veines multiples par le mélange de l'EM avec l'ECNA environnante. Vers 8° W, Ambar et Howe (1979) confirment la présence de deux veines, dont la plus superficielle est plus chaude ($\theta = 13,5^{\circ}\text{C}$ à 700 m), et la plus profonde plus froide ($\theta = 12,5^{\circ}\text{C}$ à 1000 m) ; la salinité a alors décliné à 37,2 psu. Près de $8^{\circ} 30'$ W, les deux veines rétrécissent et se rapprochent, et l'interface inférieure s'approfondit à 1200 m, comme la pente du talus devient plus raide (Madelain, 1970 ; Zenk, 1975). Près du canyon de Portimao ($8^{\circ} 35'$ W, $36^{\circ} 45'$ N), ces veines peuvent devenir instables (Prater, 1992).

Les deux veines s'écoulent ensuite entre le cap Saint-Vincent (9° W, 37° N) et le banc de Gorringer : la veine supérieure, vers 800 m, tourne vers le nord près du cap (Ambar and Howe, 1979), alors que la veine inférieure, vers 1200 m, montre une tendance diffusive vers le nord-ouest (Daniault et al., 1994). Dans ces veines, la vitesse a alors décliné à 15-20 cm/s, la température à $12-13^{\circ}\text{C}$ et la salinité maximum à 36,5 psu (Ambar and Howe, 1979). La proportion d'EM pure dans les veines décroît de moitié du détroit de Gibraltar à environ $7^{\circ} 30'$ W pour la veine supérieure, et au voisinage du cap Saint-Vincent pour la veine inférieure. Selon Daniault et al. (1994), les veines s'écoulent vers le nord-ouest le long de la côte ouest-portugaise, avec une branche de recirculation vers le sud, en direction du banc de Gorringer. Au nord du plateau du Tage, les veines s'écoulent vers le nord le long du talus continental, et vers le nord-ouest en direction du banc de Galice. La salinité décroît de 36,5 psu au cap Saint-Vincent à 36,1 psu au cap Finisterre. Par suite d'instabilités et de l'influence de la bathymétrie, de

grandes lentilles anticycloniques d'EM (meddies) se détachent des veines côtières. Leurs sites de formation principaux semblent être le canyon de Portimao (Prater, 1992), le cap Saint-Vincent (Bower et al., 1995), et le sud du plateau du Tage (Zenk et al., 1992). Ces meddies sont de larges ($R = 30-50$ km) et épaisses ($H = 800-1000$ m) tourbillons intrathermoclines, en rotation rapide ($\zeta / f_0 \approx 0.3$). Ils vivent longtemps et dérivent vers le sud-ouest sous l'influence du gradient de vorticité planétaire ; ils contribuent donc sensiblement aux bilans de quantité de mouvement, de chaleur et de sel dans cette région.

Autres éléments dynamiques

On rappelle brièvement d'autres éléments qui ne seront pas détaillés par la suite. Selon la position de l'anticyclone (atmosphérique) des Açores, les vents peuvent souffler vers le sud le long de la côte portugaise et marocaine (principalement en été). Il s'ensuit des upwellings par dérive d'Ekman ; les masses d'eau froide et douce qui remontent sont riches en éléments nutritifs et donc favorables aux populations de poissons ; ils ont donc été étudiés en détail. Récemment, des courants vers le pôle dans l'eau centrale ont été observés s'accroissant en hiver (Neshyba et al., 1989) ; ils entrent dans le golfe de Gascogne, où ils peuvent devenir instables (sur le canyon du cap Ferret), et engendrer des tourbillons anticycloniques (appelés swoddies, Pingree & Le Cann, 1992).

Enfin, COP est aussi la frontière est de la circulation océanique de grande échelle. Veronis (1973) a suggéré que les transports zonaux venant de l'océan pourraient être équilibrés dans cette couche limite par une circulation méridienne. Pedlosky (1983) et Huang (1989) ont alors proposé que cet équilibre soit réalisé par une plongée des courants de surface, suivi d'un transport vers l'ouest dans les couches inférieures. Ce mécanisme a été appelé « ventilation de la thermocline dans la couche limite est ». A partir des données hydrologiques, Mazé et al. (1996) ont suggéré une combinaison de circulations méridienne et descendante.

2.2 Recueil des données de Semane et d'Interafos

Quatre bateaux ont pris part au recueil des données : le BSHM *Alcyon* et le BH2 *Lapérouse* pendant Interafos-I, le BH2 *Lapérouse* et le BSHM *Ailette* pendant Interafos-II et le BO *D'Entrecasteaux* pendant Semane. La figure 2a (resp. 2b) montre les positions des mesures hydrologiques pendant Interafos-I (resp. Interafos-II et Semane). Interafos-I a étudié le banc de Galice en détail, a réalisé quelques stations près du talus, et quelques grandes radiales hydrologiques en boîtes fermées. Interafos-II a effectué plusieurs sections à travers le talus, une étude spécifique du banc de Galice et quelques sections au sud de ce banc pour une recherche de meddy. Semane a été divisée en

2 phases, la première dans le golfe de Cadix, en partant du détroit de Gibraltar vers l'ouest, la seconde le long de la façade ouest-Portugal, en partant du canyon de Nazaré vers le sud. Les deux réseaux ont essentiellement été composés de sections perpendiculaires au talus. Cent tirs XBT et XCTD et 44 stations CTD ont été effectués pendant Interafos-I, 150 tirs XBT et XCTD et 20 stations CTD pendant Interafos-II, et 210 tirs de sondes perdables et 76 stations CTD pendant Semane. Quinze (resp. 17 et 20) stations CTD ont été accompagnées de prélèvements d'eau dans 9 bouteilles Niskin pour analyse chimique (traceurs et salinité), pendant Interafos-I (resp. Interafos-II et Semane).

Les figures 2c et 2d présentent les emplacements des mesures LAD (profileurs autonomes de courant par effet Doppler), et des lâchers de Surdrifts et de Rafos. Les mesures LAD ont été effectuées au point fixe, avec 17 sondages profonds en 24 heures pendant Interafos-I, et en 61 points, la plupart alignés sur quelques radiales hydrologiques spécifiques, pendant Semane. Ces radiales étaient le plus souvent situées à proximité de canyons, pour y mesurer la déflexion des veines d'EM. Vingt flotteurs Rafos ont été lâchés entre 9° 30' W et 10° W, à 40° N, pendant Interafos-I, dont neuf ont fait surface fin septembre 95, et onze mi-janvier 96. Cinq flotteurs étaient ballastés à environ 500 m, six à 1000 m et neuf à 1500 m. Pendant Semane, dix bouées dérivantes (Surdrifts), droguées entre 700 et 1300 m, ont été larguées dans l'EM pour une durée de 3 mois.

2.3 Traitement des données

Les profils hydrologiques ont été d'abord calibrés à partir des mesures in-situ (température de surface et analyses chimiques de la salinité). Puis un filtre médian et une vérification individuelle ont été appliqués pour éliminer les points aberrants sur chaque profil. Un lissage par binôme de Newton a été ensuite utilisé, et une réduction à un maximum de 900 points effectuée ; on a vérifié un critère d'erreur minimale sur la restitution des profils originaux par interpolation linéaire à partir des profils filtrés et réduits.

Les données LAD ont été traitées par la suite d'algorithmes conçue par E. Firing (voir aussi Fisher et Visbeck, 1993). La méthode consiste globalement à intégrer verticalement les cisaillements verticaux de vitesse horizontale avec une référence à la surface. Notre contribution aux algorithmes a été d'éliminer le biais entre les profils descendants et ascendants. Cependant il est apparu qu'une correction consistante sur toute la longueur de chaque profil était difficile à obtenir. Nous avons donc appliqué la correction au point le plus profond de chaque station. De plus, les mesures de vitesses verticales sont restées faibles, bruitées et sous la sensibilité de l'appareil.

Les trajectoires de flotteurs ont été filtrées à 3 jours (filtre passe-bas) et ré-échantillonnées à 4 heures. Pour

les bouées Surdrift, un test sur l'amplitude des accélérations a été réalisé pour déterminer la perte ou l'échouage de la drogue. Pour les Rafos, les séries temporelles de la pression et de la température ont été visualisées pour vérifier que les flotteurs étaient restés à leur immersion nominale.

3 Hydrologie du talus ibérique

3.1 Données de température, salinité et densité

La figure 3a présente les profils de température et de salinité pour les stations situées en des sites choisis (voir la Fig.2a,b pour leurs emplacements) : le détroit de Gibraltar (215), les deux veines d'EM au cap Saint-Vincent (325 et 327), le sud du plateau du Tage (SB29), le nord du plateau du Tage (SB04), à 41° 40' N entre les isobathes 2 000 et 3 000 m (008), au sud-ouest du banc de Galice à 42° 30' N (035) et au cap Finisterre (SB 10 et SB 05). Pour évaluer l'extension de l'EM dans COP, nous représentons également deux profils loin des veines, aux stations 225 au sud-ouest du détroit de Gibraltar, et 421 à l'ouest du banc de Gorringer, de même qu'en une située a priori dans un meddy (366) au sud-ouest du plateau du Tage. Dans COP, la signature de l'EM apparaît plus en salinité qu'en température, en laquelle elle ne fait pas apparaître de pic, mais une couche isotherme.

Le profil à la station 215 montre que l'EM a des caractéristiques $T = 13,4^{\circ}\text{C}$, $S = 37$ psu à la sortie de Gibraltar, et qu'elle s'écoule ensuite entre 570 et 730 m au-dessus de la topographie. En termes d'anomalie par rapport aux valeurs des eaux centrales nord-Atlantique, nous trouvons $\delta T = 2^{\circ}\text{C}$, $\delta S = 1,4$ psu. La comparaison avec les valeurs au fond à la station 214 montre que l'EM s'écoule essentiellement dans la partie nord de cette section (à 6° 45' W). Néanmoins, l'EM diffuse plutôt fortement, car une anomalie de salinité se trouve entre 630 et 850 m (max. $\delta S = 0,3$ psu) à la station 225 (35° 10' N - 7° W) sur la pente continentale marocaine. Nous ne détaillerons pas ici l'évolution de l'EM de sa sortie de Gibraltar au cap Saint-Vincent, car les sections hydrologiques les plus intéressantes seront décrites ci-après. L'analyse des stations 325 et 327 au cap Saint-Vincent montre une veine d'EM supérieure entre 550 et 750 m sur la pente continentale, avec $T = 13,2^{\circ}\text{C}$, $S = 36,7$ psu et une veine inférieure entre 900 et 1400 m, avec un pic de $T = 12,8^{\circ}\text{C}$, $S = 36,55$ psu à 1200 m.

Un élément intéressant est noté au voisinage du plateau du Tage (stations SB29, SB04 et 008 du sud au nord) : la décroissance en température et en salinité entre SB29 et SB04 est plus marquée qu'entre SB04 et 008. Ceci semble indiquer que les processus de transport entre ces points sont différents (veines ou tourbillons). A l'ouest du plateau du Tage (station 366),

nous observons une bulle d'EM avec un noyau inférieur plus marqué que le noyau supérieur (noyau inférieur: $T = 12,3^{\circ}\text{C}$, $S = 36,65$ psu). Au nord de 42° N, la station 035 montre un signal d'EM plus faible que SB10, ce qui indique un chemin préférentiel de l'EM le long de la pente continentale. Au voisinage du cap Finisterre (stations SB10 et SB05), nous notons à nouveau une forte chute dans le signal d'EM supérieur. Ceci pourrait être attribué à la formation de meddies. Les stations 415 et 421 sont situées sur les flancs est et ouest du banc de Gorringe respectivement. Elles montrent des anomalies de température et de salinité diluées, mais encore visibles entre 800 et 1500 m. Ce signal devrait donc plutôt être attribué aux flux réguliers d'EM par les tourbillons, qu'à la présence d'un meddy à ce moment.

La figure 3b présente un profil typique de fréquence de Brunt-Vaisala, $N^2 = -(g/\rho_0) \partial\rho/\partial z$ (à la station 327 au cap Saint-Vincent) ; ρ est la densité potentielle locale, ρ_0 sa moyenne verticale, et g est la gravité. Cette figure confirme que la stratification est plus forte au dessus de la veine supérieure (600-700 m) et en-dessous de la veine inférieure (1500 m), où les isopycnes sont comprimées, et minimum dans les veines entre 800 et 1300 m, où les isopycnes sont étirées. Notez aussi que la fréquence décroît d'est en ouest, suggérant ainsi de forts processus de mélange.

3.2 Diagrammes θ/S , masses d'eau et régressions

Sur les figures 4a-b, nous montrons les diagrammes (θ, S) pour les deux régions (golfe de Cadix et ouest-Portugal) ; θ est la température potentielle. En rouge foncé, les propriétés dans la couche de mélange montrent une dispersion considérable, due à la variabilité des flux atmosphériques. En vert foncé, l'eau centrale (entre 200 et 500 m) est mieux définie dans le golfe de Cadix que dans la région ouest-Portugal ; ceci peut être attribué à une extension latitudinale différente des deux régions, mais aussi aux upwellings et au réchauffement de la surface qui perturbent la relation sur la façade ouest-Portugal. Dans le golfe de Cadix, l'EM peut être repérée à partir de 500 m (en bleu clair), et la veine supérieure se trouve entre 600 et 800 m ; ces chiffres changent respectivement en 600 m et 700-900 m sur la façade ouest-Portugal. Dans le golfe de Cadix, la veine inférieure a son maximum de salinité entre 1000 et 1200 m, et l'EM profonde s'étend entre 1200 et 1500 m. Dans la région ouest-Portugal, un pic intermédiaire apparaît à 1100 m, qui sera attribué au mélange des deux veines dans le canyon de Saint-Vincent. Nous y notons aussi la signature de l'EM entre 1200 et 1500 m.

Pendant Semane, un grand nombre de sondes XBT ont été tirées. Comme la signature de l'EM est mieux identifiée en salinité qu'en température, nous souhaitons déduire la salinité des mesures de température, en utilisant des relations (θ, S). Sur la figure 4c, nous montrons le même diagramme (θ, S) que sur les figures

4a-b, mais seulement pour un sous-domaine proche du cap Saint-Vincent (comprenant les deux veines d'EM). Nous notons que les relations (θ, S) sont pratiquement linéaires à chaque immersion avec peu de dispersion (ces relations linéaires sont obtenues par moindres carrés). Nous utilisons ces relations pour déduire la salinité de la température d'abord sur plusieurs stations CTD (pour vérifier l'efficacité de la méthode en comparant salinités réelle et calculée). Le résultat est montré figure 4d pour la station 422. La salinité mesurée est représentée en violet et la valeur calculée en noir. La déviation est de moins de 0.15 psu, entre 450 et 950 m, ce qui est satisfaisant car les pics d'EM sont bien restitués. L'erreur est principalement concentrée dans les creux d'eau centrale (douce) où l'EM serait sous-représentée, et près de la surface où la variabilité échappe à l'analyse statistique. En utilisant une décomposition appropriée de la région de campagnes en sous-domaines homogènes (où les relations (θ, S) sont linéaires à chaque profondeur), nous utiliserons cette technique pour construire des cartes de salinité ci-après.

3.3 Analyse physique des sections hydrologiques

Figure 5, nous montrons les principales sections hydrologiques mentionnées figure 2b : Cadix-3 à $7^{\circ} 15' \text{ W}$ dans le fond du golfe, Cadix-7 à $8^{\circ} 32' \text{ W}$ sur la pente aval du canyon de Portimao, Cadix-8 à $8^{\circ} 45' \text{ W}$ après le canyon de Portimao, Cadix-12 près du cap Saint Vincent (une section NE-SW), Tage-1 et Tage-2 à $39^{\circ} 45' \text{ N}$ et $39^{\circ} 20' \text{ N}$, Interafos-I.4 à $41^{\circ} 20' \text{ N}$ ($9^{\circ} 15' \text{ W} - 10^{\circ} 15' \text{ W}$), Interafos-I.5 à $10^{\circ} 20' \text{ W}$ ($39^{\circ} 40' \text{ N} - 41^{\circ} 30' \text{ N}$), Interafos-I.9 entre $40^{\circ} \text{ N} - 10^{\circ} 15' \text{ W}$ et $41^{\circ} 30' \text{ N} - 13^{\circ} \text{ W}$ et Interafos-II.3 entre $43^{\circ} 30' \text{ N} - 8^{\circ} 45' \text{ W}$ et $44^{\circ} 15' \text{ N} - 9^{\circ} 45' \text{ W}$.

La radiale Cadix-3 (Fig.5a) montre clairement que l'EM s'écoule sur la pente continentale après le détroit, avec une salinité maximale $S = 36,8$ psu à 750 m ; elle a une largeur de 70 km et une épaisseur de 400 m, en prenant comme limite de la veine l'isohaline $S = 36$ psu ; elle est bordée au sud par un contre-courant froid de 20 km de large. La section Cadix-7 (Fig.5b) montre deux veines d'EM, la moins profonde avec un maximum de $T = 13,2^{\circ}\text{C}$, $S = 36,5$ psu à 800 m, la plus profonde avec $T = 12,2^{\circ}\text{C}$, $S = 36,6$ psu à 1300 m. Cette dernière s'étale latéralement sur environ 40 km, suggérant un méandre vers l'extérieur. La section Cadix-8 (Fig.5c) montre un fragment d'eau chaude et salée ($T = 11^{\circ}\text{C}$, $S = 36,3$ psu) se détachant de la veine inférieure. La section Cadix-12 (Fig.5d) montre l'élargissement de la veine inférieure (40 km) au passage du cap Saint-Vincent, avec deux maxima de température et de salinité ($S = 36,4-36,5$ psu, $T = 11 - 11,6^{\circ}\text{C}$), l'un le long de la côte, l'autre au large. La veine supérieure s'étale maintenant vers l'extérieur. Ce renflement est similaire aux simulations numériques d'un courant contournant un cap (Pichev et Nof, 1996).

Sur la figure 5e (section Tage-1), nous observons deux veines d'EM en sens inverse à 39° 45' N, l'une s'écoulant vers le nord le long de la pente, l'autre vers le sud vers 10° 15' W (à 50 km à l'ouest du plateau). Ces directions de courants sont déduites de la pente des isopycnes. La section Tage-2 (Fig.5f), légèrement au sud de Tage-1, confirme qu'un sous-courant coule vers le sud, entre 800 et 1300 m, le long de 10° 15' W. La section Interafos-I.4 (Fig.5g) montre un courant d'EM vers le nord le long de la côte avec $T > 11.5^{\circ}\text{C}$ à 800 m, et $S > 36.2$ psu à 1200 m, avec un filament chaud et salé au large (à 50 km du plateau). La section Interafos-I.5 (Fig.5h) confirme qu'une double veine d'EM (maximum supérieur de T, inférieur de S) s'écoule le long de 10° 15' W, de 40° N à 41° 30' N. La section Interafos-I.9 (Fig.5i) met nettement en évidence un meddy ; la sonde XBT ayant détecté un maximum de température de $12,5^{\circ}\text{C}$ à 750 m et un maximum secondaire à 1000 m. Ce meddy a globalement une extension verticale de 800 m et un rayon de 50 km. Il a dû se détacher des veines d'EM côtières au nord du plateau du Tage, car les meddies dérivent généralement vers le sud-ouest. Finalement, la section Interafos-II.3 caractérise les veines d'EM au cap Finistère : elles s'étendent verticalement entre 700 et 1200 m, et le maximum de salinité se trouve vers 1000 m, avec $S = 36,1$ psu et $T > 11^{\circ}\text{C}$ à 750 m.

Ces résultats sont synthétisés sur la figure 6, où une vue 3D de l'anomalie de salinité est superposée sur les contours de bathymétrie. Cette anomalie est définie par la valeur dans les veines d'EM moins la valeur environnante (au point le plus éloigné sur chaque section). La figure 6a coupe ce volume le long d'un plan vertical selon Cadix-4 (7° 30' W), et d'un plan horizontal à 1200 m. Trois veines d'EM sont observées le long de Cadix-4, séparées respectivement par un mont et un décrochage dans la topographie. Le long de Cadix-6 (Fig.6b), les veines supérieure et inférieure sont maintenant bien identifiées, la première sur la bathymétrie et la seconde le long du talus. Les deux figures 6a et 6b montrent qu'à 1200 m, la veine inférieure rétrécit dans le canyon de Portimao (plutôt sur le flanc amont du canyon) et dans le canyon du cap Saint-Vincent. Un long filament de salinité s'étend au voisinage du canyon de Portimao et s'enroule sur lui-même à son extrémité occidentale. La figure 6c montre le changement de direction des deux veines au cap Saint-Vincent; la veine supérieure tourne au nord avant la veine inférieure ; elle bifurque ensuite dans le canyon de Saint-Vincent où une partie plonge vers l'extérieur, alors que l'autre partie se dirige au nord. Au contraire, la veine inférieure tourne vers le nord près du canyon, avec un fort renflement, et progresse ensuite vers le nord-ouest. Cette branche nord-occidentale, au sud du plateau du Tage, était au moment de la campagne, connectée au nord à un meddy (observé à la station 366) et au sud à une branche recirculant vers le banc de Gorringe.

4 Courantométries eulérienne et lagrangienne

4.1 Vitesse géostrophique et niveau de référence

Les vitesses géostrophiques sont obtenues par intégration verticale de la relation du vent thermique, $\partial u/\partial z = (g/\rho f) \partial \rho/\partial y$, $\partial v/\partial z = -(g/\rho f) \partial \rho/\partial x$. Une référence de mouvement nul est choisie au niveau du minimum de salinité entre l'eau centrale et l'EM (vers 500 m, voir aussi Ambar and Howe, 1979).

La figure 7a présente la carte horizontale de vitesses géostrophiques à 700 m, pendant l'expérience Semane. Le courant d'EM est clairement concentré le long de la pente dans le golfe de Cadix. Des courants transverses aux isobathes et des accélérations le long des isobathes sont visibles au voisinage des canyons de Portimao et de Saint-Vincent. Dans la région ouest-Portugal, la circulation est plus complexe, avec un détachement des sous-courants de la pente continentale, des méandres et des branches de recirculation. Une branche vers l'ouest est remarquée à 37° 20' N entre 9° 30' W et 11° W. Cette branche tourne vers le sud vers les monts de Gorringe. Un courant vers le nord-ouest apparaît entre ces monts. Au sud du plateau du Tage, le courant porte au sud-est le long de la pente près des canyons de Lisbonne et de Setubal. Au nord du plateau du Tage, le courant porte au nord le long de la pente et au sud au large (à 39° 30' N, 10° W).

Les courants horizontaux à 1200 m sont montrés sur la figure 7b. Ils sont similaires à ceux à 700 m ; cependant, entre 37° 40' N et 38° 30' N, le courant est essentiellement vers le sud. Ceci semble impliquer qu'au nord de 37° 30' N, la veine inférieure d'EM remonte progressivement au-dessus de 1200 m, en s'écoulant près de la pente : un indice en faveur de cette hypothèse est l'orientation légèrement vers la côte des vecteurs vitesse à 37° 20' N - 9° 30' W.

4.2 Vitesse absolue et vorticité potentielle

La figure 8a montre une section verticale des vitesses géostrophiques (composantes u et v) le long de la section Cadix-8T. Cette section suit l'axe NE-SW du canyon de Portimao. Le niveau de référence est choisi à 550 m. Les vitesses zonales maximum sont de 12 cm/s à 800 et 1200 m. La composante méridienne est principalement au sud à 800 m et au nord à 1200 m ; ceci suggère une convergence de l'EM dans ce canyon. Cette convergence peut être associée aux accélérations horizontales observées sur les cartes de vitesses horizontales (Fig.7). La figure 8b montre la même section pour les vitesses mesurées par le LAD. Ces mesures n'atteignent que 1300 m sur la pente, mais contiennent les deux veines d'EM. Nous notons d'abord que la veine supérieure a une vitesse $u > 42$ cm/s, une valeur 4 fois supérieure à la composante géostrophique, même si les vitesses LAD sont moins bien échantillonnées car l'écartement horizontal des stations

est plus grand. La veine inférieure est mieux échantillonnée et les vitesses y atteignent 50 cm/s, 6 fois la valeur géostrophique. La vitesse méridienne est positive dans les deux veines. Les deux maxima de vitesse vers le nord (14 cm/s au dessus de 500 m et 20 cm/s en dessous de 1200 m) indiquent l'effet de rétrécissement induit par le canyon sur les veines. Nous notons aussi que la vitesse zonale mesurée par le LAD à 550 m est de 4,2 cm/s ; ce niveau n'est donc pas au repos, mais au minimum de vitesse.

Une comparaison entre les sections Cadix-6 en amont du canyon et Cadix-8 en aval (non présentées) montre un rétrécissement et une accélération de l'écoulement en amont du canyon, suivi par un élargissement et une décélération en aval. Par conséquent, le canyon peut provoquer de l'instabilité barocline, comme la veine supérieure est fortement déviée vers le nord est la veine inférieure vers le sud, à la sortie du canyon.

Le long de Cadix-8T, nous avons aussi calculé la distribution de vorticité potentielle, en utilisant toutes les stations LAD et CTD au voisinage, pour calculer la vorticité relative et l'étirement de vorticité. Les sections de densité (non présentées) montrent les deux veines d'EM à $\sigma_\theta = 27,4 \text{ kg/m}^3$ et à $\sigma_\theta = 27,75 \text{ kg/m}^3$. La figure 9 montre la répartition de la vorticité potentielle pondérée par la densité $\rho Q = (\zeta + f) \partial\rho/\partial z$, sur des surfaces isopycnales le long de Cadix-8T. Quoique les deux veines d'EM ne soient pas parfaitement résolues, elles correspondent toutes deux à de fortes anomalies négatives de vorticité potentielle, séparées par des anomalies positives, où les isopycnes sont comprimées. Les anomalies positives sont plus intenses sous les veines, ce qui est également observé sous les meddies (Tychensky et Carton, 1997).

4.3 Trajectoires des flotteurs lagrangiens

La figure 10a montre les trajectoires de bouées Surdrift lancées pendant Semane. Quatre bouées, droguées à 700, 750, 1000 et 1300 m furent lancées le long de 8° 20' W, entre 36° 30' N et 36° 45' N. Nous voulions observer des déviations significatives au passage du canyon de Portimao. En fait, seule la bouée la plus au nord fut rapidement advectée vers l'ouest, alors que les autres bouées déviaient lentement de leur position d'origine vers les veines d'EM. Trois autres bouées, droguées à 1000 m pour la première, et 1100 et 1150 m pour les deux autres, furent lancées avant (le long de 9° W) et après le cap Saint-Vincent (le long de 37° N), et suivirent des trajectoires le long des isobathes jusqu'à 37° 30' N. Un léger dépassement du cap s'observe sur les trajectoires de bouées les plus au large. Seulement deux boucles, une anticyclonique vers l'intérieur, une cyclonique vers l'extérieur, sont superposées sur ces trajectoires. Aucune bouée ne fut piégée dans un meddy dans cette région.

Au nord de 37° 30' N, plusieurs événements peuvent être commentés. Tout d'abord, une bouée droguée à 1100 m fut éjectée des veines cotières et suivit une route vers le nord-ouest. Cette bouée stagna ensuite à l'ouest du plateau du Tage, indiquant une renverse de courant à cet endroit ; elle effectua finalement une large boucle anticyclonique au nord du plateau du Tage, entre 11° 15' W et 10° 20' W, 39° 30' N et 40° N. Une suite de boucles anticycloniques s'observe sur la trajectoire d'une bouée droguée à 750 m, au sud du plateau, suivie par celles de la bouée à 1000 m. Ceci indique la génération d'un meddy. Il est intéressant de noter qu'à l'ouest du plateau, une bouée droguée à 1300 m suivit des boucles cycloniques sous la trajectoire de la bouée à 1000 m. Ceci suggère que dans les meddies, des associations verticales de pôles de vorticité de signes opposés peuvent exister, presque alignés (Morel, 1995). C'est à notre connaissance la première fois que des bouées furent droguées à de telles profondeurs, et ceci constitue également un test technologique. Quoique la perte ou l'échouage de la drogue se soient produits assez rapidement, cette expérience peut être considérée comme couronnée de succès : en effet, toutes les bouées ont suivi les veines d'EM connues et des formations tourbillonnaires ont été clairement mises en évidence.

Sur la figure 10b, nous voyons que la plupart des flotteurs Rafos à 500 m montrent une dérive vers le sud le long de la pente continentale, près du plateau du Tage. Tous les flotteurs lâchés à 40° N dérivent assez lentement autour du plateau pour accélérer vers le sud à son extrémité occidentale. Ceci peut être dû à la convergence de courants ou à des accélérations induites par les tourbillons. Ce dernier mécanisme est conforté par l'observation de boucles cycloniques dans les trajectoires de flotteurs. Ces boucles sont similaires à celles effectuées par la bouée Surdrift à 1300 m. La figure 10c montre les trajectoires de Rafos à 1000 m. Nous constatons l'existence d'un système de double gyre au nord du plateau du Tage : une circulation cyclonique est induite sur le canyon de Nazaré ; une boucle anticyclonique lui est adjacente au large (courants vers le nord à 10° 50' W et vers le sud à 10° 10' W). La boucle cyclonique avait déjà été notée dans les cartes de vitesses géostrophiques (sous-section 4.1). Une seconde caractéristique notable réside entre 41 et 42° N : tous les flotteurs Rafos y dévient de la côte. Cette bifurcation le long de l'isobathe 3000 m peut s'interpréter dynamiquement si les veines d'eau méditerranéenne possèdent une signature dynamique à cette profondeur, ou si une circulation anticyclonique à 41° 30' N -10° W induit un détachement des courants de la côte. Cette circulation pourrait être matérialisée par la présence d'un tourbillon anticyclonique (un meddy ?) dans cette région, comme celui observé Fig.10c.

Finalement, la figure 10d montre que la circulation lagrangienne à 1500 m est globalement vers le sud, au nord du plateau du Tage, avec une inflexion vers le sud-

est, et une renverse de courant vers le nord-ouest à 39° N. Des boucles anticycloniques s'observent entre 10° 10' W et 10° 50' W, 39° 30' N et 40° N, au nord du plateau du Tage. Les renverses d'écoulement entre 500, 1000 et 1500 m, coïncident de façon intéressante avec les calculs géostrophiques à l'échelle du bassin de Saunders (1982), et illustrent l'étirement vertical entre les masses d'eau centrale et de la mer du Labrador s'écoulant vers le sud, et l'EM s'écoulant vers le nord.

4.4 Comparaison entre les vitesses LAD et Surdrift

Nous moyennons maintenant le module et la direction des vitesses des Surdrifts au voisinage des stations LAD près desquelles elles ont dérivé. Les mesures LAD sont aussi moyennées au voisinage des trajectoires et des immersions des drogues des bouées. D'abord, nous supposons le caractère synoptique de ces mesures. En effet, les bouées ont été larguées dans un intervalle de 24 heures entre les stations LAD. Nous calculons séparément les vitesses des Surdrifts à 750, 1000 et 1300 m. Les résultats sont les suivants :

Immersion	750 m	1000 m	1300 m
LAD (module)	17.3 cm/s	35.8 cm/s	18 cm/s
LAD (direction)	297°	321°	293°
Surdrift (module)	15.3 cm/s	29.8 cm/s	7.8 cm/s
Surdrift (direction)	289°	284°	274°

Les vitesses LAD sont plus intenses et portent plus au nord que les vitesses des Surdrifts. En effet, elle furent mesurées dans le canyon de Portimao (section Cadix-7), où une importante déflexion vers la côte a été mise en évidence. Les positions des Surdrifts ayant été filtrées sur une période de 3 jours, de telles déviations locales sont quelque peu lissées.

Néanmoins, les vitesses LAD et des Surdrifts s'avèrent être comparables. Parmi des causes possibles de différences, mentionnons le fait que le LAD échantillonne des vitesses instantanées qui incluent les composantes agéostrophiques, et le fait que le câble et la bouée de la Surdrift ont une influence sur la vitesse de la drogue : ces Surdrifts sont en effet composées d'une bouée de surface, d'un câble de 3 mm de diamètre supportant une drogue de 70 cm de diamètre et de 11 m de long. Les coefficients de trainée respectifs sont de 1,2 et de 2,0 pour le câble et la drogue. Si l'écoulement à 1300 m atteint 50 cm/s, la vitesse de la bouée de surface sera de 37 cm/s si le courant croît linéairement de la surface à 1300 m, mais seulement de 30 cm/s si le courant est nul en surface, et croît quadratiquement de 1150 à 1300 m, ou s'il y a un léger contre-courant à la surface (-10 cm/s). Nous concluons cependant que les Surdrifts peuvent donner une estimation raisonnable des courants profonds.

5 Utilisation des composés halocarbonés volatils comme traceurs transitoires de l'EM

Lors de la campagne Semane, la mesure de différents composés halocarbonés volatils (fréons, CCl₄, CH₃CCl₃, bromoforme...) a été effectuée à bord du BO *D'Entrecasteaux*. Le principe de l'utilisation de ces composés comme traceurs chimiques des masses d'eau, les techniques d'analyse à bord du navire et quelques exemples de résultats sont présentés ci-après. L'objectif était d'examiner les potentialités de ces composés comme horloge de la circulation océanique profonde, trop lente et souvent difficile à mesurer par les moyens classiques de la physique.

5.1 Principe de l'utilisation des composés halocarbonés volatils comme traceurs transitoires - Objectifs des travaux

De nombreux composés halocarbonés volatils ont été mis en évidence à l'état de traces dans les eaux océaniques (Krysell et Nightingale, 1994). Ces composés présentent pour la plupart une origine exclusivement anthropique ; produits industriellement par synthèse, ils sont rejetés dans l'atmosphère et pénètrent le milieu marin par échanges gazeux à l'interface océan-atmosphère. Ces composés se sont accumulés dans l'air depuis l'ère industrielle au fur et à mesure de leur production, et l'augmentation des concentrations dans les eaux de surface traduit l'élévation des teneurs atmosphériques ; lors de la formation de masses d'eau, ils sont entraînés au sein de l'océan. A partir des concentrations mesurées dans une masse d'eau en profondeur, il est possible de déterminer les concentrations atmosphériques à l'époque où cette masse d'eau était en surface, et aussi de déterminer son âge. Connaissant la distance la séparant de sa zone de formation, une évaluation de la vitesse moyenne d'écoulement peut être effectuée, et il est ainsi possible d'établir des échelles de temps dans les transports profonds.

Jusqu'à présent, les chlorofluorocarbones F₁₁ (CCl₃F) et F₁₂ (CCl₂F₂) ont été essentiellement utilisés ; ils présentent l'avantage de n'avoir aucune source naturelle et de présenter des fonctions d'entrée dans l'océan relativement simples. Très habituellement, la masse d'eau qui plonge subit des mélanges ; ceci rend le calcul plus complexe. Pour s'affranchir de ce problème, le rapport F₁₁/F₁₂ est utilisé. Il présente l'avantage de ne pas être affecté par les phénomènes de mélange, du moins quand l'eau d'origine superficielle est diluée par des eaux profondes ne contenant pas de fréons. L'utilisation du rapport F₁₁/F₁₂ se restreint à une période de temps comprise entre 1950 et 1975. Depuis 1975, ce rapport est resté sensiblement constant dans l'atmosphère et son utilisation pour dater les masses d'eau s'avère depuis plus délicate (cf Fig.11a).

D'autres composés halocarbonés volatils ont été produits en grande quantité à partir des années 1920. Parmi ces composés, le trichloro-trifluoroéthane $\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$ (F₁₁₃), le tétrachlorométhane (CCl_4) et le 1,1,1-trichloroéthane (CH_3CCl_3), qui présentent des fonctions d'entrée dans l'océan nettement différentes de celles du F₁₁ et du F₁₂, sont susceptibles d'apporter des informations complémentaires pour les périodes avant 1950 et après 1975 (cf Fig.11a)

Notre objectif lors de la campagne Semane était de mettre en oeuvre à la mer les fréons F₁₁ et F₁₂ et différent composés halocarbonés volatils (CCl_4 , CH_3CCl_3 ...), dont les potentialités n'ont été que peu exploitées. Au cours de cette campagne, 19 stations ont été échantillonnées en F₁₁, F₁₂ et F₁₁₃, et 3 stations en composés halocarbonés volatils autres que les chlorofluorocarbonés.

5.2 Méthode d'analyse

Les analyses ont été réalisées à bord du navire dans un conteneur laboratoire spécialement équipé. Les chlorofluorocarbonés et les composés halocarbonés volatils sont extraits de l'eau de mer par le procédé de " purge and trap ", puis analysés par chromatographie en phase gazeuse à capture d'électrons (Connan et al., 1996). Une quinzaine de composés volatils sont dosés à des teneurs variant entre 0 et $15 \cdot 10^{-12}$ mole/l. Les limites de détection pour les chlorofluorocarbonés sont de 0,01, 0,005 et $0,03 \cdot 10^{-12}$ mole/l pour le F₁₁, F₁₂ and F₁₁₃ respectivement. La précision des mesures pour les eaux de surface est comprise entre 1 et 3 % selon les composés. Pour les composés halocarbonés volatils, les limites de détection sont inférieures à $0,05 \cdot 10^{-12}$ mole/l, avec une précision variant de 5 à 10% selon les composés pour les eaux de surface.

5.3 Résultats

a) Distribution verticale des chlorofluorocarbonés (CFC)

Les distributions verticales en CFC (F₁₁, F₁₂ and F₁₁₃) à la station C3 (35° 50' N, 6° 48' W), située à la sortie du détroit de Gibraltar, sont présentées à titre d'exemple. Les teneurs en F₁₁, F₁₂ et F₁₁₃ varient entre 2,30 et $2,91 \cdot 10^{-12}$ mole/l, 1,01 et $1,38 \cdot 10^{-12}$ mole/l et 0,11 et $0,26 \cdot 10^{-12}$ mole/l respectivement (Fig.11b). Les teneurs en fréons sont élevées dans les couches de surface et présentent un maximum en subsurface. Ce maximum résulte du dégazage des fréons dans la couche de surface lors du réchauffement estival. Des teneurs élevées sont aussi observées dans les eaux méditerranéennes qui s'écoulent près du fond à la sortie de Gibraltar. Aux profondeurs intermédiaires (entre 200 et 600 m de profondeur), les eaux centrales nord-Atlantique présentent un gradient marqué en fréons et les minimums de concentration ($2,30 \cdot 10^{-12}$ mole/l pour le F₁₁ et $1,01 \cdot 10^{-12}$ mole/l pour le F₁₂) sont

observés à 600 m de profondeur (Fig.11b). La présence de teneurs en chlorofluorocarbonés élevées sur l'ensemble de la colonne d'eau indique la présence dans ce secteur de masses d'eau dont la formation est relativement récente. Ceci est particulièrement vrai dans le cas des eaux méditerranéennes.

b) Distribution verticale du tétrachlorométhane CCl_4 et du 1,1,1-trichloroéthane CH_3CCl_3

Les distributions verticales du tétrachlorométhane et du 1,1,1-trichloroéthane à la station C3 sont présentées sur la figure 11c. Les concentrations en CCl_4 sont comprises entre 3,95 et $7,0 \cdot 10^{-12}$ mole/l. Les concentrations en CH_3CCl_3 sont plus élevées et varient entre 10,15 et $13,90 \cdot 10^{-12}$ mole/l. Les variations de ces composés sur la verticale sont voisines de celles des fréons. Les teneurs sont cependant très différentes. Présents en plus fortes concentrations que le F₁₁₃, ces composés permettent une estimation plus précise de l'âge des masses d'eau.

c) Calcul de l'âge de l'eau méditerranéenne à la sortie de Gibraltar : estimation de la vitesse d'advection depuis sa zone de formation

L'âge des eaux méditerranéennes à la sortie de Gibraltar a été estimé en utilisant les rapports de concentration entre les différents fréons et composés halocarbonés volatils.

- Utilisation du F₁₁₃ : le rapport F₁₁/F₁₂ obtenu au niveau de l'EM est compris entre 2,11 et 2,28. Ce rapport est caractéristique des eaux formées après 1975 (Fig.11a). Ayant peu évolué dans les eaux durant ces vingt dernières années, il ne permet pas de dater de manière précise cette masse d'eau. Par contre, l'utilisation des rapports de concentration entre les fréons F₁₁, F₁₂ et F₁₁₃ (Fig.11a) permet de donner une estimation précise de l'âge des masses d'eau de formation récente. Les variations verticales des rapports F₁₁/F₁₁₃ et F₁₂/F₁₁₃ sont présentés sur la figure 11d. Ces rapports caractérisent nettement les différentes masses d'eau en présence. Dans l'EM, les rapports F₁₁/F₁₁₃ et F₁₂/F₁₁₃ varient entre 15,60 et 19,58 et entre 7,40 et 8,94 respectivement. En prenant en compte ces rapports, et connaissant leurs évolutions en fonction du temps, il est possible d'estimer que l'EM présente à la station C3 a été formée entre 1983 et 1986.

- Utilisation du CCl_4 et du CH_3CCl_3 : le CCl_4 et le CH_3CCl_3 ont l'avantage sur le F₁₁₃ d'être présents en plus fortes concentrations et d'être ainsi dosés de manière plus précise. Les variations des rapports $\text{CCl}_4/\text{F}_{11}$ et $\text{CH}_3\text{CCl}_3/\text{F}_{11}$ sont présentées sur la figure 11e. Les eaux méditerranéennes sont bien mises en évidence par les faibles valeurs de ces rapports. Le rapport $\text{CCl}_4/\text{F}_{11}$ est compris entre 1,96 et 2,10 et le rapport $\text{CH}_3\text{CCl}_3/\text{F}_{11}$ varie entre 4,33 and 4,44. Ils correspondent à des eaux formées entre 1983 et 1985 ($\text{CCl}_4/\text{F}_{11}$) et entre 1981 et 1984 ($\text{CH}_3\text{CCl}_3/\text{F}_{11}$).

Les résultats obtenus par les différents traceurs sont présentés dans le tableau 1.

Traceur	F ₁₁ /F ₁₂	F ₁₁ /F ₁₁₃	F ₁₂ /F ₁₁₃	CCl ₄ /F ₁₁	CH ₃ CCl ₃ /F ₁₁
Année de formation	< 1975	1985 +/-1	1984+/-1	1984+/-1	1982+/-1
Vitesse d'advection (cm/s)	—	0.38 +/- 0.04	0.34 +/- 0.04	0.34 +/- 0.04	0.29 +/- 0.04

Tableau 1. Année de formation et vitesse d'advection (en cm/s) de l'EM entre sa région de formation et son dévers au détroit de Gibraltar.

Le temps moyen de transit de l'EM entre sa région de formation (zone liguro-provençale) et la sortie du détroit de Gibraltar est estimé entre 10 et 13 ans. La distance entre ces deux zones étant de 1200 km, la vitesse moyenne d'advection est comprise entre 0,29 et 0,38 cm/s.

6 Résumé, discussion et conclusions

Les résultats présentés ci-dessus sont préliminaires et descriptifs. Une analyse complémentaire sera nécessaire pour quantifier plusieurs aspects de la dynamique, en particulier les vitesses et les transports en divers endroits, dans les deux veines d'EM, les aspects détaillés de l'instabilité déclenchée par les canyons et les caps, les différents processus de mélange (décrits dans le second papier ; Chérubin, 1997) et le contenu d'information des trajectoires des flotteurs lagrangiens. Néanmoins, nous pouvons déjà affirmer que l'image actuelle globale des courants de sortie d'EM est confirmée :

- Deux veines principales existent dans le golfe de Cadix ; des branches secondaires ne se forment que localement à partir de l'une des veines, soit canalisées dans des canyons transverses, soit séparées par des monts sous-marins ; après le cap Saint-Vincent, la veine supérieure progresse vers le nord le long de la côte occidentale portugaise, alors que la veine inférieure bifurque au sud-ouest vers les monts de Gorringer, et au nord-ouest vers le banc de Galice. Une circulation de double gyre (cyclonique sur le canyon de Nazaré et anticyclonique au large) a été observée pour la première fois au nord du plateau du Tage.

- Le mélange dans les sous-courants est plus intense dans le golfe de Cadix ; la double diffusion contribue au mélange diapycnal au voisinage du cap Saint-Vincent et le mélange horizontal résulte d'intrusions latérales au même endroit (ceci est montré dans le second papier ; Chérubin, 1997). Le mélange est renforcé par l'effet des filaments et par la formation de tourbillons à partir des veines d'EM sur les canyons et aux caps.

- Quoiqu'aucun détachement de meddy n'ait été observé à partir du canyon de Portimao, nous avons cependant mis en évidence un filament chaud et salé dans ces parages. Il pourrait être le résidu de la

formation antérieure d'un meddy. Ce canyon induit un rétrécissement des sous-courants d'EM, suivi par leur élargissement sur le flanc aval. La veine inférieure semble la plus affectée, comme prédit par la théorie linéaire de l'instabilité (Chérubin et al., 1996). Plus au nord, des boucles anticycloniques ont été observées dans les trajectoires de Surdrifts à l'ouest du plateau du Tage. Des trajectoires cycloniques sont observées sous ces boucles, indiquant une distribution dipolaire de vorticités sur la verticale. Quoique très incomplètes, ces données suggèrent qu'à la fois les canyons et les caps jouent un rôle dans la formation et le détachement de meddies (Pichevin et Nof, 1996).

- Du point de vue de la grande échelle, l'eau centrale nord-Atlantique est entraînée par le mélange dans l'écoulement d'EM à faible profondeur dans la partie orientale du golfe de Cadix, alors que l'EM diffuse dans les eaux Atlantiques intermédiaires à plus grande profondeur à l'ouest du Portugal. Ce processus fait partie de la plongée des eaux centrales sous la thermocline dans la frontière est de la région intergyre.

- Techniquement, les flotteurs et les bouées ont fourni des mesures assez précises des vitesses en subsurface, avec l'avantage de l'autonomie. Le programme Arcane repose largement sur l'utilisation de flotteurs Rafos, renouvelés tous les 6 mois pendant 3 ans.

- L'analyse des composés halocarbonés volatils nous a permis de dater la période de formation et donc de calculer le temps de transit de l'EM entre le bassin Liguro-Provençal et la sortie du détroit de Gibraltar (10 à 13 ans). Une vitesse moyenne d'advection de 0,3 cm/s en a été déduite.

Un travail considérable nous attend. Comme indiqué ci-dessus, une analyse plus fine et plus complète des données existantes reste à réaliser. Mais ces données peuvent aussi nous guider pour pallier les insuffisances de nos observations :

- A l'évidence, le réseau hydrologique de Semane dans le golfe de Cadix manque de résolution, surtout dans sa partie nord-est. Les détails de la veine supérieure ne sont pas toujours bien résolus. Les processus de mélange à la sortie du détroit ne peuvent pas être étudiés complètement avec les données actuelles (voir le second papier ; Chérubin, 1997) ; nous prévoyons d'utiliser des XDP à l'avenir pour mieux circonscrire les limites géographiques de l'instabilité de Kelvin-Helmholtz.

- Dans le voisinage du canyon de Portimao, notre connaissance bénéficierait grandement de sections répétitives, et de longues séries temporelles (mouillages courantométriques ou mesures LAD au point fixe). Une comparaison de nos données avec celles de la " Gulf of Cadiz Experiment " nous aidera à focaliser nos mesures futures sur les flancs amont/aval du canyon, ou plutôt sur les événements précurseurs du détachement d'un meddy, en amont du canyon. La modélisation numérique pourrait apporter des indices, si elle est suffisamment réaliste. Ceci se heurte encore à des difficultés techniques pour bien représenter les composantes agéostrophiques de la circulation, le surfaçage ou le pincement d'isopycnes, les fortes pentes de la topographie et pour l'obtention de conditions initiales suffisamment fines.

- Ceci nous amène à nous demander si les conditions pour la formation d'un meddy peuvent être prédites. Une stratégie complémentaire consisterait à réaliser un réseau hydrologique suffisamment fin et répétitif, à partir du canyon vers l'ouest, pour mesurer les conditions d'environnement lors de la formation de meddies. En particulier, est-ce que les meddies sont générés directement dans le canyon, comme Prater le suppose (1992), ou se détachent-ils directement du cap Saint-Vincent, comme Pichevin et Nof (1996) le prédisent, et comme semblent l'observer Bower et al. (1995) ? Ceci impliquerait que les fragments détachés originellement du canyon viendraient " nourrir " le renflement au cap.

- Quelle est la nature des branches d'EM à l'ouest du Portugal : sont-elles temporaires ou permanentes, maintenues par la diffusion, les courants de grande-échelle ou les flux tourbillonnaires ? Quelle est la variabilité du système de double gyre au voisinage du canyon de Nazaré ? Joue-t-il un rôle dans le détachement de meddies au sud du banc de Galice ? Est-ce que ce dernier est un résultat ou une cause de la bifurcation de la veine inférieure vers le nord-ouest à 42° N ?

- Que se passe-t-il au cap Finistère où l'EM est plus diffuse ? Est-ce que les meddies peuvent encore y être formés (notons qu'une bulle d'EM, sans signature dynamique, avait été observée dans le golfe de Gascogne, pendant la campagne Gastom 90) ? Est-ce que le courant de pente vers le pôle, ou les swoddies, peuvent interagir avec la veine supérieure d'EM au voisinage du cap ?

La campagne Arcane tri-annuelle devrait apporter une réponse à une partie de ces questions, au moins pour la phénoménologie au nord du plateau du Tage. Une deuxième campagne Semane, qui devrait avoir lieu en juin 1997, devrait se concentrer sur les précurseurs et les conditions d'environnement du détachement de meddies au voisinage du cap Saint-Vincent.

Remerciements

Les équipes Semane et Interafos remercient les Commandants et les équipages des BO *D'Entrecasteaux*, BH2 *Lapérouse* et BSHM *Alcyon* et *Ailette* pour leur participation efficace au recueil des données. La préparation des campagnes, le traitement des données et leur analyse préliminaire ont été effectués par CMO/CM et EPSHOM/IS : le travail de MM. A. Coat, L. Gourmelin, R. Vennel et L. Buléon a été particulièrement efficace. Les Dr Y. Morel et J.P. Mazé ont relu avec attention le manuscrit. Ces campagnes et ces études sont financées par le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine).

Références bibliographiques

- Ambar, I. & M.R. Howe, 1979 : Observations of the Mediterranean outflow. I. Mixing in the Mediterranean outflow. *Deep-Sea Res.*, A, **26**, 535-554.
- Ambar, I. & M.R. Howe, 1979 : Observations of the Mediterranean outflow. II. The deep circulation in the vicinity of the Gulf of Cadiz. *Deep-Sea Res.*, A, **26**, 555-568.
- Arhan, M., Colin de Verdière, A. & L. Mémerly, 1994 : The eastern boundary of the subtropical north-Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, **24**, 1295-1316.
- Bower, A.S, Armi, L. & I. Ambar, 1995 : Direct evidence of meddy formation off the southwestern coast of Portugal. *Deep-Sea Res.*, I, **42**, 1621-1630.
- Chérubin, L., Carton, X. & D.G. Dritschel, 1996 : Vortex expulsion by a zonal coastal jet on a transverse canyon. *Proceedings of the 2nd Int. Workshop on vortex flows*, ESAIM Series, SMAI, Paris, 101-121.
- Chérubin, L., 1997 : Processus de mélange dans l'écoulement d'eau méditerranéenne sur le talus ibérique. *Annales hydrographiques*, même volume.
- Connan, O., LeCorre, P. & P. Morin, 1996 : Analyse des composés halocarbonés volatils dans l'eau de mer, extraction par un système de purge and trap; dosage par chromatographie en phase gazeuse. *Analisis*, **24**, 55-59.
- Daniault, N., Mazé, J.P. & M. Arhan, 1994 : Circulation and mixing of Mediterranean water west of the Iberian peninsula. *Deep-Sea Res.*, I, **41**, 1685-1714.
- Fisher, J. & M. Visbeck, 1993 : Deep velocity profiling with self-contained ADCP's. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, **10**, 764-773.
- Huang, R.X., 1989 : The generalized eastern boundary conditions and the three-dimensional structure of the ideal fluid thermocline. *J. Geophys. Res.*, **94**, C4, 4855-4865.
- Krysell, M. & P.D. Nightingale, 1994 : Low-molecular weight halocarbons in the Humber and Rhine estuaries determined using a new purge-and-trap gas chromatographic method. *Contin. Shelf Res.*, **14**, 1311-1329.
- Madelain, F., 1970 : Influence de la topographie de fond sur l'écoulement méditerranéen entre le détroit de Gibraltar et le cap Saint Vincent. *Cahiers Océanographiques*, **22**, 43-61.
- Mazé, J.P., 1995 : Bilan de volume dans la couche limite est au large de la péninsule ibérique. *Thèse de Doctorat d'Université*, Univ. de Bretagne Occ., **364**, 166 pp., Brest, France.
- Mazé, J.P., Arhan, M. & H. Mercier, 1996 : Volume budget of the eastern boundary layer off the Iberian Peninsula. Submitted to *Deep-Sea Res.*
- Morel, Y., 1995 : Etude des déplacements et de la dynamique des tourbillons géophysiques: Application aux meddies. *Thèse de Doctorat d'Université*, Univ. J. Fourier, 155 pp., Grenoble, France.
- Neshyba, S.J., Mooers, C.N.K., Smith, R.L. & R.T. Barber, 1989 : Poleward flows along eastern ocean boundaries. *Coastal and estuarine studies*, Springer Verlag, 374 pp.
- O'Neil-Baringer, M., 1994 : Mixing and dynamics of the Mediterranean outflow. *PhD Thesis*, MIT/WHOI, **WHOI-93-52**, 240 pp., Woods Hole, Mass., USA.
- Paillet, J., 1996 : Eau modale et ventilation océanique en Atlantique nord-est. *Thèse de Doctorat d'Université*, Univ. de Bretagne Occ., **402**, 200 pp., Brest, France.
- Pedlosky, J., 1983 : Eastern boundary ventilation and the structure of the thermocline. *J. Phys. Oceanogr.*, **13**, 2038-2044.
- Pingree, R.D. & B. LeCann, 1992 : Three anticyclonic Slope Water eDDIES (SWODDIES) in the southern Bay of Biscay. *Deep-Sea Res.*, **39**, 1147-1175.
- Pichevin, T. & D. Nof, 1996 : The eddy cannon. *J. Geophys. Res.*, *in press*.
- Prater, M., 1992: Observations and hypothesized generation of a meddy in the Gulf of Cadiz. *PhD Thesis*, Appl. Phys. Lab., Univ. Washington, **APL-UW TR9210**, 131 pp., Seattle, Wash., USA.
- Saunders, P.M., 1982 : Circulation in the Eastern North Atlantic. *J. Mar. Res.*, **40** (suppl.), 641-657.
- Tychensky, A. & X. Carton, 1997 : Hydrological and dynamical characterization of meddies in the Azores region: a paradigm for baroclinic vortex dynamics. Subm. to *J. Geophys. Res.*
- Veronis, G., 1973 : Model of the world ocean circulation: I- wind-driven, two-layer. *J. Mar. Res.*, **31**, 228-238.
- Zenk, W., 1970 : On the temperature and salinity structure of the Mediterranean water in the northeast Atlantic. *Deep-Sea Res.*, A, **17**, 627-631.
- Zenk, W., 1975 : On the Mediterranean outflow west of Gibraltar. *"Meteor"-Forsh. Ergebnisse*, A, **16**, 15-22.
- Zenk, W., Schultz-Tokos, K. & O. Boebel, 1992 : New observations of meddy movements south of the Tejo plateau. *Geophys. Res. Lett.*, **12**, 2389-2392.

Mixing processes in the Mediterranean outflow along the Iberian shelf

L. Chérubin

SHOM/CMO, Brest, France

Abstract

From the dataset of the Semane experiment, carried out in October 1995 in the Gulf of Cadiz and southwest of Portugal, the various mixing processes affecting the Mediterranean water (MW) outflow are assessed. A strong geographic variability of these processes, and their correlation with the mesoscale dynamics, are evidenced. Kelvin-Helmholtz instability is favored in the eastern part of the Gulf of Cadiz where the currents are strongly sheared vertically at the interface between north Atlantic central water and MW. Farther west, horizontal intrusions between these two water masses occur at the external boundary of the MW outflow. These intrusions present a decreasing vertical scale and an increasing horizontal penetration scale from the outlet at Gibraltar to Cape St Vincent, and conversely beyond the cape unto the Tagus Plateau. Large-scale instability of the flow seems to hinder such medium-scale intrusions. Double-diffusion is linked to these intrusions and mixes the central part of the MW outflow. It also drives thermohaline staircases at the lower interface of MW. These staircases are favored by the spreading out of MW by instabilities or by meddies. Using Joyce's model (1977), horizontal diffusivities associated to isopycnic intrusions are computed and exhibit maximum values for the upper MW core close to Cape St Vincent.

Submitted to Annales Hydrographiques, December 1996

I. Introduction

The Semane experiment took place in the Gulf of Cadiz and southwest of Portugal in October 1995 (see Chérubin et al., 1997, which we will refer to hereafter as the companion paper). The hydrological and currentmeter measurements (see Fig.2 of the companion paper) were achieved to describe the various paths of the Mediterranean Water (here after MW) outflow in this region and to evidence its possible instability resulting in meddy formation. The temperature and salinity characteristics of MW, higher than those of the surrounding Atlantic waters, decrease faster along the MW path in the Gulf of Cadiz than along the southwestern coast of Portugal. Indeed, the temperature and salinity vary in the upper MW core from (14°C, 38 psu) at the Straits of Gibraltar, to (13°C, 36.6 psu) at Cape St Vincent (where it is stabilized at 700 m), and down to (12.4°C, 36.3 psu) near the Tagus Plateau. For the lower core (flowing at 1200 m), the characteristic values are (12.3°C, 36.58 psu) at Cape St Vincent and (12°C, 36.55 psu) near the Tagus Plateau (Fig.3a of the companion paper). The larger decrease from Gibraltar to Cape St Vincent than from there to the Tagus Plateau shows that the efficiency, and perhaps the mechanisms, of mixing vary along the outflow.

An analysis of previous data (O'Neil Baringer, 1994) and of the Semane dataset shows that the main mixing processes in the MW outflow are : Kelvin-Helmholtz instability, double diffusion with salt finger interfaces and lateral intrusions; the prevailing mechanism depends on the location in the outflow. The Semane dataset was not sufficient to evidence the first mechanism, but it allowed us to underline the importance of the latter two, in the vicinity of Cape St Vincent. We will first present the physics of the various mixing processes (section 2); we will then identify the various mixing effects geographically (section 3) and in section 4, we will compute horizontal diffusivities using Joyce's model (1977). Possible improvements of our knowledge via future measurements will be suggested in the conclusion.

2 Physical mechanisms

In the ocean, different mechanisms are responsible for mixing along or across isopycnal surfaces (iso- and dia-pycnal mixing).

2.1 Diapycnal mixing

Diapycnal mixing can stem from turbulence generated by breaking internal waves or by nonlinear Kelvin-Helmholtz instability. These amplifying motions can carry heavier particles above lighter ones, resulting in gravitational instability, hence in mixing.

For Kelvin-Helmholtz instability, the primary energy source is the vertical shear of horizontal velocities. Waves in the alongstream/vertical plane can amplify if this shear is sufficiently large. The breaking waves then produce billows with their axes in the horizontal plane; these billows (or rolls) form the convective motions which mix the water masses (Fig.1). Instability occurs when the Richardson number :

$$Ri = \frac{-g \partial \rho / \partial z}{\rho | \partial u / \partial z |^2}$$

locally reaches a value smaller than 1/4 (Miles, 1961). This number represents a ratio of potential to kinetic energy. The mean flow must provide sufficient kinetic energy so that the buoyancy forces cannot immediately restore a stable stratification. Turbulence results here from an external energy source.

Double diffusion results from the different diffusivities of heat and salt. Assume that some warm and salty water overlies a colder and fresher water mass : the heat will diffuse downwards faster than the salt, and the upper particles will then become heavier and plunge. This creates vertical salt fingers which constitute a thin layer bounded above and below by convective layers. In this thin interface, the vertical temperature gradient is important (see Fig.11.2 of Stern, 1975).

Expressing the vertical density gradient as $(1/\rho) \partial \rho / \partial z = -\alpha \partial T / \partial z + \beta \partial S / \partial z - \kappa \rho g$, with α being the thermal expansion coefficient, β the saline contraction coefficient and κ compressibility, we can characterize the stability of the water column by the density ratio; it expresses the respective contributions of the vertical temperature and salt gradients to hydrostatic stability :

$$Rp = \frac{\alpha \partial T / \partial z}{\beta \partial S / \partial z}$$

In practice, the density ratio is redefined through the Turner angle which is independent on the choice of the orientation of the vertical axis :

$$Tu = \text{atan} \left(\frac{\alpha \partial T / \partial z - \beta \partial S / \partial z}{\alpha \partial T / \partial z + \beta \partial S / \partial z} \right)$$

The stability properties of the local stratification are divided into four angular regions (Ruddick, 1983), corresponding to stability, gravitational instability, diffusive instability and salt fingers. In the case of salt fingers, contrary to Kelvin-Helmholtz instability, no external energy source is required.

2.2 Isopycnal mixing

Both small-scale processes and large-scale advection of density anomalies contribute to isopycnal mixing. At a small scale, turbulence due to breaking waves is a source of mixing along isopycnal surfaces, along which thermohaline differences are stirred and maintained. At a larger scale, intrusive thermohaline anomalies across fronts and eddies can be regarded as motions along isopycnal surfaces which enhance lateral exchanges. Lateral density fluxes generate isopycnal intrusions across the vertical interface between the water masses. These intrusions consist in vertically superimposed homogeneous layers, a structure called interleaving. Warm and salty layers alternate with fresh and cold layers, maintaining the density gradients responsible for the intrusive motions. The vertical wavelengths of these intrusions range between a few to a hundred meters. Each horizontal interface presents a double-diffusive structure.

Joyce (1977) computed a large-scale lateral diffusivity equivalent to the diffusivity of all the medium-scale intrusions.

$$K_h(\phi) = K_v^*(\phi) \overline{(\partial \phi^* / \partial z)^2} / \overline{(\partial \phi / \partial y)^2}$$

where $\phi = T, S$, all overbarred variables denote large-scale quantities and starred variables are at medium scale. The effect of the smallest-scale motions (double-diffusion) are parameterized in terms of vertical eddy diffusivity K_v^* . Contrary to diapycnal mixing, isopycnal models essentially deal with bulk diffusivities associated with features of finite dimension. Direct calculations of isopycnal diffusivities can also be performed from data using a simple advection-diffusion equation.

3 Mixing in the Mediterranean outflow

A detailed inspection of the temperature and salinity profiles obtained during Semane reveals several essential features, such as strong gradients in thin interfaces, gradient inversions from the core of the outflow to its periphery, and staircases. Each feature is associated to a mixing process that we will describe hereafter.

3.1 Kelvin-Helmholtz instabilities

Close to the Straits of Gibraltar, each vertical temperature and salinity profile exhibits strong gradients in thin interfaces located above the core of the MW outflow. At station 214 (Fig.2), the variation in salinity is 1.4 psu over 170 m (or 0.008 psu/m). Along the Iberian shelf, at station 021, farther west, the anomaly reaches 0.6 psu over 40 m (or 0.015 psu/m). These anomalies correspond to the maximum stratification observed at the upper interface of the MW outflow, in the eastern part of the Gulf of Cadiz. These anomalies, as well as the peak in stratification, decrease westward while the thickness of the interface increases. At this upper interface, a strong vertical shear of horizontal velocity is observed; indeed, the MW flows out of the Straits, while the north Atlantic central water (hereafter NACW) currents are directed towards them. This shear is a necessary condition for Kelvin-Helmholtz instability (cf subsection 2.1).

At station 239 on section Cadiz-4 (at 7° 30' W), the Brunt-Vaisala frequency $N = \sqrt{-g/\rho \partial\rho/\partial z}$ and the Richardson number Ri were calculated using the XCTD and LAD measurements (Fig.3). We first note that the upper interface is vertically spread out between 750 and 925 m, that the maximum velocity is located at 900 m, above the temperature and salinity maxima at 1050 m. Three minimum values, $Ri = 0.97, 1.25$ and 1.1 , are found at 820, 915 and 975 m, above the MW core. They are all explained by the relative minima in Brunt-Vaisala frequency, coinciding with the relative maxima in the velocity shear around the same depths. Two other minima in Brunt-Vaisala frequency at 800 and 900 m do not correspond to maxima in velocity shear and thus to no minimum Ri . Other calculations of Ri have been made south and west of station 239; none showed values close to criticality ($Ri \approx 0.25$), even in the Portimao canyon where the MW flow is strongly accelerated.

Values of Ri associated to instability were found only in the eastern part of the Gulf of Cadiz (east of 7° W) during the Gulf of Cadiz Experiment. As O'Neil-Baringer (1994) noticed, only the strongly sheared interfaces observed above MW close to the Straits of Gibraltar can trigger Kelvin-Helmholtz instability. In this area, no other mixing process, such as double diffusion or lateral intrusion, has been observed. We thus conclude that the Kelvin-Helmholtz instability at the Gibraltar outlet, and the entrainment across the sheared interfaces, mainly contribute to the mixing of MW and NACW in the eastern Gulf of Cadiz.

Once the two MW cores are vertically separated (between 7° 30' W and 7° 45' W), temperature and salinity profiles along the southern flank of the outflow reveal numerous inversions. They may result from lateral mixing events which we now present.

3.2 Lateral intrusions between the Mediterranean outflow and north-Atlantic central waters

Fig.4 displays θ - S diagrams at the external interface between the MW cores and the surrounding NACW, from the outlet at Gibraltar to the southern Tagus Plateau. East of 7° 30' W in the Gulf of Cadiz, the water types are well defined and related by straight line segments at every depth (mixing lines). West of this longitude, irregular mixing lines denote lateral intrusions of NACW into the upper core of MW. Farther downstream, the lower MW core becomes affected too. The observation of perturbed mixing lines was also used by Danialt et al. (1994) to diagnose lateral mixing in the Bord-Est experimental data. By computing the salinity variance, they concluded that interleaving occurred mostly close to Cape St Vincent (with 60m-wavelength for the upper MW core) and south of the Tagus Plateau. Spectral analyses are thus an interesting tool to diagnose lateral intrusions.

Fig.5 presents spectral analyses of temperature along section Cadiz-12 oriented southwestward from Cape St Vincent (see Fig.2). The first two stations (324 and 323) are located on the shelf and do not exhibit shortwave variability. At station 322, farther offshore, intrusions of 70 to 100 m height affect the upper MW core. At station 318, both cores are now affected by these intrusions, but the lower core also exhibits perturbations with a 60m-wavelength. Station 317 is located between the coastal MW cores and a long MW filament offshore, parallel to the shelf (see the companion paper). The MW signature is much weaker in this trough (as confirmed by vertical profiles of temperature and salinity not shown here). It is therefore weakly affected by intrusions. The shortwave interleaving is again observed at stations 316 and 315 in the filament and decrease farther offshore (at station 314).

These observations close to Cape St Vincent contrast with the other sections: the shortest wavelengths (40 m) are attained on section Cadiz-12; on section Tagus-12, contrary to other sections, intrusions seem to affect mostly the upper part of the lower MW core (close to the intermediate MW peak at 1100 m, see the companion paper). On sections Tagus-4 and 5, wavelengths have increased to 100 m, and intrusions even vanish at station 364. Table 1 presents the characteristics of MW cores and intrusions from sections Cadiz-4 to 9 (from 7° 30' W to 9° W). We observe that the width of the MW cores and the wavelengths of the intrusions decrease downstream, while their size rapidly increase and then stagnate. But the ratio of core width to intrusion size decreases. We can thus conclude that interleaving affects the MW cores more deeply, going downstream.

Section	Station	Wavelength	MW core width	Intrusion size
Cadiz-4	241	150 m	109 km	1-2 km
Cadiz-6	256	50 m	41 km	30 km
Cadiz-9	295	50 m	27 km	25 km

Table 1. Characteristics of the lateral intrusions into the MW cores. The core width is calculated from latitude $36^{\circ} 40' N$ and the intrusion size from isohaline 36 psu.

At sections Cadiz-8 downstream of the Portimao canyon, and Tagus-4 and 5 close to which a meddy formation was observed, lateral intrusions seem severely reduced by the acceleration of the MW outflow. Large-scale instabilities thus seem to hinder or to halt medium-scale intrusions. We must also note that small-scale vertical mixing mechanisms often accompany lateral intrusions. This vertical mixing can result from double-diffusion.

3.3 Double-diffusion

Small-scale vertical mixing takes place on the horizontal interfaces of lateral intrusions and below the MW cores. Though fine- or micro-structure in temperature and salinity do not appear at first glance in the lateral intrusions, double-diffusive activity results in larger-scale features, such as homogeneous layers several tens of meters thick separated by thin interfaces (of a few meters). This specific temperature and salinity structure is also observed under the MW cores (Daniault et al., 1994) and is called a thermohaline staircase.

Fig.6 presents the set of stations where well-defined thermohaline staircases have been observed, and a few stations where the Turner angle Tu was larger than 81° , corresponding to salt-fingering double-diffusion. According to Daniault et al. (1994), the critical value for strong fingering is $R\rho < 1.2$ or $Tu > 85^{\circ}$. Indeed, at each station where Tu was smaller than 81° , staircases were not noticeable or not clearly defined. All the stations shown in Fig.6 are gathered south of Cape St Vincent, and correspond to those of Fig.18 of Daniault et al. (1994); these authors also mention a site southwest of the Tagus Plateau as favorable to double-diffusion. We recall that both locations correspond to sites of meddy or filament formation and detachment. In fact, hydrological soundings achieved 12 days apart at stations 290, 318 and 333 show that the thermohaline staircases originally observed there have almost disappeared or are smoothed (Fig.7). This is probably associated to the disappearance of the filament. Thermohaline staircases thus seem favored for a short while after turbulent events.

As stated previously, double-diffusion often accompanies lateral intrusions. Several stations along sections Cadiz-9, 12 and Tagus-12, 4 and 5 exhibit double-diffusive mixing. The vertical profile of Turner

angle at station 256 exhibits an alternation of diffusive and salt fingering interfaces with depth (Fig.8). This form of diapycnal mixing thus acts inside the MW cores. Below them, double-diffusion is present with $R\rho = 1.38$ ($Tu = 81^{\circ}$). This value is close to that of 1.3 found by Daniault et al. (1994) between the MW outflow and the Labrador Sea Water.

As a conclusion, double-diffusion is responsible for diapycnal mixing under the MW outflow or detached meddies (see Tychensky, 1994). Instabilities leading to filament or vortex formation thus spread MW and favor thermohaline staircases. On the contrary, inside the outflow, diapycnal mixing is driven by isopycnal intrusions.

4 Diffusivities and flux calculations

Isopycnal and diapycnal mixings drive heat and salt fluxes; for Kelvin-Helmholtz instability and double-diffusion, these fluxes are usually parameterized by a constant eddy diffusivity in both directions. These coefficients are chosen such as to balance the turbulent production with the mean temperature, salinity and momentum gradients. All flux observations are inferred from ε and χ measurements where ε is the kinetic energy dissipation rate, and χ is the rate of dissipation of temperature variance. To compute diffusivities, one then uses models based on the dissipation method assuming that the scalar fluctuations are produced by overturns (Gregg, 1987). An alternate method uses temperature microstructure measurements, and leads to a formulation in Cox number (Osborne & Cox, 1972).

These models are not valid in thermohaline intrusions where lateral motions, rather than overturns, produce temperature fluctuations. Joyce (1977) worked out a diagnostic model to estimate the cross-frontal exchange rate for heat and salt. Using this model, we compute the horizontal diffusivities from the Semane dataset to map the evolution of lateral mixing along the path of the outflow, and to correlate this mixing with the dynamical events described in the companion paper. Fig.9 shows the values of horizontal diffusivity of temperature for both MW cores. The largest values are found southwest and north of Cape St Vincent for both cores; they reach $400 \text{ m}^2/\text{s}$ for the upper core and only $60 \text{ m}^2/\text{s}$ for the lower core, using a traditional value of $K^*_v = 10\text{-}4 \text{ m}^2/\text{s}$. Indeed the upper core is warmer than the lower one and can thus exchange more heat with NACW.

The isopycnal diffusion increases from section Cadiz-4 to Cadiz-6 while it is found more concentrated near the

continental slope as a consequence of the narrowing of the cores (induced by the Portimao canyon) ; along sections Cadiz-7 and 8, no intrusions are observed, and thus horizontal diffusivity is weak. This diffusivity is then enhanced by the westward diffusion associated to the overshooting of the MW cores at Cape St Vincent. In fact, this effect is even more pronounced for the lower core which is more detached from the coast and spread out (Fig.10). South of the Tagus Plateau, where meddies are formed, intrusions and horizontal diffusivities decrease.

5 Conclusions

This brief analysis has shown a significant geographic variability of mixing along the MW outflow; this variability results both from the type of process creating mixing and from its intensity. These mixing mechanisms and their efficiency strongly depend on the local dynamics of the outflow. In the eastern part of the Gulf of Cadiz, diapycnal mixing prevails, created by Kelvin-Helmholtz instability. Unfortunately, the Semane dataset was not sufficient to evidence this process and we also had to rely on former observations (the Gulf of Cadiz Experiment, O'Neil-Baringer, 1994). Farther west, lateral intrusions between MW and NACW take place. They induce isopycnal mixing of scalar properties; the horizontal diffusivity associated to this process was shown to be maximum for the upper MW core close to Cape St Vincent. Associated to intrusions, double-diffusion drives diapycnal mixing inside the MW cores.

Acknowledgements

The author thanks Dr Yves Morel, Jérôme Paillet and Xavier Carton for their help in preparing the manuscript. The Semane team is grateful to the Captain and crew of BO *D'Entrecasteaux* for their undefatigable participation in data collection. Data processing and preliminary analysis were performed by CMO/CM, Mr Rodolphe Rousselet and Alain Coat. This work was made possible by special funding of SHOM (French Navy Hydrographic and Oceanographic Service).

References

- Chérubin, L., Serpette, A., Carton, X., Paillet, J., Connan, O., Morin, P., Rousselet, R., Le Cann, B., Le Corre, P., Labasque, T., Corman, D. & N. Poete, 1997 : Descriptive analysis of the hydrology and currents on the Iberian shelf from Gibraltar to Cape Finisterre ; preliminary results from the Semane and Interafos experiments. *Annales Hydrographiques*, this issue.
- Daniault, N., Mazé, J.P. & M. Arhan, 1994 : Circulation and mixing of Mediterranean water west of the Iberian peninsula. *Deep-Sea Res.*, **1**, **41**, 1685-1714.
- Gregg, M.C., 1987 : Diapycnal mixing in the thermocline : a review. *J. Geophys. Res.*, **92**, C5, 5249-5286.
- Joyce, T.M., 1977 : A note on the lateral mixing of water masses. *J. Phys. Oceanogr.*, **7**, 626-629.
- Miles, J.W., 1961 : On the stability of heterogeneous shear flows. *J. Fluid Mech.*, **10**, 496-508.
- O'Neil Baringer, M., 1994 : Mixing in the Mediterranean outflow. *PhD Thesis*, MIT-WHOI, **WHOI-93-52**, 240 pp., Woods Hole, Mass., USA.
- Osborne, T.R. & C.S. Cox, 1972 : Oceanic fine structure. *Geophys. Fluid Dyn.*, **3**, 321-345.
- Ruddick, B., 1983 : A practical indicator of the stability of the water column to double-diffusive activity. *Deep-Sea Res.*, **30**, 10A, 1105-1107.
- Stern, M.E., 1975 : *Ocean Circulation Physics*. International Geophysics Series, **19**, Academic Press, 215 pp.
- Tychensky, A., 1994 : Traitement et analyse des données de la campagne Semaphore : caractérisation hydrologique et dynamique des meddies observés. *Rapport de stage de DEA*, Univ. Paul Sabatier, Toulouse, France.

Medium-scale intrusions seem to be hindered or halted by large-scale instability processes. Double-diffusion also induces thermohaline staircases below the MW cores. This phenomenon is mostly observed south of Cape St Vincent where meddies usually form. These instabilities spread out MW and favor the formation of the staircases.

Vertical diffusivities have not been estimated from the Semane dataset due to insufficient resolution in the data and especially since we missed measurements of kinetic energy dissipation rates. Such measurements will be performed during the next Semane experiment, planned for June 1997. Hydrological sections and velocity measurements with a finer spatial resolution, and achieved periodically in time, would permit a better correlation of the mixing processes with the dynamical events. In particular, we would like to evidence the formation of a meddy in a canyon, to correlate the predominant mixing mechanisms associated to this instability, and to assess their amplitude. Conversely, diapycnal mixing alters the density, hence the potential vorticity, distributions of the MW flow. This may result in a feedback effect on the instability (Morel, priv. comm.).

