



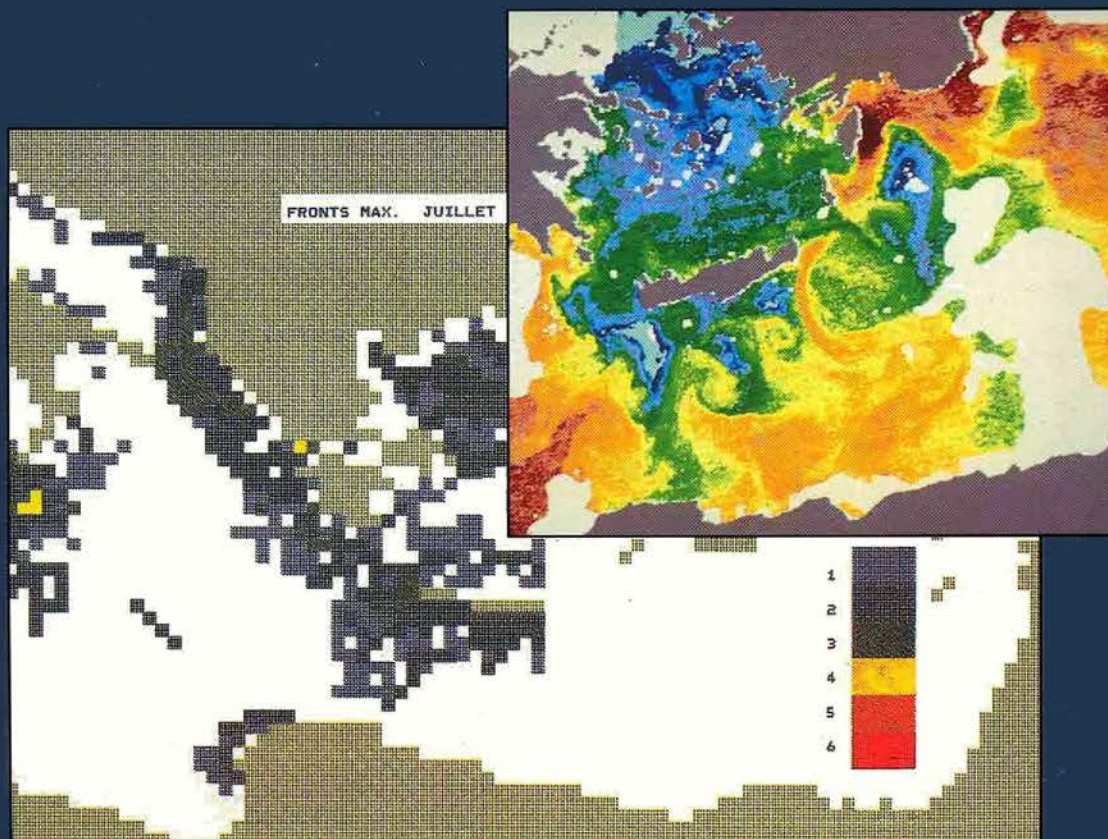
ISSN 0304-5714



Atlas des fronts thermiques en mer Méditerranée d'après l'imagerie satellitaire

Atlas of Thermal Fronts of the Mediterranean Sea Derived From Satellite Imagery

J. LE VOURCH, C. MILLOT, N. CASTAGNÉ,
P. LE BORGNE ET J.P. OLRÉ



Musée Océanographique Monaco
1992



Atlas des fronts thermiques
en mer Méditerranée
d'après l'imagerie satellitaire

*Atlas of Thermal Fronts
of the Mediterranean Sea
Derived From Satellite Imagery*

par

J. LE VOURCH, C. MILLOT
N. CASTAGNÉ, P. LE BORGNE ET J.P. OLRV



MEMOIRES ^{DE} L' INSTITUTE
Océanographique
FONDATION ALBERT I^{er}, PRINCE DE MONACO

Les études publiées dans les *Mémoires de l'Institut océanographique* sont analysées ou indexées dans :

The works published in the Mémoires de l'Institut océanographique are abstracted or indexed in :

Aquatic sciences & fisheries abstracts ;

Bibliographie géographique internationale ;

Oceanic abstracts ;

Oceanographic literature review (Deep-sea research) ;

Referativnyi zhurnal ;

Zoological record.

*
* *

Les commandes ainsi que les demandes de tarifs pour toutes les publications du Musée océanographique doivent être envoyées à l'adresse suivante :

The orders and any inquiries concerning the price-lists for all publications of the Musée océanographique should be send to the following address :

**Musée océanographique (Service des publications)
Avenue Saint-Martin
Monaco-Ville
MC 98000 MONACO**

*
* *

Les publications envoyées en échange des *Mémoires de l'Institut océanographique* doivent être adressées à :

The publications sent in exchange for the Mémoires de l'Institut océanographique must be forwarded to :

**Musée océanographique (bibliothèque)
Avenue Saint-Martin
Monaco-Ville
MC 98000 MONACO**

Atlas des fronts thermiques
en mer Méditerranée
d'après l'imagerie satellitaire

*Atlas of Thermal Fronts
of the Mediterranean Sea
Derived From Satellite Imagery*

par

J. LE VOURCH¹, C. MILLOT², N. CASTAGNÉ¹, P. LE BORGNE¹, J.-P. OLRÉ¹

- 1 - Météo-France, Service Central d'Exploitation de la Météorologie,
Centre de Météorologie Spatiale, BP 147, F-22302 Lannion.
- 2 - Centre National de la Recherche Scientifique,
Antenne du Centre d'Océanologie de Marseille, BP 330, F-83507 La Seyne.



Ouvrage bilingue
publié sous la direction de François DOUMENGE
Directeur du Musée océanographique de Monaco
avec le concours d'Anne TOULEMONT

Institut océanographique, Fondation Albert I^{er}, Prince de Monaco

Météo-France, Service Central d'Exploitation de la Météorologie,
Centre de Météorologie Spatiale

Centre National de la Recherche Scientifique,
Centre d'Océanologie de Marseille

Commission Internationale pour l'Exploration
Scientifique de la mer Méditerranée

Mediterranean Oilfield Services

Euro-Mediterranean Centre on Marine Contamination Hazards

Programme des Nations Unies pour l'Environnement
Unité de Coordination du Plan d'Action pour la Méditerranée

MOTS-CLÉS

Mer Méditerranée, mer Noire
Téledétection infrarouge
Circulation de la couche de surface

KEY WORDS

*Mediterranean Sea, Black Sea
Infrared Remote Sensing
Surface Layer Circulation*

© Musée océanographique Monaco 1992

© Météo-France 1992

Tous droits réservés pour tous pays

SOMMAIRE	CONTENTS	Pages
AVANT-PROPOS	<i>FOREWORD</i>	V
INTRODUCTION	<i>INTRODUCTION</i>	1
I - PRINCIPES DE LA TÉLÉDÉTECTION INFRAROUGE DES FRONTS THERMIQUES	<i>I - BASICS OF INFRARED REMOTE SENSING OF THERMAL FRONTS</i>	4
1. Les satellites de la NOAA et le radiomètre AVHRR	1. <i>The NOAA satellites and the AVHRR radiometer</i>	4
2. Restitution des structures thermiques superficielles	2. <i>Generation of sea surface thermal characteristics</i>	7
II - CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE LA CIRCULATION	<i>II - GENERAL FEATURES OF THE CIRCULATION</i>	10
1. La Méditerranée occidentale	1. <i>The western Mediterranean</i>	10
2. La Méditerranée orientale	2. <i>The eastern Mediterranean</i>	13
III - ANALYSE MENSUELLE D' IMAGES REPRÉSENTATIVES	<i>III - MONTHLY ANALYSIS OF REPRESENTATIVE IMAGES</i>	17
IV - CLIMATOLOGIE DES ZONES FRONTALES, CARTES MENSUELLES ET STATISTIQUES	<i>IV - CLIMATOLOGY OF THE FRONTAL AREAS, MONTHLY AND STATISTICAL MAPS</i>	72
1. Climatologie	1. <i>Climatology</i>	72
2. Cartes mensuelles	2. <i>Monthly maps</i>	83
3. Cartes statistiques	3. <i>Statistical maps</i>	121
CONCLUSION	<i>CONCLUSION</i>	146

AVANT PROPOS

Les documents photographiques et cartographiques qui constituent le matériel scientifique de base de cet ouvrage ont été fournis par MÉTÉO-FRANCE.

Les analyses scientifiques, le recueil de l'information et la rédaction des textes et légendes de l'Atlas ont été réalisés au sein de l'équipe de recherche du Centre de Météorologie Spaciale (CMS) de MÉTÉO-FRANCE, en collaboration avec un chercheur du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) affecté au Centre d'Océanologie de Marseille (COM).

La conception, la réalisation éditoriale et la coordination des intervenants ont été assurées par le Cabinet d'Études Techniques Industrielles et d'Innovation Scientifique (CETIIS, Danielle DUCREUX) et par le Service des Éditions scientifiques du Musée océanographique de Monaco.

Enfin, pour l'édition de cet ouvrage, se sont associés au Musée océanographique de Monaco et à la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée (CIESM), l'Unité de Coordination du Plan d'Action pour la Méditerranée du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PAM / PNUE), Mediterranean Oilfield Services (MEDSERV) et Euro-Mediterranean Centre on Marine Contamination Hazards (ECMCH, Foundation for International Studies, University of Malta).

FOREWORD

Photographs and maps which are the underlying scientific material of this work have been provided by MÉTÉO-FRANCE.

Scientific analyses, collection of information, texts and legends of the Atlas, have been made by members of the research team of MÉTÉO-FRANCE / CMS, in collaboration with a scientist from CNRS / COM.

Conception, editorial work and coordination of the contributors have been prepared by CETIIS (Danielle DUCREUX) and the scientific editorship of the Musée océanographique de Monaco.

Finally, United Nations Environment Programme / Co-ordinating Unit for the Mediterranean Action Plan (UNEP/MAP), Mediterranean Oilfield Services (MEDSERV), Euro-Mediterranean Centre on Marine Contamination Hazards (ECMCH) have been associated to the Musée océanographique de Monaco and the International Commission for the Scientific Exploration of the Mediterranean Sea (ICSEM) for the edition of this work.

François DOUMENGE,
Directeur du Musée océanographique de Monaco.

INTRODUCTION

L'étude des fronts thermiques détectés par les radiomètres infrarouge (IR) embarqués sur les satellites a débuté au Centre de Météorologie Spatiale (CMS Lannion) en avril 1979. La première climatologie mensuelle de ces fronts dans l'ensemble de la Méditerranée fut publiée peu après (CHAMPAGNE-PHILIPPE et HARANG, 1982). De 1979 à 1987, les techniques employées au CMS pour produire des cartes des structures thermiques restèrent inchangées ; à la fin de 1987, l'utilisation de machines spécialisées dans le traitement d'image a complètement modifié les techniques et les produits.

Cette longue (par rapport à la durée de vie normale des techniques et des équipements) période de stabilité (1980-1987) a été mise à profit pour essayer de décrire les principales caractéristiques des structures thermiques superficielles en Méditerranée observées quotidiennement, pendant toutes ces années, sur les images du "Advanced Very High Resolution Radiometer" (AVHRR) embarqué sur les satellites de la "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA).

Pendant cette période, beaucoup de mesures *in situ* ont été faites, généralement suscitées par des observations IR, et il est maintenant évident, pour tous les spécialistes, que les mouvements et les phénomènes suggérés par cette imagerie sont effectivement présents en mer ; les caractéristiques trompeuses, telles les taches chaudes rencontrées les jours de calme en été, sont facilement reconnues et ignorées.

En utilisant l'imagerie IR, on doit avoir conscience que la température superficielle de la mer (TSM) mesurée par télédétection, bien que calculée d'après le rayonnement émis par une couche superficielle de quelques μm , est généralement représentative d'une couche plus épaisse. De plus, comme les variations de température sont généralement représentatives des variations de densité, des masses d'eau différentes peuvent être distinguées les unes des autres par télédétection ; les images dans l'IR thermique montrent souvent d'étroites similitudes avec les images obtenues dans des bandes visibles étroites, comme celles du "Coastal Zone Color Scanner" (CZCS). Enfin, le pas d'échantillonnage est bien adapté à la plupart des études océanographiques, ces images IR étant disponibles plusieurs fois par jour (en l'absence de couverture nuageuse).

La connaissance de la variabilité spatiale et

INTRODUCTION

Monitoring of thermal fronts sensed by infrared (IR) radiometers aboard satellites began at the Centre de Météorologie Spatiale (CMS Lannion) in April 1979. The first monthly climatology of these fronts in the whole Mediterranean was published soon after (CHAMPAGNE-PHILIPPE and HARANG, 1982). Between 1979 and 1987, the techniques used at CMS to produce the thermal structure maps remained unchanged until at the end of 1987, the introduction of interactive image processors completely modified the techniques and the products.

This atlas takes the opportunity of this long (with respect to the usual lifetime of techniques and materials) period of stability (1980-1987) to try to describe the main features of the sea surface thermal structures in the Mediterranean Sea which have been observed daily throughout these years in the images of the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) aboard the satellite series of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

During this period, many in situ measurements were made, usually prompted by IR observations, and it is now evident to all specialists that movements and phenomena inferred from this imagery are indeed found at sea ; misleading features, such as the warm spots encountered on calm days during summertime, are easily recognized and ignored.

When dealing with IR imagery, one has to appreciate that the remotely sensed Sea Surface Temperature (SST), although computed from radiations emitted by only a few μm superficial layer, is generally representative of the temperature of a much thicker layer. Furthermore, as temperature variations are usually linked to density variations, different water masses can be distinguished from each other with remote sensing ; thermal IR images often display close similarities with narrow band visible ones, such as those provided by the Coastal Zone Color Scanner (CZCS). Finally, the sampling interval is well suited to most oceanographic studies since IR images are available several times per day (cloudiness permitting).

The knowledge of the spatial and temporal

temporelle des fronts thermiques et de celle de variations thermiques plus faibles est de première importance pour tout problème océanographique ; en effet, la majeure partie de la chaîne alimentaire croît de préférence dans certaines zones ou le long de certains fronts qui ont une signature thermique caractéristique, la propagation du son est fortement modifiée par les gradients de température, et les fronts qui sont induits par des mouvements convergents sont associés à une concentration de matériaux flottants divers. Ainsi, l'ensemble de la communauté océanographique doit trouver un intérêt à ce document écrit par des spécialistes en télédétection et en océanographie dynamique.

Dans un domaine maritime comme la Méditerranée, l'évaporation excède les précipitations de telle sorte que de l'eau d'origine océanique entre par le détroit de Gibraltar ; en progressant dans la mer, cette eau interagit avec son environnement mais, généralement, une couche superficielle de 100-200 m d'eau modifiée d'origine atlantique (MAW) est partout clairement reconnaissable. Principalement sous l'effet de l'évaporation et du refroidissement, un mouvement de convection se développe en hiver ; en Méditerranée orientale, ceci conduit à la formation de l'eau levantine intermédiaire (LIW) qui s'écoule en Méditerranée occidentale et se mélange dans le nord avec MAW pour former l'eau profonde de la Méditerranée occidentale (WMDW). LIW, qui est relativement chaude et salée, et WMDW, progressent ensuite plus ou moins directement vers le détroit de Gibraltar et s'écoulent en profondeur dans l'océan Atlantique.

Sauf en hiver dans les régions particulières où est formée WMDW et où de l'eau homogène peut être rencontrée plus ou moins jusqu'au fond, la température décroît avec la profondeur dans la couche de surface de MAW ; ainsi, tout mouvement d'eau d'une échelle suffisamment grande, associé à des mouvements verticaux dus à l'effet Coriolis, induira des variations de TSM.

Par exemple, une zone de circulation cyclonique, associée à une structure en dôme des isothermes, sera généralement caractérisée par des TSM faibles au centre et plus élevées sur les bords ; ceci étant, dans la région nord de la Méditerranée occidentale où est formée WMDW, la zone centrale peut être plus chaude car LIW, relativement chaude, peut remonter jusqu'à la surface. De même, les tourbillons anticycloniques ont des eaux chaudes et légères au centre ; une autre caractéristique de tels tourbillons est qu'on observe souvent une pénétration en spirale des eaux environnantes plus froides, conduisant ainsi à des signatures très

variability of thermal fronts and of smoother thermal variations is of primary importance in any oceanographic problem considering that a large part of the food chain preferentially grows within some zones or along some fronts which have a common thermal signature, sound propagation is greatly modified by temperature gradients, and those fronts which are induced by convergent movements are associated with concentration of all kinds of floating materials. Therefore, the whole oceanographic community may take advantage of a document written by specialists in remote sensing and dynamical oceanography.

In a sea area like the Mediterranean, evaporation exceeds precipitation so that oceanic water enters through the Strait of Gibraltar ; as it progresses into the sea, it interacts with the surroundings but, generally, a 100-200 m surface layer of Modified Atlantic Water (MAW) is clearly recognizable everywhere. Convection occurs mainly due to evaporation and cooling during wintertime : in the eastern Mediterranean, this leads to the formation of the Levantine Intermediate Water (LIW) which flows into the western Mediterranean and mixes in the north with MAW to form the Western Mediterranean Deep Water (WMDW). LIW, which is relatively warm and salty, and WMDW then progress more or less directly towards the Strait of Gibraltar and flow at depth into the Atlantic Ocean.

Except during wintertime in the specific regions where WMDW is formed and where homogeneous water may be encountered more or less down to the sea bed, the temperature decreases with depth in the surface layer of MAW ; therefore, any water movement of a sufficiently large scale, associated with vertical displacements due to the Coriolis effect, will lead to changes in SST.

For instance, a zone of cyclonic circulation, associated with a doming shape of the isotherms, will be generally characterized by low SST surrounded by higher ones ; nevertheless, in the northern region of the western Mediterranean where WMDW is formed, the central area can be warmer because the relatively warm LIW can rise to the surface. Similarly, anticyclonic eddies have warm, light water in the centre ; another characteristic of such eddies is that surrounding cooler water often spirals inside the eddy, thus leading to very specific signatures. Surface transports can often be followed from one basin to another because the SST

typiques. Les transports d'eau superficielle peuvent souvent être suivis d'un bassin à l'autre car la TSM évolue en permanence en fonction des conditions météorologiques et de mélange.

La TSM subit des variations saisonnières plus importantes en Méditerranée qu'en Atlantique de telle sorte que, en automne et au printemps, il est parfois difficile de différencier l'eau entrante par la température. Ceci étant, la densité de surface en Méditerranée dépend fortement de la salinité, qui est beaucoup moins variable d'une saison à l'autre ; ainsi, même de relativement faibles signatures en TSM, pourvu que leur forme et leur permanence soient caractéristiques de phénomènes océaniques, peuvent être utilisées efficacement pour tracer les mouvements des eaux de surface. De plus, la TSM peut fournir une information de valeur sur la dynamique à des profondeurs relativement grandes : par exemple, il est évident que de larges (100-200 km) tourbillons observés pendant plusieurs mois s'étendent sur de grandes profondeurs (au moins plusieurs centaines de mètres).

L'information IR satellitaire peut donc être utilisée avec différents objectifs. Le but principal de cet atlas est de présenter une analyse statistique des fronts et limites thermiques aux échelles mensuelle et annuelle. On présente d'abord quelques informations de base sur la télédétection IR (Chap. I). Afin d'analyser correctement les caractéristiques de la TSM, il est ensuite nécessaire d'avoir une connaissance élémentaire des phénomènes hydrodynamiques connus en Méditerranée (Chap. II). Pour le bassin ouest, nous avons résumé les résultats déduits d'une analyse cohérente des données *in situ* et par télédétection (MILLOT, 1987). Notre connaissance dans le bassin est n'est pas aussi précise, peut être parce que la signature sur la TSM des phénomènes dynamiques est moins intense, mais aussi parce que les mesures *in situ* sont peu nombreuses et les données satellitaires non encore suffisamment analysées ; schématiquement, la circulation de surface déduite des études les plus récentes semble cohérente avec le schéma proposé il y a quatre-vingts ans par NIELSEN (1912). Nous analysons par la suite quelques images représentatives des caractéristiques rencontrées dans les différentes régions de mois en mois (Chap. III), et enfin nous décrivons les variations mensuelles des zones frontales en Méditerranée (Chap. IV).

Références / References :

- CHAMPAGNE-PHILLIPE M., and L. HARANG, 1982. - Surface temperature fronts in the Mediterranean sea from infrared satellite imagery. - *In* : Hydrodynamics of semi-enclosed seas, J.C.J. Nihoul (ed.), 91-128.
- MILLOT C., 1987. - Circulation in the Western Mediterranean Sea. - *Oceanol. Acta*, **10**, 2 : 143-149.
- NIELSEN J.N., 1912. - Hydrography of the Mediterranean and adjacent waters. - *Rep. Dan. Oceanogr. Exp. Medit.*, **1** : 77-192.

continuously evolves according to the meteorological and mixing conditions.

The SST displays larger seasonal variations in the Mediterranean than in the Atlantic so that, in both spring and autumn, differentiating the incoming surface water by temperature is sometimes difficult. Nevertheless, the surface density in the Mediterranean is strongly dependent on the salinity, which is much less seasonally variable, so that even relatively slight SST signatures, providing their shape and permanence appear oceanographically relevant, can be used effectively to trace the surface water movements. Moreover, SST can provide valuable information about the dynamics at relatively great depths : for instance, it is obvious that large (100-200 km) eddies observed over several months extend to great depths (at least several hundred metres).

Therefore, the IR satellite-derived information can be used with several objectives. The major purpose of this atlas is to make a statistical analysis of the thermal fronts and limits at both monthly and yearly time scales. We first provide basic information on IR remote sensing (Chap. I). In order to correctly analyze the SST features, it is then necessary to have a basic knowledge of the hydrodynamical phenomena known to occur in the Mediterranean Sea (Chap. II). For the western basin, we have synthesized the results obtained from a coherent analysis of in situ and remotely sensed data (MILLOT, 1987). Our knowledge in the eastern basin is not so definite, possibly because the SST signature of the dynamical phenomena might be less intense, but also because in situ measurements are scarce and satellite data sets have not yet been analyzed sufficiently ; basically, the surface circulation deduced from the most recent studies seems coherent with the schema proposed eighty years ago by NIELSEN (1912). After that, we analyze some images representative of the features encountered in the various regions from month to month (Chap. III) and finally we describe the monthly variations of the frontal zones in the Mediterranean Sea (Chap. IV).

I - PRINCIPES DE LA TÉLÉDÉTECTION IR DES FRONTS THERMIQUES

Les satellites polaires de la "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA) constituent une série de satellites météorologiques opérationnels portant des radiomètres à canaux visible et IR. Le premier radiomètre opérationnel adapté à l'analyse des fronts thermiques superficiels a été le VHRR (Very High Resolution Radiometer), en usage sur les prédécesseurs du satellite expérimental TIROS N (i.e. NOAA-2 à NOAA-5). Sa résolution spatiale était de 1 km et sa résolution radiométrique de 0,7 °C dans la bande 10,5-12,5 µm. En dépit de ses caractéristiques radiométriques médiocres, les images produites par le VHRR ont été largement utilisées pour l'identification des fronts superficiels. Les premiers articles significatifs dans ce domaine ont été ceux de LA VIOLETTE (1974) pour l'océan global et de MILLOT (1979) pour la Méditerranée.

Avec une résolution radiométrique de 0,1 °C et la même résolution spatiale, l'AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a représenté une amélioration majeure pour l'identification des fronts thermiques superficiels. De telles caractéristiques permettent en effet le tracé de fronts définis par un gradient local supérieur ou égal à 1 °C / 5 km. Cette définition peut paraître un peu arbitraire, elle correspond toutefois à la signature thermique de la plupart des phénomènes d'échelle moyenne (quelques dizaines à centaines de km, quelques jours à quelques mois) qui sont observés en Méditerranée.

1. Les satellites de la NOAA et le radiomètre AVHRR

Le premier AVHRR a été lancé à bord du satellite TIROS N en octobre 1978 (tab. 1) et l'analyse opérationnelle des structures superficielles à partir d'images AVHRR canal 4 (tab. 2) a démarré au CMS en 1979. L'AVHRR a été régulièrement lancé depuis à bord des satellites de la série NOAA (de NOAA-6 à NOAA-11). Ces satellites ont une orbite quasi polaire, héliosynchrone, avec une période orbitale de 102 min ; le tableau 1, d'après KIDWELL (1991), en décrit les principales caractéristiques. Un satellite "pair" (NOAA-6, 8...) et un satellite "impair" (NOAA-7, 9, 11...) sont utilisés simultanément. Les données

I - BASICS OF IR REMOTE SENSING OF THERMAL FRONTS

The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) is operating a series of polar orbiting satellites carrying visible and IR radiometers. The Very High Resolution Radiometer (VHRR) which was flown aboard the predecessors of TIROS-N (i.e. NOAA-2 to NOAA-5) was the first operational radiometer to meet the requirements of surface thermal front analysis, with a space resolution of approximately 1 km and a radiometric resolution of 0.7 °C in the 10.5-12.5 µm spectral range. In spite of its poor radiometric characteristics, the VHRR images have been extensively used for the identification of surface thermal fronts. The first substantial oceanographic papers in this field were those of LA VIOLETTE (1974) for the global ocean, and MILLOT (1979) for the Mediterranean Sea.

With a radiometric resolution of about 0.1 °C, and the same spatial resolution, the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) brought a major improvement in the mapping of sea surface thermal features. Such characteristics allow thermal fronts defined by a local gradient equal to or greater than 1 °C / 5 km to be mapped. This (rather arbitrary) definition corresponds to the thermal signature of most of the mesoscale phenomena (a few tens to hundreds km, several days to months) which are observed in the Mediterranean Sea.

1. The NOAA satellites and the AVHRR radiometer

The first AVHRR was launched on board TIROS-N in October 1978 (Tab.1) and the operational (daily) analysis of the sea surface structures started at CMS using the AVHRR channel 4 images (Tab. 2) in 1979. The AVHRR has then been regularly flown on board the NOAA series of satellites (NOAA-6 to NOAA-11). These satellites are operating in a near polar, sun-synchronous orbit, with an orbital period of 102 min ; Table 1, after KIDWELL (1991), describes their major characteristics. One «even» (NOAA-6, 8...) and one «odd» (NOAA-7, 9, 11...) satellites operate simultaneously. The NOAA-7, 9 and 11 data have

I. Basics of IR remote sensing of thermal fronts

des satellites NOAA-7, 9, 11 sont reçues au CMS soit au cours de la seconde partie de la nuit (orbite de nuit ou descendante) ou au cours de l'après-midi (orbite de jour ou ascendante). Les données des NOAA-6, 8 et 10 correspondent à des conditions de début (orbites descendantes) ou de fin (orbites montantes) de journée. Le tableau 2 (PLANET, 1988) résume les caractéristiques de l'AVHRR.

thus been received at CMS either during the night (night-time or descending orbits) or during the afternoon (daytime or ascending orbits). The NOAA-6, 8 and 10 data correspond either to dawn conditions (descending orbits) or dusk conditions (ascending orbits). Table 2 (from PLANET, 1988) summarizes the AVHRR characteristics.

Satellite	Ascending node (L.S.T.)	Date range
Tiros N	15.00	19/10/1978 30/01/1980
NOAA-6	19.30	27/06/1979 05/03/1983 03/07/1984 16/11/1986
NOAA-7	14.30	19/08/1981 07/06/1986
NOAA-8	19.30	20/06/1983 12/06/1984 01/07/1985 31/10/1985
NOAA-9	14.20	25/02/1985 07/11/1988
NOAA-10	19.30	17/11/86 - Present
NOAA-11	13.40	08/11/88 - Present

Table 1. The NOAA series of satellites.