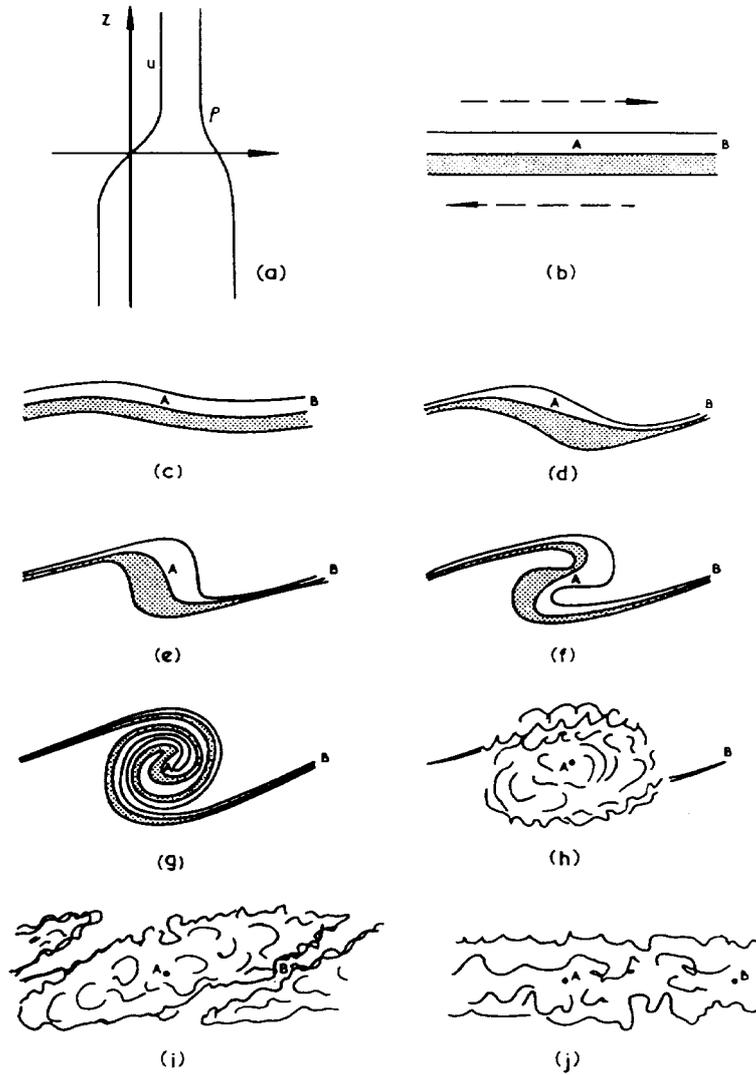


Fig.1: Schematic plot of the Kelvin-Helmholtz instability, with amplifying waves forming billows (from Gregg, 1987).
 Fig.1 : Représentation schématique de l'instabilité de Kelvin-Helmholtz, avec l'amplification des ondes résultant en rouleaux (de Gregg, 1987).

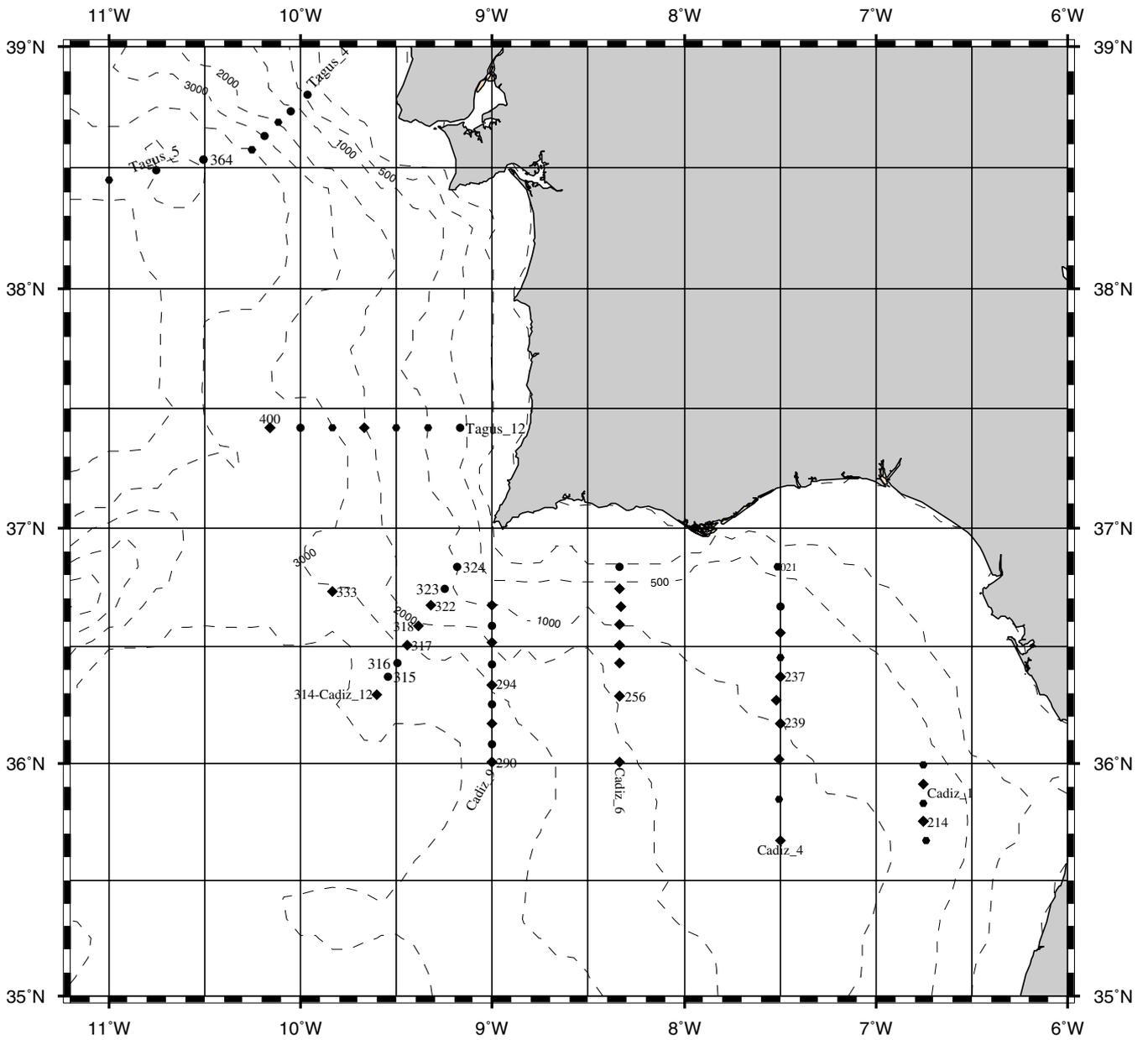


Fig.2: General map of sections and stations quoted in the paper.
 Fig.2 : Carte générale des sections et des stations citées dans l'article.

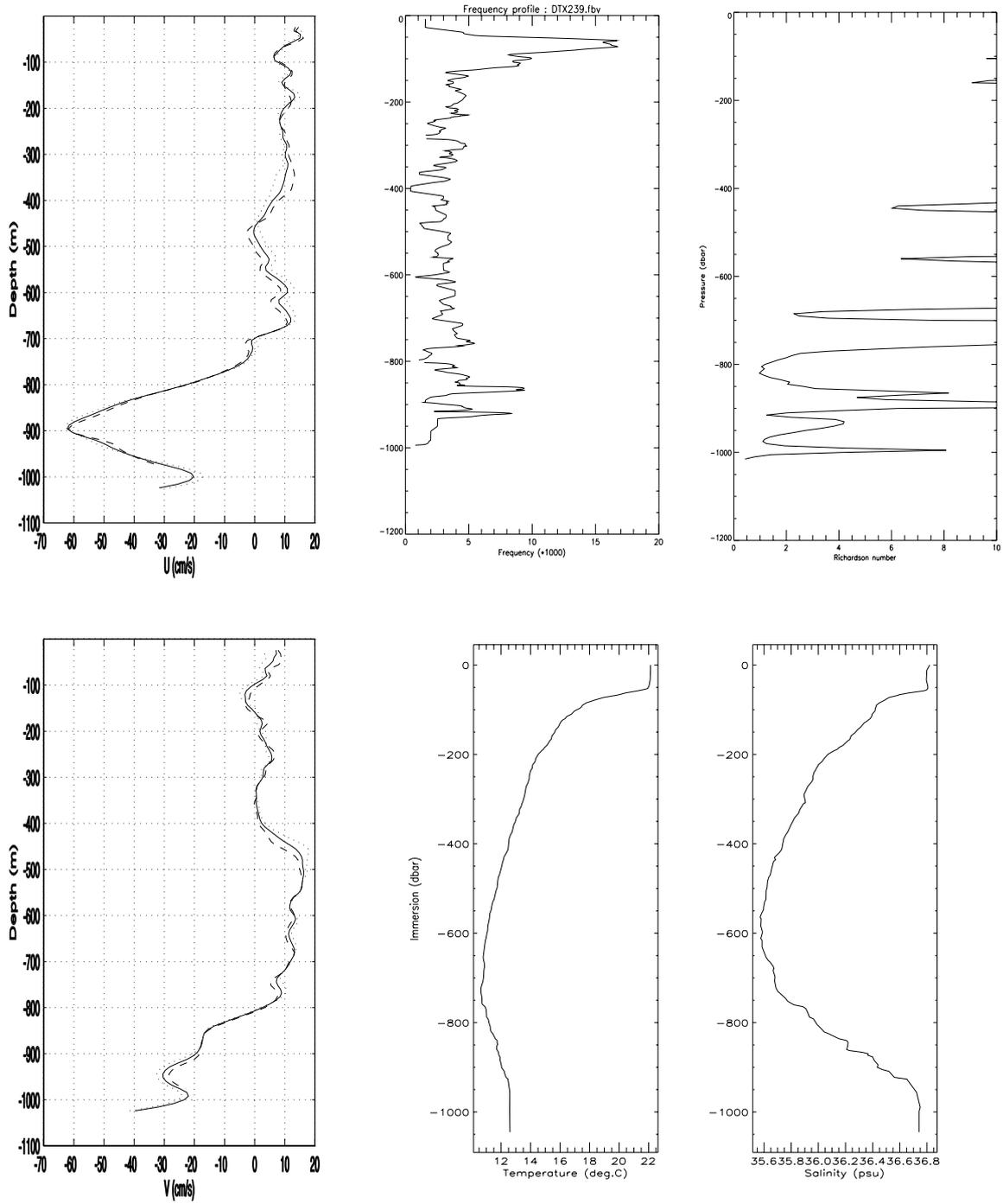


Fig.3: Vertical profiles of temperature, salinity, Brunt-Vaisala frequency, LAD measurements of horizontal velocity, and Richardson number at station 329.

Fig.3 : Profils verticaux de température, salinité, fréquence de Brunt-Vaisala, mesures LAD de vitesse horizontale, et de nombre de Richardson à la station 329.

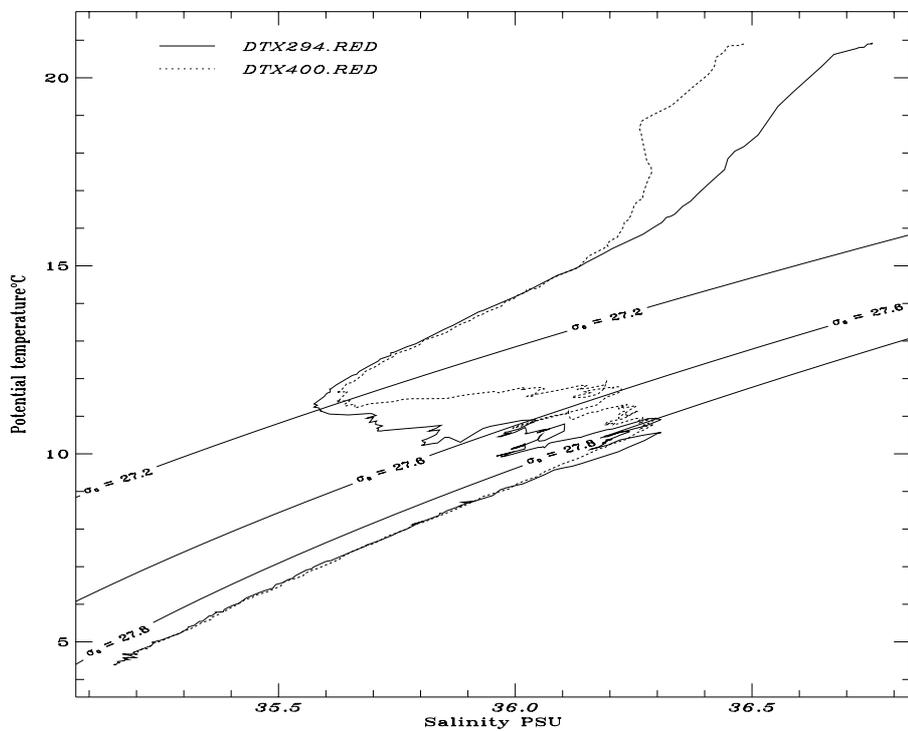
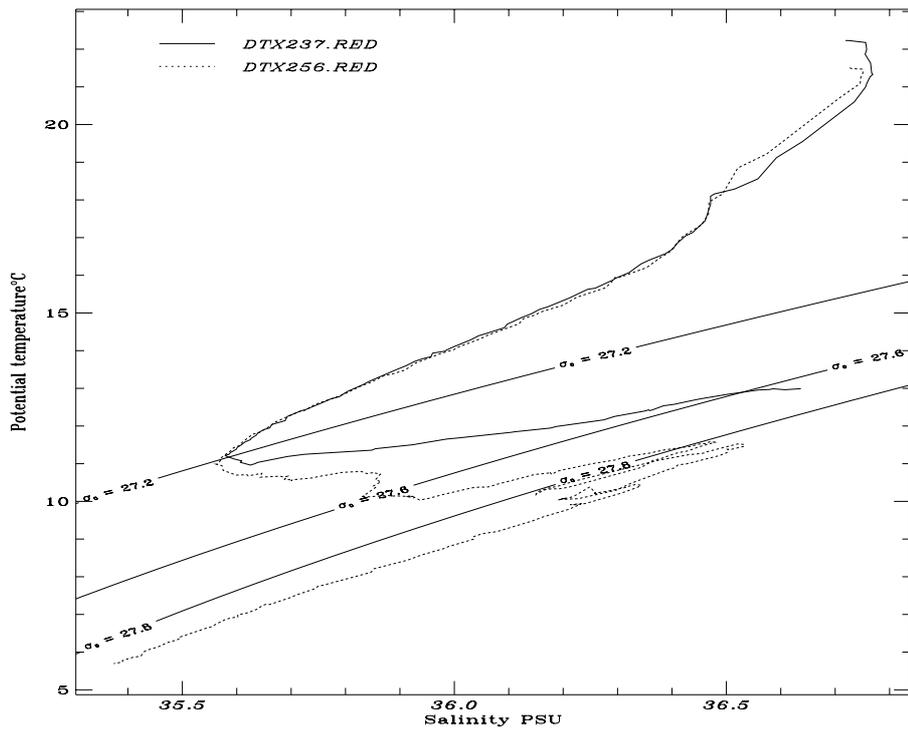


Fig.4: θ -S diagrams of stations located at the external interface of MW, close to NACW from the Straits of Gibraltar westward; evidence of lateral intrusions.

Fig.4 : Diagrammes θ -S aux stations situées à l'interface externe de l'EM, près de l'ECNA, du détroit de Gibraltar vers l'ouest; indices d'intrusions latérales.

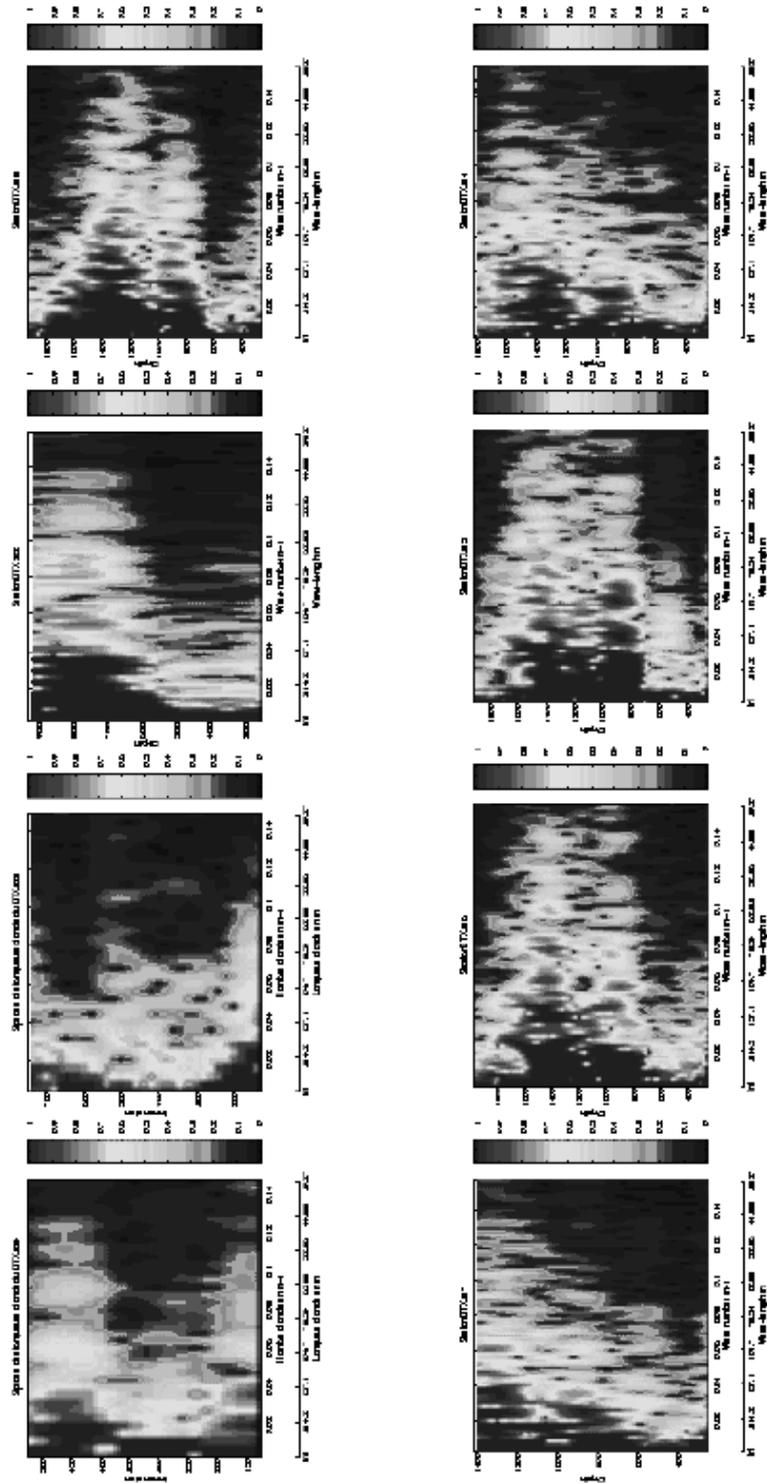


Fig.5: Spectral analysis of temperature along section Cadiz-12 from Cape St Vincent southwestward; depth vs wavelength diagrams.

Fig.5 : Analyse spectrale de la température le long de la section Cadiz-12 du Cap St Vincent vers le sud-ouest ; diagrammes profondeur-longueur d'onde.

Fingering stations

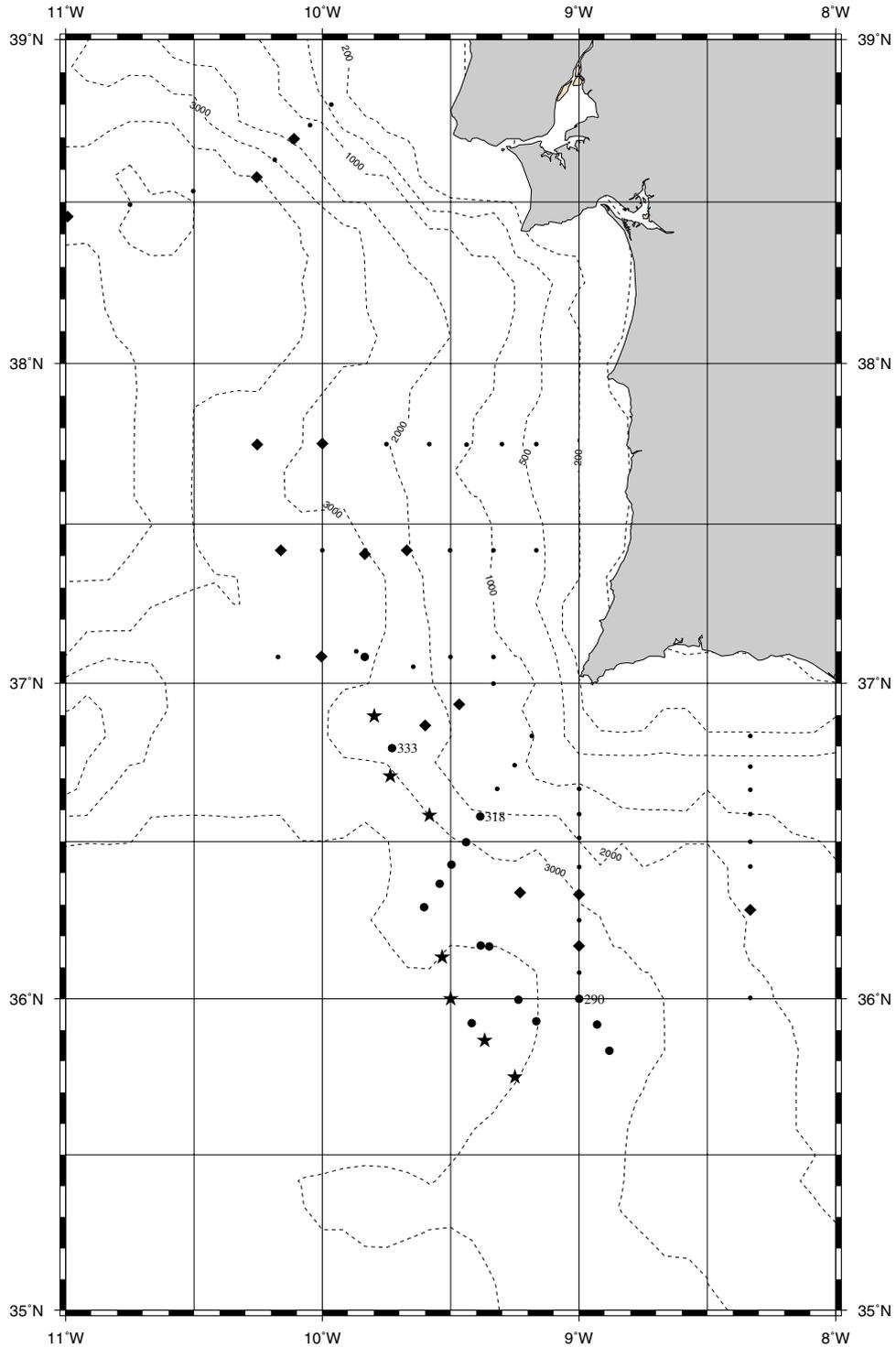


Fig.6: Map of stations indicating salt fingering and double diffusion; black dots denote stations with well-defined staircases, stars correspond to those stations still exhibiting staircases 12 days later and diamonds correspond to stations with salt-fingering.

Fig.6 : Carte des stations montrant des doigts de sel et de la double diffusion ; les cercles noirs représentent des stations avec des marches d'escalier bien définies, les étoiles correspondent aux stations montrant encore ces escaliers 12 jours plus tard et les losanges correspondent aux stations montrant des doigts de sel.

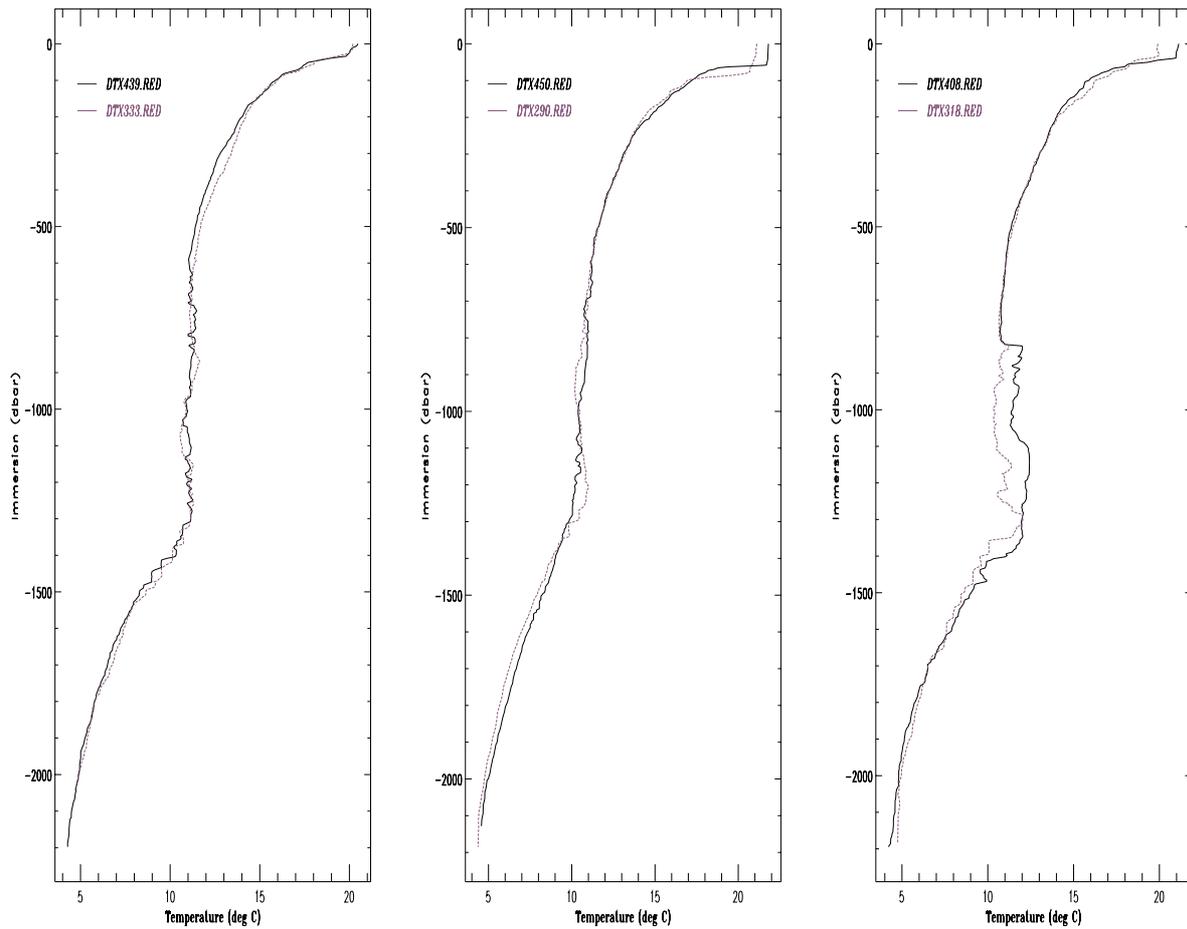


Fig.7: Comparison of repeated vertical profiles of temperature obtained 12 days apart, south of Cape St Vincent.
 Fig.7 : Comparaison des profils verticaux de température répétés à 12 jours d'intervalle, au sud du cap St Vincent.

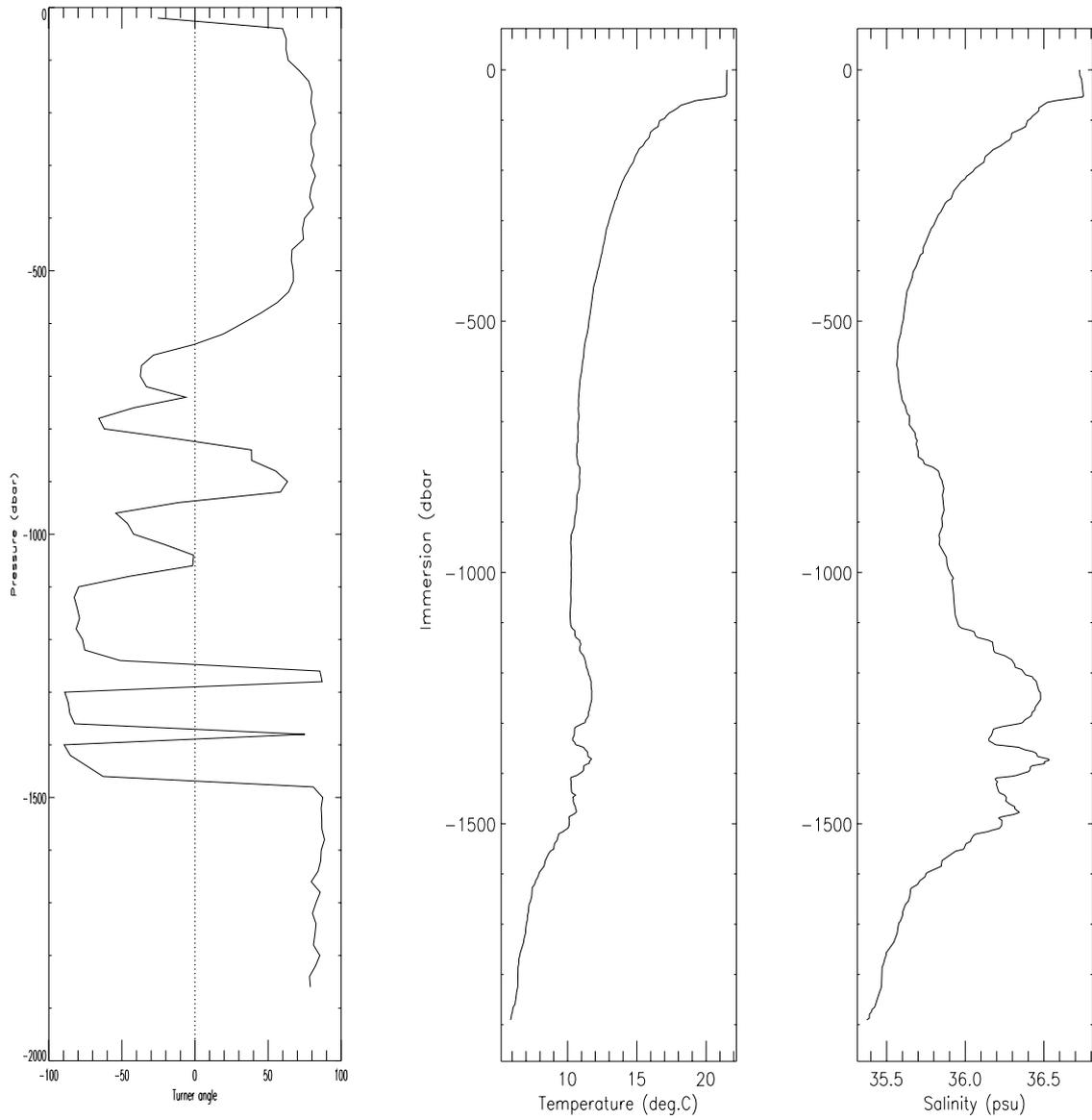
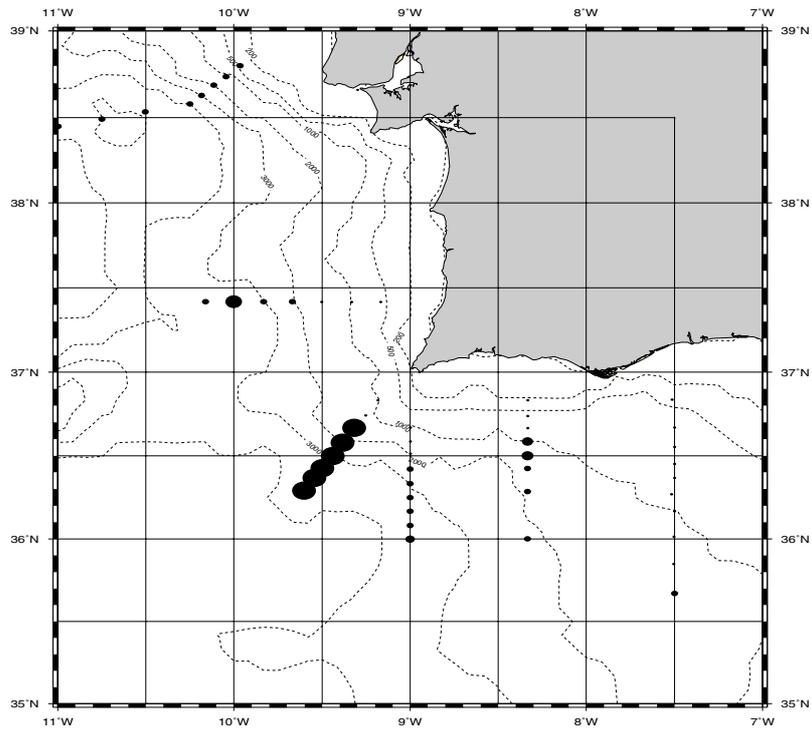


Fig.8: XCTD profile and Turner angle at station 256.
 Fig.8 : Profils XCTD et angle de Turner à la station 256.

Upper core horizontal diffusivities



Lower core horizontal diffusivities

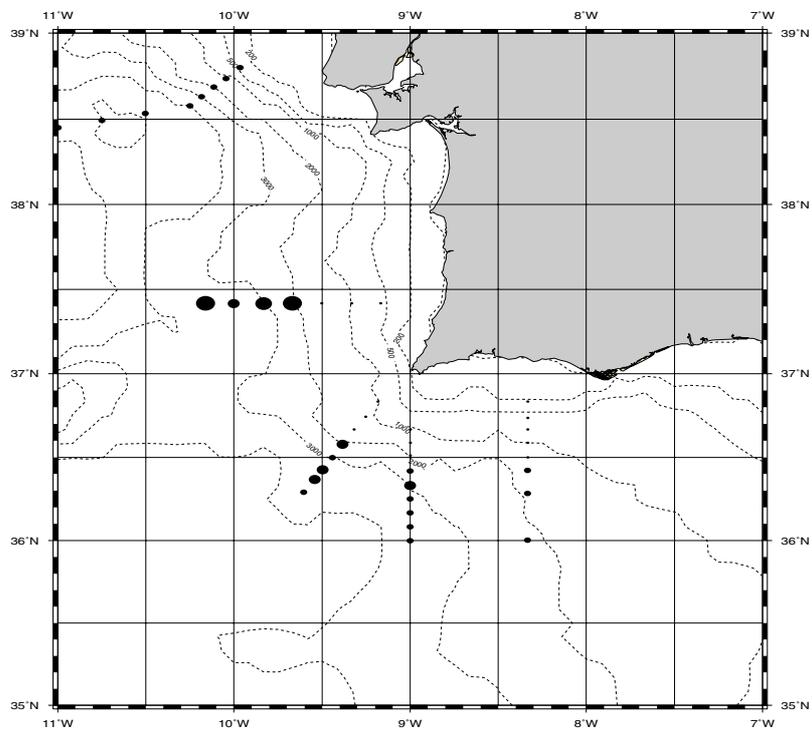


Fig.9: Geographic distribution of horizontal diffusivities, assuming $K_v^* = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Maximum value $K_h = 400 \text{ m}^2/\text{s}$.

Fig.9 : Distribution géographique des diffusivités horizontales, en supposant $K_v^* = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Valeur maximum $K_h = 400 \text{ m}^2/\text{s}$.

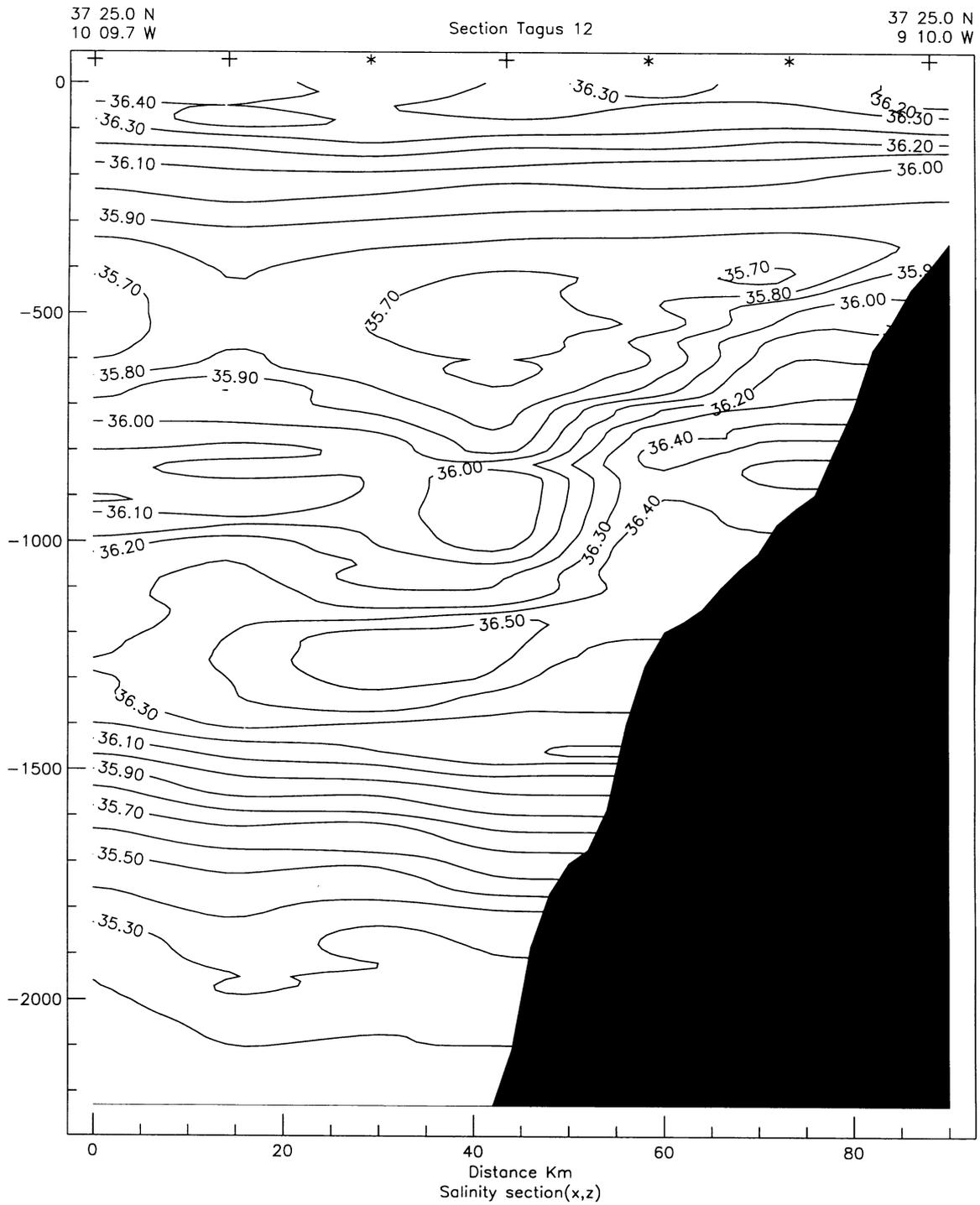


Fig.10: Salinity distribution along section Tagus-12.
 Fig.10 : Distribution de salinité le long de la section Tague-12.

Processus de mélange dans l'écoulement d'eau méditerranéenne sur le talus ibérique

L. Chérubin

SHOM/CMO, Brest, France

Résumé

Nous évaluons les différents processus de mélange affectant les veines d'eau méditerranéenne (ci-après EM), dans le golfe de Cadix et au sud-ouest du Portugal, à partir de l'ensemble des données de la campagne Semane (octobre 1995). Nous mettons en évidence une forte variabilité géographique de ces processus, et leur corrélation avec la dynamique de méso-échelle. L'instabilité de Kelvin-Helmholtz est favorisée dans la partie orientale du golfe de Cadix, où les courants sont fortement cisailés à l'interface entre l'EM et l'eau centrale nord-Atlantique. Plus à l'ouest, des intrusions horizontales entre ces masses d'eau se produisent à l'interface externe des veines d'EM. Ces intrusions présentent une échelle verticale décroissante et une échelle de pénétration horizontale croissante de la sortie du détroit de Gibraltar au cap Saint Vincent, et inversement au-delà du cap jusqu'au plateau du Tage. Des instabilités de grande échelle de l'écoulement défavorisent la formation de telles intrusions de moyenne échelle. Ces intrusions sont aussi accompagnées de double-diffusion qui mélange le coeur des veines d'EM. La double diffusion résulte également en des marches d'escalier dans les caractéristiques thermohalines à l'interface inférieure des veines d'EM. Ces escaliers thermohalins sont favorisés par la diffusion de l'EM par les instabilités et par les meddies. En utilisant le modèle de Joyce (1977), nous avons calculé les diffusivités horizontales associées aux intrusions isopycnales ; ces diffusivités présentent des valeurs maximales pour la veine d'EM supérieure au voisinage du cap Saint Vincent.

Soumis aux Annales Hydrographiques, décembre 1996

I. Introduction

La campagne Semane a eu lieu dans le golfe de Cadix et au sud-ouest du Portugal en octobre 1995 (voir Chérubin et al., 1997, que nous appellerons par la suite l'article de référence). Les mesures hydrologiques et de courantométrie (voir la Fig.2 de l'article de référence) ont été réalisées pour décrire les différents trajets de l'eau méditerranéenne (ci-après EM) dans cette région et pour mettre en évidence de possibles instabilités de ces veines d'EM, résultant en la formation de meddies. Les caractéristiques en température et en salinité de l'EM, supérieures à celles des eaux atlantiques environnantes, décroissent plus rapidement dans le golfe de Cadix que sur la façade ouest-Portugal. En effet, la température et la salinité varient dans la veine supérieure d'EM de (14°C, 38 psu) au détroit de Gibraltar à (13°C, 36,6 psu) au cap Saint-Vincent (où elle est stabilisée à 700 m), et à (12,4°C, 36,3 psu) près du plateau du Tage. Pour la veine inférieure s'écoulant à 1200 m, les valeurs caractéristiques varient de (12,3°C, 36,58 psu) au cap Saint-Vincent à (12°C, 36,55 psu) près du plateau du Tage (voir la Fig.3a de l'article de référence). Cette décroissance plus rapide de Gibraltar au cap Saint-Vincent que de là au plateau du Tage montre que l'efficacité et peut-être les mécanismes du mélange varient le long de l'écoulement d'EM dans cette région.

Une analyse de données antérieures (O'Neil Baringer, 1994) et de celles de Semane montre que les principaux processus de mélange dans l'écoulement d'EM sur le talus ibérique sont: l'instabilité de Kelvin-Helmholtz, la double diffusion avec la formation d'interfaces de doigts de sel et les intrusions latérales ; le mécanisme prédominant est fonction de la localisation géographique dans l'écoulement. L'ensemble de données de Semane n'a pas été suffisant pour mettre en évidence le premier mécanisme, mais il nous a permis de souligner l'importance de deux derniers au voisinage du cap Saint-Vincent. Nous présentons ci-après la physique des processus de mélange (section 2) ; puis nous identifions les différents effets selon la position géographique (section 3) et dans la section 4, nous calculons des diffusivités horizontales par le modèle de Joyce (1977). De possibles améliorations de notre connaissance du mélange grâce à de futures mesures sont suggérées dans la conclusion.

2 Mécanismes physiques du mélange

Dans l'océan, plusieurs mécanismes sont responsables du mélange le long ou au travers des surfaces isopycnales (mélange iso ou diapycnal).

2.1 Mélange diapycnal

Le mélange diapycnal peut provenir de la turbulence générée par le déferlement d'ondes internes ou par l'amplification non linéaire de l'instabilité de Kelvin-Helmholtz. Ces mouvements verticaux de grande amplitude peuvent amener des particules plus lourdes au-dessus de particules plus légères, créant ainsi de l'instabilité gravitationnelle et donc du mélange.

Pour l'instabilité de Kelvin-Helmholtz, la source d'énergie primaire est le cisaillement vertical des vitesses horizontales. Les ondes dans un plan vertical le long de l'écoulement peuvent s'amplifier si ce cisaillement est suffisamment important. Les ondes déferlantes forment alors des rouleaux ayant leur axe dans le plan horizontal ; ces rouleaux produisent les mouvements convectifs qui mélangent les masses d'eau (Fig.1). L'instabilité de Kelvin-Helmholtz apparaît lorsque le nombre de Richardson :

$$Ri = \frac{-g \partial \rho / \partial z}{\rho | \partial u / \partial z |^2}$$

atteint localement une valeur inférieure à 1/4 (Miles, 1961). Ce nombre représente le rapport de l'énergie cinétique à l'énergie potentielle. L'écoulement moyen doit fournir suffisamment d'énergie cinétique pour que les forces de flottabilité ne puissent pas immédiatement rétablir une stratification stable. La turbulence résulte ici d'une source d'énergie extérieure.

La double diffusion résulte des diffusivités différentes de la chaleur et du sel. Si une masse d'eau chaude et salée repose sur une masse d'eau plus froide et douce, la chaleur diffusera vers le bas plus vite que le sel, et les particules supérieures deviendront alors plus lourdes et plongeront. Ceci crée des doigts de sel verticaux qui constituent des fines interfaces entourées par dessus et par dessous par des couches convectives. Dans ces fines interfaces, le gradient vertical de température est important (voir Fig.11.2 de Stern, 1975).

En exprimant le gradient vertical de densité comme $(1/\rho) \partial \rho / \partial z = -\alpha \partial T / \partial z + \beta \partial S / \partial z - \kappa \rho g$, avec α le coefficient d'expansion thermique, β le coefficient de contraction saline et κ la compressibilité, nous pouvons caractériser la stabilité de la colonne d'eau par le rapport de densité ; il exprime les contributions respectives des gradients verticaux de température et de salinité à la stabilité hydrostatique :

$$Rp = \frac{\alpha \partial T / \partial z}{\beta \partial S / \partial z}$$

En pratique, le rapport de densité est redéfini à travers l'angle de Turner qui est indépendant du choix de l'orientation de l'axe vertical :

$$Tu = \text{atan} \left(\frac{\alpha \partial T / \partial z - \beta \partial S / \partial z}{\alpha \partial T / \partial z + \beta \partial S / \partial z} \right)$$

Les propriétés de stabilité de la stratification locale sont subdivisées en 4 régions (Ruddick, 1983), correspondant respectivement à la stabilité, à l'instabilité gravitationnelle, à l'instabilité diffusive et aux doigts de sel. Dans le cas des doigts de sel, au contraire de l'instabilité de Kelvin-Helmholtz, aucune source d'énergie extérieure n'est nécessaire.

2.2 Mélange isopycnal

A la fois les processus de petite échelle et l'advection de grande échelle par les anomalies de densité contribuent au mélange isopycnal. A petite échelle, la turbulence due au déferlement des ondes est une source de mélange également le long des surfaces isopycnales, le long desquelles les différences thermohalines sont déplacées et entretenues. A plus grande échelle, les anomalies thermohalines intrusives à travers les fronts et les tourbillons peuvent être considérées comme des mouvements le long de surfaces isopycnes, qui renforcent les échanges latéraux. Les flux latéraux de densité génèrent des intrusions isopycnales à travers l'interface verticale entre les masses d'eau. Ces intrusions consistent en des couches homogènes superposées verticalement; cette structure s'appelle un feuilleteage. Des couches chaudes et salées alternent avec des couches douces et froides, et maintiennent les gradients de densité responsables des mouvements intrusifs. Les longueurs d'onde verticales de ces intrusions s'échelonnent entre quelques dizaines et une centaine de mètres. Chaque interface horizontale présente une structure double-diffusive.

Joyce (1977) a calculé une diffusivité latérale de grande échelle équivalente à la diffusivité de toutes les intrusions de moyenne échelle :

$$K_h(\phi) = K_v^*(\phi) (\partial \phi^* / \partial z)^2 / (\partial \phi / \partial y)^2$$

où $\phi = T, S$, toutes les quantités surlignées correspondent à des variables de grande échelle, et les étoiles désignent des variables de moyenne échelle. Les effets des mouvements à plus petite échelle (double diffusion) sont paramétrés par une diffusivité verticale K_v^* . Au contraire du mélange diapycnal, les modèles isopycnaux s'occupent essentiellement de diffusivités globales associées à des structures de taille finie. Les calculs directs de diffusivité isopycnale peuvent aussi être effectués à partir des données à l'aide d'une simple équation d'advection-diffusion.

3 Mélange dans l'écoulement d'eau méditerranéenne

Une inspection approfondie des profils de température et de salinité obtenus pendant Semane révèle plusieurs caractéristiques essentielles, comme de forts gradients dans de fines interfaces, des inversions de gradients du coeur de l'écoulement à sa périphérie, et des marches d'escalier. Chaque structure est associée à un processus de mélange que nous allons décrire ci-après.

3.1 Instabilités de Kelvin-Helmholtz

Près du détroit de Gibraltar, chaque profil de température et de salinité montre de forts gradients dans de fines interfaces situées au dessus des veines d'EM. A la station 214 (Fig.2), la variation de salinité est de 1,4 psu sur 170 m (ou 0,008 psu/m). Le long du talus ibérique, à la station 021 plus à l'ouest, l'anomalie représente 0,6 psu sur 40 m (ou 0,015 psu/m). Ces anomalies correspondent à la stratification maximum observée à l'interface supérieure de l'EM, dans la partie orientale du golfe de Cadix. Ces anomalies ainsi que les pics de stratification décroissent vers l'ouest alors que l'épaisseur de l'interface en salinité s'accroît. A cette interface supérieure, un fort cisaillement vertical de vitesse horizontale est observée ; en effet, l'EM s'écoule hors du détroit alors que l'eau centrale nord-Atlantique (ci-après ECNA) se dirige vers lui. Ce cisaillement est une condition nécessaire à l'instabilité de Kelvin-Helmholtz (voir sous-section 2.1).

A la station 239 sur la section Cadix-4 (à 7° 30' W), la fréquence de Brunt-Vaisala $N = \sqrt{-g/\rho \partial\rho/\partial z}$ et le nombre de Richardson Ri ont été calculés en utilisant les mesures XCTD et LAD (Fig.3). Nous notons d'abord que l'interface supérieure s'étend verticalement entre 750 et 925 m, que le maximum de vitesse est situé à 900 m, au dessus des maxima de température et de salinité à 1050 m. Trois valeurs minimales, $Ri = 0.97, 1.25$ et 1.1 , sont trouvées à 820, 915 et 975 m, au dessus des veines d'EM. Ils s'expliquent tous par des minima relatifs de la fréquence de Brunt-Vaisala, qui coïncident avec des maxima relatifs de cisaillement de vitesse aux mêmes profondeurs. Deux autres minima de fréquence de Brunt-Vaisala sont observés à 800 et 900 m, mais ne coïncident pas avec des maxima de cisaillement de vitesse ; ils ne conduisent donc pas à des minima de Ri . D'autres calculs de Ri ont été effectués au sud et à l'ouest de la station 239 ; aucun n'a montré de valeurs proches de la criticalité ($Ri \approx 0.25$), même dans le canyon de Portimao où l'EM est fortement accélérée.

Des valeurs de Ri associées à l'instabilité ont été trouvées seulement dans la partie orientale du golfe de Cadix (à l'est de 7° W) pendant la campagne Gulf of Cadiz Experiment. Comme O'Neil-Baringer (1994) le remarque, seules les interfaces fortement cisillées au

dessus de l'EM à cet endroit peuvent déclencher l'instabilité de Kelvin-Helmholtz. Dans cette zone, aucun autre processus de mélange, tel que la double diffusion ou les intrusions latérales, n'a été observé. Nous en concluons que l'instabilité de Kelvin-Helmholtz à la sortie du détroit et l'entraînement à travers les interfaces cisillées de l'EM sont les processus essentiels de mélange de l'EM avec l'ECNA dans la partie orientale du golfe de Cadix.

Une fois que les deux veines d'EM se sont dissociées sur la verticale (entre 7° 30' W et 7° 45' W), les profils de température et de salinité le long du flanc sud des veines révèlent de nombreuses inversions. Celles-ci peuvent résulter de mélange latéral que nous présentons maintenant.

3.2 Intrusions latérales entre les veines d'EM et l'ECNA

La figure 4 montre les diagrammes θ -S à l'interface externe des veines d'EM (au contact de l'ECNA), du détroit de Gibraltar au sud du plateau du Tage. A l'est de 7° 30' W dans le golfe de Cadix, les masses d'eau sont bien définies et sont reliées par des droites de mélange rectilignes à chaque immersion. A l'ouest de cette longitude, des droites de mélanges irrégulières dénotent des intrusions latérales entre l'EM supérieure et l'ECNA. Plus en aval, la veine d'EM inférieure est également affectée par ces intrusions. L'observation de droites de mélange perturbées a aussi été utilisée par Danialt et al. (1994) pour diagnostiquer le mélange latéral dans les données de la campagne Bord-Est. En calculant la variance de la salinité, ils conclurent que le feuilletage se produisait principalement au voisinage du cap Saint-Vincent (avec des longueurs d'onde de 60 m pour la veine d'EM supérieure) et au sud du plateau du Tage. L'analyse spectrale est donc un outil efficace de diagnostic d'intrusions latérales.

La figure 5 présente des analyses spectrales de température le long de la section Cadix-12, orientée vers le sud-ouest à partir du cap Saint-Vincent (voir Fig.2). Les deux premières stations (324 et 323) sont situées sur le plateau et ne présentent pas de variabilité à courte longueur d'onde. A la station 322 plus au large, des intrusions de hauteur égale à 70 à 100 m affectent la veine d'EM supérieure. A la station 318, les deux veines sont maintenant affectées par ces intrusions, mais la veine inférieure montre également des perturbations de longueur d'onde 60 m. La station 317 est située entre les veines d'EM sur le talus et un long filament d'EM qui s'étend au large parallèlement à la côte (voir l'article de référence). Dans ce creux, la signature de l'EM est beaucoup plus faible (ceci est confirmé par des profils verticaux de température et de salinité non présentés ici). Cette partie est donc moins affectée par les intrusions latérales. Le feuilletage de courte longueur d'onde est à nouveau observé aux stations 316 et 315 dans le filament et décroît au-delà (à la station 314).

Section	Station	Longueur d'onde	Largeur des veines d'EM	Taille des intrusions
Cadiz-4	241	150 m	109 km	1-2 km
Cadiz-6	256	50 m	41 km	30 km
Cadiz-9	295	50 m	27 km	25 km

Tableau 1. Caractéristiques des intrusions latérales dans les veines d'EM. La largeur des veines est calculée à partir de la latitude 36°40' N et la taille des intrusions à partir de l'isohaline 36 psu.

Ces observations près du cap Saint-Vincent contrastent avec les autres sections : les longueurs d'onde les plus courtes (40 m) sont atteintes sur la section Cadix-12 ; sur la section Tage-12, contrairement aux autres sections, les intrusions semblent affecter plutôt la partie supérieure de la veine inférieure d'EM (près du pic intermédiaire d'EM à 1100 m, voir l'article de référence). Sur les sections Tage-4 et 5, les longueurs d'onde ont à nouveau cru jusque 100 m, et les intrusions disparaissent même à la station 364. Le tableau 1 présente les caractéristiques des veines d'EM et des intrusions des sections Cadix-4 à 9 (de 7° 30' W à 9° W). Nous observons que la largeur des veines d'EM et que la longueur d'onde des intrusions décroît en aval, alors que leur longueur de pénétration s'accroît rapidement, puis plafonne. Mais le rapport de la largeur de la veine à la longueur de pénétration des intrusions décroît encore. Nous en concluons que le feuilletage affecte les veines d'EM plus profondément vers l'aval.

Aux sections Cadix-8 en aval du canyon de Portimao, et Tage-4 et 5 près desquelles une formation de meddy a été observée, les intrusions latérales semblent sévèrement réduites par l'accélération des veines d'EM. Des instabilités de grande échelle semblent donc défavorables aux intrusions de moyenne échelle. Nous devons aussi noter que le mélange vertical de petite échelle accompagne souvent les intrusions latérales. Ce mélange vertical peut provenir de la double diffusion.

3.3 La double-diffusion

Un mélange vertical de petite échelle a lieu sur les interfaces horizontales des intrusions latérales et en dessous des veines d'EM. Quoique la structure fine et la microstructure ne soit pas directement observables sur ces intrusions, l'activité double-diffusive résulte en des structures de grande échelle, comme des couches homogènes épaisses de plusieurs dizaines de mètres séparées par de fines interfaces (de quelques mètres). Cette structure particulière en température et salinité, également observée sous les veines d'EM (Daniault et al., 1994), est appelée un escalier thermohalin.

La figure 6 présente l'ensemble des stations où des escaliers thermohalins ont été observés, et quelques stations où l'angle de Turner était supérieur à 81°, correspondant à de la double-diffusion accompagnée de

doigts de sel. Selon Daniault et al. (1994), la valeur critique pour une intense formation de doigts de sel est $R\rho < 1.2$ ou $Tu > 85^\circ$. En effet, à chaque station où Tu était inférieur à 81°, les escaliers thermohalins n'étaient pas observables ou étaient peu clairs. Toutes les stations sur la Fig.6 sont regroupées au sud du cap Saint-Vincent, et correspondent à celles de la Fig.18 de Daniault et al. (1994) ; ces auteurs mentionnent également le sud-ouest du plateau du Tage comme site favorable à la double-diffusion. Nous nous rappelons que ces deux emplacements correspondent aux lieux de formation et de détachement de meddies et de filaments. En fait, les mesures hydrologiques réalisées à 12 jours d'intervalle aux stations 290, 318 et 333 montrent que les escaliers thermohalins observés originellement à ces endroits ont pratiquement disparu ou ont été lissés (Fig.7). Ceci est probablement associé au mouvement du filament d'EM. Les escaliers thermohalins semblent donc favorisés pendant un court moment après le passage d'évènements turbulents.

Comme mentionné précédemment, la double diffusion accompagne souvent les intrusions latérales. Plusieurs stations le long des sections Cadix-9, 12 et Tage-12, 4 et 5 montrent du mélange par double diffusion. Le profil vertical de l'angle de Turner à la station 256 montre une alternance d'interfaces diffusives et de doigts de sel selon la profondeur (Fig.8). Cette forme de mélange diapycnal agit donc ainsi au sein des veines d'EM. En dessous de ces veines, la double diffusion est présente avec $R\rho = 1,38$ ($Tu = 81^\circ$). Cette valeur est proche de celle de 1,3 trouvée par Daniault et al. (1994) entre les veines d'EM et l'eau de la mer du Labrador.

En conclusion, la double-diffusion est responsable du mélange diapycnal sous les veines d'EM et sous les meddies (voir Tychensky, 1994). Les instabilités produisant des filaments ou des meddies dispersent ainsi l'EM et favorisent les escaliers thermohalins. Au contraire, dans les veines, le mélange diapycnal double diffusif est contrôlé par les intrusions isopycnales.

4 Diffusivités et calculs de flux

Les mélanges isopycnaux et diapycnaux génèrent des flux de chaleur et de sel ; pour l'instabilité de Kelvin-Helmholtz et la double diffusion, ces flux sont généralement paramétrés par une diffusivité turbulente constante dans chaque direction. Ces coefficients sont choisis pour équilibrer la production turbulente avec les gradients moyens de température, de sel et de quantité de mouvement. Toutes les observations de flux sont

déduites des mesures de ε et χ , où ε est le taux de dissipation d'énergie cinétique turbulente, et χ est le taux de dissipation de la variance de la température. Pour calculer les diffusivités, on utilise ensuite des modèles basés sur la méthode dissipative en supposant que les fluctuations scalaires sont produites par des mouvements convectifs (Gregg, 1987). Une autre méthode repose sur des mesures de la microstructure en température, et conduit à une formulation en nombre de Cox (Osborne et Cox, 1972).

Ces modèles ne sont pas valables pour les intrusions thermohalines, où les mouvements latéraux, plutôt que convectifs, produisent les fluctuations de température. Joyce (1977) a mis au point un modèle diagnostique pour estimer les échanges de chaleur et de sel à travers les fronts. A l'aide de ce modèle, nous calculons les diffusivités horizontales avec les données de Semane pour cartographier l'évolution du mélange latéral le long du trajet des veines d'EM, et pour corrélérer ce mélange avec les événements dynamiques décrits dans l'article de référence. La figure 9 montre les valeurs de la diffusivité horizontale de la température pour les deux veines d'EM. Les plus grandes valeurs sont trouvées au sud-ouest et au nord du cap Saint-Vincent pour les deux veines ; elle atteignent 400 m²/s pour la veine supérieure et seulement 60 m²/s pour la veine inférieure, en utilisant une valeur habituelle de $K_v^* = 10^{-4}$ m²/s. En effet, la veine supérieure étant plus chaude que la veine inférieure peut échanger plus de chaleur avec l'ECNA.

La diffusion isopycnale croît des sections Cadix-4 à Cadix-6 et son maximum se rapproche du talus lorsque les veines rétrécissent (au voisinage du canyon de Portimao) ; le long des sections Cadix-7 et 8, aucune intrusion n'est observée, et donc la diffusivité horizontale est faible. Ensuite, la diffusivité est renforcée au passage du cap Saint-Vincent par le renflement des veines, qui induit une dispersion de l'EM vers l'ouest. En fait, cet effet est encore plus prononcé pour la veine inférieure, qui est plus détachée et éloignée de la côte (Fig.10). Au sud du plateau du Tage, où les meddies se forment, les intrusions et la diffusivité horizontale décroissent.

5 Conclusions

Cette courte analyse a montré une forte variabilité géographique du mélange le long des veines d'EM ; cette variabilité est liée à la fois au type de processus

physique responsable du mélange et à son intensité. Ces mécanismes de mélange et leur efficacité dépendent fortement de la dynamique locale des veines. Dans la partie orientale du golfe de Cadix, le mélange diapycnal domine, engendré par l'instabilité de Kelvin-Helmholtz. Malheureusement, les données de Semane n'ont pas été suffisantes pour mettre en évidence ce processus, et nous avons dû nous appuyer sur des observations antérieures (de la Gulf of Cadiz Experiment, O'Neil-Baringer, 1994). Plus à l'ouest, des intrusions latérales entre l'EM et l'ECNA ont lieu. Elles induisent un mélange isopycnal des propriétés scalaires (température, salinité) ; on a montré que la diffusivité horizontale associée à ce processus était maximum pour la veine supérieure près du cap Saint-Vincent. Associée à ces intrusions, la double diffusion crée du mélange diapycnal dans les veines d'EM. Ces intrusions de moyenne échelle semblent inhibées par des instabilités de grande échelle. La double diffusion forme aussi des escaliers thermohalins sous les veines d'EM. Ce phénomène est le plus marqué au sud du cap Saint-Vincent où se forment souvent les meddies. Ces instabilités dispersent l'EM et favorisent la formation des escaliers.

Les diffusivités verticales n'ont pas été estimées à partir des données de Semane par suite d'une résolution insuffisante, et plus particulièrement en l'absence de mesures de taux de dissipation d'énergie cinétique. De telles mesures sont prévues pour la prochaine campagne Semane en juin 97. Des sections hydrologiques et des mesures de vitesses répétitives et à plus haute résolution spatiale devraient permettre une meilleure corrélation des processus de mélange avec la variabilité dynamique. En particulier, nous voudrions repérer la formation d'un meddy dans un canyon, pour corrélérer le mécanisme de mélange prédominant associé à cette instabilité, et pour évaluer son amplitude. En retour, le mélange diapycnal altère la distribution de densité et donc de vorticité potentielle à travers l'écoulement d'EM. Ceci pourrait résulter en une modification de l'instabilité (Morel, comm. pers.).

Remerciements

L'auteur remercie les Dr Yves Morel, Jérôme Paillet et Xavier Carton pour leur aide lors de la rédaction du manuscrit. L'équipe Semane remercie le Commandant et l'équipage du BO *D'Entrecasteaux* pour leur contribution essentielle au recueil des mesures. Le traitement et l'analyse préliminaire des données a été réalisé par CMO/CM, MM. Rodolphe Rousselet et Alain Coat. Ce travail a reçu un financement spécial du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine).

Références

- Chérubin, L., Serpette, A., Carton, X., Paillet, J., Connan, O., Morin, P., Rousselet, R., Le Cann, B., Le Corre, P., Labasque, T., Corman, D. & N. Poete, 1997 : Analyse descriptive de l'hydrologie et des courants sur le talus ibérique de Gibraltar au Cap Finistère : résultats préliminaires des campagnes Semane et Interafos. *Annales Hydrographiques*, ce volume.
- Daniault, N., Mazé, J.P. & M. Arhan, 1994 : Circulation and mixing of Mediterranean water west of the Iberian peninsula. *Deep-Sea Res.*, 1, **41**, 1685-1714.
- Gregg, M.C., 1987 : Diapycnal mixing in the thermocline : a review. *J. Geophys. Res.*, **92**, C5, 5249-5286.
- Joyce, T.M., 1977 : A note on the lateral mixing of water masses. *J. Phys. Oceanogr.*, **7**, 626-629.
- Miles, J.W., 1961 : On the stability of heterogeneous shear flows. *J. Fluid Mech.*, **10**, 496-508.
- O'Neil Baringer, M., 1994 : Mixing in the Mediterranean outflow. *PhD Thesis*, MIT-WHOI, **WHOI-93-52**, 240 pp., Woods Hole, Mass., USA.
- Osborne, T.R. & C.S. Cox, 1972 : Oceanic fine structure. *Geophys. Fluid Dyn.*, **3**, 321-345.
- Ruddick, B., 1983 : A practical indicator of the stability of the water column to double-diffusive activity. *Deep-Sea Res.*, **30**, 10A, 1105-1107.
- Stern, M.E., 1975 : *Ocean Circulation Physics*. International Geophysics Series, **19**, Academic Press, 215 pp.
- Tychensky, A., 1994 : Traitement et analyse des données de la campagne Semaphore : caractérisation hydrologique et dynamique des meddies observés. *Rapport de stage de DEA*, Univ. Paul Sabatier, Toulouse, France.

BILAN DE L'ÉVALUATION DES POSSIBILITÉS DE LA PHOTOBATHYMÉTRIE

RÉSUMÉ

Les possibilités offertes par l'exploitation photogrammétrique de prises de vues aériennes pour la détermination de la bathymétrie ont été étudiées au SHOM depuis les années 1980, sur près d'une dizaine de cas. Les résultats obtenus ne permettent pas

d'envisager une exploitation avec une précision hydrographique, mais montrent que la photobathymétrie peut être une aide de grande qualité pour la préparation de levés hydrographiques classiques, ou lorsqu'il n'existe pas d'information de meilleure qualité.

ABSTRACT

The possibilities of the photogrammetric exploitation of aerial photography for bathymetry have been studied by the SHOM since the early eighties, with nearly ten cases. The results which were obtained dont allow to

consider an exploitation with hydrographic quality, but show the interest of the method for the preparation of an hydrographic survey, and for the case there is no better information.

INTRODUCTION

La photogrammétrie, par l'exploitation stéréoscopique de couples de photographies, permet la restitution, en trois dimensions, de l'objet photographié. Cet objet, au SHOM, est la surface terrestre, et sont concernées plus particulièrement les zones littorales. Par comparaison aux méthodes classiques de topographie, la photogrammétrie permet un gain de temps considérable. Son application se limite généralement à l'estran et à ses bordures terrestres et maritimes. Puisque la détermination de l'altitude de tout point est

théoriquement mesurable, il peut paraître intéressant de l'appliquer aux points immergés, et de déterminer par conséquent la bathymétrie par photogrammétrie : on parle alors de photobathymétrie. Cet article évoque les fortes contraintes imposées par cette technique et leurs applications dans les diverses exploitations photobathymétriques réalisées par le SHOM depuis le début des années 1980, présente les résultats obtenus et conclut sur les applications possibles.

1. Les contraintes de la photobathymétrie

La qualité d'une restitution photobathymétrique dépend des photographies utilisées et des modalités de restitution.

La matière première d'une restitution est constituée du lot de photographies aériennes assurant la couverture de la zone à traiter. Elle doit être d'une qualité en rapport avec le résultat attendu, et doit donc satisfaire, en plus des contraintes classiques imposées par une exploitation topographique, à des exigences supplémentaires spécifiques.

1.1. La caméra

Les caméras métriques présentent des distorsions faibles et connues par calibration. Ces distorsions

peuvent être intégrées comme paramètres lors d'une exploitation photogrammétrique sur restituteur analytique. Ce premier type de caméra équipe les avions spécialisés en prises de vues aériennes à des fins photogrammétriques.

Les caméras non métriques présentent des distorsions parfois importantes et souvent très préjudiciables à l'exploitation photogrammétrique. Une prise de vue réalisée par caméra OMERA sur les îles de Glénan s'est ainsi très vite révélée inexploitable.

Plusieurs distances focales sont utilisées par les caméras métriques. Elles sont généralement proches de 90, 150 ou 210 mm. La distance focale de 150 mm est la plus généralement employée, et celle de 210 mm, trop grande, ne permet pas une géométrie des rayons perspectifs compatible avec la photobathymétrie.

Les caractéristiques des caméras utilisées pour les prises de vues exploitées en photobathymétrie sont les suivantes :

Levé	Caméra	Focale
Bouches de Bonifacio	Métrique RC10	150 mm
Iles de Lérins	Métrique RC10	150 mm
Iles Chausey	Métrique RC10	150 mm
Iles de Glénan	Métrique RC10	150 mm
Ile Lifou	Métrique RC10	150 mm
Anse de Paimpol	Métrique RC10	150 mm
Ilot Te Ndu	Métrique UAG 411	151,927 mm
Ilot Amédée	Métrique Wild	152,54 mm

1.2. L'échelle et l'émulsion des photographies

Les précisions planimétrique et altimétrique de la restitution dépendent notamment de la qualité du calage géographique et du pointé du restituteur. Les points de calage, mais aussi les objets restitués, seront positionnés sur les photographies d'autant plus facilement qu'ils seront visibles. La perception des objets de petite taille est fonction de l'émulsion utilisée (grain, nuances de couleurs) et bien évidemment de l'échelle des photographies.

L'échelle utilisée généralement en photogrammétrie est le 1/20000, pour une rédaction au 1/10000. Les précisions planimétrique et altimétrique sont de l'ordre du mètre dans les zones bien dotées en points de calage. C'est par exemple le cas au voisinage du trait de côte, où la précision altimétrique peut même être améliorée par prise en compte de l'altitude du plan d'eau (en supposant qu'elle soit bien connue). Pour qu'une restitution photobathymétrique puisse satisfaire aux normes hydrographiques (précision verticale inférieure à 0,3 m jusqu'aux profondeurs de 30 m) il convient donc d'accroître l'échelle de prise de vue. En contrepartie, dans les zones où la densité des points d'appui est faible, et c'est souvent le cas en zone littorale, il devient alors difficile de trouver des points de calage sur les photographies à grande échelle. Une

solution peut consister à réaliser deux prises de vues, à petite et grande échelle, la première permettant de déterminer des points de calage, la seconde utilisée pour la restitution. La surcharge occasionnée par l'utilisation de grandes échelles est un élément à prendre en compte dans l'évaluation de l'intérêt de la méthode.

Les émulsions photographiques généralement utilisées pour les levés aériens sont les suivantes :

- émulsions panchromatiques : d'un coût modéré et d'un emploi facile, elles permettent des pointés très précis. Leur exploitation photobathymétrique est par contre peu intéressante, la palette des gris s'avérant insuffisante pour une bonne interprétation dans les zones homogènes.

- émulsions couleurs : d'un coût plus élevé que les émulsions panchromatiques, elles sont, grâce à leur qualité de pénétration dans l'eau, bien adaptées à la photobathymétrie. La diversité des nuances permet une bonne différenciation des caractéristiques des fonds. Par contre, il est parfois difficile, par eau très claire, de déterminer avec précision la limite du plan d'eau.

- émulsions infrarouges : ces émulsions, à mauvaise pénétrabilité sous l'eau, peuvent être un complément aux émulsions couleurs, car elles permettent une détermination plus facile de la limite du plan d'eau. Leur coût est élevé.

Levé	Échelle	Émulsion photographique
Bouches de Bonifacio	1/14000	Panchromatique
Iles de Lérins	1/14500	Panchromatique
Iles Chausey	1/10000	Couleur et infrarouge couleur
Iles de Glénan	1/20000	Panchromatique
Ile Lifou	1/10000	Couleur
Anse de Paimpol	1/20000	Couleur
Ilot Te Ndu	1/5000 et 1/2000	Couleur
Ilot Amédée	1/5000	Couleur

1.3. Observation de la marée

La qualité du calage altimétrique repose en grande partie sur des points délimitant le plan d'eau. La connaissance de leur cote doit donc être la plus précise possible. Il est alors intéressant d'observer la marée pendant les prises de vues.

Les levés spécifiques à une exploitation bathymétrique ont donc été dans la mesure du possible accompagnés d'observations in situ de la marée :

Levé	Marée
Bouches de Bonifacio	Prédite
Iles de Lérins	Prédite
Iles Chausey	Prédite
Iles de Glénan	Prédite
Ile Lifou	Prédite
Anse de Paimpol	Observée
Ilot Te Ndu	Observée
Ilot Amédée	Observée

1.4. Conditions environnementales

Les reflets créés par le soleil sur les photographies rendent leur exploitation impossible. Pour minimiser la surface de ces zones de reflets, il est nécessaire de procéder aux prises de vue avec une hauteur du soleil peu importante (inférieure à 35 degrés) mais suffisante (supérieure à 10 degrés) pour permettre un éclairage satisfaisant des fonds. S'il n'est pas possible d'opérer dans ces conditions (contraintes liées à la marée, aux conditions météorologiques...), le recouvrement entre photographies devra alors être augmenté suffisamment pour pouvoir s'affranchir de la perte de surface exploitable liée à la présence des reflets.

Les conditions météorologiques influent sur toute prise de vue aérienne : les ondes (domaine du visible) du capteur ne pénétrant pas les nuages, la nébulosité devra être nulle (ou au moins faible) sous l'altitude de vol du porteur. Dans le cas de la photobathymétrie, l'état de la mer devra également être considéré. En effet, par mer agitée, les perturbations de la surface peuvent interdire la restitution des fonds ou réduire significativement la précision. De plus, la surface des zones de reflets est augmentée lorsque le plan d'eau est agité.

La clarté de l'eau est déterminante pour l'exploitation bathymétrique des photographies aériennes. Elle peut

être perturbée par la présence de végétation (algues vertes) ou d'organismes, par des rejets sédimentaires de fleuves... Ces phénomènes doivent être pris en compte et peuvent guider la réalisation du levé (choix d'époques favorables...).

1.5. Restitution des modèles stéréoscopiques

La disponibilité d'un lot de photographies aériennes satisfaisant aux exigences énoncées doit être accompagnée d'une restitution adaptée pour espérer réaliser une exploitation bathymétrique.

Une première difficulté provient de la réfraction des rayons à l'interface air-mer. La convergence des rayons n'opère plus sous l'eau puisque les rayons optiques sont déviés lors du passage de l'interface. Le problème est pris en compte sur les restituteurs analytiques dotés d'une fonction effectuant la correction liée à la réfraction pour tous les pointés situés sous le niveau de la mer.

D'autre part, la densité de points de calage émergés influe fortement sur les résultats obtenus. Par définition même des zones d'intérêt de la photobathymétrie, cette densité est le plus souvent faible, et les points sont généralement répartis de façon non uniforme. Les points de calage altimétrique, appartenant quasi-exclusivement à la limite du plan d'eau, peuvent ainsi se retrouver

alignés dans le cas d'une côte rectiligne. En l'absence d'informations complémentaires, la validité des modèles ne peut être assurée qu'au voisinage des points de calage. Plusieurs solutions sont alors envisageables :

- utilisation de points de calage immergés : cette technique nécessite de pouvoir identifier précisément des éléments du fond et de connaître leur profondeur. Une bathymétrie minimale est donc indispensable et cette technique s'applique difficilement aux fonds sans relèvement caractéristique.

- mouillage de bouées : la mise en place de bouées sur la zone photographiée permet de disposer d'un nombre plus élevé de points de calage altimétrique, avec une répartition beaucoup plus uniforme. D'une mise en oeuvre assez lourde (disponibilité d'une embarcation), elle est inadaptée aux levés de grande étendue.

- localisation de l'aéronef : les progrès en moyens de positionnement réalisés au cours de ces dernières années permettent désormais de positionner l'aéronef, et donc le centre de la prise de vue, avec une précision plus que suffisante compte tenu de la résolution de la restitution. Par exemple, un récepteur GPS embarqué connecté à la caméra et utilisé en mode cinématique conjointement avec un deuxième récepteur en station sur un point connu permet ainsi d'atteindre une précision du positionnement de quelques centimètres. La connaissance des positions des centres de prises de vues permet ainsi d'améliorer le calage tant altimétrique que planimétrique.

Le pointé du plan d'eau est parfois difficile avec des photographies panchromatiques, car l'opérateur a parfois tendance à surévaluer dans ce cas la cote du plan d'eau en se calant sur la limite de la zone humide correspondant à une variation de teinte. Ce problème se trouve pratiquement résolu avec des photographies

couleurs (sauf cas particuliers comme les surfaces très lumineuses telles que le sable blanc...) et disparaît totalement avec l'infrarouge couleur.

Le pointé stéréoscopique de la surface sous-marine est quant à lui très dépendant de la nature du fond. En effet, la réponse stéréoscopique du sable et des herbiers est beaucoup moins nette que celle de surfaces plus irrégulières comme la roche ou le corail. Les opérateurs ont alors tendance à surestimer la profondeur en pointant trop profondément.

2. Résultats des photogrammétries réalisées au SHOM

Les prises de vues décrites ci-dessus ont le plus souvent été réalisées spécifiquement pour étudier la photobathymétrie. Une restitution supplémentaire d'Ouvéa a par ailleurs été réalisée mais ne sera pas reprise ici : la mauvaise qualité des résultats obtenus a été attribuée à l'échelle des photographies (1/40000) et à la distribution linéaire des points de calage en altitude.

Toutes les restitutions ont été réalisées sur Traster, sauf celle de l'îlot Amédée qui fut traitée sur Planicomp, ces deux restituteurs étant analytiques. Certaines isobathes et les profondeurs estimées de certains points particuliers ont été restituées.

Les résultats obtenus ont été comparés aux sondages réalisés par les missions, et entre eux lorsque plusieurs restitutions ont été réalisées.

2.1. Hauteurs d'eau maximales restituées

Le tableau suivant présente les hauteurs d'eau maximales traitées lors de chacune des restitutions :

Levé	Hauteur d'eau maximale
Bouches de Bonifacio	12 m
Iles de Lérins	5 m
Iles Chausey	4 m
Iles de Glénan	5 m
Ile Lifou	20 m
Anse de Paimpol	7 m
Ilot Te Ndu	9 m
Ilot Amédée	10 m

Il est donc possible, sous réserve d'une grande clarté de l'eau, d'effectuer des restitutions jusqu'à des profondeurs d'une vingtaine de mètres. Indépendamment de la précision de la profondeur obtenue, la méthode peut au moins servir à la détection d'obstructions difficilement repérables par d'autres moyens qu'une investigation totale du fond.

2.2. Comparaison par rapport aux bathymétries de référence.

Chaque restitution a été comparée aux levés bathymétriques réalisés par sondage. Le long de chaque isobathe, sa valeur a été comparée à celle du fond interpolée à partir des sondes de référence.

Les résultats sont les suivants :

Levé	Comparaison des isobathes
Bouches de Bonifacio	Satisfaisant sur fond rocheux. Surestimation systématique de 1 à 2 m des profondeurs sur fond de sable, par fonds de 5 à 10 mètres, avec quelques biais plus importants.
Iles de Lérins	Des surestimations atteignant 2 m.
Iles Chausey	Satisfaisant jusqu'à 2 m, puis surestimation pouvant atteindre 2 m au-delà.
Iles de Glénan	Ecarts inférieurs à 0,5 m atteignant localement 1 m (surestimation).
Ile Lifou	Ecarts inférieurs à 0,5 m (annexe 1).
Anse de Paimpol	Ecarts inférieurs à 1 m (annexe 2).
Ilot Te Ndu	Surestimation systématique de l'ordre de 0,5 m.
Ilot Amédée	Surestimation moyenne de 0,5 m dans les fonds faibles, diminuant jusqu'à 0 m par profondeur de 9 m.

Il apparaît donc que les critères de précision hydrographique n'ont jamais été réalisés. Une surestimation moyenne des profondeurs est observée assez fréquemment alors qu'il n'y a jamais de sous-estimation moyenne. La photobathymétrie ne semble donc pas adaptée pour la détermination d'un seuil de profondeur. Par contre, la valeur relative des profondeurs obtenues permet de mettre efficacement en évidence l'existence de passages plus profonds et donc plus favorables à la navigation (passes, chenaux...).

Les résultats présentés sont des moyennes et ne doivent pas faire oublier les grandes disparités rencontrées.

L'influence de la nature du fond a été souvent évoquée, les résultats les moins bons ayant été obtenus par fonds uniformes (sable) ou mal définis (herbiers, fonds turbides par mise en suspension de sable ou de vase). Trois restitutions sur les quatre effectuées sur l'îlot Amédée montrent, par une profondeur de 7 mètres, un creux assez important n'existant pas sur la bathymétrie de référence et pouvant s'expliquer par la présence d'une zone sombre de nature indéterminée (corail, herbiers ?).

L'influence de la pente se traduit difficilement :

- par fond plat et uniforme, l'opérateur, qui suit l'isobathe par tâtonnements successifs (il oscille en permanence entre des fonds supérieurs et inférieurs et corrige constamment pour rester à la bonne profondeur), peut dériver sur de grandes distances avant de réaliser qu'il se dirige vers des fonds trop importants ou trop faibles ;

- lorsque la pente est importante, le tracé de l'isobathe est plus facile mais le levé hydrographique a souvent tendance à représenter l'enveloppe du fond plutôt que sa réalité, ce qui induit des décalages entre les deux représentations.

D'autres hypothèses peuvent aider à expliquer la qualité des résultats obtenus :

- déformation altimétrique locale du modèle stéréoscopique : le calage, correct au voisinage des points d'altitude connue, est moins bon dès que l'on s'en éloigne ;

- la qualité du modèle de réfraction air-mer est difficilement estimable puisque l'erreur introduite ne peut être isolée du bilan global d'erreur ; à défaut d'évaluer sa précision, son utilité a été clairement démontrée au cours de quelques tentatives effectuées sans modèle ;

- défauts de la référence : la rédaction des minutes de bathymétrie s'effectue avec un souci de sécurité de la navigation et peut amener à sous-évaluer les fonds moyens en privilégiant la description des remontées. Cette hypothèse n'est cependant pas justifiée dans le cas de certains levés (îlot Amédée...), où il existe des zones de fonds très peu perturbés.

Lors de certaines restitutions, des points particuliers déjà cotés par topographie ont été cotés par photobathymétrie :

Levé	Comparaison des cotes ponctuelles
Bouches de Bonifacio Ile Lifou	Moyenne des différences inférieure à 0,5 m, jusqu'à plus de 5 m de profondeur. Ecart moyen de 0,1 m, avec un écart-type de 0,3 m.

La qualité des résultats obtenus, bien que basés sur un nombre réduit de cas, semble meilleure. Le pointé stéréoscopique sur les objets cotés est probablement meilleur car ce sont généralement des roches et des pâtés coralliens, structures isolées présentant un relief important par rapport aux fonds avoisinants.

2.3. Comparaisons entre restitutions.

Les photographies des îlots Te Ndu et Amédée ont fait l'objet de plusieurs restitutions photogrammétriques. Celles-ci ont été comparées entre elles.

2.3.1. Ilot Te Ndu

Trois restitutions ont été réalisées, une à partir des photographies à l'échelle 1/2000, les deux autres à partir de deux bandes au 1/5000, pour une même échelle de restitution au 1/500. Il est apparu que les clichés au 1/2000 n'offraient pas un confort de restitution supérieur à ceux au 1/5 000.

Les résultats des trois restitutions sont assez cohérents entre eux, avec des écarts moyens allant de 0 m près du rivage à un demi-mètre vers les plus grandes profondeurs, pour des écarts-types de l'ordre de 0,5 m. L'annexe 3 présente la superposition des trois restitutions et des isobathes 3, 3,5 et 4 m de la référence.

Ces écarts s'expliquent par l'incertitude sur le calage altimétrique des clichés, différant entre modèles en fonction de la répartition des points d'appui, et par la difficulté de répétabilité du pointé stéréoscopique, qui varie en fonction de l'immersion, de la nature du fond et de la qualité des clichés.

2.3.2. Ilot Amédée

Quatre restitutions ont été réalisées sur l'îlot Amédée, par deux opérateurs exploitant chacun les mêmes deux bandes de clichés.

On observe une dispersion des résultats entre restitutions plus importante que lors de la restitution de l'îlot Te Ndu. Cette dispersion peut être imputable :

- à l'incertitude sur le calage altimétrique des modèles, due à la rareté, la mauvaise répartition et la nature même des points d'appui (bouées de mouillage...),

- au facteur humain lié à la difficulté de restituer une surface sous-marine : alors que sur la première bande les deux opérateurs sont globalement en accord pour l'isobathe 1 m (courbes A11 et A12 de l'annexe 4), leurs restitutions diffèrent fortement sur la deuxième bande (courbes A21 et A22 de l'annexe 4). Les écarts

apparaissent plus importants dans les faibles pentes, où l'opérateur a plus de mal à situer son pointé.

3. Conclusions

Les résultats obtenus au cours des restitutions photobathymétriques ont donc montré que les performances de cette technique sont fortement dépendantes de nombreux paramètres difficilement maîtrisables.

Il apparaît en premier lieu que, pour être exploitables pour de la bathymétrie, les prises de vues doivent être réalisées avec des conditions qu'il est souvent difficile de satisfaire en totalité. Mais, indépendamment de ces conditions, la restitution ne peut être correctement réalisée qu'avec une répartition de points d'appui de qualité et est donc plutôt adaptée aux zones peu uniformes (côte découpée, dangers émergés...). De nouvelles techniques comme le GPS cinématique permettent, par un positionnement très précis, l'amélioration des calages planimétriques et surtout altimétriques.

Les résultats obtenus ne permettent cependant pas d'espérer une précision hydrographique. La photobathymétrie ne peut donc se substituer aux méthodes classiques de levé employées par les hydrographes.

Cependant elle constitue une aide très utile dans la préparation d'un levé hydrographique, particulièrement dans les zones où les eaux sont claires. La restitution de photographies aériennes ne doit donc pas se limiter aux surfaces émergées mais être étendue, lorsque c'est possible et que cela présente un intérêt, à la description des fonds côtiers. Cette description peut être qualitative (identification d'obstructions, de chenaux...) mais aussi quantitative (détermination approximative d'isobathes ou cotation approchée de relèvements). Dans ce second cas, une vérification et un complètement devront être effectués in situ. Si cette opération de validation est impossible (bathymétrie d'une zone de plageage étrangère par exemple), la restitution bathymétrique ne pourra être utilisée qu'en pleine connaissance de ses limitations.

Références :

Rapport d'étude n°11/90 : « Restitution photogrammétrique des fonds faiblement immergés » par Alain Fourgassié et Gildas Cozian.

Rapport particulier n° 931 EPSHOM/CH/GG/NP du 07/09/92.

Rapport particulier n°117 EPSHOM/CH/GG/NP du 29/01/96.

PRODUCTION DE DOCUMENTS ET BASES DE DONNÉES HYDROGRAPHIQUES DU SHOM

par

Yves Le Franc

Ingénieur

Établissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

RÉSUMÉ

Engagé depuis de nombreuses années dans l'informatisation des travaux hydrographiques et de la production de la documentation nautique, le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) a entrepris la mise en place d'un Système d'Information Géographique (SIG).

Ce SIG a pour objectif de produire l'ensemble des documents utiles aux navigateurs à partir de bases de données numériques gérant toutes les données nécessaires.

Un des éléments constitutifs du SIG est le Poste Cartographique Interactif de 2^e génération (PCI2) en cours de mise en place dans le domaine cartographique.

Il s'agit d'un système permettant de produire aussi bien les cartes imprimées que les cartes électroniques de navigation.

ABSTRACT

The French naval hydrographic and oceanographic service (SHOM), which has been involved for many years in computerizing its hydrographic work and its production of nautical documents, has set up a geographic information system (GIS).

The purpose of this GIS is to produce all documents for use by navigators from digital databases which manage all necessary data.

One of the elements forming the GIS is the second generation interactive cartographic terminal (PCI2), which is being introduced to the mapping sector.

This system makes possible the production of both conventional charts and electronic navigation charts.

INTRODUCTION

Le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine - le SHOM - est le responsable national de l'information nautique : collecte, validation, traitement et diffusion des informations utiles aux navigateurs, civils ou militaires, professionnels ou plaisanciers.

Afin d'automatiser les traitements et sa production, le SHOM constitue et entretient différentes bases de données depuis une vingtaine d'années. Résolument engagé dans la production des bases de données pour

les systèmes de navigation ECDIS (Electronic Chart Display and Information System), le SHOM accroît son effort d'informatisation.

Cet effort se traduit par la mise en place du système de production des bases de données pour ECDIS ou ENC (Electronic Navigational Chart) et par le remplacement des autres systèmes de production des cartes imprimées.

LE SIG DU SHOM

Le SHOM développe un Système d'Information Géographique (SIG) regroupant les centres d'intérêt relatifs à l'hydrographie. Ce SIG est constitué d'un ensemble de bases de données thématiques impliquées dans différentes chaînes de production. Les bases de données sont réparties dans deux sous-ensembles du SIG, le SIG Hydro-océanographique (SIGH) et le SIG Maritime (SIGMA). Le SIGH et le SIGMA communiquent entre eux.

Le SIGH

Le SIGH accueille les informations sources réparties entre les Bases de Données Spécialisées (BDS) et la Base de Données Générale du SHOM (BDGS).

Les **BDS** ont été créées pour les sujets suivants :

- bathymétrie,
- photogrammétrie,
- marée-courants,
- sédimentologie,
- géophysique (gravimétrie, magnétisme),
- imagerie SPOT.

Les données gérées dans les BDS sont destinées à la réalisation de produits spécifiques et à la production de la cartographie marine.

La **BDGS**, quant à elle, centralise les informations relatives aux amers, aux épaves, au balisage, aux câbles sous-marins et aux zones réglementées.

Les informations très vivantes sont continûment tenues à jour par les spécialistes de chacun des thèmes. Ces spécialistes sont en relation permanente avec les organismes en charge de ces sujets (missions du SHOM, service des Phares et Balises, préfectures maritimes...).

Ces informations centralisées dans la BDGS ont la particularité de figurer sous différentes formes dans de nombreux documents nautiques (cartes, instructions nautiques, livres des feux, guides...).

Leur description dans la BDGS n'est pas typée pour les besoins d'un document particulier mais est l'image objective du monde réel.

Le grand avantage de cette description est qu'elle permet à la BDGS d'être utilisable dans l'élaboration d'un large éventail de produits actuels ou futurs (cartes, ENC, instructions nautiques...), tout en assurant la

cohérence des informations d'un produit à l'autre.

Par ailleurs, dans un avenir très proche, cette description permettra d'échanger des données sous forme numérique avec les organismes responsables des différents thèmes.

La BDGS est supportée par le SGBD ORACLE. Les informations sont mises à jour au moyen de grilles de saisie alphanumériques.

La nomenclature de cette base est le catalogue d'objets du format S-57 de l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI), complété par des attributs spécifiques à la gestion de ces données.

Il est prévu d'étendre progressivement la BDGS à d'autres thèmes (radiosignaux, prises de pilote...).

Le SIGMA

L'objectif de la mise en place du SIGMA est de rénover les moyens de production des différents documents nautiques.

Actuellement, seule la production cartographique est intégrée au SIGMA.

Le SIGMA comprend une base de données cartographiques (**BDSIGMA**) qui est l'image des cartes papier.

Cette base de données créée et enrichie depuis 1989 contient les informations complémentaires à celles de la BDGS et représentées sur les cartes marines (trait de côte, isobathes, sondes, natures de fonds) à l'exception de la toponymie et de la topographie.

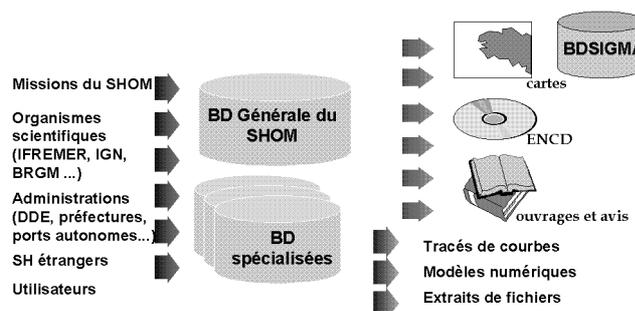
Ces données proviennent des fichiers graphiques des cartes réalisées par Dessin Assisté par Ordinateur à partir de 1989 et de la numérisation des cartes plus anciennes.

Ces données sont réparties par gammes d'échelles dans un ensemble de fichiers **graphiques** de type vecteur « spaghetti ».

Actuellement, cette Base de Données Cartographiques couvre de façon complète la France métropolitaine (200 cartes numérisées).

La constitution de la base se poursuit dans les zones de responsabilité cartographique française à l'aide de l'outil de vectorisation semi-automatique **VTRAK** (Laser-scan - UK).

Les bases de données



RÉALISATION D'UNE CARTE - SITUATION ACTUELLE

Le processus actuel utilise les données de la BDGS et celles de la BDSIGMA.

Un logiciel interprète les caractéristiques des objets réels de la BDGS dans l'emprise de la carte pour en déduire leurs représentations par défaut.

Ces représentations dépendent de l'importance des objets et de l'échelle de la carte.

Les fichiers graphiques créés par ce logiciel sont tracés sur la maquette de la carte. Ils sont ensuite modifiés à l'aide des postes de DAO (appelés Poste Cartographique Interactif ou PCI) afin d'affiner les représentations (chevauchement d'écriture, etc.).

Un autre logiciel permet d'extraire de la BDSIGMA les informations de cartes existantes (trait de côte, isobathes, sondes...) qui sont conservées sur la carte à réaliser (parties communes).

Les fichiers graphiques résultant de cette extraction peuvent également être tracés sur la maquette puis édités sur PCI.

A cette étape, la maquette est enrichie par la compilation manuelle de données sources issues des différentes BDS (levés bathymétriques, levés photogrammétriques...) et reproduites sur calques.

Une fois achevée, la maquette constitue d'une part le modèle de correction des fichiers graphiques déjà intégrés dans le PCI et d'autre part, le modèle de numérisation des éléments nouveaux.

Lorsque les travaux de rédaction sont achevés sur le PCI, les fichiers graphiques définitifs en sont extraits et sont reproduits par traceur laser sur les films d'impression grâce à un logiciel de restitution particulièrement adapté.

La BDSIGMA est mise à jour par intégration des fichiers définitifs.

Ce système en exploitation depuis 1989 ne permet pas la réalisation des ENC. C'est pourquoi il sera progressivement remplacé par un nouveau système appelé **PCI2**.

LES ENC

L'Organisation Hydrographique Internationale a défini une base de données mondiales pour ECDIS, le WEND (Worldwide Electronic Navigational chart Database). C'est dans ce cadre que le SHOM produira les ENC destinées à la navigation internationale. Ces ENC seront transmises aux coordonnateurs régionaux (RENC - Regional Electronic Navigational Chart) qui assureront la diffusion des ENC auprès des navigateurs.

Les ENC seront conformes au format S-57 de l'OHI et permettront ainsi de mettre en oeuvre les fonctionnalités de l'ECDIS telles que définies dans la norme S-52 de l'OHI.

Dans le format S-57, la cartographie est exprimée sous la forme d'un ensemble d'objets réels (feux, tours, etc.) associés à des objets spatiaux (points, lignes et surfaces). Ces derniers, de type vecteur, sont logiquement organisés suivant un modèle topologique.

Cette description des informations est rigoureuse et sophistiquée. Elle nécessite donc des moyens importants aussi bien en personnel qu'en équipement logiciel.

Les cartographes devront apprendre à exprimer la réalité hydrographique qu'ils connaissent parfaitement non plus par le dessin mais par un formalisme beaucoup plus exigeant.

Les systèmes de production doivent en conséquence apporter tous les moyens susceptibles de faciliter ce nouveau type de travail.

Par souci de simplification, le SHOM a choisi de ne produire sous forme d'ENC que la traduction de la **cartographie existante**. Par conséquent, l'élaboration des ENC ne comportera pas de phase de compilation de données sources tels que les levés bathymétriques ou photogrammétriques.

Cette démarche permettra aussi de simplifier la gestion des mises à jour qui seront les mêmes pour les cartes papier et les ENC.

La production expérimentale d'ENC

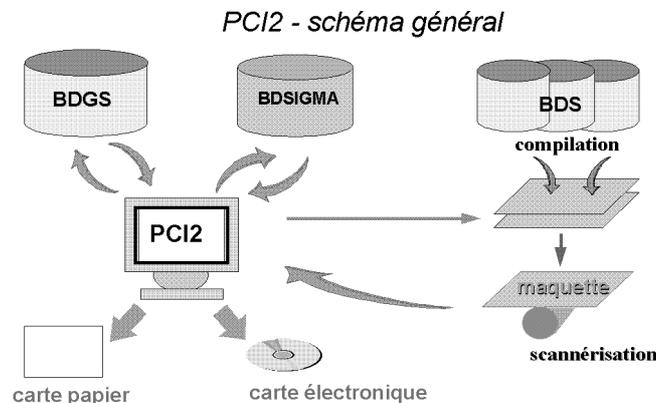
L'étude du système de production a débuté en 1993 par la mise en place d'une production expérimentale d'ENC.

Quatre cellules (1°x1°) à l'échelle du 1:150 000 ont été réalisées ainsi que la traduction d'une carte à l'échelle du 1:75 000 et d'une carte à l'échelle du 1:10 000. Ces données concernent le Pas de Calais et La Manche et sont conformes au format S57, version 2. Une des cellules a été mise à niveau de l'édition 3 de la S-57.

Cette expérimentation a permis de valider les principes du futur système opérationnel et d'acquérir une bonne expérience sur la production des ENC.

LE SYSTÈME PCI2

Le PCI2 est le nouveau système de production cartographique. Il utilise les bases de données BDGS et BDSIGMA pour réaliser les cartes papier et les ENC.



- En plus des fonctions de DAO des PCI actuels, le PCI2 permet :

- de générer **interactivement** la représentation cartographique de chaque objet réel de la BDGS : cette représentation est le résultat de l'interprétation des attributs de l'objet ;

- de conserver le **lien** entre l'objet réel (BDGS) et ses représentations cartographiques sur différentes cartes : il est ainsi possible de connaître la description d'un objet en désignant son image à l'écran ou de mettre à jour facilement les représentations des objets modifiés ;

- de compiler **interactivement** les cartes existantes (BDSIGMA) : il devient facile dès lors de récupérer les données déjà validées dans les zones de recouvrement ;

- d'afficher en fond d'écran un document scannérisé et de le numériser manuellement ou de façon semi-automatique.

- PCI2 permet de réaliser une ENC de la façon suivante :

L'image scannérisée du film de la carte papier à traduire est affichée en fond d'écran. Les localisations des objets réels de la BDGS sont affichées en superposition. Le cartographe sélectionne les objets réels en désignant ceux représentés sur la carte papier. Ces objets sont traduits par le système pour être strictement conformes au format S-57.

Les données de la BDSIGMA correspondant à la carte sont extraites interactivement. Ce sont des données graphiques de type vecteur. Pour les besoins de l'ENC, elles doivent être enrichies des objets réels correspondants par ajout d'informations sur leur nature. Dans les cas non ambigus, le système propose une

description par défaut du monde réel déduite de la symbolique.

Enfin, PCI2 dispose de tous les outils nécessaires à la mise en place de la topologie du format S-57.

D'une façon générale, l'interface homme-machine de PCI2 permet à l'opérateur de travailler dans un environnement proche de ses préoccupations cartographiques. Il peut réaliser une ENC avec sa culture de cartographe et s'affranchir de la sophistication du format informatique. Une fois l'ENC élaborée dans cet environnement, elle est produite sous forme de fichier au format S-57.

Le système PCI2 s'appuie sur le progiciel de SIG GDS, sur le SGBD ORACLE et sur le progiciel de vectorisation VTRAK.

LES AIDES A LA PRÉPARATION DES CARTES MARINES

Comme nous l'avons vu précédemment, dans une première étape, PCI2 n'est interfacé qu'avec la BDGS et la BDSIGMA (image des cartes existantes). Il n'apporte donc pas encore de solution informatisée pour l'intégration de données sources gérées par les bases de données spécialisées (BDS). Les opérations de généralisation sont réalisées de manière traditionnelle : choix de sondes et lissage de courbes manuels sur calques issus des BDS puis numérisation.

Il est donc prévu de développer progressivement les outils permettant au cartographe de sélectionner les données des BDS puis de les généraliser pour les intégrer à la carte. L'étude de ces outils consiste à transposer plus complètement le métier du cartographe sur un poste de travail.

CONCLUSION

Le système PCI2 n'est pas encore entré dans la phase de production. Dans un premier temps, il sera nécessaire d'assurer la formation des cartographes sur cette nouvelle manière de travailler.

En effet, ils devront raisonner par le dessin mais aussi analyser et décrire les objets composant la carte. Il s'agit là d'une révolution cartographique qui va sans doute nécessiter une période d'adaptation qui sera d'autant plus courte que le système mis en place sera performant.

La mise en production du système devrait débuter en 1997, année pendant laquelle il est prévu de réaliser les

ENC nécessaires au trafic international dans La Manche (traversée et grands ports).

Une montée en puissance plus ou moins rapide de la production sera examinée en fin d'année 1997 en tenant en particulier compte du contexte international. Il faut en effet pouvoir fournir au marin des données de qualité afin de lui permettre d'améliorer très nettement la sécurité de sa navigation.

Il s'agit d'un objectif ambitieux dans lequel le SHOM est résolument engagé.

LA RESPONSABILITÉ DES SERVICES HYDROGRAPHIQUES

Gilles Bessero
Direction du service hydrographique et
océanographique de la marine⁽¹⁾

RÉSUMÉ

Cet article traite de la question de la responsabilité des services hydrographiques nationaux vis-à-vis des utilisateurs de leurs produits, cartes marines et ouvrages nautiques. Après un bref rappel des notions de responsabilité administrative en droit français, il examine, du point de vue de l'hydrographe, les modalités de leur application au cas particulier du

service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) puis évoque la situation dans quelques pays étrangers et les conséquences du développement des cartes marines électroniques. Il conclut par des exemples d'arrêts et de décisions relatifs à la responsabilité des services hydrographiques.

SUMMARY

This article deals with the issue of the liability of national hydrographic offices towards the users of their products, nautical charts and publications. After a short review of the concept of administrative liability in French Law, it considers, from the hydrographer's standpoint, the mode of application to the specific case of the

French Naval Hydrographic and Oceanographic Office (SHOM) and then alludes to the situation in a few other countries and to the consequences of the development of electronic nautical charts. It ends with some examples of judgements and decisions on the liability of hydrographic offices.

INTRODUCTION

Le service hydrographique français, le SHOM (service hydrographique et océanographique de la marine), comme la plupart des services hydrographiques étrangers, est responsable de la production des documents nautiques, cartes et ouvrages, nécessaires à la sécurité de la navigation. Cette activité, qui va du recueil des données nécessaires (à la mer ou auprès d'autres organismes), à la réalisation et à la diffusion des documents ou informations élaborés à partir de ces données engage naturellement sa responsabilité. Il a paru utile, alors que

la recherche des responsabilités est devenue quasiment systématique en cas d'accident matériel et a fortiori corporel, de préciser les contours des obligations du SHOM et de ses agents, tels qu'ils sont perçus par un hydrographe, non spécialiste des questions de droit, à la lumière de la jurisprudence et des réflexions menées au sein du groupe de travail juridique de la commission « économie » du conseil national de l'information géographique.

⁽¹⁾ SHOM - BP 5 - 00307 ARMÉES - France

LA RESPONSABILITÉ ADMINISTRATIVE EN FRANCE ^[1]

Les actes du service public impliquent, comme ceux d'un particulier ou d'une entreprise, une notion de responsabilité qui se trouve confrontée, en France, à un phénomène d'amplification des problèmes juridiques revêtant deux formes principales :

- la montée du contentieux tant administratif (contestation accrue des décisions de l'administration) que judiciaire (recherche quasi-systématique de la responsabilité pénale des fonctionnaires civils ou militaires) ;

- l'accroissement et la complexité grandissante des règles de droit national, européen ou international.

La définition du service public comportait initialement trois éléments conjoints :

- un élément **organique** : gestion par la personne publique (excluant la concession) ;

- un élément **matériel** : emploi de procédés propres au droit public ;

- un élément **finaliste** : poursuite d'un but d'intérêt général.

Seul subsiste aujourd'hui ce dernier élément commun à tous les services publics.

La responsabilité concerne l'obligation qui s'impose à l'auteur d'un dommage de le réparer. Cette notion relève en droit civil des articles 1382 et 1384 du code civil. En droit public, l'irresponsabilité de l'État, illustrée par l'adage « *le Roi ne peut mal faire* » a longtemps prévalu, avec néanmoins quelques exceptions, notamment en matière d'exécution de travaux publics. Depuis la fin du 19^{ème} siècle (arrêt Blanco, 1873), le Conseil d'État a développé une jurisprudence protectrice des particuliers et c'est maintenant l'irresponsabilité qui est devenue l'exception : elle ne concerne plus que les actes du gouvernement et les cas prévus explicitement par les textes législatifs.

La responsabilité s'apprécie habituellement suivant deux domaines distincts :

- la responsabilité contractuelle : son encadrement fait l'objet d'une réglementation administrative abondante, notamment en matière de conventions et marchés publics, et ne sera qu'à peine abordée dans la suite.

- la responsabilité délictuelle, qui concerne les dommages causés en dehors de liens contractuels spécifiques. Tout en imposant à l'administration des principes alignés sur ceux du droit « commun », la jurisprudence récuse généralement l'application des règles du droit privé. Les arrêts et décisions relatifs à la responsabilité administrative constituent un droit autonome de type jurisprudentiel et consacrent en général la compétence de la juridiction administrative.

On constate néanmoins une harmonie de fait entre les solutions apportées par les juridictions administrative et judiciaire aux problèmes qui leur sont communs, l'influence principale étant exercée par la jurisprudence judiciaire sur celle du Conseil d'État. Les spécialistes estiment que la jurisprudence administrative souffre d'un défaut d'expression des principes qui la dominent, caractérisée par une concision excessive et un empirisme apparent.

Certaines activités de l'administration, notamment celles des services publics industriels et commerciaux, relèvent de la compétence judiciaire en vertu de règles de répartition de compétence implicitement confirmées par le Conseil Constitutionnel.

Le fondement de la responsabilité administrative est la responsabilité pour faute mais les contours de la notion de faute sont mal définis. D'une manière générale, il peut y avoir faute de service chaque fois que le service public a mal fonctionné. Parmi les cas censurés par la jurisprudence figurent en particulier :

- défaut de surveillance et de contrôle ;

- défaut d'entretien ;

- imprudences, maladresses, négligences, erreurs ;

- carence, inertie, retards, omissions, abstentions ;

- promesses non tenues, renseignements inexacts.

Il incombe normalement au demandeur d'apporter la preuve de la faute, mais il peut arriver que la charge de la preuve soit renversée. Par exemple, en cas de dommages accidentels causés à l'usager d'un ouvrage public, il incombe à l'administration de prouver qu'elle a normalement entretenu l'ouvrage. Dans certains cas, le droit à réparation est subordonné à la preuve d'une faute « lourde », par opposition à la faute « simple ». Il s'agit d'une notion empirique dont le champ d'application est en régression. Ainsi, si seule une faute **lourde** peut être retenue à l'encontre des services de secours et de lutte contre l'incendie, cette condition est de plus en plus contestée en matière fiscale.

Dans certaines conditions, la responsabilité peut être mise en cause sans qu'il y ait faute. Il faut alors qu'intervienne une notion de risque anormal ou de rupture de l'égalité devant les charges publiques. Le premier cas concerne par exemple les dommages subis par un tiers lors d'opérations de police mettant en oeuvre des engins dangereux (armes à feu) ; les personnes visées par l'opération devront, elles, démontrer l'existence d'une faute simple au moins. Dans le second cas, la jurisprudence impose que le préjudice subi soit anormal et spécial (exemple : préjudice subi par une compagnie de navigation du fait de l'occupation irrégulière prolongée d'installations portuaires par des grévistes). La responsabilité du fait des lois a également pu être invoquée, par exemple en cas de préjudice résultant d'une faute de transposition d'une directive communautaire.

Divers aspects de la responsabilité administrative relèvent de règles générales, notamment en matière de conditions de réparation :

- le préjudice doit être imputable à la personne morale à qui est demandée réparation ;
- la théorie de la causalité « adéquate » impose un lien de causalité entre le fait dommageable et le préjudice. Seul un fait qui devait raisonnablement entraîner un dommage peut en être réputé la cause.
- l'existence simultanée de causes étrangères (force majeure par exemple) peut justifier une exonération partielle, voire totale.

et d'indemnisation :

- il est interdit de payer une somme indue, même si cela résulte d'un accord entre les deux parties ;
- la demande d'indemnité est soumise à des conditions de délais ;
- la demande d'indemnité doit être chiffrée, sous peine d'irrecevabilité.

La responsabilité personnelle des agents publics peut être mise en cause en cas de faute « personnelle » relevant alors de la compétence du juge judiciaire. Si les agents publics ont longtemps été protégés par une conception restrictive de la faute personnelle, on constate que, sous la pression des victimes, les magistrats ont de plus en plus tendance à traiter les fonctionnaires comme n'importe quels justiciables. Cette tendance qui affecte aussi bien les administrations que les élus locaux a entraîné en réaction, en mai 1996, une réforme du code pénal visant à rétablir l'équilibre entre la mise en jeu de la responsabilité des collectivités publiques et celle de la responsabilité individuelle du fonctionnaire. Le Conseil d'État a publié en 1996 à la documentation française un rapport sur cette question [2].

Précisons enfin que la répartition définitive de l'indemnité réparatrice peut faire l'objet d'actions récursoires, soit de l'administration contre un agent auteur d'une faute personnelle, soit de l'agent, poursuivi devant la juridiction judiciaire, contre l'administration.

LA RESPONSABILITÉ DU SERVICE HYDROGRAPHIQUE FRANÇAIS

Les services maritimes de l'État n'échappent pas à la mise en cause de leur responsabilité dans le cadre qui vient d'être défini et les exemples abondent que ce soit en matière de service des officiers de port ou autres agents des services maritimes, d'entretien et de balisage des chenaux ou de pollution [3]. Les cas de mise en cause du service hydrographique sont peu nombreux et n'ont guère, à ce jour, alimenté la

chronique judiciaire [4]. Pourtant, deux aspects rendent sa position, parmi les producteurs publics d'informations géographiques, singulière et potentiellement « à risque » :

- en raison de l'opacité du milieu liquide, les services hydrographiques n'ont généralement pas accès à une connaissance exhaustive et directe de la réalité (géométrie des fonds marins) qu'ils doivent décrire sur les cartes et dans les ouvrages dont ils ont la charge. Le développement d'équipements acoustiques à couverture surfacique (sondeurs latéraux, sondeurs multifaisceaux, sondeurs à laser aéroportés) constitue un progrès sensible mais ces techniques n'ont encore qu'un domaine d'emploi limité par leur coût et leur complexité. Indirectes par nature, elles restent tributaires d'une méthodologie d'emploi rigoureuse et, in fine, du jugement de l'hydrographe.
- pour la même raison, les usagers n'ont guère de moyens autonomes d'appréciation de la qualité des documents qu'ils utilisent.

Ces risques particuliers sont à l'origine - devant les difficultés et les accidents résultant de l'emploi de documents produits et diffusés de manière empirique, ni soumis à un contrôle rigoureux et ni tenus à jour - de la prise en charge par les États, dès la fin du 18ème siècle, de l'hydrographie et de la cartographie marine.

Le service hydrographique français base son action sur le principe de la responsabilité hydrographique de la France dans ses espaces maritimes, s'étendant aujourd'hui jusqu'à la limite de la zone économique exclusive ou du plateau continental, en application de la convention des Nations-Unies sur le droit de la mer [5]. Cette responsabilité est susceptible d'être mise en cause lors d'accidents maritimes liés à l'insuffisance ou à l'inexactitude des cartes marines et des ouvrages nautiques produits par le service. Par opposition, les éditeurs privés veillent habituellement à porter, sur les documents qu'ils publient, une mention dégageant leur responsabilité et renvoyant parfois explicitement l'utilisateur aux documents officiels du SHOM.

Bien qu'elle ne fasse pas l'objet de dispositions législatives spécifiques, la responsabilité du SHOM découle plus ou moins clairement de plusieurs textes réglementaires :

- décret n° 71-396 du 25 mai 1971 relatif aux attributions du SHOM. Ce décret stipule que le SHOM est chargé

« d'établir des documents nautiques nécessaires à la sécurité de la navigation ». Il précise en outre, dans son article 2, que :

« Toute publication de cartes marines et d'ouvrages nautiques destinés à compléter les documents nautiques établis par le SHOM est soumise à l'examen préalable de ce service. »⁽²⁾

⁽²⁾ Cette disposition n'a jamais été appliquée.

- directive n° 1101/SHOM/EM du 3 novembre 1975 : cette directive interne au SHOM précise les responsabilités respectives du directeur de mission et du directeur technique dans les missions du SHOM, en matière de conduite et d'exploitation des levés hydrographiques. La responsabilité personnelle du directeur technique est concrétisée par sa signature sur tous les documents définitifs relatifs aux levés effectués sous sa direction.

- instruction ministérielle n° 424/SHOM/EG du 22 mai 1980 relative à la diffusion de l'information nautique en temps de paix. Cette instruction confie au SHOM la responsabilité, sur le plan national, de centraliser l'information nautique, de la traiter et d'en assurer ou d'en contrôler la diffusion.

L'accident du pétrolier *Port Anna* survenu en 1975 au large de Brest a permis au ministère de la défense d'explicitier les principes généraux de la responsabilité de l'État et du SHOM en matière de documents nautiques, sur la base de la jurisprudence antérieure, qui avait rarement engagé la responsabilité du service hydrographique national ou des services hydrographiques portuaires. Allant au-delà de la simple analyse des circonstances particulières de l'accident - qui mettaient en cause directement la réalité des faits reprochés au SHOM et qui conduisirent finalement l'armateur à retirer l'action engagée devant le tribunal administratif de Rennes - le ministre a défini, dans ses observations présentées au président du tribunal [6], les conditions limitatives d'une mise en cause éventuelle de la responsabilité du SHOM : les obligations du SHOM se limitent à faire la synthèse des renseignements parvenus à sa connaissance et le navigateur ne saurait ignorer que les documents nautiques peuvent présenter des lacunes. La seule existence d'une lacune ou d'une inexactitude ne saurait impliquer a priori la responsabilité pour faute de l'État.

La conséquence pratique de cette argumentation est que la responsabilité du SHOM consiste :

a/ à exécuter les levés hydrographiques « dans les règles de l'art », c'est-à-dire en appliquant toutes les techniques et en utilisant tous les matériels disponibles au moment du levé et aussi en exploitant les informations recueillies avec soin et diligence. Cette responsabilité est, au SHOM, du ressort du directeur technique de l'élément à qui est confiée la réalisation du levé.

b/ à diffuser, avec le degré d'urgence convenable, toutes les informations qu'il recueille ou qui lui parviennent et à tenir à jour les documents nautiques qu'il publie. Cette responsabilité est normalement déléguée au directeur de l'établissement principal du SHOM à Brest (EPSHOM).

Ainsi, lorsqu'un levé a été effectué « dans les règles de l'art » (du moment) mais qu'il a laissé échapper un

haut-fond, le SHOM ne saurait être tenu responsable d'un échouage sur ce haut-fond. Par contre, la responsabilité du SHOM serait engagée s'il omettait de faire figurer sur ses cartes un haut-fond dont il connaîtrait l'existence.

Les instructions en vigueur sont censées définir les « règles de l'art » du moment. Elles s'appuient de préférence sur les normes et recommandations adoptées par l'organisation hydrographique internationale [7].

Notons que la responsabilité du SHOM ne se limite pas à l'exécution et à l'exploitation « correctes » des levés effectués par ses unités. Elle concerne aussi le traitement des informations communiquées par les navigateurs. Cela peut poser des problèmes délicats, par exemple dans le cas du signalement imprécis d'un haut-fond potentiellement dangereux mais peu vraisemblable.

LA RESPONSABILITÉ DES SERVICES HYDROGRAPHIQUES À L'ÉTRANGER

Le principe de l'irresponsabilité de l'État subsiste dans plusieurs pays en vertu du principe de « l'immunité souveraine ». Ce principe s'applique par exemple aux cartes de compilation relatives aux eaux non américaines établies par la National Imagery and Mapping Agency des États-Unis (ex-Defense Mapping Agency). Néanmoins, dans la plupart des pays, la responsabilité des services hydrographiques peut être engagée en cas de négligence. Cette situation semble normale puisque l'emport de cartes marines et ouvrages nautiques appropriés est rendu obligatoire par la convention internationale de 1974 pour la sauvegarde de la vie humaine en mer [8]. On peut aussi, en assimilant les cartes et les ouvrages nautiques à des « biens mobiliers faisant l'objet d'une production industrielle » [9], considérer qu'ils relèvent des lois et règlements relatifs à la responsabilité du fait des produits défectueux, destinés à assurer la protection des consommateurs [10].

C'est à l'occasion d'un certain nombre d'accidents maritimes que les tribunaux étrangers ont pu mettre en cause soit la qualité des documents nautiques, soit l'usage qu'en font les navigateurs impliqués. On constate que les services hydrographiques sont rarement considérés comme responsables d'accidents liés à l'insuffisance ou à l'inexactitude de cartes marines ou d'autres documents nautiques. C'est le plus souvent un mauvais usage, basé sur une confiance excessive, voire aveugle, qui est incriminé. L'usage de cartes d'échelle inadaptée ou l'usage exclusif de la carte, en négligeant les documents qui en sont le complément indispensable (livre des feux, instructions nautiques, etc.) ainsi que l'usage de documents non à jour ou périmés sont également cause d'accidents [11].

On notera que la question de savoir s'il est « normal » qu'aucun levé hydrographique aux normes modernes n'ait été effectué dans des zones fréquentées dont la cartographie reste basée sur des levés sommaires anciens au plomb de sonde, est rarement posée. L'accident du *Queen Elisabeth II* dans Martha's Vineyard sur la côte est des États-Unis survenu en 1992, dans lequel une suite de facteurs circonstanciels a entraîné le talonnage du paquebot sur des hauts-fonds non cartographiés, a mis clairement en évidence les lacunes que peuvent présenter des levés anciens, même dans les eaux des États les plus développés.

La position canadienne formalisée en 1983 [11] résume assez bien les conditions générales dans lesquelles les juges de différents pays étrangers sont susceptibles de retenir la responsabilité du producteur de cartes marines en cas d'accident. La première possibilité concerne le cas assez rare d'un contrat spécifique entre le producteur et l'utilisateur particulier qui lui a passé commande de la carte : le producteur est responsable en cas d'accident entraîné par une inexactitude de la carte. L'autre possibilité correspond aux cas ordinaires où l'utilisateur peut poursuivre le producteur pour négligence, sous réserve de pouvoir démontrer :

- qu'il s'est fié à l'exactitude de la carte,
- que la carte était inexacte (ou trompeuse),
- que la carte était inexacte en raison de la négligence du producteur,
- que les dommages ont été causés par cette inexactitude.

CARTES ÉLECTRONIQUES ET RESPONSABILITÉ DES SERVICES HYDROGRAPHIQUES

Le développement des systèmes de cartes marines électroniques, engagé au cours des années 1980, et ses conséquences sur la responsabilité des services hydrographiques méritent dès maintenant une attention particulière [12].

En effet l'emploi de ces systèmes met en jeu simultanément la responsabilité du producteur de la base de données, du fabricant du système et du logiciel, éventuellement des fabricants des autres équipements connectés au système, de la société de classification qui aura délivré le certificat d'homologation du système et enfin de l'utilisateur qui a la possibilité de sélectionner les informations affichées à un instant donnée. La détermination des causes d'un accident éventuel risque donc d'être autrement plus complexe que dans le cas de l'emploi de documents papier ! Ces difficultés expliquent que les normes de fonctionnement de ces systèmes, adoptées par l'organisation maritime internationale, prévoient la mise en oeuvre de dispositifs d'enregistrement type « boîte noire » [13].

En outre, pour la première fois dans l'histoire de la navigation maritime, les usagers disposent, notamment avec le système GPS différentiel, de moyens de localisation souvent plus précis que ceux utilisés dans le passé par les hydrographes pour réaliser la plupart des levés dont sont issus les cartes marines en service. Confrontés à cette situation nouvelle, les services hydrographiques étudient, au sein de l'organisation hydrographique internationale, des modalités de qualification des produits numériques permettant aux navigateurs d'exercer leur jugement en toute connaissance de cause. Compte tenu d'une part de l'évolution technologique et d'autre part de l'évolution de la réglementation et de la jurisprudence en matière de responsabilité des producteurs, la nécessité de définir et de documenter un processus qualité obéissant à des normes internationales reconnues type ISO 9000 s'impose désormais aux services hydrographiques. La certification ISO 9001 du service hydrographique allemand en décembre 1995 crée un précédent qui ne peut être ignoré par les autres services.

QUELQUES EXEMPLES D'ARRÊTS ET DE DECISIONS

Échouement du vapeur *Jeanne-Marie* - 1914 [14]

Le vapeur *Jeanne-Marie*, affrété par l'État, s'était échoué le 19 novembre 1914 sur l'îlot grec Kounelli, en mer Ionienne. Le capitaine du navire attribuait l'accident à une erreur du livre des feux publié par le service hydrographique français. En effet, les coordonnées du nouveau feu de l'îlot Kounelli le plaçaient à l'extrémité sud-est de l'îlot alors qu'il se trouvait en fait sur la côte nord. Cette erreur résultait d'une erreur dans l'avis original du service hydrographique grec du 29 mai 1913, confirmé par un deuxième avis du 21 août 1914. En 1918, le Conseil d'État rejeta la requête présentée par la société propriétaire du navire (qui par contrat restait responsable des dommages résultant des risques normaux de navigation) et confirma le refus d'indemnisation du ministre de la marine. Il précisa notamment dans son arrêt que les livres des feux du service hydrographique ne constituent " *en ce qui concerne les feux étrangers, qu'un recueil de renseignements nautiques communiqués par les divers pays et dont ledit service n'a pas les moyens de contrôler ni de garantir l'exactitude*".

Perte du cuirassé *France* - 1922 [15]

Le 26 août 1922, le cuirassé *France* s'éventra sur une roche inconnue dans le passage de la Teignouse alors qu'il regagnait le mouillage de Quiberon en suivant rigoureusement l'alignement recommandé. Après que le commandant fut acquitté par le Conseil de guerre, le ministre nomma une commission d'enquête chargée de

rechercher les responsabilités du service hydrographique. La commission conclut que le service avait engagé sa responsabilité :

- en ne se préoccupant pas de compléter des levés insuffisants,

- en ne faisant pas le nécessaire pour mettre les navigateurs en garde contre cette insuffisance.

Cette analyse fut contestée par le directeur du service car les insuffisances relevées par la commission se référaient à de nouvelles techniques (dragage hydrographique) développées postérieurement au levé du passage de la Teignouse et concernaient de nombreuses autres cartes en service. Le levé remontant à 1898 et les protagonistes étant tous décédés, les conclusions de la commission d'enquête n'eurent aucune suite pénale.

Échouement du paquebot *Ile de France* - 1947 [16]

Le paquebot *Ile de France* s'était échoué le 24 avril 1947 au cours d'une manoeuvre dans le port de Saint-Nazaire. En 1953, le Conseil d'État jugea que les dommages étaient imputables d'une part à la remise d'un plan de sondage inexact et d'autre part à des fautes du capitaine. Il décida que la réparation du préjudice devait être mise pour moitié à la charge de l'État.

Accident du pétrolier *Blaise-Pascal* - 1955 [17]

Le 18 janvier 1955, le pétrolier *Blaise-Pascal* avait heurté une roche en remontant le chenal de Loire en direction du port de Donges. Il s'avéra que la roche en cause était connue depuis le 5 mai 1954 à la suite de sondages opérés dans le chenal mais que l'administration n'avait pris aucune mesure ni pour signaler la roche ni pour éliminer l'obstacle. Considérant néanmoins que le capitaine et le pilote avaient commis une imprudence en naviguant largement (42 m) à gauche de la ligne médiane du chenal, le Conseil d'État décida de mettre seulement la moitié des dommages à la charge de l'État.

Accident du navire *Bonnaire* - 1957 [18]

Le *Bonnaire* avait heurté une roche le 15 juin 1957, alors qu'il se trouvait en dehors du chenal d'accès au port de Porto-Vecchio. La carte utilisée, d'origine étrangère, n'était pas à jour des informations figurant sur la carte française. Considérant que l'utilisation de cartes étrangères non à jour ne saurait avoir d'influence sur la responsabilité de l'État et que l'existence de nombreux récifs aux abords du port était bien signalée dans les instructions nautiques et sur les cartes françaises, le Conseil d'État confirma le jugement du tribunal

administratif de Nice qui avait rejeté la requête des propriétaires et de leur compagnie d'assurances visant à condamner l'État au paiement des dommages.

Accident du remorqueur *Abbie-R* - 1964 [11]

En février 1964, le remorqueur *Abbie-R* avait mouillé deux barges en Baie de Tampa (Floride). En remontant l'ancre de l'une des barges, le remorqueur provoqua la rupture du gazoduc dans laquelle elle était engagée. Il s'ensuivit une explosion et un incendie et le gouvernement des États-Unis fut poursuivi suite aux dommages et blessures ainsi causés. La carte utilisée au moment de l'accident portait le tampon officiel « A jour de l'avis aux navigateurs n° 29 » et aurait dû à ce titre comporter la correction manuelle décrivant le gazoduc. L'erreur matérielle dans le processus de tenue à jour manuelle du stock de cartes était admise. Cependant, une nouvelle édition de la carte, comportant la correction appropriée, avait été publiée avant l'accident. La United States District Court, Middle District of Florida, jugea que les torts étaient partagés. La cour d'appel, saisie par le gouvernement fédéral, estima que ce dernier s'était acquitté de sa responsabilité en publiant l'avis aux navigateurs annonçant la publication d'une nouvelle édition.

Talonnage du pétrolier *Esso-Essen* - 1968 [19]

En 1968, le pétrolier allemand *Esso-Essen* talonna aux abords du Cap de Bonne Espérance, par des fonds inférieurs à ceux portés sur sa carte. Des fonds moindres avaient déjà été signalés par d'autres navires quelques semaines avant l'accident et le service hydrographique d'Afrique du Sud avait d'une part émis par radio un avis urgent aux navigateurs et d'autre part apporté une correction aux cartes dans son groupe hebdomadaire d'avis aux navigateurs, avant que ne se produise l'accident. Malheureusement, le groupe n'était pas encore parvenu, via l'Allemagne, au pétrolier. Le service hydrographique d'Afrique du Sud ne fut pas mis en cause. Le capitaine du pétrolier fut jugé responsable, principalement parce qu'il n'avait pas suivi la recommandation générale des instructions nautiques allemandes selon laquelle il ne fallait pas passer aussi près de la côte.

Accident du pétrolier *Tsesis* - 1977 [11]

Le pétrolier soviétique *Tsesis* s'échoua en octobre 1977 dans un chenal de la côte est de Suède, sur un haut-fond découvert au cours d'un levé de 1969 mais non encore porté sur les cartes en service. A l'époque, les effectifs réduits du service hydrographique suédois ne permettaient pas l'exploitation complète et sans délai des levés. Les hydrographes responsables des levés devaient donc signaler les hauts-fonds dangereux aux

stations de pilotage et au service hydrographique, sans attendre l'achèvement de la rédaction. Le haut-fond en question découvert en 1840 n'avait été retrouvé ni en 1918 ni en 1921 et ne figurait plus sur les cartes. Il fut redécouvert lors d'un nouveau levé effectué en 1969 mais l'hydrographe responsable estima que le haut-fond était à l'intérieur de l'isobathe de 10 mètres portée sur la carte en service et qu'il n'y avait pas lieu de le signaler. La District Court de Stockholm jugea que cet hydrographe s'était montré négligent en n'informant ni la station de pilotage ni le service hydrographique de la découverte du haut-fond, contrairement à la procédure explicitement prévue par les instructions en vigueur. Cette appréciation fut confirmée en appel puis par la Cour Suprême de Suède.

Accident de la drague *Maurepas* - 1979 [11]

Suite à la rupture, au cours d'une opération de dragage effectuée par la drague *Maurepas* dans le lac Pontchartrain (Louisiane), d'un gazoduc non porté sur les cartes, la United States District Court, Eastern District of Louisiana, jugea que le gouvernement des États-Unis avait une responsabilité partielle dans l'accident. Le jugement fut confirmé en appel. La cour estima que le National Ocean Service avait commis une négligence en n'indiquant sur la carte concernée qu'un seul gazoduc sur les trois situés dans la zone. Le fait d'avoir porté un gazoduc sur la carte entraînait l'obligation de les porter tous car le navigateur était en droit de supposer que la représentation était complète. Tout en reconnaissant que la carte n'avait pas été consultée avant l'accident, la cour considéra que la représentation partielle et erronée des gazoducs était une des causes de l'accident.

Accident de la barge *Hadarvåg* - 1990 [20]

En remontant son ancre, la barge *Hadarvåg* avait

détérioré un câble sous-marin au sud de Kristiansund (Norvège), en octobre 1990. Suite à une erreur reconnue par le service hydrographique norvégien, un seul des deux câbles existants dans la zone figurait sur la carte en service. Le service hydrographique avait dégagé sa responsabilité en première instance, tout en reconnaissant son erreur, en montrant qu'en fait la barge avait mouillé dangereusement près du seul câble figurant sur la carte, dans une zone où les deux câbles n'étaient distants que de 10 à 30 m. Le plaignant attaqua le service hydrographique en appel mais fut débouté, le délai de prescription prévu par la législation norvégienne étant dépassé.

CONCLUSION

Bien que les cas de mise en cause directe de la responsabilité des services hydrographiques soient heureusement rares, il convient néanmoins de ne jamais perdre de vue cet aspect essentiel, et de rester vigilant tout au long du processus d'élaboration des informations et documents nautiques. En effet, les conséquences humaines, écologiques ou économiques d'un accident maritime peuvent être considérables et leur statut de service de l'État ne met pas les services hydrographiques et leurs agents à l'abri des poursuites. Comme tous « fabricants », ils doivent veiller à garantir la sécurité des produits qu'ils mettent à la disposition des usagers. Cela implique aussi bien une obligation constante de qualité et de rigueur qu'un effort permanent d'information des usagers [19]. Cette obligation et cet effort prennent une ampleur nouvelle avec le développement des cartes marines électroniques dont l'emploi ne sera pas limité à un cercle restreint de professionnels avertis.

Références

[1] POUYAUD D.

La responsabilité administrative

Document d'études 2.05 - La documentation française - 1994

[2] CONSEIL D'ÉTAT

La responsabilité pénale des agents publics en cas d'infractions non-intentionnelles

Etudes du Conseil d'État - La documentation française - 1996

[3] GROSDIDIER DE MATONS J.

La responsabilité de l'État pour le fonctionnement de certains services maritimes

DMF - 1968

[4] RÉMOND-GOUILLOUD M.

Droit maritime

Editions Pedone, 1993

[5] BROWN E. D.

The international law of the sea

Dartmouth Publishing Company, 1994

[6] MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

Direction des affaires administratives, juridiques et contentieuses

Service juridique et du contentieux

Lettre n° 02693/DEF/DAAJC/CX 5 du 14 septembre 1976

[7] BUREAU HYDROGRAPHIQUE INTERNATIONAL

Normes OHI pour les levés hydrographiques

Publication spéciale S-44, 3ème édition, 1987 (en cours de refonte)

[8] ORGANISATION MARITIME INTERNATIONALE

SOLAS - Texte récapitulatif de la Convention de 1974 pour la sauvegarde de la vie humaine en mer et du Protocole de 1978 : articles, annexe et certificats

Organisation maritime internationale, Londres, 1993, chapitre V, règle 20, p. 469

[9] CONSEIL DES COMMUNAUTÉS EUROPEENNES

Directive du conseil du 25 juillet 1985 relative au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres en matière de responsabilité du fait des produits défectueux (85/374/CEE)

Journal officiel des communautés européennes - N° L 210 du 7 août 1985 - p. 29 à 33

[10] ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

Lois relatives à la responsabilité du fait des produits dans les pays de l'OCDE

OCDE - 1995

[11] PASQUAY J. N.

Accidents maritimes et documents nautiques - Responsabilité des services hydrographiques

Réimpression de l'OHI n° 14 - Bureau Hydrographique International - 1985

[12] OBLOY E. J.

Responsabilité du fabricant de cartes électroniques pour négligence dans l'établissement de celles-ci

Revue Hydrographique Internationale, vol. 67, n° 2, juillet 1990, p. 139-159

[13] ORGANISATION MARITIME INTERNATIONALE

Normes de fonctionnement des systèmes de visualisation de carte électronique et d'information

Résolution A.817 (19) - 1995

[14] CONSEIL D'ÉTAT

Arrêt du 26 avril 1918 - 60.028

Recueil Lebon - p. 393-395

[15] MANNEVY P.

La perte du cuirassé « France » en 1922, du point de vue de la jurisprudence
Fiche interne SHOM du 20 août 1976

[16] CONSEIL D'ÉTAT

Arrêt du 22 mai 1953 - 10.429

Recueil Lebon - p. 250-251

[17] CONSEIL D'ÉTAT

Arrêt du 16 mars 1960 - 41.271 et 41.272

Recueil Lebon - p. 199-200

[18] CONSEIL D'ÉTAT

Arrêt du 8 mai 1964 - 60.157 et 60.158

Recueil Lebon - p. 285-286

[19] PASQUAY J. N.

L'hydrographie, les documents nautiques, leurs imperfections et leur bon usage

Ouvrage 001FNOA, SHOM, 1993

[20] SERVICE HYDROGRAPHIQUE NORVEGIEN

Norwegian court case regarding submarine cable

22nd Conference of the North Sea Hydrographic Commission, 1996, Explanatory Note - Item C8

DEUXIÈME PARTIE



MISSION OCÉANOGRAPHIQUE DU PACIFIQUE

Échelon de Nouvelle-Calédonie

(mai 1992 - mai 1994)

par

H. DOLOU, Ingénieur Principal des Études et Techniques d'Armement

PREMIÈRE PARTIE

1. GÉNÉRALITÉS	3
2. PRINCIPAUX TRAVAUX	3
3. PERSONNEL DE L'UNITÉ HYDROGRAPHIQUE	4
4. MOYENS FLOTTANTS	5
5. LOCAUX À TERRE	5
6. MOYENS PROPRES	8
7. MOYENS DIVERS (CONCOURS EXTÉRIEURS À LA MISSION)	12
8. MÉTHODES - ORGANISATION - EMPLOI DES MOYENS.....	15

1.- GÉNÉRALITÉS

Ce rapport rend compte de l'activité de l'échelon Nouvelle-Calédonie de la Mission Océanographique du Pacifique (MOP) entre le 27 mai 1992, date à laquelle j'ai pris la suite de l'Ingénieur en Chef de l'Armement (ICA) FOURGASSIE et le 13 mai 1994, date à laquelle j'ai été remplacé par l'Ingénieur Principal de l'Armement (IPA) LE VISAGE.

Durant cette période, j'ai également exercé les fonctions de Directeur de la MOP qui comprend deux échelons, à savoir celui de Nouvelle-Calédonie dont j'avais la responsabilité technique et celui de Polynésie basé à Papeete dont les directeurs techniques furent successivement l'Ingénieur Principal des Etudes et Techniques d'Armement (IPETA) GUILLAM (jusqu'au 10 août 1993) puis l'Ingénieur des Etudes et Techniques d'Armement (IETA) GUILLOU.

La MOP dans son ensemble dépendait organiquement de l'Amiral commandant la zone maritime du Pacifique (ALPACI) à qui le directeur du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine adressait la Décision Ministérielle relative au programme de la mission. Des Instructions Techniques (IT) fixaient par ailleurs la manière d'exécuter les travaux. Les bâtiments affectés à la MOP, le *Laplace* à Nouméa et l'*Arago* à Papeete, sont cependant placés respectivement sous le commandement organique de la Marine en Nouvelle-Calédonie (COMAR NOUMEA) et celui de la Marine à Papeete (COMAR PAPEETE). Ces deux bâtiments sont placés sous le commandement opérationnel du Chef d'Etat-Major de la Marine.

L'échelon Nouvelle-Calédonie de la MOP était composé de deux unités :

- Le BH2 *Laplace* commandé successivement par :

- le Capitaine de Corvette (CC) DENYS DE BONNAVENTURE (jusqu'au 03 août 1992),

- le CC DIINVILLE (jusqu'au 17 janvier 1994),

- le Lieutenant de Vaisseau (LV) BRANCHU.

- L'unité hydrographique dont j'avais la responsabilité directe.

2.- PRINCIPAUX TRAVAUX

L'essentiel de l'activité hydrographique a été réalisé sur la Grande Terre de la Nouvelle-Calédonie et plus particulièrement dans son lagon Nord-Est.

Les travaux furent presque exclusivement conduits avec les vedettes hydrographiques du BH2 *Laplace*. Les levés réalisés sont les suivants :

1. LAGON NORD

- 1.1.- Levé régulier au nord de l'île Balabio.
- 1.2.- Levé régulier à l'est de l'île Balabio et dans le canal Napias.
- 1.3.- Levé complémentaire à l'est de l'île Balabio et dans le canal Napias.
- 1.4.- Levé d'une voie recommandée dans la baie d'Harcourt entre le canal Devarenne et l'île Pam.
- 1.5.- Levé du mouillage de l'île Mouac.
- 1.6.- Levé entre l'île Pam et Tiari (non achevé).

2. GRAND LAGON NORD ET RÉCIFS D'ENTRECASTEAUX

- 2.1.- Géodésie du Grand Lagon nord (Art, Yandé) et des récifs d'Entrecasteaux (Surprise, Huon) Spatiopréparation de ces récifs.
- 2.2.- Levé exploratoire du Grand Passage.
- 2.3.- Spatiopréparation au sud du Grand Passage : partie nord du Récif des Français et du Grand Récif de Cook.

3. LAGON OUEST

- 3.1.- Levé régulier de Koné-Pouembout (rédaction).
- 3.2.- Levé complémentaire de Koné-Pouembout.
- 3.3.- Levé de reconnaissance du chenal de l'île aux Sharks à Poé.
- 3.4.- Levé complémentaire de Nepoui / Mueo.

4. LAGON SUD

Géodésie et spatiopréparation du Lagon Sud.

5. NOUMÉA ET SES ENVIRONS

- 5.1.- Levés au profit du Port Autonome de Nouvelle-Calédonie.
- 5.2.- Levé dans la base navale Chaleix.

- 5.3.- Levés aux abords de Nouméa.
- 5.4.- Revues d'amers aux abords de Nouméa.
- 5.5.- Nivellement d'observatoires de marée à Nouméa.
- 5.6.- Levé photobathymétrique de l'île Amédée.

6. LAGON EST

- 6.1.- Contrôle des profondeurs en baie de Kouaoua.
- 6.2.- Levé d'une voie recommandée entre le cap Bégat et l'île Nani.

7. LEVÉS OCÉANIQUES

- 7.1.- Nouméa - Papeete - Nouméa 1991 (Rédaction).
- 7.2.- Nouméa - Australie - Nouméa 1992.
- 7.3.- Nouméa - Australie - Nouméa 1993.

Chaque levé a fait l'objet d'un ou plusieurs rapports (références en annexe 1).

La mission consacra par ailleurs un potentiel relativement important à l'évaluation et la première mise en oeuvre de nouveaux instruments dont :

- 1.- le sondeur pour petits fonds «Simrad EA 300P».
- 2.- le système de radiolocalisation «DGPS HF».
- 3.- le système de radiolocalisation Axyle.
- 4.- l'émetteur récepteur VHF Alcatel.

Les références des rapports rédigés sont données en annexe 1.

3.- PERSONNEL DE L'UNITÉ HYDROGRAPHIQUE

L'organisation interne de l'unité hydrographique dont le plan d'armement fut globalement honoré comprenait trois services :

1.-Le service «hydrographie» qui fut dirigé successivement par :

- l'Ingénieur des Etudes et Techniques d'Armement (I1ETA) COZIAN (jusqu'au 31 août 1992),
- l'Ingénieur de l'Armement (IA) EVEN (jusqu'au 30 octobre 1993),
- l'I1ETA DUPUY.

Ce service dont dépendait en particulier la salle de dessin dont la responsabilité fut exercée par le Major VITTENET (jusqu'au 14 août 1992), puis le Major DENES, comprenait par ailleurs :

- 1 Maître Principal Hydrographe certifié programmeur,
- 1 Premier Maître Hydrographe,
- 1 Maître Hydrographe certifié plongeur,
- 3 Maîtres Hydrographes,
- 2 Matelots du contingent des spécialités :
 - DESSI (Dessinateur),
 - INFOR (Informaticien).

2.- Le Service « logistique » qui fut dirigé successivement par :

- l'I1ETA DUPONT (jusqu'au 01 janvier 1993),
- l'I1ETA GRECARD, assistés par un Maître-Principal Hydrographe « MAITRE ADJOINT » occupant, par ailleurs, les fonctions de Chef du Service Général.

De ce service dépendait :

- le laboratoire d'électronique, avec :
 - 1 Maître radio,
 - 3 Matelots du contingent des spécialités :
 - SCIEN (Scientifique)
 - RADEC (Radiotechnicien),
 - ELECT (Electricien).
- les ateliers, avec :
 - 1 Second Maître mécanicien certifié plongeur,
 - 4 Matelots du contingent des spécialités :

- MECAN (mécanicien)(conducteur véhicules légers),
- MANEU (manoeuvrier)(conducteur véhicules légers),
- EQUIP (équipage)(menuisier),
- COPEL (conducteur poids lourds).

3.- Le service « Général » qui fut dirigé par le MP PRIGENT (jusqu'au 26 mars 1993), puis le MP FAROU dont dépendait le secrétariat tenu par un Second Maître SECRE (secrétaire).

L'effectif autorisé accordé à l'unité hydrographique s'avéra adapté.

Dans l'ensemble, le personnel arriva à la mission bien formé et suffisamment expérimenté.

4.- MOYENS FLOTTANTS

L'essentiel de l'activité fut conduit par le BH2 *Laplace* dont l'admission au service actif date de 1989 mais dont les deux vedettes hydrographiques (VH d'environ 8 m de 4 750 kg) récupérées sur un BH désarmé dataient de 1979.

Le *Laplace* disposait par ailleurs de la drome suivante :

- 1 Starvag PRO 420,
- 2 embarcations pneumatiques (6 et 10 places),
- 3 motopropulseurs (un 20 CV et deux 40 CV).

Les caractéristiques du BH2 *Laplace* sont résumées ci-dessous :

- Déplacement pleine charge = 970 tonnes,
- Longueur hors tout = 59 mètres,
- Largeur = 10,9 mètres,
- Tirant d'eau = 3,6 mètres,
- Vitesse maximale = 15 noeuds,
- Autonomie en vivres pour = 20 jours.
- 47 personnes (nombre de couchages).

Son plan d'armement était le suivant :

- Officiers = 3,
- Officiers mariniers = 12,
- Quartiers-maîtres et Matelots = 15.

L'effectif du bâtiment fut cependant renforcé de 5 matelots à compter du 2ème trimestre 1993.

Si le bâtiment était bien adapté aux travaux hydrographiques en lagon (majorité des levés en Nouvelle-Calédonie), les insuffisances (quantité, qualité) de son plan d'armement en effectifs posèrent des problèmes d'entretien. Les indisponibilités du *Laplace* furent rares, en revanche celles des vedettes, soumises aux conditions météorologiques difficiles de Nouvelle-Calédonie, réduisirent sensiblement l'efficacité globale du BH. Il y en eut cependant toujours au moins une de disponible.

L'activité du BH *Laplace* dut être adaptée, afin de résoudre ses problèmes d'entretien. Ainsi pour maintenir un niveau correct d'activité à la mer, de nombreuses missions furent conduites avec les vedettes sans le soutien du *Laplace* sur zone : une vedette fut utilisée seule pour les travaux aux abords de Nouméa ; les deux VH8 furent utilisées simultanément pour les levés éloignés de Nouméa. Cette organisation nécessita cependant de disposer sur la zone des travaux, de la logistique minimale que n'apportait plus le *Laplace* (entretien du matériel, logement et nourriture du personnel en particulier).

L'activité du BH *Laplace* fut la suivante :

	de juin à décembre 1992	1993	de janvier à mi-mai 1994
Jours d'absence du port de base	104	216	50
dont jours d'hydrographie	86	99	47
jours de vedette <i>Laplace</i> à quai à Nouméa	6	66	2
Observations	18 jours d'absence pour une escale de détente en Australie (6 j)	- 151 j de mer - travaux d'entretien et de réparation à Papeete	

5.- LOCAUX À TERRE

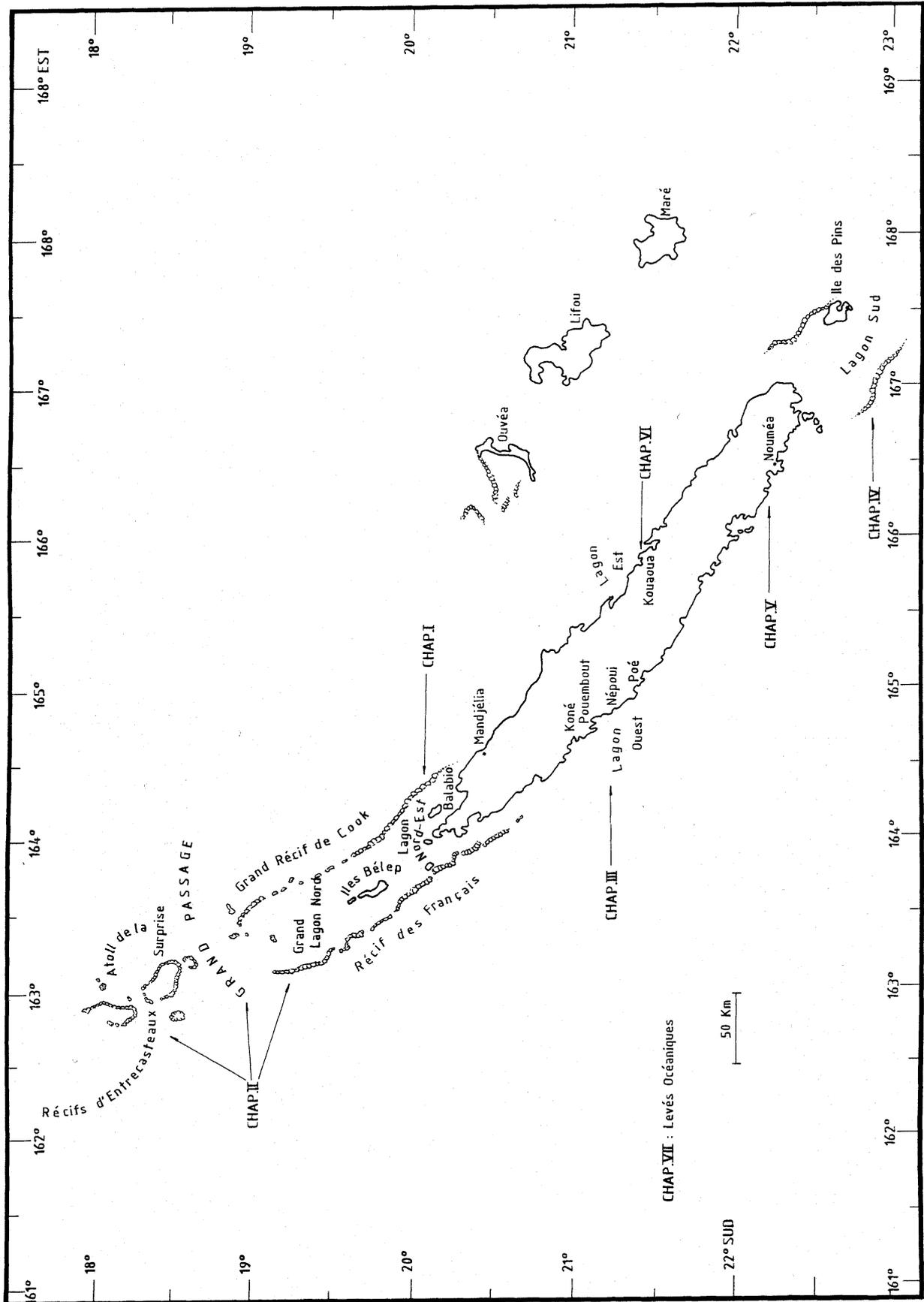
L'unité hydrographique disposait à terre de locaux récents bien adaptés et bien entretenus.



Présentation de l'activité au Chef d'État-Major de la Marine,
à l'Amiral commandant la zone maritime du Pacifique
et au Commandant de la Marine en Nouvelle-Calédonie



Le BH2 *Laplace*



6.- MOYENS PROPRES

6.1- VÉHICULES

La situation du parc automobile de l'unité hydrographique au 29 mai 1992 (une 405 break, 1 Dangel, 1 Durisotti) fut améliorée grâce aux commandes locales (initiées par mon prédécesseur) de véhicules tout terrain particulièrement adaptés à l'environnement calédonien. Deux véhicules Toyota Land Cruiser furent ainsi achetés sur le territoire. Ils devaient remplacer très avantageusement les véhicules de type Dangel.

Au mois de mai 1994 la mission disposait :

- d'une 405 break,
- de deux Toyota Land Cruiser HZJ 75,
- d'une Durisotti.

6.2.- DROME

L'unité hydrographique disposait de la drome suivante :

- 1 coralline de 4,37 m utilisée pour les sondages portuaires et la topographie,
- 1 coralline de 2,80 m très légère,
- 1 embarcation pneumatique de 10 places à quille rigide très peu utilisée,
- 1 embarcation pneumatique de 6 places à fond rigide très bien adaptée aux besoins et fréquemment sollicitée grâce à la remorque dont disposait la mission,
- 6 motopropulseurs arbre long de 20 CV.

6.3.- ÉQUIPEMENTS

6.3.1.- SONDEURS

Les caractéristiques des sondeurs utilisés à la mission sont données dans le tableau suivant :

TYPE SONDEUR	NOMBRE	FRÉQUENCE	OUVERTURE	PUISSANCE	OBSERVATIONS
HONDEX ECHOTEST	2	200 kHz	24°		- fonctionnement sur piles - utilisé le long des quais et en topographie
SIMRAD EA 300 P	2	200 kHz	7° ± 1	500 W	- utilisé en coralline avec une base hors bord en remplacement des Deso 10 déclassés (un seul levé) - employé avec le terminal HUSKY HUNTER 36
KRUPP ATLAS DESO 20	3	33 kHz	16°	500 W	- principal sondeur utilisé dans le lagon aussi bien en vedette qu'avec le <i>Laplace</i>
		210 kHz	9°	150 W	
RAYTHEON	1	12 kHz	29°	2 000 W	- pour les levés larges
		34 kHz	11°	500 W	- employé sans son corrélateur
SONDEUR LATÉRAL EDGERTON 260 TH associé au poisson 272 TD	2	105 kHz ± 10	50° vertical 1,2° horizontal (1)		- emploi exclusif du 105 kHz
		390 kHz ± 20	50° vertical 0,5° horizontal (1)		- utilisation de l'annotateur OYSTER RT 80

(1) axe du faisceau incliné de 10 ou 20° par rapport à l'horizontale.

La situation du parc fut sensiblement améliorée avec la livraison d'enregistreurs 260 TH (thermique) pour sondeur latéral. En revanche la mise à disposition de sondeurs neufs Simrad EA 300P ne rencontra pas un vif succès auprès des hydrographes, qui préférèrent les Deso 20.

Remarque :

Pour les études de relèvement de fond les plongeurs utilisèrent systématiquement un profondimètre numérique « Aladin Pro » en complément aux cotations faites en surface avec un sondeur vertical.

6.3.2.- RADIOLOCALISATION

Les moyens mis à la disposition de la mission furent de très grande qualité à compter de 1993. L'échelon qui travaillait presque exclusivement avec du matériel Trident III devenu vétuste eut désormais à sa disposition non seulement une version Trident plus récente (III A), mais surtout du GPS différentiel HF et de l'Axyle.

6.3.2.1.- Trident

Le Trident III (200 MHz) fut utilisé avec de gros problèmes de fiabilité jusqu'au mois de mars 1993. Il fut ensuite remplacé par une autre version (Trident III A 1219 MHz) qui avait déjà été employée par une mission métropolitaine (celle-ci recevait la version Trident IV) et s'avéra très fiable.

Le parc de l'échelon en Trident III A comprenait 4 interrogateurs et 10 balises.

6.3.2.2.- GPS différentiel

Ce système de localisation par satellite changea fondamentalement les habitudes de travail à la mer. La mission gagna remarquablement en fiabilité, performance et souplesse là où les corrections différentielles de la station d'émission DGPS (Site de Mandjéla) étaient reçues.

Le matériel utilisé est de marque Sercel et l'échelon disposait de 3 récepteurs NR 103.

En mars 1994 la mission reçut une station DGPS HF «portable». Celle-ci, prévue pour les travaux dans le sud de la Nouvelle-Calédonie, était systématiquement embarquée sur le *Laplace* comme « système de rechange » en cas de défaillance de la station de Mandjéla.

6.3.2.3.- Axyle

Ce système de courte portée devait remplacer partiellement les théodolites de la mission pour les levés portuaires dont l'échelle était inférieure ou égale au 1/500 (guidage à l'optique, Axyle déclenché sur événement externe).

L'Axyle fut très apprécié pour sa facilité d'emploi et ses performances.