Channel	AVHRR/1	AVHRR/2
3	3.55 - 3.93 μm	3.55 - 3.93 μm
4	10.5 - 11.5 μm	10.5 - 11.5 μm
5		11.5 - 12.5 μm
AVHRR/1 : TIROS N, NOAA-6, 8, 10 AVHRR/2 : NOAA-7, 9, 11 Cross track scan : +/-55.4° from nadir Line rate : 360 lines/min Optical field of view : 1.3 milliradian Ground resolution : 1.1 km at nadir IR channel NEdT : <0.12 °K at 300 °K		

Table 2. AVHRR IR channel characteristics.

I. Basics of IR remote sensing of thermal fronts

Les données AVHRR utilisées au CMS pour l'analyse des TSM sont les données HRPT (High Resolution Picture Transmission) qui ne peuvent être acquises que lorsque le satellite est en vue directe de la station de réception. La zone géographique couverte est donc restreinte à la zone d'acquisition du CMS (horizon local pour un satellite à 833 km d'altitude). En conséquence, les données NOAA disponibles au CMS sont limitées à l'Afrique du Nord, l'Europe et les mers adjacentes. On peut remarquer sur la figure 1 que la partie orientale de la Méditerranée ne sera observée que sous des angles d'incidence élevés.

The AVHRR data which are used at CMS for SST mapping are the High Resolution Picture Transmission (HRPT) data which are transmitted while acquired and received at CMS when the satellite is within the NOAA satellite acquisition circle, i.e. the local horizon corresponding to the altitude of the satellite (833 km). As a consequence, the NOAA data available at CMS are restricted to North Africa, Europe and the adjacent seas. It can be seen in Figure 1 that the easternmost part of the Mediterranean Sea is observed only under high incidence angles.

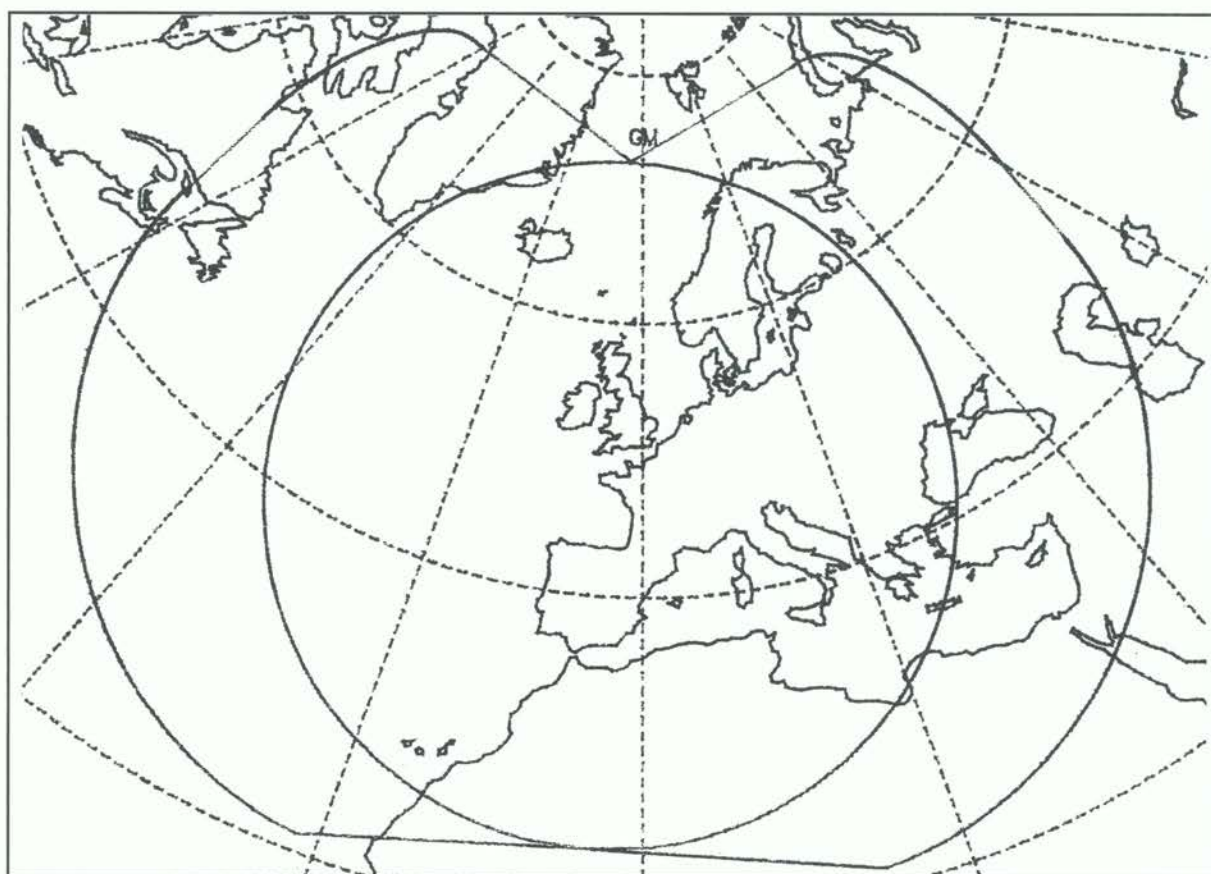


Figure 1 : Lannion local horizon (833 km altitude orbit) and AVHRR acquisition area.

Une phase d'acquisition au CMS consiste en une série de 3 orbites comme indiqué sur la figure 2. La fauchée de l'AVHRR est de 3000 km environ, et la distance entre 2 traces d'orbites permet une couverture complète de notre zone avec 3 orbites (2 suffisent en général pour couvrir la Méditerranée), avec un recouvrement notable des zones balayées au nord de la zone d'acquisition. Les traces d'orbites dérivent dans le temps, ce qui signifie qu'un même point sera vu sous des angles de visée variables.

An acquisition phase in Lannion consists of a series of 3 orbits as shown in Figure 2. The AVHRR swath width is about 3000 km and the distance between two orbital tracks allows a complete coverage of our acquisition zone with 3 orbits (2 are generally sufficient for the mapping of the Mediterranean Sea) alone, with a noticeable overlapping of the scanned area in the northern part of the acquisition zone. The orbit tracks drift with time, which means that a point will be seen under varying viewing angles.

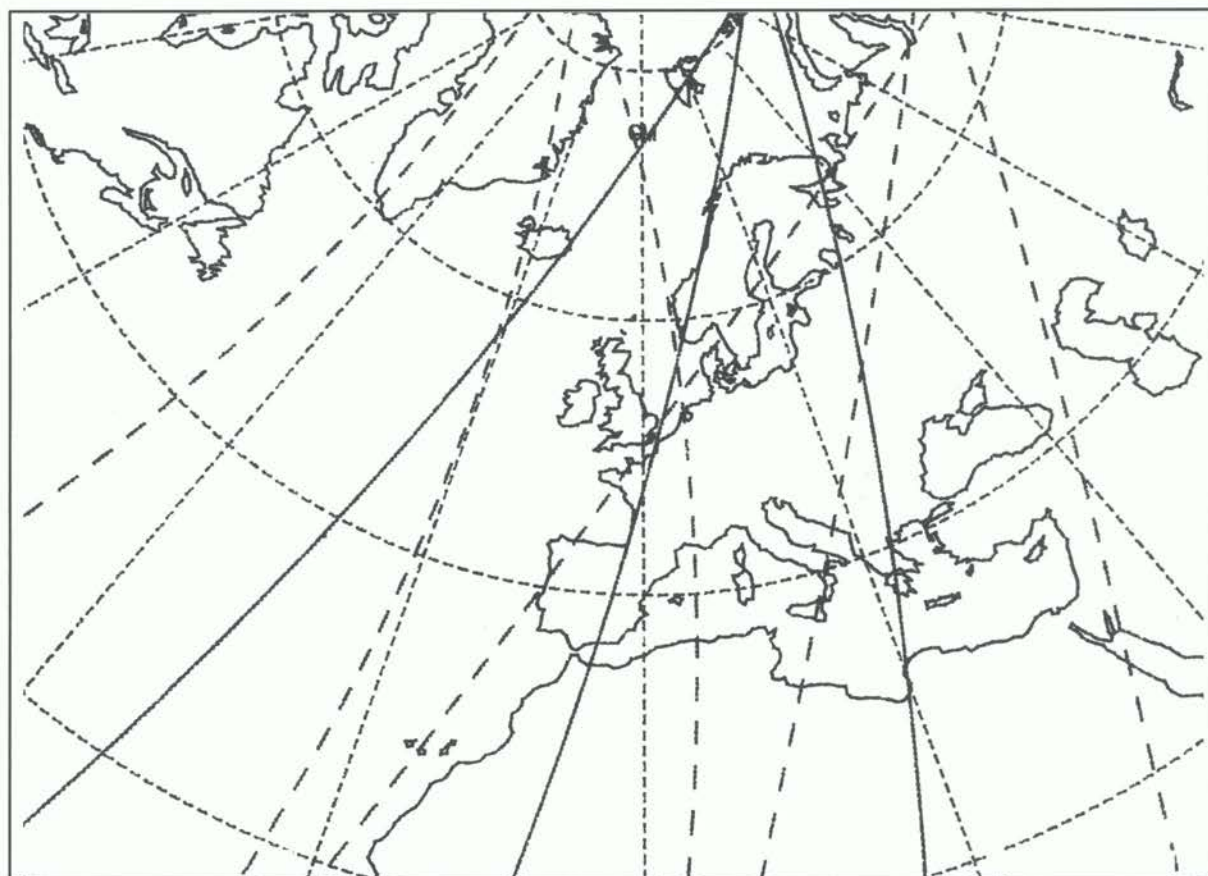


Figure 2 : Example of track (continuous line) and AVHRR swath (dashed line) of 3 successive NOAA night time orbits.

2. Restitution des structures thermiques superficielles

Pendant la période concernée par cet atlas (1980-1987), l'analyse quotidienne des structures thermiques superficielles a été faite sur des films photographiques noir et blanc imprimés par un faisceau laser (procédé VIZIR). La taille de ces films permet la présentation en pleine largeur (3000 km) d'une portion d'orbite correspondant aux 4 min d'acquisition (2000 km) nécessaires, en général, pour couvrir la Méditerranée.

L'analyse des structures thermiques a été faite de la manière suivante : les gradients sont estimés visuellement en fonction des teintes de gris des pixels adjacents ; les fronts sont identifiés comme correspondant à des gradients supérieurs à $1\text{ }^{\circ}\text{C} / 5\text{ km}$, les limites thermiques correspondent à des gradients supérieurs à $0,5\text{ }^{\circ}\text{C} / 5\text{ km}$. Différentes grilles sont ensuite utilisées pour tracer en projection Mercator les structures identifiées sur les images.

La bande spectrale du canal 4 ($10,5 - 11,5\text{ }\mu\text{m}$) a été choisie pour minimiser l'atténuation

2. Generation of sea surface thermal characteristics

During the time period of this atlas (1980-1987), "Vizir" film, produced by a high precision laser printer, was the basic instrument used for the daily frontal analysis. The size of the film allows the presentation of a full width (3000 km) image of a portion of orbit corresponding to 4 min of acquisition (2000 km) which is, in general, necessary to cover the Mediterranean Sea.

The analysis of the thermal structures has been made as follows : gradients are visually estimated according to the shades of adjacent pixels, fronts are identified as gradients larger than $1\text{ }^{\circ}\text{C} / 5\text{ km}$, and thermal limits correspond to gradients larger than $0.5\text{ }^{\circ}\text{C} / 5\text{ km}$. Various grids are then used to plot the features identified on the pictures onto a Mercator projection.

The spectral range of the AVHRR channel 4 ($10.5 - 11.5\text{ }\mu\text{m}$) was chosen to minimize the

1. Basics of IR remote sensing of thermal fronts

par l'atmosphère du signal émis par la surface. La transmittance atmosphérique au nadir dans ce canal peut cependant varier de 0,8 à 0,6 pour des contenus en vapeur d'eau importants. En première approximation, la différence entre les températures radiatives du canal 4 mesurées en deux points A et B peut s'exprimer comme :

$$T_{4A}-T_{4B} = t_4 * (T_{5A}-T_{5B})$$

où T_{4A} et T_{4B} sont les températures radiatives du canal 4 en A et B, T_{5A} et T_{5B} sont les TSM *in situ*, et t_4 est la transmittance atmosphérique du canal 4. Les gradients observés sur une image canal 4 sont donc réduits par rapport aux gradients effectifs.

Une méthode classique de correction de cet effet atmosphérique utilise une technique multispectrale : la température radiative du canal 4 est corrigée par un terme dépendant linéairement de la différence des températures radiatives dans les canaux 4 et 5. Ces méthodes "split window" ont été largement décrites (DESCHAMPS et PHULPIN, 1980 ; McMILLIN et CROSSBY, 1984) et appliquées opérationnellement (McCLAIN *et al.*, 1985 ; CASTAGNÉ *et al.*, 1986).

L'algorithme utilisé au CMS est le suivant :

$$T_S = T_4 + 2 * (T_4 - T_5) + 0,5$$

où T_S , T_4 et T_5 sont la TSM et les températures radiatives des canaux 4 et 5 exprimées en °C.

Le terme multiplicatif de cette expression a été obtenu à partir de l'élimination d'artefacts atmosphériques sur des combinaisons d'images des canaux 4 et 5 ; la constante résulte de l'ajustement statistique de TSM satellitaires et de mesures *in situ* (CHAMPAGNE-PHILLIPE, 1983), ce qui donne aux TSM calculées par cette expression le sens de températures de surface moyennes et non pelliculaires.

La précision de cet algorithme a été régulièrement contrôlée au CMS à l'aide de mesures *in situ* de qualité. Le biais observé est négligeable et l'écart-type de l'ordre de 0,5 °C. On ne doit cependant pas oublier la nature fondamentalement différente des deux mesures : la TSM satellitaire est intégrée sur la surface du pixel, tandis que la mesure *in situ* est une mesure ponctuelle.

L'application de cette technique split window pose cependant deux problèmes principaux. Premièrement, elle nécessite la disponibilité d'un canal 5 distinct du canal 4, ce qui, jusqu'ici, n'a été

attenuation of the surface signal by the atmosphere. The atmospheric transmittance at nadir in this channel may however vary from 0.8 down to 0.6 when water vapour content is high. To a first approximation, the difference between the channel 4 radiative temperatures measured at two points A and B may be expressed as :

$$T_{4A}-T_{4B} = t_4*(T_{5A}-T_{5B})$$

where : T_{4A} and T_{4B} are the channel 4 radiative temperatures at A and B ; T_{5A} and T_{5B} are the in situ SST and t_4 is the atmospheric transmittance in channel 4. The gradients observed in a channel 4 image are thus reduced with respect to the effective gradients.

*An usual way to correct for this atmospheric effect is to use a multi channel technique : the channel 4 radiative temperature is corrected by a term depending linearly on the difference of radiative temperatures in channel 4 and 5. These "split window" methods have been widely described (DESCHAMPS and PHULPIN, 1980 ; McMILLIN and CROSSBY, 1984) and applied on an operational basis (McCLAIN *et al.*, 1985 ; CASTAGNÉ *et al.*, 1986).*

The algorithm in use at CMS is the following :

$$T_S = T_4 + 2*(T_4 - T_5) + 0.5$$

where T_S , T_4 and T_5 are the SST and channel 4 and 5 radiative temperatures expressed in °C.

The multiplicative factor in this expression was determined by eliminating atmospheric artefacts on channel 4 and 5 combined images ; the constant results from a statistical adjustment of satellite derived SST's and in situ measurements (CHAMPAGNE-PHILLIPE, 1983), which gives to the SST's computed from this expression the meaning of bulk surface temperatures (and not that of skin temperatures).

The precision of this algorithm has been regularly checked at CMS with quality-controlled in situ temperatures. The bias observed is negligible and the standard deviation is about 0.5 °C ; however, it must be remembered that the two measurements are fundamentally different, the satellite SST is spatially integrated over the pixel, while the in situ SST is the local temperature.

Nevertheless, applying this split window technique raises two major problems. Firstly, it needs the availability of a channel 5 distinct from channel 4, which, so far, has been the case only for

I. Basics of IR remote sensing of thermal fronts

le cas que de NOAA-7, 9 et 11. Deuxièmement, la combinaison de deux images accroît le bruit dans l'image résultante. Le choix d'étudier les structures thermiques sur les images canal 4 ou sur les images TSM n'est donc pas évident (on trouvera une discussion de ce point dans LA VIOLETTE et HOLYER, 1988).

Seules les orbites de nuit sont utilisées au CMS pour analyser les structures de surface. En effet pendant la journée et par vent d'une vitesse inférieure à quelques m/s, le réchauffement solaire peut produire des taches chaudes de plusieurs dizaines de km, ce qui peut masquer les structures permanentes. Ces taches chaudes présentent des anomalies de température de plusieurs °C dans la couche superficielle de la mer (quelques dizaines de cm à 1 m, voir par exemple SAUNDERS *et al.*, 1982, et DESCHAMPS et FROUIN, 1984).

Lorsque l'on utilise les orbites de nuit, la discrimination mer/nuage est parfois difficile en raison de l'absence de l'information visible. L'identification des zones claires est alors basée exclusivement sur des considérations de température. Deux cas sont particulièrement délicats : les nuages bas dont la température est voisine de celle de la mer, et les nuages de sable. Dans ces cas où les seuils en température sont inefficaces, l'analyste doit se fier à sa connaissance *a priori* des structures usuelles de la zone pour détecter la présence de phénomènes atmosphériques.

NOAA-7, 9, and 11. Secondly, the linear combination of two images increases the noise in the resulting image. The choice between studying the sea surface thermal structures in channel 4 images or in SST calibrated images is not straightforward (see a discussion of this point in LA VIOLETTE and HOLYER, 1988).

Night-time orbits only are used at CMS to analyse the surface structures. During the day, and when wind speed is lower than a few m/s, solar heating may produce warm patches of several tens of km, which can mask the permanent structures. These warm patches present temperature anomalies of several °C in the upper layer of the sea (a few tens of cm to 1 m, see for instance SAUNDERS *et al.*, 1982, and DESCHAMPS and FROUIN, 1984).

When using night-time orbits, the sea/cloud discrimination is sometimes difficult since the visible channels are not available. The identification of cloud-free areas is then based exclusively on temperature considerations. Two cases remain particularly difficult to resolve : low clouds whose temperatures are close to that of the sea, and sand clouds. In these cases where temperature thresholding is useless, the analyst has to rely upon his *a priori* knowledge of the usual patterns of the area to decide whether or not the images are affected by atmospheric phenomena.

Références / References :

- CASTAGNÉ N., P. LE BORGNE, J. LE VOURCH and J.-P. OLYR, 1986. - Operational measurements of sea surface temperatures at CMS Lannion from NOAA-7 AVHRR data. - *Int. J. Remote Sensing*, **7**, 8 : 953-984.
- CHAMPAGNE-PHILLIPE M., 1983. - Validation d'un algorithme de correction de SST et restitution de champs sur l'Atlantique NE. - *La Météorologie*, VIème série, 33.
- DESCHAMPS P.Y., and R. FROUIN, 1984. - Large diurnal heating of the sea surface observed by the HCMR experiment. - *J. Phys. Oceanogr.*, **14**, 1 : 177-184.
- DESCHAMPS P.Y., and T. PHULPIN, 1980. - Atmospheric correction of infrared measurements of sea surface temperature using channels at 3.7, 11, and 12 mm. - *Boundary Layer Meteorol.*, **18** : 131-143.
- KIDWELL K.B., 1991. - NOAA polar orbiter data users guide. - NOAA/NESDIS, National Climatic data Center, Washington, D.C.
- LA VIOLETTE P.E., 1974. - A satellite-aircraft thermal study of the upwelled waters off Spanish Sahara. - *J. Phys. Oceanogr.*, **4** : 676-684.
- LA VIOLETTE P.E., and R.J. HOLYER, 1988. - Noise and temperature gradients in multichannel sea surface temperature imagery of the ocean. - *Remote Sens. Environ.*, **25** : 231-241.
- MCCLAIN E.P., W.G. PICHEL, and C.C. WALTON, 1985. - Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures. - *J. Geophys. Res.*, **90**, C6 : 11587-11601.
- McMILLIN L.M., and D.S. CROSSBY, 1984. - Theory and validation of the multiple window sea surface temperature technique. - *J. Geophys. Res.*, **89**, C3 : 3655-3661.
- MILLOT C., 1979. - Wind induced upwelling in the Gulf of Lions. - *Oceanol. Acta*, **2**, 3 : 261-274.
- PLANET W.C., 1988. - Data extraction and calibration of TIROS N/NOAA radiometers. - NOAA Technical Memorandum NESS 107, NOAA/NESDIS, Washington D.C.
- SAUNDERS R.W., N.R. WARD, C.F. ENGLAND, and G.E. HUNT, 1982. - Satellite observations of Sea Surface Temperature around the British Isles. - *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **63**, 3 : 267-272.

II. Caractéristiques générales de la circulation

II. General features of the circulation

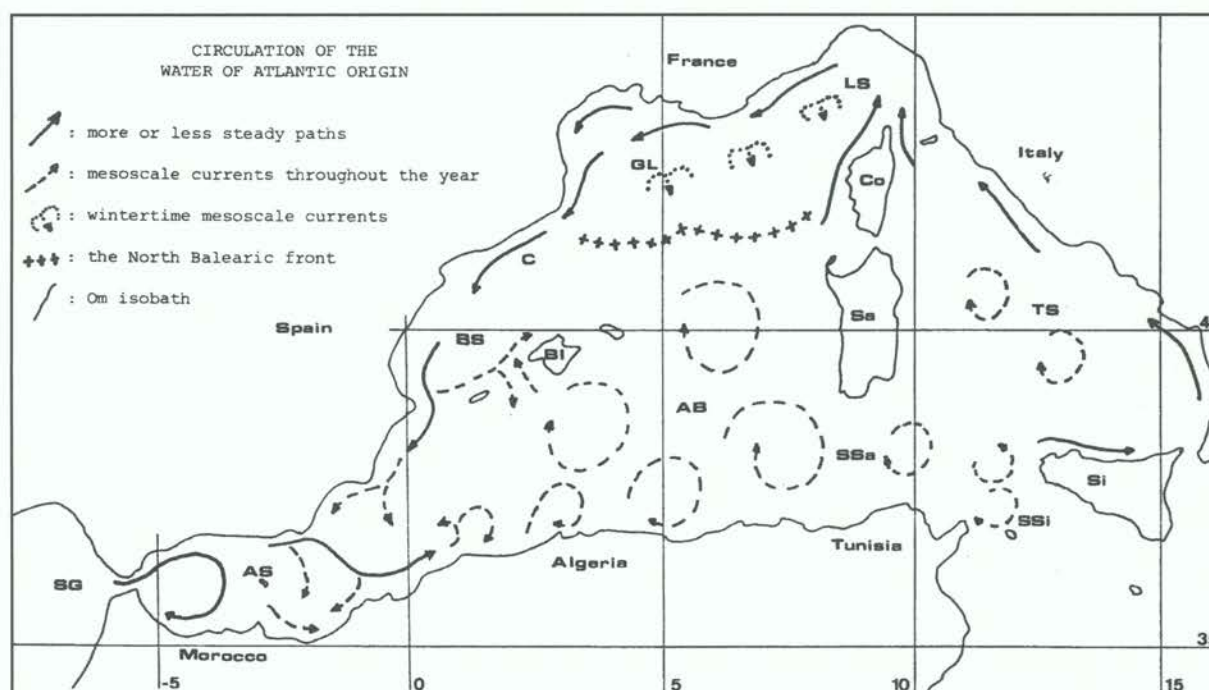


Figure 3 : Circulation of the water of Atlantic origin (MILLOT, 1987)

II - CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE LA CIRCULATION

1. La Méditerranée occidentale (fig. 3 d'après MILLOT, 1987)

Le circuit anticyclonique de l'eau d'origine atlantique (dénommée MAW par la suite) dans la partie ouest de la mer d'Alboran (5° W - 3° W) est un des phénomènes les plus étudiés de l'ensemble de la Méditerranée. Les raisons de l'existence d'un tel circuit telles que, par exemple, l'orientation du détroit de Gibraltar ou le gradient horizontal du courant entrant, ne sont pas définitivement reconnues. Il est maintenant évident que, bien que toujours anticyclonique, ce circuit présente une grande variabilité à des échelles de temps allant du jour au mois, tant en dimension, qu'en forme, intensité et localisation. Ce circuit est associé à un intense phénomène d'upwelling sur son bord nord.

La circulation dans la partie est de la mer d'Alboran (3° W - 1° W) est parfois cyclonique, parfois anticyclonique. Quand elle est cyclonique, la plupart de la veine de MAW suit la pente continentale africaine. Mais généralement, la circulation est anticyclonique avec une veine bien

II - GENERAL FEATURES OF THE CIRCULATION

1. The western Mediterranean (Fig. 3 from MILLOT, 1987)

The anticyclonic gyre described by the Atlantic Water (named MAW hereafter) in the western Alboran Sea (5° W - 3° W) is one of the most investigated phenomena in the whole Mediterranean. The reasons for such a gyre, such as, for instance, the orientation of the Strait of Gibraltar or the horizontal shear of the incoming current, are still not definitively known. It is now obvious that, although always anticyclonic, this gyre displays large variability at time scales from days to months, in extent, shape, strength and location. It is associated with an intense upwelling phenomenon on its northern edge.

The circulation in the eastern Alboran Sea (3° W - 1° W) is sometimes cyclonic, sometimes anticyclonic. When cyclonic, most of the vein of MAW follows the African continental slope. Most of the time however, the circulation is anticyclonic with a well-defined vein flowing along the Spanish coast

II. General features of the circulation

définie coulant le long de la côte espagnole et traversant la mer du cap de Gata (2° W) vers le voisinage d'Oran en Algérie (1° W) ; cette veine est caractérisée sur son bord gauche par une très nette structure frontale, le front Almería-Oran. La plupart de l'écoulement progresse ensuite vers l'est, tandis qu'une faible partie tourne vers l'ouest, fermant ainsi un circuit anticyclonique. Cette circulation anticyclonique est parfois plus complexe avec un écoulement de MAW qui se divise en plusieurs branches en traversant la mer.

Dans le bassin Algérien, il est évident depuis longtemps que les courants géostrophiques montrent une très forte variabilité spatiale. La veine de MAW reste généralement le long de la côte vers 0° , tandis que des instabilités apparaissent à partir de $1-2^{\circ}$ E. Elles engendrent des tourbillons des deux signes qui dérivent vers l'est, mais apparemment seuls les tourbillons anticycloniques croissent. Un upwelling, certainement non induit par le vent, est engendré entre une paire de tourbillons se développant près de la côte ; de tels upwellings dérivent aussi vers l'est et ont une échelle spatiale et temporelle suffisamment grande pour leur permettre d'être biologiquement productifs (caractéristique confirmée par l'imagerie CZCS). On suppose que certains tourbillons peuvent se détacher de la côte et dériver pendant des semaines et des mois à l'intérieur du bassin. Des situations quelque peu différentes peuvent être rencontrées, comme en 1984 lorsqu'on a observé, au large des côtes algériennes, un très gros tourbillon (diamètre de 200 km), dont l'origine reste à préciser, déviant la veine de MAW directement des environs d'Alger (3° E) vers les îles Baléares. Quoi qu'il en soit, le bassin Algérien apparaît être un réservoir dans lequel MAW est accumulée, formant ainsi une zone-tampon qui déconnecte le flux d'eau océanique entrant par le détroit de Gibraltar du flux d'eau fortement modifiée (par upwelling et mélange) qui sort du bassin par le canal de Sardaigne et vers la mer Ligure.