Le parc de l'échelon était constitué de :

- 1 AP1 (Interrogateur ; 1 seul mobile),
- 2 AT1 (Antenne sur mobile),
- 4 AB1 (Balises ; 4 lieux).

6.3.3.- GÉODÉSIE

Les grandes opérations de géodésie furent conduites avec la collaboration du Service Topographique et de l'ORSTOM qui fournissaient des appareils GPS géodésiques (Ashtech et Wild Leica).

Des moyens plus traditionnels furent utilisés pour des travaux de géodésie peu étendus (rattachements d'antennes de localisation, géodésie de baies, revues d'amers) :

- 1 théodolite T3,
- 3 théodolites T2,
- 1 théodolite T1000 équipé d'un distancemètre DI1000,
- 4 théodolites T16,
- 1 distancemètre AGA14,
- 1 couple de distancemètres MRA5 (ces telluromètres ne furent pas utilisés),
- 2 mires INVAR,
- 2 niveaux NAK2,
- 2 théodolites de mesure de déclinaison magnétiques TO.

6.3.4.- MARÉGRAPHIE - COURANTOMÉTRIE

MARÉGRAPHIE

L'échelon disposait de :

- 3 marégraphes à flotteur analogiques OTT R16,
- 2 marégraphes plongeurs numériques Suber SLS23.

Ces deux types d'appareils étaient habituellement employés simultanément, l'un compensant les défauts de l'autre.

Le marégraphe OTT R16, dont le contrôle du bon fonctionnement doit être fréquent, mais est très facile, permettait d'obtenir sans délais les mesures nécessaires à la réduction des sondages. Le marégraphe Suber SLS 23, au contrôle impossible, était surtout utilisé pour les mesures de qualité de longue durée.

Les marégraphes Suber étaient installés dans des cages pyramidales mises en place par plongeurs.

COURANTOMÉTRIE

Quatre courantomètres numériques Suber SLS21 étaient à la disposition de la mission. Des mouillages de subsurface avec une sphère (175 litres de flottabilité) furent utilisés.

6.3.5.- TRANSMISSIONS

VHF

Les appareils Motorola TRPP 32 A, bien que vétustes, ne posèrent pas de gros problèmes compte tenu des besoins et du parc (14) disponible à la mission. Un nouveau modèle (9215 HC TRPP 44 A) fabriqué par la société Alcatel fut mis à disposition de la mission pour évaluation. Les résultats des essais ont essentiellement porté sur l'ergonomie et l'adaptation aux besoins (radioguidage).

La mission devrait à terme être équipée de 13 VHF Alcatel 9211 HC.

Des VHF TRBP 15 Sailor (3) étaient par ailleurs disponibles à bord du *Laplace* et de ses vedettes.

HF

HF portables Thomson HF TRDP 2A.

Un émetteur-récepteur fut mis à la disposition de la mission mi-1993.

6.3.6.- INFORMATIQUE

La mission disposait des calculateurs suivants :

MARQUE TYPE	NOMBRE	EMPLOI - OBSERVATIONS
Hewlett-Packard (HP) 9000/216	3	2 à bord du <i>Laplace</i> (LPC) 1 en salle de dessin (S/D) « Acquisition temps réel et traitement ». Des augmentations de mémoire centrale furent demandées (passage à 2 mégaoctets) et accordées. Les performances ont alors été sensiblement améliorées. L'entretien de ce type de matériel (heureusement très fiable) qui n'était plus fabriqué depuis plusieurs années posa malgré tout des problèmes d'approvisionnement de pièces de rechange (ex : vidéo).
Hewlett-Packard (HP) 9000/220	1	1 S/D « traitement »
Hewlett-Packard (HP) 9000/300	1	1 S/D « traitement et développement »
Compaq Deskpro 386 S/20	2	1 LPC 1 S/D « traitement et bureautique »
Toshiba T 3100 SX	3	LPC « temps réel vedette et bâtiment »
Grid	1	« station DGPS de Mandjélia »
Bull Micral	2	1 secrétariat 1 S/D « bureautique, calculs »
Apple Macintosh Classic II	1	« gestion de matériel, bureautique »

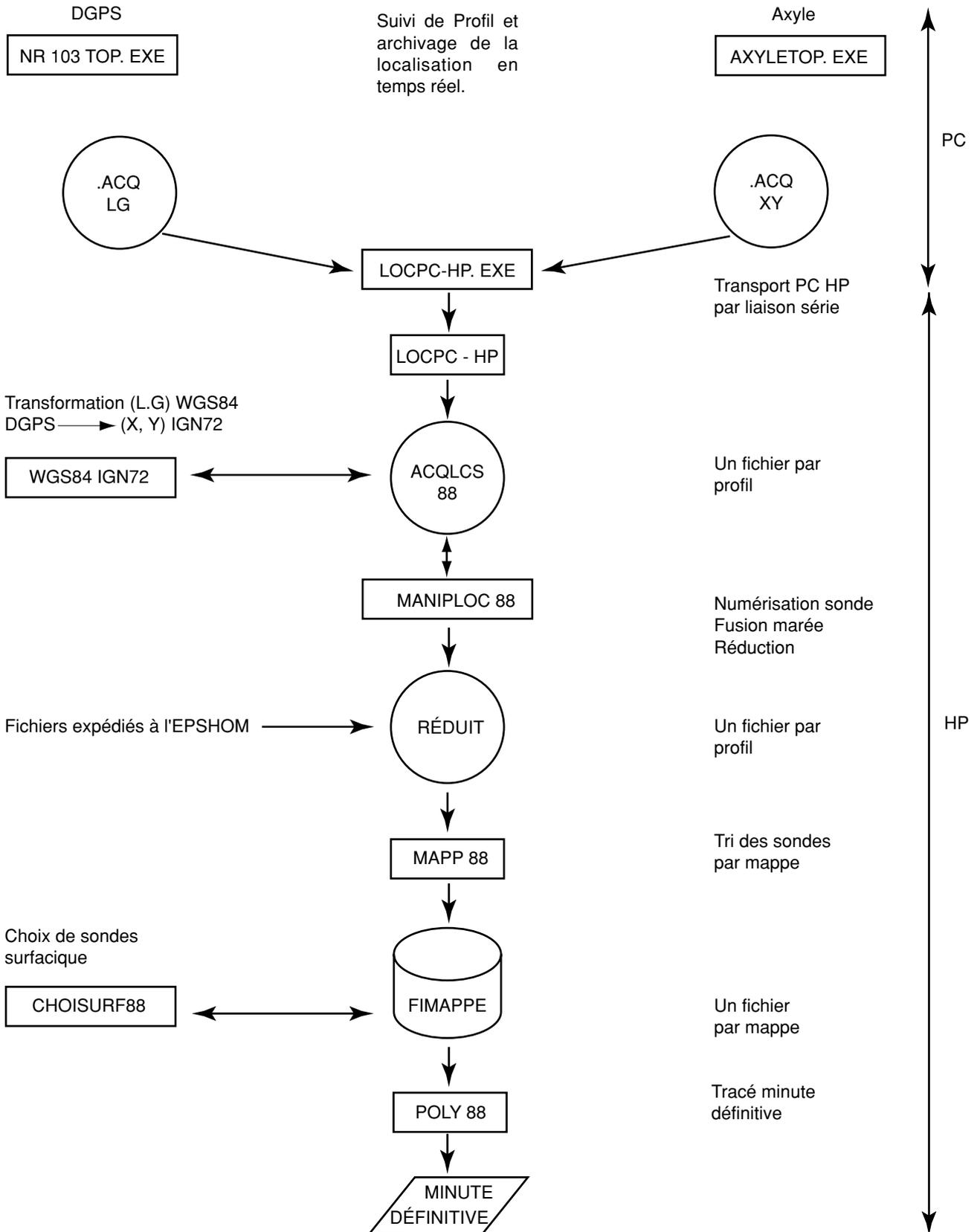
Les périphériques associés étaient constitués :

- d'imprimantes : - 5 HP Thinkjet,
- 3 Epson FX-850,
- 2 Canon LBP 4.
- de traceurs - 3 HP 7470 A,
- 2 Slumberger 1665,
- 2 Océ Graphics 1835.
- de tables à numériser : - 2 Altek AC 90C.

L'ensemble du matériel était généralement utilisé sur onduleur.

Les acquisitions des données avec le système de radiolocalisation Trident étaient assurées par 5 ensembles Hydrac version 3.5.

La chaîne de traitement de la localisation (DGPS, Axyle uniquement) et de la sonde est présentée sur l'organigramme suivant.



6.3.7.- DIVERS

- Plongée : l'unité hydrographique possédait deux équipements complets (2 plongeurs de bord au plan d'armement),
- Camping : l'équipement disponible permettait d'installer un « camp à terre » indépendant pour une vingtaine de personnes,
- Générateurs solaires (24 V) : au nombre de 8, ils furent essentiellement utilisés pour alimenter les balises Trident.

7.- MOYENS DIVERS (CONCOURS EXTÉRIEURS A LA MISSION)

Ces concours, notamment les hélicoptères, furent essentiels pour la conduite des levés.

L'Escadron de Transport Outre Mer 52 (ETOM) de l'Armée de l'Air apporta, à de très nombreuses occasions, des concours d'hélicoptères :

- « Puma » pour la mise en place de stations de radiolocalisation et les spatiopréparations,
- « Alouette III » puis « Fennec » pour les reconnaissances bathymétriques.

Le potentiel annuel alloué était de 35 heures.

- La Base Navale Chaleix mit couramment à la disposition de la mission son LCPS pour des levés aux abords de Nouméa pendant les périodes d'absence du *Laplace* (bâtiment en réparation à Papeete). Occasionnellement, elle fournit également des plongeurs et des manoeuvriers.

- La Gendarmerie Maritime accueille des hydrographes à bord de sa vedette *La Pétulante* pour des reconnaissances géodésiques aux abords de Nouméa.

- Les brigades de gendarmerie accueillirent des « équipes terre » chargées de géodésie ou d'entretien de stations de radiolocalisation. Le concours le plus important fut accordé à Népoui (Gendarmes mobiles) où une équipe de 15 personnes fut accueillie pendant 2 semaines (camp à terre, hydrographie sans soutien sur zone du *Laplace*).

- La Direction des Constructions Navales (DCN) de Papeete prit en charge les frais de raccordement (consommation électrique comprise) au réseau des stations de radiolocalisation (DGPS).

- La Direction Mixte des Travaux (DMT) prit à sa charge les frais de location du terrain et du bâtiment où était installée la station DGPS de Mandjéla.



↑ Réception GPS ↑ Réception des corrections HF

Vedette hydrographique équipée DGPS



↑ Réception des corrections HF ↑ Réception GPS

Véhicule tout terrain équipé DGPS
Contrôle DGPS sur un point géodésique



↑
Émission
de
corrections

↑
Réception
GPS

Abri

Intérieur abri : électronique DGPS et micro-ordinateur

Station DGPS HF fixe de Mandjélia



↑
Réception GPS

↑
Émission de corrections

Station DGPS HF portable

8. -MÉTHODES - ORGANISATION - EMPLOI DES MOYENS

8.1.- CONCOURS APPORTÉS À LA MISSION - PARTENARIAT LOCAL

C'est bien entendu avec le Service Topographique (Bureau Géodésie Nivellement) de la Direction des Infrastructures de la Topographie et des Transports Territoriaux (DITTT) que les travaux menés en collaboration furent non seulement les plus nombreux, mais aussi les plus fructueux.

Pour ses levés de nivellement de précision, de géodésie, et de spatiopréparation, la Mission put bénéficier du personnel et du matériel performant (GPS) de la DITTT, le bureau Géodésie Nivellement bénéficia en contrepartie de nos moyens flottants et aériens (ETOM 52) pour l'extension de ses réseaux géodésiques au delà de la Grande Terre.

Par l'intermédiaire du LATICAL (LABoratoire de Traitement d'Images CALédonien) de l'ORSTOM (Institut Français de Recherche pour le développement en coopération), la Mission bénéficiait des moyens informatiques du SMAI/ESTEL (Service des Méthodes Administratives et de l'Informatique du Territoire/ESpace TELédétection) pour l'édition d'images SPOT nécessaires aux spatiopréparations.

8.2.- ORGANISATION DES TRAVAUX

90% des levés furent effectués avec les vedettes hydrographiques du *Laplace*. Ce dernier ne devait sonder qu'en dehors du lagon ou lors de l'exploration des voies recommandées.

La Mission disposait en général de minutes de photogrammétrie éditées par l'EPSHOM à partir de photos aériennes. Ces minutes lui permettaient d'optimiser la préparation des levés en excluant les zones où la navigation n'était pas envisageable. Des images SPOT furent également exploitées afin de délimiter les zones de hauts fonds dangereux.

Le *Laplace* assura généralement le soutien des vedettes. Occasionnellement, celles-ci furent employées sur zone (détachements isolés) sans la présence du *Laplace* qui était alors à quai à Nouméa pour entretien.

Les levés étendus furent découpés en sous-zones afin de traiter des volumes de données raisonnables et de diminuer la durée séparant le début du levé et la fourniture des premiers résultats.

Une « équipe terre » disposant d'un véhicule tout terrain accompagnait le *Laplace* pendant ses missions.

Cette équipe entretenait les stations de radiolocalisation et les marégraphes.

Dans la mesure du possible, afin de s'affranchir partiellement des conditions météorologiques, plusieurs zones de travail étaient programmées au cours d'une même mission.

8.3.- BATHYMÉTRIE

Sondages verticaux :

Les sondeurs petits fonds des vedettes (Deso 20 bi-fréquences 33 et 210 kHz), bien que précis et fidèles, furent quotidiennement étalonnés à la barre. La sonde numérisée, qui pouvait être acquise par les Hydrac, fut rarement exploitée. Les bandes de sondes étaient, par ailleurs, systématiquement numérisées manuellement avec une table pour les cotations de relèvements. Ne disposant pas de compensateurs de pilonnement, la bande était filtrée aux 2/3 manuellement.

L'espacement entre les profils était spécifié dans les Instructions Techniques. Dans le lagon il était généralement égal à 100 m en dehors des mouillages, des chenaux, et des eaux resserrées où l'espacement était réduit à 50 mètres.

Sondages latéraux :

Ils furent généralement utilisés avec les réglages suivants :

- fréquence : 105 kHz ;
- inclinaison des faisceaux : 10° sous l'horizontale ;
- hauteur du poisson au-dessus du fond : environ 10 % de la portée.

L'espacement entre profils dépendait en partie de la profondeur. En simplifiant, il était de 50 mètres (portée 75 m) dans les fonds inférieurs à 10 mètres, de 75 mètres (portée 100 m) pour les fonds compris entre 10 et 15 mètres et 100 mètres (portée 150 m) au-delà.

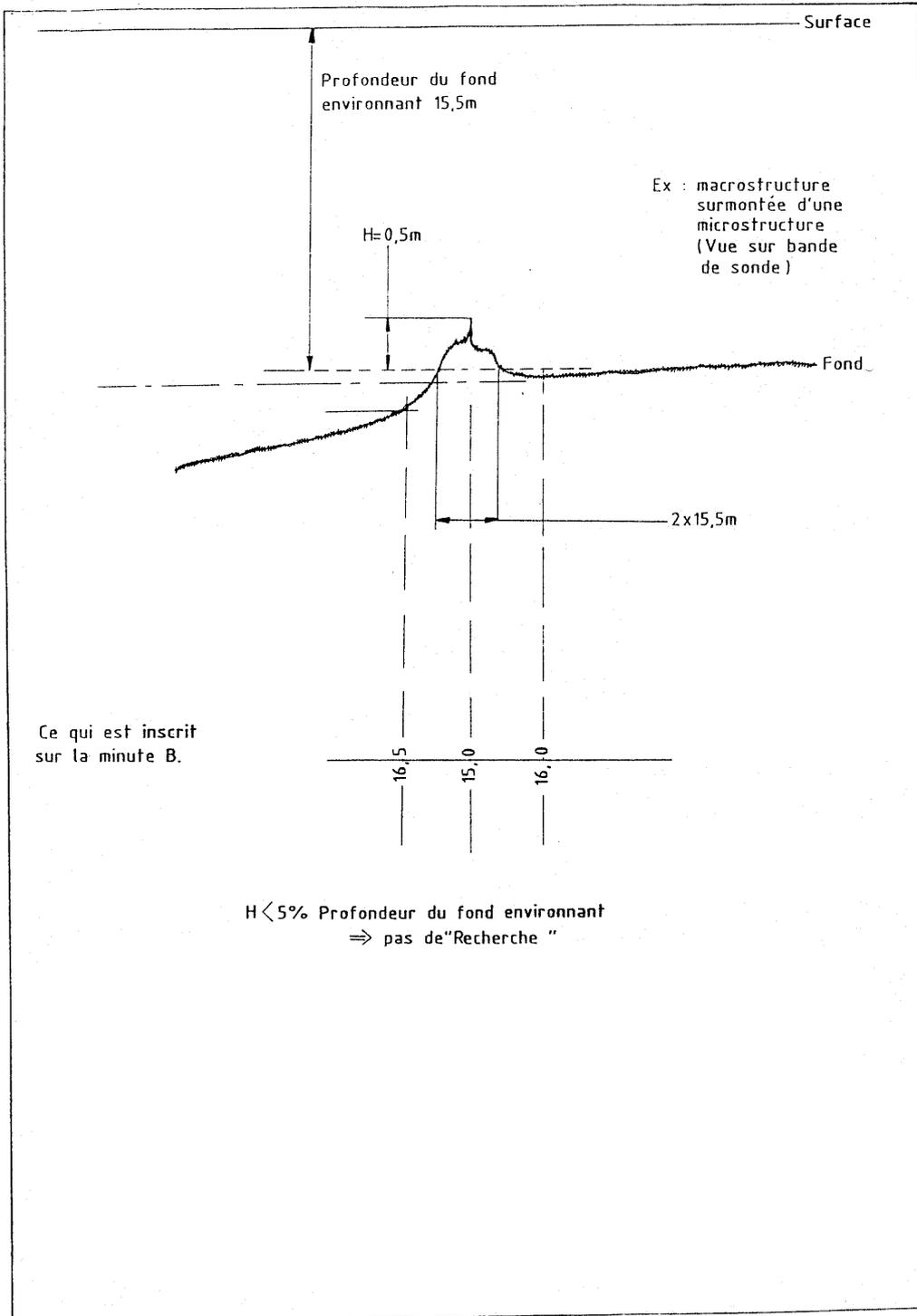
Études (Recherches) des relèvements de fonds :

Les relèvements de fonds détectés au sondeur vertical ou latéral firent généralement l'objet d'étude dès lors qu'ils dépassaient respectivement 5% et 10 % du fond.

C'est essentiellement à partir de la bande de sonde qu'étaient décidées les études de relèvements de fond détectés au sondeur vertical. Les cotes du relèvement et de son fond environnant étaient pris en compte de la manière suivante (cf figure 8.3) :

- la profondeur du fond environnant était la profondeur maximale trouvée sur une longueur de bande de sonde correspondant à 2 fois la profondeur moyenne du lieu et centrée sur le relèvement. La profondeur du fond environnant n'était pas nécessairement donnée par les sondes voisines apparaissant sur les minutes B rédigées. En effet, pour améliorer leur lisibilité, les sondes définissant l'environnement immédiat d'un relèvement de fond disparaissaient parfois lors de la rédaction finale (choix surfacique de sonde).

- si la hauteur du relèvement était d'au moins 0,5 m et d'au moins 5 % de la profondeur du fond environnant, alors des « recherches » étaient programmées. Dans le cas contraire des intercalaires étaient très souvent exécutés pour définir la macrostructure.



Dans la pratique, les zones proches des récifs n'étaient cependant pas étudiées, une limite de zone « incomplètement hydrographiée » ou de « hauts fonds dangereux » était alors tracée sur les minutes.

Deux procédés furent utilisés pour la détermination des sommets :

1.- Les sondages resserrés conduits de façon à obtenir une insonification totale du sommet. Cette technique imposait généralement de très nombreux profils par petits fonds.

2.- L'emploi de plongeurs qui utilisaient un profondimètre pour la détermination de la cote du sommet et mouillaient un jalon visible en surface, qu'une vedette venait localiser en effectuant un passage en croix ; le sondeur de la vedette permettait de contrôler la détermination de la profondeur faite par le profondimètre.

La technique «plongeurs» avait l'avantage d'être très rapide mais aussi très précise autant en cotation (pas d'échos douteux dus aux poissons ou aux algues) qu'en position. Le nombre de plongeurs de bord (*Laplace* et unité hydrographique confondus) et les règles de sécurité ne permettaient cependant qu'un nombre très

limité d'interventions par jour. Par fonds importants (supérieurs à 20 m), il était par ailleurs nécessaire de recourir aux sondages resserrés.

8.4.- TOPOGRAPHIE

La mission n'a produit que très peu de minutes de topographie «T». Son rôle se limita essentiellement aux contrôles et aux compléments des minutes de photogrammétrie éditées par l'EPSHOM. Les principaux dangers étaient cotés à la perche à raison d'une mesure tous les 3 cm environ sur la minute de photogrammétrie. Des dossiers destinés à la restitution d'images SPOT furent également constitués à partir des résultats de spatiopréparations comportant en particulier la localisation des pixels (points d'appui au sol) nécessaires au calage et à la rectification géométrique des images.

8.5.- LOCALISATION

La fourniture du DGPS et de l'Axyle améliora remarquablement l'activité de la mission à compter du 2ème trimestre 1993. Les moyens de localisation utilisés sont résumés dans le tableau suivant :

ÉCHELLES	AVANT MAI 1993	APRÈS
E < 1/10 000	– Trident III	– Trident IIIa – DGPS
1/5 000	– Trident III et un ou plusieurs lieux optiques	– Trident IIIa – DGPS – Axyle
1/1 000	– Optique	– Axyle
1/500	– Optique	– Optique ET Axyle

Remarques :

- Les systèmes de radiolocalisation Trident (III et IIIa) étaient systématiquement étalonnés à l'optique.

- Des problèmes de datation d'origine connue (Axyle), non maîtrisables par la mission, imposèrent de maintenir la technique de radioguidage (optique) pour les levés portuaires à très grande échelle (ex : 1/500). La localisation était cependant assurée à l'Axyle.

8.6.- NATURES DU FOND

Elles étaient généralement déterminées à la pelle mécanique aux intersections d'un maillage dont le pas

représentait 10 cm sur la minute de rédaction. Les résultats étaient rédigés sur des minutes en utilisant les abréviations internationales de l'ouvrage 1D du SHOM. Des fiches descriptives de prélèvements sédimentologiques furent parfois renseignées pour les besoins de l'EPSHOM. Des natures de fond étaient, en outre, occasionnellement déterminées par les plongeurs lors des recherches de relèvements de fond.

8.7.- TOPONYMIE

Aucune enquête toponymique ne fut entreprise par la Mission, ce travail étant effectué par le Service Topographique du Territoire.

DEUXIÈME PARTIE

1. LAGON NORD	21
2. GRAND LAGON NORD ET RÉCIFS D'ENTRECASTEAUX.....	49
3. LAGON OUEST	55
4. LAGON SUD	78
5. NOUMÉA ET SES ENVIRONS	83
6. LAGON EST	118
7. LEVÉS OCÉANIQUES	129

1. - LAGON NORD

1.1.- LEVÉ RÉGULIER AU NORD DE L'ILE BALABIO

1. - GÉNÉRALITÉS

Ce chapitre traite d'un levé situé au nord de l'île Balabio (planche 1.1.1), commencé par mon prédécesseur. Les travaux ont été effectués par le *Laplace* de juin 1991 à janvier 1993. Des concours d'hélicoptères ont été obtenus à plusieurs reprises et ont permis l'installation et le démontage de stations Trident.

Les alizés souvent très forts dans cette région exposée ont fortement perturbé les sondages. Le levé régulier avec recherche systématique des relèvements de fond ne concerne que la zone où la navigation peut être envisagée normalement pour contourner par l'est l'île Balabio.

2.- GÉODÉSIE

Le réseau de l'IGN entretenu par le Service Topographique de Nouvelle-Calédonie est suffisamment dense et de bonne durabilité. Aucun levé géodésique d'envergure n'a été utile. Trois tripodes installés par petits fonds pour servir à l'établissement du réseau Trident ont été localisés à l'optique et par des mesures de distances. Une station de radiolocalisation (HOUPÉ) a également été triangulée, sa fiche géodésique a été rédigée. Les calculs ont été réalisés dans le système géodésique IGN 72 en projection UTM Sud, fuseau 58.

3.- TOPOGRAPHIE

(Planche 1.1.2)

3.1.- Contrôle des minutes de photogrammétrie

La topographie est issue des minutes de photogrammétrie au 1/10 000 fournies par l'EPSHOM. Les restitutions photogrammétriques établies par l'EPSHOM comprennent, pour toutes les coupures, des minutes topographiques appelées dans la suite « minutes P » et pour certaines d'entre-elles des minutes de bathymétrie (« minutes PB ») sur lesquelles sont représentées les isobathes 0,3 et 5 m.

Les contrôles ont porté sur :

- la courbe du zéro hydrographique : l'isobathe 0 des minutes PB a été contrôlée par des mesures à la perche topographique, dans les zones sondées au 1/10 000. Les cotes ont été corrigées de la marée observée sur zone.

- le positionnement du centre de deux pâtés coralliens portés sur les minutes P et facilement identifiables à la mer : la restitution photogrammétrique semble décalée d'une vingtaine de mètres à l'ouest par rapport à la réalité, dans la zone considérée (minute 39 ; points A et B sur la planche 1.1.2).

3.2 - Contrôle des documents établis au 1/40 000 en 1981

Ces documents (T40.16, T40.17 et T40.18) rédigés à l'issue d'une reconnaissance topographique couvrant le Lagon Nord (levé 83.5) ont été contrôlés par la Mission. La précision planimétrique qui avait été estimée à 100 mètres a été confirmée en comparant la position du centre de certains pâtés coralliens des minutes au 1/40 000 avec celle relevée soit sur une minute de photogrammétrie au 1/10 000 soit sur une minute de bathymétrie au 1/10 000 (points 1 à 15 sur la planche 1.1.2).

Compte tenu des besoins du plan cartographique, les documents au 1/40 000 semblent donc être d'une qualité suffisante pour décrire convenablement les zones qui devaient à l'origine être restituées au Traster.

4.- BATHYMÉTRIE

4.1.- Localisation

La localisation des porte-sondeurs (vedettes, *Laplace*, coralline) a été assurée par une chaîne Trident. L'établissement s'est fait sur des tripodes installés par petits fonds et localisés à l'optique.

Plusieurs tripodes ont été réalisés, de façon à obtenir une précision de l'ordre de 5 m sur toute la zone du levé.

La liste des stations Trident utilisées figure en annexe A.

4.2.- Sondages

Les sondages réguliers ont été effectués en suivant des profils espacés de 100 m et rédigés au 1/10 000. Le mouillage de « La Fine » a fait l'objet d'intercalaires tous les 50 m. Une zone s'étendant à l'est, vers le Récif de Cook, a été sondée au 1/100 000, elle est déclarée « zone incomplètement hydrographiée ».

Enfin, le voisinage de ce récif n'a pas été sondé, c'est une « zone de hauts-fonds dangereux ».

Les sondeurs utilisés étaient des Atlas Deso 20.

Les sondes ont été corrigées de la marée observée sur zone (cf. chapitre 6.- MARÉGRAPHIE).

La précision des sondes est estimée à 30 cm.

4.3.- Explorations au sondeur latéral

Elles ont été réalisées par le *Laplace* et ses vedettes hydrographiques avec le sondeur latéral Edgerton modèle 260 :

- Les profils étaient espacés de 50 m ;
- La zone explorée permet l'accès au mouillage de « La Fine ».

4.4.- Recherche de relèvements de fond détectés au sondeur vertical

Les études des relèvements de fond ont été effectuées par sondages resserrés ou par plongeurs dès

qu'ils dépassaient 5 % du fond. Ces études n'ont cependant pas été conduites systématiquement près de la côte et autour des récifs.

Une limite de « zone incomplètement hydrographiée » ou de « hauts-fonds dangereux » a alors été tracée sur les minutes B essentiellement à partir des lignes en tiretés bleus dessinées sur les minutes de photogrammétrie.

4.5 - Recouvrement avec le levé situé dans le nord-ouest de l'île Balabio

Toutes les sondes situées dans la zone de recouvrement avec le levé 91.56 ont été contrôlées. Les écarts ne sont pas importants.

La zone explorée au sondeur latéral permettant l'accès au mouillage de « La Fine » remplace le levé ancien.

En dehors de cette zone, seules quelques sondes significatives inférieures de plus de 30 cm à celles du précédent levé ont été conservées dans la zone de recouvrement.

5.- NATURES DE FOND

Des natures de fond ont été déterminées par des prélèvements à la benne mécanique aux intersections d'un maillage de 2 000 m de côté. La densité des prélèvements a été augmentée (maillage de 500 m) dans la zone de mouillage de «La Fine».

Des minutes de nature de fond et des fiches descriptives de prélèvements sédimentologiques ont été rédigées en utilisant les abréviations internationales de l'ouvrage 1D (1992).

6.- MARÉGRAPHIE

Un observatoire de marée (extraits de fiche en annexe B) a été installé à Poingam.

Une analyse harmonique des mesures de marée réalisées en 1986 ayant montré que le zéro de réduction

des sondes adopté lors des sondages de 1986 à 1987 était confondu à 2 cm près avec le niveau des plus basses mers astronomiques, ce zéro a été conservé pour les sondages de la zone au nord de Balabio. Il est situé à 3.683 m sous le repère fondamental A.

Les mesures ont été effectuées avec un marégraphe à flotteur OTT R16 lorsque le *Laplace* se trouvait sur zone. La fiche d'observatoire de marée rédigée présente l'ensemble des mesures réalisées avec l'OTT R16 en 1991 et 1992.

Un marégraphe plongeur Suber SLS 23 a également été immergé. Ses mesures ont alors été corrigées de la pression atmosphérique observée à Koumac par Météo-France.

7.- COURANTOMÉTRIE

Deux mouillages de subsurface, d'une durée moyenne de 10 jours, ont été réalisés avec des courantomètres Suber SLS 21 à environ 5 m d'immersion au mouillage de «La Fine».

Les observations météorologiques qui proviennent de Météo-France ont été faites à Koumac. La vitesse maximale des courants observés est inférieure à 0,5 noeud.

8.- TOPONYMIE

Aucune enquête de toponymie n'a été entreprise par la mission, ce travail étant effectué par le Service Topographique du Territoire.

9.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 8 minutes de bathymétrie à l'échelle 1/10 000,
- 7 minutes de recherches à l'échelle 1/10 000,
- 6 minutes de nature de fond à l'échelle 1/10 000,
- 7 minutes de photogrammétrie complétées à l'échelle 1/10 000,
- 1 fiche d'observatoire de marée,
- 2 dossiers de mesures de courants,
- 1 fiche géodésique.

ANNEXE A

au chapitre 1.1

STATIONS DE LOCALISATION UTILISÉES POUR LE LEVÉ

N O M	X	Y	Z (1)
ILE BAABA (IGN 2.11)	392 399,44	7 783 312,77	94,65
OLANE (IGN 2.21)	399 715,99	7 775 977,99	155,25
COL DE POINTE (IGN 2.30)	406 146,73	7 766 992,19	70,95
TIAGANE (IGN 2.35)	412 586,68	7 781 782,97	93,61
SOMMET BALABIO (IGN 2.39)	415 572,38	7 776 274,06	277,68
HOUPE (MOP)	415 860,9	7 778 311,0	22,6

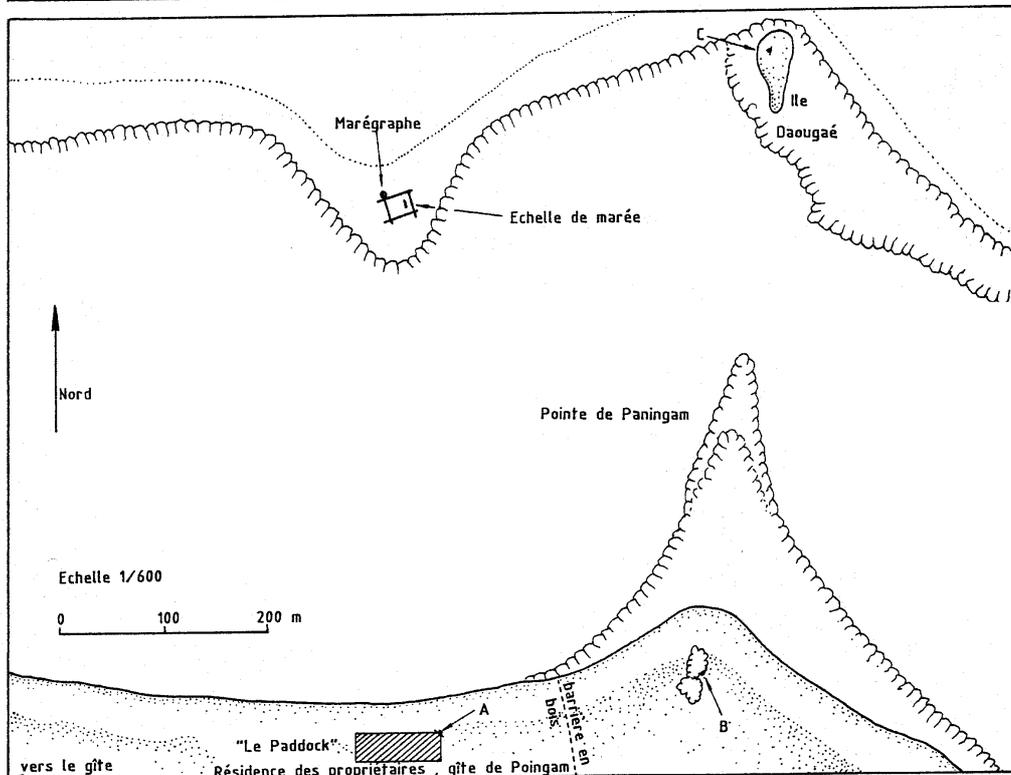
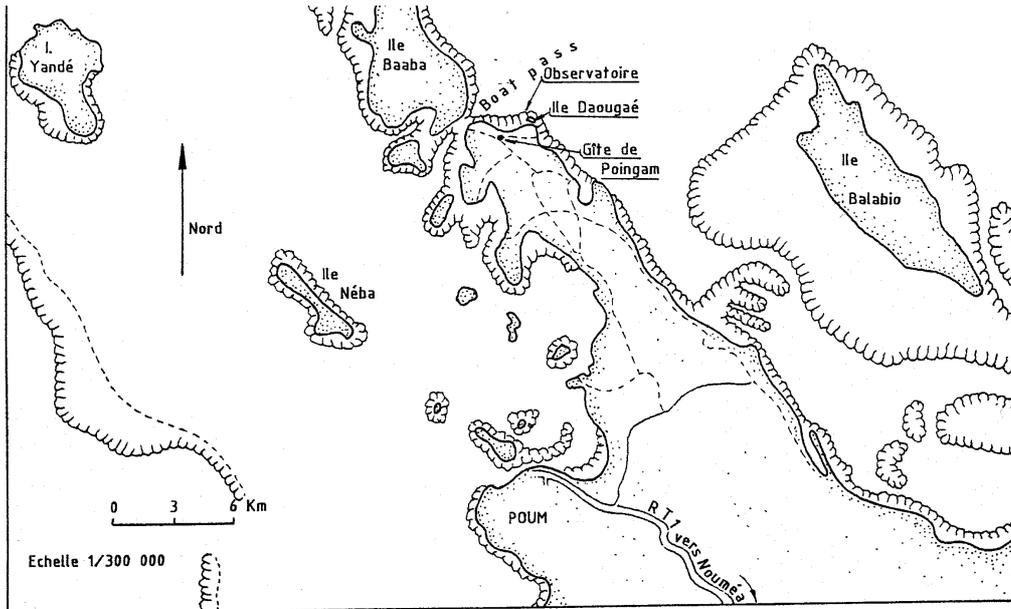
(1) Altitude des bornes.

ANNEXE B

au chapitre 1.1

POINGAM

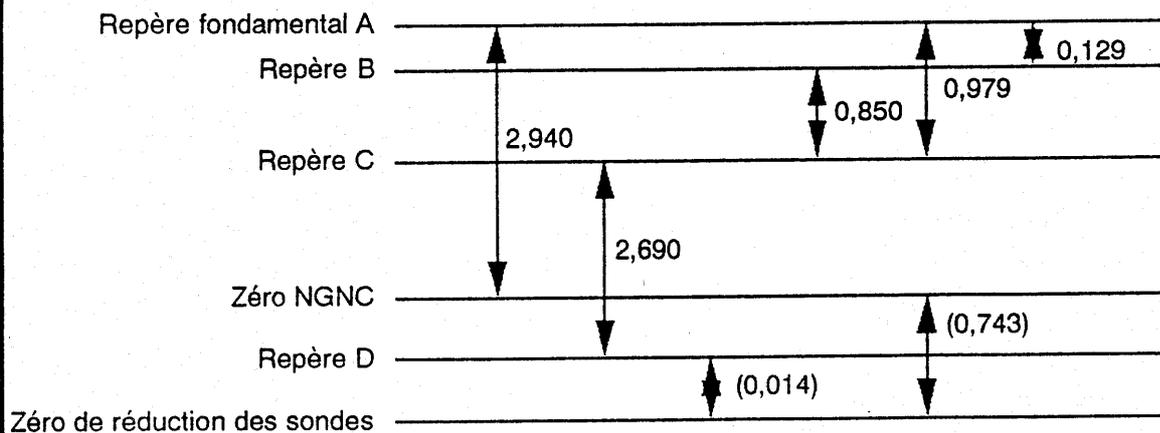
SITUATION DE L'OBSERVATOIRE

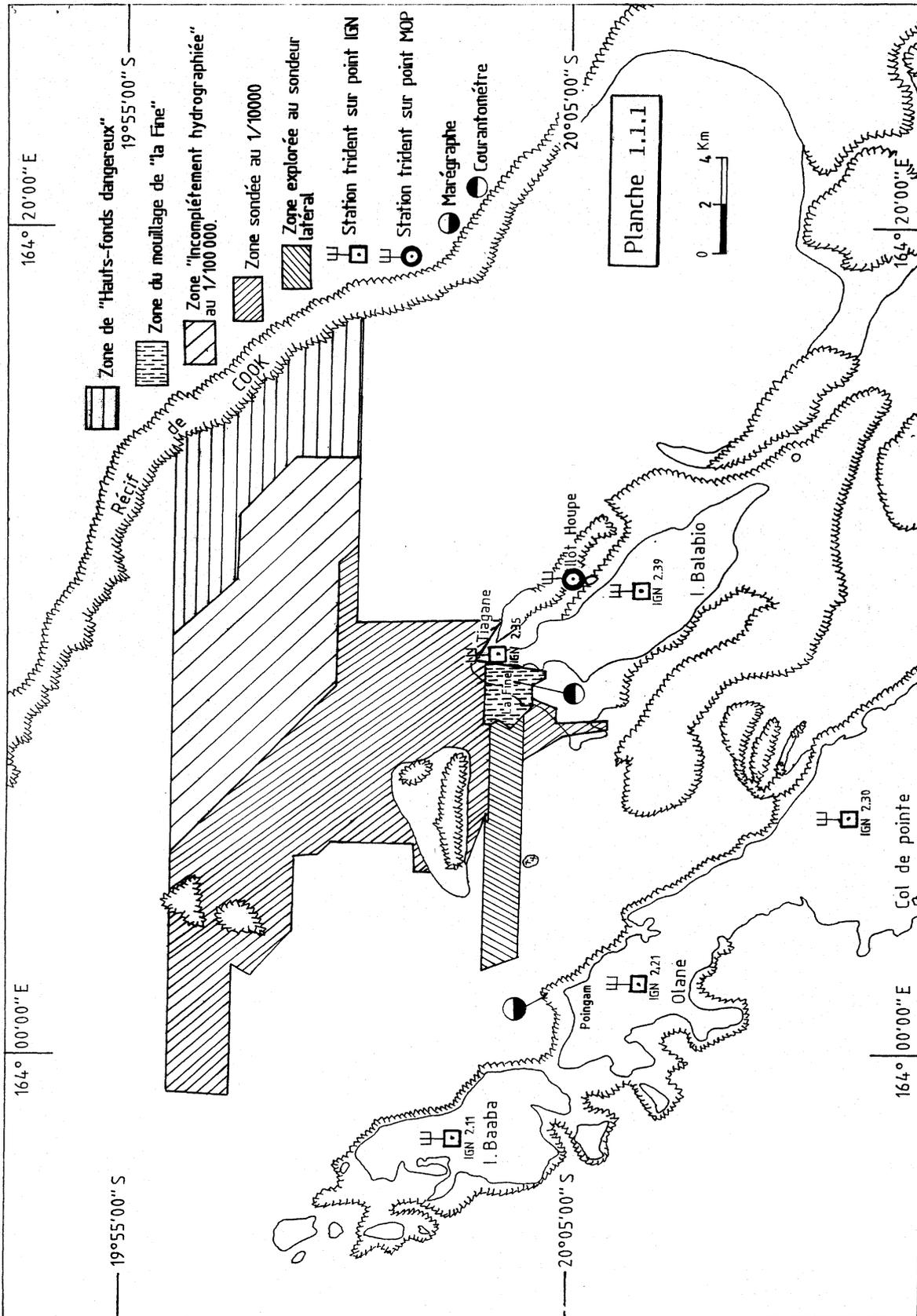


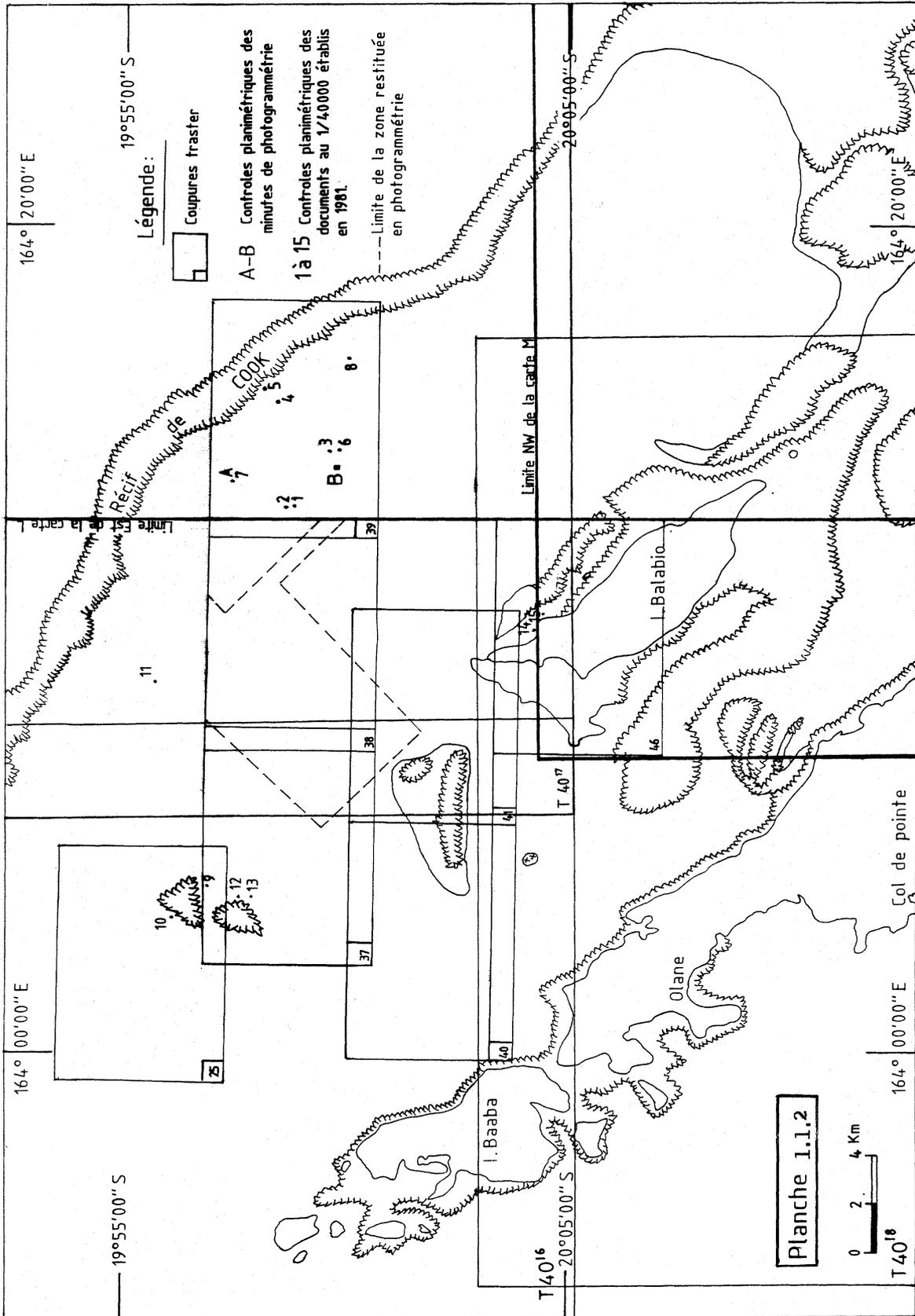
REPÈRES D'ALTITUDE

Désignation	Description	Côte rapportée au zéro N.G.N.C.	Côte rapportée au zéro de réduction des sondes
A	Repère fondamental type SHOM, scellé horizontalement dans l'angle Nord-Est du soubassement de la résidence des propriétaires du gîte de Poingam (Le Paddock).	+ 2,940 m	3,683 m
B	Repère type SHOM, scellé horizontalement dans un rocher situé dans le Sud de la partie ensablée de la pointe de Paningam à 60 mètres.	+ 2,811 m	3,554 m
C	Repère type SHOM, scellé horizontalement dans les premiers rochers côté Nord-Ouest de l'île Daougaé.	+ 1,961 m	2,704 m
D	Piquet en fer, planté dans le corail dans le Nord de M1 à 3m.	-0,729 m	0,014 m

SITUATION EN ÉLEVATION DES REPÈRE D'ALTITUDES ET DES DIFFÉRENTS ZÉROS DE RÉFÉRENCE (Zéro instrumental, zéro de réduction des sondes, zéros IGN, etc...)







1.2.- LEVÉ RÉGULIER A L'EST DE L'ILE BALABIO ET DANS LE CANAL NAPIAS

1. - GÉNÉRALITÉS

Ce chapitre traite d'une partie du levé du Lagon Nord située dans le prolongement immédiat (sud est) de la zone décrite dans le chapitre 1.1 (cf. planche 1.2.1). Les travaux ont été effectués par le *Laplace* essentiellement d'octobre 1992 à avril 1993. Les conditions générales de travail (météorologie, moyens, méthodes) furent celles déjà décrites dans le chapitre 1.1. La rédaction de ce chapitre a donc été simplifiée et ne traite que des principaux résultats.

Le levé régulier avec recherche systématique des relèvements de fond ne concerne que la zone où la navigation peut être envisagée normalement pour contourner par l'est l'île Balabio en empruntant le canal Napias.

2.- TOPOGRAPHIE

(Planche 1.2.2)

2.1.- Contrôle des minutes de photogrammétrie

Les contrôles ont porté sur la courbe du zéro hydrographique et le positionnement du centre de pâtés coralliens portés sur les minutes P et facilement identifiables à la mer. Les résultats sont de bonne qualité (écarts inférieurs à 15 m).

2.2.- Contrôle des documents établis au 1/40 000 en 1981

Ces documents (T40.17 et T40.19) rédigés à l'issue d'une reconnaissance topographique couvrant le Lagon Nord (levé 83.5) ont été contrôlés par la Mission. La précision planimétrique qui avait été estimée à 100 mètres a été confirmée en comparant la position du centre de certains pâtés coralliens des minutes au 1/40 000 avec celle relevée sur des minutes de photogrammétrie au 1/10 000.

3.- BATHYMÉTRIE

3.1.- Localisation

Une précision de l'ordre de 5 m a été obtenue sur toute la zone du levé.

La liste des stations utilisées figure en annexe A.

3.2.- Sondages

En dehors du canal Napias, les sondages réguliers ont été effectués en suivant des profils espacés de 100 m et rédigés au 1/10 000. Le canal Napias a été seulement sondé au 1/5 000. Une zone s'étendant à l'est, vers le Récif de Cook a été sondée au 1/100 000,

elle est donc qualifiée de «zone incomplètement hydrographiée».

Enfin, le voisinage de ce récif n'a pas été sondé, c'est une « zone de hauts-fonds dangereux ».

La précision des sondes est estimée à 30 cm.

3.3 - Recouvrement avec le levé situé au nord de l'île Balabio

Toutes les sondes situées dans la zone de recouvrement avec le levé décrit dans chapitre 1.1 sont identiques.

4.- NATURES DE FOND

Des natures de fond ont été déterminées par des prélèvements à la benne mécanique aux intersections d'un maillage de 2 000 m de côté. La densité des prélèvements a été augmentée dans le canal Napias.

5.- MARÉGRAPHIE

Deux observatoires de marée ont été installés à Poingam et Pam.

Les zones de marée sont indiquées sur la planche 1.2.3.

5.1.- Observatoire de Poingam

(cf. paragraphe 6 du chapitre 1.1).

La fiche d'observatoire de marée rédigée présente l'ensemble des mesures réalisées de décembre 1992 à février 1993.

5.2.- Observatoire de Pam

(cf. annexe B).

Les mesures ont été effectuées avec un marégraphe à flotteur OTT R16. Le zéro de réduction des sondes est celui adopté en 1989. Il est situé 3,745 m sous le repère fondamental F. La fiche d'observatoire de marée rédigée présente l'ensemble des mesures effectuées de janvier à avril 1993.

6.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 5 minutes de bathymétrie à l'échelle 1/10 000,
- 2 minutes de bathymétrie et nature de fond au 1/10 000,
- 2 minutes de recherches et nature de fond au 1/10 000,
- 2 minutes de nature de fond à l'échelle 1/10 000,
- 3 minutes de bathymétrie à l'échelle 1/5 000,
- 1 minute de recherches à l'échelle 1/5 000,
- 11 minutes de photogrammétrie complétées ou vérifiées à l'échelle 1/10 000,
- 2 fiches d'observatoire de marée.

ANNEXE A

au chapitre 1.2

STATIONS DE LOCALISATION UTILISÉES POUR LE LEVÉ

N O M		X	Y	Z (1)
ILE BAABA	(IGN 2.11)	392 339,44	7 783 312,77	94,65
OLANE	(IGN 2.21)	399 715,99	7 775 977,99	155,25
COL DE POINTE	(IGN 2.30)	406 146,73	7 766 992,19	70,95
TIAGANE	(IGN 2.35)	412 586,68	7 781 782,97	93,61
SOMMET BALABIO	(IGN 2.39)	415 572,38	7 776 274,06	277,68
HOUPE	(MOP)	415 860,9	7 778 311,0	22,6
BALABIO SUD	(MOP)	419 760,4	7 771 310,9	69,8
MADAHANDE	(MOP)	421 009,82	7 769 849,31	43,2
MADAHANDE (optique)	(MOP)	421 118,60	7 769 978,27	17,8
PAM	(IGN 4.8)	425 114,46	7 762 170,58	166,2
TIARI	(IGN 4.19)	429 414,40	7 759 755,27	377,4
CALVAIRE ARAMA	(MOP)	416 266,74	7 760 864,03	5,95

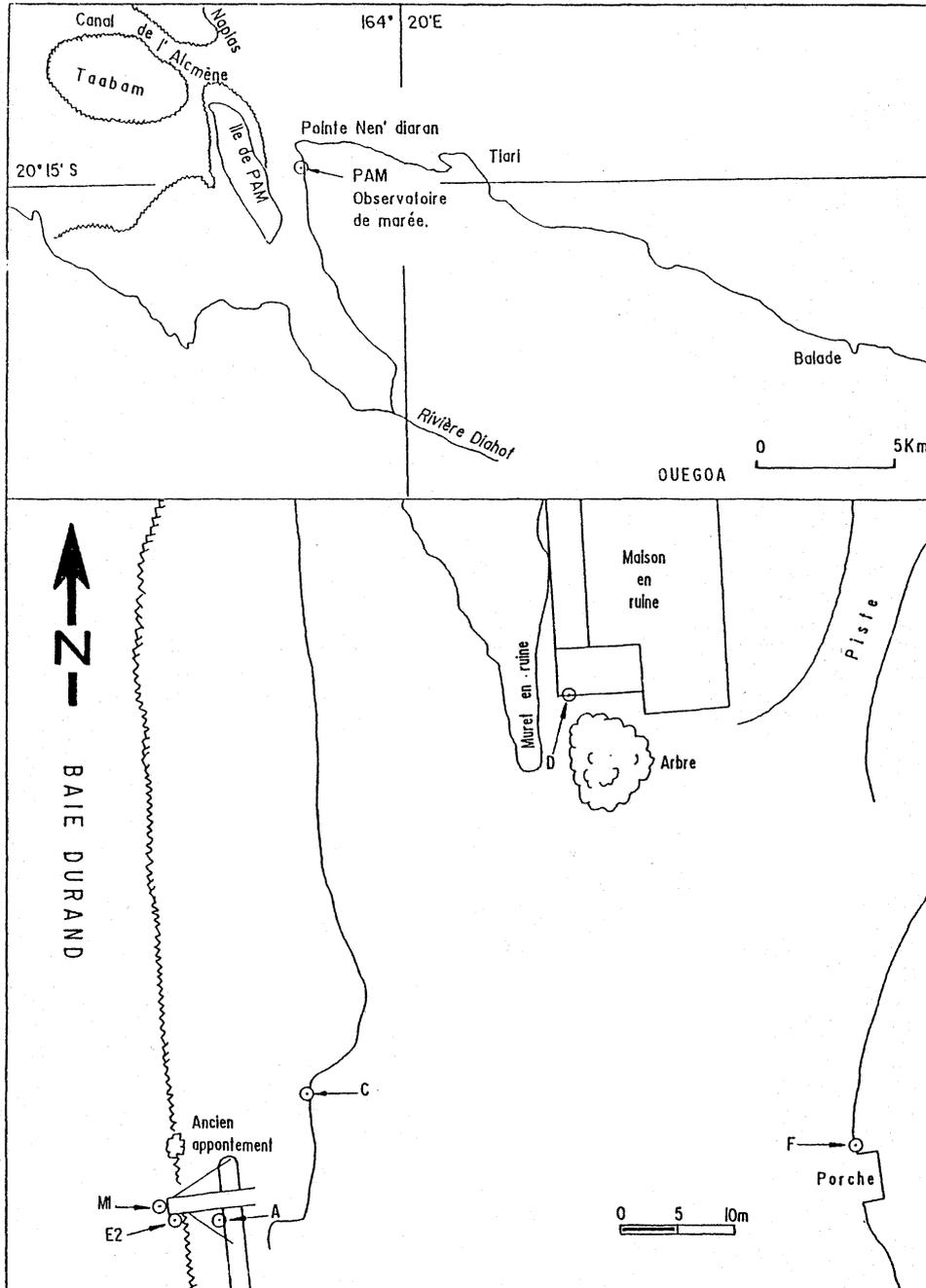
(1) Altitude des bornes.

ANNEXE B

au chapitre 1.2

PAM

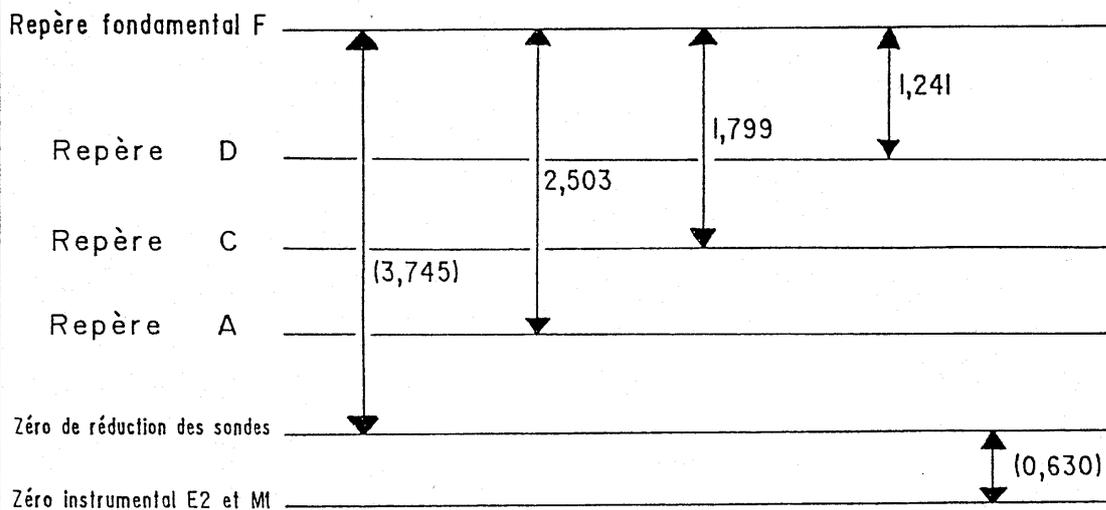
SITUATION DE L'OBSERVATOIRE

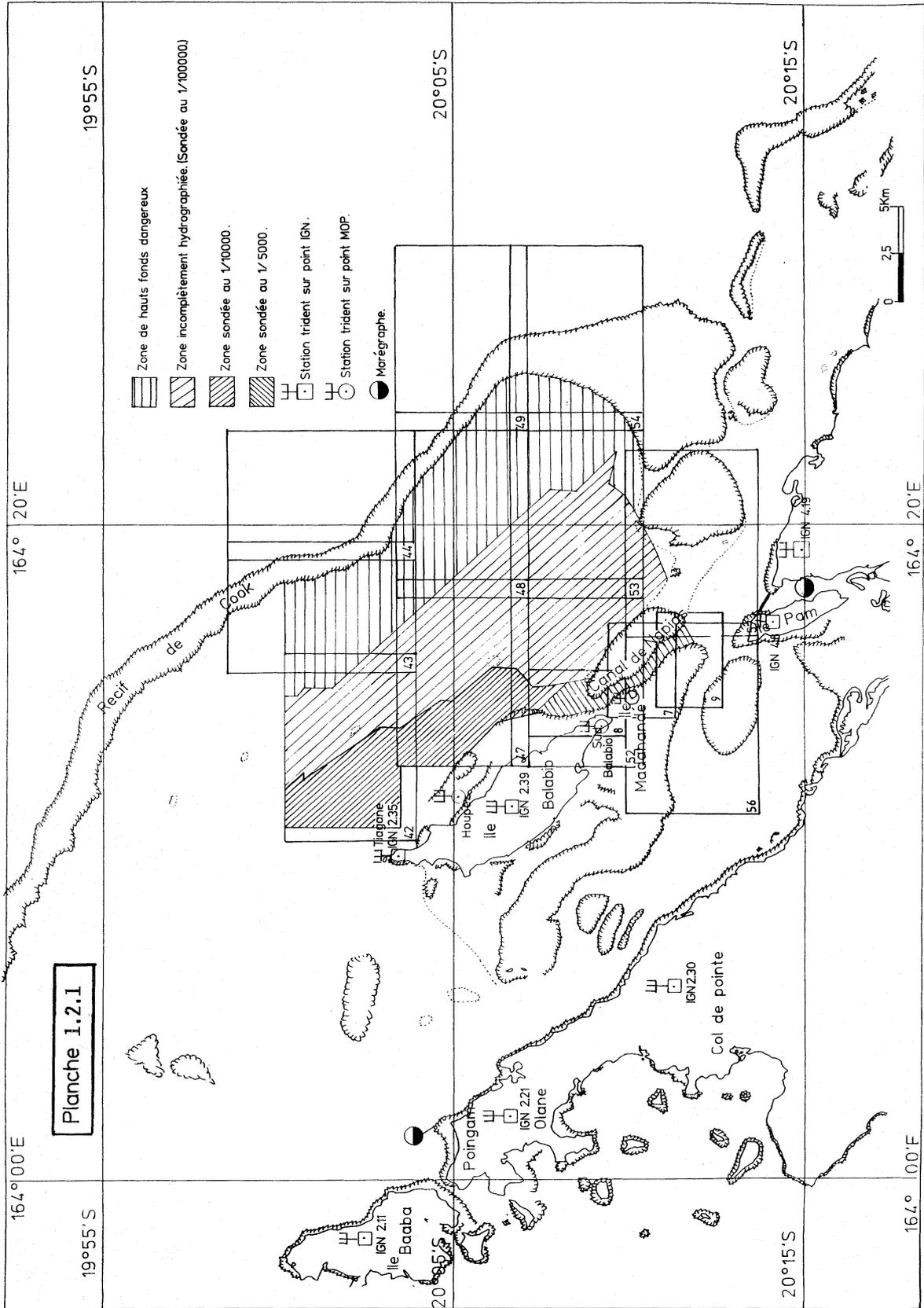


REPÈRES D'ALTITUDE

Désignation	Description	Côte rapportée au zéro N.G.N.C.	Côte rapportée au zéro de réduction des sondes
A	Repère en bronze de type S.H scellé dans l'appontement en ruine de l'ancienne usine de PAM (partie nord du mur, face à la mer).		1,242 m
C	Repère S.H en bronze scellé.		1,946 m
D	Piquet en fer , scellé dans le coin SO de l'escalier de la maison en ruine située à 60m dans le NE de l'appontement. :		2,504 m
F	Repère fondamental de type S.H.scellé dans le pilier nord du porche.		3,745 m

SITUATION EN ÉLÉVATION DES REPÈRES D'ALTITUDE ET DES DIFFÉRENTS ZÉROS DE RÉFÉRENCE (Zéro instrumental, zéro de réduction des sondes, zéros IGN, etc...).





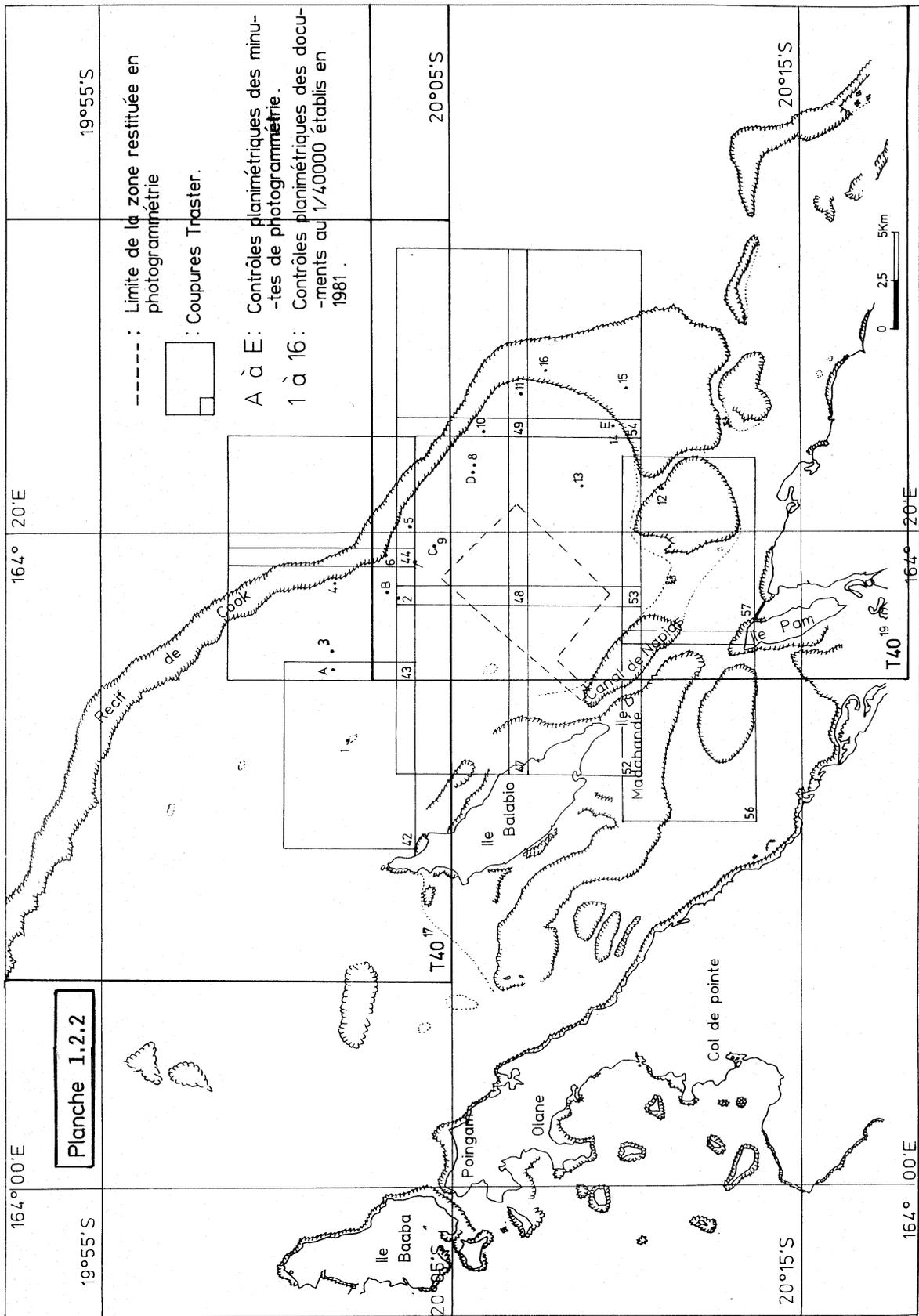
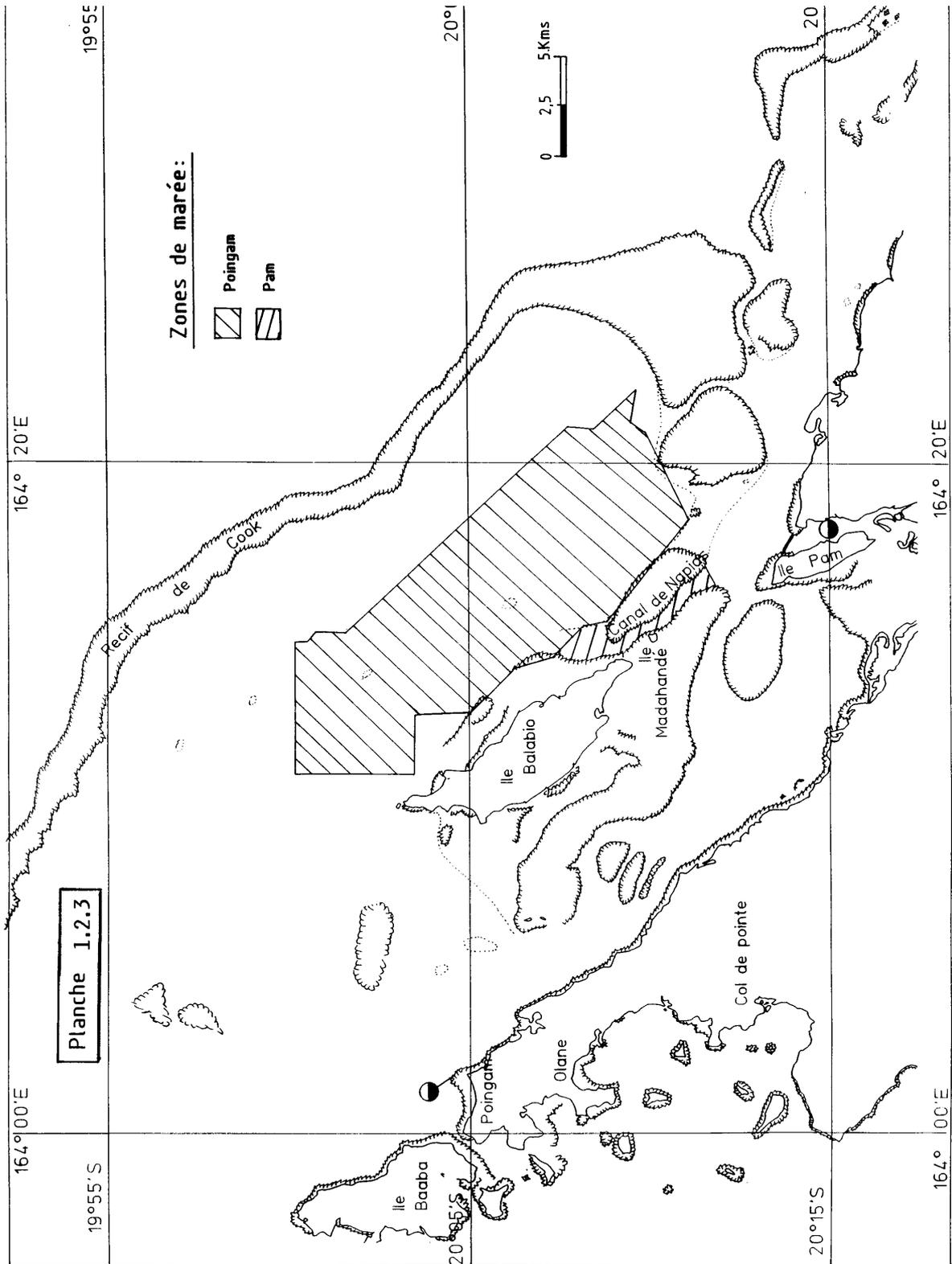


Planche 1.2.2

----- : Limite de la zone restituée en photogrammétrie
 □ : Coupures Traster.
 A à E: Contrôles planimétriques des minutes de photogrammétrie.
 1 à 16: Contrôles planimétriques des documents au 1/40000 établis en 1981.





1.3.- LEVÉ COMPLÉMENTAIRE A L'EST DE L'ILE BALABIO ET DANS LE CANAL NAPIAS

1.- GÉNÉRALITÉS

Les travaux décrits dans ce chapitre ont été réalisés les 14 et 16 mars 1994. Ils viennent compléter le levé, effectué d'octobre 1992 à avril 1993, objet du chapitre 1.2.

2.- LOCALISATION

Le GPS différentiel a été exclusivement utilisé (station de corrections de Mandjélia).

La précision de la localisation est estimée meilleure que 5 m (IGN72).

3. - TRAVAUX AU NORD EST DE L'ILE BALABIO

Quelques « roches » représentées sur la minute de photogrammétrie P-89-10-10⁴² (N° EPSHOM : 93-48-16) ont été explorées par plongeurs et cotées au sondeur vertical Deso 20.

A part un pâtre corallien qui avait été coté à 4,3 m (sonde confirmée par le levé complémentaire), les roches signalées sur les minutes de photogrammétrie correspondent à des changements de nature de fond (forte proportion de sable).

Une minute R a été rédigée au 1/10 000. Elle complète la minute P-89-10-10⁴².

4.- ÉTUDE D'UN RELÈVEMENT DANS LE CANAL NAPIAS

Cette étude a été effectuée avec un sondeur vertical.

La cote (17,9 m) du haut fond-porté sur la B57 (N° EPSHOM : 93-48-1) a été modifiée. La nouvelle valeur est de 17,4 m, elle est portée sur une minute R au 1/5000 qui complète la B57.

5.- MARÉGRAPHIE

L'observatoire de Pam, décrit dans le chapitre 1.2, a été utilisé avec le même zéro de réduction des sondes.

6.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 minute de recherche au 1/10 000,
- 1 minute de recherche au 1/5 000.

1.4.- LEVÉ D'UNE VOIE RECOMMANDÉE DANS LA BAIE D'HARCOURT ENTRE LE CANAL DEVARENNE ET L'ILE PAM

1.- GÉNÉRALITÉS

Le levé régulier de la baie d'Harcourt située entre le Canal Devarenne et l'île Pam (planche 1.4.1) a été

effectué en 1988 sans utiliser, pour des raisons techniques, de sondeur latéral. Un ensemble de travaux complémentaires a donc été réalisé entre juin 1992 et juin 1993 en parallèle avec des levés situés au nord et à l'est de l'île Balabio.

2.- GÉODÉSIE

Les travaux de géodésie ont été limités à la localisation d'amers et de balises (liste en annexe A) dont certaines ont été utilisées pour étalonner le réseau Trident. Toutes les coordonnées sont données dans le système géodésique IGN 72 projection en UTM, fuseau 58.

3.- BATHYMÉTRIE

3.1.- Localisation

(planche 1.4.2)

La localisation des porte-sondeurs (vedettes, *Laplace*) a été assurée par une chaîne Trident III jusqu'au mois de mai 1993. Le GPS différentiel a ensuite été exclusivement utilisé (station de corrections de Mandjélia). La précision de la localisation est estimée meilleure que 5 m.

3.2.- Exploration au sondeur latéral

Un sondeur latéral Edgerton modèle 260 a été utilisé avec les réglages suivants :

- portée de 75 m par fonds inférieurs à 15 m (espacement entre profils de 50 m),
- portée de 100 m par fonds supérieurs à 15 m (espacement entre profils de 75 m).

3.3.- Sondages verticaux

Des sondeurs verticaux Atlas Deso 20 étaient simultanément utilisés avec les sondeurs latéraux.

Les sondes ont été corrigées de la marée observée sur zone. La précision des sondes est estimée à 30 cm.

3.4.- Études des relèvements de fond

Elles ont été effectuées par sondages resserrés ou par plongeurs dès qu'ils dépassaient 5% du fond.

3.5.- Résultats et comparaison avec les levés antérieurs

La rédaction a été effectuée en tenant compte des minutes de 1988. Seules les sondes les plus significatives du nouveau levé, inférieures de plus de 30 cm à celles de l'ancien, ont été écrites.

Les fichiers de sondes réduites, fournis sur disquettes, comportent cependant l'ensemble des sondes acquises.

4.- MARÉGRAPHIE

Trois observatoires de marée ont été installés. Le levé ne comprend cependant que deux zones de marée (planche 1.4.2).

4.1.- Poingam

(extrait de fiche au chapitre 1.1)

La marée mesurée (OTT R16 et Suber) à l'observatoire de Poingam a été utilisée pour la réduction des sondages dans le Canal Devarenne.

Le zéro de réduction des sondes est situé à 3,683 m sous le repère fondamental A de l'observatoire.

4.2.- Pam

(extrait de fiche au chapitre 1.2)

Les mesures du marégraphe à flotteur OTT R16 installé à Pam ont été exploitées pour la réduction de tous les sondages au sud du Canal Devarenne.

Les concordances en hauteur effectuées avec le port de référence (Poingam) en 1993 ont donné un « niveau des plus basses mers » situé environ 13 cm plus bas que le zéro de réduction des sondes adopté le 5 janvier 1989 (date de l'ancienne fiche de l'observatoire de marée de Pam) à partir des observations de 1988.

Le zéro adopté pour les levés de 1989 a cependant été conservé pour les sondages effectués en 1993. Il est situé à 3,745 m sous le repère fondamental F.

4.3.- Arama

(extrait de fiche en annexe D)

Cet observatoire de marée (OTT R16 et Suber) n'a pas été utilisé pour la réduction des sondages. Les mesures effectuées ont cependant été traitées pour déterminer un « niveau des plus basses mers » par concordance avec Poingam.

5.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 5 minutes de bathymétrie à l'échelle 1/10 000,
- 5 minutes de bathymétrie à l'échelle 1/5 000,
- 4 minutes de recherches à l'échelle 1/10 000,
- 3 minutes de recherches à l'échelle 1/5 000,
- 8 fiches d'amers complétées (certaines avec redétermination de coordonnées),
- 5 fiches d'amers nouvelles,
- 3 fiches d'observatoire de marée.

ANNEXE A

au chapitre 1.4

LISTE DES BALISES ET AMERS (IGN 72)

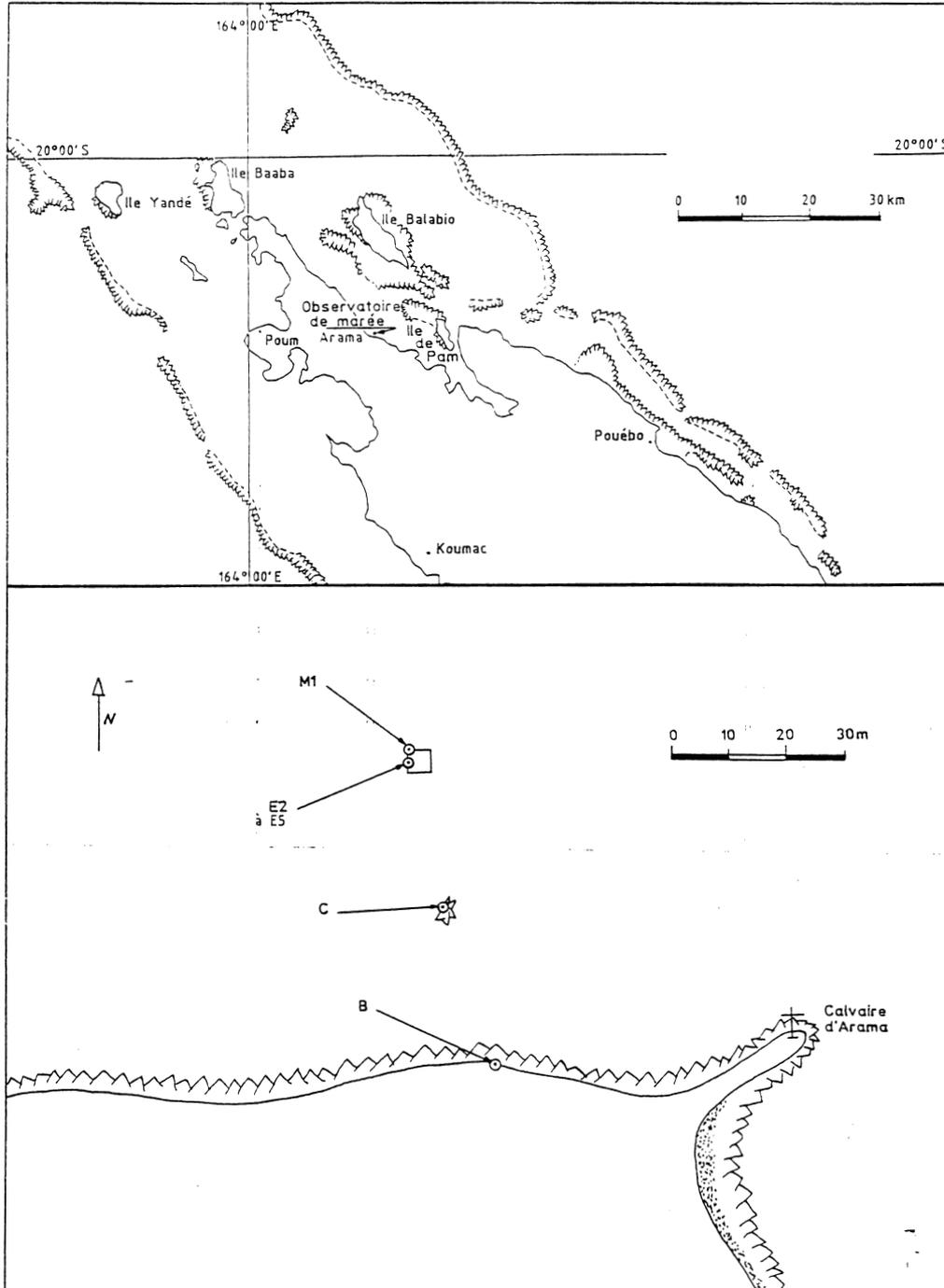
BALISES

DÉSIGNATION	X	Y	Z	CLASSEMENT	OBSERVATIONS
Récif de Balabio, balise verte SE	423 119,5	7 765 952,0	5,9	amer peu visible	MOP 93
Récif de Balabio, balise verte SW	411 908	7 769 744	6	amer peu visible	MOP 93
Plateau Devarenne, balise rouge nord	409 191,3	7 772 570,4	5,9	amer peu visible	MOP 93
Ile Pam, balise rouge nord	423 867,7	7 764 579,3	4,9	amer peu visible	MOP 93
Plateau Taabam, balise rouge nord	420 941,6	7 766 185,7	5,5	amer peu visible	MOP 93
Récif de Balabio, balise verte sud	415 340	7 767 710	7	amer peu visible	MOP 88 complétée 93 (coordonnées modifiées)
Ile Pam, balise rouge NE	425 321,5	7 763 678,1	5,3	amer peu visible	MOP 88 complétée 93 (coordonnées modifiées)
Plateau Devarenne, balise rouge est	410 558,1	7 771 757,9	4,7	amer peu visible	MOP 88 complétée 93 (coordonnées modifiées)
Ile Pam, balise rouge NW	423 518,4	7 764 617,2	4,8	amer peu visible	MOP 88 complétée 93 (coordonnées modifiées)
Plateau Taabam, balise verte SE	422 781,9	7 763 560,4	5,9	amer peu visible	MOP 88 complétée 93 (coordonnées modifiées)
Récif de Balabio, balise verte ouest	406 789,9	7 773 829,4	4	N'EXISTE PLUS	MOP 88

ANNEXE A (suite)**AMERS**

DÉSIGNATION	X	Y	Z	CLASSEMENT	OBSERVATIONS
Baie d'Harcourt, maison (Arama)	411 194	7 764 075	17,8	amer peu visible	MOP 89 complétée 93
Baie d'Harcourt, calvaire d'Arama	416 265,4	7 760 862,2	15,3	amer peu visible	MOP 89 complétée 93
Baie d'Harcourt, église d'Arama	416 380,35	7 760 185,56	14,5	amer bien visible	point IGN 3-II-402
Baie de Pam, maison	426 997	7 761 387	6,0	N'EXISTE PLUS	MOP 89

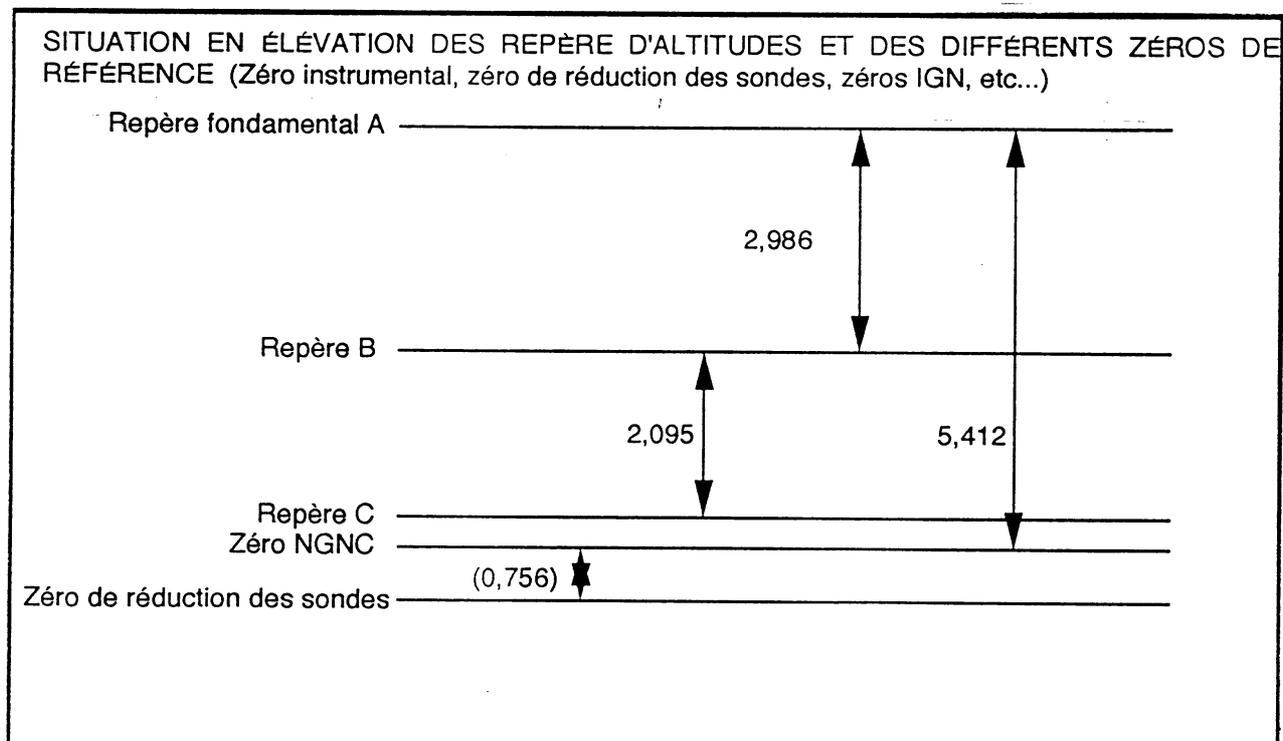
ANNEXE B au chapitre 1.1
ARAMA
SITUATION DE L'OBSERVATOIRE



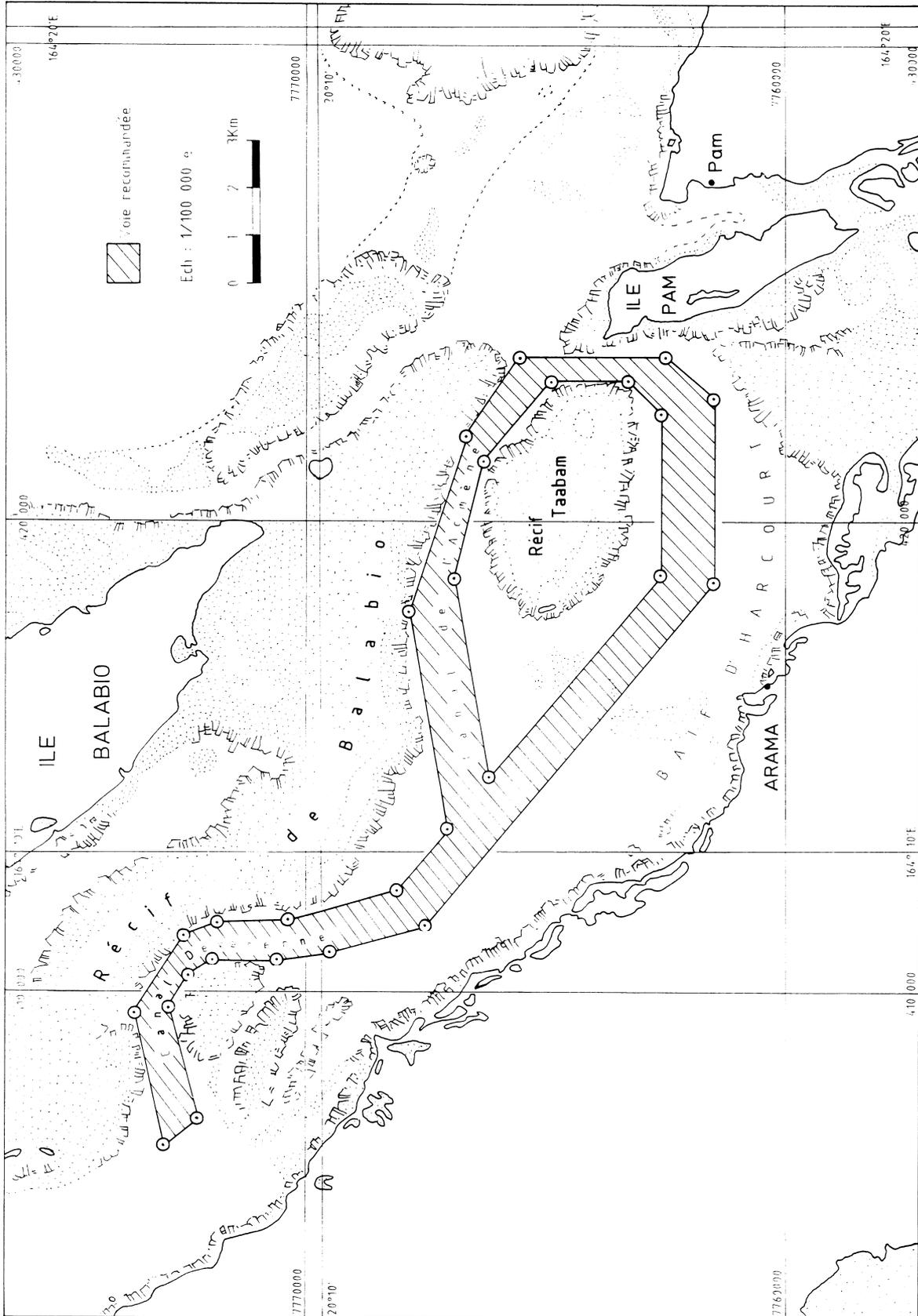
REPÈRES D'ALTITUDE

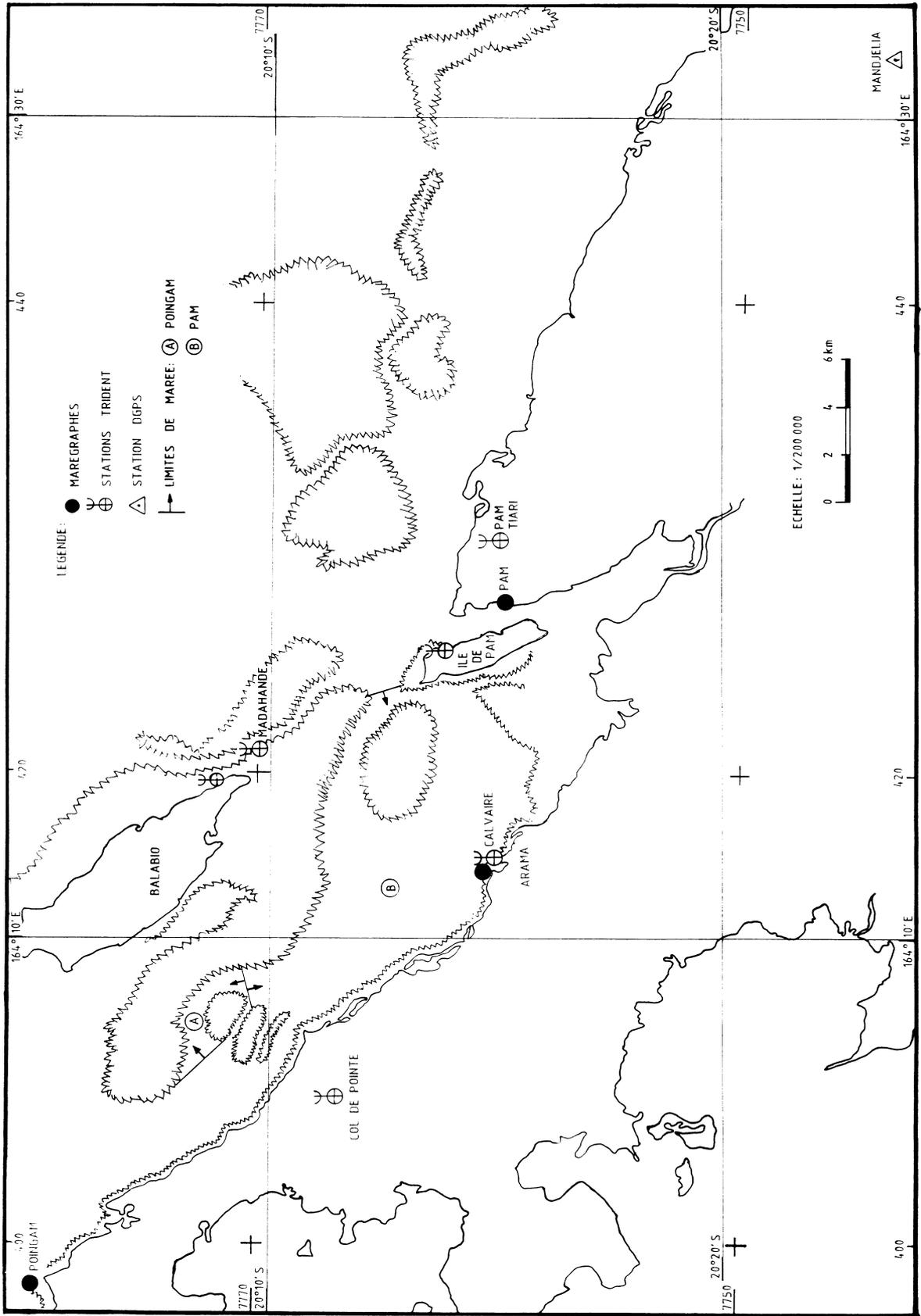
Désignation	Description	Côte rapportée au zéro N.G.N.C.	Côte rapportée au zéro de réduction des sondes
A	* Repère fondamental IGN de type M, scellé horizontalement dans la façade NE de l'église d'Arama.	5,412 m	6,168 m
B	Repère type SHOM, scellé horizontalement dans un rocher du rivage situé dans le SE de M1 à 60m.	2,426 m	3,182 m
C	Repère type SHOM, scellé horizontalement dans un rocher situé à mi-chemin entre M1 et la plage.	0,331 m	1,087 m

* Repère baptisé Eac-20 dans le carnet de nivellement IGN n°3.



FEUILLE 1.4.1





1.5 - LEVÉ DU MOUILLAGE DE L'ÎLOT MOUAC

1. - GÉNÉRALITÉS

Les travaux décrits dans ce chapitre ont été programmés à la demande des Pilotes Maritimes, afin de définir un nouveau point de mouillage pour les navires de croisière fréquentant la Nouvelle-Calédonie.

Le levé a été effectué avec les deux VH8 du *Laplace* du 4 au 7 avril 1994.

La zone de mouillage sera ultérieurement reliée à la passe de Poum par une voie recommandée contrôlée au sondeur latéral.

2. - GÉODÉSIE

Le système géodésique utilisé est l'IGN 72 en projection UTM Sud fuseau 58.

3. - BATHYMÉTRIE

3.1 - Localisation

Elle fut assurée au DGPS HF (station de Mandjélia). La précision de la localisation est estimée meilleure que 5 m.

3.2 - Sondages verticaux

Un sondeur Atlas Deso 20 a été utilisé. La célérité a été adoptée par étalonnage à la barre (1540 m/s). Les sondages ont été effectués suivant des profils espacés de 50 mètres. Les sondes ont été corrigées de la marée observée à Poum. La précision des sondes est estimée à environ 30 cm.

3.3 - Étude des relèvements de fonds

En dehors de la zone située à proximité immédiate du platier de l'îlot Mouac, aucun relèvement de fonds significatif n'a été détecté. Quelques études ont cependant été effectuées par plongeurs et sondages resserrés sur des sondes issues de la carte marine en service et sur des relèvements situés près du platier.

3.4 - Résultats

3.4.1 - Exploitation de la carte marine n° 7320 et des levés antérieurs : minutes 300.8.88 (1/10 000-1963) et 79.9.6 (1/10 000 - 1976)

- Quatre sondes issues des levés antérieurs n'ont pas été retrouvées. L'analyse des copies de bandes de sondes fournies par l'EPSHOM a permis de constater que le choix de sondes de l'époque avait été effectué sur des artefacts.

- Une erreur de report de sonde a par ailleurs été constatée

3.4.2 - Conclusion

Ce nouveau levé remplace les données anciennes.

4.- TOPOGRAPHIE

Quelques perches topographiques localisées au DGPS ont été effectuées dans l'ouest de l'îlot Mouac à la limite du récif découvrant.

5.- MARÉGRAPHIE

La marée a été observée à l'échelle à proximité de l'observatoire mis en place à Poum en 1976 (fiche du 15.02.1977). De nombreux repères de l'époque ont disparu. Le repère fondamental A1 de 1976 a cependant été retrouvé. Le zéro de réduction des sondes retenu est celui adopté en 1976. Il est situé 4,034 mètres sous le repère A1 : repère en bronze, près duquel est gravée l'inscription MHNC, scellé dans le coin nord-est d'une dalle de béton portant un hangar métallique en forme de demi-lune situé en bordure de mer sur la plage de Poum.

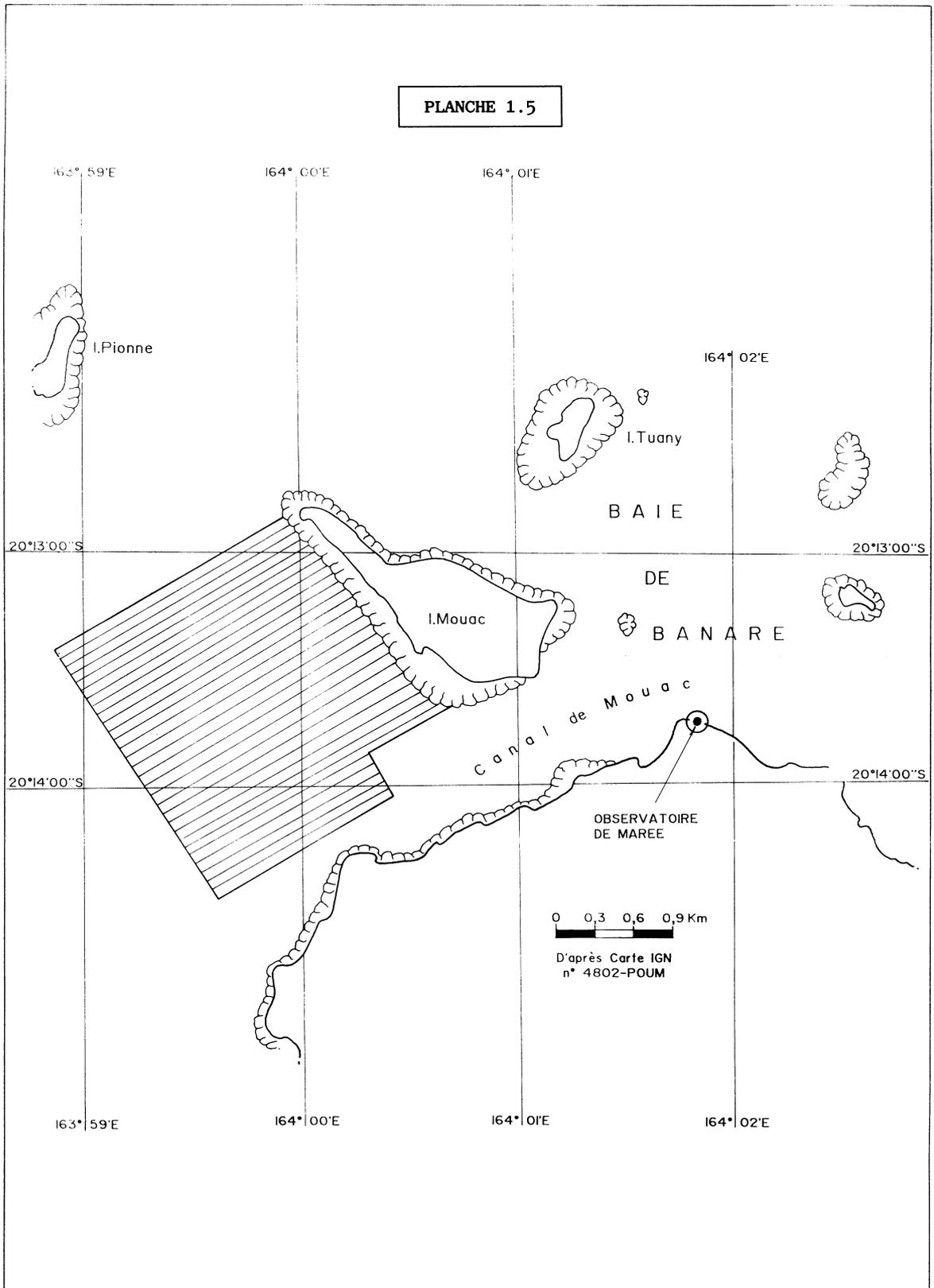
De nouveaux repères ont été mis en place. Une nouvelle fiche a été rédigée (cf extrait en annexe).

6.- NATURES DE FONDS

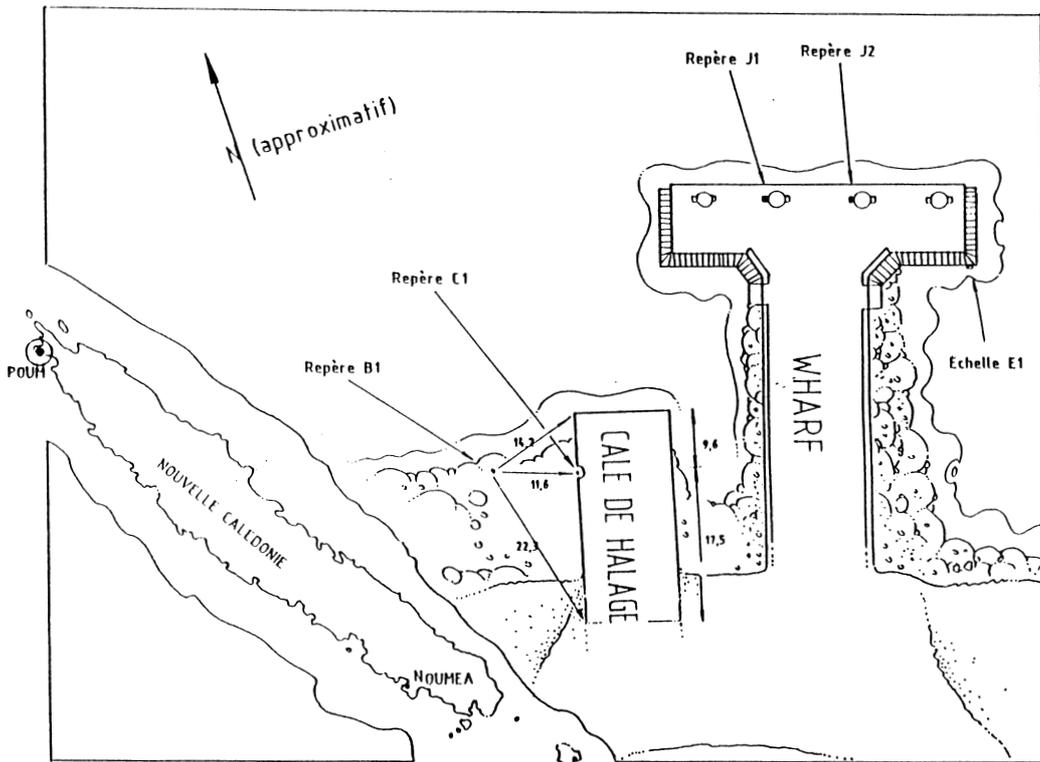
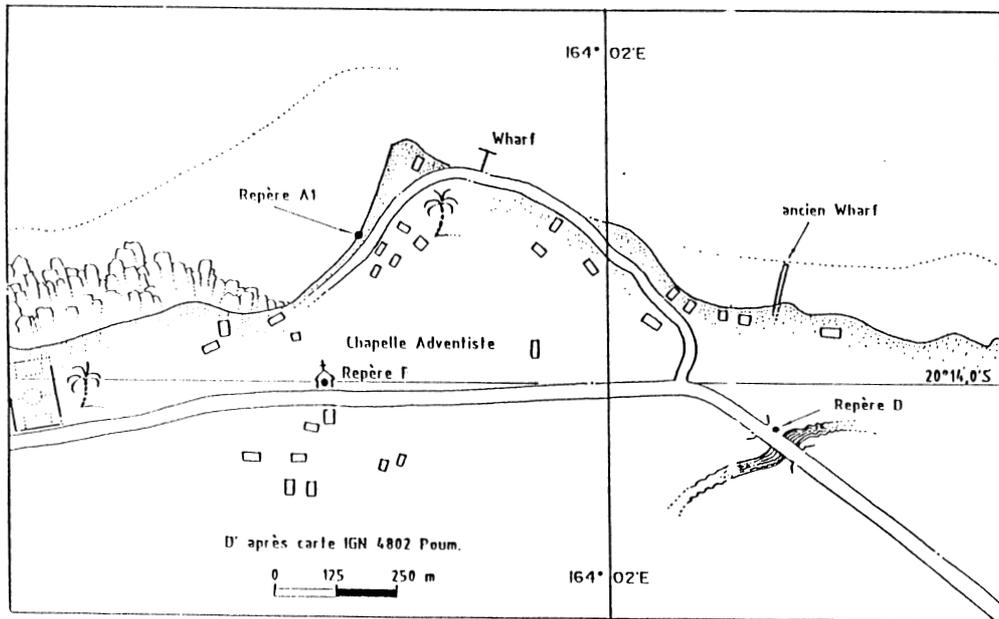
Elles ont essentiellement été déterminées au centre de la zone sondée par des prélèvements à la benne légère. Les abréviations internationales de l'ouvrage 1 D (1992) ont été utilisées pour la rédaction de la minute.

7.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 minute BT au 1/5000
- 1 minute RN au 1/500
- 1 fiche d'observatoire de marée



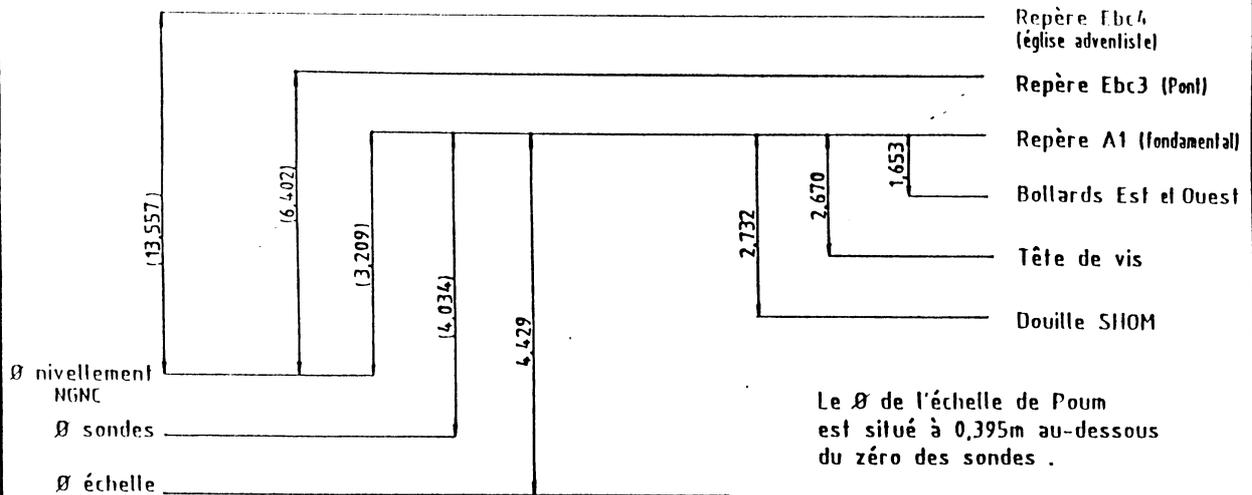
ANNEXE au chapitre 1.5
POUM (MOUAC)
SITUATION DE L'OBSERVATOIRE



POUM (MOUAC)

Désignation	Description	Cote rapportée au nivellement local ou zéro NGF au zéro NGN 69	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
A1	Repère en bronze ,près duquel est gravée l'inscription MIINC, scellé dans le coin Nord-Est d'une dalle en béton portant un hangar métallique en forme de demi-lune, située en bordure de mer sur la plage de Poum (repère fondamental).	Cote rapportée au zéro NGNC	4,034
B1	Douille SHOM en laiton scellée horizontalement dans un creux de rocher à environ 6 m à l'Ouest de la cale de halage	0,477	1,302
C1	Tête de vis scellée horizontalement sur les fondations de la cale de halage	0,539	1,364
D	Repère Ebc3 (NGNC), Sur le mur en aile d'un pont	6,402	7,227
F	Repère Ebc4 (NGNC), dans la façade de l'église adventiste de Poum	13,557	14,382
J1	Paille Ouest du 2ème bollard à partir du coin Ouest du Wharf de Poum	1,556	2,381
J2	Paille Ouest du 3ème bollard à partir du coin Ouest du Wharf de Poum	1,556	2,381

SITUATION EN ÉLÉVATION DES REPÈRES D'ALTITUDE ET DES DIFFÉRENTS ZÉROS DE RÉFÉRENCE (Zéro instrumental, zéro de réduction des sondes, zéros IGN, etc...).



Les dénivelées entre parenthèses sont issues de la fiche de marée du 15-02-1977 et n'ont pas été contrôlées.

1.6. - LEVÉ ENTRE L'ILE PAM ET TIARI

1.- GÉNÉRALITÉS

Ce chapitre traite d'un levé régulier (avec définition d'une voie recommandée) situé dans le prolongement des levés décrits aux chapitres 1.2 (canal Napias) et 1.4 (baie d'Harcourt).

Les travaux décrits sur la planche 1.6 ont été effectués de mars à mai 1994 par le BH2 *Laplace* et ses VH8. Ils représentent environ 2/3 de l'ensemble des travaux à effectuer. Leur rédaction ne fut que partiellement commencée.

L'alizé n'a pas perturbé la progression des travaux dans la mesure où le *Laplace* pouvait sonder (sondeur latéral) quand la zone était impraticable par les vedettes. La baie de Pam était par ailleurs très bien abritée du vent dominant.

2 . - RÉSUMÉ DES TRAVAUX A LA MER EFFECTUÉS

2.1 - Géodésie, Localisation

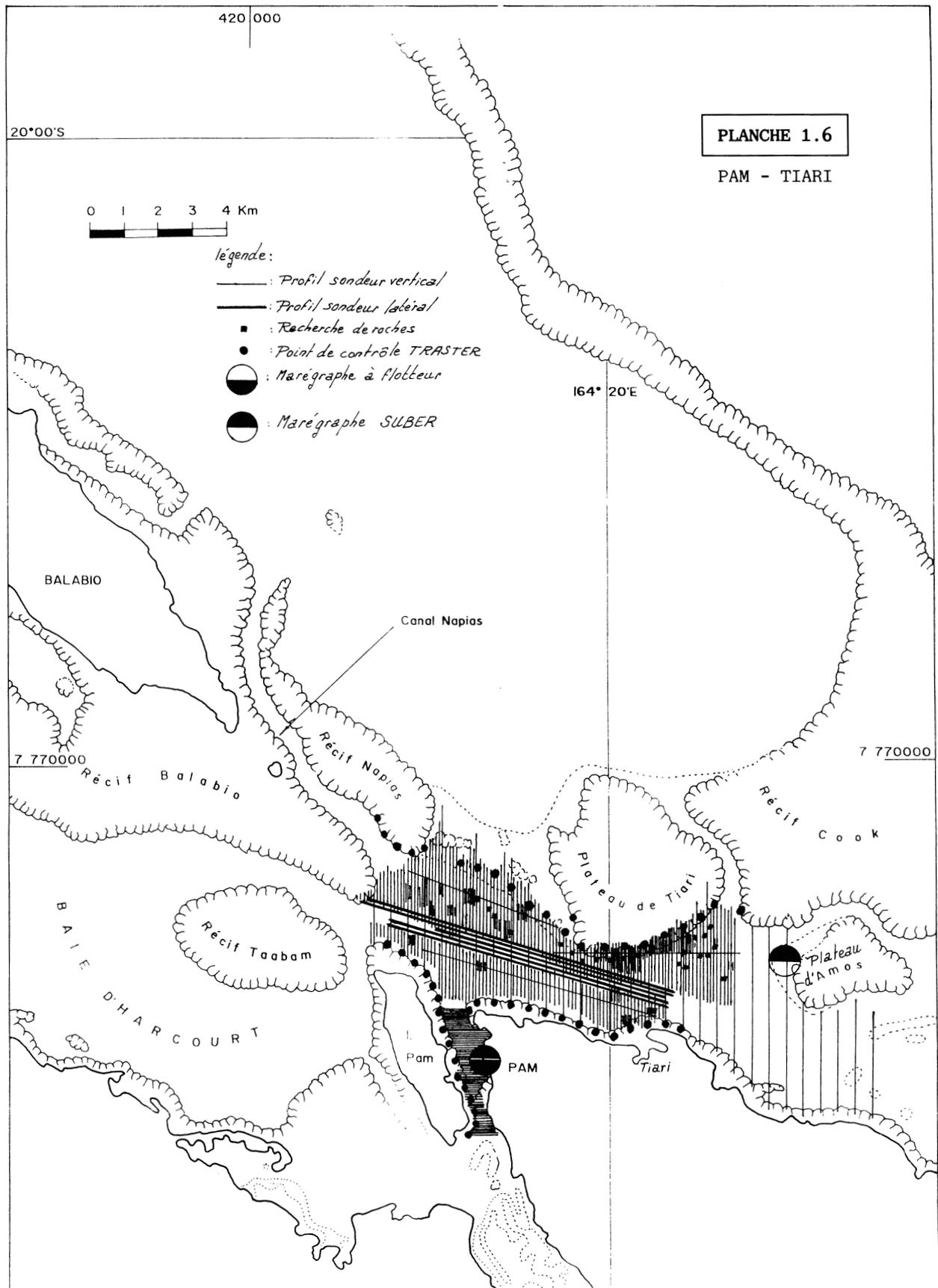
La localisation a été exclusivement assurée au DGPS HF de Mandjéla. Les résultats sont tous donnés dans le système géodésique IGN 72 en projection UTM Sud, fuseau 58.

2.2 - Topographie

De simples mesures à la perche topographique ont été effectuées afin de contrôler et compléter des minutes de photogrammétrie au 1/10 000 fournies par l'EPSHOM.

2.3 - Bathymétrie

Les sondages (Deso 20) ont été effectués en suivant des profils espacés de 100 m sauf en baie de Pam (50 m). La partie centrale du levé où se situe la zone de navigation prévisible a été contrôlée au sondeur latéral (Edgerton 260) par le *Laplace*. Les études de relèvement de fond ont essentiellement été réalisées par plongeurs. Les sondes ont été corrigées de la marée observée à Pam (cf chapitre 4.1) avec un OTTR16. Deux marégraphes « plongeurs » ont par ailleurs été mouillés simultanément à Pam et près du plateau d'Amos pour une étude de marée.



2.- GRAND LAGON NORD ET RÛCIFS D'ENTRECASTEAUX

2.1.- GÛODÛSIE DU GRAND LAGON NORD (ART, YANDE) ET DES RÛCIFS D'ENTRECASTEAUX (SURPRISE, HUON) - SPATIOPRÛPARATION DE CES RÛCIFS

1.- GÛNÛRALITÛS

Les rÛcifs D'Entrecasteaux sont situÛs au nord de la Grande Terre de la Nouvelle-CalÛdonie. Avec les rÛcifs des FranÛais et de Cook (Grand Lagon Nord), ils dÛlimitent le Grand Passage, route maritime qui pourrait ẽtre empruntÛe pour contourner la Grande Terre.

La gÛodÛsie (Huon et Surprise) et la spatioprÛparation de ces rÛcifs ont ẽtÛ effectuÛes avec le *Laplace* entre le 7 et le 13 juin 1993 (planche 2.1). Le Service Topographique a collaborÛ à cette mission en apportant son personnel et du matÛriel GPS de gÛodÛsie.

Deux iles du Grand Lagon Nord (Art, YandÛ) ont ẽgalement ẽtÛ positionnÛes par le Service Topographique. Le nouveau rÛseau gÛodÛsique de Nouvelle-CalÛdonie « WGS 84 » a ainsi pu ẽtre ẽtendu de la Grande Terre jusqu'aux rÛcifs D'Entrecasteaux.

Les travaux de gÛodÛsie et de topographie effectuÛs par la MOP en 1981 et 1982 ont fait l'objet de contrÃles dont il est rendu compte.

2.- GÛODÛSIE

Tous les travaux de gÛodÛsie ont ẽtÛ rÛalisÛs avec 5 rÛcepteurs GPS Wild Leica mis en oeuvre par le Service Topographique.

Les mesures ont ẽtÛ effectuÛes en mode statique par rattachement avec la Grande Terre.

Les rÛsultats obtenus pour les iles Surprise, Huon et Art (Belep) sont donnÛs en annexe A.

Les autres rÛsultats peuvent ẽtre recueillis dans les documents du Service Topographique.

Remarques :

1 - Un rÛcepteur DGPS HF Sercel NR 103 de la mission a ẽtÛ installÛ sur la borne principale de l'ilot Surprise. Les positions fournies ont ẽtÛ enregistrÛes pendant 14 heures avec une pÛriodicite de 1 minute. Le point moyen obtenu se trouve à 0,65 m de celui calculÛ par le Service Topographique en GPS gÛodÛsique, 98 % des points sont à moins de 1,20 m de ce point moyen et aucun point à plus de 3,20 m. La station ãmettrice de corrections DGPS (MandjÛlia) ẽtait distante de 260 km.

2 - La borne de l'ile Surprise sur laquelle ont ẽtÛ faites les mesures GPS avait, en 1981, ẽtÛ positionnÛe avec un rÛcepteur Transit JMR. La position de l'Ûpoque ramenÛe au WGS 84 se trouve à moins de 7 m de celle

obtenue par le Service Topographique avec le GPS (annexe B).

3 - Sur Huon, la borne crÛe par la MOP en 1982 a ẽgalement ẽtÛ repositionnÛe par le Service Topographique. Le dÛcalage est de 5,7 m (annexe B).

3.- SPATIOPRÛPARATION

Quatorze pixels ont ẽtÛ positionnÛs, dans 8 zones distinctes. Deux mÛthodes ont ẽtÛ utilisÛes :

- les pixels correspondant à des pÃtÛs coralliens immergÛs ont ẽtÛ localisÛs au DGPS avec une vedette qui stationnait sur le pÃtÛ ou en faisait le tour (acquisition en mode continu) ;

- les iles ont ẽtÛ localisÛs par trajectographie terrestre. Munis d'un systÛme d'acquisition DGPS, deux opÛrateurs ont effectuÛ le tour des iles à pied, sur la limite sÛparant la vÛgÛtation et le sable (respectivement rouge et blanc sur les zooms SPOT) avec une cadence d'acquisition suffisante pour permettre un tracÛ prÛcis du chemin suivi. Ce tracÛ, effectuÛ à l'Ûchelle du zoom et superposÛ à celui-ci, a permis une identification prÛcise des pixels.

Cette mÛthode fut efficace sur des iles assez « ronds », sans pixels bien repÛrables sur le terrain (ilot Surprise) ou sur les iles dont la topographie semblait avoir ẽvoluÛ depuis la prise de vue SPOT (pointes nord et sud de l'ilot Huon).

La prÛcision des pixels positionnÛs est estimÛe meilleure que 10 m.

Aucun transect bathymÛtrique n'a ẽtÛ rÛalisÛ (la zone comprend dÛjÃ quelques petits levÛs bathymÛtriques).

4.- COMPARAISON AVEC LES LEVÛS ANCIENS

Les restitutions de photographies aÛriennes de l'atoll de Huon et du sud-ouest de l'atoll de la Surprise rÛalisÛes par la MOP en 1981-1982 ont ẽtÛ vÛrifiÛes. Les contrÃles ont essentiellement portÛ sur des pÃtÛs coralliens immergÛs, restituÛs sur les minutes de topographie de 1981-1982, visibles sur les images SPOT et localisÛs au DGPS.

Les positions relevÛes sur les documents de 1981-1982 ont ẽtÛ ramenÛes en WGS 84 avant comparaison avec le DGPS.

Les ẽcarts sont en gÛnÛral trÛs faibles. Ils sont d'environ 20 m sur l'atoll de la Surprise et de 30 m sur celui de Huon, c'ẽst-à-dire de l'ordre de grandeur de la prÛcision de la mÛthode de comparaison qui est entachÛe d'erreurs dues à l'Ûchelle des tracÛs utilisÛs et à la taille des pÃtÛs coralliens repÛrÛs. Ils peuvent toutefois atteindre 175 m au centre de l'atoll de Huon, zone trÛs pauvre en points d'appuis ayant pu servir au calage des photos aÛriennes.

5.- DOCUMENTS RÛDIGÛS

- 7 fiches gÛodÛsiques,
- 1 dossier de spatioprÛparation.

ANNEXE A

au chapitre 2.1

SYSTÈME GÉODÉSIQUE WGS 84

NOM DU POINT	ORDRE	LATITUDE (SUD)	LONGITUDE (EST)	PROJECTION UTM FUSEAU 58		
				X	Y	Z (1)
HUON - STELE NORD	2	18°2'12,7373" S	162°57'36,1256" E	284 051,744 m	8 004 544,462 m	69,516
HUON - STELE CENTRALE	3	18°2'32,8637" S	162°57'32,2399" E	283 944,275 m	8 003 924,349 m	70,074
ART - AERODROME	2	19°43'11,0859" S	163°39'30,2673" E	359 405,738 m	7 818 975,633 m	143,337
SURPRISE	2	18°28'50,2717" S	163°5'12,2314" E	297 981,921 m	7 955 568,518 m	65,973

(1) Hauteur au-dessus de l'ellipsoïde.

ANNEXE B

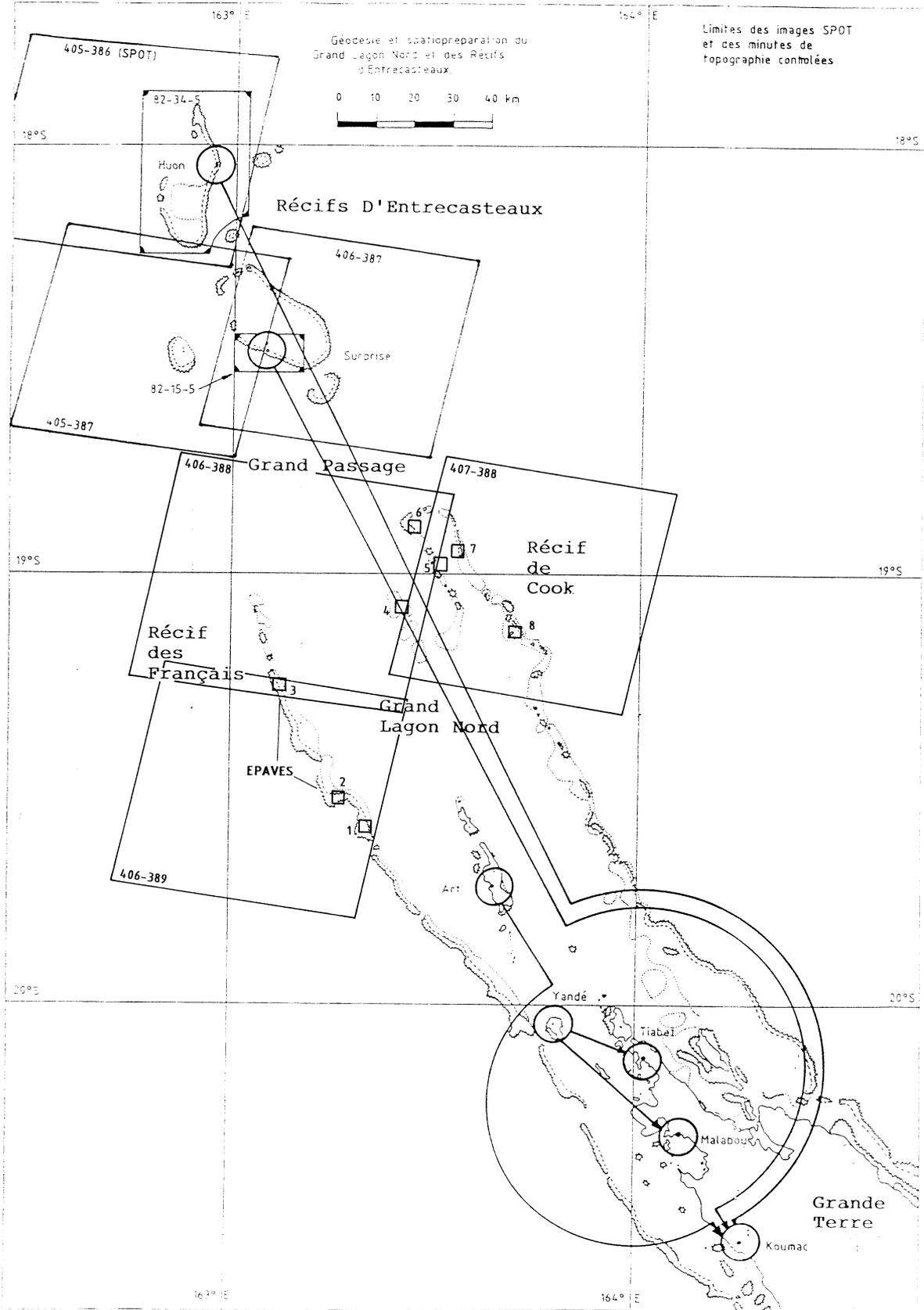
au chapitre 2.1

COMPARAISON DES POSITIONS TRANSIT JMR4 ET GPS (coordonnées en WGS 84)

	SURPRISE BORNE MOP 1981	HUON BORNE MOP 1982
MOP 1981-1982 (TRANSIT JMR4) (1)	18°28'50,07" S 163°05'12,15" E	18°02'32,74" S 162°57'32,10" E
MOP 1993 (DGPS)	18°28'50,286" S 163°05'12,246" E	
SERVICE TOPO- GRAPHIQUE 1993 (GPS GEODESIQUE)	18°28'50,272" S 163°05'12,231" E	18°02'32,86" S 162°57'32,24" E

(1) Coordonnées WGS 72 ramenées en WGS 84.

PLANCHE 2.1



2.2.- LEVÉ EXPLORATOIRE DU GRAND PASSAGE

1.- GÉNÉRALITÉS

A l'occasion des travaux de géodésie et de spatiopréparation des récifs D'Entrecasteaux (cf chapitre 2.1) et en prévision du levé régulier du Grand Passage le BH2 *Laplace* a effectué, dans de bonnes conditions météorologiques, entre le 7 et le 13 juin 1993, un levé exploratoire comprenant en particulier quelques profils à proximité immédiate des récifs des Français et Cook au sud et des atolls Pelotas, Surprise et Portail au nord (planche 2.2).

La zone intérieure aux profils exécutés est selon les informations disponibles (images SPOT comprises) sans danger pour la navigation de surface.

2.- LOCALISATION

La localisation du BH2 *Laplace* a été assurée au GPS différentiel (DGPS) en exploitant les corrections calculées à la station DGPS de Mandjéla. Compte tenu des mesures faites sur l'île Surprise (comparaison DGPS avec un positionnement absolu GPS géodésique sur une borne du réseau géodésique WGS 84), la précision de la localisation est estimée meilleure que

5 m. Les résultats calculés dans le système géodésique WGS 84 sont fournis sur une projection UTM, fuseau 58.

3.- BATHYMÉTRIE

Le sondeur utilisé est un Raythéon équipé d'une base émettant à 12 kHz (ouverture à -3 dB de 29°). Son corrélateur n'a pas été utilisé.

Les sondes rédigées sont réelles : les sondes mesurées (à 1 500 m/s) ont été corrigées à partir d'un profil de célérité moyen.

La mission ne disposant pas de bathycélérimètre au moment du levé, ce profil a été obtenu à partir des tables de Matthew (NP N° 139, 3^e édition 1980) en moyennant les valeurs des zones 55 et 56.

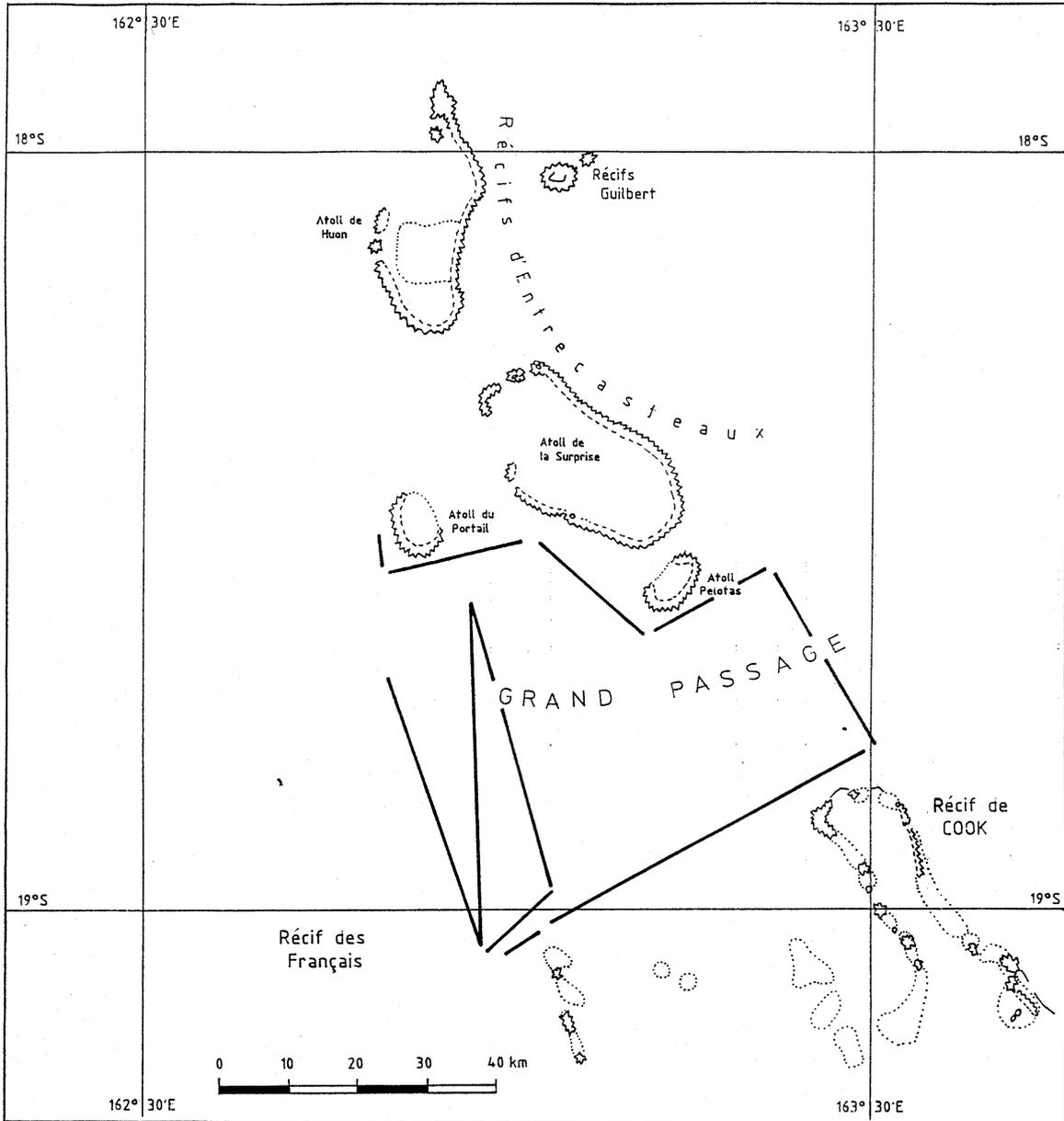
Les écarts entre la sonde adoptée et celles proposées par les tables 55 ou 56 ne dépassent pas 0,5 %. Le profil de célérité adopté diffère par ailleurs assez peu de celui pris en compte en 1987 par la MOP pour des sondages « larges » à l'ouest de Yandé.

Il n'a pas été apporté de corrections de marée.

4.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 3 minutes de bathymétrie au 1/50 000.

PLANCHE 2.2



2.3.- SPATIOPRÉPARATION DU GRAND LAGON NORD : PARTIES NORD DU RÉCIF DES FRANÇAIS ET DU GRAND RÉCIF DE COOK

1.- GÉNÉRALITÉS

Le Récif des Français et le Grand Récif de Cook, situés dans le nord de la Nouvelle-Calédonie, délimitent le sud du Grand Passage. Huit pixels répartis sur trois images SPOT ont été positionnés sur ces récifs le 16 septembre 1993 à l'aide d'un récepteur GPS différentiel HF embarqué à bord d'un hélicoptère Puma de l'Armée de l'Air (planche 2.1.).

Les travaux de topographie de cette zone du Grand Lagon Nord effectués en 1981 ont été contrôlés. Les décalages observés sont faibles (généralement inférieurs à 100 m).

Ces travaux de spatiopréparation viennent compléter ceux effectués en juin 1993 sur les récifs situés au nord du Grand Passage (chapitre 2.1).

2.- SPATIOPRÉPARATION

Analyse des zooms d'images SPOT : les pâtés coralliens ont été mis en évidence à l'aide du canal XS2 tandis que les épaves (émergées) ont été repérées sur le canal XS3.

Ces pixels ont été positionnés par GPS différentiel HF embarqué à bord d'un hélicoptère Puma de l'Armée de l'Air. La réception des corrections émises par la station de Mandjélia fut excellente. L'antenne GPS, située dans le poste de pilotage, partiellement masquée, imposa à l'hélicoptère de maintenir une direction fixe durant les mesures, afin d'éviter des changements de constellation de satellites.

Les déterminations de positions ont été faites en stationnaire à une altitude approximative de 20 m.

Chaque pixel a été stationné pendant environ 1 minute avec une acquisition des données toutes les

5 secondes. Les points obtenus se trouvent en général dans un cercle de rayon 5 m autour de la position adoptée.

Sur chaque zoom, sauf pour le n° 7, un ou deux pixels secondaires ont été également localisés. Ils ont permis de confirmer la position du pixel principal.

Huit pixels ont été positionnés. L'un d'entre eux est commun à deux images. Trois scènes SPOT ont donc ainsi été « spatiopréparées », chacune par localisation de 3 pixels. Aucun transect bathymétrique n'a cependant été effectué.

3.- COMPARAISON AVEC LES LEVÉS ANCIENS

Les minutes au 1/40 000 du levé de reconnaissance topographique du lagon nord de la Nouvelle-Calédonie établies par la MOP en 1981 (fiche de levé 83.05) ont été contrôlées.

La comparaison de ces minutes avec les zooms d'images SPOT a permis la sélection de pixels correspondant soit à des pâtés coralliens assez facilement identifiables, soit à des épaves. Les positions obtenues au DGPS ont été comparées à celles des minutes.

Les décalages restent faibles compte tenu de la précision de la méthode de comparaison, entachée d'erreurs dues à l'échelle des minutes et à la taille des pâtés coralliens localisés.

Ils sont en moyenne de 50 m pour les points 1 à 4 (secteur ouest et centre) et de 100 m pour les points 5 à 8 (secteur est).

4.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 dossier de spatiopréparation.

3.- LAGON OUEST

3.1.- LEVÉ RÉGULIER DE KONÉ-POUEMBOUT

1.- GÉNÉRALITÉS

1.1.- Délimitation des travaux

Le levé s'étend de la passe de Koné au nord à la presqu'île de Pindaï au sud (cf. planche 3.1.1). Plusieurs zones comportant une forte densité de relèvements coralliens et ne présentant pas d'intérêt pour la navigation ont fait seulement l'objet d'un levé de reconnaissance.

1.2.- Conditions d'exécution

Les travaux à la mer ont été réalisés par mes prédécesseurs (IPA CHAMPAGNE, ICA FOURGASSIE) avec les moyens de la *Boussole*, du *Corail* et du *Laplace*. Les travaux ont débuté au mois de juillet 1989 et se sont achevés en mai 1991. Ils ont été interrompus à plusieurs reprises au profit de levés de plus faible ampleur présentant une priorité plus importante.

Les indisponibilités fréquentes des vedettes du *Laplace* et les conditions météorologiques locales, alizés renforcés par un phénomène de brise thermique, ont ralenti les travaux.

Le concours d'un hélicoptère Puma a facilité la mise en place et le démontage des stations Trident.

2.- GÉODÉSIE

Le réseau géodésique existant dans cette région était dense et n'a nécessité que très peu de travaux de complément. Tous les points utilisés ont fait l'objet de fiches géodésiques rédigées dans le système géodésique IGN 1972 en projection UTM Sud, fuseau 58. La liste de ces points figure en annexe A.

3.- LOCALISATION

La localisation des porte-sondeurs (*Laplace*, *Boussole*, *Corail*, vedettes et corallines) a été assurée par au moins trois lieux (Trident ou optique, lorsque cela était nécessaire). Le réseau Trident a été régulièrement étalonné par des mesures optiques afin d'assurer une précision meilleure que 5 m.

La liste des stations de localisation utilisées pour les sondages est donnée en annexe B.

4.- TOPOGRAPHIE

La topographie est issue des minutes de photogrammétrie au 1/10000 fournies par l'EPSHOM (planche 3.1.2). Ces minutes, reçues à Nouméa avant le début du levé, ont permis d'optimiser et de faciliter les travaux à la mer. Le contrôle de ces documents a été réalisé du mois d'octobre 1989 au mois de janvier 1991.

Les cotes ont été obtenues à partir de mesures à la perche ; elles ont été corrigées de la marée observée sur zone.

Précision de la localisation de la restitution photogrammétrique

Une analyse a été conduite pour déceler des décalages éventuels sur les minutes P restituées par le Bureau Photogrammétrie. Certains points de stéréopréparation fournis par la MOP et obtenus par survol d'un hélicoptère localisé au moyen du système Trident étaient en effet imprécis ou présentaient des erreurs d'identification.

Plusieurs méthodes ont été employées pour étudier et déterminer ces décalages. Elles sont exposées ci-dessous par ordre d'importance décroissante :

- observation des écarts entre les coordonnées « Traster » et les coordonnées MOP du balisage fixe ;
- observation des écarts entre la topographie « Traster » et la topographie provenant des plans au 1/10 000 du Service Topographique. La liste des plans utilisés est donnée en annexe C ;
- observation des écarts entre les coordonnées « Traster » et les coordonnées MOP des pinacles coralliens isolés de petites dimensions. Ce procédé a surtout été utilisé pour les coupures n° 15 à 33 qui sont riches en détails topographiques de ce genre et pour lesquelles les méthodes précédentes n'étaient pas applicables ;
- observation des décalages, quand ils sont nets, entre les minutes de bathymétrie et les minutes « Traster ».

Les décalages à appliquer aux minutes P pour les ramener au système de coordonnées du levé (système géodésique IGN 1972, projection UTM, fuseau 58) ont fait l'objet d'une modélisation polynomiale.

5.- BATHYMÉTRIE

5.1.- Levé régulier

Il a été réalisé par les vedettes de la *Boussole*, puis du *Laplace* avec des sondeurs Deso 20.

Les sondes ont été corrigées de la marée observée sur zone. La précision des sondes est estimée à 30 cm. Les conditions météorologiques locales, alizés renforcés par la configuration du relief et se levant très tôt, ont parfois conduit à sonder malgré des creux atteignant 1 m.

5.1.1.- Levé au 1/5 000

La partie utile du lagon a été sondée suivant des profils espacés de 50 m à l'exception du seuil de Foué, passage entre les lagons de Koné et de Pouembout présentant des profondeurs de l'ordre de 5 m, pour lequel l'espacement des profils a été réduit à 25 m. L'ensemble a été rédigé au 1/5 000.

5.1.2.- Levé au 1/10 000

Une zone située au sud de la passe de Goyeta et présentant un faible intérêt pour la navigation a été levée suivant des profils espacés de 100 m rédigés au 1/10 000. Seuls quelques relèvements coralliens importants y ont fait l'objet de recherches. Cette zone a été délimitée sur les minutes de bathymétrie et qualifiée d'incomplètement hydrographiée.

5.1.3.- Levé au 1/50 000

La partie la plus sud de ce lagon constitue un cul-de-sac et ne présente aucun intérêt pour la navigation. Elle est parsemée de hauts fonds coralliens et a fait l'objet d'un levé de reconnaissance (profils espacés de 500 m rédigés au 1/10 000).

5.2.- Exploration au sondeur latéral des voies recommandées

Elle a été réalisée par le *Laplace* et ses vedettes avec le sondeur latéral Edgerton modèle 260 réglé de la façon suivante : fréquence 105 kHz, portée de 100 m, axe des faisceaux décalé de 20° sous l'horizontale. D'autres combinaisons ont également été testées dans le cadre de l'évaluation de cet instrument mais sans apporter d'amélioration. Les profils étaient espacés de 67 m (2/3 portée) ou 75 m (3/4 portée).

Les zones explorées au sondeur latéral sont présentées sur la planche 3.1.1. La voie d'accès à la passe de Koné n'a pas été retenue car cette passe étroite et sinueuse ne peut être empruntée par des bâtiments d'un tonnage important.

5.3.- Recherches des relèvements de fond

Les relèvements de fond détectés sur les enregistrements du sondeur latéral et le levé régulier ont été recherchés et étudiés par sondage resserré ou par plongeurs. Les critères de recherche ont été les suivants :

- levé régulier au 1/5 000 : relèvements supérieurs à 10% du fond ;
- levé régulier au 1/10 000 : seuls quelques relèvements importants ont été recherchés (zone incomplètement hydrographiée) ;
- levé régulier au 1/50 000 : pas de recherche ;
- sondeur latéral : relèvements interprétés supérieurs à 20% du fond et / ou brassage interprété inférieur à 20 m.

5.4.- Travaux complémentaires prévus (voir leur programmation et leurs résultats au chapitre 3.2)

5.4.1.- Dans les zones du levé régulier

Quatorze relèvements détectés au sondeur vertical supérieurs à 10% du fond :

REPÈRE	SONDE	X	Y	OBSERVATIONS
A	4,7	474 306	7 667 088	
B	4,2	474 414	7 667 051	Echo douteux
C	8,1	474 465	7 666 125	Echo douteux
D	4,4	476 368	7 665 773	Recherche pas assez resserrée
E	7,3	476 628	7 665 935	
F	10,1	473 515	7 665 529	
G	3,1	479 641	7 664 213	Echo douteux
H	3,0	479 499	7 664 355	Echo douteux
I	3,3	480 021	7 664 322	Echo douteux
J	3,1	479 649	7 664 161	Echo douteux
K	9,4	479 168	7 655 769	Echo douteux
L	6,3	482 541	7 653 892	
M	8,1	481 535	7 646 886	
N	11,1	481 449	7 646 626	

5.4.2.- Dans les zones explorées au sondeur latéral

L'étude individuelle de tous les relèvements détectés lors de l'exploration au sondeur latéral n'a pas été assurée (zone très rugueuse). Il avait été prévu, lors des travaux à la mer, de fournir une estimation des relèvements calculée à partir des enregistrements du sondeur latéral. Les estimations ont été rédigées sur des minutes S en adoptant les choix suivants :

- le plus grand des majorants (cf rapport particulier 48 MOP/NOU/NP du 17 mars 1992 pour leur définition) pour un relèvement détecté plusieurs fois,
- le majorant dans le cas d'une détection unique.

Les relèvements importants devaient être remontés sur les minutes B (sondes interprétées « Si » entre crochets).

Cependant, compte tenu des difficultés d'exploitation des sondes interprétées, en cartographie, il a été décidé que certains de ces relèvements devraient faire l'objet de recherches complémentaires.

Dans un premier temps les relèvements susceptibles de dépasser 10 % du fond (critère 1, en accord avec le levé régulier) ont été retenus.

Afin d'en réduire raisonnablement le nombre une variante de la « règle du pouce » a été adoptée, à savoir qu'une sonde interprétée n'est à rechercher que s'il n'existe pas de sonde réelle inférieure à moins de 2 cm (échelle 1/5 000) (critère 2).

Toutes les sondes interprétées vérifiant ces deux critères ont été mises entre crochets sur les minutes S.

MINUTE	NOM DE LA ZONE	NOMBRE DE Si A RECHERCHER
S 5.10	De la Passe de Pouembout à Koné	0
S 5.12		1
S 5.14		21
S 5.17	Passe de Pouembout	35
S 5.18	Est Passe de Pouembout	149
S 5.22	Passe de Goyeta	65

6.- MARÉE

6.1.- Mesures avec des marégraphes plongeurs Suber SLS 23

La marée a été observée au Seuil de Foué avec des marégraphes Suber SLS 23 (28 stations).

Le zéro de réduction des sondes adopté pour tout le levé a été déterminé par concordance avec l'observatoire de référence de Nouméa entraînant la première série de mesures du 27 juillet au 24 août 1989. Les cotes de tous les zéros instrumentaux par rapport au repère de nivellement « A » installé à l'extrémité du wharf de Foué ont été déterminées par des mesures de tirant d'air. Le zéro de réduction des sondes est situé à 2,21 m sous le repère en bronze SHOM « A » scellé à l'extrémité du wharf de Foué (cf l'extrait de fiche d'observatoire de marée donné en annexe au chapitre 3.2).

6.2.- Mesures avec un marégraphe OTT R16

Un marégraphe OTT R16 a été installé à l'embouchure de la rivière Poamboa. Ses mesures qui n'ont pas été exploitées pour la réduction des sondages (seuls les marégraphes Suber SLS 23 ont été utilisés) serviront à l'étude des mesures de courant faites dans la

zone (périodes pendant lesquelles un marégraphe Suber ne fonctionnait pas).

Une fiche d'observatoire de marée a été rédigée (cf chapitre 3.2).

7.- COURANTOMÉTRIE

Deux campagnes de mesures, d'une durée supérieure à un mois, ont été réalisées en 1989 avec des courantomètres Suber SLS 21 placés à des immersions variant entre 5 et 11 m, à l'exception de la mesure effectuée au niveau du seuil de Foué pour laquelle l'instrument a été immergé à 2 m en raison du brassage du seuil. Les mouillages ont été réalisés par le *Corail*. Cinq courantomètres ont été installés sur des mouillages de subsurface et deux sous des cabrions ou lignes de pare-battage fixés sur des bouées des Phares et Balises.

Les résultats des mesures sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Numéro de la station	Position : IGN 1972		Profondeur moyenne (mètres)	Immersion moyenne (mètres)	Vitesse maximum (noeuds)
	Latitude	Longitude			
8/89	21° 06' 30 S	164° 47' 20 E	5	2,3	0,8
9/89	21° 07' 50 S	164° 42' 28 E	11	7	2,1
10/89	21° 06' 35 S	164° 43' 30 E	16	7	0,6
11/89	21° 06' 30 S	164° 45' 15 E	10	7	0,4
12/89	21° 12' 29 S	164° 46' 55 E	13	5	0,8
13/89	21° 13' 43 S	164° 46' 05 E	24	11	1,2
14/89	21° 15' 48 S	164° 47' 00 E	24	8	1,5

Les données météorologiques provenant de la station de Koumac ont été complétées par les observations enregistrées sur zone par les bâtiments ayant participé au levé.

8.- NATURES DE FOND

Les natures de fond ont été déterminées par des prélèvements à la benne légère aux intersections d'un maillage de 500 m de côté.

Des minutes de nature de fond et des fiches descriptives de prélèvements sédimentologiques ont été rédigées, en utilisant les abréviations internationales de l'ouvrage 1 D (1992).

9.- INFORMATION NAUTIQUE

9.1.- Amers, balisage fixe et flottant

Sept amers (dont 4 balises) et 3 bouées ont été localisés. Des fiches géodésiques et des feuillets de prise de vues ont été rédigés.

9.2.- Prise de vues de côte

Une planche comportant un montage de photos de vues de côte depuis la Passe de Pouembout a été réalisée.

10.- TOPONYMIE

Une enquête de toponymie (couvrant les cartes IGN au 1/50 000, 4814 (Pouembout) et 4819 (Poya, plaine des Gaïacs) a été conduite par le Service Topographique du Territoire en 1988. L'ensemble des résultats ne devrait être connu qu'en 1994. Tous les toponymes de la CM 3668 ont cependant été critiqués en tenant compte des derniers (août 1992) résultats connus de l'enquête de toponymie. Les résultats sont fournis en annexe E.

11.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 26 minutes de bathymétrie au 1/5 000
- 2 minutes de bathymétrie au 1/10 000
- 18 minutes de recherches de roches au 1/5 000
- 1 minute de recherches de roches au 1/10 000
- 6 minutes sonal au 1/5 000
- 21 minutes de natures de fond au 1/5 000
- 2 minutes de natures de fond au 1/10 000
- 12 minutes de topographie Traster au 1/10 000
- 11 fiches géodésiques
- 7 fiches d'amers
- 3 fiches de balisage flottant
- 2 fiches d'observatoire de marée
- 7 dossiers de mesures de courant
- 2 fiches d'épaves

ANNEXE A

au chapitre 3.1

LISTE DES POINTS AYANT DONNÉ LIEU A LA RÉDACTION DE FICHES GÉODESIQUES (système géodésique IGN 1972)

NOM DU POINT	DÉSIGNATION réf EPSHOM/IGN	X	Y	Z	ORDRE
Laverie	Borne en fonte IGN 18-7	494 889,00	7 646 237,84	82,72	3
Pouembout IGN 14-16	Borne en fonte IGN 14-16	483 590,28	7 656 526,73	41,12	3
Tiaoué	Borne en fonte IGN 14-21	486 731,34	7 655 011,50	61,77	3
Pinjen	Borne en fonte IGN 14-6 391-14-008 (1)	475 748,41	7 669 286,49	170,18	3
Poindah	Borne en fonte IGN 14-19	485 826,52	7 668 489,57	87,61	3
Plaine des Gaïacs IGN 18-5	Borne en fonte IGN 18-5	493 126,35	7 641 828,48	17,76	3
Tiendana	Borne en fonte IGN 14-V-403	470 476,23	7 651 579,17	92,53	4
Koniène	Borne en fonte IGN 14-10	481 199,59	7 660 314,29	69,05	3
Pindou	Borne en fonte IGN 14-13	482 481,62	7 665 258,69	23,10	3
Trois pylônes	Borne en fonte IGN 14-I-107	478 758,41	7 672 055,82	53,26	4
Népie	Borne en fonte IGN 14-213	474 017,66	7 673 200,00	78,89	5

(1) Annule et remplace l'ancienne fiche EPSHOM portant ce numéro.

ANNEXE B**au chapitre 3.1****STATIONS DE LOCALISATION UTILISÉES POUR LE LEVÉ**

NOM	X	Y	Z
Phare de Népoui (Trident)	494 243,94	7 640 114,04	61 *
Montagne rouge (Trident)	504 429,04	7 643 054,89	227 *
Presqu'île Béco (Trident)	503 780,56	7 634 549,02	28 *
Pointe de la croix haute (Trident)	511 898,24	7 633 218,74	30 *
Wharf de Poya, piquet en fer (optique)	511 199,2	7 633 071,4	5
Station excentrée Poya, piquet en fer (optique)	511 901,5	7 639 215,7	—

* : les altitudes sont celles des sommets des antennes Trident.

ANNEXE C

au chapitre 3.1

LISTE DES PLANS AU 1/10 000 DU SERVICE TOPOGRAPHIQUE UTILISÉS POUR ÉTUDIER LE DÉCALAGE DES MINUTES TRASTER

- 47-66-III : Pingiane
- 47-66-IV : Foué
- 47-67-I : Kaféate
- 47-67-II : Oundjo
- 48-64-IV : Baie blanche
- 48-65-II : Franco
- 48-65-III : Goyeta
- 48-65-IV : Plateau de Tia
- 48-66-I : Koniène
- 48-66-III : Poamboa
- 49-64-I : Ilot Pindaï
- 49-64-III : Plaine des Gaïacs
- 50-63-III : Presqu'île Béco

ANNEXE D**au chapitre 3.1****AMERS (système géodésique IGN 1972, projection UTM, fuseau 58)**

NOM	X	Y	Z	CLASSE	N° EPSHOM
Panneau d'alignement Ilot Pingiane	471 500	7 667 305	5	peu visible	néant
Mémorial US	491 567,56	7 649 679,99	76,00	peu visible	néant
Pylône TV de Kaféate	470 729,92	7 673 664,59	221	peu visible	néant

BALISAGE FIXE (système géodésique IGN 1972, projection UTM, fuseau 58)

NOM	X	Y	Z	CLASSE	N° EPSHOM
Récif Kréliat, balise postérieure verte	470 279,7	7 663 980,8	5	peu visible	391-14 - 02 (1)
Passe de Koné, balise antérieure rouge	469 694,0	7 663 814,3	5	peu visible	néant
Récif Riochaud balise rouge	473 523,5	7 666 447,6	5	peu visible	néant
Passe de Pouembout balise tripode verte	479 028,3	7 656 765,2	5,0	peu visible	391-14 - 03 (1)

(1) Annule et remplace l'ancienne fiche EPSHOM portant ce numéro.