Le front nord-Baléares délimite l'extension vers le nord de la couche de MAW ; il a donc une extension verticale de près de 200 m. Il apparaît être déformé par des phénomènes de moyenne échelle engendrés principalement ailleurs, et il serait intéressant de rechercher, à partir de cartes telles que celles reproduites ici, si l'on peut observer un déplacement saisonnier de sa localisation (cette notion pourrait résulter du rapport entre la quantité de MAW qui remplit le réservoir dans le sud et celle qui contribue à la formation de WMDW dans le nord).

De gros (environ 100 km de diamètre) tourbillons anticycloniques observés jusque vers $8-9^{\circ}$ E

and jumping across the sea from the Cape of Gata (2° W) to the vicinity of Oran in Algeria (1° W) ; this vein is characterized on its left-hand side by a very sharp frontal structure, the so-called Almeria-Oran front. The major part of the flow then progresses eastwards, while a minor part turns westwards, thus closing an anticyclonic gyre. On some occasions, this anticyclonic circulation may be more complex with the flow of MAW across the sea dividing into several branches.

In the Algerian Basin, it has long been obvious that geostrophic currents display large spatial variability. Most of the time, the vein of MAW stays along the coast near 0° while evidences of its instability are visible from $1-2^{\circ}$ E. Eddies of both signs are generated that drift eastwards, but only the anticyclonic ones have been observed to increase in size. Upwelling (definitively not wind-induced) is generated between a pair of eddies developing near the coast ; such upwellings drift eastwards too and have a sufficiently large space and time scale to be biologically productive (a feature supported by the CZCS imagery). Some eddies are expected to detach from the coast and drift for weeks to months in the open basin. Somewhat different situations may be encountered, as in 1984 when a very large eddy (about 200 km in diameter), the origin of which is still to be determined, was observed off the Algerian coast deflecting the vein of MAW directly from the vicinity of Algiers (3° E) towards the Balearic Islands. In any case, the Algerian Basin appears to be a reservoir in which MAW is amassed, thus forming a buffer zone which disconnects the flow of oceanic water entering through the Strait of Gibraltar from the flow of highly modified (by upwelling and mixing phenomena) water exiting the basin through the Sardinian channel and into the Ligurian Sea.

The North Balearic front delineates the northward extent of the MAW layer ; therefore, it has a vertical extent of about 200 m. It appears to be disturbed by mesoscale phenomena mainly originating from elsewhere, and it would be interesting to investigate, with maps such as the ones displayed herein, whether a seasonal shift of its location can be observed (conceptually, this is possible according to the amount of MAW filling the reservoir in the south and that contributing to the formation of WMDW in the north).

Large (about 100 km in diameter) anticyclonic eddies observed as far east as $8-9^{\circ}$ E

II. General features of the circulation

pourraient donc résulter de l'instabilité du courant Algérien. Ainsi, à l'entrée du canal de Sardaigne, l'écoulement vers l'est de MAW est modulé par des événements sporadiques en forme de tourbillons. Ces gros tourbillons anticycloniques ont une grande extension verticale et, à cause de profondeurs sensiblement réduites, ils ne peuvent se propager à l'est de 9° E sans modifier fortement leur structure. Ainsi, entre la Sardaigne, la Tunisie et la Sicile, la turbulence dans la couche de surface subit une cascade vers des échelles plus petites et de nombreux tourbillons désorganisés sont rencontrés dans cette région. Environ un tiers du flux de surface pénètre en mer Tyrrhénienne, les deux autres tiers se répandant vers le sud dans le détroit de Sicile.

En mer Tyrrhénienne, seuls quelques phénomènes ont une signature marquée sur la TSM. Généralement, les phénomènes visibles sont l'écoulement de MAW entrant dans la mer le long des côtes nord de Sicile et le refroidissement, à l'est des Bouches de Bonifacio, induit par les vents d'ouest et associé à une circulation cyclonique. Le long du continent, la courbure des panaches issus des rivières révèle souvent une circulation vers le nord, ce qui est en accord avec les mesures *in situ* dans le canal de Corse. Le long des côtes ouest de cette mer, il n'y a aucune indication d'une quelconque circulation permanente. Au large des côtes sud de la Sardaigne, on observe souvent un phénomène d'upwelling induit par les vents de nord-ouest, mais un déplacement vers l'ouest des eaux de surface n'est pratiquement jamais révélé par les images IR. Cela signifie que MAW quitte la mer Tyrrhénienne principalement par le canal de Corse et que la circulation moyenne dans l'intérieur de la mer est faible. Il y a ici un réchauffement général des eaux de surface dû à des conditions météorologiques clémentes.

A l'intérieur du réservoir de MAW que constitue le bassin Algérien, aucune circulation permanente ne peut se développer et la plupart des courants les plus intenses sont dus aux tourbillons de moyenne échelle précédemment décrits. A proximité du coin nord-est de ce réservoir, c'est-à-dire dans le secteur défini par le front nord-Baléares et les côtes de Sardaigne et de Corse, l'eau de surface s'écoule vers la mer Ligure et forme le courant ouest-Corse. Les processus d'instabilité qui affectent ce courant engendrent parfois des tourbillons anticycloniques de quelques dizaines de km de diamètre. Les flux en surface sont vers le nord de part et d'autre de la Corse, mais l'eau est plus chaude à l'est qu'à l'ouest ; ces eaux interagissent de manière turbulente et se mélangent dans le golfe de Gênes pour former le courant Nord.

probably result from the instability of the Algerian current as described above. Therefore, at the entrance of the Sardinian channel, the eastward flow of MAW is modulated by eddy shaped sporadic events. These large anticyclonic eddies have a deep extent and, because the bottom depth there reduces significantly, they cannot propagate eastwards of 9° E without large modifications of their structure. Thus, between Sardinia, Tunisia and Sicily, the turbulence in the surface layer undergoes a cascade to smaller scales and numerous disorganized eddies a few tens of kilometers in diameter are seen in this region. About one third of the surface flow enters the Tyrrhenian Sea, the other two thirds spreading southwards through the Strait of Sicily.

*Only some dynamical phenomena in the Tyrrhenian Sea have a marked SST signature. Generally, the visible phenomena are the MAW flow entering the sea along the northern Sicilian coast and the cooling induced by the westerly winds east of the Strait of Bonifacio, which is associated with a cyclonic circulation. Along the continental coast, the curvature of the river plumes often reveals a northward circulation, a feature supported by *in situ* measurements in the Corsican Channel. Along the western side of the sea there is no clear indication of any permanent circulation. Off the southern coast of Sardinia, water upwelled by the northwesterly winds is frequently encountered, but a westward flow of surface water is practically never shown by IR data. This means that MAW exits the Tyrrhenian Sea mainly through the Corsican Channel and that the mean circulation in the interior of the sea is weak. There is a general heating of the surface water due to mild meteorological conditions.*

Inside the reservoir of MAW that is the Algerian Basin, no steady flow is likely to occur and most of the intense currents are linked to the mesoscale eddies already described. In the vicinity of the northeastern corner of this reservoir, that is in the sector defined by the North Balearic front and the coasts of Sardinia and Corsica, the surface water drains towards the Ligurian Sea and forms the Western Corsican current. Instability processes affecting this current sometimes generate anticyclonic eddies a few tens of km in diameter. Surface flows are northward on both sides of Corsica but the eastern water is warmer than the western ; they interact turbulently and mix together in the Gulf of Genoa to form the Northern current.

II. General features of the circulation

Le courant Nord et le courant Algérien ont des flux approximativement similaires mais leur structure (rapport largeur-profondeur, distribution des vitesses...) et les processus d'instabilité associés sont très différents. Le courant Nord est principalement affecté par des méandres, dont la longueur d'onde peut atteindre une centaine de km, mais qui n'évoluent jamais en phénomène de type-tourbillon. En quelques occasions, on a observé des tourbillons cycloniques sur le bord extérieur de ce courant, mais le type le plus spectaculaire d'événement instable que ce courant induit est une vraie branche (observée plusieurs fois en 1979 et 1981) s'étendant des côtes de Provence vers le large jusqu'à la zone côtière de la Corse.

Sur le plateau continental du golfe du Lion, la circulation tend à être vers le sud-ouest, mais des vents de nord-ouest forts et fréquents (le mistral et la tramontane) induisent des courants intenses et complexes distribués autour de six zones d'upwelling. Tandis que le courant Nord suit la pente continentale le long des côtes de Provence et à travers le golfe du Lion, sa température de surface est réduite du fait de l'homogénéisation induite par le vent et du mélange avec les eaux d'upwelling. Au large des côtes françaises en hiver, une certaine quantité de MAW et de LIW se mélangent pour former WMDW.

Le courant Nord se resserre et accélère quand il rencontre la côte espagnole, puis il coule vers le sud-ouest le long de la pente continentale en mer Catalane. Ensuite, une partie du flux pourrait être défléctée vers le nord-est par les îles Baléares, mais la plupart reste vraisemblablement le long du bord ouest de la mer. Quelles que soient les trajectoires, cet écoulement rentre dans le bassin Algérien en engendrant des phénomènes turbulents complexes. De plus, MAW s'écoulant tout autour de la Méditerranée occidentale subit l'influence de divers processus de mélange et d'effets météorologiques entraînant des fluctuations de sa température, tandis que sa salinité augmente plus ou moins continûment ; l'eau issue de la mer Catalane se déchargeant dans le bassin Algérien ne peut donc être aisément distinguée par sa TSM.

2. La Méditerranée orientale (fig. 4 d'après NIELSEN, 1912)

Une revue récente de nos connaissances sur la Méditerranée orientale publiée par MALANOTTE-RIZZOLI et HECHT (1988) établit que les observations concernant la circulation de surface ne sont pas très précises, sauf peut-être dans quelques régions comme

The Northern current and the Algerian current have roughly similar fluxes but their structures (width-depth ratio, speed distribution, etc) and the associated instability processes are markedly different. The Northern current is mainly affected by meanders up to one hundred kilometers in wavelength which never evolve into eddy-like phenomena. On a few occasions, a cyclonic eddy was observed on the outer edge of this current, but the most spectacular kind of unstable event it induces is an authentic branch (observed several times in 1979 and 1981) extending seawards from the coast of Provence as far as the Corsican coastal zone.

On the continental shelf of the Gulf of Lions, the circulation tends to be southwestwards but strong and frequent northwesterlies (the Mistral and the Tramontane) induce intense and complex currents distributed around six zones of upwelling. While the Northern current follows the continental slope along the coast of Provence and across the Gulf of Lions, its surface temperature is reduced by wind-induced homogenization and mixing with upwelled water. Off the French coast during wintertime, some MAW and LIW mix to form MDW.

The Northern current narrows and accelerates when it encounters the Spanish coast, and then flows southwestwards along the continental slope into the Catalan Sea. Afterwards, a part of the surface flow might be deflected towards the northeast by the Balearic Islands, but most of it seemingly remains along the western side of the sea. Whatever the paths may be, this flow reenters the Algerian Basin leading to complex turbulent phenomena. Moreover, MAW flowing around the western Mediterranean comes under the influence of various mixing processes and meteorological effects causing its temperature to fluctuate on its way, whereas its salinity increases more or less continuously, and the water discharging from the Catalan Sea into the Algerian reservoir cannot be distinguished easily by its SST.

2. The eastern Mediterranean (Fig. 4 from NIELSEN, 1912)

A recent review of our knowledge of the eastern Mediterranean published by MALANOTTE-RIZZOLI and HECHT (1988) establishes that phenomenological evidence concerning the surface circulation is not very definite except maybe in some

II. General features of the circulation

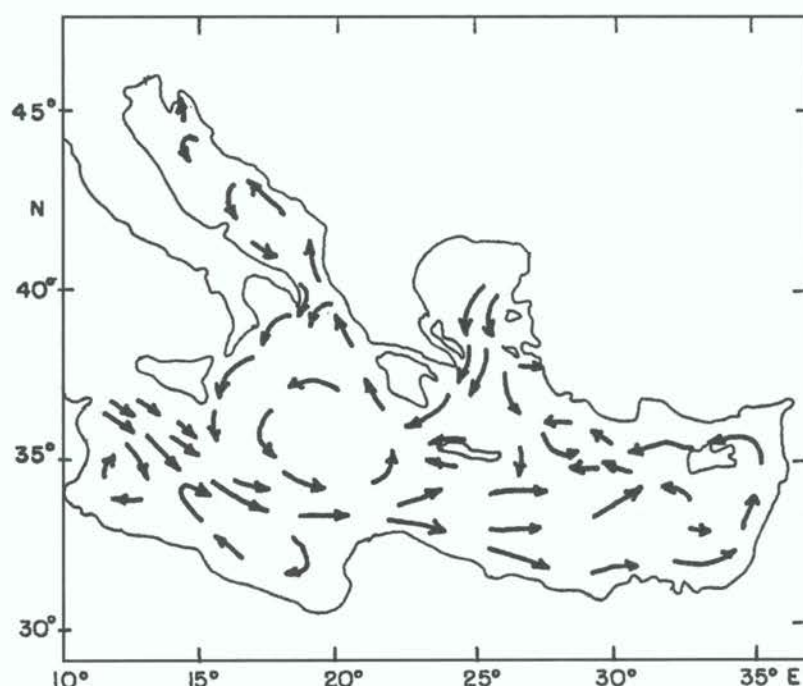


Figure 4 : General surface circulation in the eastern Mediterranean Sea (NIELSEN, 1912 : from LACOMBE, 1975).

le bassin Levantin (ROBINSON *et al.*, 1991). Il nous semble qu'un schéma représentatif ne devrait pas différer beaucoup de celui proposé par NIELSEN (1912) qui est le seul diagramme disponible couvrant l'ensemble de la mer ; à noter que la variabilité à moyenne échelle est notablement sous-estimée.

L'écoulement entrant en Méditerranée orientale est large et apparemment mal structuré car le détroit de Sicile est lui-même relativement large ; il montre une turbulence à petite échelle relativement intense et il s'étale largement vers le sud-est. Le bord gauche de cet écoulement n'est généralement pas bien différencié des eaux issues des upwellings fréquemment induits par les vents de nord-ouest le long des côtes de Sicile, et ces eaux sont toujours plus froides que les eaux résidant en mer Ionienne. Le front thermique entre les eaux les plus froides et les plus chaudes, i.e. le front de Malte, est attaché à la partie sud de la Sicile ; il est orienté entre le sud et le sud-est le long de la pente continentale, au moins jusqu'à 35° N. La plupart du temps, l'écoulement de surface au large de la Tunisie et de la Lybie jusqu'à 20° E semble décrire un ou deux circuits anticycloniques ; en conséquence, des phénomènes de moyenne échelle tels que des tourbillons et des upwellings se déplaçant vers l'ouest le long des côtes africaines sont parfois observés. En d'autres occasions, l'imagerie IR montre que, de 15-20° E jusqu'à 25° E,

*regions such as the Levantine Basin (ROBINSON *et al.*, 1991). It seems to us that a representative schematic diagram should not differ significantly from the one proposed by NIELSEN (1912) which is the only available diagram covering the whole sea ; note that mesoscale variability was markedly underestimated.*

The flow entering the eastern Mediterranean is broad and apparently not well structured because the Strait of Sicily is relatively wide ; it displays a relatively intense small scale turbulence and it spreads broadly southeastwards. The left hand border of this flow is generally not well differentiated from the waters often upwelled by the northwesterly winds along the Sicilian coast, and both waters are always cooler than those residing within the Ionian Sea. The thermal front between the cooler and the warmer waters, i.e. the Maltese front, is attached to the southern part of Sicily ; it is orientated between south and southeast along the continental slope, at least until 35° N. Most of the time, the surface flow off Tunisia and Lybia till 20° E seemingly describes one or two anticyclonic gyres ; related to this, mesoscale phenomena such as upwelling and eddies propagating westwards along the African coast are sometimes observed. At other times, IR imagery shows that, from 15-20° E till 25° E, the circulation (which can be named the African current) is eastwards along the coast. Special attention can be paid to some coastal regions of

II. General features of the circulation

la circulation (qui peut prendre le nom de courant africain) est vers l'est le long de la côte. Un intérêt particulier peut être porté à quelques régions côtières de Tunisie (Iles de Kerkennah et Djerba, golfe de Gabès) où, à cause de profondeurs réduites, les TSM sont souvent extrêmement basses (élevées) en hiver (été). Nous pensons que la circulation dans cette partie de la mer -i.e. entre la Sicile, la Tunisie et la Lybie- ressemble grossièrement à la circulation en mer d'Alboran, bien qu'elle soit plus contrainte par la topographie dans cette dernière région.

Par la suite, l'écoulement de surface progresse de manière cyclonique le long des côtes d'Égypte et du Moyen-Orient en s'échauffant continuellement. Cette région n'est pas bien couverte par notre jeu d'images IR, mais des mesures hydrologiques décrivent une intense activité de moyenne échelle que nous trouvons grossièrement semblable à celle rencontrée dans le bassin Algérien. Le fait que la plupart des tourbillons de moyenne échelle soient anticycloniques peut expliquer que les courants observés le long des côtes d'Israël et du Liban soient généralement vers le sud (comme ils le sont le long des côtes ouest de Sardaigne), même si l'écoulement d'ensemble dans une région plus large est vers le nord.

La turbulence de moyenne échelle est semble-t-il moins intense dans la partie nord-est de la mer, et l'écoulement semble se réorganiser au large de la Turquie comme un courant côtier relativement chaud appelé courant d'Asie Mineure ; ce courant développe des méandres et il ressemble plus ou moins au courant Nord de la Méditerranée occidentale. Au sud de Rhodes, et bordée au nord par ce courant côtier, une zone relativement froide, associée à une structure hydrologique en dôme, est fréquemment observée. Cette zone froide est connue pour être l'une des plus favorables pour la formation de LIW ; pour cette région également, il y a d'étroites similitudes avec la partie nord de la Méditerranée occidentale où est formée WMDW.

En mer Egée, la circulation a probablement tendance à être cyclonique, mais une topographie complexe et un phénomène d'upwelling induit à grande échelle par un vent de nord (le meltem, qui souffle principalement en été) empêchent une description claire de la circulation au cours de l'année. Dans la partie nord de la mer Ionienne ainsi qu'autour de l'Adriatique, la circulation est clairement cyclonique ; les côtes grecques, albanaises et yougoslaves sont souvent refroidies par un phénomène d'upwelling induit par le vent tandis que la signature de la circulation le long des côtes italiennes est fortement influencée par l'eau issue

Tunisia (Islands of Kerkennah and Djerba, Gulf of Gabes) where, due to the very reduced depth, SST's are often extremely low (high) in winter (summer). We think that the circulation in this part of the sea - i.e. between Sicily, Tunisia and Lybia- roughly resembles the circulation in the Alboran Sea, except that it is more constrained by the topography in the latter.

Subsequently the surface flow progresses cyclonically along the Egyptian and Middle East coasts while continuously warming. This region is not well covered by our IR data set, but hydrological data indicate an intense mesoscale activity which we find roughly similar to that encountered in the Algerian Basin. The fact that most of the mesoscale eddies are anticyclonic may explain why currents observed along the coasts of Israel and Lebanon are generally southwards (as they are along the western Sardinian coast) even if the averaged flow in a wider region is northwards.

The mesoscale turbulence is seemingly less intense in the north-eastern part of the sea, and the flow apparently re-organizes itself off Turkey as a relatively warm coastal current, called the Asia Minor current ; this current displays meanders and it more or less resembles the Northern current in the western Mediterranean Sea. South of Rhodes, and bordered to the north by this coastal current, a relatively cool area related to a hydrological doming structure is frequently observed. This cool area is known to be one of the most favourable places for the formation of the LIW ; for this area too, there are close similarities with the northern part of the western Mediterranean Sea where WMDW is formed.

In the Aegean Sea, the tendency is probably for the circulation to be cyclonic, but the complex topography and the large scale upwelling phenomena induced by a northerly wind (the Meltem, which blows mainly during the summer) prevent any clear description of the circulation throughout the year. In the northern Ionian Sea as well as around the Adriatic Sea, the circulation is clearly cyclonic ; the Greek, Albanian and Yugoslavian coasts are often cooled by wind-induced phenomena while the signature of the circulation along the Italian coast is strongly influenced by the river outflows. In the Black Sea,

II. General features of the circulation

des rivières. En mer Noire, la circulation cyclonique récemment observée sur des images IR montre, le long des côtes turques, des caractéristiques semblables à celles observées le long des côtes algériennes.

Des informations de plus de valeur sur la circulation en Méditerranée orientale peuvent certainement être fournies par une analyse exhaustive de l'imagerie IR et des données *in situ* disponibles.

the cyclonic circulation recently observed in IR images displays, along the Turkish coast, features similar to those observed off Algeria.

More valuable information on the circulation in the eastern Mediterranean may certainly be provided by an exhaustive analysis of the IR imagery combined with the available in situ data sets.

Références / References :

LACOMBE H., 1975. - Aperçus sur l'apport à l'océanographie physique des recherches récentes en Méditerranée. Newslett. - *Coop. Invest. Medit.*, Spec. Issue, 7, 25 p.

MALANOTTE-RIZZOLI P., and A. HECHT 1988. - Large scale properties of the eastern Mediterranean : a review. - *Oceanol. Acta*, 11, 4 : 323-335.

MILLOT C., 1987. - Circulation in the Western Mediterranean Sea. - *Oceanol. Acta*, 10, 2 : 143-149.

NIELSEN J.N., 1912. - Hydrography of the Mediterranean and adjacent waters. - *Rep. Dan. Oceanogr. Exp. Medit.*, 1 : 77-192.

ROBINSON A.R., GOLNARAGHI M., LESLIE W.G., ARTEGANI A., HECHT A., LAZZONI E., MICHELATO A., SANSONE E., THEOCHARIS A., and Ü. ÜNLÜATA, 1991. - The eastern Mediterranean general circulation : features, structure and variability. - *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 15 : 215-240.

III - ANALYSE MENSUELLE D'IMAGES REPRÉSENTATIVES

Deux types d'images sont présentés dans ce chapitre. Le premier, correspondant à peu près aux dates antérieures à mi-1983, représente les données du canal 4. Elles ne sont pas corrigées géométriquement et on a utilisé une double échelle de gris, de telle sorte que les TSM très basses peuvent être représentées avec la seconde échelle de gris (un ton correspond à 0,5 °C). Le second type d'images représente des TSM calibrées, et elles ont été corrigées des déformations induites par la rotation de la terre et l'angle de visée du capteur. Une seule échelle de gris a été utilisée (cette échelle comprend 32 tons couvrant une gamme de 8 °C, i.e. 0,25 °C par ton, voir BRUNEL *et al.*, 1984). Les zones froides apparaissent le plus souvent en blanc ; les numéros de référence correspondants peuvent avoir été placés à côté pour rester lisibles.

Dans les commentaires, les noms de lieux géographiques suivis par -> sont indiqués par une flèche sur l'image correspondante.

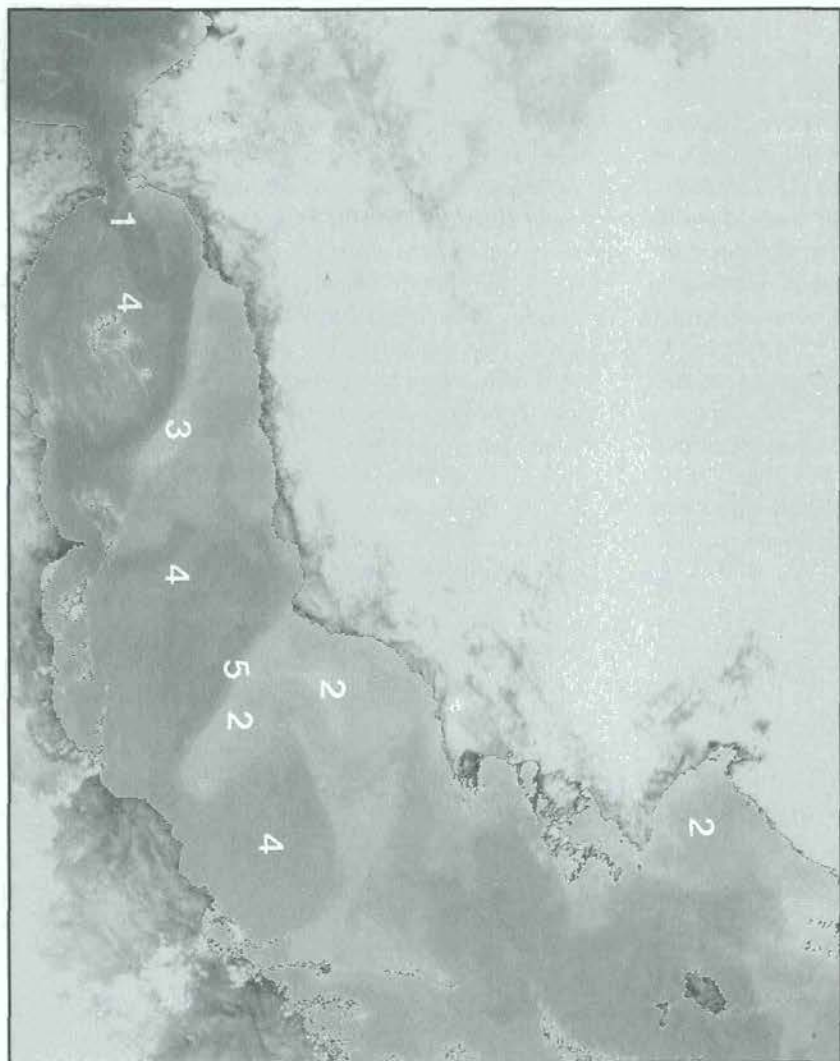
III - MONTHLY ANALYSIS OF REPRESENTATIVE IMAGES

*Two types of images are presented in this chapter. The first type of images, roughly those corresponding to dates before mid-1983, represent channel 4 data. They are in raw satellite projection and a double grey scale has been used so that very low SST's may be displayed on the second grey scale (one shade corresponds to 0.5 °C). The second type of images represent SST calibrated data, they have been corrected for the distortion induced by earth rotation and the sensor scanning angle. One grey scale only has been used (this scale includes 32 shades covering an 8 °C range, i.e. 0.25 °C per shade, see BRUNEL *et al.*, 1984). Cold areas appear most often in white ; the corresponding reference numbers may have been placed aside to remain readable.*

In the comments, geographic location names followed by -> are indicated by an arrow on the corresponding image.

Référence / Reference :

BRUNEL P., PHULPIN Y., and LE VOURCH J., 1984. - Le programme REDRES et l'analyse de la température de surface de la mer par les thermographies satellitaires. - Note de travail EERM 82, Météo-France.



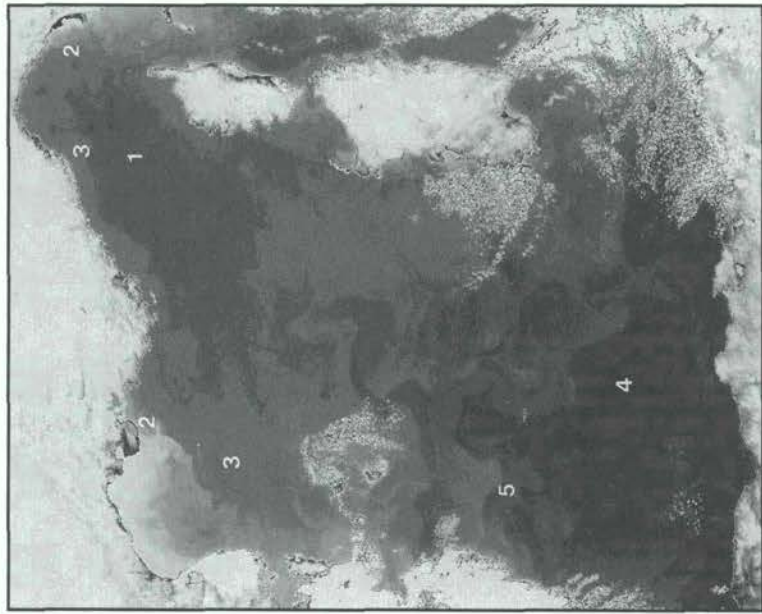
© Météo-France 1992

Mer d'Alboran

22 janvier 1982. En janvier, l'eau atlantique entrant en Méditerranée occidentale par le détroit de Gibraltar est relativement chaude (1). Les eaux les plus froides sont celles qui coulent vers le sud le long de la côte espagnole puis vers le large (2), et celles issues de l'upwelling dans le nord-ouest de la mer d'Alboran (3). Des températures intermédiaires sont associées à des circulations anticycloniques (4), i.e. les deux circuits en mer d'Alboran et un tourbillon associé au courant Algérien. A noter aussi la signature claire du front Almería-Oran (5).