BALISAGE FLOTTANT (système géodésique IGN 1972, projection UTM, fuseau 58)

NOM	N° EPSHOM	X	Y
Passe de Pouembout bouée rouge	néant	477 363	7 654 769
Seuil de Foué bouée rouge sud	néant	478 299	7 665 228
Seuil de Foué bouée rouge nord	néant	478 062	7 665 821

ANNEXE E

au chapitre 3.1

N°	Toponymes existant sur la carte marine 3668 Édition n° 2 - Mars 1940	Toponyme carte IGN Carte au 1/50 000 4814 Pouembout (Éd. 1988)	Observation / décision
1	Pain de Sucre	Tambounan	Adopter : Tambounan (Pain de Sucre) La cote IGN est de 239 m
2	Massif de Koniambo	Massif de Koniambo	Maintien du toponyme CM
3	Piton de Kaféate	Piton de Kaféate	Adopter le toponyme IGN La cote IGN est de 270 m
4	C. Poa	ne figure pas sur la carte IGN	Adopter : Cap Poa
5	Anse Kataviti	Baie de Kataviti	Adopter : Anse de Kataviti
6	Rivière Kataviti	Kataviti rivière	Maintien du toponyme CM
7	Rivière de Koné	Koné rivière	Maintien du toponyme CM
8	Koné	Koné	Maintien du toponyme CM
9	Ile Pingiane	Ile Pingiane	Maintien du toponyme CM
10	Sommet Pati	Pati	Maintien du toponyme CM La cote IGN est de 170 m
11	Tableau Pingiane	ne figure pas sur la carte IGN	Maintien du toponyme CM
12	Ile Boisée	ne figure pas sur la carte IGN	Maintien du toponyme CM
13	Récif de Koné	Grand Récif de Koné	Adopter le toponyme IGN
14	Ile de Sable	ne figure pas sur la carte IGN	Maintien du toponyme CM
15	Ilot Blanc	Ilot Blanc	Maintien du toponyme CM
16	Récif Riochaud	Riochaud	Maintien du toponyme CM
17	Morne de Foé	ne figure pas sur la carte IGN	Adopter : Morne de Foué
18	Presqu'île de Foé	Presqu'île de Foué	Adopter le toponyme IGN
19	Seuil de Foé	ne figure pas sur la carte IGN	Adopter : Seuil de Foué
20	Pointe du Poste	ne figure pas sur la carte IGN	Adopter : Pointe Göröatû Pwa (Toponyme qui figurera sur prochaine édition carte IGN 4814)
21	Récif Baby	Baby	Maintien du toponyme CM
22	Récif Kréliat	ne figure pas sur la carte IGN	Maintien du toponyme CM
23	Passe de Koné	Passe de Koné	Maintien du toponyme CM
24	Pouembout	Pouembout	Maintien du toponyme CM
25	Rivière de Pouembout	Pouembout rivière	Maintien du toponyme CM
26	Le Piton	ne figure pas sur la carte IGN	Maintien du toponyme CM
27	Les Mamelles	ne figure pas sur la carte IGN	Maintien du toponyme CM
28	Plateau de Koniène	Plateau de Koniène	Maintien du toponyme CM
29	Cornes	Tétons de Goyeta	Adopter le toponyme IGN
30	Table de Tiea	Plateau de Tia	Adopter le toponyme IGN
31	Tarbeville	Tarbeville	Maintien du toponyme CM
32	Rivière Oua Tiaoué	Rivière Encaissée	Adopter le toponyme IGN
33	Passe de Pouembout	Passe de Pouembout	Maintien du toponyme CM

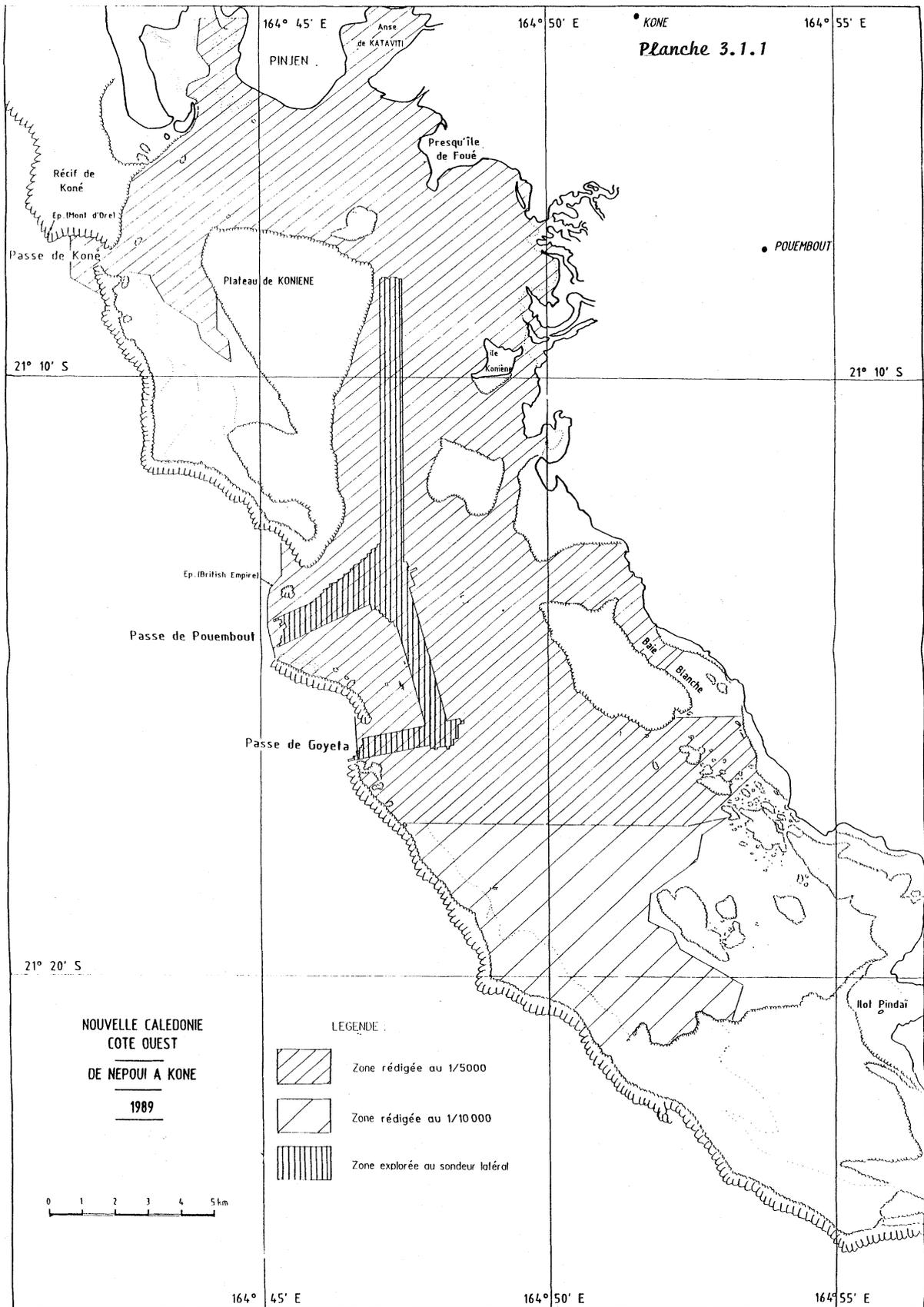
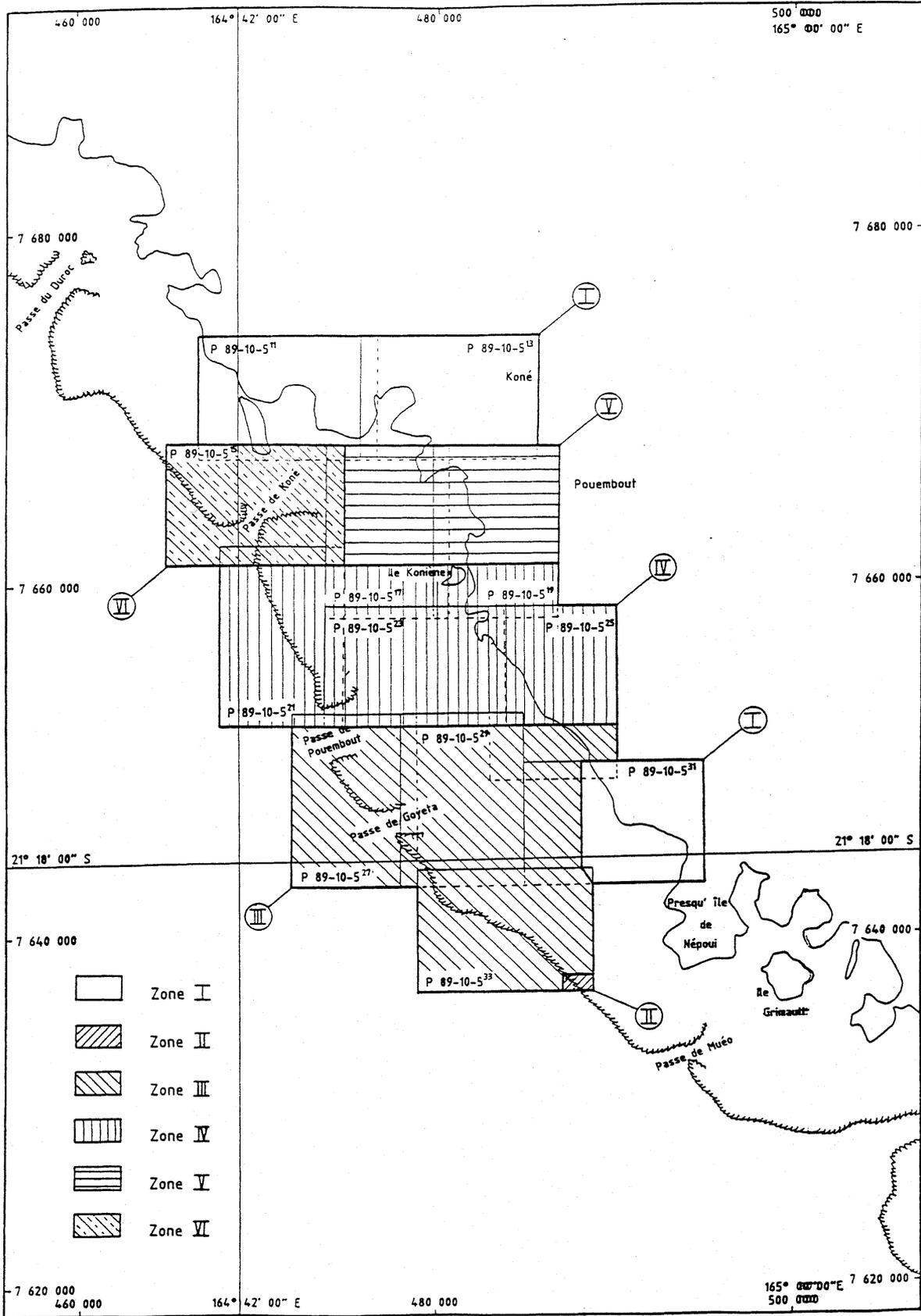


Planche 3.1.2



3.2.- LEVÉ COMPLÉMENTAIRE DE KONÉ-POUEMBOUT

1.- GÉNÉRALITÉS

Les travaux décrits dans ce chapitre ont été réalisés en novembre 1993. Ils viennent compléter le levé effectué entre 1989 et 1991, objet du chapitre 3.1.

Les opérations ont été conduites pour l'essentiel par un détachement installé à Koné au club nautique (camp) et dans la villa (salle de dessin, informatique) du Chef du Service Topographique. Le détachement disposait des deux vedettes du BH2 *Laplace* placé en PEI à Nouméa pendant la durée du levé.

2.- GÉODÉSIE

Le système géodésique utilisé est l'IGN 72 en projection UTM sud, fuseau 58.

3.- LOCALISATION

Le GPS différentiel a été exclusivement utilisé (station de corrections de Mandjélia située dans le nord de la Grande Terre). La précision de la localisation est estimée meilleure que 5 m. Chaque relèvement de fond a été localisé par deux passages en croix de la vedette.

4. - ÉTUDES DE RELÈVEMENTS DE FOND

Les études ont été effectuées par plongeurs équipés de profondimètres étalonnés à la barre et pour contrôle, au sondeur vertical. Les sondes ont été corrigées de la marée observée sur zone. La précision des sondes est estimée à 30 cm.

4.1.- Relèvements détectés au sondeur vertical

Les relèvements de fonds repérés au chapitre 3.1 § 5.4.1 par les lettres A à F et L à N ont été étudiés.

4.2.- Relèvements détectés au sondeur latéral

Les sondes interprétées qui n'avaient pas déjà fait l'objet de recherche et qui figuraient sur les minutes S14, S17, S18 et S22 ont été étudiées lorsque leur valeur était :

- inférieure ou égale à 10 m au nord de la ligne
y = 7 653 000
- inférieure ou égale à 8 m entre les lignes
y = 7 653 000 et y = 7 649 500
- inférieure ou égale à 10 m au sud de la ligne
y = 7 649 500

Le nombre d'études réalisées par minute S est indiqué dans le tableau suivant

N° MINUTE	NOMBRE
S14	30
S17	24
S18	27
S22	4

5. - MARÉE

5.1.- Marégraphe plongeur

Un marégraphe Suber SLS 23 a été immergé à proximité de la presqu'île de Foué.

L'appareil a été calé par des mesures de tirant d'air effectuées sur le wharf de Foué. Une concordance en hauteur effectuée avec la marée de Nouméa a confirmé à quelques centimètres près le zéro adopté en « 1989/1991 ».

Un nouveau repère de nivellement a par ailleurs été installé en remplacement d'un ancien repère disparu. Une fiche d'observatoire de marée, dont un extrait est présenté en annexe A a été rédigée.

5.2.- Marégraphe à flotteur

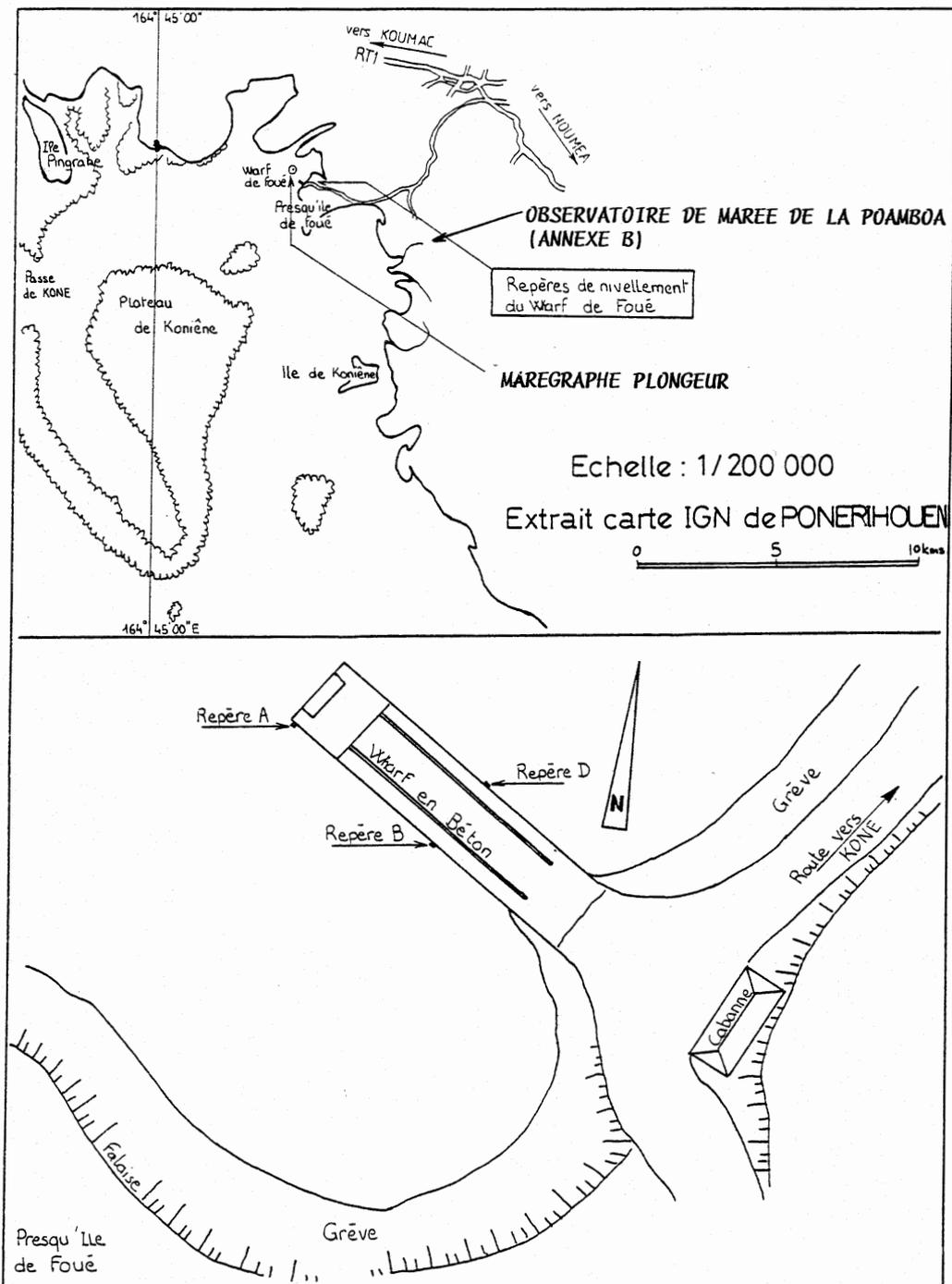
Un deuxième marégraphe (OTT R16) a été installé à l'embouchure de la rivière Poamboa. Ses mesures ont été exploitées pour la réduction des sondages. Le zéro de réduction des sondes est situé à 4,438 m sous le repère fondamental A (douille SHOM) scellé horizontalement dans une plaque de ciment sur le bord gauche de la piste arrivant au wharf. Une concordance en hauteur avec la marée observée à Nouméa a confirmé au centimètre près le zéro de réduction des sondes adopté en « 1989/1991 ». La réduction des sondages avec les mesures du marégraphe mouillé à la presqu'île de Foué aurait par ailleurs donné des résultats identiques à quelques centimètres près.

Une fiche d'observatoire de marée a également été rédigée. Un extrait est présenté en annexe B.

6.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 9 minutes de recherche au 1/5 000
- 2 fiches d'observatoire de marée
- 2 feuillets de prises de vues photographiques

ANNEXE A au chapitre 3.2
SEUIL DE FOUÉ
SITUATION DE L'OBSERVATOIRE

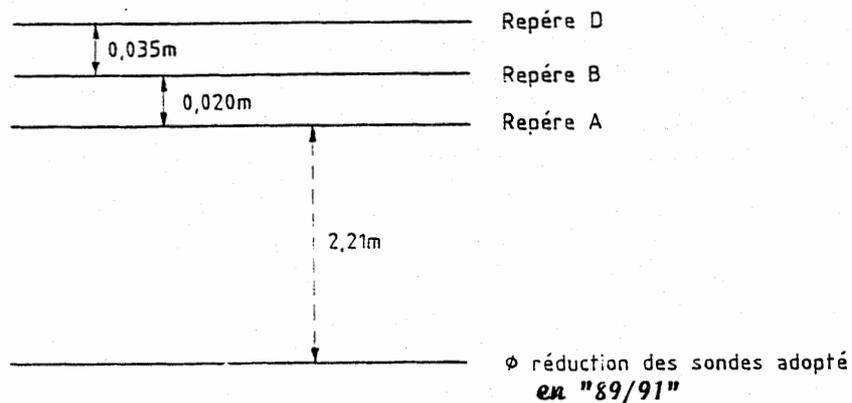


SEUIL DE FOUÉ

REPÈRES D'ALTITUDE

Désignation	Description	Cote rapportée au nivellement local ou zéro NGF ou zéro IGN 69	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
A	Repère fondamental: repère SHOM scellé horizontalement à l'extrémité Ouest du wharf de FOUÉ	Néant	2,210 m
B	Repère SHOM scellé horizontalement au milieu du wharf coté Sud.	Néant	2,230 m
D	Repère SHOM scellé horizontalement au milieu du wharf coté Nord ,à l'opposé de B.	Néant	2,265 m

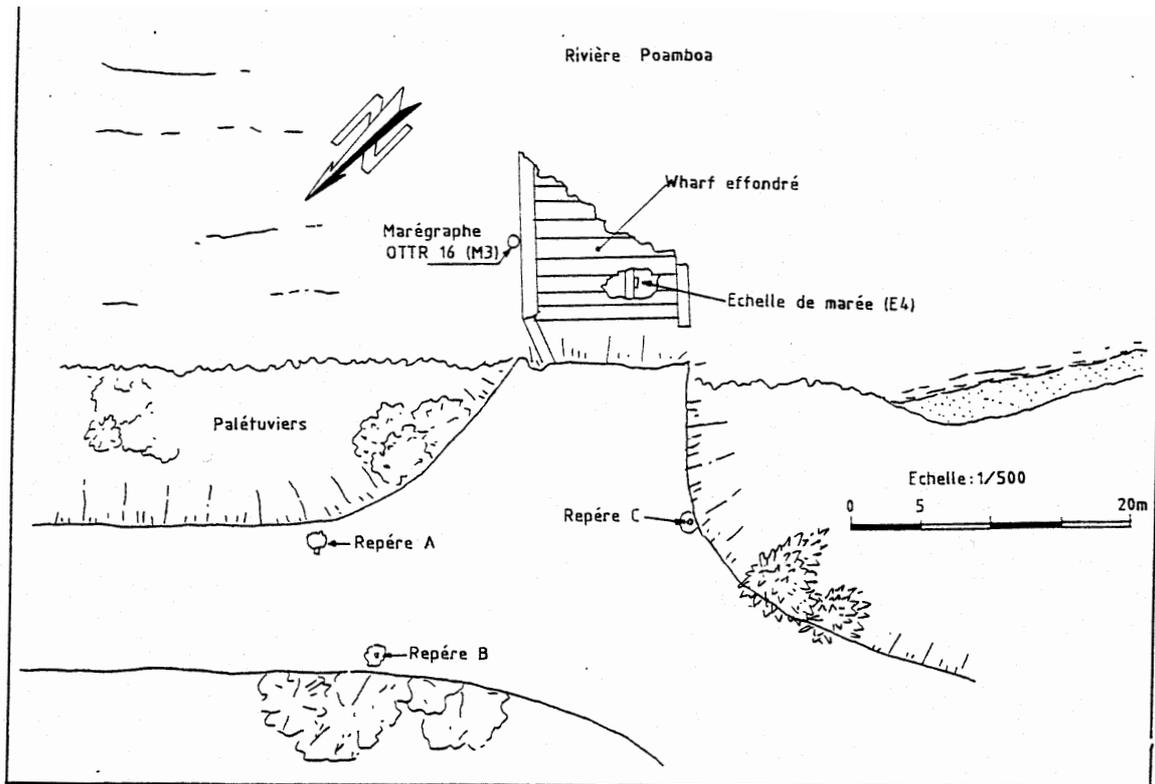
SITUATION EN ÉLÉVATION DES REPÈRES D'ALTITUDE ET DES DIFFÉRENTS ZÉROS DE RÉFÉRENCE (Zéro instrumental, zéro de réduction des sondes, zéros IGN, etc...).



ANNEXE B au chapitre 3.2

POAMBOA - KONÉ

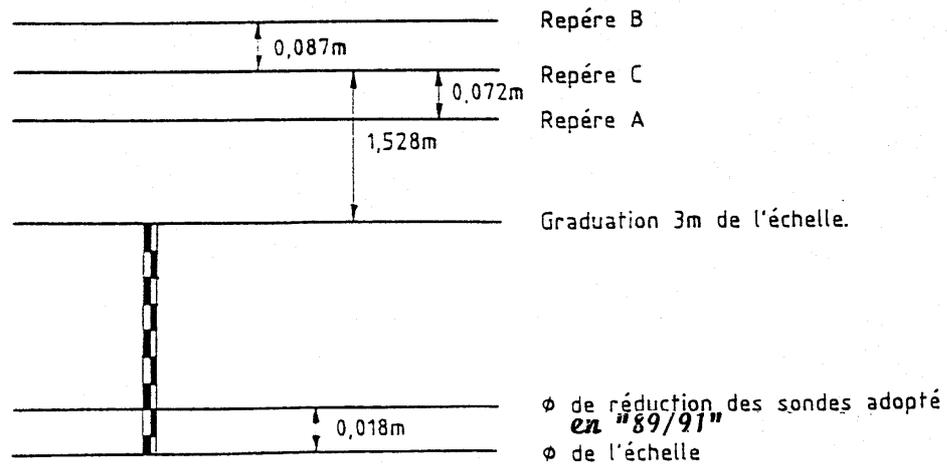
SITUATION DE L'OBSERVATOIRE

(Voir également l'annexe A)

POAMBOA - KONÉ
REPÈRES D'ALTITUDE

Désignation	Description	Cote rapportée au nivellement local ou zéro NGF ou zéro IGN 69	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
A	Repère fondamental: douille SHOM scellée horizontalement dans une plaque en ciment sur le bord gauche de la piste en arrivant au Wharf.	Néant	+4,438m
B	Douille SHOM scellée verticalement dans une plaque de ciment sur le bord droit de la piste en arrivant au wharf.	Néant	+4,597m
C	Douille SHOM scellée verticalement dans une plaque de ciment sur le côté droit de la piste avant le wharf.	Néant	+4,510m

SITUATION EN ÉLÉVATION DES REPÈRES D'ALTITUDE ET DES DIFFÉRENTS ZÉROS DE RÉFÉRENCE (Zéro instrumental, zéro de réduction des sondes, zéros IGN, etc...).



3.3.- LEVÉ DE RECONNAISSANCE DU CHENAL DE L'ILE AUX SHARKS A POÉ

1.- GÉNÉRALITÉS

Le levé de reconnaissance du Chenal de « l'île aux Sharks » à Poé a été effectué sous convention au profit de la Province Sud, le 8 septembre 1992. Ce levé est destiné aux études d'aménagement touristique et de développement des activités économiques du site de Poé.

Les sondages ont été réalisés avec une vedette du BH2 *Laplace* au cours d'un transit vers le Lagon Nord.

Les conditions de mer et de vent qui ont été clémentes ont permis par ailleurs de décrire la topographie du platier en bordure du chenal.

2.- GÉODÉSIE

Aucun levé géodésique n'a été nécessaire.

Les coordonnées des points utilisés pour la localisation de la vedette sont donnés en annexe A.

3.- TOPOGRAPHIE

La topographie de la côte est issue de deux minutes au 1/10 000 fournies par le Service Topographique du Territoire. (références : Creek Sale 53.61.2 et Boe Tande 53.61.1).

La topographie des bords du chenal a été effectuée à la perche topographique à partir d'un zodiac.

4.- BATHYMÉTRIE

4.1.- Localisation

La localisation du porte-sondeur (vedette du *Laplace*) et des perches topographiques a été assurée par des mesures optiques (théodolites). La précision obtenue est meilleure que le mètre (système géodésique IGN 72 en projection UTM, fuseau 58).

4.2.- Sondages

Les sondages ont été effectués selon trois routes libres à l'intérieur du chenal : une dans l'axe, deux entre la bordure et l'axe.

La rédaction a été effectuée au 1/5 000.

Le sondeur utilisé est un Deso 20.

Les sondes ont été corrigées de la marée observée sur zone. La précision des sondes est estimée à 30 cm. Il n'y a pas eu de recherche d'obstructions (profils bathymétriques de reconnaissance).

4.3.- Recouvrement avec le levé large

Une sonde issue de la minute 86.29.5 (levé de 1985) a été portée sur la minute rédigée. Les deux levés sont cohérents.

5.- MARÉGRAPHIE

La marée a été observée sur une échelle installée dans la Baie de Bourail.

Le zéro de réduction des sondes est celui adopté en 1985 pour les sondages de la Baie de Bourail (référence de la fiche d'observatoire de marée : Bourail 15 octobre 1985) ; il est situé à 32,02 m sous le repère fondamental A scellé dans le coin Sud d'un abri en béton placé à l'intersection des deux chemins menant à l'ancien wharf de la Baie de Bourail.

L'annexe B indique la situation de l'observatoire et de la zone levée ainsi que les élévations des repères d'altitude et du zéro de réduction des sondes.

6.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 minute de bathymétrie au 1/5000.

ANNEXE A

au chapitre 3.3

STATIONS OPTIQUES (IGN 1972 UTM, fuseau 58)

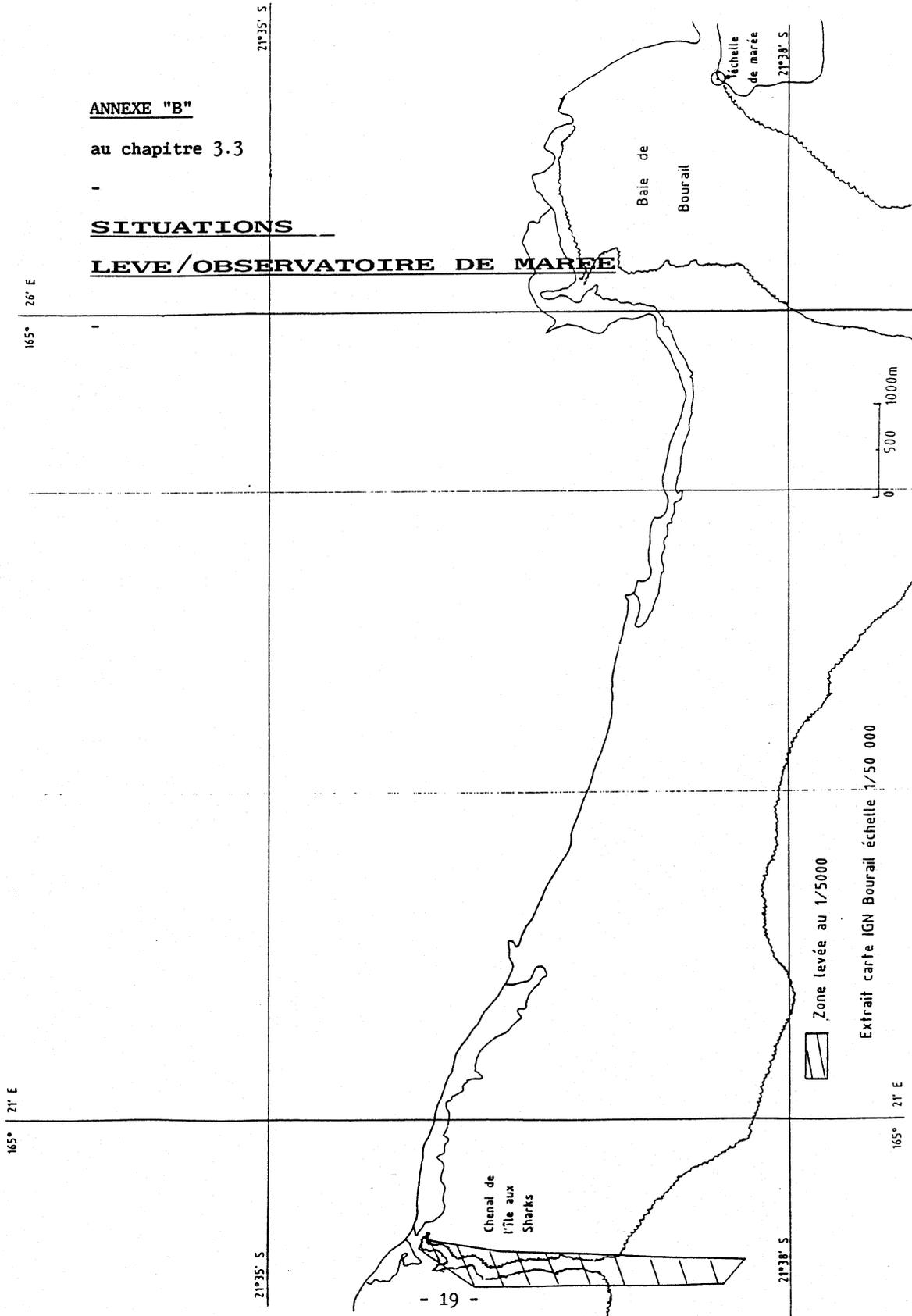
DÉSIGNATION IGN BOURAIL	X	Y	Z
23,6	533 153,81	7 614 651,15	203,76
23,8	535 172,82	7 613 824,92	186,12
23,12	538 951,84	7 611 487,14	155,88

ANNEXE "B"

au chapitre 3.3

SITUATIONS

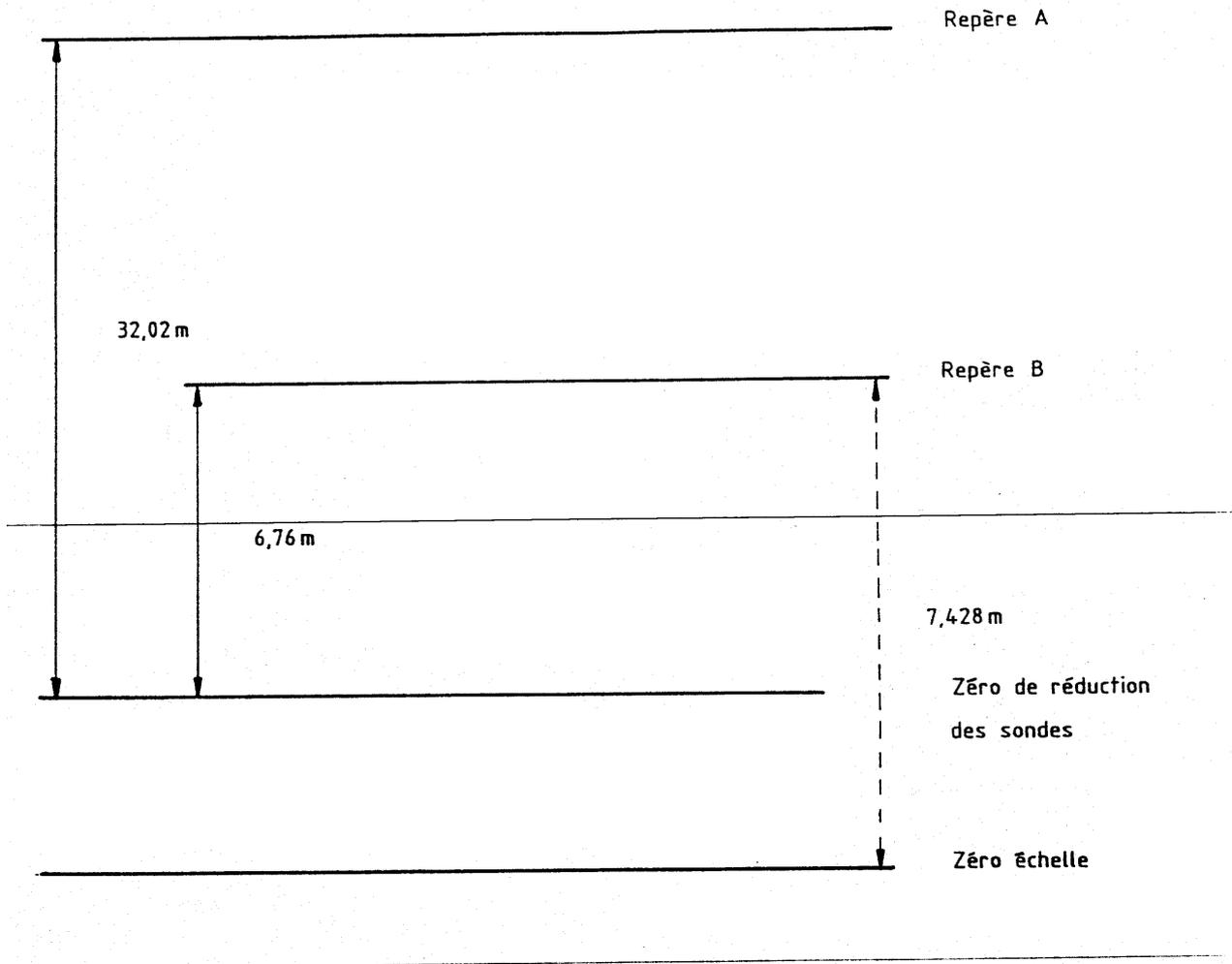
LEVE/OBSERVATOIRE DE MARÉE



ANNEXE "B" (Suite)

au chapitre 3.3

-



———— Cotes issues de la fiche d'observatoire de marée "Bourail" du 15 Octobre 1985

- - - - Cote mesurée en 1992

3.4.- LEVÉ COMPLÉMENTAIRE DE NEPOUI / MUEO

1.- GÉNÉRALITÉS

Les travaux décrits dans ce chapitre ont été réalisés en février et mars 1993. Ils viennent en complément du levé effectué en 1989.

Les opérations ont été conduites par un détachement constitué de 18 personnes installé dans l'enceinte de l'Escadron de la Gendarmerie Mobile de Népoui. Le BH2 *Laplace* s'est limité à envoyer et récupérer ses deux vedettes qui ont pu être mouillées en sécurité sur coffre pendant la durée du levé. Trois stations de radiolocalisation sur cinq ont été mises en place et démontées avec le concours d'un hélicoptère Puma de l'ETOM 52.

Les conditions météorologiques ont été acceptables, sauf pendant une journée au passage du cyclône Polly.

Les travaux effectués sont présentés sur la planche 3.4.

Remarque importante :

Les travaux effectués ont confirmé la présence d'un relèvement de fond situé dans le chenal d'accès dont la cote est de 8,3 m.

La portée et l'espacement entre les profils sont donnés dans le tableau suivant :

	ESPACEMENT (en m)	PORTÉE (en m)
Reprise du levé dans l'axe d'approche du terminal minéralier	75	100
Chenal d'accès à l'Est de la Passe	50	75
Abords du terminal minéralier de Népoui	50	75
Sonde CM d'origine inconnue 10.0 (Recherche N° 9)	50	75
Sonde CM d'origine inconnue 13.0 (Recherche N° 11)	75	100
Sonde CM d'origine inconnue 12.0 (Recherche N° 10)	75	100

4.2.- Recherches de sondes

Les sondes issues de la carte marine ont fait l'objet de recherches par plongeurs ou d'insonification totale au sondeur vertical sur un carré :

- atteignant, quand les recherches sont négatives, 30 m de côté pour les sondes issues d'un levé MHNC effectué en 1962 (AH 1965/1966 page 251)

- atteignant, quand les recherches sont négatives, 40 m de côté pour les sondes issues d'un levé de la Société Le Nickel (SLN) effectué en 1970 (AH N° 742 pages 124 à 129)

Le sondeur utilisé est un Deso 20.

2.- GÉODÉSIE

Les bornes nécessaires au levé ont toutes été retrouvées. Les travaux de géodésie ont ainsi pu être limités à un simple rattachement d'antenne Trident sur la presqu'île Beco. Le système géodésique utilisé est l'IGN 72 en projection UTM sud, fuseau 58.

3.- LOCALISATION

La localisation des vedettes a été assurée par au moins trois lieux Trident. Le réseau de radiolocalisation a été étalonné par des mesures sur du balisage fixe. La précision finale est meilleure que 5 m.

La liste des stations utilisées est donnée en annexe. Ce sont, sauf pour la presqu'île Beco et, le « vieux môle », celles utilisées en 1989.

4.- TRAVAUX RÉALISÉS

4.1.- Explorations au sondeur latéral

Elles ont été réalisées avec le sondeur latéral Edgerton modèle 260.

Les sondes ont été corrigées de la marée observée sur zone (cf. chapitre marée). La précision des sondes est estimée à 30 cm.

4.3.- Résultats

4.3.1.- Reprise du levé au sondeur latéral dans l'axe d'approche du terminal minéralier de Népoui

Aucun relèvement n'a été détecté dans la zone d'exploration.

En revanche, à l'occasion d'un retournement, un écho a été observé dans le sud de la zone. Il a été étudié (recherche n° 26) au sondeur vertical et coté à 17,7 m.

4.3.2.- Recherche de sondes « carte marine »

3.1.- LEVÉ RÉGULIER DE KONÉ-

N° RECHERCHE	SONDE	POSITION CM 6089		ORIGINE	EXPLORATION	ÉTUDE	RÉSULTAT DÉCISION
		L	G				
9	10.0	21° 20,63' S	164° 58,85' E	Inconnue	SL SV	Néant	A supprimer
10	12.0	21° 20,78' S	164° 58,63' E	Inconnue	SL SV	Néant	A supprimer
11	13.0	21° 21,17' S	164° 58,55' E	Inconnue	SL SV	Néant	A supprimer
2	10.0	21° 20,24' S	164° 58,97' E	SLN	SL SV	Néant	A supprimer
3	9.6	21° 20,30' S	164° 59,09' E	SLN	SL SV	SV	Remplacer par 9.4
4	9.3	21° 20,34' S	164° 58,60' E	SLN	SV	P	Remplacer par 9.2
5	11.5	21° 20,45' S	164° 58,61' E	SLN	SV	SV	Remplacer par 11.3
7	10.8	21° 20,46' S	164° 58,81' E	SLN	SV	SV	Remplacer par 10.9
8	10.5	21° 20,54' S	164° 58,86' E	SLN	SV	SV	Remplacer par 10.4
15	3.9	21° 23,50' S	164° 57,76' E	MHNC	SV	P	Remplacer par 6.9
16	7.6	21° 23,54' S	164° 57,91' E	MHNC	SV	SV	Remplacer par 7.4
17	6.0	21° 23,62' S	164° 57,71' E	MHNC	SV	SV	Remplacer par 6.8
18	7.5	21° 23,66' S	164° 57,80' E	MHNC	SV	P	Remplacer par 7.0
19	5.9	21° 23,69' S	164° 57,46' E	MHNC	SV	SV	Remplacer par 5.0
25	+	21° 20,38' S	164° 59,92' E	Inconnue	SV	Néant	A supprimer Remplacer par 3.9

3.- LAGON OUEST

exploration : sondeur latéral : SL
sondeur vertical : SV

étude : plongeur : P
sondeur vertical : SV

4.3.3.- Recherche de sondes particulières

N° RECHERCHE	SONDE	ORIGINE MINUTE 89	POSITION IGN 72		ÉTUDE	RÉSULTAT DÉCISION	NOUVELLE POSITION IGN 72	
			X	Y			X	Y
14	[13.5] SI	B5 9	497 703	7 635 190	P	Remplacer par 12.5	497 700	7 635 199
13	[14.3] SI	B5 9	497 720	7 635 240	P	Remplacer par 15.8	497 710	7 635 237
22	7.8	B1 1	495 130	7 633 307	P	Remplacer par 7.7	495 121	7 633 305
20	8.3	B1 1	495 567	7 633 378	P	A conserver	495 563	7 633 384
6	9.4	B5 4	498 105	7 639 735	SV	A supprimer		

Les données météorologiques provenant de la station de Koumac ont été complétées par les observations enregistrées sur zone par les bâtiments ayant participé au levé.

8.- NATURES DE FOND

Les natures de fond ont été déterminées par des prélèvements à la benne légère aux intersections d'un maillage de 500 m de côté.

Des minutes de nature de fond et des fiches descriptives de prélèvements sédimentologiques ont été rédigées, en utilisant les abréviations internationales de

4.3.6.- Recherche des sondes particulières

N° RECHERCHE	SONDE	ORIGINE MINUTE 89	POSITION IGN 72		ÉTUDE	RÉSULTAT DÉCISION	NOUVELLE POSITION IGN 72	
			X	Y			X	Y
1	7,4	B5 1	497 472	7 640 876	SV	Remplacer par 7,2	497 464	7 640 870
24	7,3	B5 4	498 490	7 639 269	SV	Remplacer par 6,6 deux têtes de 6,9	498 480 498 487	7 639 248 7 639 265
21	7,8	B5 8	496 342	7 633 390	P	Remplacer par 7,6	496 348	7 633 374
12	9,3	B5 9	497 665	7 635 230	P	Remplacer par 11,8	497 667	7 635 239

4.3.7.- Divers

Un relèvement de fond a fortuitement été détecté par sondeur latéral lors d'une recherche de sonde carte marine.

Il a été étudié au sondeur vertical (recherche N° 28) et coté 10.6.

Une sonde 7.4 signalée par la mission en 1989 a été explorée au sondeur latéral, au sondeur vertical et par plongeur (recherche n° 23). Elle n'a pas été retrouvée et doit être supprimée.

Une sonde 7.7 se trouve à proximité (voir recherche N° 22 paragraphe 4.3.3.).

5.- MARÉE

La marée a été observée avec un marégraphe OTT R16 installé comme en 1989 à l'extrémité de la presqu'île de Mueo.

Le zéro de réduction des sondes est situé à 2,857 m au dessous du repère fondamental A, coquillage scellé dans un rocher marqué MHNC à l'enracinement du môle de Népoui.

6.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 2 minutes de recherches à l'échelle 1/1 000
- 2 minutes de recherches à l'échelle 1/5 000

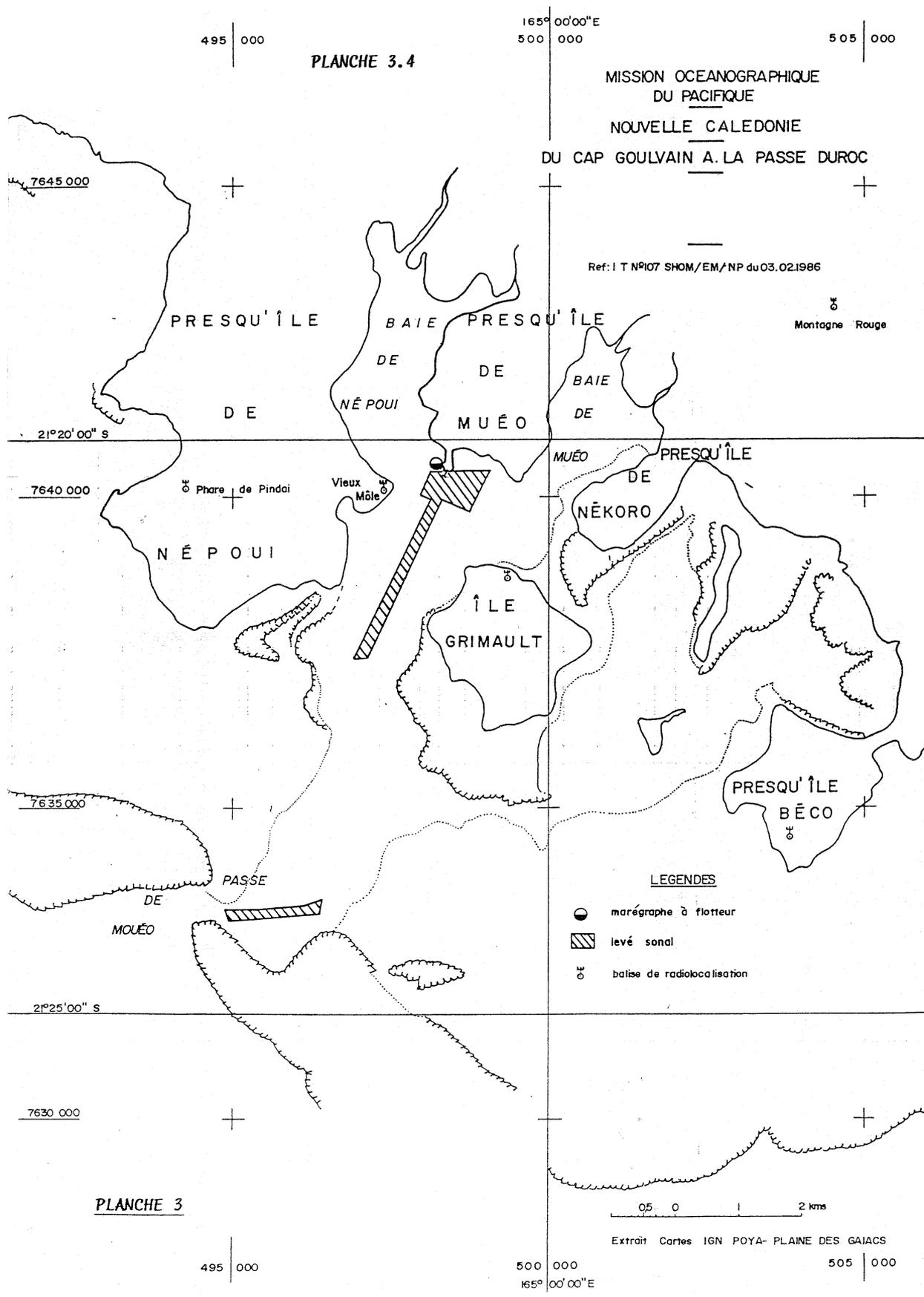
ANNEXE

au chapitre 3.4

STATIONS DE RADIOLOCALISATION « TRIDENT » UTILISÉES POUR LE LEVÉ (Système géodésique IGN 72, projection UTM, fuseau 58)

NOM	X	Y	Z (*)
Phare de Pindaï	494 243, 94	7 640 114, 04	60, 54
Ile Grimault	499 308, 75	7 638 695, 45	52, 99
Presqu'île Béco	503 627, 15	7 634 497, 03	27, 62
Montagne Rouge	504 429, 04	7 643 054, 89	227, 13
Vieux môle	497 483, 83	7 640 109, 48	48, 15

(*) sommet antenne Trident.



4.- LAGON SUD

GÉODÉSIE ET SPATIOPRÉPARATION DU LAGON SUD

RÉFÉRENCE : Géodésie du Grand Récif Sud et de l'Île des Pins en Nouvelle-Calédonie - Rapport d'Étude 778 EPSHOM/E/GG/NPdu 30 décembre 1986,

1.- GÉNÉRALITES

En collaboration avec le Service Topographique et l'ORSTOM, une mission de géodésie et de spatiopréparation dans le Lagon Sud de la Nouvelle-Calédonie a été effectuée les 20 et 21 juillet 1992. Ces deux organismes ont fourni du personnel, trois récepteurs GPS Wild Leica et deux GPS Ashtech. La Mission a apporté, outre son personnel et ses deux récepteurs Ashtech, une partie de son potentiel d'heures d'hélicoptère.

Cinq nouvelles bornes ont été implantées et neuf pixels d'images SPOT ont été identifiés et localisés.

2.- REMARQUES

Le Lagon Sud et l'Île des Pins appartiennent au réseau IGN 84, qui est mal rattaché au réseau IGN 72 de la Grande Terre (référence).

Le Service Topographique réalisait à l'époque du levé, à l'aide du GPS, un réseau de référence de Nouvelle-Calédonie (RRNC), applicable à tout le territoire. Cette opération fut mise à profit pour rattacher l'Île des Pins et le Lagon Sud, en utilisant l'île Mare et le Cap N'Doua situé au sud de la Grande Terre, comme points d'appui.

3.- ORGANISATION DES TRAVAUX

Le choix du réseau de stations (Planche 4) a été guidé par plusieurs paramètres :

- vitesse et autonomie de l'hélicoptère,
- disponibilité du réseau satellitaire,
- nombre de récepteurs fixes et mobiles,
- dispersion géographique des pixels SPOT.

Trois équipes fixes à Mare, l'Île des Pins et au Cap N'Doua, munies de GPS Ashtech ont rattaché l'Île des Pins au RRNC.

Une équipe mobile a rattaché les îlots Koko et N'Die où les mesures ont été faites en mode statique, au GPS Ashtech.

Trois autres équipes itinérantes munies de GPS Wild Leica ont positionné les bornes géodésiques et les pixels par des mesures en statique rapide.

4.- GÉODÉSIE

Lors d'une mission de reconnaissance, le 6 juillet 1992, sur seize îlots investigués, deux seulement possédaient encore des bornes géodésiques exploitables.

La mission des 20 et 21 juillet 1992 ne s'est donc que très peu appuyée sur l'ancien réseau, et cinq nouvelles bornes ont été installées (îlots Koko, Uié, Iéroué, Du-Ami, et Caye Toutoute).

Par manque de temps, aucune borne n'a été posée sur les îlots M'Bore et Uatio. Des pixels SPOT ont cependant été localisés.

Le réseau RRNC (Maré, Île des Pins, Cap N'Doua) a été observé durant 27 heures (dont 20 heures exploitables), puis les mesures ont été sectionnées en neuf sessions de 2 à 3 heures pour les calculs.

Une session de 3 heures sur l'îlot Koko et cinq sessions d'environ 2 heures sur l'îlot Ndie ont été effectuées.

Les mesures au GPS Wild Leica ont été réalisées en statique rapide (deux stations d'une dizaine de minutes espacées d'une demi-heure).

La précision estimée est de l'ordre d'une dizaine de centimètres pour le réseau Ashtech et d'une vingtaine de centimètres pour le réseau Wild Leica.

Les résultats sont donnés en annexe.

5.- SPATIOPRÉPARATION

Un dossier de spatiopréparation a été rédigé.

Le laboratoire LATICAL de L'ORSTOM a fourni les zooms d'images SPOT.

Trois images sont nécessaires pour couvrir le Lagon Sud.

Sur chacune d'elles, trois pixels ont été stationnés.

6.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

Les documents définitifs suivants ont été rédigés :

- 1 fiche géodésique modifiée,
- 7 fiches géodésiques originales,
- 1 dossier de spatiopréparation.

ANNEXE

au chapitre 4

**COORDONNÉES GÉOCENTRIQUES
(Système ITRF 90)**

SITE	X	Y	Z
CAP NDOUA	- 5747380,531	1334897,948	- 2414564,619
ILE DES PINS BORNE	- 5751144,217	1280182,303	- 2434774,791
ILE DES PINS REPERE	- 5751141,744	1280188,935	- 2434777,356
ILOT NDIE	- 5748238,829	1306126,000	- 2427656,755
ILOT KOKO	- 5727095,777	1329280,595	- 2464518,740
ILOT DU-AMI	- 5745735,358	1296873,259	- 2438438,830
ILOT GIE	- 5753141,238	1284838,710	- 2427404,645
CAYE TOUTOUTE	- 5728253,467	1328363,605	- 2462337,859
ILOT UIE	- 5733260,063	1332418,745	- 2448548,943
ILOT IEROUE	- 5736204,127	1342590,940	- 2436148,152
ILOT MBORE	- 5729927,645	1331655,590	- 2456695,648
ILOT UATIO	- 5731020,982	1344447,203	- 2447221,199

ANNEXE (suite)**COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES
(WGS 84)**

SITE	LATITUDE	LONGITUDE	HAUTEUR/ ELLIPSOIDE
CAP NDOUA	22° 23' 26,5601 S	166° 55' 27,1429 E	244,328
ILE DES PINS BORNE	22° 35' 18,8452 S	167° 27' 02,8083 E	154,812
ILE DES PINS REPERE	22° 35' 18,9343 S	167° 27' 02,5629 E	154,899
ILOT NDIE	22° 31' 09,5071 S	167° 11' 54,6026 E	64,237
ILOT KOKO	22° 52' 48,5002 S	166° 55' 58,1031 E	60,228
ILOT DU-AMI	22° 37' 29,1390 S	167° 16' 51,1355 E	61,142
ILOT GIE	22° 31' 00,6374 S	167° 24' 38,9531 E	64,049
CAYE TOUTOUTE	22° 51' 31,5487 S	166° 56' 38,6174 E	60,808
ILOT UIE	22° 43' 25,3361 S	166° 54' 59,8202 E	60,874
ILOT IEROUE	22° 36' 08,4790 S	166° 49' 36,2481 E	60,499
ILOT MBORE	22° 48' 12,5428 S	166° 54' 59,4341 E	60,691
ILOT UATIO	22° 42' 38,5594 S	166° 47' 51,5272 E	59,697

ANNEXE (suite)**PROJECTION UTM 58
(à partir des coordonnées WGS 84)**

SITE	X	Y
CAP NDOUA	698 096,152	7522 658,340 (4)
ILE DES PINS BORNE	751 968,966	7499 953,656 (4)
ILE DES PINS REPERE	751 961,909	7499 951,030 (4)
ILOT NDIE	726 135,081	7508 028,958 (1)
ILOT KOKO	698 277,831	7468 448,090 (1)
ILOT DU-AMI	734 432,146	7496 222,405 (1)
ILOT GIE	747 987,178	7507 965,097 (2)
CAYE TOUTOUTE	699 463,860	7470 800,066 (1)
ILOT UIE	696 841,234	7485 793,441 (1)
ILOT IEROUE	687 773,089	7499 347,585 (1)
ILOT MBORE	696 715,828	7476 958,780 (3)
ILOT UATIO	684 637,208	7487 385,347 (1)

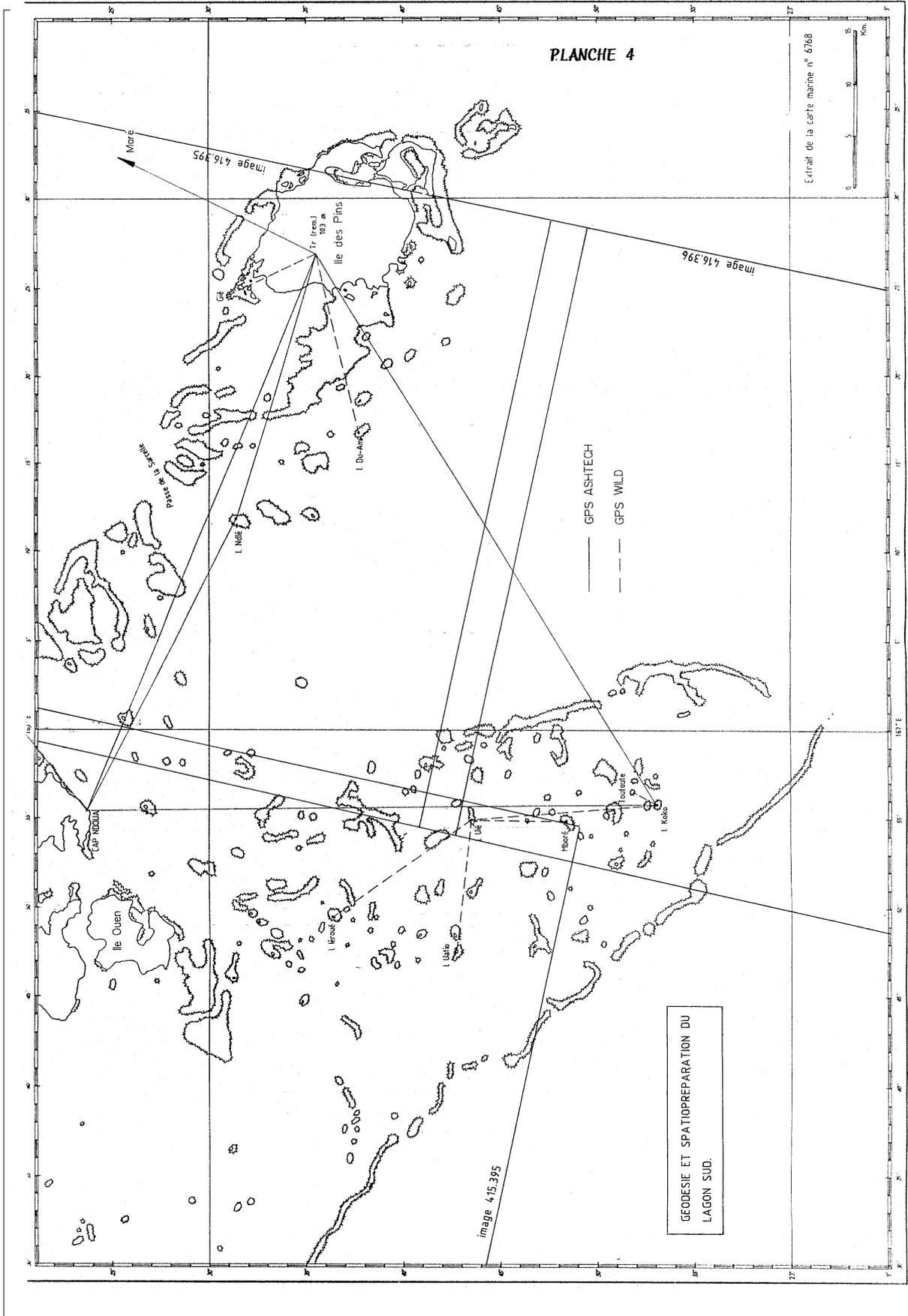
NOTA : Ces coordonnées ont été arrondies au cm sur les fiches géodésiques.

(1) Fiche géodésique MOP rédigée

(2) Fiche géodésique MOP modifiée

(3) Point non matérialisé (pixel)

(4) Points du Service Topographique (pas de fiches MOP)



5.- NOUMÉA ET SES ENVIRONS

5.1.- LEVÉS AU PROFIT DU PORT AUTONOME DE NOUVELLE-CALÉDONIE (PANC)

GÉNÉRALITES

Les travaux ont été effectués dans le cadre de la convention permanente N° 02-80 établie entre le SHOM et le PANC. Ils ont généralement été programmés aux périodes où le BH2 *Laplace* était à quai à Nouméa en utilisant soit sa coralline (starvag) soit une de ses vedettes. La marée a toujours été observée à l'observatoire permanent de la Base Navale Chaleix à Nouméa. La localisation a été effectuée dans le système géodésique IGN 72 en projection UTM Sud, fuseau 58.

Les sondeurs utilisés furent soit des Atlas Deso 20 soit des Simrad mono-fréquence (200 kHz).

La durée effective des sondages a été prise en compte pour le calcul d'une redevance prévue dans la convention.

5.1.1.- NOUVEAU QUAI POUR PAQUEBOTS (QUAI DES LONGS-COURRIERS)

Les abords de ce quai furent dragués à plusieurs reprises, contraignant la mission à effectuer de nombreux contrôles qui furent tous rédigés à l'échelle 1/1 000.

5.1.1.1.- TRAVAUX EFFECTUES EN JUILLET 1992

Les contrôles bathymétriques signalés sur la planche 5.1 furent effectués les 9 et 25 juillet 1992.

1.- GÉODÉSIE

Deux stations ont été rattachées au réseau géodésique

2.- BATHYMÉTRIE

2.1.- Localisation

La localisation du porte-sondeur radioguidé (coralline de type starvag) a été assurée par trois lieux optiques (un guide et deux traversiers). La précision est généralement meilleure que 50 cm.

2.2.- Sondages

Les sondages ont été effectués suivant des profils espacés de 10 m.

Le sondeur utilisé est un Simrad EA 300P.

L'acquisition automatique des sondes a été assurée par le micro-terminal de terrain Husky Hunter 36 et le logiciel AC 300M.

La précision des sondes est estimée meilleure que 20 cm.

2.3.- Comparaison avec les levés antérieurs

Les sondages effectués sont cohérents dans les zones de recouvrement avec les minutes 92-39-01 et 92-39-03 (IPA FOURGASSIE).

La comparaison faite avec les minutes 72-1-1 et 72-1-11 (IPA MILARD) a montré que les fonds avaient évolué, suite à des dragages et à l'importance du trafic portuaire (principalement à proximité du quai FED).

3.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 minute de bathymétrie au 1/1 000.
- 2 fiches géodésiques originales et une fiche géodésique complétée (391-26-173)

ANNEXE

au chapitre 5.1.1.1

Coordonnées des points ayant donné lieu à la rédaction de fiches géodésiques

NOM DU POINT	DÉSIGNATION	X	Y	Z
Quai des volontaires Station NORD	Douille SHOM	647687,1	7536431,9	1,8
Ile Nou Station Capitaine BOIS	Douille SHOM	646612,9	7536267,1	4,9

5.1.1.2.- TRAVAUX EFFECTUÉS EN NOVEMBRE ET DÉCEMBRE 1992

Les contrôles bathymétriques signalés sur la planche 5.1 furent effectués d'une part entre le 16 et le 20 novembre 1992 (ensemble de la zone) et d'autre part les 10 et 11 décembre 1992. Entre-temps de nouveaux dragages s'étaient avérés nécessaires.

1.- GÉODÉSIE

De nouvelles stations ont dû être rattachées au réseau géodésique pour les sondages réalisés parallèlement au quai (pas de fiche).

La nouvelle gare maritime a été localisée, elle constitue un amer peu visible du large qui a fait l'objet d'une fiche géodésique.

2.- BATHYMÉTRIE

2.1.- Localisation

La localisation du porte-sondeur radioguidé (VH8) a été assurée par quatre lieux optiques (un guide et trois

2.4. - Comparaison avec les levés antérieurs

Les résultats du levé ont été comparés avec les levés antérieurs suivants :

RÉFÉRENCE MINUTE	ÉCHELLE	DATE	SITUATION
72.1.8	1/500	OCTOBRE 72	Quai FED
85.11.1	1/1 000	84	Quai FED
87.9.1	1/500	SEPTEMBRE 85	Quai des Longs-Courriers
87.8.1	1/500	NOVEMBRE 86	Quai des caboteurs
92.39.01	1/500	SEPTEMBRE 91	Partie Sud du quai des Longs-Courriers
92.39.03	1/500	SEPTEMBRE 91	Partie Nord du quai des Longs-Courriers

En dehors des zones draguées la cohérence est bonne avec les levés antérieurs.

De nouvelles structures ont cependant été relevées à proximité du quai des caboteurs :

SONDE	X	Y	PRÉCISION DE LA LOCALISATION
4,8	647708,2	7535824,5	0,3 m
4,8	647713,8	7535824,5	0,3 m
5,6	647714,5	7535735,2	2 m
5,6	647722,3	7535772,6	2 m

traversiers). La précision est généralement meilleure que 30 cm.

2.2 - Sondages

Les sondages ont été effectués suivant des profils espacés de 10 m. La précision des sondes est estimée meilleure que 20 cm.

2.3.- Recherche des relèvements de fond

Les relèvements de fond ont fait l'objet de profils resserrés. Faute d'une visibilité suffisante, l'emploi de plongeurs n'a pas été possible.

La sonde 8.3 m située en X = 647 401,0, Y = 7535 848,8 pourrait être due à une obstruction artificielle.

3. - TOPOGRAPHIE

La topographie des quais portée sur la minute BT est une compilation faite d'extraits des minutes suivantes :

- 72-1-4
- 72-1-8
- 92-39-01
- 92-39-03

Il a été tenu compte des décalages géodésiques entre l'IGN 54 et l'IGN 72.

4.- DOCUMENTS RÉDIGÉS_

- 1 minute BT au 1/1 000.
- 1 fiche géodésique originale.

ANNEXE**au chapitre 5.1.1.2****Fiche géodésique (amer peu visible, nouvelle fiche rédigée)**

NOM DU POINT	DÉSIGNATION	X	Y	Z
Quai des Longs-Courriers Gare Maritime	Pylône	647748,8	7536092,7	32,3

5.1.2. - QUAI DES SCIENTIFIQUES (Baie de la Moselle)

Ce levé rédigé à l'échelle 1/500 (planche 5.1.) fut conduit, à la suite de dragages, les 4 (bathymétrie), 8 et 9 juin 1993 (topographie du quai).

1 - GÉODÉSIE

Le réseau géodésique existant a dû être complété par deux points.

2.- BATHYMÉTRIE

2.1.- Localisation

La localisation du porte-sondeur radioguidé (VH8) a été assurée par quatre lieux optiques (un guide et trois traversiers). La précision est généralement meilleure que 20 cm.

2.2.- Sondages

Les sondages ont été effectués suivant des profils espacés de 5 m. La précision des sondes est estimée meilleure que 20 cm.

2.3.- Recherche des relèvements de fond

Les sondages verticaux (Atlas Deso 20) ont été complétés par une exploration au sondeur latéral Edgerton modèle 260 avec une portée de 50 m. Cette

exploration a été réalisée en suivant dans les deux sens le profil situé le plus au sud du levé à 40 m du quai. Les très faibles remontées de fond ainsi repérées ont donc été insonifiées deux fois par chacune des voies du sondeur latéral mais d'un seul côté.

2.4 - Comparaison avec le levé antérieur

Les résultats du levé ont été comparés avec la minute 85.26.2 au 1/1000 d'avril 1985 (ICA HABERT).

La cohérence est bonne en dehors des zones draguées. Le nouveau levé remplace entièrement les données anciennes.

3.- TOPOGRAPHIE

La topographie du quai qui a été étendu vers la mer a été effectuée au théodolite et au double-décimètre.

4.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 minute BT au 1/500.
- 2 fiches géodésiques.

ANNEXE

au chapitre 5.1.2

STATIONS UTILISÉES POUR LA LOCALISATION (nouveaux points)

SYSTÈME GÉODÉSIQUE : IGN 72
PROJECTION : UTM FUSEAU 58

NOM DU POINT	DÉSIGNATION	X	Y	Z
DENOUEL (Guide)	Piquet en fer MOP	646610,7	7535462,1	2,7
MOSELLE	Piquet en fer MOP	648163,3	7535225,5	47,5

5.1.3.- BANC INFERNAL

Ce levé (planche 5.1.), également programmé à la suite de dragages, fut réalisé le 24 juin 1993.

1.- GÉODÉSIE

Les travaux de géodésie ont été limités à des rattachements de balises Axyle.

La liste de l'ensemble des stations utilisées pour la localisation est donnée en annexe à ce chapitre.

2.- BATHYMÉTRIE

2.1.- Localisation

La localisation du porte-sondeur (VH8) a été assurée à l'Axyle (3 ou 4 lieux) dont l'étalonnage a été effectué à l'optique (théodolites). La précision est généralement meilleure que 20 cm.

2.2.- Sondages

Les sondages ont été effectués suivant des profils espacés de 10 m et rédigés au 1/1 000.

La précision des sondes est estimée meilleure que 20 cm.

2.3.- Comparaison avec le levé antérieur

Les résultats du levé ont été comparés avec la minute 91.31.1 rédigée au 1/1000 (juin 1989 - IPA CHAMPAGNE).

La cohérence est bonne en dehors des zones draguées.

Le nouveau levé remplace entièrement les données anciennes.

3.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 minute B au 1/1 000.
- 3 fiches géodésiques complétées.

ANNEXE

au chapitre 5.1.3

STATIONS UTILISÉES POUR LA LOCALISATION

SYSTÈME GÉODÉSIQUE : IGN 72
PROJECTION : UTM FUSEAU 58

NOM DU POINT	DÉSIGNATION (AXYLE)	X	Y	Z
QUAI DES VOLONTAIRES	Croix gravée MOP	647657,6	7536432,1	1,8
WHARF DENOUEL	Croix gravée MOP	646719,0	7535114,8	1,6
CALE DE HALAGE	Douille MOP	646794,2	7535906,4	4,0
CAPITAINERIE	Douille MOP	646729,78	7536564,98	14,9

5.1.4.- QUAI DES CABOTEURS

1.- GÉNÉRALITÉS

Ce levé (planche 5.1) a été réalisé à la suite de travaux de dragage effectués par le PANC en prévision de l'arrivée en Nouvelle-Calédonie du « Ferry des îles ». La zone a été sondée le 1^{er} décembre 1993.

2.- GÉODÉSIE

Les travaux de géodésie ont été limités au rattachement d'une station (non matérialisée) utilisée pour la mise en place, au théodolite, d'alignements.

3.- BATHYMÉTRIE

3.1.- Localisation

La localisation du porte-sondeur (coralline) a été assurée à l'Axyle (3 lieux). La précision est généralement meilleure que 30 cm.

Dans la pratique la coralline suivait des alignements. Un théodolite contrôlait le suivi de profil.

3.2.- Sondages

Les sondages ont été effectués suivant des profils espacés de 4 m et rédigés au 1/500. La précision des sondes est estimée meilleure que 20 cm.

3.3.- Comparaison avec les levés antérieurs

Les résultats du levé ont été comparés avec les minutes de bathymétrie au 1/500 rédigées en novembre 1986 par l'ICA LAPORTE et en septembre 1991 par l'IPA FOURGASSIE.

La cohérence est bonne en dehors des zones draguées.

Le nouveau levé remplace entièrement les données anciennes.

4 - DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 minute BT au 1/500.

5.2.- LEVÉ DANS LA BASE NAVALE CHALEIX

1.- GÉNÉRALITÉS

A la demande du Commandant de la Marine en Nouvelle-Calédonie, trois petits levés hydrographiques ont été effectués entre octobre 1993 et avril 1994 dans la Base Navale Chaleix à Nouméa.

Ces levés répondent aux objectifs suivants :

- mise à jour de la bathymétrie de la zone située en face du nouveau quai de manoeuvre achevé en 1992. Cette zone a en effet été draguée postérieurement au levé réalisé par la MOP en 1990 ;
- recherches d'obstructions à l'est des pontons flottants ;
- étude des possibilités de plageage à l'îlot Brun.

L'implantation de réseaux de radiolocalisation Axyle a par ailleurs été mise à profit pour compléter la topographie, localiser deux coffres (et leurs ancres) et effectuer des profils bathymétriques de contrôle près du quai des avisos.

2.- GÉODÉSIE

Les calculs ont été réalisés dans le système géodésique IGN 72 en projection UTM, fuseau 58.

3.- BATHYMÉTRIE

Les sondages ont été réalisés suivant des profils espacés de 5 m. La localisation sur ces profils (guidage à l'optique) a été déterminée à l'Axyle (précision : 30 cm). Le sondeur utilisé est un Deso 20 installé sur une coralline avec une base hors-bord. Les sondes ont été corrigées de la marée observée à Nouméa. Leur précision est estimée meilleure que 20 cm.

Des recherches d'obstructions ont par ailleurs été effectuées par des plongeurs, particulièrement à l'est des pontons.

4.- LOCALISATION DE DEUX COFFRES ET DE LEURS ANCRÉS

Les ancres ont été repérées par les plongeurs et localisées à l'Axyle. Ces ancres constituant des obstructions pouvant atteindre 1 m au-dessus du fond, ont été portées sur la minute B.

5.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 3 minutes B au 1/500
- 1 minute TR au 1/500
- 2 fiches géodésiques
- 1 fiche d'obstruction

5.3.- LEVÉS AUX ABORDS DE NOUMÉA

1.- GÉNÉRALITÉS

Suite à un incident de mer survenu aux abords de Nouméa, un examen de photographies aériennes (IGN mission PAC 64 400 1982-1985) a été programmé en 1991 de façon à déceler sur les cartes marines en service d'éventuelles lacunes préjudiciables à la sécurité de la navigation. Les résultats de cet examen ont conduit la Mission à effectuer une série de levés bathymétriques de contrôle. Le système géodésique utilisé est l'IGN 72 en projection UTM Sud, fuseau 58.

5.3.1.- ABORDS DES ILOTS MAITRE ET TE NDU (SIGNAL), DE L'ILE DE CROUY, ET DU RÉCIF SECHE CROISSANT

1.- GÉNÉRALITÉS

Les travaux effectués près de l'îlot Maître furent complétés par un autre levé de contrôle au nord ouest des récifs Seche Croissant où une vedette de l'ORSTOM s'était échouée sur un pâtre corallien situé à proximité d'une limite de zone de dangers portée sur les cartes marines.

Les travaux présentés dans la planche 5.3.1 furent effectués entre le 12 et le 16 juillet 1993 avec une vedette hydrographique du BH2 *Laplace*. Une reconnaissance par hélicoptère Alouette III de l'ETOM 52 précéda les levés de Te Ndu, Crouy et Sèche Croissant le 21 juin 1993.

2.- BATHYMÉTRIE

2.1.- Moyens-Méthodes

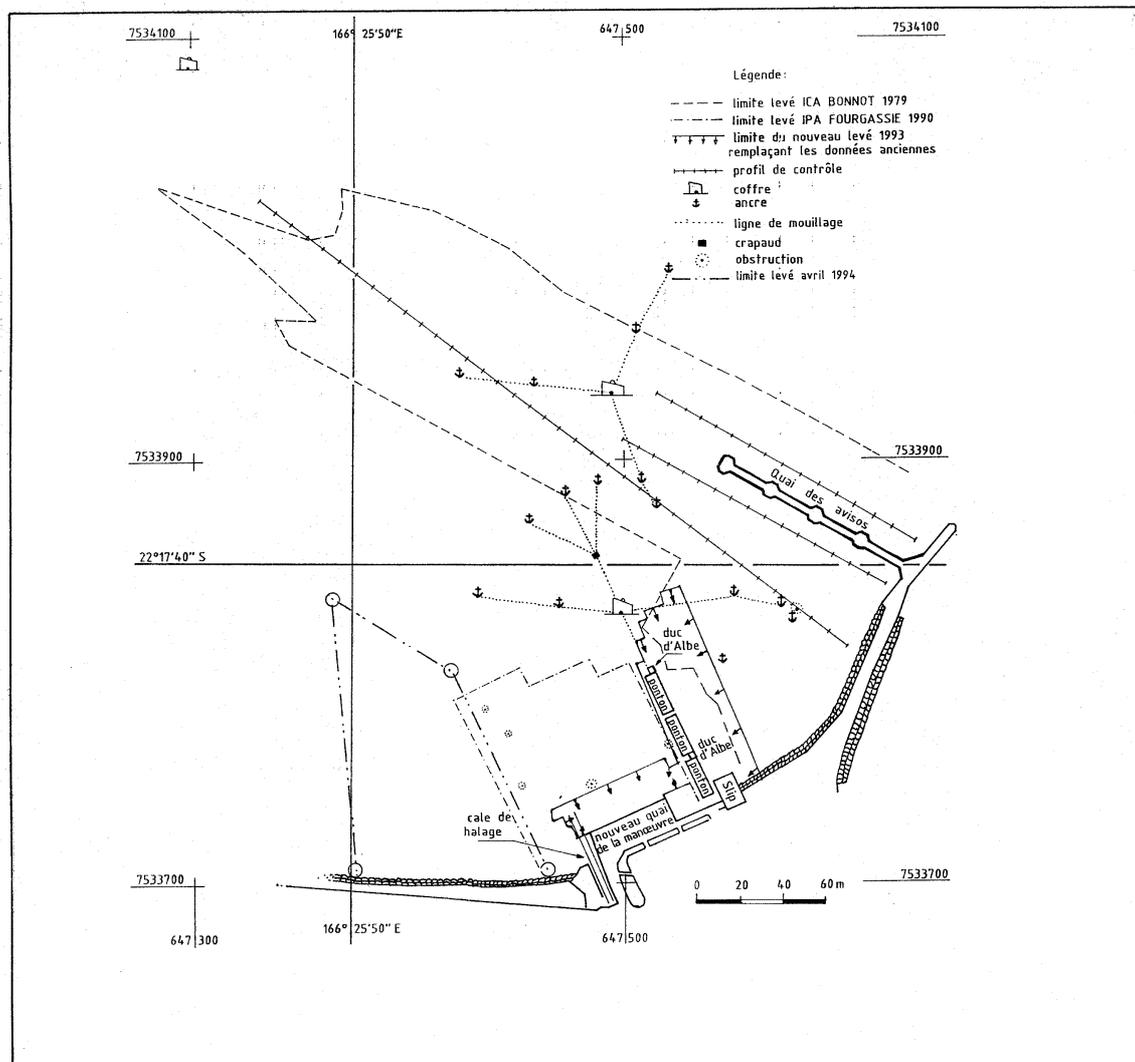
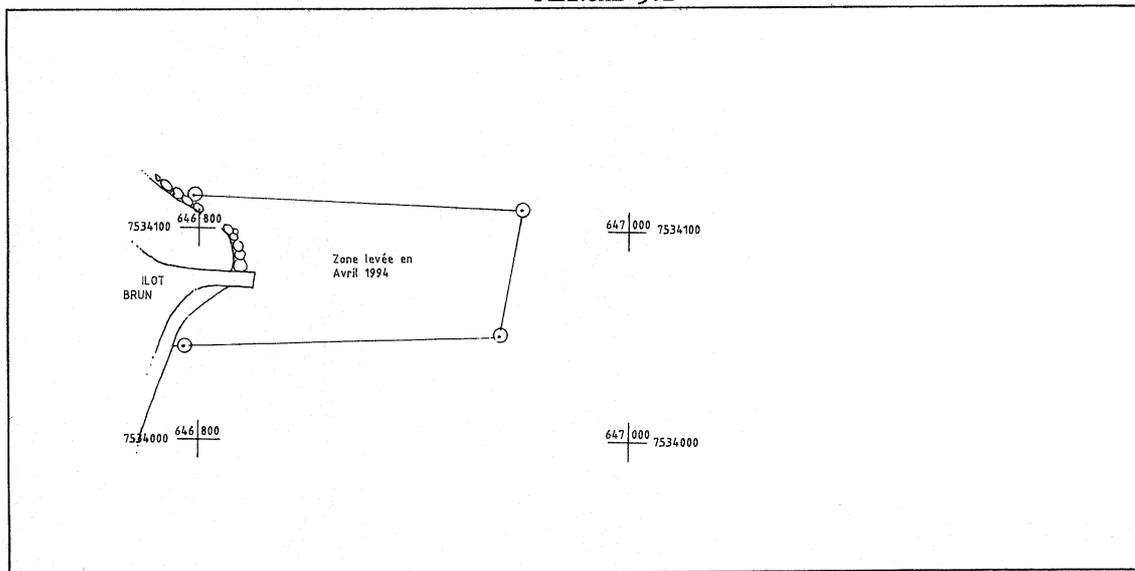
2.1.1.- Localisation

La localisation du porte-sondeur (VH8) a été assurée au Trident IIIa (4 lieux) dont la précision est généralement meilleure que 3 m.