Alboran Sea

January 22, 1982. In January, the Atlantic Water entering the western Mediterranean through the Strait of Gibraltar is relatively warm (1). The coolest waters are those flowing southwards along the Spanish coast and then seawards (2), and those issued from the upwelling in the north of the western Alboran Sea (3). Intermediate temperatures are associated with anticyclonic circulations (4), i.e. the two Alboran gyres and one eddy linked to the Algerian current. Note also the clear signature of the Almeria-Oran front (5).



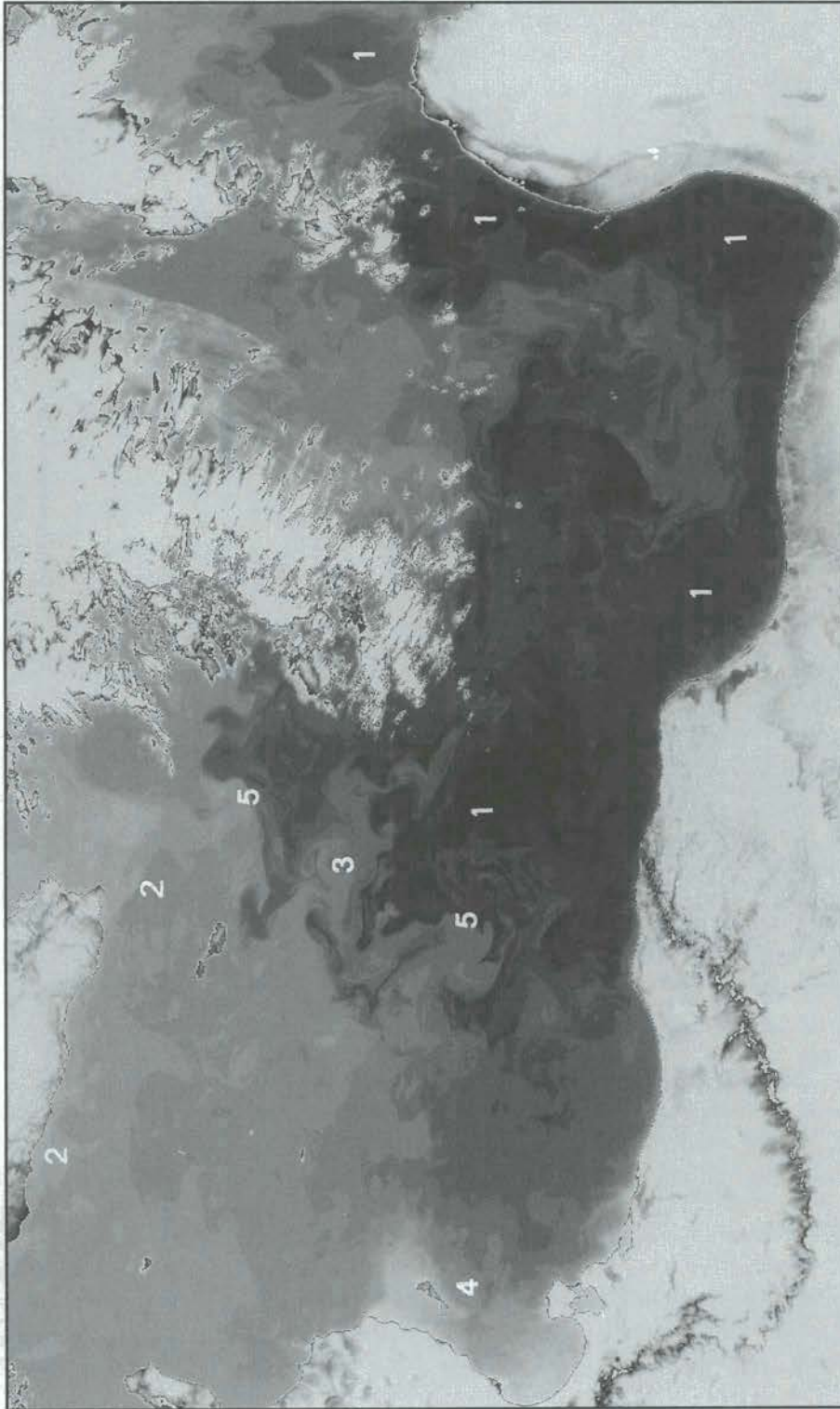
© Météo-France 1992

Bassins Liguro-Provençal et Algérien

29 janvier 1981. L'eau relativement chaude rencontrée dans la zone centrale du bassin Liguro-Provençal révèle le développement du processus de formation de WMDW, qui amène LIW à la surface (1). L'eau de mer la plus froide est rencontrée sur le plateau continental du golfe du Lion, en liaison avec les vents de nord-ouest qui ont induit des phénomènes d'upwelling (dans la partie nord du golfe) et de mélange ; à noter aussi les eaux douces très froides déchargées par le Rhône et l'Arno (2). Des températures intermédiaires de la mer Ligure au golfe du Lion sont associées au courant Nord (3). Des eaux plus chaudes sont rencontrées dans le bassin Algérien (4) avec des gradients (5) significatifs (même si $< 1\text{ }^{\circ}\text{C} / 5\text{ km}$) autour des îles Baléares où les eaux récemment entrées sont juxtaposées avec celles advectées du nord.

Liguro-Provençal and Algerian Basins

January 29, 1981. The relatively warm water encountered in the central area of the Liguro-Provençal Basin reveals the development of the WMDW formation process, which brings LIW to the surface (1). The coldest sea water is encountered on the continental shelf of the Gulf of Lions related to the northwesterlies which have induced upwelling (in the northern part of the gulf) and mixing phenomena ; note also the very cold fresh water discharged by the Rhone and the Arno (2). Intermediate temperatures from the Ligurian Sea to the Gulf of Lions are associated with the Northern current (3). Warmer water is encountered in the Algerian Basin (4) with some significant (even if $< 1\text{ }^{\circ}\text{C} / 5\text{ km}$) gradients (5) around the Balearic Islands where newly-entered water is juxtaposed with that advected from the north.



© Météo-France 1992

Bassin Afro-Sicilien

13 janvier 1982. En Méditerranée orientale, l'écoulement vers l'est de l'eau d'origine atlantique est caractérisé par des TSM relativement fortes (19 °C) le long des côtes africaines (1) ; à noter la forme en tourbillon de la structure la plus à l'est. Sous l'influence de masses d'air polaire et des phénomènes induits par le vent, le plateau continental Sicilien (2), le banc de Médine et la zone de la Petite Syrte (4) subissent un refroidissement intense. Des gradients thermiques (5) relativement forts (1-2 °C / 5 km) délimitent l'extension de ces phénomènes.

Afro-Sicilian Basin

January 13, 1982. Within the eastern Mediterranean, the eastward-flowing water of Atlantic origin is characterized by relatively high SST's (19 °C) along the African coast (1) ; note the eddy-like shape of the easternmost structure. Due to the influence of polar air masses and to the wind-induced phenomena, the Sicilian continental shelf (2), the Medina bank (3) and the Small Syrta area (4) undergo an intense cooling. Relatively large (1-2 °C / 5 km) thermal gradients (5) delineate the extension of these phenomena.



© Météo-France 1992

Mers Adriatique et Ionienne

18 janvier 1983. Les caractéristiques visibles en mer Adriatique sont représentatives de conditions typiques de l'hiver. A cause de la circulation cyclonique, les eaux froides, issues des nombreuses rivières de Vénétie et de Romagne, s'écoulent vers le sud le long de la côte italienne (1) ; à noter que cette veine froide s'élargit à l'embouchure des rivières (2), en particulier du Pô, et qu'elle s'échauffe et se rétrécit en progressant vers le sud, généralement jusqu'au cap Santa Maria di Leuca (->). Dans le canal d'Otrante, une partie de cette veine froide est défléctée vers le nord par les eaux chaudes qui entrent dans la mer sur le bord est du canal (4) ; le long des côtes albanaise et yougoslave, les panaches froids des rivières sont défléctés vers le nord (5). Au milieu de la mer Ionienne et au centre de la mer Adriatique, les TSM sont normalement plus chaudes et plus homogènes (6).

Adriatic and Ionian Seas

January 18, 1983. The features seen in the Adriatic Sea are representative of typical wintertime conditions. Due to the cyclonic circulation, the cold water issued from numerous rivers off Venetie and Romagna, is driven southwards along the Italian coast (1) ; note that this cold vein widens at the river mouths (2), especially for the Po, and that it warms up and thins out as it progresses southwards, generally as far as Cape Santa Maria di Leuca (->). In the Otranto Channel, a part of this cold vein is deflected northwards by the warm water which enters the sea on the eastern side of the channel (4) ; along the Albanian and Yugoslavian coasts, the cold river plumes are deflected northwards (5). In the open Ionian Sea and in the central Adriatic Sea, the SST's are normally warmer and more homogeneous (6).



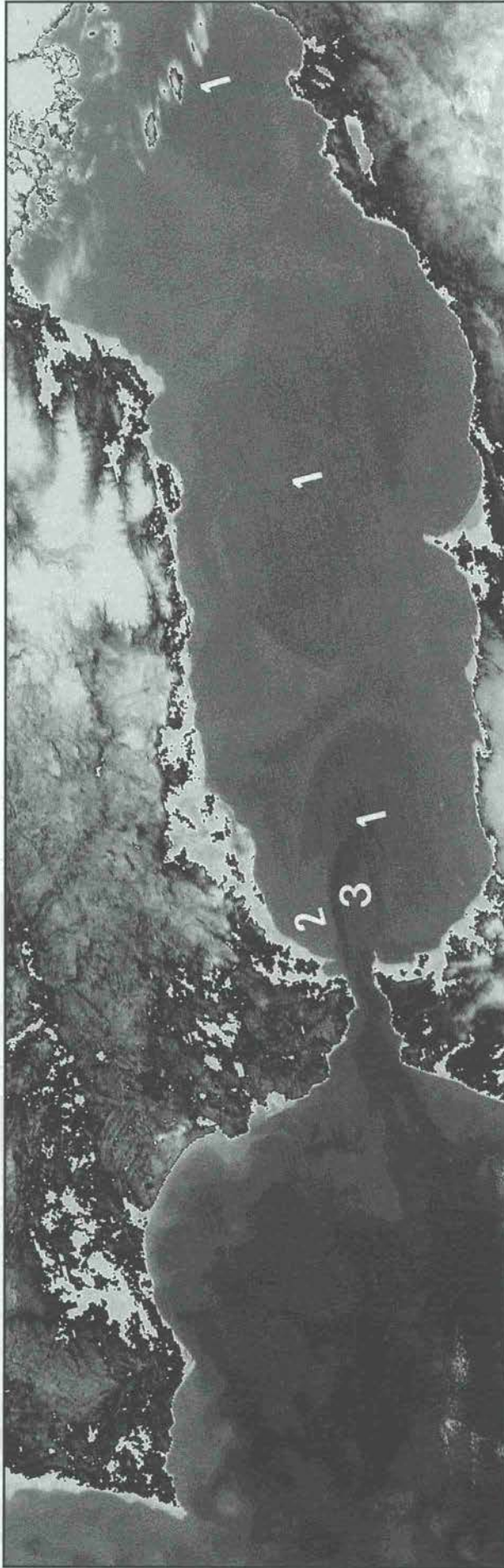
© Météo-France 1992

Méditerranée orientale (partie nord)

16 janvier 1982. Comme en Adriatique, la circulation en mer Egée est cyclonique, de telle sorte que les eaux chaudes entrent le long des côtes turques (1) tandis que les eaux froides de la mer Noire, de la mer de Marmara (2) et des rivières grecques qui s'écoulent dans le golfe de Salonique (3) se répandent vers le sud au large de la Grèce. Les gradients est-ouest de la TSM peuvent être très forts (2-3 °C / 5 km) dans la zone centrale de la mer Egée (4). A noter les eaux chaudes qui circulent vers l'ouest (5) le long des côtes sud de la Turquie, et la zone froide de Rhodes (6). En mer Adriatique, on peut reconnaître les caractéristiques déjà décrites à partir de l'image du 18 janvier 1983, tandis qu'en mer Noire les eaux froides du Danube (7) décrivent une circulation cyclonique.

Eastern Mediterranean Sea (northern part)

January 16, 1982. As in the Adriatic Sea, the circulation in the Aegean Sea is cyclonic, so that warm water enters the sea along the Turkish coast (1) while cold water from the Black and Marmara Seas (2) and from the Greek rivers running off in the Gulf of Salonica (3) spreads southwards off Greece. East-to-west SST gradients can be very high (2-3 °C / 5 km) in the middle part of the Aegean Sea (4). Note the warm waters circulating westwards (5) along the southern Turkish coast, and the Rhodes cool zone (6). Within the Adriatic Sea, the features already described on January 18, 1983 image can be recognized, while in the Black Sea the cool water from the Danube (7) describes a cyclonic circulation.



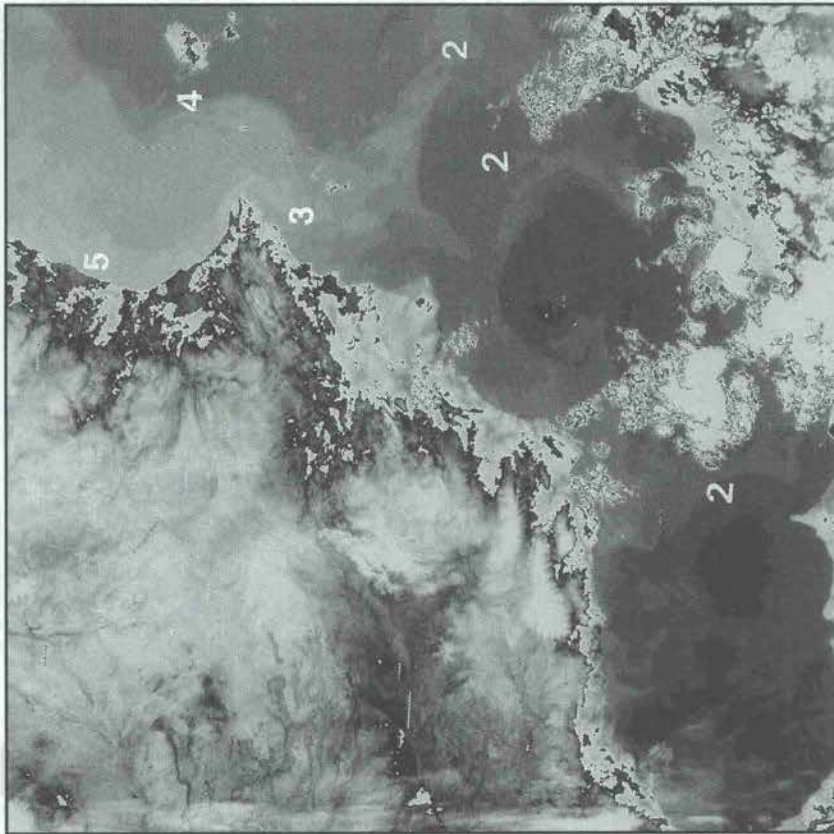
© Météo-France 1992

Mer d'Alboran

5 février 1981. Les gradients thermiques en mer d'Alboran tendent à diminuer entre janvier et février ; par exemple, on peut comparer cette image avec celle du 22 janvier 1982 qui montre une situation apparemment similaire. Les deux circuits anticycloniques en mer d'Alboran et un tourbillon associé au courant Algérien (1) peuvent encore être discernés. Les gradients les plus forts (1 °C / 5 km) sont fréquemment observés à l'est du rocher de Gibraltar (2), sur le bord nord du jet relativement chaud d'eau atlantique (3).

Alboran Sea

February 5, 1981. Thermal gradients in the Alboran Sea tend to decrease from January to February ; for instance, compare this image with the one of January 22, 1982, which displays an apparently similar situation. The two anticyclonic Alboran gyres and one eddy associated with the Algerian current (1) are still discernable. The largest gradients (1 °C / 5 km) are commonly observed East of the Rock of Gibraltar (2), on the northern side of the relatively warm jet of Atlantic Water (3).



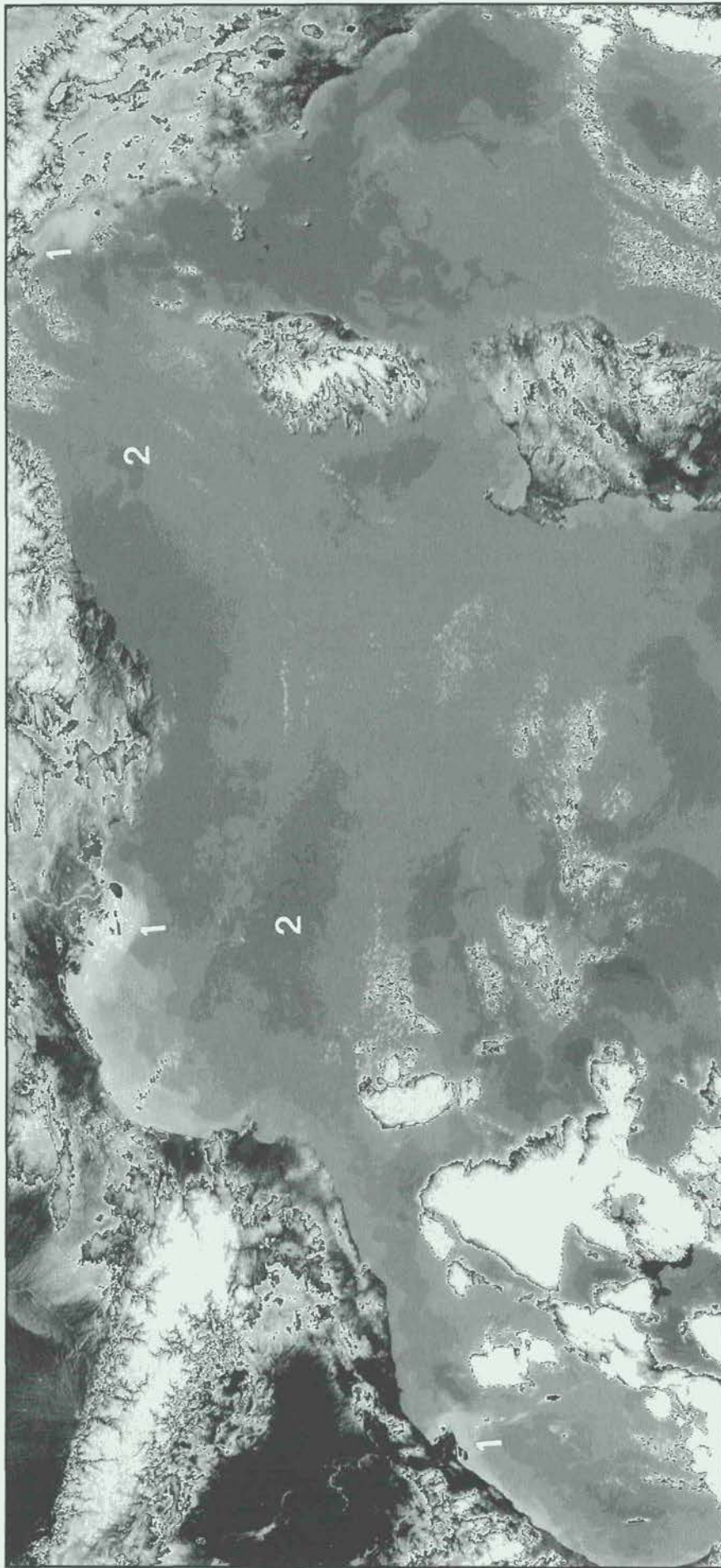
© Météo-France 1992

Mer d'Alboran et bassin des Baléares

28 février 1982. Bien que nuageuse, cette image montre la relative homogénéité des TSM dans la partie ouest de la mer d'Alboran (1). Les eaux froides issues du golfe du Lion s'étendent le long des côtes continentales espagnoles, de la mer Catalane (5) au canal d'Ibiza (3) ; les différences de température (4) avec les eaux du large ont quelquefois un caractère frontal (1 °C / 5 km). On doit aussi noter les arches froides de l'Espagne vers l'Algérie (2), probablement reliées à un entraînement des eaux côtières espagnoles par des phénomènes de moyenne échelle.

Alboran Sea and Balearic Basin

February 28, 1982. Even if cloudy, this image demonstrates the relative homogeneity of the SST's in the western Alboran Sea (1). Cool water issued from the Gulf of Lions extends along the Spanish continental coast from the Catalan Sea (5) to the Ibizan Channel (3) ; thermal differences (4) with the open-basin water sometimes have a frontal character (1 °C / 5 km). Also to be noticed are the cool arches from Spain towards Algeria (2) probably related to the entrainment of Spanish coastal water by mesoscale phenomena.



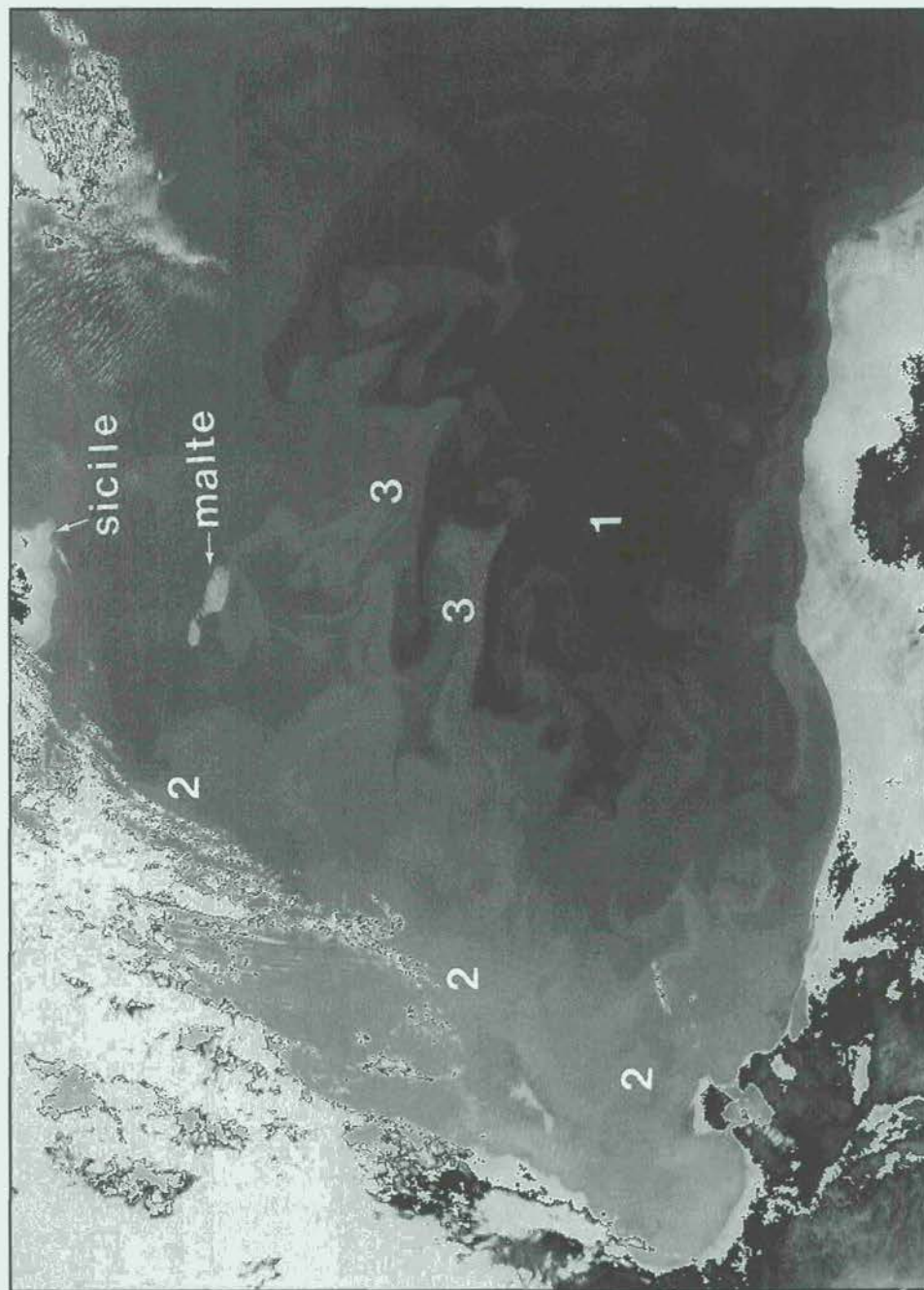
© Météo-France 1992

Bassin Liguro-Provençal

19 février 1983. Des fronts thermiques intenses sont observés entre les eaux relativement chaudes et homogènes du large (2) et les eaux douces issues de l'Arno, du Rhône et de l'Ebre (1). A noter que, probablement à cause de la circulation cyclonique des eaux de surface et peut-être de l'effet Coriolis, les effluents des rivières sont déviés vers la droite ; à noter aussi que leur influence, spécialement celle du Rhône et de l'Ebre, peut être observée le long de la côte sur de très grandes distances.

Liguro-Provençal Basin

February 19, 1983. Large thermal fronts are observed between the relatively warm and homogeneous open-basin water (2) and the fresh water issued from the Arno, the Rhone and the Ebro rivers (1). Note that, probably due to the general cyclonic circulation of the surface water and maybe to the Coriolis effect, the river runoffs are deflected to the right ; note also that their influences, especially of the Rhone and the Ebro, can be observed along the coast over very large distances.



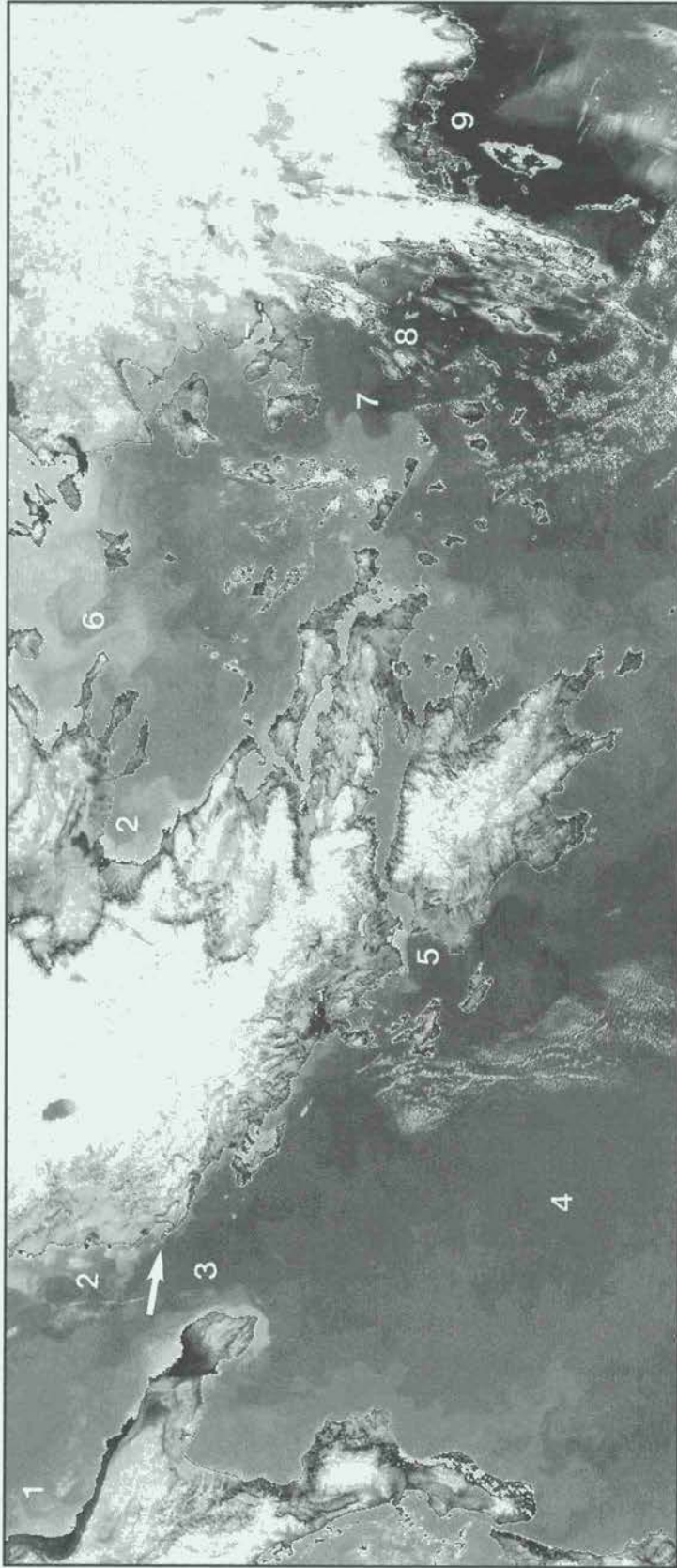
© Météo-France 1992

Bassin Afro-Sicilien

21 février 1981. Cette situation est très semblable à celle du 13 janvier 1982 avec des eaux chaudes au large de la Grande Syrte (1) et des eaux froides de la Sicile à la Tunisie (2) ; les fronts thermiques modérés (1-2 °C / 5 km) induits entre ces eaux (3) sont déformés par des turbulences de petite échelle.

Afro-Sicilian Basin

February 21, 1981. This situation is very similar to that shown for January 13, 1982, with warm water off Great Syrta (1) and cool water from Sicily to Tunisia (2) ; the moderate thermal fronts (1-2 °C / 5 km) induced in-between (3) are distorted by small scale turbulences.



© Météo-France 1992

Méditerranée orientale (partie nord)

9 février 1981. Cette image montre la plupart des caractéristiques thermiques typiques de cette région en hiver. A noter d'ouest en est : les eaux froides s'écoulant vers le sud le long de la côte italienne (1), les eaux froides des rivières (2) d'Albanie (nord du cap Gjuhëzës, ->) et de Grèce (dans le golfe de Salonique), l'écoulement vers le nord d'eaux chaudes au large de l'Albanie et de la Yougoslavie (3), la mer Ionienne homotherme (4), l'intense (plusieurs °C / 5 km) structure frontale à la sortie du golfe de Patras (5), les eaux froides issues de la mer Noire et s'écoulant le long des côtes grecques (6), une structure frontale de plusieurs °C / 5 km entre une zone froide autour des Cyclades et une zone chaude autour des Sporades du Sud (8), les eaux chaudes du courant d'Asie Mineure qui s'écoulent vers l'ouest le long des côtes sud de la Turquie (9).

Eastern Mediterranean Sea (northern part)

February 9, 1981. This image shows most of the typical wintertime thermal features of the region. Note from west to east : the cool water flowing southwards along the Italian coast (1), the cool plumes of the Albanian (north of Cape Gjuhëzës, ->) and Greek (in the Gulf of Salonica) rivers (2), the warm northwards flow off Albania and Yugoslavia (3), the homothermal Ionian Sea (4), the intense (several °C / 5 km) frontal structure at the outlet of the Gulf of Patras (5), the cool water issued from the Black Sea and flowing along the Greek coast (6), a frontal structure (7) of several °C / 5 km between a cool area around the Cyclades and a warmer area around the Southern Sporades (8), the warm water of the Asia Minor current flowing westwards along the southern Turkish coast (9).



© Météo-France 1992

Méditerranée occidentale

28 mars 1986. Cette image, qui montre des caractéristiques d'hiver et de printemps, révèle une situation transitoire avec des gradients thermiques réduits :

- Dans la partie est de la mer d'Alboran et au large de l'Algérie, on observe les eaux chaudes d'origine atlantique et la nature turbulente du courant Algérien (1).
- Ces eaux contrastent avec les eaux plus froides qui s'écoulent vers le sud le long de la côte espagnole, en créant ainsi des fronts thermiques relativement forts (2).
- Les eaux en mer Tyrrhénienne (à noter que seuls de faibles gradients (3) délimitent le refroidissement généralement rencontré à l'est des Bouches de Bonifacio), semblant être réchauffées dans le canal de Corse avant de s'écouler vers le nord en mer Ligurie, peuvent être facilement distinguées des eaux du courant ouest-Corse (1 °C / 5 km), (4).
- Les eaux chaudes du courant Nord peuvent être suivies depuis la mer Ligurie, le long de la côte française et à travers le golfe du Lion vers l'Espagne. Ce courant sépare les eaux dans la zone de formation de WMDW (5) des eaux du plateau continental du golfe du Lion (6) influencées par l'eau froide du Rhône.
- On doit aussi noter le caractère très turbulent de l'écoulement d'eaux froides vers le sud en Adriatique, et les tourbillons de petite échelle qui s'en détachent plus ou moins (7).

Western Mediterranean Sea

March 28, 1986. This image, which displays both wintertime and springtime characteristics, reveals a transient situation with reduced thermal gradients :

- In the eastern Alboran Sea and off Algeria, the warm water of Atlantic origin and the turbulent nature of the Algerian current are observed (1).
- This water contrasts with the cooler water flowing southwards along the Spanish coast, thus inducing relatively large thermal fronts (2).
- As the water in the Tyrrhenian Sea (note that only smooth gradients (3) delineate the cooling generally encountered East of the Strait of Bonifacio) is seemingly warmed up in the Corsican Channel before flowing northwards into the Ligurian Sea, it is easily distinguishable from the water of the Western Corsican current (1 °C / 5 km), (4).
- The warmer water of the Northern current can be followed from the Ligurian Sea, along the French coast and across the Gulf of Lions towards Spain. This current separates the water in the zone of WMDW formation (5) from the water on the continental shelf of the Gulf of Lions (6) influenced by the cool water from the Rhone river.
- Also to be noticed is the very turbulent character of the cool southward flow in the Adriatic Sea, and the small scale eddies more or less detached from it (7).



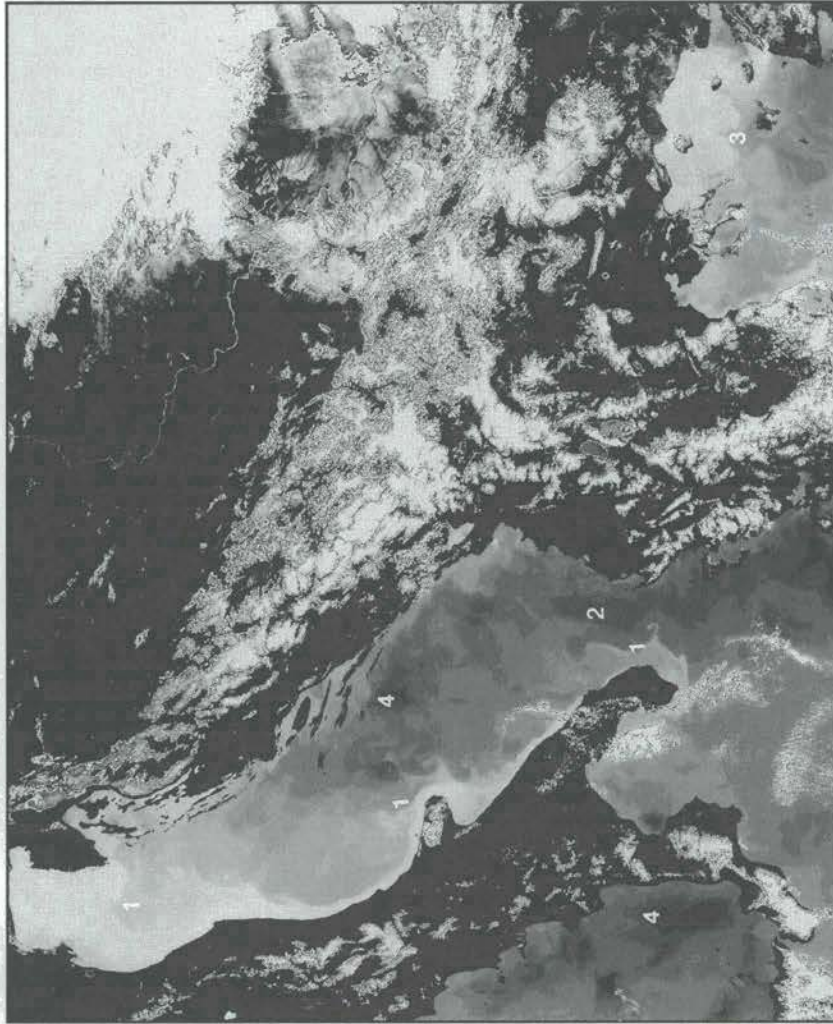
© Météo-France 1992

Mer d'Alboran

17 mars 1981. L'eau atlantique (1) entrant par le détroit de Gibraltar est encore plus chaude que les eaux méditerranéennes ; le contraste n'est cependant pas frontal. A cause de cette relative homothermie et du degré de couverture nuageuse, on a peu d'information sur la partie ouest de la mer d'Alboran. Sur cette image, il semble que l'eau relativement froide (2), issue de l'upwelling associé au circuit anticyclonique, tend à spiraler vers l'intérieur de ce circuit. Les eaux les plus froides sont celles de l'Ebre (3).

Alboran Sea

March 17, 1981. The Atlantic water (1) entering the Strait of Gibraltar is still warmer than the Mediterranean water ; however this contrast is not frontal. Due to this relative homothermy and the degree of cloud cover, little information can be obtained in the western Alboran Sea. On this image, it seems that the relatively cool water (2) issued from the upwelling associated with the anticyclonic gyre tends to spiral inside the gyre. The coolest water is issued from the Ebro river (3).



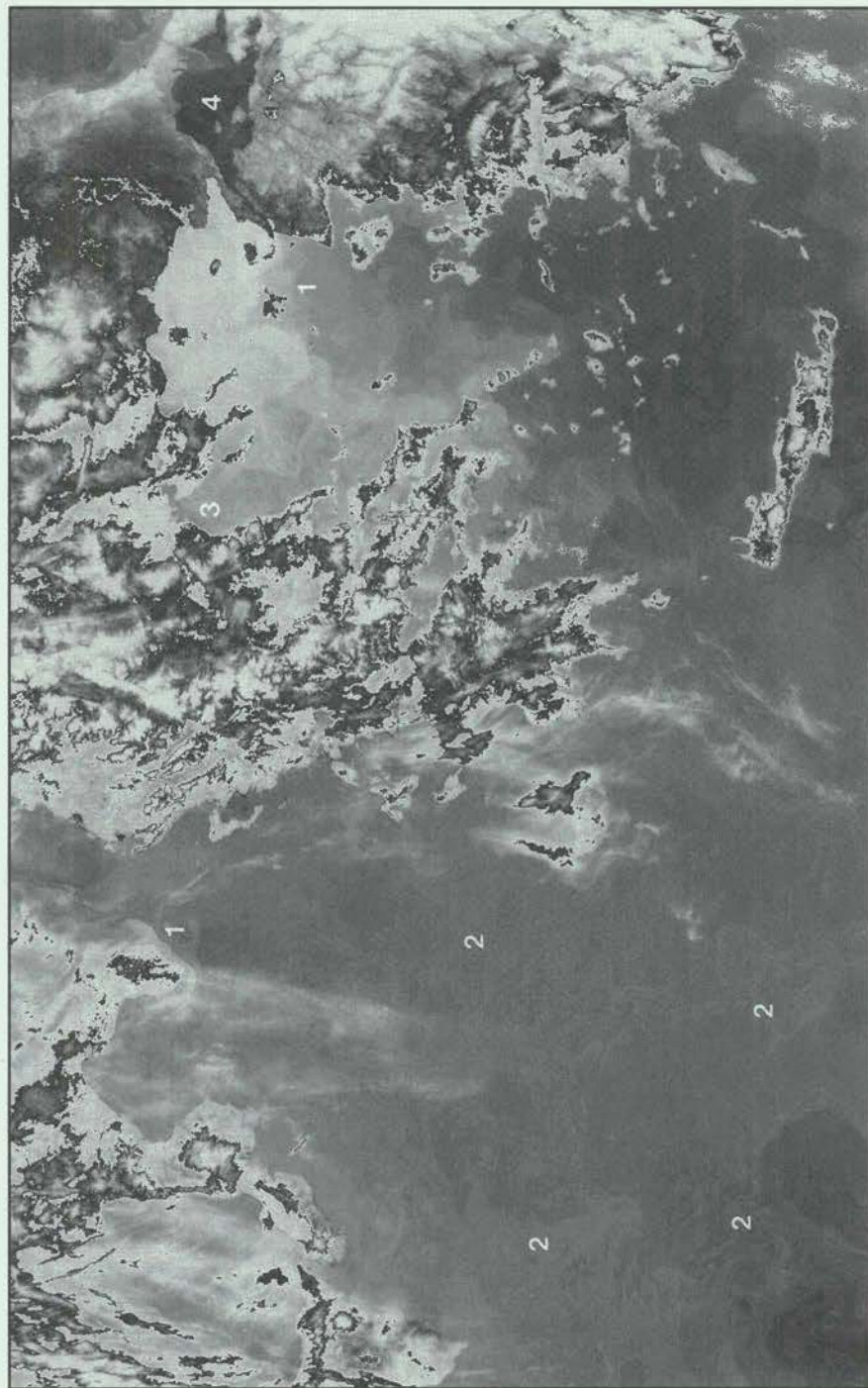
© Météo-France 1992

Mers Adriatique et Egée

26 mars 1982. La partie nord de la mer Adriatique est froide, et une veine relativement étroite s'écoule vers le sud le long de la côte italienne avec des méandres et des tourbillons de petite échelle bien définis (1) ; des eaux chaudes entrent par le canal d'Otrante (2). Les TSM présentent toujours des différences de plusieurs °C entre les eaux froides issues de la mer Noire et les eaux chaudes de la mer Egée (3). A noter l'occurrence, sur cette image prise lors d'un passage de jour, de taches chaudes (4) qui sont caractéristiques des conditions de printemps et d'été.

Adriatic and Aegean Seas

March 26, 1982. The northern part of the Adriatic Sea is filled with cool water and a relatively thin vein flows southwards along the Italian coast with well-defined small scale meanders and eddies (1) while warm water enters the sea through the Otranto Channel (2). SST differences of several °C still exist between the cool water issued from the Black Sea and the warmer Aegean water (3). Note the occurrence, in this image taken during a day-pass, of warm patches (4) which are characteristic of spring to summer conditions.



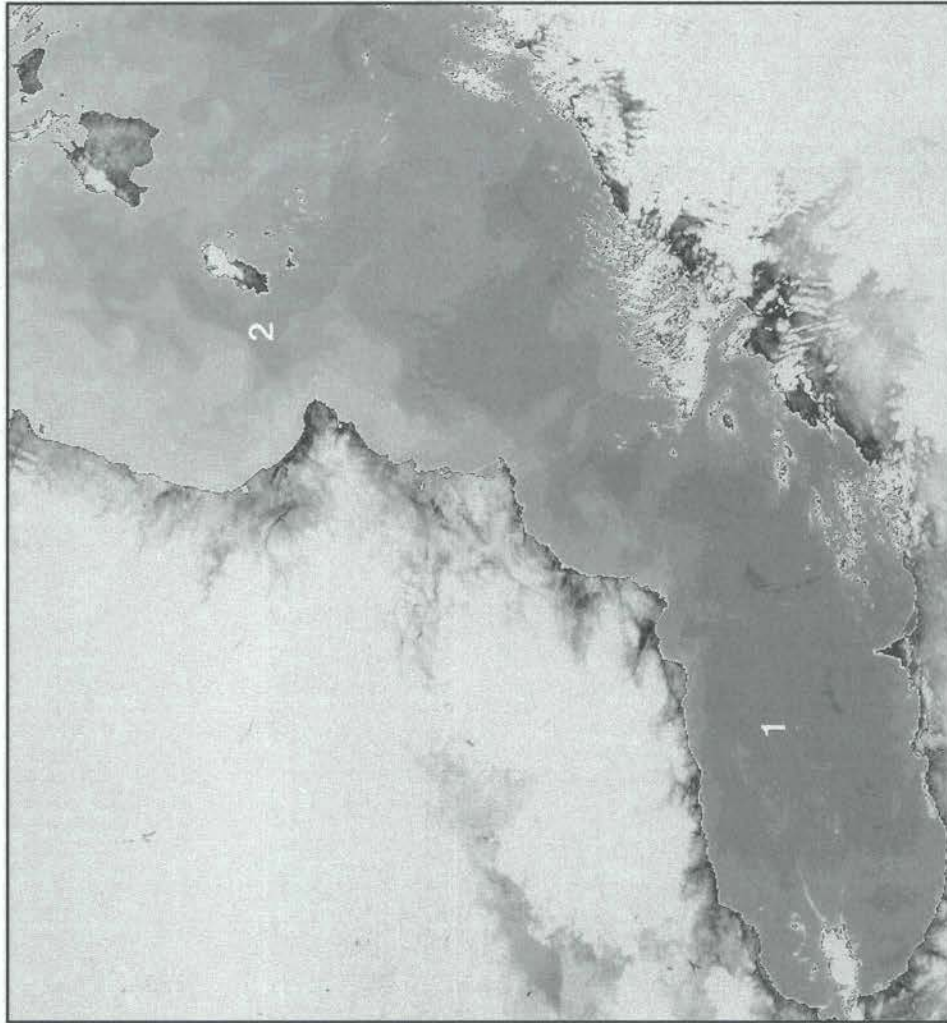
© Météo-France 1992

Mers Egée et Ionienne

26 mars 1981. Cette image montre des caractéristiques typiques de l'hiver et du printemps. Au cœur de l'hiver, les eaux froides issues de la mer Noire, de la mer de Marmara (4), et du nord de l'Adriatique peuvent encore être discernées en mer Egée (1) et dans le canal d'Otrante (1), respectivement. Mais on peut noter des filaments en mer Ionienne (2) et des eaux chaudes dans le golfe de Salonique (3) qui sont des caractéristiques typiques de conditions d'échauffement au printemps.

Aegean and Ionian Seas

March 26, 1981. This image displays features typical of both wintertime and springtime. As in the depth of winter, the cool water issued from the Black and Marmara seas (4) and from the northern Adriatic Sea are still discernable in the Aegean Sea (1) and in the Otranto Channel (1), respectively. But one notes filaments in the Ionian Sea (2) and warm water in the Gulf of Salonica (3) which are typical features of warming conditions during springtime.



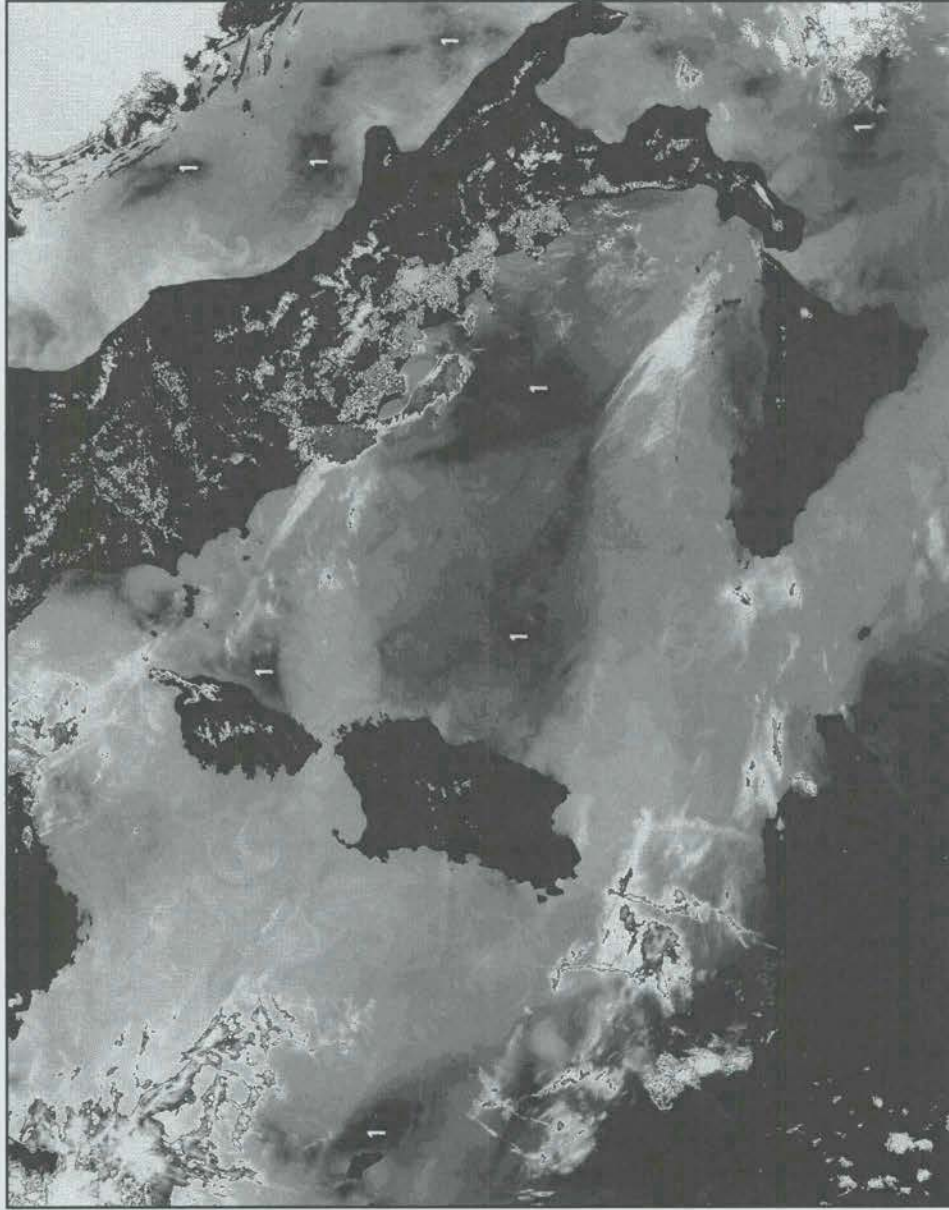
© Météo-France 1992

Mer d'Alboran et bassin des Baléares

2 avril 1982. Au début du printemps, les eaux sont généralement homogènes en mer d'Alboran (1), mais des gradients de TSM relativement forts sont encore rencontrés dans le canal d'Ibiza (2) entre les eaux froides s'écoulant vers le sud le long de la côte et les eaux plus chaudes du large.

Alboran Sea and Balearic Basin

April 2, 1982. In early spring, the water is commonly homogeneous in the Alboran Sea (1), but relatively large SST gradients are still encountered in the Ibiza Channel (2) between the cool coastal water flowing southwards and the warmer offshore water.



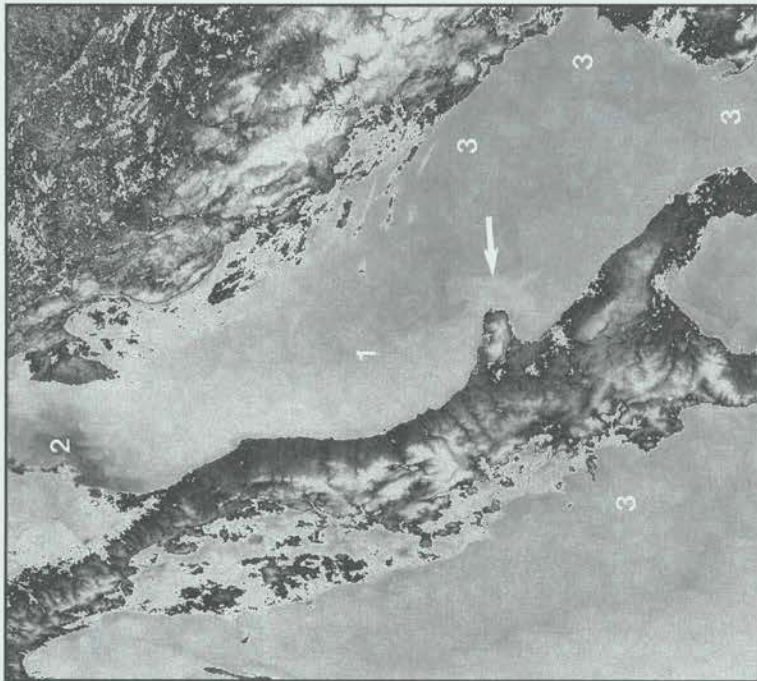
© Météo-France 1992

Bassin Provençal, mers Ligurie, Tyrrhénienne et Adriatique

9 avril 1982. Cette image de jour est un exemple très démonstratif de la forme, l'extension et l'intensité des taches chaudes (1) qui se développent les jours de temps calme et ensoleillé au printemps.

Provençal Basin, Ligurian, Tyrrhenian and Adriatic Seas

April 9, 1982. This day-pass image is a very demonstrative example of the shape, extent and intensity of the warm spots (1) which develop during calm, sunny spring days.



© Météo-France 1992

Mers Tyrrhénienne, Adriatique et Noire

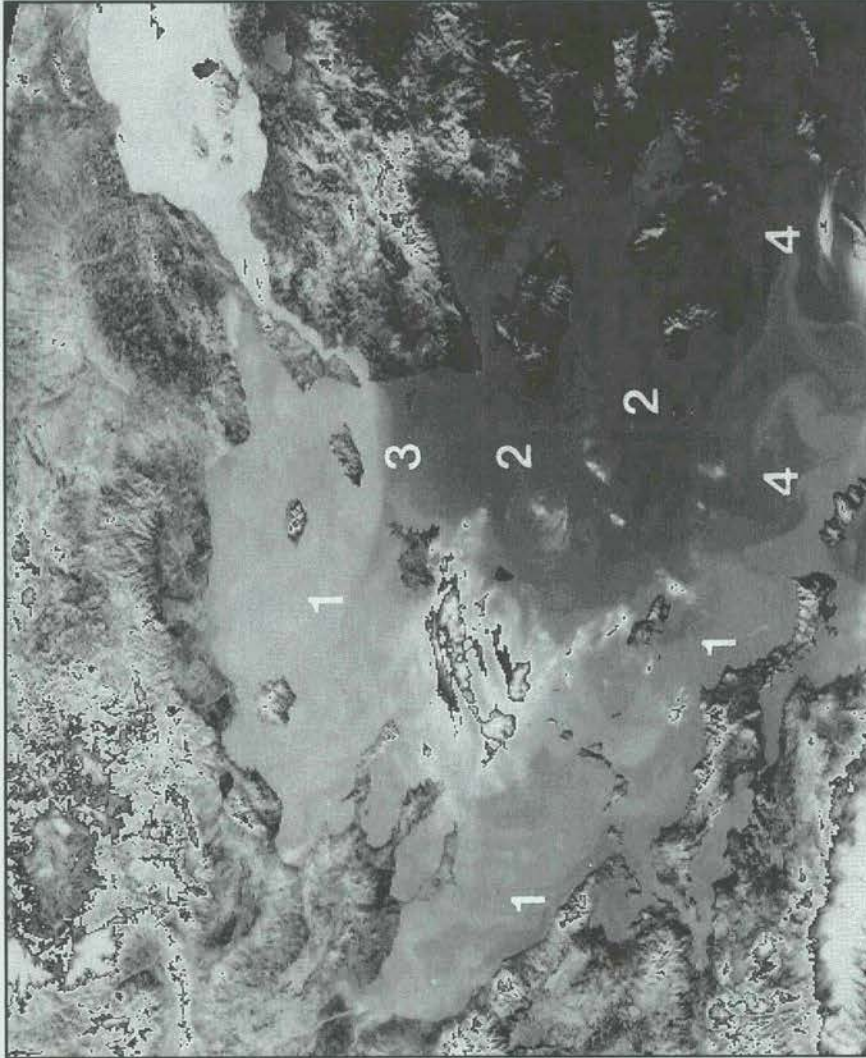
13 avril 1981. Des conditions transitoires se rencontrent généralement en avril avec le réchauffement superficiel des différentes masses d'eau plus ou moins refroidies en hiver. La signature de la veine froide s'écoulant le long de l'Italie dans l'Adriatique (1) disparaît peu après le cap Gargano (->) ; c'est une limite exceptionnellement nord pour cette veine (voir l'image du 4 mai 1982). A cause de sa faible épaisseur, l'eau du Pô (2) est réchauffée plus facilement que l'eau de mer. Les filaments rencontrés en mer ouverte (3) sont un trait classique des conditions de réchauffement. A noter en mer Noire le caractère turbulent de la circulation cyclonique dont les caractéristiques, en particulier au large de la Turquie, ressemblent à celles observées au large de l'Algérie.