2.1.2.- Explorations au sondeur latéral (Te Ndu, Crouy, Maître)

Elles ont été réalisées avec un sondeur latéral Edgerton modèle 260. La portée et l'espacement entre les profils étaient respectivement de 75 m et 50 m.

PLANCHE 5.2



2.1.3.- Sondages verticaux

Les sondages (Atlas Deso 20) ont été effectués suivant des profils dont l'espacement et l'échelle de rédaction sont donnés dans le tableau suivant :

	ESPACEMENTS ENTRE PROFILS (en mètres)	ÉCHELLE DE RÉDACTION
ILOT MAITRE	100	1/10 000
ILOT TE NDU (SIGNAL) SONDE 2 PA	50	1/5 000
ILE DE CROUY SONDE 4 PA	50	non rédigé (zone sonal délimitée)
RECIF SECHE CROISSANT	50	1/5 000

Les sondes ont été corrigées de la marée observée à Nouméa.

La précision des sondes est estimée meilleure que 30 cm.

2.1.4.- Recherche des relèvements de fond

Les relèvements de fond détectés au sondeur vertical ou latéral ont fait l'objet de recherche au sondeur vertical (profils resserrés) ou par plongeurs.

2.2 - Résultats

2.2.1.- Ilot Maitre

Le nouveau levé remplace les sondes anciennes.

2.2.2.- Ilot Te Ndu (Signal)

La sonde 2PA n'a été détectée ni par hélicoptère ni au sondeur latéral. Elle doit donc être supprimée des cartes marines. Seules les sondes inférieures à celles du levé ancien (ou le complétant) ont été rédigées.

2.2.3 - Ile de Crouy

Comme pour l'îlot Signal, la sonde 4PA n'a été détectée ni par hélicoptère ni au sondeur latéral. Elle doit donc être également supprimée des cartes marines. Le nouveau levé réalisé dans des conditions de mer difficiles n'apporte rien aux données anciennes, il n'a donc pas été rédigé.

2.2.4.- Récif Sèche Croissant

Trois pâtés coralliens (têtes jaunes) ont été localisés à proximité immédiate de la limite de la zone de dangers signalée sur les cartes marines. Le nouveau levé remplace les sondes anciennes.

3.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 minute B composée des trois levés au 1/5 000 (TE Ndu, Crouy, Sèche Croissant),

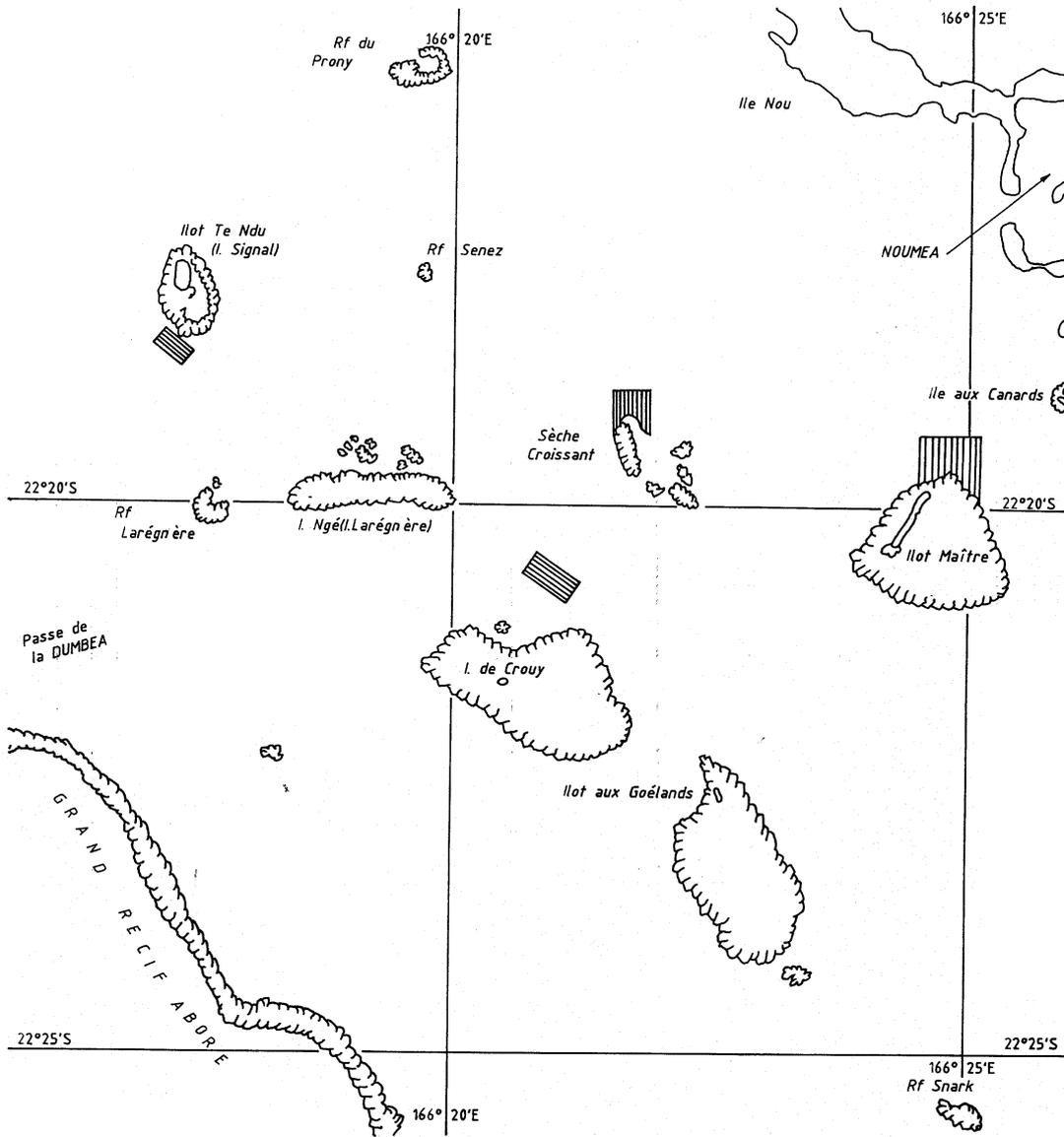
- 1 minute R pour deux des levés au 1/5 000 (TE Ndu et Sèche Croissant),

- 1 minute B au 1/10 000 (Maitre),

- 1 minute R au 1/10 000 (Maitre).

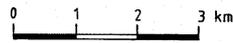
PLANCHE 5.3.1.

Recherche aux abords de NOUMEA.



Réduction de la carte marine 6687

 Zone de recherches



5.3.2.- MOUILLAGE DE L'ILE TANGUE

1.- GÉNÉRALITÉS

Ce chapitre rend compte des travaux effectués au mouillage de l'île Tangue bien fréquenté par les plaisanciers (planche 5.3.2.).

La bathymétrie a été effectuée avec une VH8 du *Laplace* du 19 au 23 juillet 1993. La topographie et la détermination des natures de fond ont été réalisées avec la coralline de l'unité hydrographique entre le 28 et le 30 juillet 1993. Les conditions météorologiques furent bonnes pendant le levé.

2.- GÉODÉSIE

Quelques travaux de géodésie destinés à localiser des balises Axyle ont été effectués avec des moyens classiques (distancemètre DI 1000 et théodolites).

Au cours du levé l'une des quatre balises a été déplacée. Sa nouvelle position (îlot) avait auparavant été déterminée à l'Axyle (EQM de 1 dm avec 4 balises).

Les stations n'ont pas été matérialisées de façon durable.

3.- BATHYMÉTRIE

3.1.- Localisation

La localisation du porte-sondeur (VH8) et des perches (topographie) a été effectuée à l'Axyle. La précision est généralement meilleure que 30 cm.

3.2.- Sondages

Les sondages ont été effectués suivant des profils espacés de 50 m et rédigés au 1/5 000. Le sondeur utilisé est un Atlas Deso 20. Les sondes ont été

corrigées de la marée observée à Nouméa. La précision des sondes est estimée meilleure que 20 cm.

3.3.- Recherche de relèvements de fond

Les relèvements de fond supérieurs à plus de 5% du fond ont fait l'objet de recherches par plongeurs.

3.4.- Comparaison avec les levés antérieurs

Le nouveau levé remplace entièrement les données anciennes.

4.- TOPOGRAPHIE

Les photos disponibles à la mission (IGN 82 PAC 64 400) ont paru non seulement anciennes et de trop petite échelle mais aussi de mauvaise qualité (reflets).

La topographie des dangers a donc été effectuée à la perche.

5.- NATURES DE FOND

Des natures de fond ont été déterminées par des prélèvements à la benne mécanique aux intersections d'un maillage d'environ 500 m de côté. Les résultats ont été rédigés en utilisant les abréviations internationales de l'ouvrage 1 D (1992).

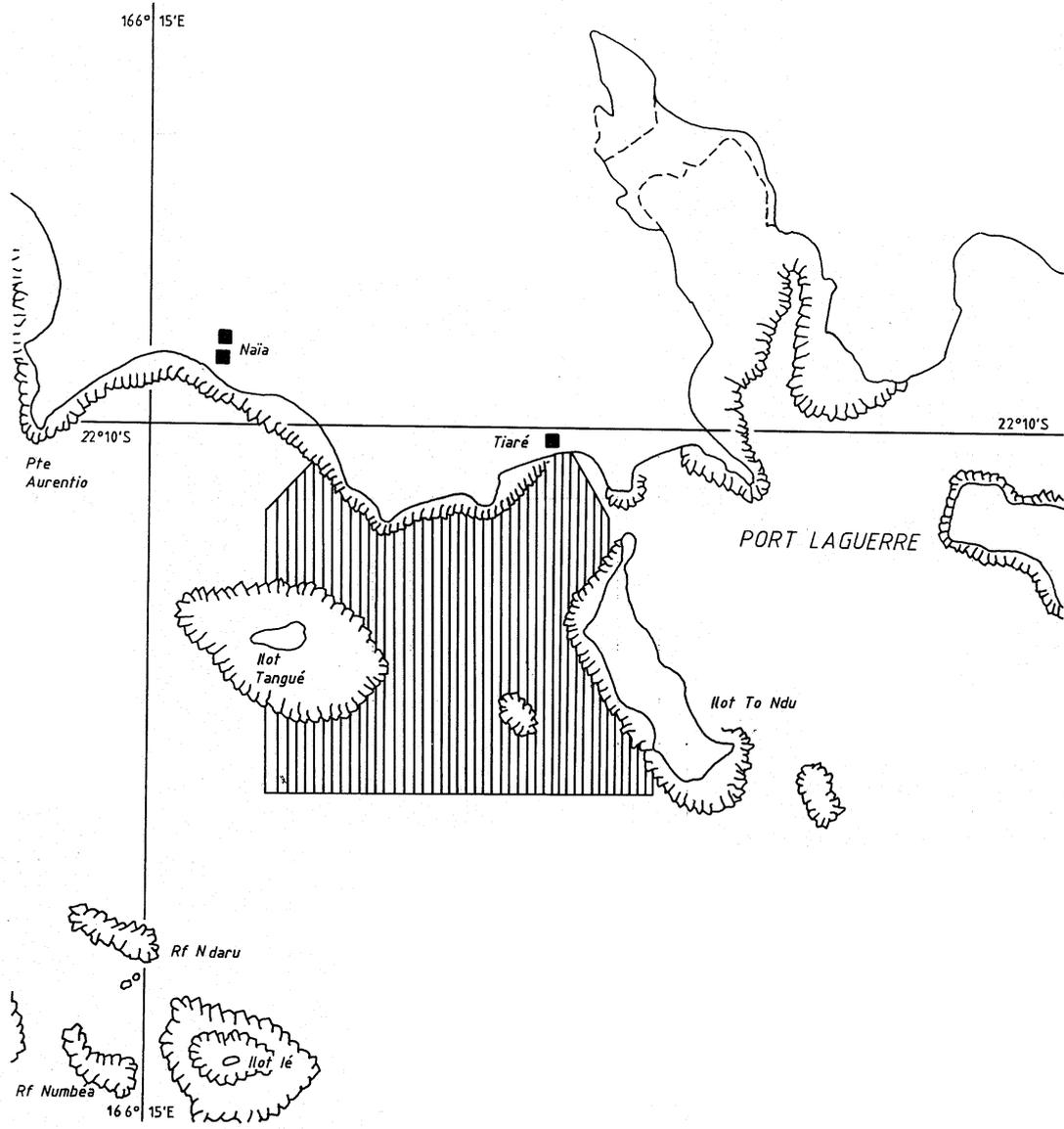
6.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 minute BT au 1/5 000,

- 1 minute RN au 1/5 000,

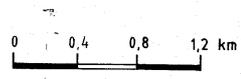
PLANCHE 5.3.2.

Mouillage de l'île TANGUE



Agrandissement de la carte marine 6687

 Zone levée au 1/5000



5.3.3.- ABORDS DU CANAL SAINT-VINCENT

1.- GÉNÉRALITÉS

Ce chapitre rend compte des travaux effectués aux abords du canal Saint-Vincent (planche 5.3.3.1).

Une exploration au sondeur latéral et un levé régulier ont été effectués avec un LCPS de Base Navale de Nouméa entre le 9 septembre et le 5 octobre 1993.

Les études de relèvements de fond ont été réalisées ultérieurement avec les VH8 du *Laplace* du 21 au 26 novembre puis les 6 et 7 décembre 1993.

2.- GÉODÉSIE

Des travaux de géodésie ont dû être effectués.

Les stations matérialisées de façon durable ont fait l'objet d'une rédaction de fiches géodésiques (annexe).

3.- BATHYMÉTRIE

3.1.- Localisation

La localisation des porte-sondeurs (LCPS, VH8 du *Laplace*) a été assurée à l'Axyle. La précision de la localisation est estimée meilleure que 0,5 m.

3.2.- Exploration au sondeur latéral

Un sondeur latéral Edgerton modèle 260 a été utilisé avec les réglages suivants :

- portée de 100 m par fonds inférieurs à 15 m (espacement entre profils de 75 m)
- portée de 150 m par fonds supérieurs à 15 m (espacement entre profils de 100 m).

3.3.- Sondages verticaux

Des sondeurs verticaux Atlas Deso 20 étaient simultanément utilisés avec les sondeurs latéraux.

Les sondes ont été corrigées de la marée sur zone. La précision des sondes est estimée à 30 cm.

3.4.- Études des relèvements de fond

Elles ont été effectuées par sondages resserrés ou par plongeurs dès que les relèvements dépassaient :

- 5% du fond pour le sondeur vertical. On s'est cependant contenté de réaliser de simples intercalaires sans sondage surfacique quand les relèvements correspondants n'étaient pas détectés au sondeur latéral,
- 10 % du fond pour le sondeur latéral (estimation majorante des échos) dès lors qu'il n'y avait aucune sonde réelle de valeur inférieure dans un rayon de 100 m.

3.5.- Résultats

3.5.1.- Exploitation des cartes marines et des levés antérieurs

Le nouveau levé remplace les sondes anciennes.

3.5.2.- Marques définissant les axes des voies recommandées

Les routes sur alignements ou à cap constant indiquées sur la CM 7273 ont été suivies par le BH *Laplace*. Elles peuvent être conservées sur la carte marine.

Nota : l'alignement « le cap Ka par la pointe sud de Ndukué à 299° » passe cependant sur un 9,3 m.

4.- TOPOGRAPHIE

4.1.- Zones de danger situées au sud de l'Île Abu de part et d'autre de l'axe de la voie recommandée

La localisation des limites de danger a été assurée à l'Axyle pour les vedettes (contours) et au DGPS HF (station de Mandjélia) pour les perches topographiques.

4.2 - Récif Tetembia

Afin de s'affranchir de problèmes liés à la localisation et à l'identification de points de photos aériennes, une spatiopréparation d'image SPOT (planche 5.3.3.2.) a été effectuée (scène n° 413 394 du 18 septembre 1986). Les pixels situés dans trois zones distinctes ont facilement été identifiés et localisés essentiellement au DGPS. Les zooms d'images SPOT avaient été fournis par le groupe ESTEL/LATICAL du Territoire.

5.- MARÉGRAPHIE

Un marégraphe Suber SLS 23 a été immergé à proximité du canal Saint-Vincent du 8 septembre au 12 octobre 1993.

Le zéro de réduction des sondes du levé régulier (non matérialisé) a été adopté par concordance en hauteur avec Nouméa dont le zéro de réduction des sondes est situé 3,632 m sous le repère fondamental H1 scellé à l'extrémité de la jetée menant au quai des avisos.

L'analyse des mesures a montré que la marée du canal Saint-Vincent était comparable à celle de Nouméa.

C'est la raison pour laquelle les cotations faites lors des études de relèvements ont été réduites de la marée observée à Nouméa (OTT R16 de la Base Navale Chaleix).

6.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 2 minutes BT au 1/10 000,
- 2 minutes R au 1/10 000,
- 3 fiches géodésiques
- 1 fiche d'observatoire de marée
- 1 feuillet de prises de vues photographiques (Bouée)
- 1 fiche d'épave

ANNEXE

au chapitre 5.3.3

NOUVEAUX POINTS GÉODÉSIQUES
(IGN 72, projection UTM Sud, fuseau 58)

Nom du point	X	Y	Z	Ordre
Ilot Champignon Est : - Douille « MOP 76 » - Tube métallique	611 193,94	7 555 356,36	4,2	5
	611 196,01	7 555 355,42	4,2	5
Ile N'dukué - Croix gravée	615 097,80	7 554 809,86	50,7	5
Ilot M'bé - Douille SHOM	616 978,68	7 554 162,31	14,0	5

- 1 dossier de spatiopréparation

PLANCHE 5.3.3.1

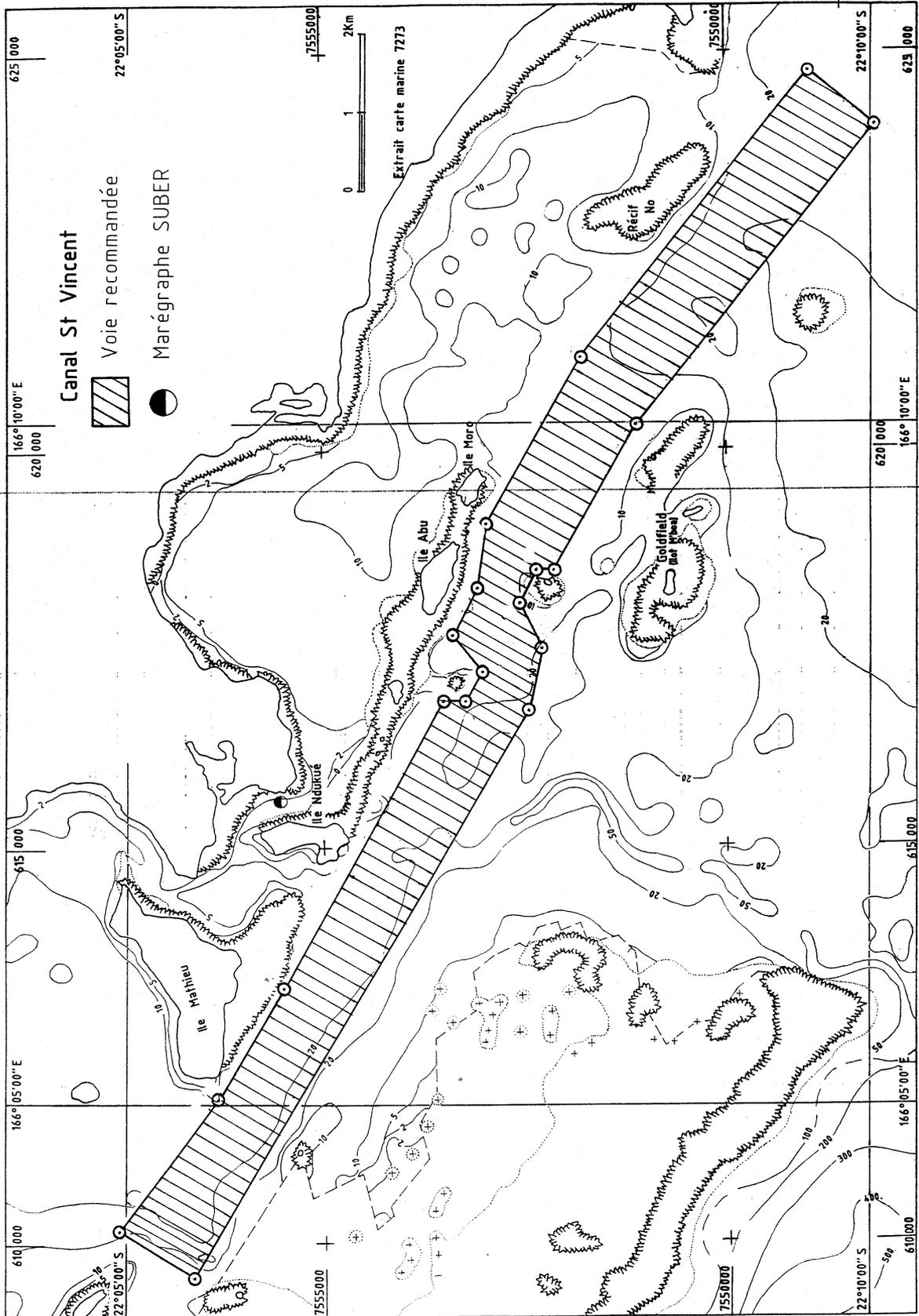
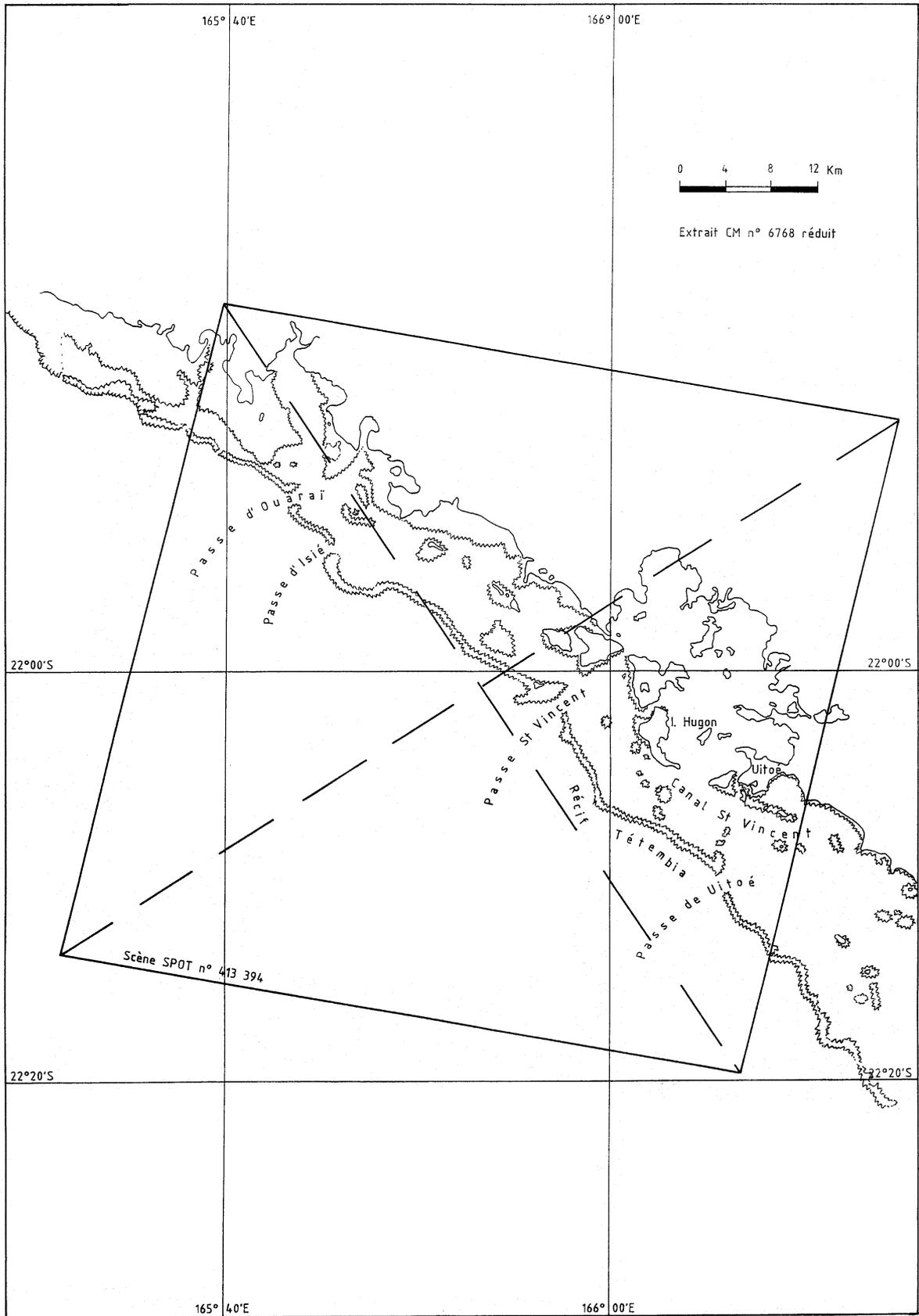
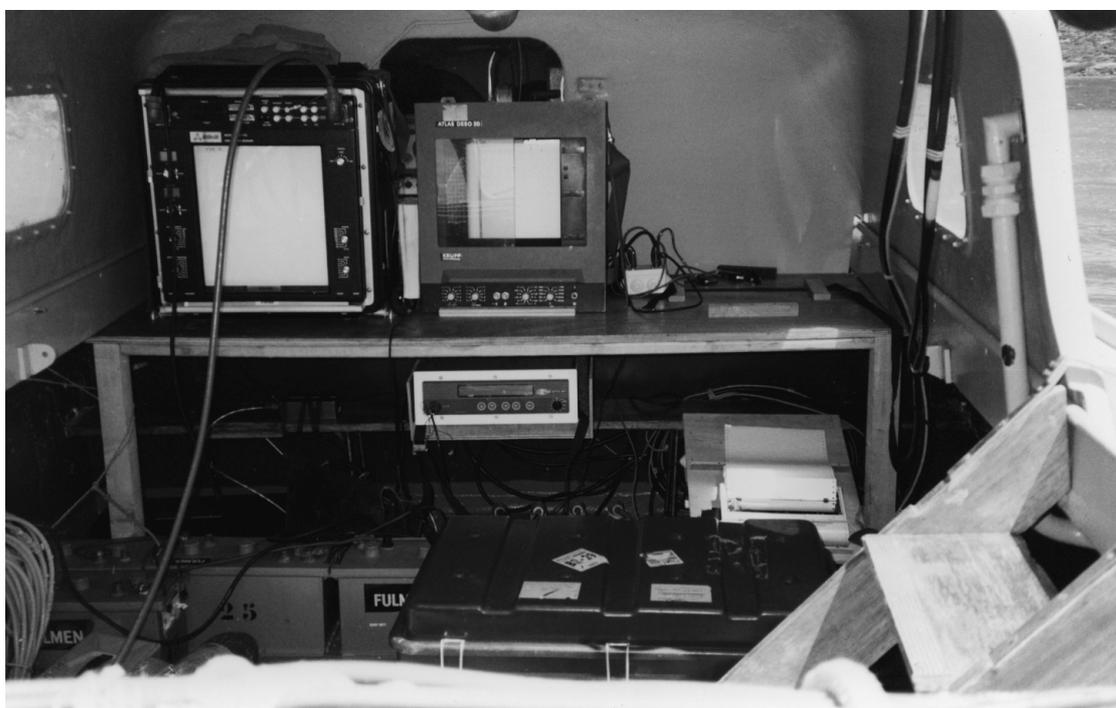


PLANCHE 5.3.3.2





Coralline et LCPS
(Antenne « Axyle », poisson du sondeur latéral)



Sondeur latéral « Edgerton» Récepteur «Axyle» Sondeur vertical «Atlas Deso 20»

Enregistreurs à bord du LCPS

5.3.4.- ABORDS DE L'ILE AMÉDÉE

1.- GÉNÉRALITÉS

Ce chapitre rend compte des travaux effectués aux abords de l'île Amédée (planche 5.3.4) où une exploration au sondeur latéral suivie d'études de relèvements de fond a été effectuée avec une VH8 du BH2 *Laplace* le 2 février 1994.

Les résultats obtenus confirment les structures très visibles sur les récentes photographies (octobre 1993) fournies à l'EPSHOM pour l'étude photobathymétrique de l'île Amédée (cf chapitre 5.6).

2 - GÉODÉSIE

Les travaux de géodésie ont été limités aux rattachements de balises Axyle.

3.- BATHYMÉTRIE

3.1.- Localisation

La localisation du porte-sondeurs (VH8 du *Laplace*) a été assurée à l'Axyle. La précision de la localisation est estimée meilleure que 0,5 m.

3.2.- Exploration au sondeur latéral

Un sondeur latéral Edgerton modèle 260 a été utilisé avec une portée de 75 m (espacement entre profils de 50 m).

3.3.- Sondages verticaux

Un sondeur vertical Atlas Deso 20 était simultanément utilisé avec le sondeur latéral.

Les sondes ont été corrigées de la marée observée à Nouméa. La précision des sondes est estimée à 30 cm.

La célérité affichée sur le sondeur était de 1540 m/s. Un essai de fonctionnement d'un bathycélérimètre, effectué à Nouméa le jour du sondage, donna une célérité de 1537 m/s.

3.4.- Études des relèvements de fond

Elles ont été effectuées par sondages resserrés et par plongeurs.

3.5.- Résultats

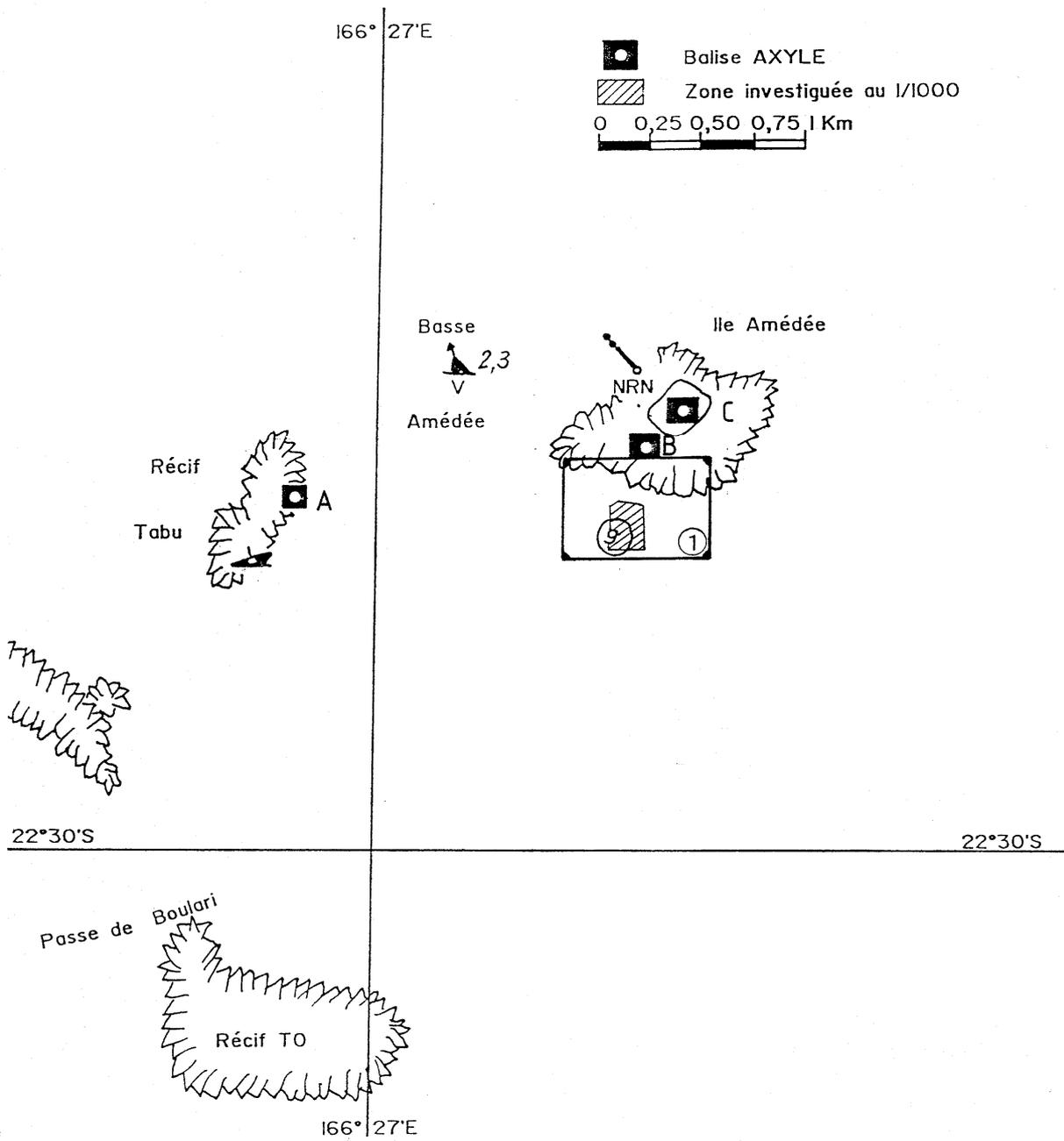
Le nouveau levé remplace les sondes anciennes.

4.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 minute B au 1/1000,

- 1 minute R au 1/1000.

PLANCHE 5.3.4



5.4.- REVUES D'AMERS AUX ABORDS DE NOUMÉA

PORTS ET ACCES DE NOUMEA (CARTE MARINE 6633)

1.- GÉNÉRALITÉS

Une revue d'amers a été effectuée aux abords immédiats de Nouméa à l'intérieur de la coupure de la carte marine 6633 (ports et accès de Nouméa) (Planche 5.4.).

La sélection, le classement et la description des amers furent effectués à l'occasion de transits du BH2 *Laplace* et plus particulièrement avec une de ses VH8 les 6 et 7 mai 1993.

2.- LOCALISATION

Les amers nouveaux ont été localisés en utilisant des moyens classiques de géodésie (théodolites et distancemètres). Tous les résultats sont donnés dans le système géodésique IGN 72 en projection UTM Sud, fuseau 58.

3.- TRAVAUX EFFECTUÉS - RÉSULTATS

- 41 amers du fichier de l'EPSHOM furent contrôlés :

- 37 ont été confirmés (fiches éventuellement modifiées ou remplacées) (annexe A),
- 4 ont été supprimés.

- 10 amers présents sur la carte marine sans appartenir au fichier de l'EPSHOM ont été supprimés.

- 5 amers nouveaux (dont deux déjà présents sur la carte marine) ont dû être localisés, avec rédaction d'une nouvelle fiche (annexe B).

- 2 détails topographiques de la carte marine ont intégralement été supprimés.

4.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 1 carte-index (calque),

- 1 listage corrigé des amers du fichier de l'EPSHOM,

- 31 fiches confirmées ou complétées,

- 11 fiches d'amers nouvelles (dont 6 fiches de remplacement),

ANNEXE A

au chapitre 5.4

AMERS DU FICHIER

N°	NOM DE L'AMER	X	Y	Z (m)	LONGITUDE EST	LATITUDE SUD	CLASSEMENT	OBSERVATION
2	Antenne Radio « B » Montravel - Nouméa	649 110,5	7 537 176,8	133	166° 28' 49" 57	22° 18' 51" 35	2	*
3	Antenne TDF Nouméa	646 713	7 535 344	130	166° 28' 36" 30	22° 18' 51" 06	3	
6	Antenne Radio « A » Montravel - Nouméa	649 056,2	7 537 129,9	142,4	166° 28' 47" 76	22° 18' 52" 69	2	
7	Si lo Sud de la Cimetière de Ducos	646 525,9	7 536 940,5	36,9	166° 24' 43" 79	22° 14' 55" 11	2	*
11	Cheminée SMB - Nouméa	647 934,5	7 535 062,0	54	166° 28' 09" 19	22° 18' 59" 62	1	
12	Nouvel Hôtel du Château Royal - Nouméa	646 666,4	7 531 647,9		166° 28' 43" 60	22° 18' 44" 66	3	*
13	Réservoir « B » de gaz - Baie des Dames - Ducos	644 672,2	7 540 054,9	16	166° 24' 20" 60	22° 14' 19" 06	1	*
14	Réservoir « A » de gaz - Baie des Dames - Ducos	644 653,4	7 540 096,3	16	166° 24' 19" 93	22° 14' 17" 67	1	*
15	Immeuble remarquable - Les Aloés - Nouméa	649 293,0	7 533 661,4	66	166° 28' 57" 06	22° 17' 39" 09	2	*
16	Mirador « B » - Mont Oumbo - Ile Nou	644 065,6	7 536 496,0	121,6	166° 23' 53" 56	22° 18' 15" 03	2	
17	Mirador « A » - Mont Oumbo - Ile Nou	643 990,6	7 536 493,6	122,5	166° 23' 50" 96	22° 18' 15" 13	2	
19	Antenne Radar Météo - Nouméa	649 396,3	7 535 526,6		166° 27' 00" 11	22° 18' 44" 91	1	*
21	Feu du Centre Culturel - Nouméa	646 612,3	7 536 005,3	63,7	166° 28' 32" 56	22° 18' 29" 59	2	
2	Feu Cathédrale - Nouméa	646 476,6	7 535 913,5	46	166° 28' 27" 93	22° 18' 32" 62	1	
23	Feu travaux publics - Nouméa	646 239,0	7 536 767,6	6	166° 28' 19" 27	22° 18' 04" 92	2	
24	Cote ouest - Nouméa - Pointe Lambert	646 729,35	7 536 564,55	16,29	166° 28' 26" 603	22° 18' 11" 993	1	
25	Antenne ORTF - Sémaphore de Nouméa	646 614,9	7 536 566,75	129,9	166° 28' 32" 469	22° 18' 10" 690	2	
26	Ancien Sémaphore de Nouméa	646 619,94	7 536 576,43	95,64	166° 28' 32" 636	22° 18' 10" 966	2	R
27	Ile Nou alignement au 347° feu postérieur	646 537,62	7 536 365,66	72,54	166° 24' 45" 047	22° 18' 16" 62	2	*
28	Ile Nou alignement au 347° feu antérieur	646 620,2	7 536 995,6	25,2	166° 24' 46" 045	22° 18' 30" 62	1	R
51	Nouméa - Pointe de l'Artillerie	647 342,5	7 534 632,9	52	166° 28' 46" 593	22° 17' 06" 105	1	
107	Antenne satellite Ile Nou	646 057,15	7 536 446,41		166° 24' 26" 229	22° 18' 16" 2762	3	*
109	Croix de Lorraine - Nouméa	646 736,40	7 535 175,15		166° 28' 37" 244	22° 18' 56" 5460	3	*
119	Pylône Nouméa	646 567,6	7 536 226,6		166° 28' 31" 26	22° 18' 22" 4077	2	*
120	Nouméa - Ouen Toro - Antennes	649 506,7	7 532 336,6	130	166° 27' 05" 107	22° 18' 26" 529	3	*

N°	NOM DE L'AMER	X	Y	Z (m)	LONGITUDE EST	LATITUDE SUD	CLASSEMENT	OBSERVATION
121	Feu de la Pointe NW de l'île Nou	642 586,33	7 536 639,46	30	166° 23' 01" 269	22° 19' 05" 761	2	
126	Nouméa - Presqu'île de Ducos - Balise antérieure	645 552,63	7 536 669,12	22	166° 24' 44" 747	22° 14' 57" 424	1	
129	Nouméa - Montravail - Balise postérieure	649 162,75	7 537 561,20	100	166° 26' 51" 271	22° 19' 36" 636	1	
139	Abords de Nouméa - Ile Nou - Mt Tereka	642 925,7	7 536 346,6	129,5	166° 23' 13" 165	22° 19' 15" 136	2	R
147	Feu rouge du Club Nautique Iot Brun - Nouméa	646 649,7	7 533 904,7	6,2	166° 26' 31" 664	22° 17' 36" 435	1	
167	Nouméa - Port de la Moselle - Balise	646 007,5	7 535 475,7		166° 26' 11" 611	22° 16' 46" 969	1	R
202	Nouméa - Port de la Moselle - Jetée	647 646,6	7 535 500,9	6,3	166° 26' 59" 062	22° 16' 46" 293	1	R
203	Nouméa - Base militaire - Balise	647 103,05	7 533 647,37		166° 26' 40" 554	22° 17' 40" 221	1	*
207	Abords de Nouméa - Baie des Dames - Balise Ouest	644 356,5	7 539 944,0		166° 24' 02" 624	22° 14' 22" 637	1	*
206	Abords de Nouméa - Baie des Dames - Balise Est	644 391,5	7 539 932,0		166° 24' 03" 660	22° 14' 23" 217	1	*
210	Nouméa - Base Chaleix - Mât de pavillon	647 255,7	7 533 706,1	15,4	166° 26' 45" 934	22° 17' 44" 767	1	R
213	Nouméa - Quai des longs courriers - Gare Maritime - Pylône	647 746,6	7 536 092,7	32,3	166° 26' 02" 370	22° 16' 27" 021	1	*

* - Riche ayant fait l'objet d'une modification ou d'un complément.
R - Riche entièrement remaniée.

ANNEXE B

au chapitre 5.4

NOUVEAUX AMERS

NOM DE L'AMER	X	Y	Z (m)	LONGITUDE EST	LATITUDE SUD	CLASSEMENT	OBSERVATION
Nouméa - Ducos - Réémetteur TV	646 448,6	7 540 040,6	145	166° 29' 15" 656	22° 14' 19" 063	2	
Nouméa - Ilot Brun - Bâtisse	646 619,9	7 533 651,1	47,5	166° 29' 23" 673	22° 17' 40" 246	2	
Nouméa - Usine Le Nickel cheminée	647 975,2	7 537 577,9	43,3	166° 29' 09" 766	22° 15' 38" 663	1	1
Abords Nouméa - Baie des Dames - Réservoir « C »	644 661,9	7 540 017,7		166° 24' 20" 949	22° 14' 20" 263	2	
Abords Nouméa - Ile Nou - Pointe Lallemant - Pylône	644 992,1	7 535 959,5	53,7	166° 24' 26" 116	22° 16' 32" 194	2	1

1 - Amer présent sur la carte marine.



Frégate de surveillance « *Nivose* »

Paquebot « *Club Med II* »



Minéralier « *Pacific Gracia* »

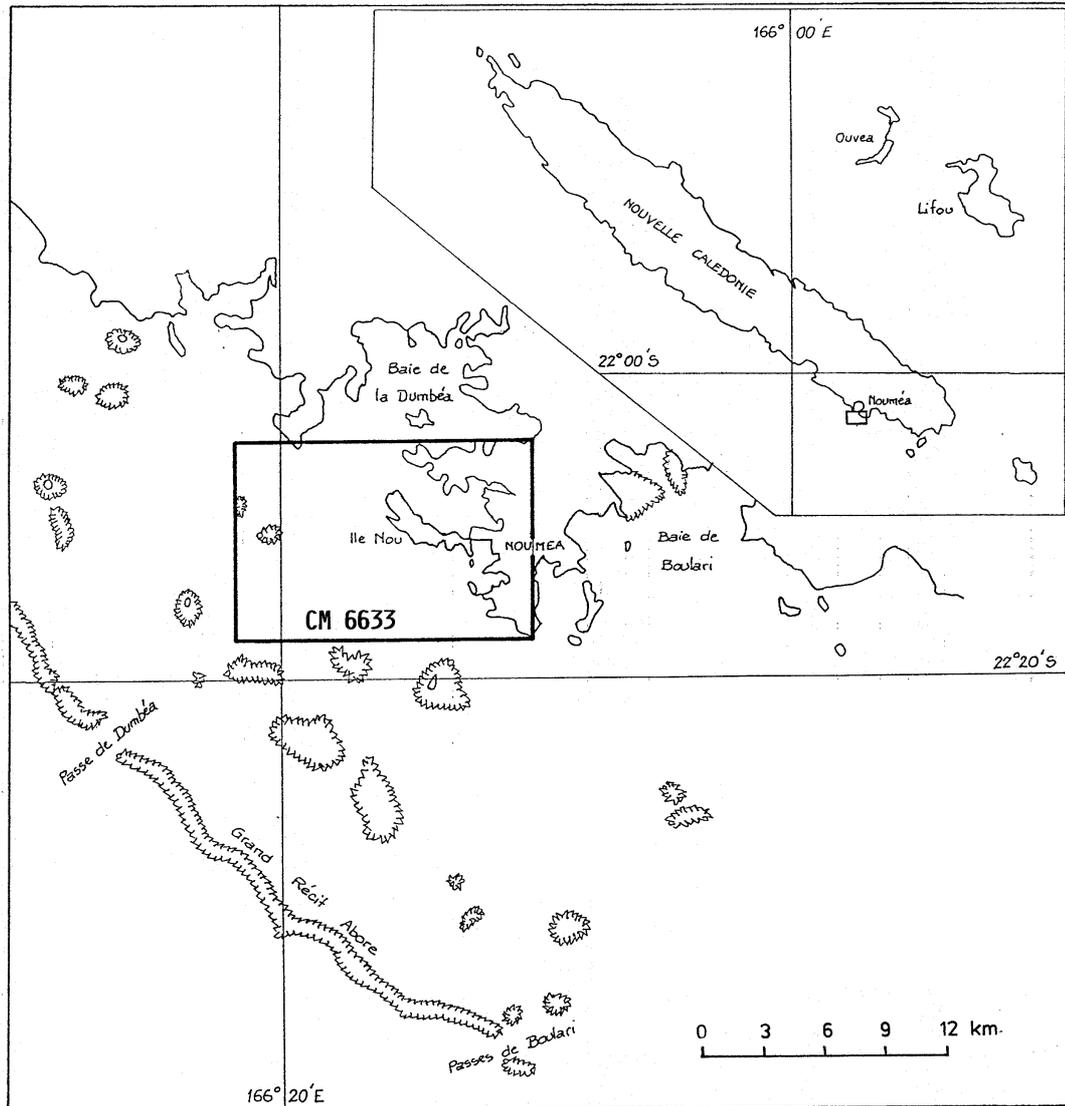


PLANCHE 5.4.

5.5.- NIVELLEMENT D'OBSERVATOIRES DE MARÉE À NOUMÉA

5.5.1.- OBSERVATOIRE DE LA BASE NAVALE « CHALEIX »

A la demande de la Mission, le Service Topographique du Territoire a effectué en septembre 1992 un nivellement de précision des anciens et nouveaux repères (installés en juillet 1992) de l'observatoire de marée de Nouméa. Un de ces repères a été rattaché au Nivellement Général de Nouvelle-Calédonie (NGNC).

Les enseignements de ce nivellement effectué au niveau NA 3 000 Leica avec une mire Wild GPCL3 sont les suivants :

- l'affaissement du repère I1 (depuis 1980) observé par la mission en 1991 est confirmé,
- la stabilité des repères H1 (depuis 1970) et G1 (depuis 1967) est également confirmée.

Un nouveau repère fondamental a été choisi, il s'agit du repère H1 sur lequel peut être posée une mire de précision de trois mètres contrairement au repère G1.

Le repère H1 est situé à la cote 2,797 NGNC, c'est-à-dire au même niveau (au millimètre près) qu'en 1971 après reprise des calculs (résultat du calcul fait en 1971 : 2,791 m).

Le zéro de réduction des sondes se trouve toujours situé à 3,632 m sous le repère H1.

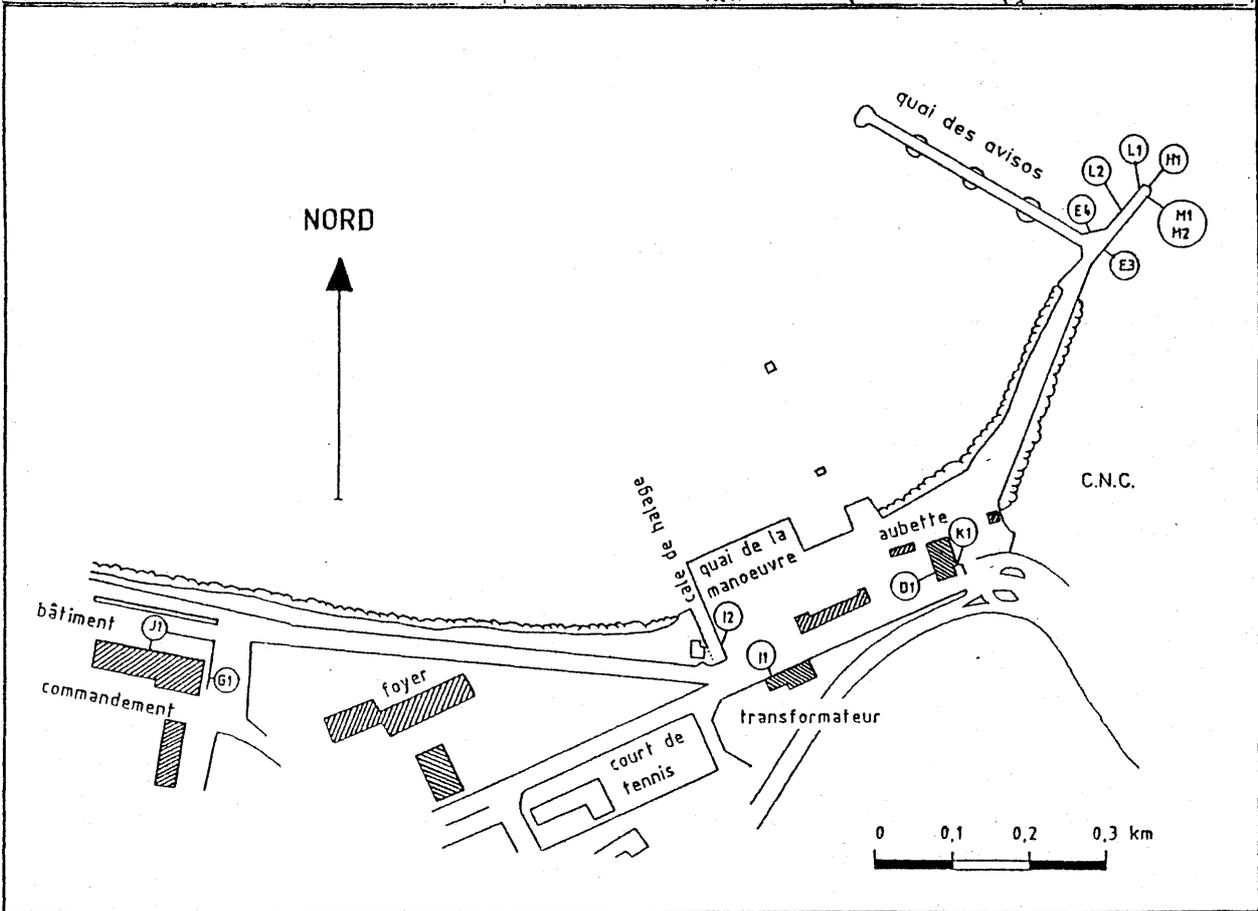
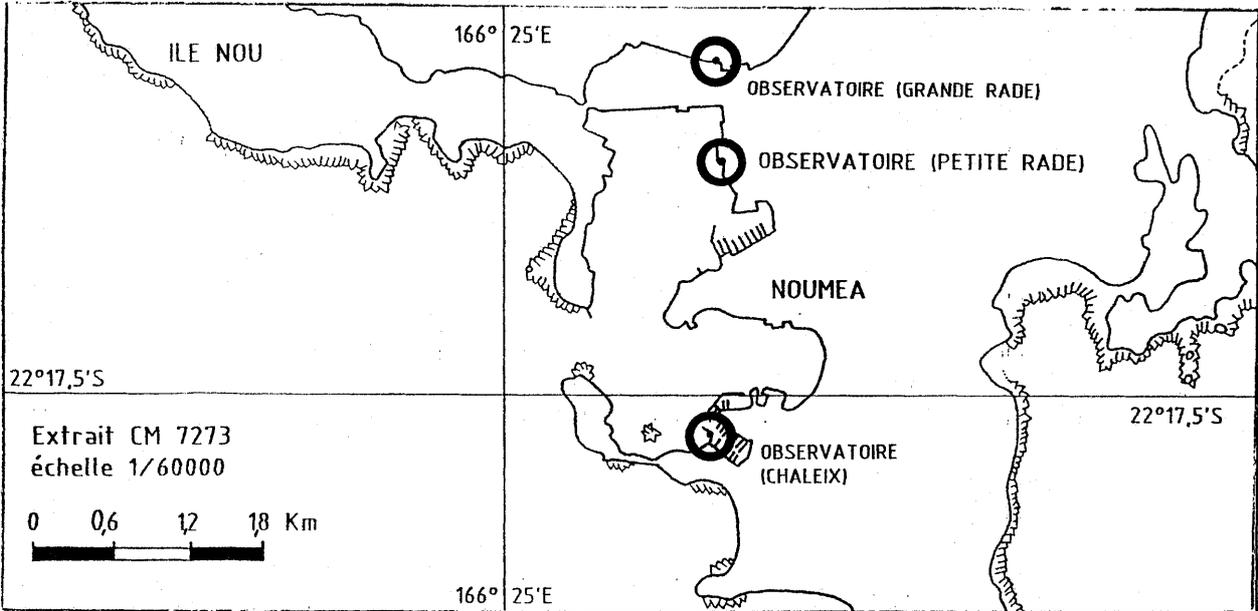
Une nouvelle fiche d'observatoire de marée a été rédigée (cf extraits ci-joints). Les résultats du nivellement ont été communiqués à l'université d'Hawaï (Data processing coordinator TOGA SEA LEVEL-CENTER).

5.5.2.- OBSERVATOIRES (ÉCHELLES) EN PETITE ET GRANDE RADE DE NOUMÉA

Des nivellements de repères et d'échelles ont été effectués au profit du Port Autonome de Nouvelle-Calédonie. Deux nouvelles fiches d'observatoire de marée ont été rédigées (extraits ci-joints).

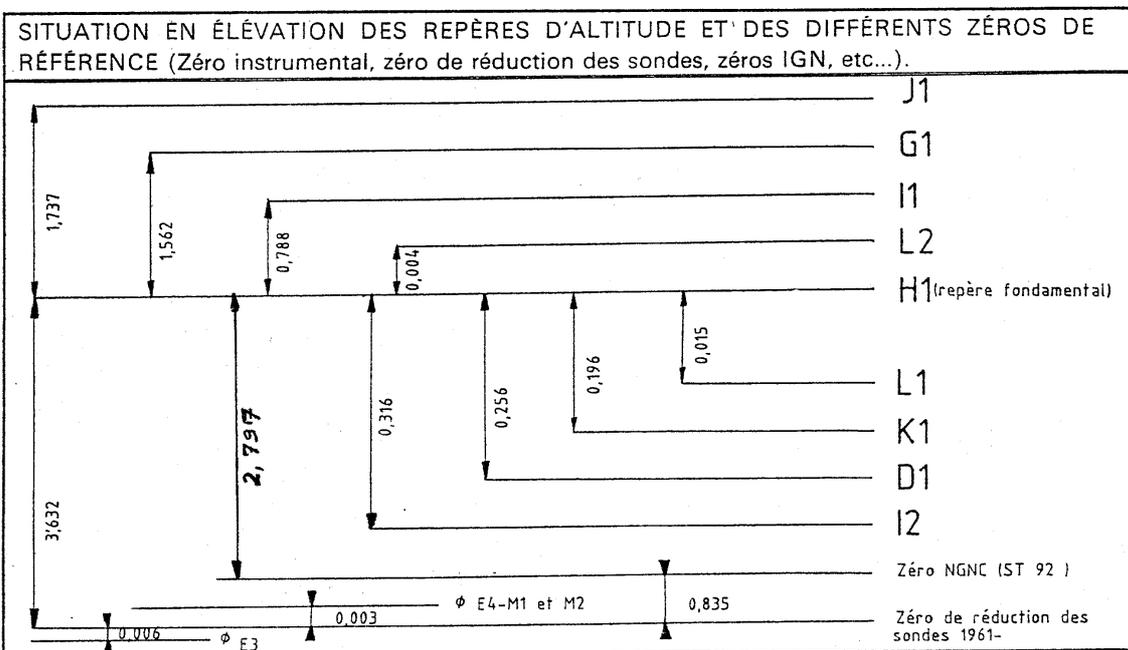
NOUMEA "CHALEIX"

SITUATION DE L'OBSERVATOIRE



NOUMEA "CHALEIX"
REPÈRES D'ALTITUDE

Désignation	Description	Cote rapportée au zéro NGNC	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
H 1	Repère en laiton scellé verticalement à l'extrémité de la jetée menant au quai des avisos , Repère Fondamental.	2,797	3,632
D 1	Boulon en bronze scellé horizontalement dans le mur de l'aubette	2,541	3,376
G 1	Repère en laiton scellé verticalement dans le mur du parc voitures officiers et visiteurs.	4,359	5,194
I 1	Repère type SHOM scellé horizontalement dans le mur du transformateur à l'entrée de la base navale de la Pointe Chaleix.	3,585	4,420
I 2	Repère type SHOM scellé horizontalement dans le mur de la cale de halage.	2,481	3,316
J 1	Repère type SHOM scellé horizontalement dans la façade du bâtiment commandement.	4,534	5,369
K 1	Repère type M scellé horizontalement dans le mur de l'aubette.	2,601	3,436
L 1	Repère en laiton scellé verticalement dans la jetée menant au quai des avisos.	2,782	3,617
L 2	Repère en laiton scellé verticalement dans la jetée menant au quai des avisos.	2,801	3,636



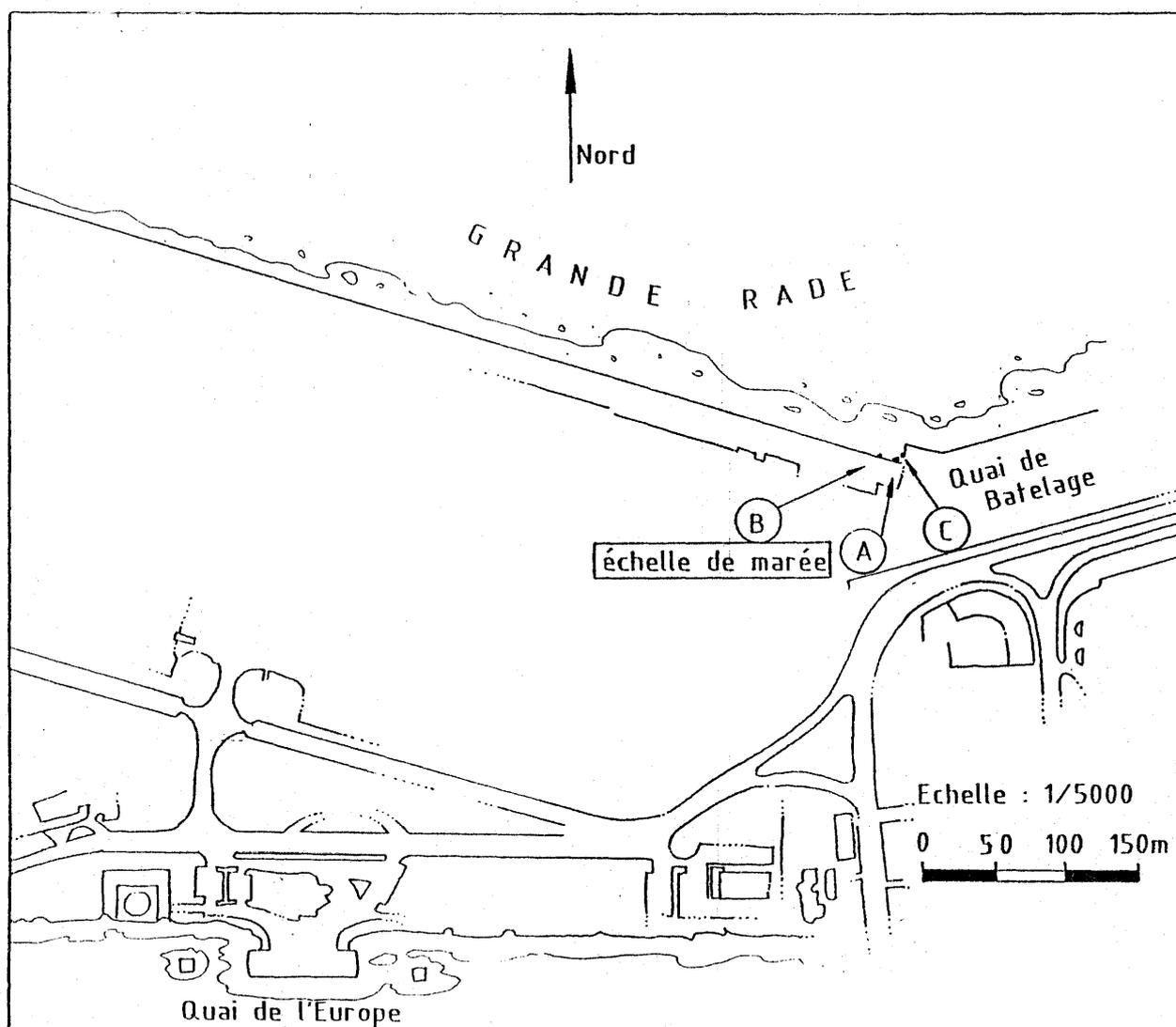
m1 : marégraphe OTT R16

m2 : marégraphe Américain FICHER and PORTER 1550

E3,4 : échelles de marée

NOUMEA "GRANDE RADE"

SITUATION DE L'OBSERVATOIRE

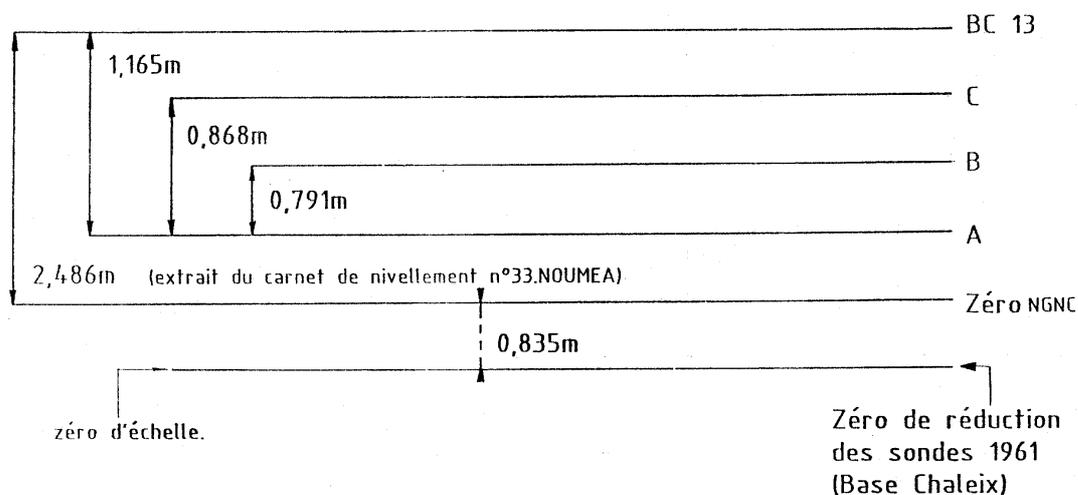


NOUMEA "GRANDE RADE"

REPÈRES D'ALTITUDE

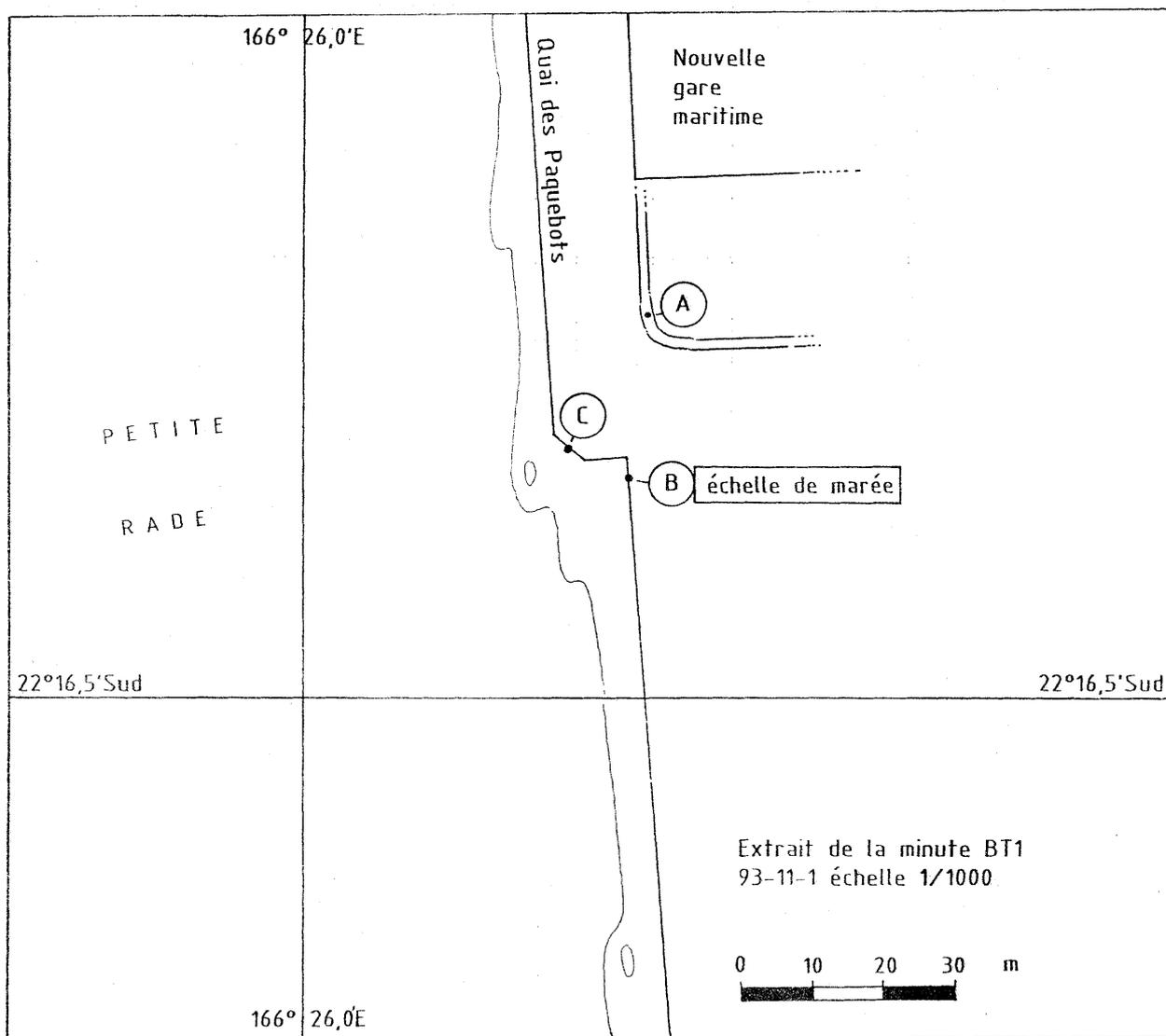
Désignation	Description	Cote rapportée au zéro NGNC	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
BC 13	Repère de type M scellé dans le transformateur de l'hôpital Gaston Bourret à Nouméa	2,486	3,321
A	Repère de type SHOM scellé horizontalement à l'extrémité SE du grand quai du port de Nouméa (grande rade)	1,321	2,156
B	Repère en laiton (goujon) scellé horizontalement dans le grand quai au NW et à environ 1,5 m du repère A	2,112	2,947
C	Repère en laiton (goujon) scellé horizontalement dans le grand quai au SE et à environ 2 m du repère A	2,189	3,024

SITUATION EN ÉLÉVATION DES REPÈRES D'ALTITUDE ET DES DIFFÉRENTS ZÉROS DE RÉFÉRENCE (Zéro instrumental, zéro de réduction des sondes, zéros IGN, etc...).



NOUMEA "PETITE RADE"

SITUATION DE L'OBSERVATOIRE

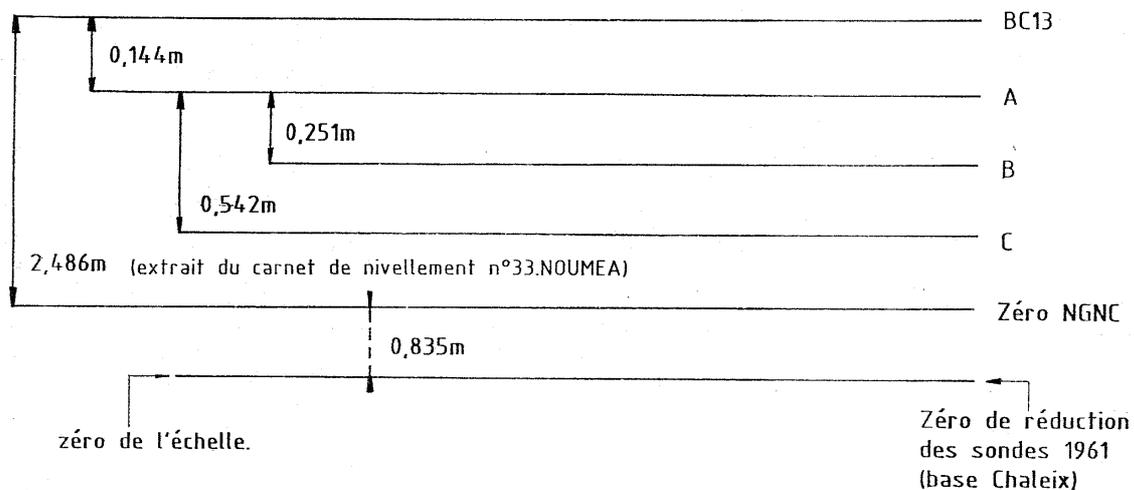


NOUMEA "PETITE RADE"

REPÈRES D'ALTITUDE

Désignation	Description	Cote rapportée au zéro NGNC	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
BC13	Repère de type M scellé dans le transformateur de l'hôpital Gaston Bourret à NOUMEA	2,486	3,321
A	Repère de type SHOM scellé horizontalement dans la bordure en ciment d'un trottoir au Sud de la Nouvelle gare maritime du port de Nouméa (petite rade)	2,342	3,177
B	Repère en laiton (goujon) scellé horizontalement dans le quai des Paquebots	2,091	2,926
C	Repère en laiton (goujon) scellé horizontalement dans l'avancée du quai des Paquebots	1,800	2,635

SITUATION EN ÉLÉVATION DES REPÈRES D'ALTITUDE ET DES DIFFÉRENTS ZÉROS DE RÉFÉRENCE (Zéro instrumental, zéro de réduction des sondes, zéros IGN, etc...).



5.6.- LEVÉ PHOTOBATHYMÉTRIQUE DE L'ILE AMÉDÉE

Dans le cadre des activités «recherche et développement» du SHOM, un levé aérien de prises de vues a été effectué aux abords de l'île Amédée. Le travail a été sous-traité à la société GEONOR. La mission n'a pris en charge que la stéréopréparation des photos (calage en altitude). L'ensemble des documents a été fourni à l'EPSHOM, chargé d'évaluer les possibilités de la photobathymétrie dans les régions tropicales.

Points de calage en altitude

Deux points situés sur le plancher du ponton de l'îlot Amédée ont été nivelés par rapport aux repères A et B de l'observatoire de marée (voir la fiche de marée du 30.07.90). L'un, appelé W1, se trouve à l'extrémité du ponton, l'autre, appelé W2, est situé à l'extrémité de la première travée du ponton (voir planche 5.6).

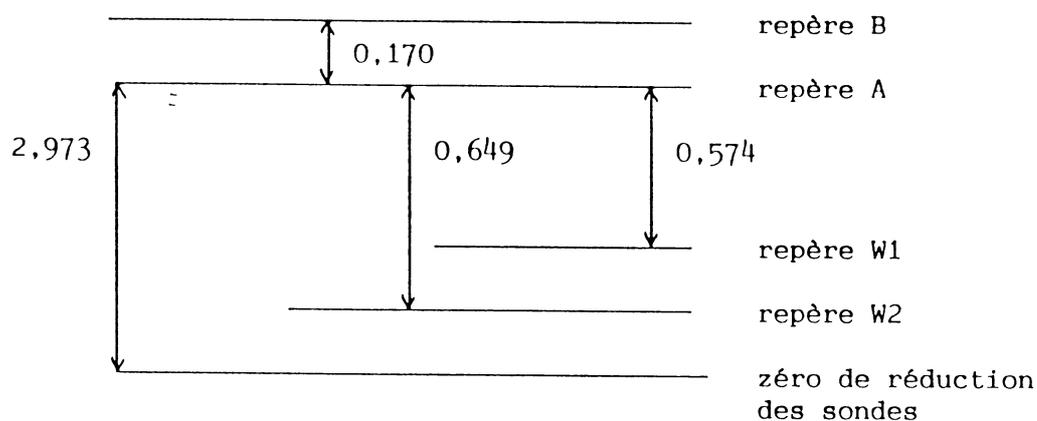
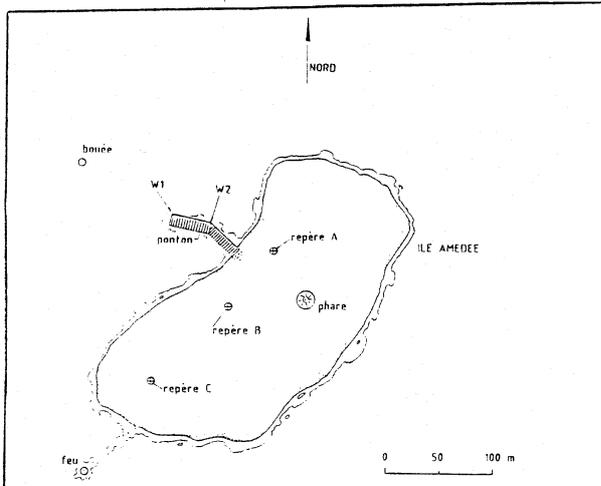
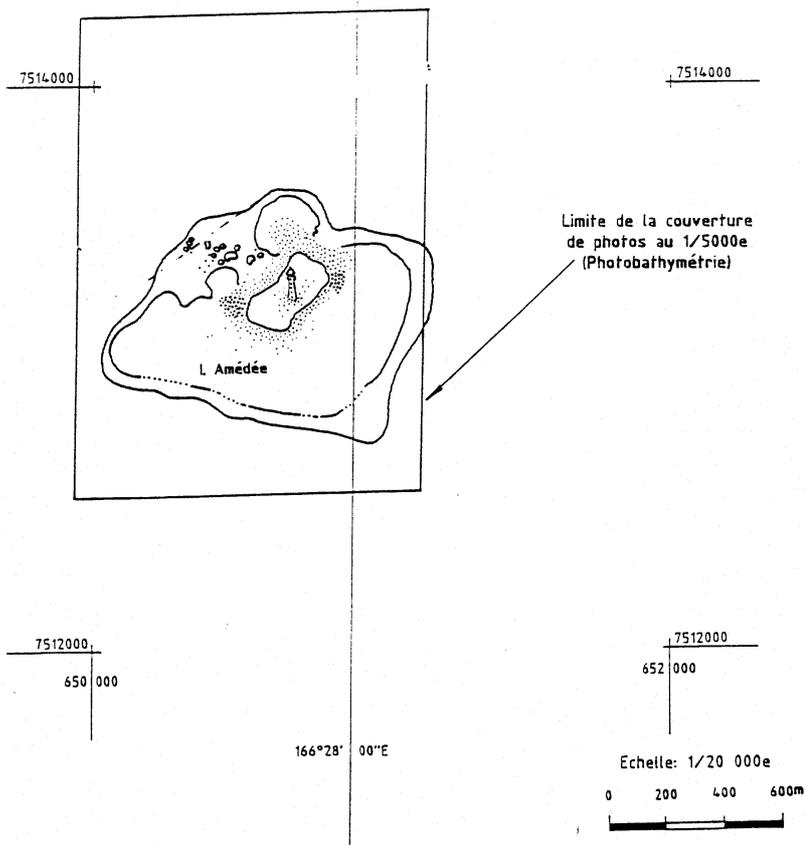


PLANCHE 5.6



22°28'00"S

22°28'00"S



6.- LAGON EST

6.1.- CONTRÔLE DES PROFONDEURS EN BAIE DE KOUAOUA

1.- GÉNÉRALITÉS

Les travaux réalisés ont été programmés à la demande des Pilotes Maritimes de Nouvelle-Calédonie qui avaient détecté un ensablement du chenal d'accès au convoyeur de la Société Le Nickel (SLN). Ceux-ci avaient par ailleurs signalé que la zone d'évitement des minéraliers avait tendance à être élargie avec l'augmentation de la taille des navires fréquentant la baie.