© Météo-France 1992

Tyrrhenian, Adriatic and Black Seas

April 13, 1981. Transient conditions generally occur in April with the superficial warming of the various water masses more or less cooled during wintertime. The signature of the cool vein flowing along Italy in the Adriatic (1) disappears shortly after Cape Gargano (->) ; this is an exceptionally northern limit for this vein (see the image on May 4, 1982). The water issued from the Po (2) is warmed up more easily than the marine water due to its small thickness. Filaments encountered in the open sea (3) are a classical feature of warming conditions. Note in the Black Sea the turbulent character of the cyclonic circulation, whose features, especially off Turkey, look like those observed off Algeria.



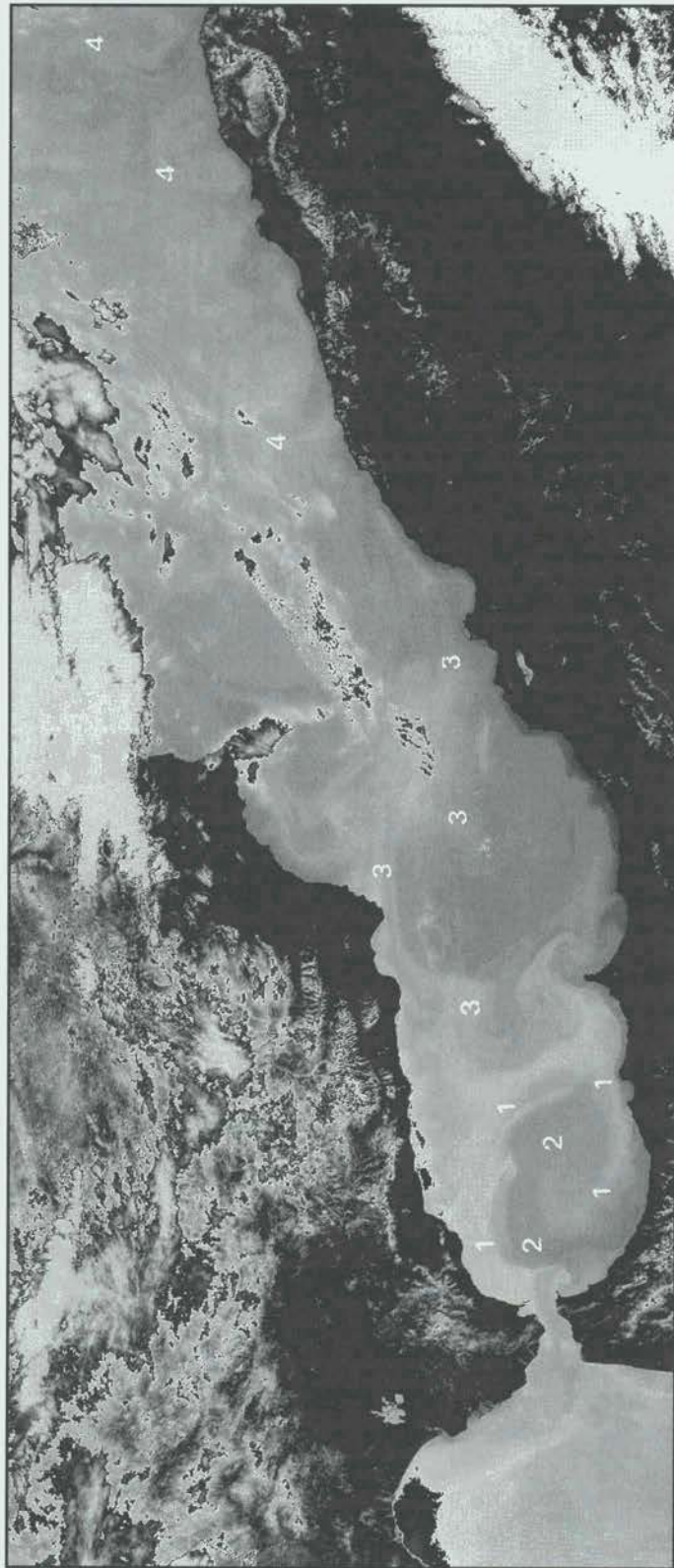
© Météo-France 1992

Mers Egée et de Marmara

22 avril 1981. Au printemps en mer Egée, les différences de TSM entre les eaux froides au nord-ouest (1) et les eaux plus chaudes au sud-est (2) s'atténuent ; les structures frontales sur le bord gauche de l'écoulement en provenance des Dardanelles (3) et autour des Cyclades (4) se réduisent à 1-2 °C / 5 km. A noter que le gradient nord-ouest - sud-est d'ensemble, caractéristique de l'hiver et du printemps, s'inversera en été et en automne.

Aegean and Marmara Seas

April 22, 1981. During springtime in the Aegean Sea, SST differences between cool water in the northwest (1) and the warmer water in the southeast (2) decrease ; the frontal structures on the left-hand side of the flow coming from the Dardanelles (3) and around the Cyclades (4) reduce to 1-2 °C / 5 km. Note that the overall northwest to southeast thermal gradient characteristic of the winter and spring seasons will reverse in summer and autumn.



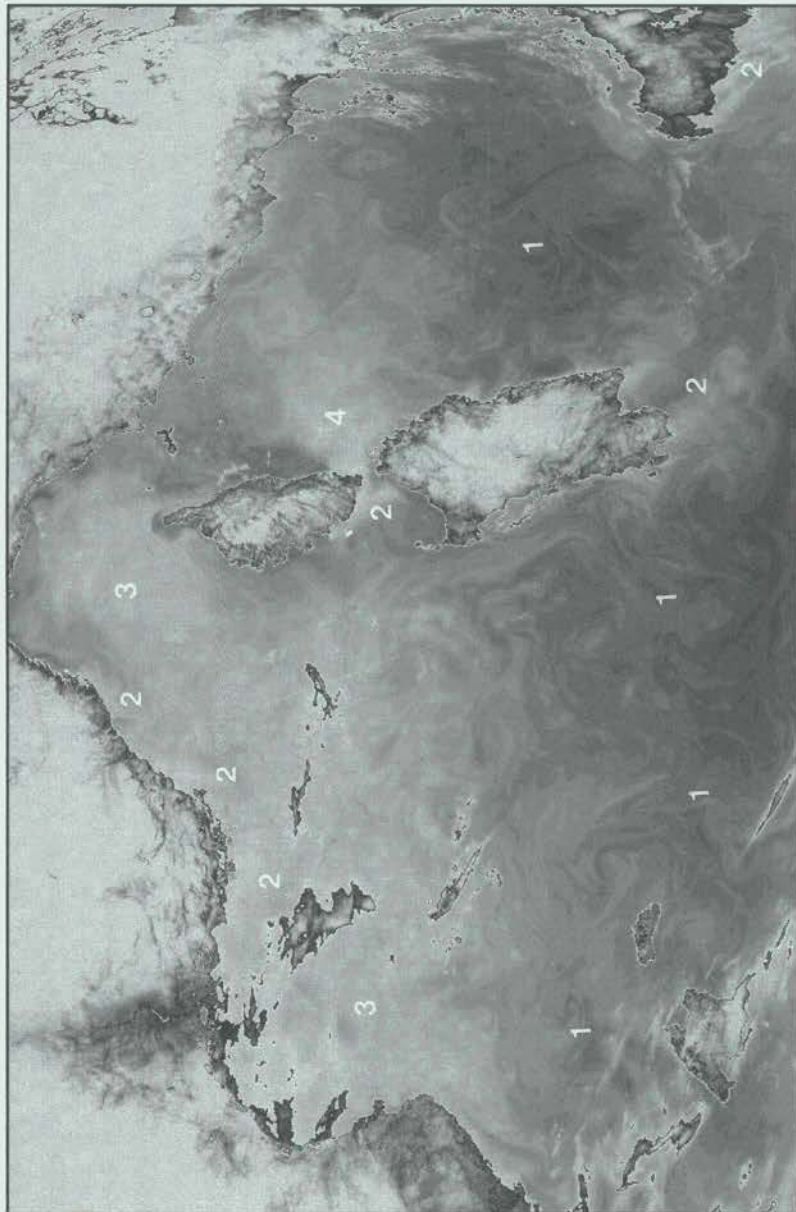
© Météo-France 1992

Mer d'Alboran et bassin Algérien

27 mai 1981. Les eaux d'origine atlantique et celles issues de l'upwelling le long de la côte espagnole sont maintenant plus froides que les eaux méditerranéennes ; en conséquence, le circuit dans l'ouest de la mer d'Alboran est clairement visible, avec des eaux froides spiralant vers l'intérieur (1) autour d'un cœur plus chaud (2). Des phénomènes de plus petite échelle, tels un tourbillon de cisaillement en face de Ceuta dû au flux entrant par le détroit de Gibraltar, ou la structure en champignon due à la rencontre de l'écoulement atlantique avec la côte marocaine et à son interaction avec le cap des Trois Fourches, sont aussi notables. Dans la partie est de la mer d'Alboran, la circulation anticyclonique ne forme pas un circuit fermé (3). L'écoulement d'eau atlantique est maintenant dénommé le courant Algérien ; sa structure turbulente est révélée par l'occurrence de nombreux tourbillons de moyenne échelle (4). Cette situation peut être comparée avec ce qui est observé le 4 juin 1981.

Alboran Sea and Algerian Basin

May 27, 1981. Water originating in the Atlantic and water upwelled along the Spanish coast are now cooler than the Mediterranean water ; consequently, the western Alboran gyre is clearly seen with cool water spiralling inwards (1) around a warmer core (2). Smaller scale phenomena, such as a shear eddy just off Ceuta due to the flow coming in through the Strait of Gibraltar, or the mushroom-like structure due to the impingement of the Atlantic flow on the Moroccan coast and its interaction with Cape Tres Forcas are also noticeable. In the eastern Alboran, the anticyclonic circulation does not form a closed gyre (3). The flow of Atlantic water is now named the Algerian current ; its turbulent structure is revealed by the occurrence of numerous mesoscale eddies (4). This situation may be compared with that observed on June 4, 1981.



© Météo-France 1992

Bassin Liguro-Provençal et mer Tyrrhénienne

25 mai 1982. Le réchauffement de printemps est caractérisé par de nombreux filaments déformés par la turbulence océanique (1). Les coups de vent de nord-ouest, qui sont encore nombreux en avril-mai, induisent des upwellings côtiers (2) ; ce phénomène présente réellement des caractéristiques très particulières dans le golfe du Lion, mais l'image est nuageuse sur cette zone. Du golfe du Lion à la mer Ligurie, la structure en dôme des isothermes et le mélange induit par le vent forment des zones de faibles TSM entourées de TSM plus élevées (3). Les vents d'ouest, canalisés entre la Corse et la Sardaigne, induisent un mélange intense localisé à l'est des Bouches de Bonifacio (4).

Liguro-Provençal Basin and Tyrrhenian Sea

May 25, 1982. Springtime warming is characterized by numerous filaments distorted by the oceanic turbulence (1). Gusts of northwesterlies, which are still numerous in April-May, induce coastal upwellings (2) ; this phenomenon actually displays very specific features in the Gulf of Lions, but the image is cloudy there and the wind-induced mixing lead to areas of low SST's surrounded by higher SST's (3). The westerly winds, being channelized between Corsica and Sardinia, induce an intense mixing localized just East of the Strait of Bonifacio (4).



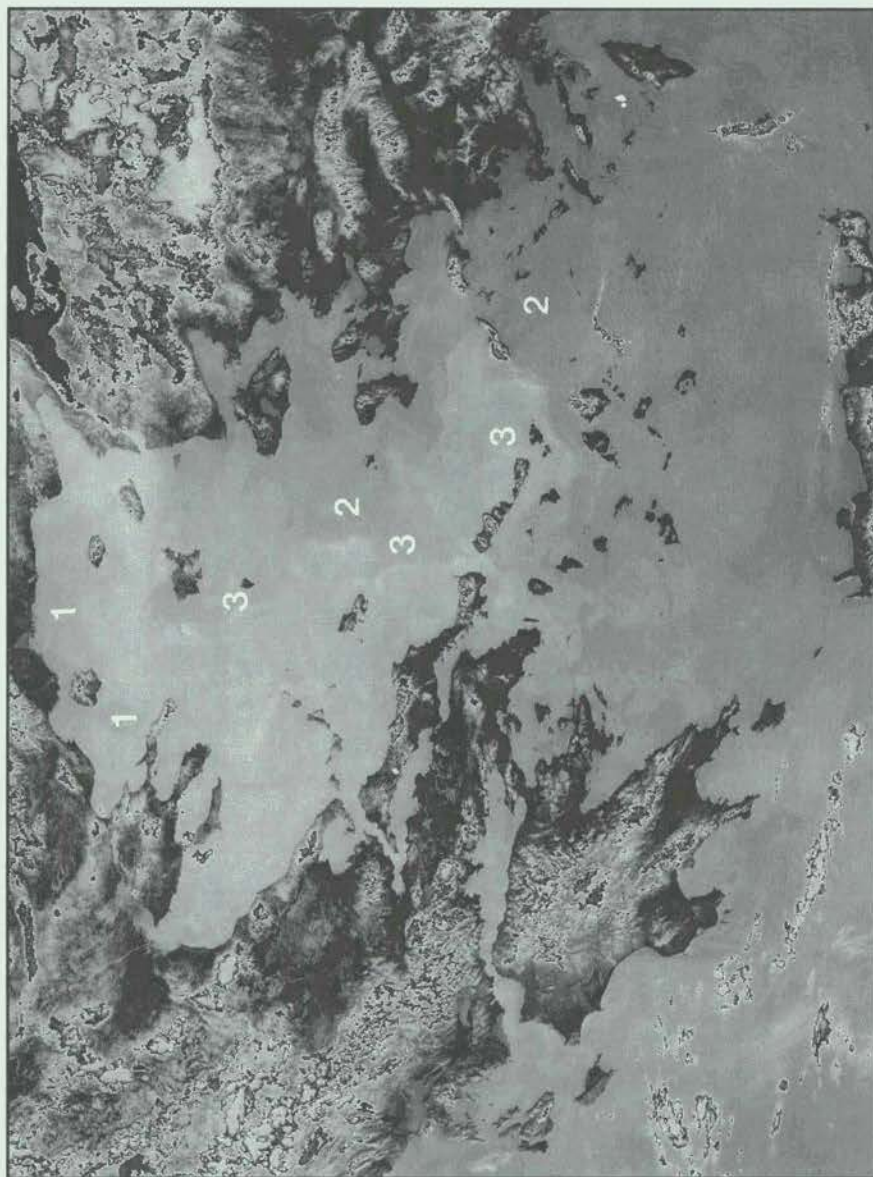
© Météo-France 1992

Mers Adriatique et Ionienne

4 mai 1982. On peut noter le réchauffement général dans le nord de l'Adriatique, particulièrement des eaux du Pô (1) dans le golfe de Venise. Bien que les contrastes soient maintenant réduits, la veine froide le long de la côte italienne (2) peut être suivie jusqu'en Sicile ; c'est une situation normale qui peut être comparée avec les observations inhabituelles du 13 avril 1981. Au centre des mers Ionienne et Tyrrhénienne, l'image révèle la présence de filaments (3). Au sud-est de la Sicile, la signature sinueuse du front de Malte (4) est clairement reconnaissable.

Adriatic and Ionian Seas

May 4, 1982. The general heating in the northern Adriatic Sea, especially the Po water (1) in the Gulf of Venice, is noted. Although the contrasts are now reduced, the cold vein along the Italian coast (2) can be followed down to Sicily this is a normal situation which can be compared with the unusual observations of April 13, 1981. In the open Ionian and Tyrrhenian Seas, filaments are revealed (3). Southeast of Sicily, the meandering signature of the Maltese front (4) is clearly recognizable.



© Météo-France 1992

Mer Egée

18 mai 1981. Le gradient thermique d'ensemble nord-ouest - sud-est est réduit. Au nord-ouest, le réchauffement réduit et parfois renverse les gradients (1) ; ce réchauffement est moins intense au sud-est (2) et de faibles gradients ($< 1\text{ }^{\circ}\text{C} / 5\text{ km}$) sont observés dans la zone centrale (3).

Aegean Sea

May 18, 1981. The overall north-west to south-east thermal gradient is reduced. In the north-west, the warming diminishes and sometimes reverses the gradients (1) ; this warming is less intense in the south-east (2) and smooth gradients ($< 1\text{ }^{\circ}\text{C} / 5\text{ km}$) are observed in the central zone (3).



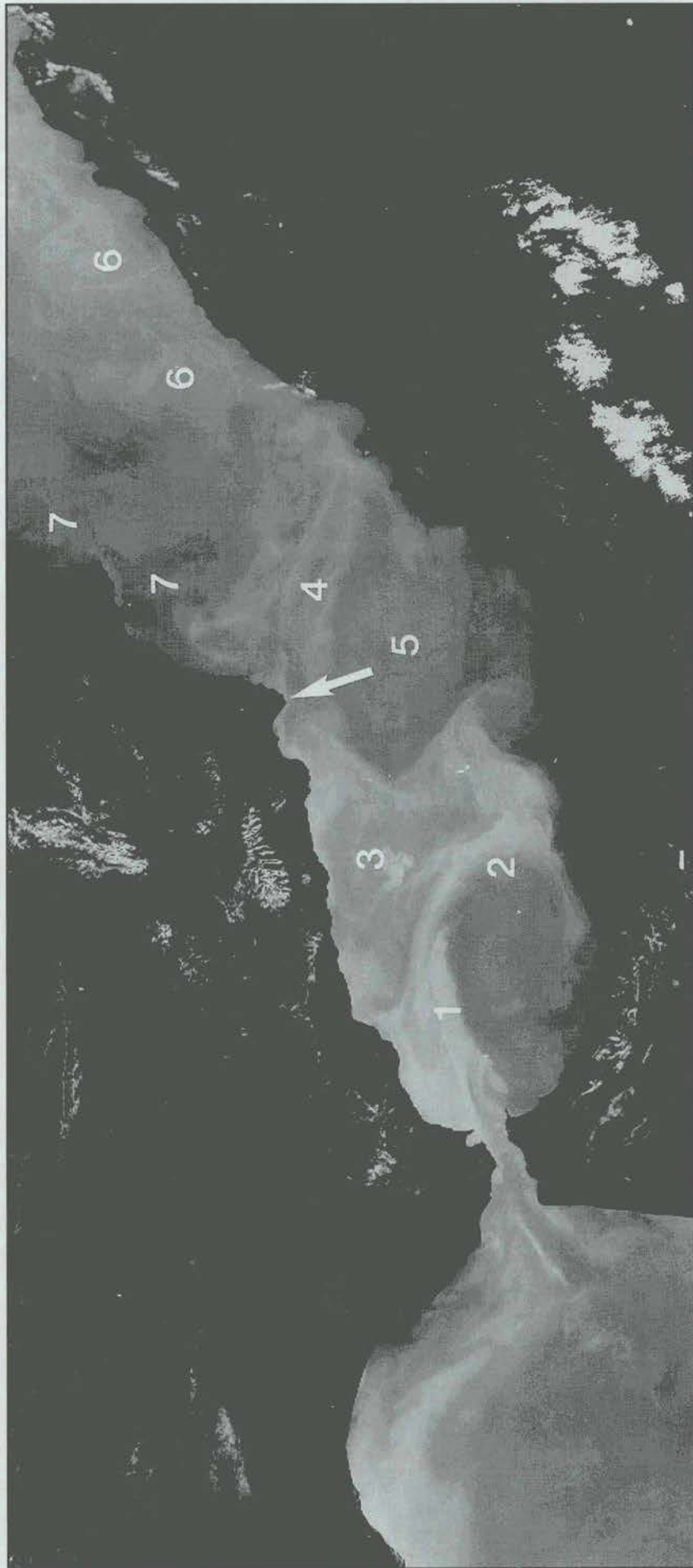
© Météo-France 1992

Bassin Algéro-Provençal et mer Ligurie

20 juin 1981. Au large de l'Algérie, les upwellings et les tourbillons de moyenne échelle induits par la nature turbulente du courant Algérien révèlent de manière frappante l'occurrence de courants intenses perpendiculaires à la côte (1). De grandes turbulences de moyenne échelle, telle la structure en champignon (2), sont caractéristiques du bassin Algérien. On voit aussi les refroidissements induits par le vent au sud de la Sardaigne (3), à l'est des bouches de Bonifacio (4) et dans le golfe du Lion (5). A noter que les eaux entraînées par le courant ouest-Corse sont plus chaudes que celles issues de la mer Tyrrhénienne. Cette image est nuageuse en mer Ligurie de telle sorte que la continuité de l'eau chaude entraînée par le courant Nord (6) ne peut être suivie. Dans le golfe du Lion, la signature de ce courant est masquée par les eaux froides issues des upwellings côtiers de Camargue et de Provence (5) ; à l'abri des Pyrénées, les eaux de surface de la mer Catalane restent stratifiées de telle sorte qu'une structure frontale perpendiculaire à la côte est souvent créée au sud du cap de Creux (->, 7, voir aussi le 9 juin 1986).

Algero-Provençal Basin and Ligurian Sea

June 20, 1981. Off Algeria, the mesoscale upwellings and eddies induced by the turbulent nature of the Algerian current strikingly reveal the occurrence of intense onshore-offshore currents (1). Large mesoscale turbulences, such as the mushroom-like structure (2), are characteristic of the Algerian Basin. Also revealed are the wind-induced coolings south of Sardinia (3), east of the Strait of Bonifacio (4) and in the Gulf of Lions (5). Note that the water entrained by the western Corsican current is warmer than the water issued from the Tyrrhenian Sea. This image is cloudy in the Ligurian Sea so that the continuity of the warm water entrained by the Northern current (6) cannot be seen. When in the Gulf of Lions, the signature of this current is masked by the cool water upwelled from the coast of Camargue and Provence (5) ; sheltered by the Pyrenees, the Catalan surface water remains stratified so that a frontal structure perpendicular to the coast is often created south of Cape Creux (->, 7, see also June 9, 1986).



© Météo-France 1992

Mer d'Alboran

4 juin 1981. Dans l'océan Atlantique, les eaux froides côtières, issues de l'upwelling qui se développe (saisonnièrement à cause du déplacement vers le nord des alizés) au sud du Portugal, sont visibles ; ces eaux froides côtières semblent s'écouler par le détroit de Gibraltar avec les eaux océaniques plus chaudes. Dans le détroit, un mélange intense entraîne un refroidissement dans l'axe et sur les bords du jet entrant ; mais à la sortie du détroit, les eaux chaudes d'origine océanique sont encore reconnaissables (1).

Ce jet entraîne, au large des côtes espagnoles, la formation d'un phénomène d'upwelling dont les eaux se mélangent plus ou moins avec celles du jet lui-même, de telle sorte que la rotation sur la droite décrite par l'écoulement entrant dans l'ouest de la mer d'Alboran, est caractérisée par des TSM faibles (2). Ce flux est dirigé perpendiculairement à la côte marocaine et seule une faible partie ferme un circuit anticyclonique ; les TSM des eaux enfermées dans ce circuit peuvent ainsi devenir relativement élevées. La plupart de l'écoulement semble dévié vers l'est puis le nord par le cap des Trois Fourches, conduisant ainsi à la formation d'une zone centrale tampon où la circulation est plus ou moins désorganisée (3).

Ce réservoir se vide principalement vers le nord-est et, même s'il est maintenant plus chaud, l'écoulement correspondant qui tourne sur la droite du cap de Gata (->) vers le voisinage d'Oran (4) est clairement visible. Après avoir rencontré la côte algérienne, seule une faible partie de ce flux ferme ce que l'on appelle le circuit est-Alboran, avec une circulation anticyclonique et des TSM relativement élevées à l'intérieur (5). A noter aussi que, comme le 27 mai 1981, une partie mineure de ce flux tourne autour du cap des Trois Fourches.

La plupart de l'eau modifiée d'origine atlantique s'écoule vers l'est le long de la côte algérienne, formant ainsi le courant Algérien caractérisé par une intense turbulence à moyenne échelle avec des tourbillons et des phénomènes d'upwelling (6). A noter que l'eau s'écoulant vers le sud le long de la côte espagnole (7) est maintenant relativement chaude.

Alboran Sea

June 4, 1981. In the Atlantic Ocean, cool coastal water, issuing from the upwelling which develops (seasonally due to the northward shifting of the trade-winds) south of Portugal is visible ; this cool coastal water seems to flow through the Strait of Gibraltar together with the warmer oceanic water. Within the strait, intense mixing leads to a cooling along the axis as well as on the sides of the incoming jet ; but at the outlet of the strait, the warm water originating in the open ocean is still recognizable(1).

This jet induces an upwelling phenomenon off the Spanish coast and the upwelled water more or less mixes with the jet itself, so that the veering to the right described by the incoming flow in the western Alboran is characterized by low SST's (2). This flow is directed perpendicularly towards the Moroccan coast and only a minor part of it closes an anticyclonic gyre ; the water trapped within this gyre may thus obtain relatively large SST's. Most of the flow is seemingly deflected eastwards and then northwards by Cape Tres Forcas, thus leading to a central buffer zone where the circulation is more or less disorganized (3).

This reservoir empties mainly towards the north-east and, even if now warmer, the corresponding flow veering to the right from Cape of Gata (->) to the vicinity of Oran (4) is clearly visible. After impingement on the Algerian coast, only a small part of this flow closes what is called the eastern Alboran gyre, with an anticyclonic circulation and relatively high SST's inside it (5). Note also that, as on May 27, 1981, a minor part of the flow turns around Cape Tres Forcas.

Most of the Modified Atlantic Water flows eastwards along the Algerian coast, thus forming the Algerian current characterized by an intense mesoscale turbulence with eddies and upwelling phenomena (6). Note that the water flowing southwards along the Spanish coast (7) is now relatively warm.



© Météo-France 1992

Méditerranée occidentale

9 juin 1986. Au large de l'Algérie, la situation est bien comprise car plusieurs bateaux étaient en mer à cette date. Le courant Algérien, qui a donné naissance à un jeune tourbillon côtier (1), transporte des eaux froides plus ou moins entraînées vers le large (2) par de vieux tourbillons du large (0), ainsi que des eaux plus chaudes, en provenance soit de la côte espagnole soit de la partie est de la mer d'Alboran, qui se sont écoulées le long de la côte algérienne à une vitesse de plusieurs dizaines de km/jour (3).

Les autres processus révélés dans le bassin sont dus à, ou ont été rendus visibles par, l'occurrence de vents de nord-ouest.

Les upwellings le long des côtes ouest et sud de la Sardaigne et de la Sicile entraînent à la surface des eaux froides qui sont ensuite dispersées par des tourbillons de moyenne échelle (4). Le pompage d'Ekman et/ou les effets du mélange à l'est des Bouches de Bonifacio refroidissent les eaux de surface et permettent de voir une faible circulation vers le sud le long des côtes de Corse et de Sardaigne, ainsi que des tourbillons de moyenne échelle au centre de la mer Tyrrhénienne. À l'ouest de ces îles, le front nord-Baléares peut être fortement déformé par des phénomènes de moyenne échelle (5). On voit aussi clairement le courant ouest-Corse, et certaines des turbulences qu'il engendre (6), et le courant est-Corse (7) se rejoindre en mer Ligurie pour former le courant Nord qui s'écoule autour de la zone centrale plus froide (8). Dans le golfe du Lion, ce courant transporte jusqu'aux côtes espagnoles, les eaux froides issues de l'upwelling de Cassis (9), tandis que l'upwelling le plus à l'ouest (10) peut aussi être vu.

Western Mediterranean

June 9, 1986. Off Algeria, the situation is well understood because several ships were at sea at this date. The Algerian current, which has given rise to a young-coastal eddy (1), contains cool water more or less entrained seawards (2) by old-offshore eddies (0) as well as much warmer water, originating either from the Spanish coast or from the eastern Alboran Sea, which has progressed along the Algerian coast at a speed of several tens km/day (3).

The other processes revealed in the basin are due to, or have been made visible by, the occurrence of northwesterlies.

Upwellings along the western and southern Sardinian and Sicilian coasts bring to the surface cool water which is then swept along by mesoscale eddies (4). Ekman pumping and/or mixing effects, east of the Strait of Bonifacio, cool the surface water and allow a smooth southward circulation along the Corsican and Sardinian coasts and mesoscale eddies in the open Tyrrhenian Sea to be seen. West of these islands, the North-Balearic front can be markedly distorted by mesoscale phenomena (5). Also clearly visible are the western Corsican current, and some of the turbulences it induces (6), and the eastern Corsican current (7) joining together in the Ligurian Sea to form the Northern current which then flows around the cooler central zone (8). When in the Gulf of Lions, this current transports, as far as the Spanish coast, the water upwelled around Cassis (9), while the westernmost coastal upwelling (10) is also seen.



© Météo-France 1992

Méditerranée orientale

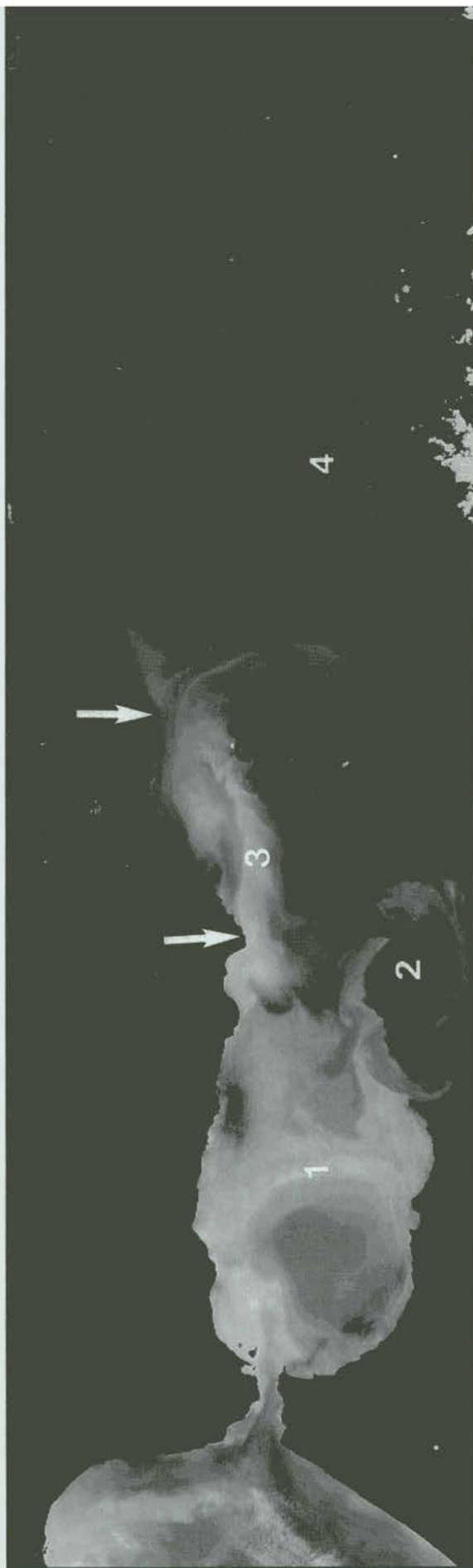
23 juin 1985. Les TSM les plus faibles de cette image sont associées à divers types de phénomènes :

- de la Sicile à la Tunisie (1), sauf autour des îles de Kerkennah et dans le golfe de Gabès (2) où la mer est moins profonde, on reconnaît les eaux d'origine atlantique récemment entrées, peut-être refroidies par les vents de nord-ouest et l'upwelling le long de la côte de Sicile.
- de l'Albanie à la Grèce et, dans le lit du vent, jusqu'au sud de la Crète (3), on note l'occurrence de tourbillons de moyenne échelle probablement induits par le vent.
- en mer Egée, la phase transitoire entre les conditions de printemps et d'été est caractérisée par des TSM plutôt homogènes (4). Au large des côtes de Turquie cependant, les upwellings de petite échelle sur le bord sud des îles jusqu'à Rhodes (5) révèlent que les étiésiens de nord ont commencé à souffler.
- le long des côtes sud de la Turquie, les eaux plus chaudes du courant d'Asie Mineure (6) contrastent avec les eaux relativement froides de l'upwelling au nord de Rhodes (7) et avec celles associées à la structure en dôme au large (8) ; à noter la ressemblance avec la situation dans le golfe du Lion.

Eastern Mediterranean

June 23, 1985. The lowest SST's in this image are associated with various kinds of phenomena :

- from Sicily to Tunisia (1), except around the Kerkennah Islands and in the Gulf of Gabès (2) where the sea is shallower, one recognizes the newly-entered MAW maybe cooled by northwesterly winds and upwelling along the coast of Sicily.
- from Albania and Greece downwind towards the south of Crete (3), one notes the occurrence of mesoscale eddies, probably wind-induced.
- in the Aegean Sea, the transitory phase between spring and summer conditions is characterized by rather homogeneous SST's (4). Off the Turkish coast however, the small scale upwellings on the southern side of the islands down to Rhodes (5) reveal that the summer northerlies have started to blow.
- along the southern Turkish coast, the warm water of the Asia Minor current (6) contrasts with the relatively cool water upwelled north of Rhodes (7) and with the associated with the doming structure in the open sea (8) ; note the resemblance to the situation in the Gulf of Lions.



© Météo-France 1992

Mer d'Alboran

31 juillet 1982. La situation dans l'Atlantique, dans le détroit de Gibraltar, et dans les parties ouest et centrale de la mer d'Alboran est similaire à celle des 4 juin et 27 mai 1981. La partie est présente au contraire des structures peu usuelles : la branche sud (1) de l'écoulement quittant le bassin ouest forme un tourbillon anticyclonique très réduit à l'est du cap des Trois Fourches (2), alors que la branche nord (3) forme un jet s'écoulant vers le nord-est à partir du cap de Gata (->). Ce n'est qu'au niveau du cap Palos (->) que l'écoulement tourne à droite vers l'Algérie et forme alors le courant Algérien (4). Cette image montre clairement que les eaux de surface en mer d'Alboran sont refroidies par des phénomènes originaires de la Méditerranée elle-même.

Alboran Sea

July 31, 1982. The situation in the Atlantic Ocean, in the Strait of Gibraltar and in the western and central Alboran Sea is very similar to that encountered on June 4 and May 27, 1981. The situation in the eastern Alboran is quite unusual however the southern branch (1) of the flow leaves the western basin and forms a very reduced anticyclonic gyre east of Cape Tres Forcas (2) while the northern branch (3) forms a jet flowing north-eastwards from Cape of Gata (->) instead of south-eastwards. It is only from Cape Palos (->) that the flow veers to the right towards Algeria and then forms the Algerian current (4). This image clearly shows that surface water in the Alboran Sea is cooled under the influence of phenomena originating within the Mediterranean itself.



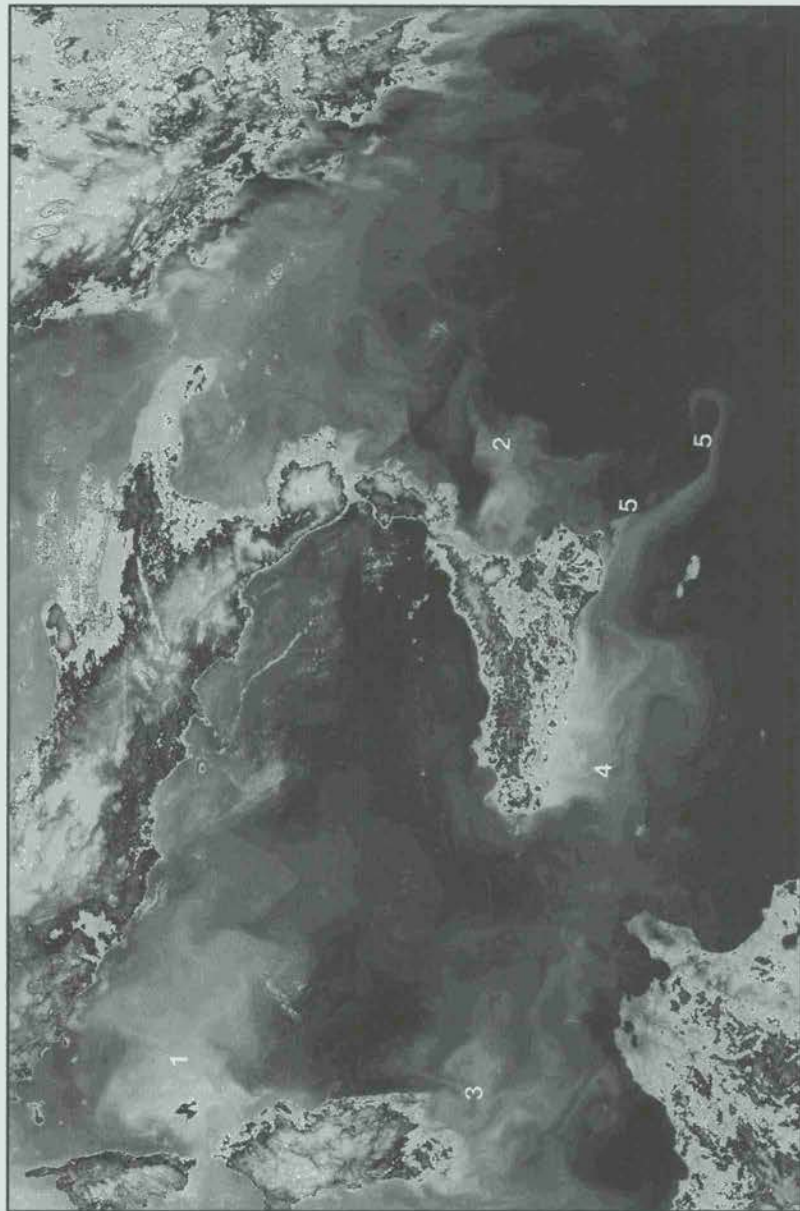
© Météo-France 1992

Bassin Algéro-Provençal et mer Tyrrhénienne

29 et 16 juillet 1981. Les upwellings et deux jeunes tourbillons côtiers anticycloniques (1, 2) associés au courant Algérien sont particulièrement bien signés ; la comparaison avec l'image du 16 juillet (en bas à droite) sur laquelle les tourbillons peuvent être clairement reconnus (1', 2') montre la propagation vers l'est des turbulences avec une vitesse de quelques km/jour ; elles ne peuvent donc pas être induites par le vent. Les phénomènes liés au vent dans l'ensemble de la région sont semblables à ceux observés le 9 juin 1986.

Algero-Provençal Basin and Tyrrhenean Sea

July 29 and 16, 1981. The upwellings and two young-coastal anticyclonic eddies (1, 2) associated with the Algerian current are particularly distinct ; comparison with the image of July 16 (bottom right) on which the eddies can be clearly recognized (1', 2'), reveals the eastward propagation of the turbulences at a few km/day and thus demonstrates that they are definitively not wind-induced. The wind-induced phenomena in the whole region are similar to those seen on June 9, 1986.



© Météo-France 1992

Méditerranée centrale

1^{er} juillet 1982. Cette image montre l'extension relativement large des eaux froides à l'est des Bouches de Bonifacio (1) et à l'ouvert du détroit de Messine (2), et l'apparition d'upwellings et de panaches induits par le vent au sud de la Sardaigne (3) et de la Sicile (4), ces derniers entraînant la formation du front de Malte (5). A noter également un upwelling de formation récente au large de la Grèce et de l'Albanie. En mer Tyrrhénienne et en mer Ionienne, les TSM sont élevées et homogènes. Même si elle est un peu nuageuse en Adriatique, cette image suggère que la veine qui s'écoule vers le sud le long de la côte italienne n'a pas de signature thermique.

Central Mediterranean

July 1, 1982. This image reveals the relatively large extension of the cool areas east of the Strait of Bonifacio (1) and at the outlet of the Strait of Messina (2), and the occurrence of wind-induced upwellings and plumes south of Sardinia (3) and Sicily (4) which lead to the formation of the Maltese front (5). Note also the recently occurred upwelling phenomenon off Greece and Albania. The image shows that the SST's are high and homogeneous in the open Tyrrhenian and Ionian seas and, even if cloudy in the Adriatic, suggests that the vein which still flows southwards along the Italian coast is not thermally distinct.



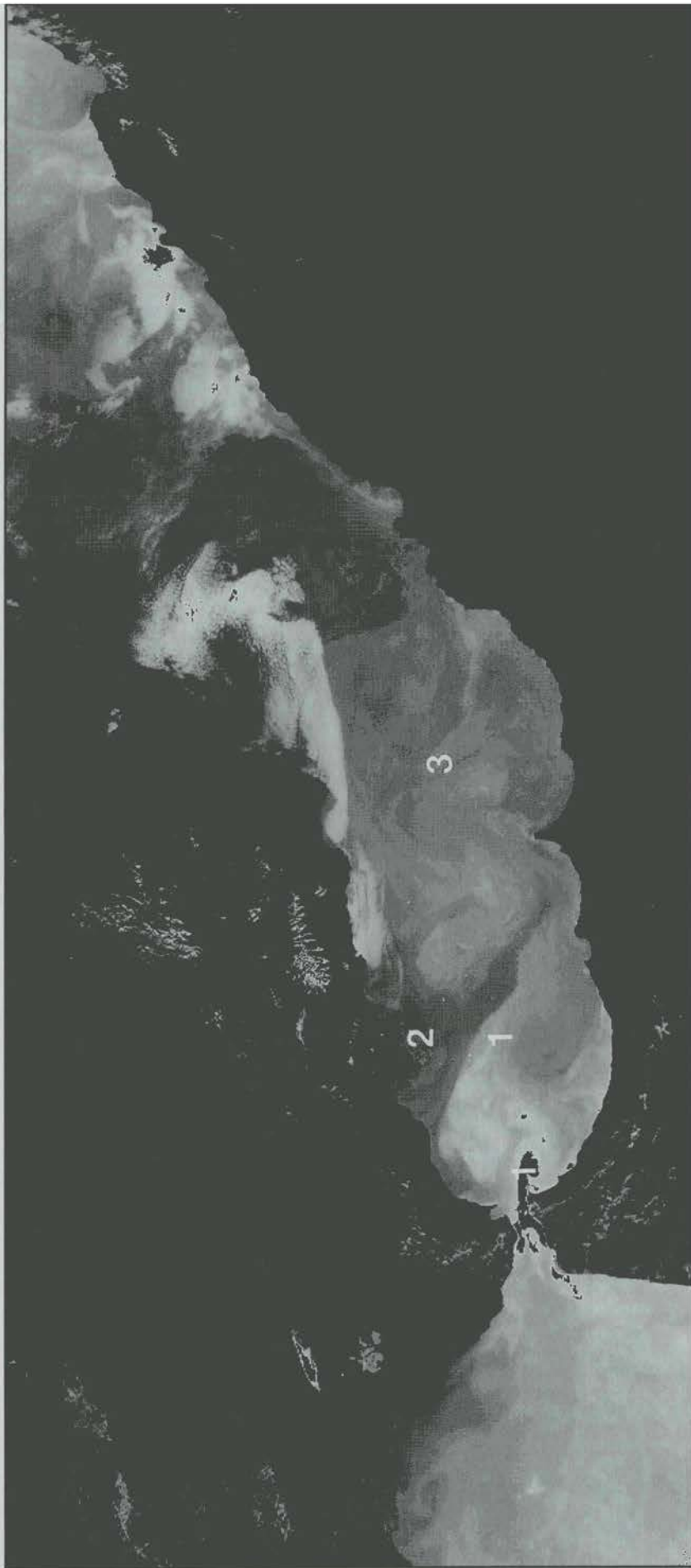
© Météo-France 1992

Mer Egée

21 juillet 1982. Toutes les structures thermiques présentes sur cette image sont induites par les vents de nord relativement forts qui soufflent fréquemment en mer Egée pendant l'été. A grande échelle et en raison de la force de Coriolis, les vents induisent des phénomènes d'upwelling au large de la Turquie (1) et de downwelling au large de la Grèce (2) ; ils dévient les eaux froides de la mer de Marmara vers le sud. De nombreuses structures de petite échelle sont dues à des irrégularités orographiques ou bathymétriques. Des turbulences de plus grande échelle sont créées par la Crète, qui est très montagneuse (2000 m environ) et perpendiculaire au vent : l'eau s'accumule et se réchauffe le long de la côte au vent (3), le vent s'intensifie à l'ouest et à l'est de l'île en provoquant un brassage intense (5) ; il est en général plus calme le long de la côte sous le vent où il crée des upwellings modérés (6). Noter que les bassins ouverts (mer Ionienne et sud de la Turquie, 4) sont chauds et homogènes.

Aegean Sea

July 21, 1982. All the thermal features revealed by this image are induced by the northerlies which frequently blow relatively quickly in the Aegean Sea during summertime. At a large scale, due to the Coriolis effect, the winds induce upwelling off Turkey (1) and downwelling off Greece (2), they deflect southwards the cool Marmara water. Numerous small scale features are due to orographic or bathymetric irregularities. Larger turbulences are created by Crete, which is very mountainous (roughly 2000 m high) and perpendicular to the wind : water is amassed and warmed along the windward coast (3), the wind intensifies west and east of the island thus leading to intense mixing (5) while it is generally more calm along the leeward coast thus leading to reduced upwelling phenomena (6). Note that the open basins (Ionian Sea and South of Turkey, 4) are warm and homogeneous.



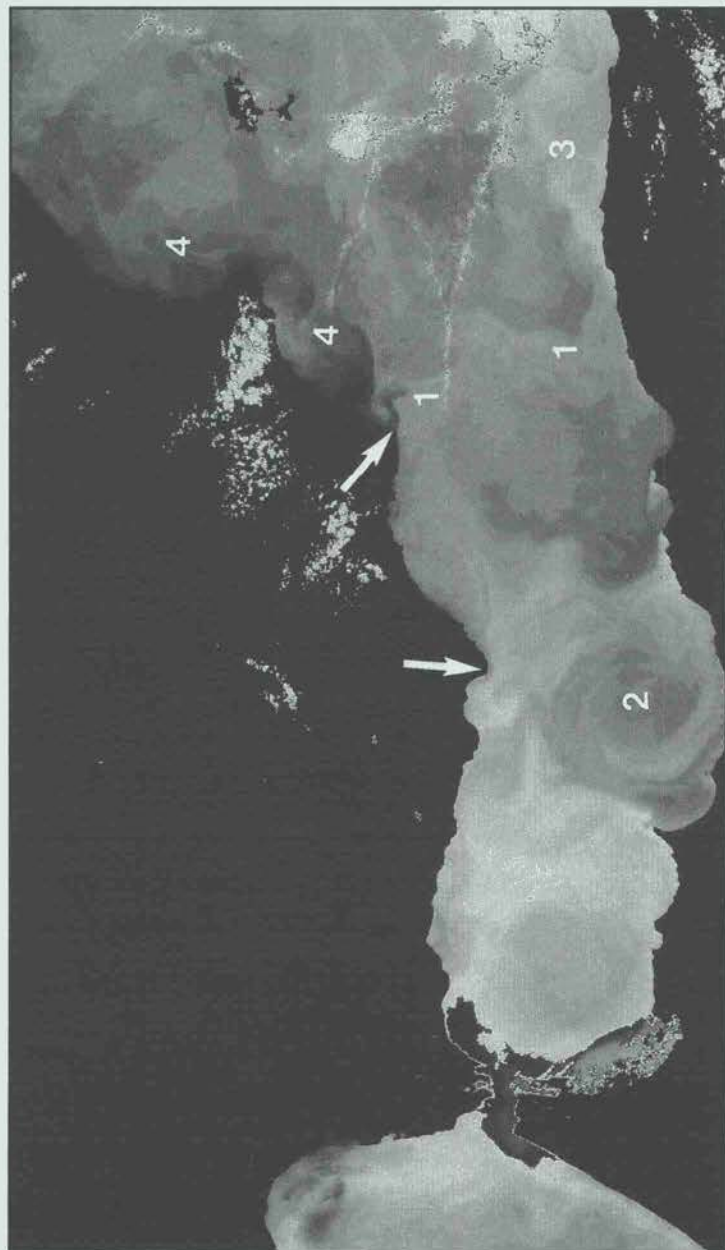
© Météo-France 1992

Mer d'Alboran

18 août 1981. Cette image montre une situation assez peu commune avec un jet entrant relativement froid (1), fortement dévié vers le sud depuis l'entrée de la mer d'Alboran, et l'absence d'upwelling au nord. En conséquence, les eaux chaudes sont présentes le long de la côte espagnole et sont entraînées vers le sud-est (2) tandis que les eaux froides s'accablent au large du Maroc. La circulation semble désorganisée dans l'ensemble de la mer d'Alboran, en particulier on ne discerne pas de circulation anticyclonique dans le bassin oriental (3).

Alboran Sea

August 18, 1981. This image displays a rather uncommon situation with a relatively cool incoming jet (1) strongly deflected southwards from the entrance of the Alboran Sea, and no upwelling in the North. Consequently, warm water is encountered along the Spanish coast and entrained southeastwards (2) while cool water is amassed off Morocco. The circulation appears disorganized in the whole Alboran Sea and no evidence is shown of the occurrence of anticyclonic circulation in the eastern basin (3).



© Météo-France 1992

Mer d'Alboran et bassin des Baléares

9 août 1982. Cette image doit être comparée à celle du 31 juillet 1982. Elle montre en effet des structures similaires au centre de la mer d'Alboran et plus à l'ouest (des nuages masquent le détroit de Gibraltar). Dans la mer d'Alboran orientale, même si on peut observer de l'eau d'origine atlantique s'écoulant vers le nord-est à partir du cap de Gata (->) avant de virer depuis le cap Palos (->) vers l'Algérie (1), la plus grande part de l'écoulement Atlantique forme maintenant un tourbillon anticyclonique plus classique (2). L'eau froide le long de la côte algérienne (3) est due aux upwellings associés à la turbulence du courant Algérien, tandis que les eaux les plus chaudes s'écoulent vers le sud le long de la côte espagnole (4).

Alboran Sea and Balearic Basin

August 9, 1982. This image should be compared with that of July 31, 1982. It displays similar features in the central Alboran Sea and westwards (clouds mask the Strait of Gibraltar). In the eastern Alboran Sea, even if some Atlantic Water is still observed flowing northeastwards from Cape of Gata (->) before veering from Cape Palos (->) towards Algeria (1), the major part of the Atlantic flow now forms a more-classical anticyclonic gyre (2). Cool water along the Algerian coast (3) is due to the upwellings associated with the Algerian current turbulence while the warmest water flows southwards along the Spanish coast (4).



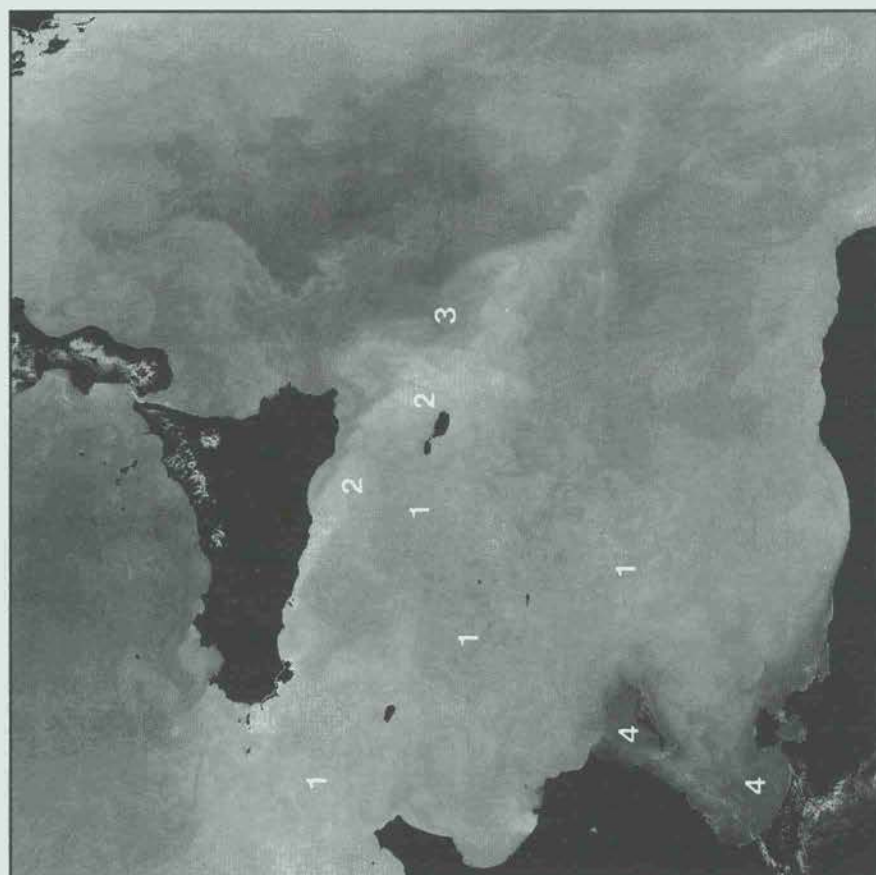
© Météo-France 1992

Mistral sur la Méditerranée occidentale

8 août 1985. Cette image suit une période (5-8 août) de vent de nord-ouest sur le bassin Algéro-Provençal et sur la mer Tyrrhénienne. Les upwellings côtiers (flèches) sont particulièrement intenses dans le golfe du Lion, le long des côtes ouest et sud de la Sardaigne, le long des côtes sud-est de la Sicile et, ce qui est moins habituel, le long du littoral italien au voisinage de Naples. Le refroidissement des eaux du large dans le bassin Liguro-Provençal et à l'est des Bouches de Bonifacio est également visible.