Le levé a été effectué par une VH8 du *Laplace* entre décembre 1993 et février 1994 (planche 6.1.1).

La réception des corrections DGPS HF, transmises par la station de Mandjéla, étant trop aléatoire, un réseau de radiolocalisation Axyle a dû être mis en place.

La baie de Kouaoua est très régulièrement fréquentée par les minéraliers transportant le nickel de la SLN et de NMC (Nickel Mining Corporation).

2.- GÉODÉSIE

Des travaux de géodésie imprévus ont donc été nécessaires pour localiser les balises Axyle (planche 6.1.2). Seules les stations matérialisées de façon durable ont donné lieu à une rédaction de fiches géodésiques (annexe A). Les calculs ont été effectués dans le système géodésique IGN72 en projection UTM sud, fuseau 58.

3.- LOCALISATION

La précision de la localisation obtenue en topographie et bathymétrie est généralement meilleure que 0,5 m. La liste des stations Axyle est donnée en annexe A.

4.- TOPOGRAPHIE

Une mise à jour de la topographie (théodolites, distancemètres) a été effectuée dans les zones suivantes :

- 1 - Pointe «Pentecost»
(site de chargement de Nickel Mining Corporation).
La limite du platier à l'est et au nord a été levée.
Par ailleurs, un plan fourni par la NMC fut exploité après contrôle planimétrique.
- 2 - Convoyeur de la «SLN»
Deux ducs d'Albe sur lesquels viennent s'appuyer les minéraliers furent localisés.

- 3 - La pointe Me Kauciri, près de laquelle passent les minéraliers, fut également détaillée.

5.- BATHYMÉTRIE

5.1- Exploration au sondeur latéral

Un sondeur latéral Edgerton modèle 260 a été systématiquement utilisé en levé régulier avec une portée de 75 m (espacement entre profils de 50 m),

5.2- Sondages verticaux

Un sondeur vertical Atlas Deso 20 était simultanément utilisé avec le sondeur latéral (célérité affichée : 1540 m/s). Les sondes ont été corrigées de la marée observée sur zone. La précision des sondes est estimée à 30 cm.

L'espacement initial entre profils (50 m) fut réduit d'une part pour préciser le mieux possible l'isobathe 10 mètres, d'autre part dans les zones rugueuses et à proximité de la pointe «Pentecost».

Bien que le levé fut effectué aux normes « 1/5000 » afin de restituer le plus clairement possible les parties sud et nord-ouest de la baie, la rédaction fut effectuée au 1/2500.

5.3- Études des relèvements de fond

A l'intérieur des limites tracées sur les minutes BT, tous les relèvements de fonds ont été étudiés par sondages resserrés ou par plongeurs dès qu'ils dépassaient :

- 5% du fond pour les relèvements détectés au sondeur vertical,

- 0,5 m (estimation majorante des relèvements) pour les échos détectés au sondeur latéral dès lors qu'il n'y avait aucune sonde réelle de valeur inférieure dans un rayon d'environ 25 m.

Remarques :

1) Il fut observé que des relèvements significatifs de fond détectés au sondeur vertical ne correspondaient qu'à des taches sombres sans ombre sur les enregistrements du sondeur latéral.

Une exploration par plongeur démontra que ces taches sombres représentaient des dômes de vase de faible pente surmontés de quelques structures coralliennes. En zones vaseuses toutes les taches similaires ont été répertoriées et étudiées.

2) Une deuxième limite, différente de la limite correspondant aux explorations au sondeur latéral, a été tracée dans les parties sud et est de la minute BT 2.5 2 . A l'extérieur de cette limite il n'y a pas eu d'études systématiques des relèvements de fond.



Mise à l'eau d'une vedette



Balise « Axyle »



Chargement de minerai de nickel à Kouaoua

5.4- Résultats

5.4.1- Envasement de la baie

L'envasement de la baie, signalé par les pilotes maritimes, a été confirmé à l'embouchure de la rivière « Kouaoua ». Cet envasement se traduit par une diminution des profondeurs de 1,5 m pour l'ancienne isobathe 10 m (1 m pour l'ancienne isobathe 15 m). Ces deux isobathes ont été décalées d'environ 75 m vers l'ENE.

NOM	NUMÉRO	ANNÉE	ÉCHELLE
Baie de Kouaoua Baie intérieure Partie centrale	T.1 545 A	1976	1/1000
Baie de Kouaoua Baie intérieure Partie nord	T.1 539 A	1976	1/1000
Kouaoua Poste de chargement	T. 149 1	1972	1/500

6.- MARÉGRAPHIE

6.1- Kouaoua (extrait de fiche en annexe C)

Un marégraphe OTT R16 a été mis en place pour la réduction des sondages. Le zéro de réduction des sondes adopté est celui indiqué sur la fiche d'observatoire de marée de Kouaoua du 8 avril 1988 (modifiée le 3 juillet 1991) : il est situé à 2,111 m au-dessous du repère fondamental A, douille en bronze scellée verticalement dans une dalle en béton protégée par une barrière métallique.

Ce zéro a été confirmé à quelques centimètres près par deux concordances en hauteur avec la marée observée simultanément à Thio. Les nivellements effectués en 1993 entre les repères A, B et C ont permis de constater que leurs dénivelées avaient changé depuis 1988. La dénivelée mesurée en 1989 par le ST entre un repère de ce service et le repère fondamental A, a cependant été retrouvée en 1993 (à 4 mm près) au cours d'un nivellement de contrôle. Il est ainsi admis que le repère fondamental est stable mais que les repères B et C se sont affaîsés. Deux nouveaux repères ont été mis en place et nivelés. Une nouvelle fiche a été rédigée.

6.2- Thio Mission

- 1 - Port de plaisance de la SLN

Un marégraphe Suber SLS 23 a été immergé dans la darse du port de plaisance de la SLN. Les mesures effectuées (deux séries) ont été ramenées au zéro

5.4.2- Conclusions

- 1 - Minute nord BT 2.5¹
Le nouveau levé remplace les données anciennes.
- 2 - Minute sud BT 2.5²
Le nouveau levé remplace les sondes anciennes uniquement à l'intérieur des limites tracées sur la minute.

Nota : les conclusions précédentes sont également applicables aux anciens levés de la SLN suivants :

hydrographique situé à 2,104 m sous le repère D « sommet de la troisième bitte d'amarrage à partir de l'entrée de la darse vers le sud » (cf fiche d'observatoire du 13.6.1989). Une nouvelle fiche d'observatoire de marée a été rédigée.

- 2 - Wharf de chargement de la SLN

La fiche d'observatoire de marée du 8 avril 1988 a été modifiée pour tenir compte de la disparition de deux repères.

7.- INFORMATION NAUTIQUE

Amers et balisage flottant (annexe B)

- l'altitude d'un pylône TDF (amer peu visible) a été déterminée. Une nouvelle fiche a été rédigée.
- dix bouées et coffres ont été localisés au DGPS ou à l'Axyle. Des feuillets de prises de vues photographiques ont été établis.

8.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 2 minutes BT au 1/2500,
- 2 minutes R au 1/2500,
- 3 fiches géodésiques,
- 1 fiche d'amer,
- 10 feuillets de prise de vues photographiques (coffres, bouées),
- 2 fiches d'observatoire de marée (Kouaoua, Thio mission « port plaisance »),
- 1 extrait de fiche d'observatoire de marée corrigée (Thio mission « Wharf SLN »),
- 1 fiche d'épave,

ANNEXE A

au chapitre 6.1

Stations utilisées pour la localisation

Nom du point	X	Y	Z (1)	Rédaction d'une fiche
ROCHER	584 630,9	7 635 102,7	7,7	oui
PENTECOST	585 361,7	7 635 623,3	3,4	non
KAUCIRI NORD	586 163,9	7 634 502,4	3,0	oui (2)
KAUCIRI SUD	586 220,6	7 634 339,15	0,6	
WHARF SLN	586 101,9	7 633 331,3	5,0	oui
RESCUE	586 846,5	7 633 702,2	0,6	non

(1) altitude de la borne (ajouter 1,4 m pour l'antenne Axyle)

(2) uniquement les coordonnées de la borne géodésique

X = 586 161,4

Y = 7 634 505,1

Z = 4,6

ANNEXE B**au chapitre 6.1****Amer et balisage flottant****AMER**

Nom	X	Y	Z	Classe
Pylône TDF	584 077,0	7 636 027,1	312,9	peu visible

BALISAGE FLOTTANT

DÉSIGNATION	X	Y
Bouée latérale bâbord (deuxième)	586 638	7 633 554
Bouée latérale bâbord (première)	586 048	7 634 491
Bouée latérale tribord	586 225	7 633 900
Wharf Pentecost coffre	585 221	7 635 518
Wharf SLN coffre	586 095	7 633 208
Wharf SLN coffre	586 226	7 633 172
Wharf SLN coffre	585 987	7 633 336
Wharf SLN coffre	586 041	7 633 501
Wharf SLN coffre	586 169	7 633 493
Wharf SLN coffre	586 301	7 633 332

ANNEXE C

au chapitre 6.1

Extrait de la fiche d'observatoire de marée de KOUAOUA

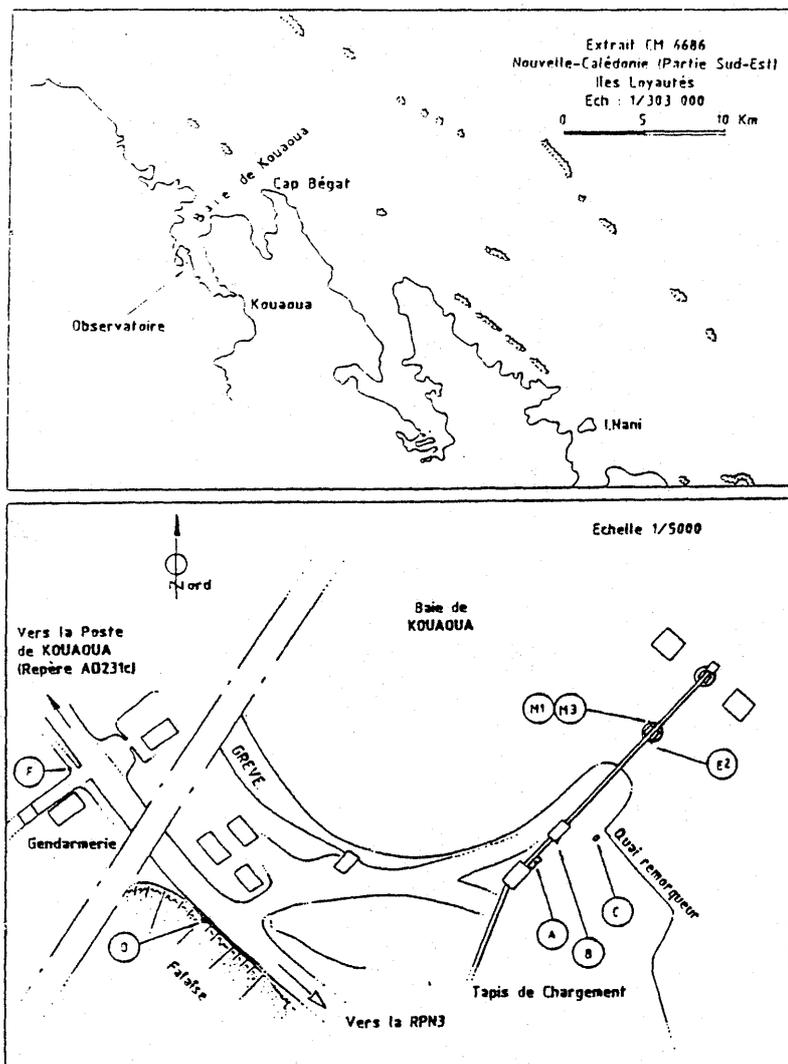
SITUATION DE L'OBSERVATOIRE

ANNEXE C

au chapitre 6.1.

Extrait de la fiche d'observatoire de marée de KOUAOUA

SITUATION DE L'OBSERVATOIRE



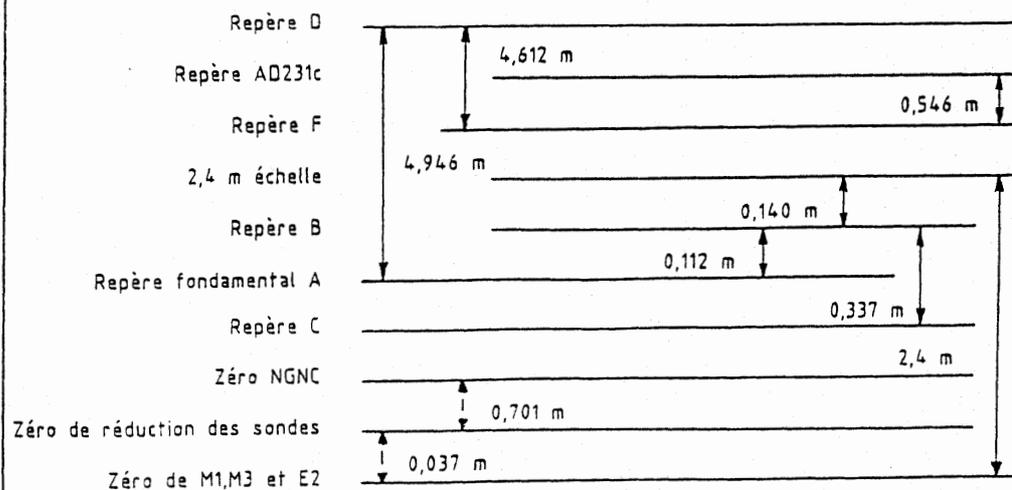
ANNEXE C
au chapitre 6.1.

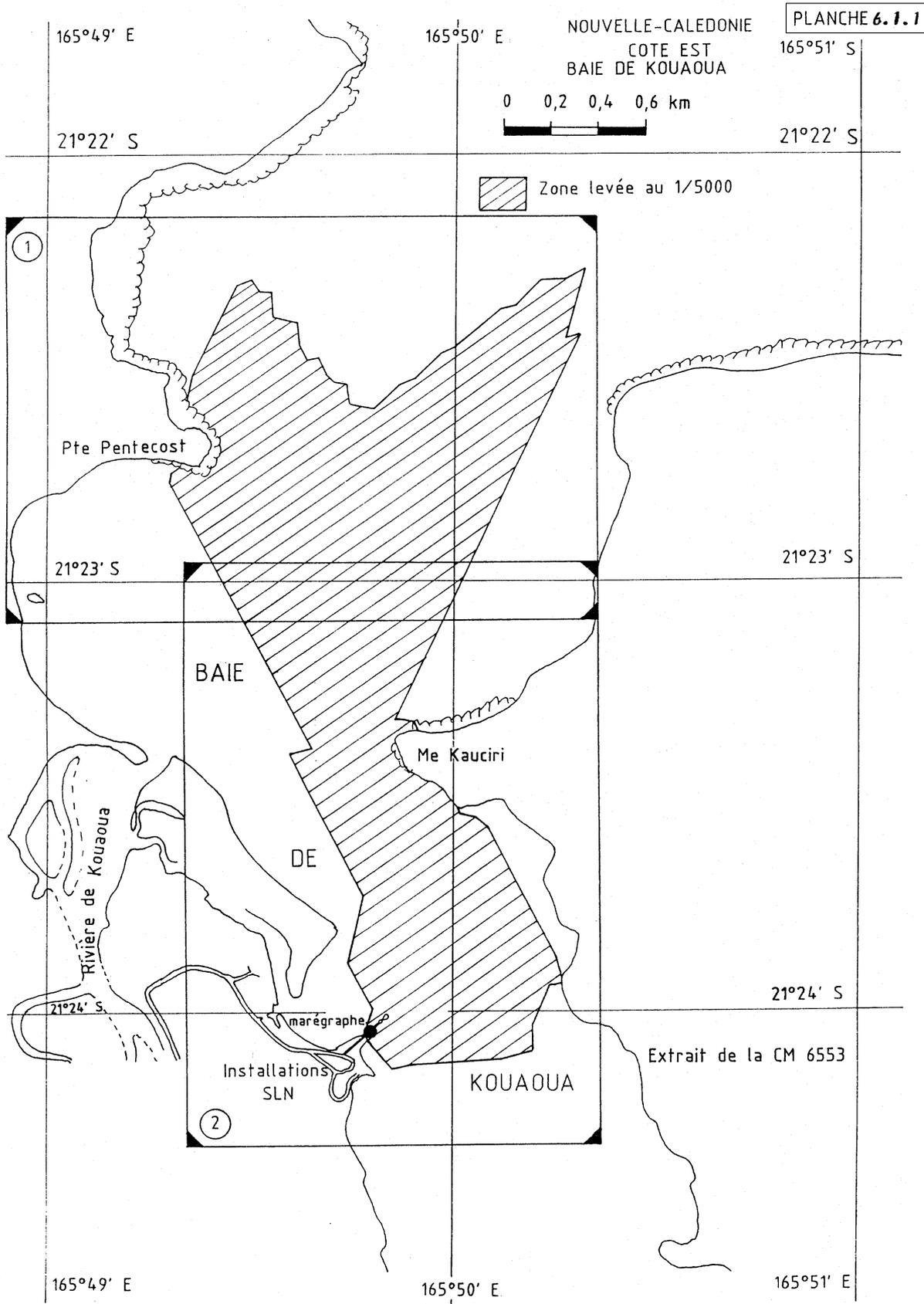
Extrait de la fiche d'observatoire de marée de KOUAOUA

REPERES D'ALTITUDE

Désignation	Description	Cote rapportée au zéro NGNC	Cote rapportée au zéro de réduction des sondes
A	Repère fondamental : douille en bronze scellée verticalement dans une dalle en béton protégée par une barrière métallique.	1.410 m	2.111 m
AD231c	Repère du Service Topographique du Territoire de type M scellé horizontalement à gauche et en bas de l'entrée de la Poste.	2.290 m	2.991 m
B	Douille SHOM scellée horizontalement dans une dalle en béton à proximité d'un escalier métallique accédant au tapis de chargement.	1.522 m	2.223 m
C	Repère de nivellement scellé au pied d'un poteau électrique en béton.	1.185 m	1.886 m
D	Repère de nivellement scellé à la base de la falaise face à l'entrée d'accès au wharf de la SLN et gravé MOP 94.	6.356 m	7.057 m
F	Douille SHOM scellée horizontalement au pied d'un poteau électrique devant la gendarmerie.	1.744 m	2.445 m

SITUATION EN ÉLEVATION DES REPERES D'ALTITUDE ET DES DIFFERENTS ZEROS DE RÉFÉRENCE (Zéro instrumental, zéro de réduction des sondes, zéros IGN, etc...).





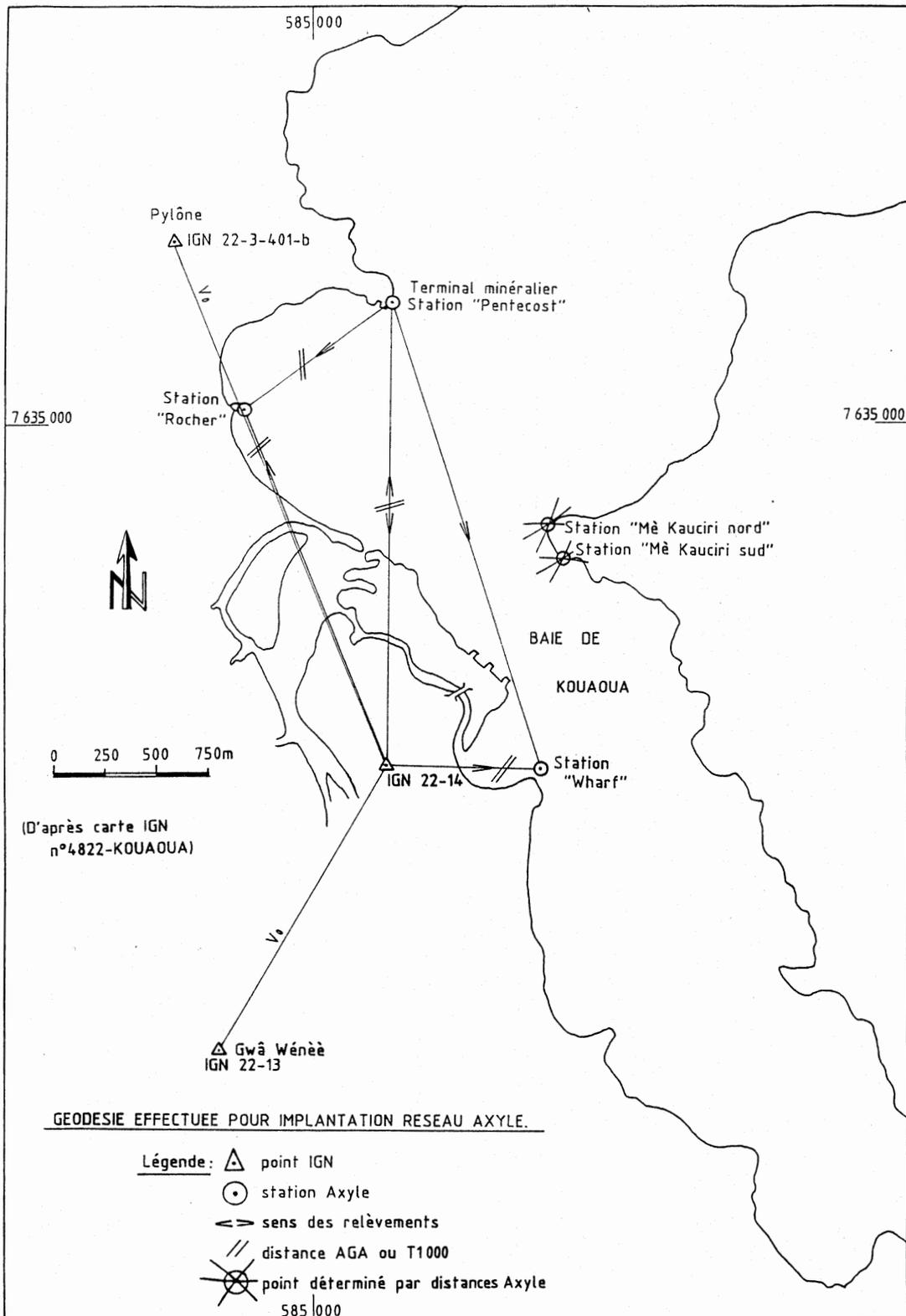


PLANCHE 6.1.2

6.2.- LEVÉ D'UNE VOIE RECOMMANDÉE ENTRE LE CAP BEGAT ET L'ILE NANI

1.- GÉNÉRALITÉS

Ce chapitre rend compte du levé au sondeur latéral d'une voie recommandée entre le cap Bégat et l'île Nani effectué par le BH2 *Laplace*, en décembre 1993 et février 1994, parallèlement avec le levé de la baie de Kouaoua (cf chapitre 6.1).

Remarque : hormis un «26,5 m», il n'y a aucune sonde inférieure à 30 m dans la voie explorée au sondeur latéral.

2.- GÉODÉSIE

Aucun travail de géodésie n'a été nécessaire. Tous les résultats sont donnés dans le système géodésique IGN 72 en projection UTM Sud, fuseau 58.

3.- BATHYMÉTRIE

3.1.- Localisation

La localisation du *Laplace* (sondeur latéral) et de la vedette qui a effectué les études de relèvements de fond fut assurée au DGPS HF (station de Mandjélia). La précision de la localisation est estimée meilleure que 5 m.

3.2.- Exploration au sondeur latéral

Un sondeur latéral Edgerton modèle 260 a été utilisé avec les réglages particuliers suivants :

- portée : 150 m (espacement entre profils de 100 m),
- hauteur du poisson au-dessus du fond :
entre 15 et 30 m (emploi sans dépresseur ; le *Laplace* naviguant à environ 6 noeuds).

Les coordonnées des points définissant les limites des voies recommandées explorées au sondeur latéral sont les suivantes (voir la planche) :

- 1) 21° 28,74' S - 166° 05,09' E
- 2) 21° 24,42' S - 165° 59,38' E
- 3) 21° 24,01' S - 165° 55,86' E
- 4) 21° 21,03' S - 165° 52,68' E
- 5) 21° 20,73' S - 165° 53,01' E
- 6) 21° 23,60' S - 165° 56,07' E
- 7) 21° 23,99' S - 165° 59,56' E
- 8) 21° 28,87' S - 166° 05,99' E

3.3.- Sondages verticaux

Un sondeur vertical Atlas Deso 20 a été utilisé simultanément avec le sondeur latéral. La célérité adoptée (1540 m/s) dès le début du levé fut celle donnée par le sondeur d'une vedette étalonné à la

barre. Un célérimètre confirma cette valeur en février 1994 jusqu'aux fonds de 40 m.

Les sondes ont été corrigées de la marée observée à Kouaoua. La précision des sondes est estimée à environ 30 cm.

3.4.- Études des relèvements de fond

Seuls deux échos ont donné des sondes interprétées (avec une estimation majorante de la hauteur du relèvement au dessus du fond) inférieures à 30 mètres. Ces deux échos correspondaient en réalité à un même relèvement de fond. Ils ont été étudiés ainsi que 4 autres échos.

3.5.- Résultats

Exploitation des cartes marines et des levés antérieurs

Aucune erreur flagrante n'a été relevée sur les documents anciens ; le nouveau levé ne remplace pas les sondes anciennes. Certaines d'entre elles correspondent d'ailleurs à des relèvements de fonds qui ont été détectés au sondeur latéral sans être étudiés au sondeur vertical compte tenu de leur profondeur. Il convient donc de noter que le nouveau levé ne fait que compléter les levés anciens.

4.- MARÉGRAPHIE

Voir le chapitre 6.1 (marée observée à Kouaoua).

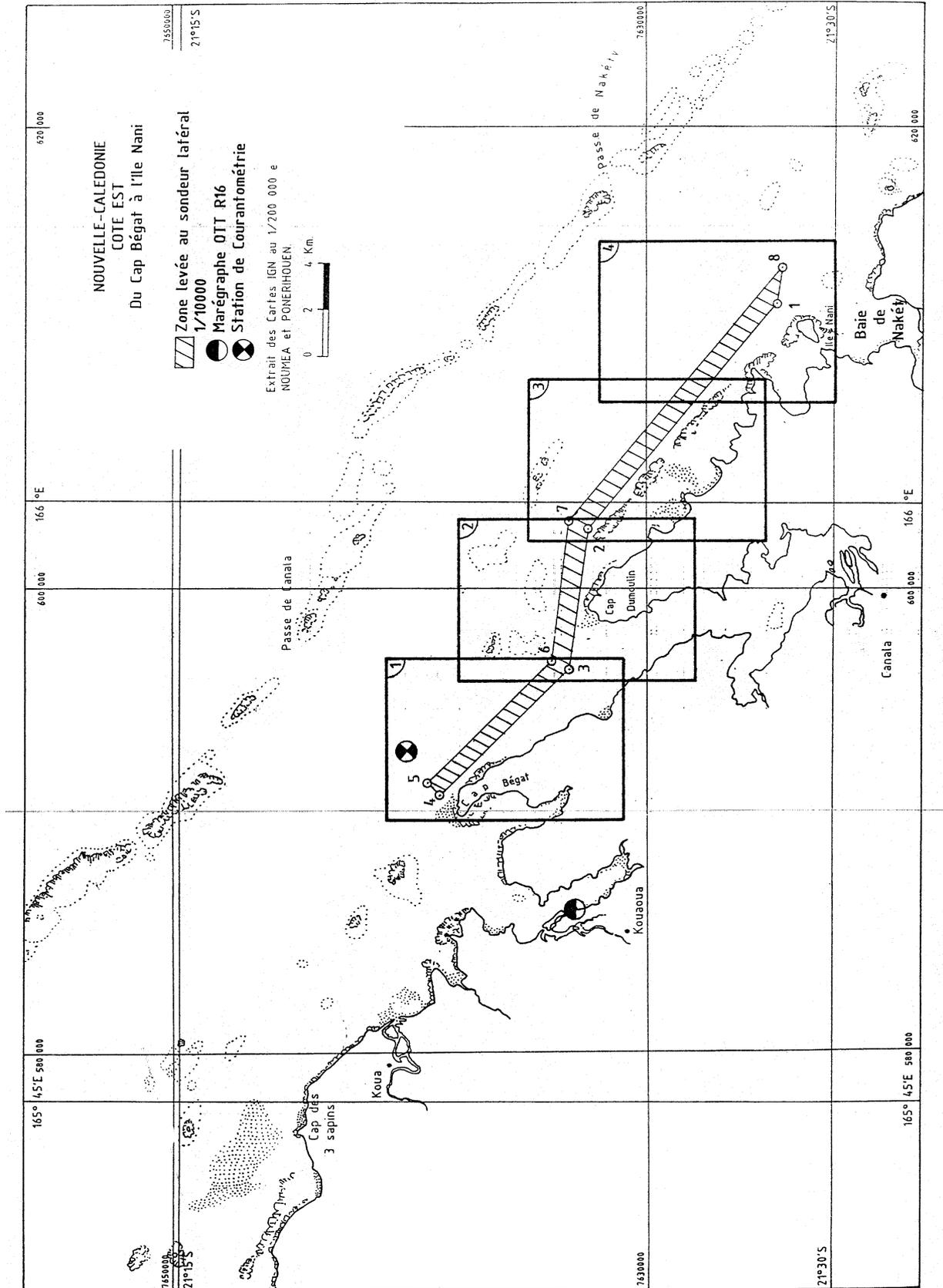
5.- COURANTOMÉTRIE

Une ligne de subsurface fut mouillée au nord du cap Bégat (X = 592 946 ; Y = 7 640 166). Les vitesses de courants observées du 8 au 16 décembre 1993 sur le site sont relativement faibles (0,7 noeud maximum). Compte tenu de ces résultats et de ceux déjà acquis dans la zone (cf cartes marines) il n'a pas été jugé utile de programmer d'autres mesures.

6.- DOCUMENTS RÉDIGÉS

- 4 minutes B au 1/10 000,
- 2 minutes R au 1/10 000,
- 1 dossier de courantométrie.

PLANCHE 6.2



7.- LEVÉS OCÉANIQUES (planche 7)

Les transits du BH2 *Laplace* vers Tahiti (pour réparation à la Direction des Constructions Navales de Papeete) ou vers l'Australie (pour des escales de détente) furent mis à profit pour effectuer des relevés GEBCO (General Bathymetric Chart of Oceans).

- LOCALISATION

Pour tous ces transits le positionnement a été effectué avec un récepteur GPS MLR CM 015 en mode 2D, en tenant compte de l'altitude du géoïde.

Le système géodésique utilisé est le WGS 84.

- CLASSEMENT DES SONDES

Les codages de classification des sondes, fournis par la publication spéciale N° 44 de l'Organisation Hydrographique Internationale, ont été appliqués.

Classement des sondes :

CRITÈRE	POSITION	SONDE	FIDÉLITÉ	DONNÉES
codage	1E	2D	1E	1J

7.2.- Nouméa - Australie - Nouméa 1992

Aller : du 1^{er} au 4 juin 1992 (Nouméa - Mackay),
Retour : du 15 au 17 juin 1992 (Brisbane - Nouméa).

Classement des sondes :

CRITÈRE	POSITION	SONDE	FIDÉLITÉ	DONNÉES
codage	1D	2D	1E	1J

Ces transits avaient été préparés par une étude d'altimétrie satellitale réalisée par la société Seafloor Imaging.

Les temps de transits limités du BH2 *Laplace* n'ont pas permis d'approfondir cette technique de localisation de monts à partir d'études d'anomalies du géoïde.

Le sondeur utilisé était un Raythéon équipé d'une base émettant à 12 kHz. La célérité du son dans l'eau était fixée à 1500 m/s.

- FOURNITURE DES DONNÉES

Les données furent expédiées à l'EPSHOM sur disquettes. Des minutes «papier» (1/1 000 000) étaient simplement rédigées pour valider les tracés de contrôle fournis en retour par l'EPSHOM à partir de sa base de données GEBCO.

7.1.- Nouméa - Papeete - Nouméa 1991

Ce levé fut effectué par mon prédécesseur.

Aller : du 5 au 13 octobre 1991,

Retour : du 1^{er} au 11 novembre 1991.

Compte tenu de l'imprécision de localisation des monts par étude satellitale, il aurait en effet été nécessaire d'effectuer des recherches dans un rayon d'au moins 10 milles autour des cibles proposées par Seafloor Imaging.

7.3.- Nouméa - Australie (Cairns) - Nouméa 1993

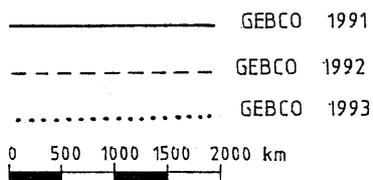
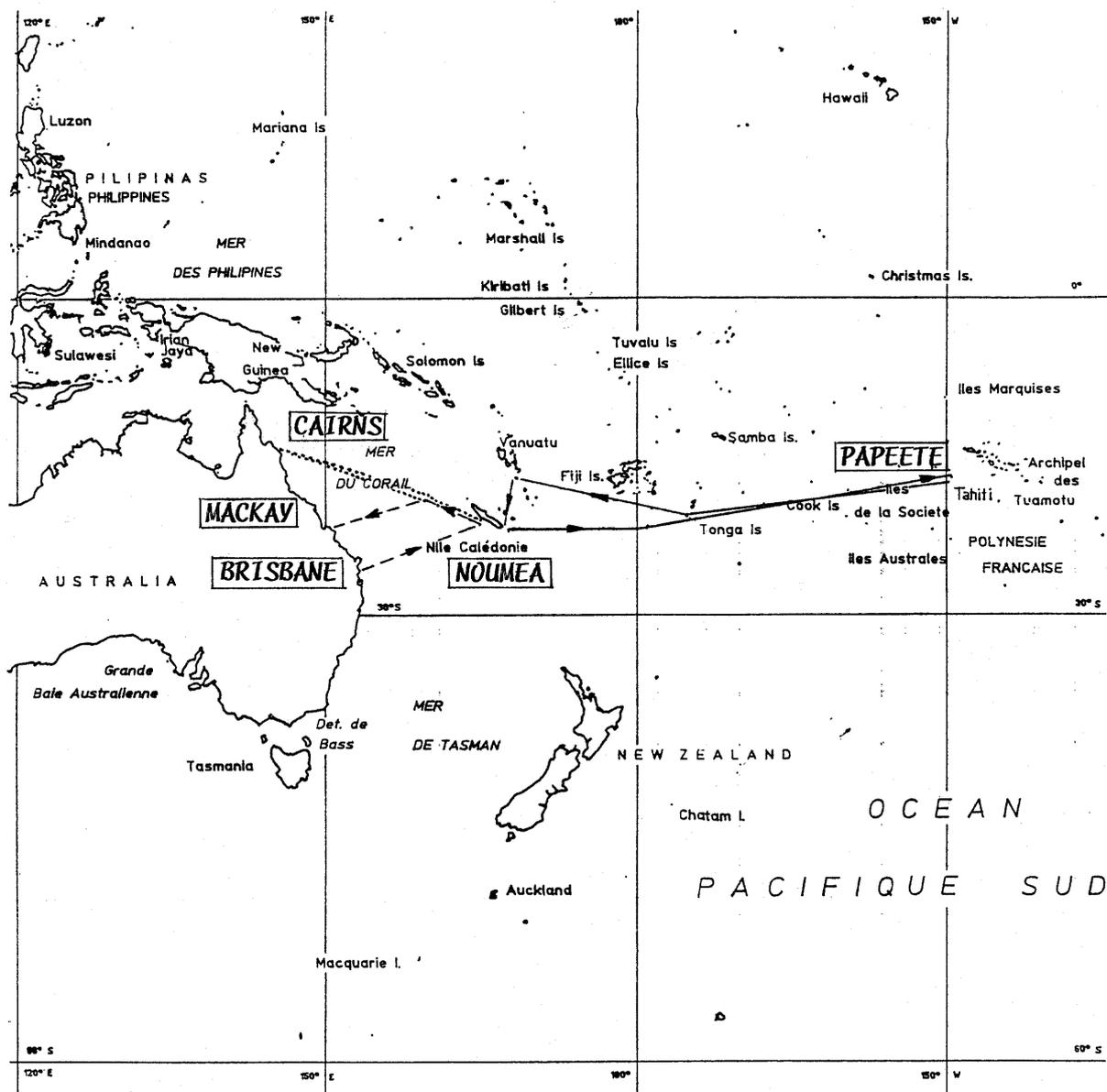
Aller : du 24 au 29 avril 1993,

Retour : du 4 au 8 mai 1993.

Classement des sondes :

CRITÈRE	POSITION	SONDE	FIDÉLITÉ	DONNÉES
codage	1D	2D	1E	1J

PLANCHE 7



TROISIÈME PARTIE

ANNEXE 1	Liste des rapports ou fiches rédigés	133
ANNEXE 2	Systèmes géodésiques de la Grande Terre de Nouvelle-Calédonie (IGN 72, WGS 84)	136
ANNEXE 3	Spatiopréparations de récifs en Nouvelle-Calédonie. Emploi du GPS différentiel.....	140

ANNEXE 1

LISTE DES RAPPORTS OU FICHES RÉDIGÉS

1.1.- LEVÉS

N° CHAPITRE	TITRE DU CHAPITRE	RÉFÉRENCE
1	LAGON NORD	
1.1.	LEVÉ RÉGULIER AU NORD DE L'ILE BALABIO	RP 97 MOP/NOU/NP du 09.04.93
1.2.	LEVÉ RÉGULIER A L'EST DE L'ILE BALABIO ET DANS LE CANAL NAPIAS	RP 125 MOP/NOU/NP du 19.05.93
1.3.	LEVÉ COMPLÉMENTAIRE A L'EST DE L'ILE BALABIO ET DANS LE CANAL NAPIAS	RP 68 MOP/NOU/NP du 01.04.94
1.4.	LEVÉ D'UNE VOIE RECOMMANDÉE DANS LA BAIE D'HARCOURT ENTRE LE CANAL DEVARENNE ET L'ILE PAM	RP 242 MOP/NOU/NP du 08.10.93
1.5.	LEVÉ DU MOUILLAGE DE L'ILOT MOUAC	RP 92 MOP/NOU/NP du 25.04.94
1.6.	LEVÉ ENTRE L'ILE PAM ET TIARI	néant
2	GRAND LAGON NORD ET RÉCIFS D'ENTRECASTEAUX	
2.1.	GÉODÉSIE DU GRAND LAGON NORD (ART, YANDÉ) ET DES RÉCIFS D'ENTRECASTEAUX (SUPRISE, HUON) - SPATIOPRÉPARATION DE CES RÉCIFS	RP 197 MOP/NOU/NP du 13.08.93
2.2.	LEVÉ EXPLORATOIRE DU GRAND PASSAGE	RP 198 MOP/NOU/NP du 13.08.93
2.3.	SPATIOPRÉPARATION AU SUD DU GRAND PASSAGE : PARTIE NORD DU RÉCIF DES FRANCAIS ET DU GRAND RÉCIF DE COOK	RP 220 MOP/NOU/NP du 28.09.93
3	LAGON OUEST	
3.1.	LEVÉ RÉGULIER DE KONÉ-POUEMBOUT	RP 41 MOP/NOU/NP du 18.02.93
3.2.	LEVÉ COMPLÉMENTAIRE DE KONÉ-POUEMBOUT	RC 294 MOP/NOU/NP du 15.12.93
3.3.	LEVÉ DE RECONNAISSANCE DU CHENAL DE L'ILE AUX SHARKS A POE	RP 206 MOP/NOU/NP du 27.10.93
3.4.	LEVÉ COMPLÉMENTAIRE DE NEPOUI / MUEO	RP 80 MOP/NOU/NP du 25.03.93
4	LAGON SUD : GÉODÉSIE ET SPATIOPRÉPARATION DU LAGON SUD	RP 245 MOP/NOU/NP du 09.12.92

N° CHAPITRE	TITRE DU CHAPITRE	RÉFÉRENCE
5	NOUMÉA ET SES ENVIRONS	
5.1.	LEVÉS AU PROFIT DU PORT AUTONOME DE NOUVELLE-CALÉDONIE	
5.1.1.	NOUVEAU QUAI POUR PAQUEBOTS (QUAI DES LONGS-COURRIERS)	
5.1.1.1.	TRAVAUX EFFECTUÉS EN JUILLET 1992	RP 157 MOP/NOU/NP du 14.08.92
5.1.1.2.	TRAVAUX EFFECTUÉS EN NOVEMBRE ET DÉCEMBRE 1992	RP 257 MOP/NOU/NP du 23.12.92
5.1.2.	QUAI DES SCIENTIFIQUES	RP 142 MOP/NOU/NP du 11.06.93
5.1.3.	BANC INFERNAL	RP 163 MOP/NOU/NP du 02.07.93
5.1.4.	QUAI DES CABOTEURS	RP 291 MOP/NOU/NP du 07.12.93
5.2.	LEVÉ DANS LA BASE NAVALE CHALEIX	RP 268 MOP/NOU/NP du 16.11.93 RP 108 MOP/NOU/NP du 02.05.94
5.3.	LEVÉ AUX ABORDS DE NOUMÉA	
5.3.1.	ABORDS DES ILOTS MAITRE ET TE NDU (SIGNAL), DE L'ILE DE CROUY, ET DU RÉCIF SECHE CROISSANT	RP 189 MOP/NOU/NP du 09.08.93
5.3.2.	MOUILLAGE DE L'ILE TANGUE	RP 190 MOP/NOU/NP du 09.08.93
5.3.3.	ABORDS DU CANAL SAINT-VINCENT	RP 22 MOP/NOU/NP du 25.01.94
5.3.4.	ABORDS DE L'ILE AMÉDÉE	RP 41 MOP/NOU/NP du 22.02.94
5.4.	REVUES D'AMERS AUX ABORDS DE NOUMÉA : PORTS ET ACCÈS DE NOUMÉA (CARTE MARINE 6633)	RP 123 MOP/NOU/NP du 22.07.93
5.5.	NIVELLEMENT D'OBSERVATOIRES DE MARÉE A NOUMÉA	néant
5.6.	LEVÉ PHOTOBATHYMETRIQUE DE L'ILE AMÉDÉE	néant
6	LAGON EST	
6.1.	CONTRÔLE DES PROFONDEURS DE LA BAIE DE KOUAOUA	RP 55 MOP/NOU/NP du 02.03.94
6.2.	LEVÉ D'UNE VOIE RECOMMANDÉE ENTRE LE CAP BÉGAT ET L'ILE NANI	RP 61 MOP/NOU/NP du 24.03.94
7	LEVÉS OCÉANIQUES	
7.1.	NOUMÉA - PAPEETE - NOUMÉA 1991	RP 251 MOP/NOU/NP du 18.12.92
7.2.	NOUMÉA - AUSTRALIE - NOUMÉA 1992	RP 251 MOP/NOU/NP du 18.12.92
7.3.	NOUMÉA - AUSTRALIE - NOUMÉA 1993	RP 200 MOP/NOU/NP du 19.08.93

1.2.- MÉTHODES

N° ANNEXE DU PRESENT RAPPORT	TITRE DU RAPPORT	RÉFÉRENCE
2	SYSTÈMES GÉODÉSIQUES DE LA GRANDE TERRE DE NOUVELLE-CALÉDONIE (IGN 72, WGS 94) (PAR L'IA EVEN)	N° 251 MOP/NOU/NP du 27 octobre 1993
3	SPATIOPRÉPARATIONS DE RÉCIFS EN NOUVELLE- CALÉDONIE EMPLOI DU GPS DIFFÉRENTIEL (PAR L'IA EVEN)	N° 248 MOP/NOU/NP du 27 octobre 1993

1.3.- ÉVALUATION ET AMÉLIORATION DE MATÉRIEL

TITRE DES RAPPORTS (non publiés dans le présent rapport)	RÉFÉRENCE
ACQUISITION DES DONNÉES DE L'AXYLE (PAR L'IETA GRENARD)	N° 183 MOP/NOU/NP du 05 août 1993
ÉVALUATION DES ÉMETTEURS-RÉCEPTEURS VHF PORTATIFS TRPP44A (ALCATEL 9215 HC) (PAR L'IETA GRENARD)	N° 186 MOP/NOU/NP du 06 août 1993
LOGICIEL DE CALAGE DE L'HORLOGE D'UN COMPATIBLE PC À PARTIR D'UN RÉCEPTEUR GPS NR 103 (PAR L'IETA GRENARD)	N° 279 MOP/NOU/NP du 1 ^{er} décembre 1993
UTILISATION DE L'AXYLE EN MODE ÉVÈNEMENT EXTERNE DANS UN LEVÉ PORTUAIRE À L'ÉCHELLE 1/500 (PAR L'IETA GRENARD)	N° 297 MOP/NOU/NP du 21 décembre 1993

ANNEXE 2

Systèmes géodésiques de la Grande Terre de Nouvelle-Calédonie

Par l'Ingénieur de l'Armement Michel EVEN

1.- GÉNÉRALITÉS

Il existe en Nouvelle-Calédonie plusieurs systèmes géodésiques :

- IGN 72 sur la Grande Terre,
- IGN 84 dans le lagon sud et sur l'île des Pins
- MOP 85 et IGN 56 sur l'île Ouvéa
- IGN 56 sur les îles Lifou et Maré.

Cette multiplicité s'explique par l'impossibilité technique, lors de l'édification des différents réseaux géodésiques, de relier les îles et la Grande Terre. L'utilisation du GPS permet maintenant de lever cette difficulté.

Le Service Topographique du Territoire (ST) a donc entrepris la réalisation d'un nouveau réseau géodésique s'étendant sur tout le territoire, dans le nouveau système géodésique de mesure, l'ITRF 90. Des paramètres de changement de systèmes géodésiques ont été calculés pour la Grande Terre. Quelques mesures de contrôle ont été effectuées à l'aide d'un GPS différentiel (station de corrections de Mandjélia).

2.- LES SYSTÈMES GÉODÉSQUES

2.1.- IGN 72

Le système IGN 72 est défini sur l'ellipsoïde international avec un point fondamental particulier du territoire .

Ellipsoïde Hayford International :

- demi-grand axe : $a = 6\,378\,388$
- aplatissement : $f = 1/297$

Sa densité est généralement bonne sur toute la Grande Terre.

2.2.- ITRF 90 ET WGS 84

Le système ITRS (International Terrestrial Reference System) réalisé annuellement par l'IERS (Service International de la Rotation Terrestre) et publié sous l'appellation ITRF (International Terrestrial Reference France) est établi par combinaison des données spatiales les plus précises :

- VLBI
- télémétrie laser sur réflecteurs lunaires (LLR)
- télémétrie laser sur satellites artificiels (SLR)
- observations de satellites GPS depuis 1990.

Sa précision absolue est d'ordre centimétrique. L'ellipsoïde utilisé est le GRS 80 :

- demi-grand axe : $a = 6\,378\,137$
- aplatissement : $f = 1/298\,257\,222\,100\,88$

Un point a été adopté en Nouvelle-Calédonie dont les coordonnées dans le système ITRF 90 ont été déterminées par combinaison de mesures GPS, lors de la mission franco-américaine SWP 1989-1990 (rattachement au site ITRS de Huahine) et de la mission IGN 91, et de mesures DORIS (balise de l'île Nou à Nouméa).

Le système WGS 84 possède un repère terrestre théoriquement identique à l'ITRF.

L'ellipsoïde WGS 84 est très proche de GRS 80 :

- demi-grand axe : $a = 6\,378\,137$
- aplatissement : $f = 1/298\,257\,223\,563$

Le Service Topographique crée désormais régulièrement de nouveaux points par mesures GPS géodésiques. Le vecteur obtenu en WGS 84 entre le point connu (dans ITRF 90) et le point inconnu est assimilable au vecteur ITRF 90. Les coordonnées du nouveau point sont donc connues dans ce dernier système.

La comparaison entre WGS 84 et ITRF 90 a d'autre part montré que l'écart de position entre les deux systèmes restait inférieur au mètre. La différence WGS 84/ITRF 90 reste donc négligeable au niveau cartographique.

2.3.- Nouveaux réseaux

Le Service Topographique du Territoire a entrepris le renouvellement du réseau géodésique de Nouvelle-Calédonie.

Trois niveaux ont été définis :

- le RRNC (Réseau de Référence) couvrant la Grande Terre et les îles comprend une vingtaine de points. Sa précision absolue doit être de l'ordre du décimètre.
- Le RBNC (Réseau de Base) comprendra environ 140 points observés au GPS et éventuellement des points de 2^e et 3^e ordre recalculés.

- Le RDNC (Réseau de Détail) inclura tous les autres points : observation GPS ou recalcul des réseaux anciens IGN 72 jusqu'au 5ème ordre.

3.- CHANGEMENT DE SYSTÈME GÉODÉSIQUE

Connaissant dans les deux systèmes géodésiques IGN 72 et ITRF 90 les coordonnées de neuf points répartis sur la Grande Terre (planche), le S.T. a établi des paramètres de passage d'un système à l'autre, de façon à minimiser les résidus sur chacun des points.

Paramètres de transformation :

A : Grande terre ITRF 90 (ellipsoïde GRS 1980)
B : Grande terre IGN 72 (ellipsoïde INTERNATIONAL)

dX - 97,333 m
dY 262,726 m
dZ -310,147 m
Rotation/X 1,629325
Rotation/Y -0,866434
Rotation/Z -3,146066
Echelle -13,271857 10⁻⁶

Les résidus ne sont toutefois pas nuls :

SITE	RÉSIDUS EN MÈTRES		
	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
MANDJELIA	- 0,243	0,108	0,119
KOUMAC	- 0,038	- 0,032	0,172
GOMEN	0,211	0,057	0,155
HIENGHENE	0,177	- 0,201	- 0,246
BAA	- 0,014	0,225	0,044
NEPOUI	- 0,348	0,011	- 0,321
MONT-DO	0,397	- 0,163	0,507
NOUMEA	0,248	- 0,147	0,206
CAP NDOUA	- 0,389	0,143	- 0,398

(Le résidu est la différence entre la position mesurée en ITRF 90 et celle obtenue par transformation des coordonnées IGN72)

Le résidu planimétrique ne dépasse donc jamais 0,43 m, tandis qu'il peut être supérieur à 0,5 m en altitude.

4.- MESURES DE CONTRÔLE

Quelques mesures de contrôle ont été effectuées par la Mission (planche). Le GPS différentiel a permis l'acquisition de positions au point fixe, sur des bornes du système IGN 72. La durée des mesures avariée de 2 à 24 heures avec une cadence d'acquisition de 30 secondes à 2 minutes selon le lieu.

La station de référence DGPS se trouve à Mandjélia et possède des coordonnées connues en ITRF 90. Un

point moyen a donc été obtenu sur chaque site dans le système ITRF 90. La précision de la méthode a été estimée de l'ordre de 0,5 m, grâce à des mesures effectuées sur des points connus en ITRF 90.

Une fois transformé en IGN 72 par les formules de changement de système, le point est comparé aux coordonnées anciennes IGN 72.

Les résidus obtenus sont les suivants :

SITE	RÉSIDUS EN MÈTRES	
	LATITUDE	LONGITUDE
TOUHO	+ 0,35	+ 0,01
POUEBO	- 0,38	+ 0,14
ILE PAM	- 0,20	- 0,24
VOH	- 0,02	+ 0,28

Compte tenu de l'imperfection de la méthode de mesure et des valeurs des résidus, la précision de la formule peut donc être estimée meilleure que le mètre, dans les régions évaluées.

5.- CONCLUSION

Les nouveaux moyens de localisation en mer (que ce soit le GPS différentiel des hydrographes ou le GPS du navigateur), et l'abandon des systèmes locaux (IGN 72 et IGN 56) par le Service Topographique montrent bien

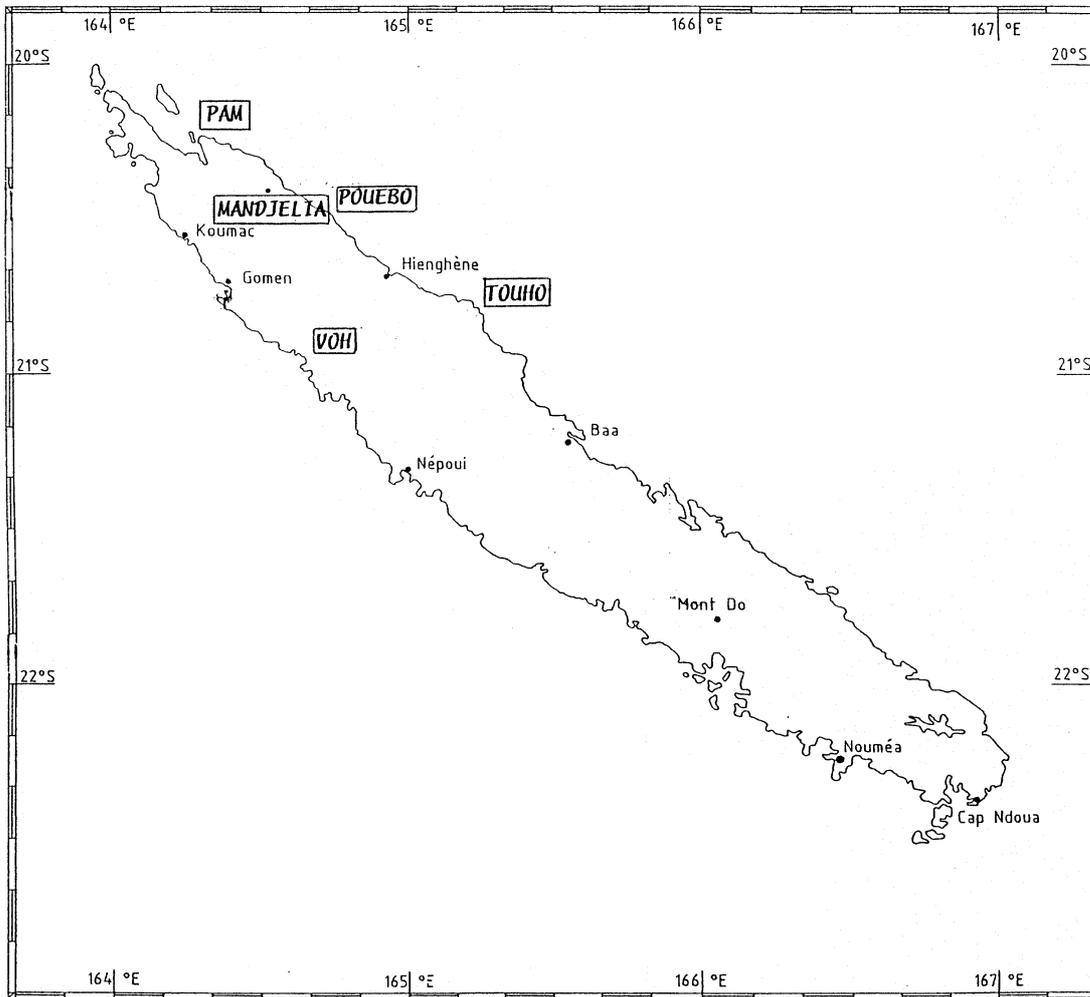
l'importance du nouveau système géodésique ITRF 90, confondu avec le WGS 84 sur le plan cartographique.

En attendant la réalisation des cartes marines dans ce nouveau système, l'utilisation des paramètres précédemment décrits permet le passage d'un système à l'autre sur la Grande Terre de Nouvelle-Calédonie avec une précision suffisante.

PLANCHE

NOUMEA : Points ayant servi à l'établissement de la formule de changement de systèmes géodésiques

PAM : Site des mesures de contrôle



ANNEXE 3

SPATIOPRÉPARATIONS DE RÉCIFS EN NOUVELLE-CALÉDONIE

EMPLOI DU GPS DIFFÉRENTIEL par l'Ingénieur de l'Armement Michel EVEN

1.- INTRODUCTION

La Nouvelle-Calédonie s'enorgueillit de posséder le plus grand lagon du monde. En établir la bathymétrie et la topographie de ses îlots et récifs représente une tâche considérable maintenant facilitée par les données du satellite d'observation de la terre « SPOT ».

Les images fournies doivent cependant être calées (du moins pour contrôle géographique) et exigent donc l'existence de données « terrain » (positionnement de points d'appui). Les points émergés dans le nord de la Nouvelle-Calédonie (planche 1) étant rares, voire inexistants sur certaines images, de nouvelles méthodes s'appuyant sur différents moyens (DGPS, vedette, hélicoptère, piéton) ont dû être recherchées pour localiser ces points d'appui.

2.- UTILISATION DU GPS DIFFÉRENTIEL (DGPS)

Le système de localisation utilisé devait pouvoir répondre à plusieurs critères :

- mesurer hors de portée visuelle de tout point émergé (l'emploi de systèmes de radiolocalisation précis à courte portée était donc difficile),
- mesurer sur une plate-forme mobile (vedette, hélicoptère ...),
- acquérir une position précise (de l'ordre de 5 m) en un temps très court (de l'ordre de la minute lors d'un stationnaire en hélicoptère).

Le GPS différentiel HF remplissait ces critères. Avec une portée théorique supérieure à 500 km, la réception des corrections émises par la station différentielle de Mandjélia (nord de la Grande Terre) fut garantie jusqu'aux récifs D'Entrecasteaux.

3.- TRAJECTOGRAPHIE TERRESTRE (PIETON)

Cette méthode fut utilisée autour des îles situées sur les récifs D'Entrecasteaux où les images SPOT ne présentaient pas de pixels facilement identifiables. Ces récifs sont en effet constitués d'une part d'îlots

« ronds », sans pointes remarquables, recouverts d'une végétation uniforme (Ilot Surprise), d'autre part d'îlots dont les pixels remarquables pouvaient avoir évolué depuis la prise de vue par satellite (pointes sableuses nord et sud de l'îlot Huon)

Ne pouvant rechercher un point particulier, il a donc été nécessaire de repérer une forme. La méthode utilisée consista à effectuer le tour de l'îlot à pied, munis d'un ensemble de réception-acquisition de la position DGPS. Une cadence d'enregistrement suffisamment faible permit un suivi très précis du parcours effectué. Le tracé, à l'échelle du zoom de l'image SPOT et superposé à celui-ci facilita alors le positionnement des îlots et des pixels (planche 2).

4.- MESURES EN VEDETTE

La rareté des îlots dans la région considérée imposa par ailleurs des mesures par moyen flottant sur des points immergés.

Les pixels repérés sur les images SPOT correspondaient alors à des pâtés coralliens de rayon de l'ordre de la dizaine de mètres, sous quelques mètres d'eau. La position approchée obtenue par l'exploitation de l'image SPOT (les coordonnées des coins et du centre sont connues à une centaine de mètres près) permit à la vedette de retrouver sans trop de difficultés les points recherchés.

Sur des pâtés coralliens de taille réduite, la vedette stationna au centre et détermina au « point fixe » leurs positions (points 1 et 2 de la planche 3).

Sur les pâtés de taille plus grande, couverts par plusieurs pixels, la vedette effectua une trajectographie extérieure. La position des pixels était alors évaluée de la même façon que par trajectographie terrestre (point n° 3 de la planche 3).

5.- POSITIONNEMENT EN HÉLICOPTÈRE

Certaines zones ne pouvaient être facilement atteintes par moyen flottant. C'était le cas du Grand Lagon Nord qui de plus ne possédait aucune terre émergée dans sa partie nord. Le moyen le plus efficace de positionnement de pixels fut alors l'hélicoptère.



Initialisation du récepteur GPS



Trajectographie terrestre

Trois piétons, de gauche à droite :

Antennes
 — GPS (blanche)
 — DGPS HF (noire)

Récepteur
 GPS NR 103
 Sercel

Micro-ordinateur
 d'initialisation du
 récepteur GPS et
 d'acquisition de
 données.

5.1.- Installation du DGPS à bord

L'installation du GPS différentiel à bord d'un hélicoptère de type Puma ne souleva pas de problème majeur.

L'antenne différentielle y était installée sur le marchepied extérieur par une pièce rapportée de fabrication simple. L'antenne GPS, simplement scotchée à l'avant du poste de pilotage, était néanmoins partiellement masquée. L'hélicoptère dut alors s'efforcer de garder un cap constant pendant les mesures, pour éviter de perdre ou de capter subitement certains satellites.

5.2.- Mesures

Comme pour les mesures en vedette, les pixels sélectionnés furent recherchés à partir de coordonnées approchées. La reconnaissance fut toutefois beaucoup plus aisée qu'avec les vedettes, les pâtés immergés étant facilement identifiables avec un peu d'altitude. Deux épaves, détectées sur le canal XS2 de SPOT furent également positionnées.

L'hélicoptère stationna alors au dessus du pixel reconnu pendant un temps suffisant pour permettre plusieurs acquisitions (de l'ordre de la minute). Les points DGPS ainsi acquis se retrouvèrent dans un cercle dont le rayon était inférieur à 5 m.

6.- MULTIPLICITÉ DES MESURES

Repérer un pâté corallien parmi d'autres ne fut pas toujours une tâche aisée, particulièrement en vedette. Un doute subsista parfois sur l'identification de certains pixels. Afin de réduire cette incertitude un ou plusieurs pixels secondaires appartenant au même zoom furent également positionnés (planche 4). Les positions relatives des pixels ont alors permis de confirmer leur identification et d'affiner la précision de localisation des pâtés coralliens couvrant plusieurs pixels.

7.- CONCLUSION

L'utilisation du GPS différentiel sur différents porteurs (piéton, vedette, hélicoptère) a permis une acquisition rapide de positions, nécessaires au calage géographique des images SPOT.

La rapidité des opérations a par ailleurs été mise à profit pour multiplier les positionnements et éliminer ainsi des erreurs d'identification de pixels tout en améliorant la précision finale.

PLANCHE 1

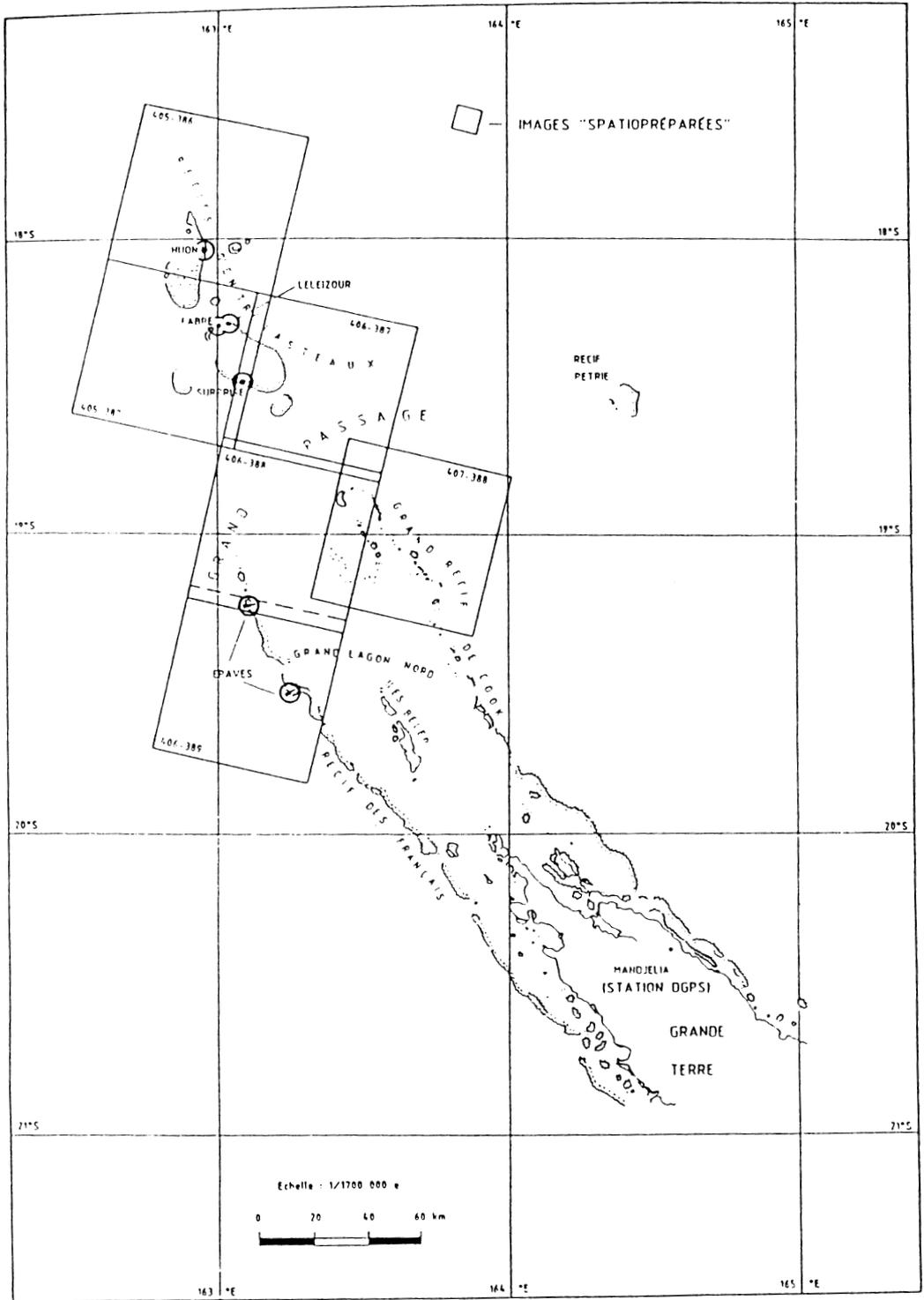


PLANCHE 2

ILOT SURPRISE

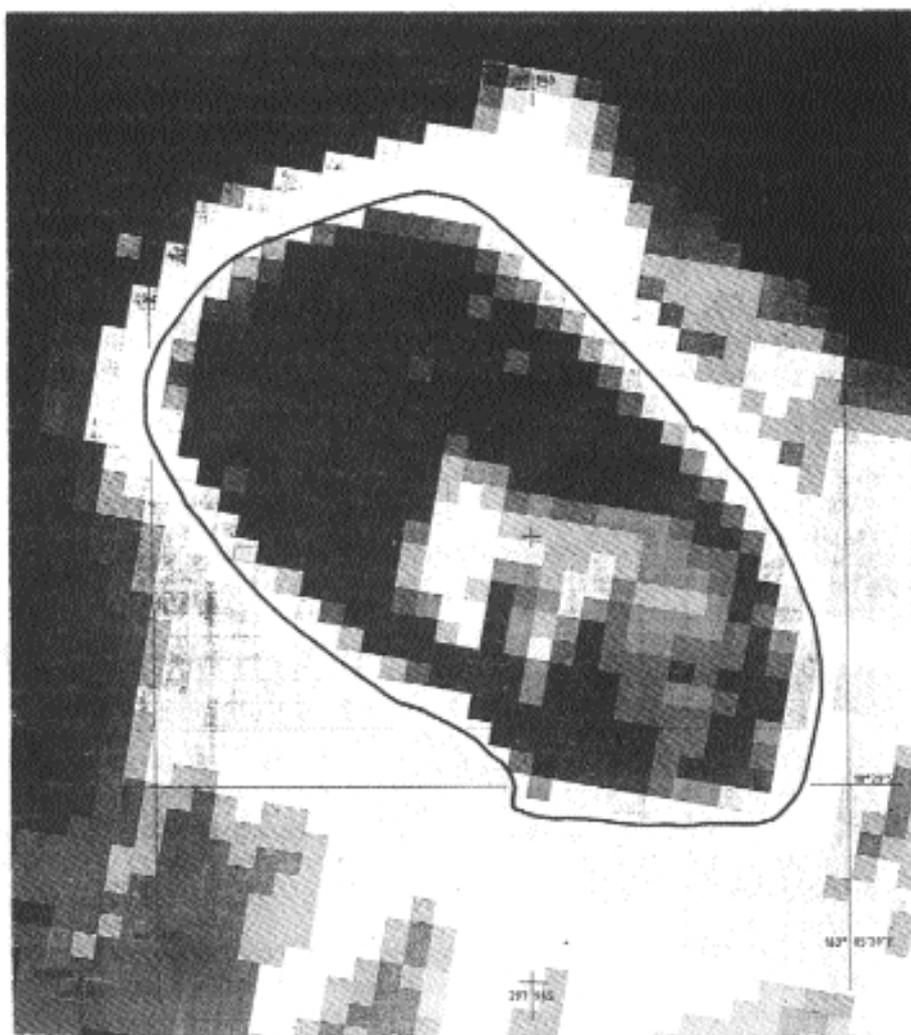
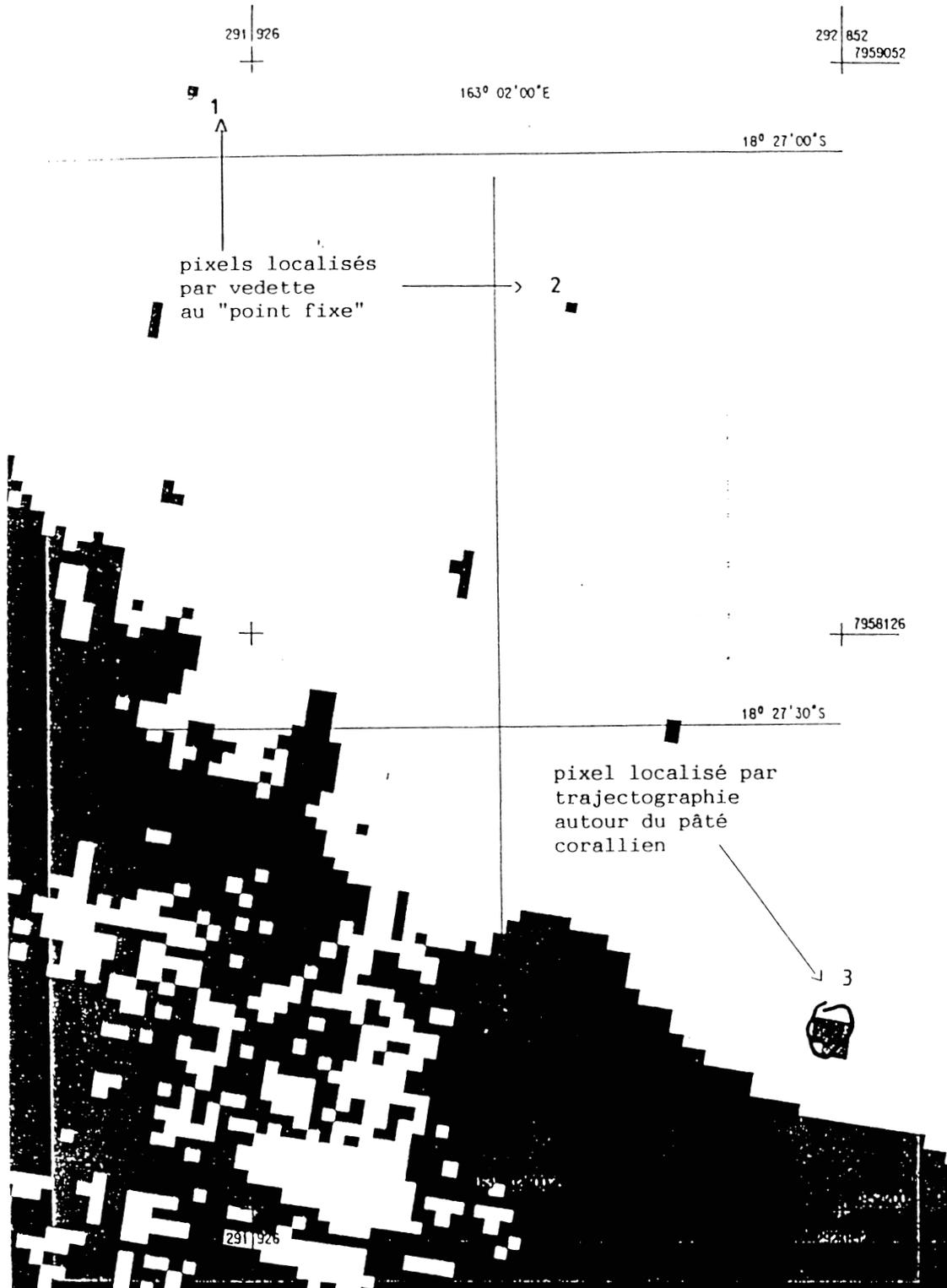
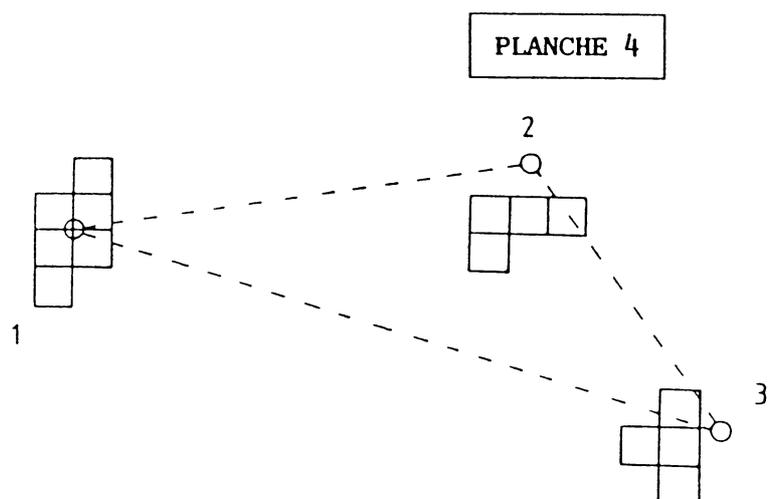


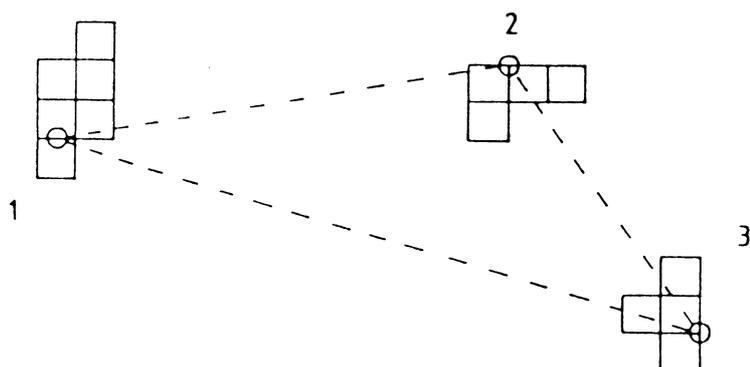
PLANCHE 3

Positionnement en vedette de pixels relatifs à des pâtés coraliens immergés





Un seul point est localisé (N° 1).
Sa position est estimée au centre des pixels.



Trois points sont localisés (N° 1, 2 et 3).
Leurs distances relatives étant connues, une solution optimale
est adoptée. Elle conduit à recaler plus précisément le point N° 1

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS UTILISÉES

AH	Annales hydrographiques
ALPACI	Amiral commandant la zone maritime du Pacifique
BH2	Bâtiment hydrographique de 2 ^e classe
CC	Capitaine de corvette
COMAR	Commandant de la marine
DCN	Direction des constructions navales
DGPS	Differential Global Positioning System
DITTT	Direction des infrastructures, de la topographie et des transports territoriaux
DMT	Direction mixte des travaux
EPSHOM	Établissement principal du service hydrographique et océanographique de la marine
EQM	Écart quadratique moyen
ETOM	Escadron de transport outre-mer
GEBCO	General Bathymetric Chart of Oceans
GPS	Global Positioning System
IA	Ingénieur de l'armement
ICA	Ingénieur en chef de l'armement
IETA	Ingénieur des études et techniques d'armement
IGN	Institut géographique national
IPA	Ingénieur principal de l'armement
IPETA	Ingénieur principal des études et techniques d'armement
ITRS	International Terrestrial Reference System
ITRF	International Terrestrial Reference France
LATICAL	Laboratoire de traitement d'images Calédonien
LCPS	Embarcation pour transport de personnel
LV	Lieutenant de vaisseau
MHNC	Mission hydrographique de Nouvelle-Calédonie
MOP	Mission océanographique du Pacifique
MP	Maître principal
NGNC	Nivellement général de Nouvelle-Calédonie
NMC	Nickel Mining Corporation
ORSTOM	Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération
PANC	Port autonome de Nouvelle-Calédonie
PEI	Période d'entretien intermédiaire
SHOM	Service hydrographique et océanographique de la marine
SLN	Société Le Nickel
UTM	Projection de Mercator transverse universelle
VH	Vedette hydrographique
WGS	World Geodesic System