Mistral in the western Mediterranean

August 8, 1985. This image follows a period (5 to 8 August) of northwesterlies over both the Algero-Provençal Basin and the Tyrrhenian Sea. Coastal upwellings (arrows) are particularly intense in the Gulf of Lions, along the west and south coasts of Sardinia, along the south-western coast of Sicily and, more unusual, along the Italian shore in the vicinity of Naples. The cooling of the offshore water in the Liguro-Provençal Basin and east of the Strait of Bonifacio may be seen.



© Météo-France 1992

Mer Ionienne et bassin Afro-Sicilien

3 août 1981. Les eaux d'origine atlantique (1) et les eaux froides des upwellings de la côte sud-ouest de la Sicile (2) contrastent avec les eaux plus chaudes de la mer Ionienne en créant le front de Malte caractérisé par des gradients atteignant 2 °C / 5 km (3). Dans le golfe de Gabès et autour des îles de Kerkennah et de Djerba, la faible profondeur des eaux entraîne un réchauffement intense (4).

Ionian Sea and Afro-Sicilian Basin

August 3, 1981. The water of Atlantic origin (1) and the cool water upwelled along the south-western Sicilian coast (2) contrast with the warmer Ionian Sea water thus leading to the Maltese front which is characterized by gradients reaching 2 °C / 5 km (3). In the Gulf of Gabès and around the Kerkennah and Djerba islands, the shallower depth allows intense warming (4).



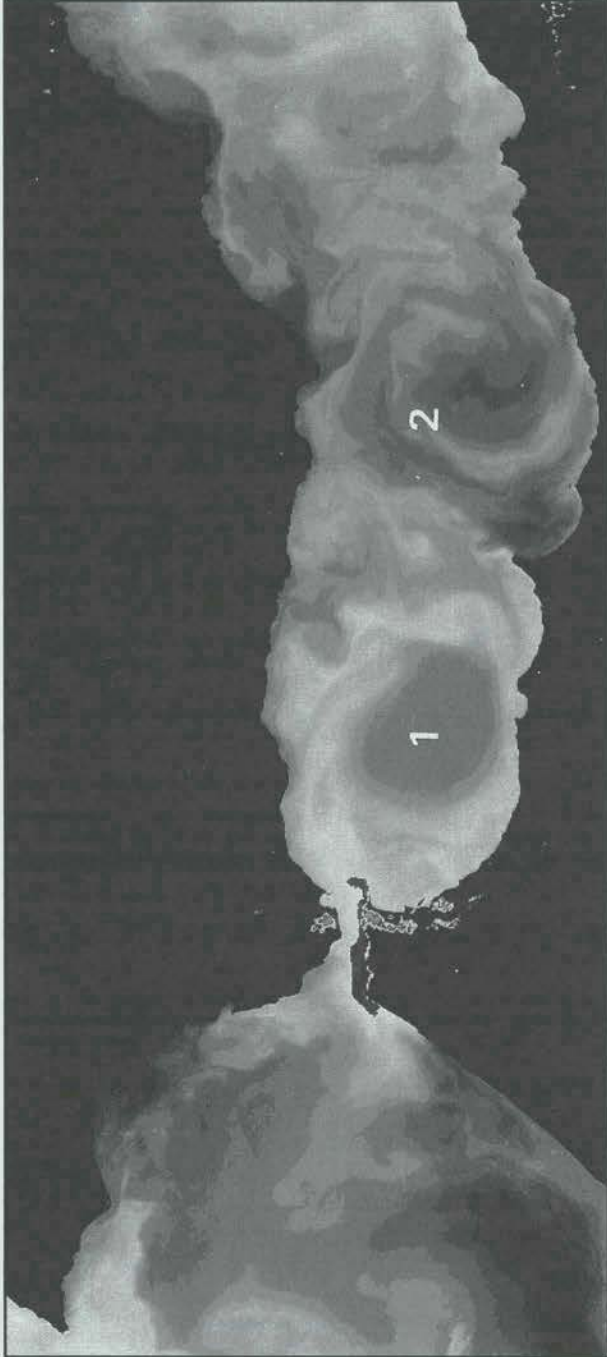
© Météo-France 1992

Mer Egée

15 août 1982. Cette image est très semblable à celle du 21 juillet 1982 avec des gradients est-ouest importants engendrés par les upwellings de la mer Egée ou par les eaux froides entraînées par les vents de nord depuis la mer de Marmara le long de la côte occidentale turque (1). Les zones froides à l'ouest et à l'est de la Crète (2) sont également bien visibles. Les eaux les plus chaudes sont localisées au sud de la Turquie (3), tandis que les plus froides sont issues des Dardanelles (4).

Aegean Sea

August 15, 1982. This image is very similar to that of July 21, 1982, with large east-west gradients due to water upwelled in the Aegean Sea or deflected southwards from the Marmara Sea by the northerlies along the western Turkish coast (1). The cool zones west and east of Crete (2) are also clearly visible. The warmest water is located south of Turkey (3) while the coolest water issues from the Dardanelles (4).



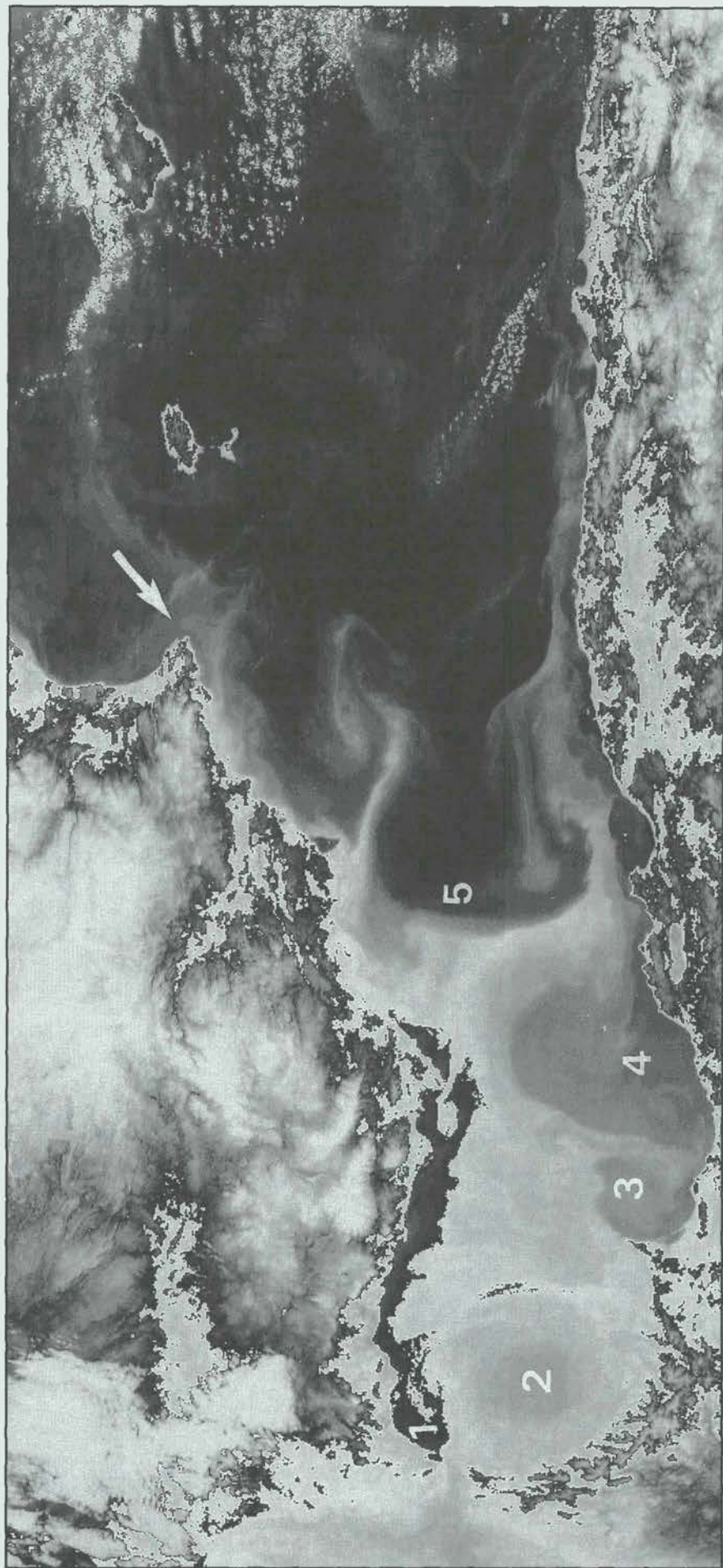
© Météo-France 1992

Mer d'Alboran

2 septembre 1982. L'eau de l'Atlantique, à l'exception des upwellings du Portugal, est relativement chaude ; on observe un refroidissement important à l'entrée et à l'intérieur du détroit de Gibraltar, refroidissement vraisemblablement dû au brassage provoqué par les ondes internes et les interactions avec la topographie. A l'intérieur de la mer d'Alboran, les eaux d'origine atlantique sont donc relativement froides ; elles forment un tourbillon anticyclonique fermé avec un noyau notablement plus chaud (1), mais aucun upwelling significatif ne semble être induit sur le bord nord du tourbillon. On note aussi qu'après sa rencontre avec la côte marocaine, une partie de l'eau atlantique se dirige vers l'est et est déviée vers le large par le cap des Trois Fourches, en alimentant un réservoir central. Par la suite, l'eau atlantique forme un autre tourbillon anticyclonique dans la partie est de la mer d'Alboran, nettement indiqué par une spirale d'eau froide (2). Le réchauffement et le mélange avec de l'eau chaude s'écoulant vers le sud le long de la côte espagnole masquent probablement la signature de l'écoulement dans sa progression vers l'est.

Alboran Sea

September 2, 1982. The water in the Atlantic, except for the water upwelled off Portugal, is relatively warm and an important cooling takes place at the entrance and within the Strait of Gibraltar which is certainly related to mixing processes due to internal waves and interactions with the topography. Within the Alboran Sea, water of Atlantic origin is thus relatively cool ; it forms a closed anticyclonic gyre with a noticeably warmer core (1), but no significant upwelling seems to be induced on the northern side of the gyre. Also note that, after impingement onto the Moroccan coast, part of the Atlantic flow turns eastwards and is deflected seawards by Cape Tres Forcas, thus filling a central buffer zone. Afterwards, the water of Atlantic origin forms another anticyclonic gyre in the eastern Alboran Sea with cool water clearly spiralling inside (2). Warming and mixing with the warm water flowing southwards along the Spanish coast probably mask the signature of the flow whilst it progresses eastwards.



© Météo-France 1992

Mer d'Alboran

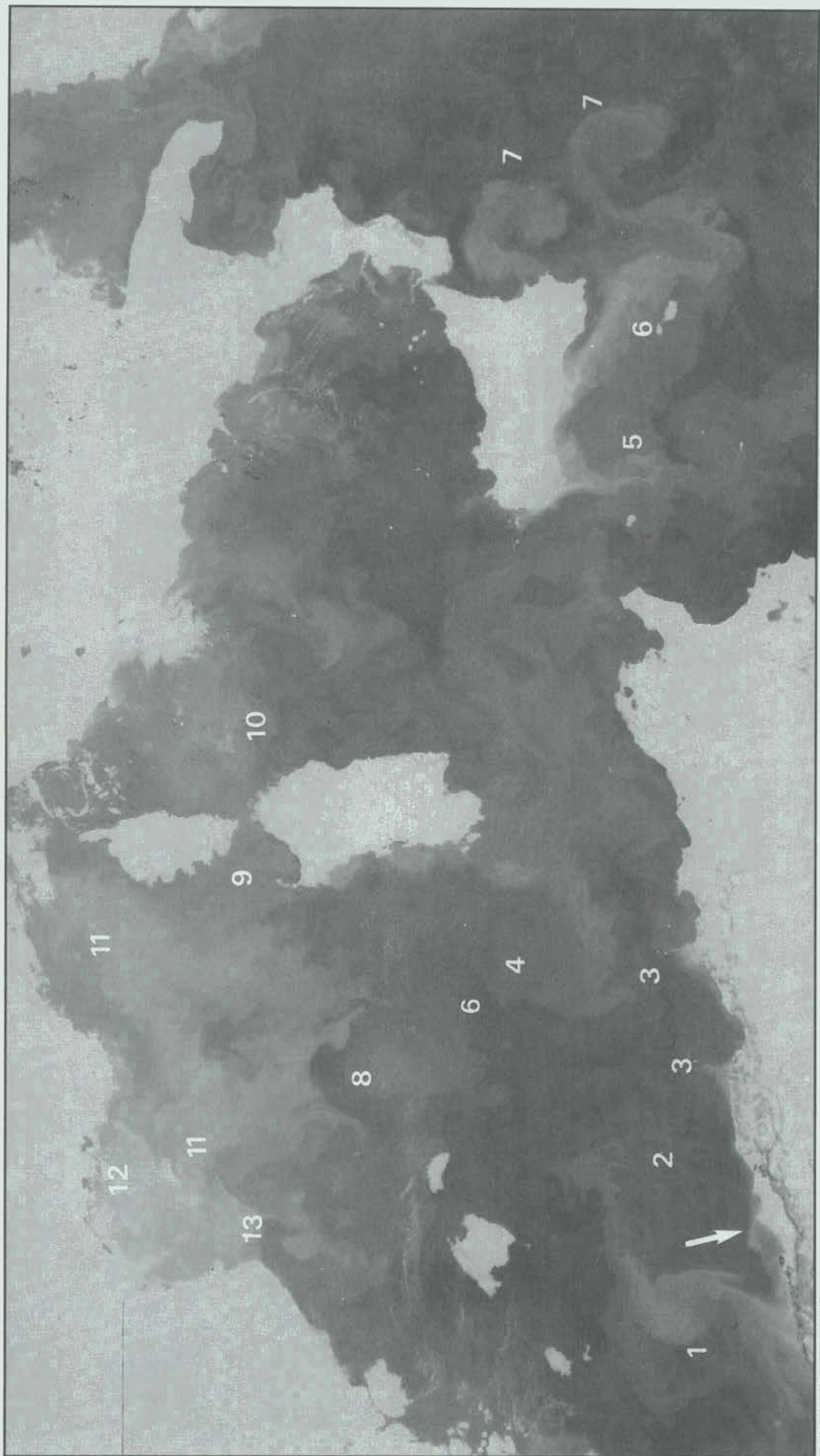
28 septembre 1981. Bien que les TSM côtières de la mer d'Alboran soient peu différentes de celles des zones continentales, cette image présente des structures intéressantes. Les eaux d'origine Atlantique et le cœur de l'écoulement entrant dans le détroit de Gibraltar sont relativement chauds. Cet écoulement est dévié vers la droite, ce qui crée un upwelling important le long de la côte sud de l'Espagne (1) ; les eaux de cet upwelling vont apparemment contribuer pour une large part à la signature froide de l'écoulement des eaux d'origine atlantique en mer d'Alboran.

Le tourbillon occidental est bien défini (2) et sa taille, comme sur l'image précédente, n'est pas directement reliée à la forme de la côte. Cependant, le cap des Trois Fourches dévie nettement l'écoulement vers le large après sa rencontre avec la côte du Maroc. Plus à l'est, la situation est assez compliquée avec quatre branches d'eaux froides. La première forme un petit tourbillon relié au cap des Trois Fourches (3) ; les eaux s'écoulant alors le long de la côte africaine sont nettement réchauffées (4). La seconde et la plus importante branche forme l'écoulement classique Almería-Oran et est caractérisée par un front extrêmement intense de 4-5 °C / 5 km (5). On remarquera que cet écoulement froid est empêché d'atteindre la côte algérienne par la veine chaude en provenance de l'ouest (4) ; la première coule alors vraisemblablement sous la seconde. La troisième branche partant du cap Palos est assez régulièrement observée tandis que la quatrième partant du cap San Antonio (->) est inhabituelle ; ces branches ont été vraisemblablement induites par les vents de sud-ouest qui ont soufflé sur la zone au cours des jours précédents.

Alboran Sea

September 28, 1981. Although the coastal SST's in the Alboran Sea are similar to those of the continental zones, interesting features can be described. The Atlantic water and the core of the flow coming in through the Strait of Gibraltar are relatively warm. This flow is deflected to the right, thus leading to an important upwelling phenomenon all along the southern Spanish coast (1) ; it seems that this upwelled water contributes significantly to the SST signature of the flow of Atlantic origin in the whole Alboran Sea.

The western gyre is well defined (2) and its dimension, as on the preceding image, is not related to the shape of the coastline. Cape Tres Forcas does however cause the flow which has impinged on the Moroccan coast to deviate seawards. Further east, the situation is rather complicated with four branches of cool water. The first branch forms a small eddy attached to Cape Tres Forcas (3) ; the water then flowing along the African coast is markedly warmed (4). The second and most important branch is related to the classical Almería-Oran flow and is characterized by an extremely intense front of 4-5 °C / 5 km (5). Note that this cool flow is prevented from reaching the Algerian coast by the warm vein flowing from the west (4) ; the former most probably flows below the latter. The third branch issuing from Cape Palos is quite frequently observed while the fourth from Cape San Antonio (->) is unusual ; these branches were very probably induced by the southwesterlies which were blowing over the region during the preceding days.



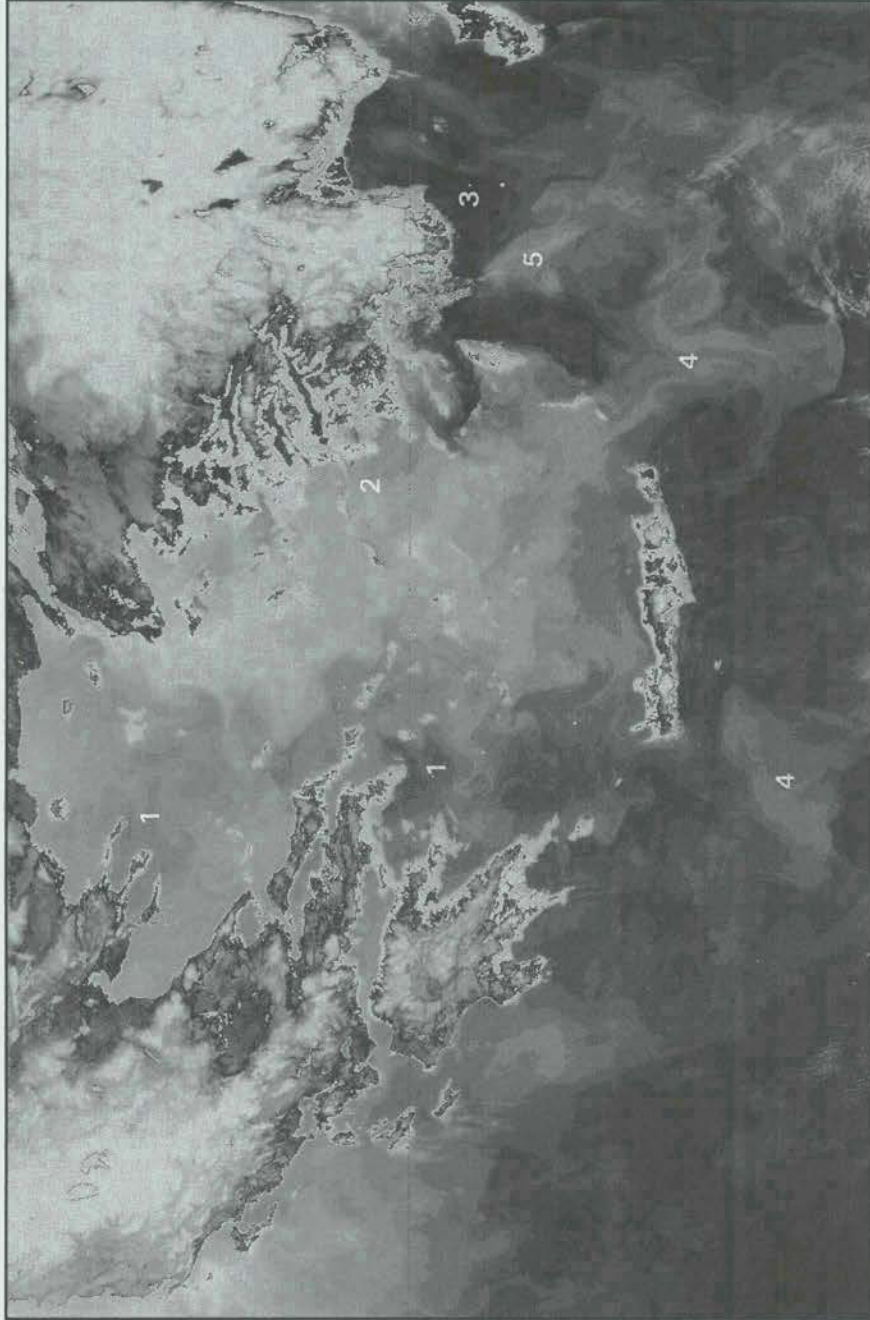
© Météo-France 1992

Méditerranée occidentale

2 septembre 1985. Les eaux d'origine atlantique s'écoulant le long de la côte algérienne sont déviées (1) vers les Baléares, probablement par un tourbillon de moyenne échelle (2), avant d'atteindre Alger (->). L'écoulement retourne ensuite vers la côte algérienne et progresse vers l'Est, créant quelques phénomènes d'upwelling (3) avant d'atteindre le détroit de Sicile. Des eaux froides, provenant d'upwellings, ou liées à la circulation, sont visibles autour de la Sardaigne et de la Sicile : certaines sont entraînées par un tourbillon anticyclonique (4), tandis que les autres sont associées à des structures de moyenne échelle habituelles (5, 6) ou moins habituelles (7). Le front nord-Baléares (gradients de 3 °C / 5 km) est perturbé par un autre tourbillon anticyclonique (8) et l'origine du courant ouest-Corse (9) est nettement identifiable. Dans la mer Tyrrhénienne, la zone froide à l'est des Bouches de Bonifacio est présente (10) mais les eaux s'écoulant vers le nord par le canal de Corse sont encore relativement chaudes. Les structures classiques sont observées dans le bassin Liguro-Provençal avec les eaux relativement chaudes du courant Nord séparant les eaux de la zone centrale (11) de celles du plateau continental du golfe du Lion refroidies par les phénomènes d'upwelling (12) ; à noter la structure frontale classique perpendiculaire à la côte nord de l'Espagne (13).

Western Mediterranean

September 2, 1985. The water of Atlantic origin flowing along the Algerian coast is deflected (1) towards the Balearic Islands, probably by a mesoscale eddy (2), before having reached Algiers (->). Then, the flow returns to the Algerian coast and progresses eastwards, thus leading to some upwelling phenomena (3), before entering the Strait of Sicily. Cool water, upwelled by the wind or linked to the circulation, is seen around Sardinia and Sicily : some water is swept along within an anticyclonic eddy (4), while the rest is associated with common (5, 6) and uncommon (7) mesoscale features. The North-Balearic front (gradients of 3 °C / 5 km) is markedly disturbed by another anticyclonic eddy (8) and the formation of the western Corsican current (9) is clearly seen. Within the Tyrrhenian Sea, the cool zone East of the Strait of Bonifacio is present (10) but one can see that the water flowing northwards through the Liguro-Provençal Basin is still relatively warm. Classical features are observed in the Liguro-Provençal Basin with the relatively warm water of the Northern current separating the water of the central zone (11) from that on the continental shelf of the Gulf of Lions cooled by upwelling phenomena (12) ; note the classical frontal structure perpendicular to the northern coast of Spain (13).



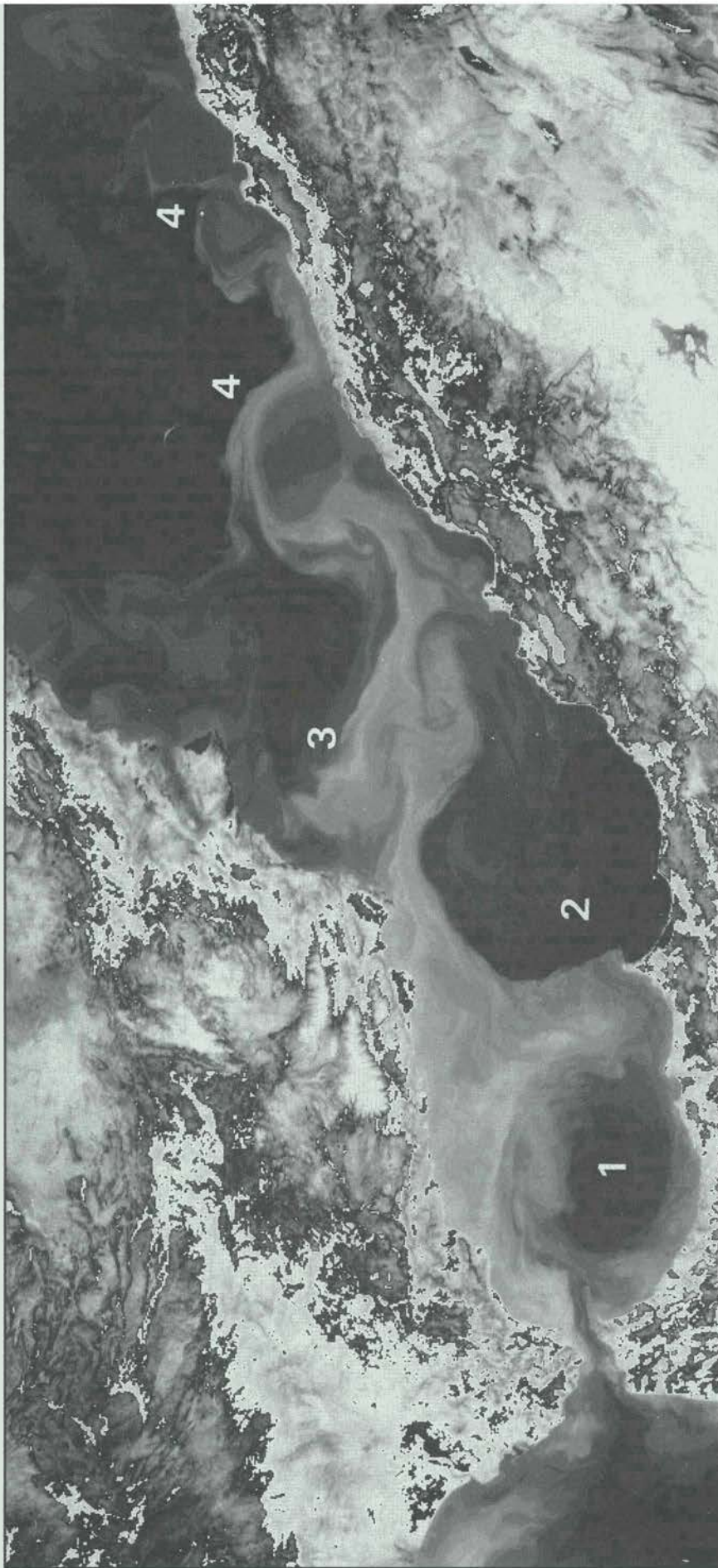
© Météo-France 1992

Méditerranée orientale (partie nord)

1^{er} septembre 1982. Le gradient ouest-est dans la mer Egée, avec des eaux chaudes à l'ouest (1) et froides à l'est (2) résulte encore de l'action (upwelling et advection) des vents de nord. La circulation cyclonique au sud de la Turquie contient toujours les eaux les plus chaudes (3). Les deux zones froides induites par le vent au sud-ouest et au sud-est de Crète (4) et la zone froide au sud-est de Rhodes (5) peuvent encore être identifiées.

Eastern Mediterranean Sea (northern part)

September 1, 1982. The west-east SST gradient in the Aegean Sea, with warm water in the west (1) and cool water in the east (2) is still due to both upwelling and advection by northerly winds. The cyclonic circulation south of Turkey still contains the warmest water (3). The two wind-induced cool patches located south-west and south-east of Crete (4) and the cool zone south-east of Rhodes (5) may still be identified.



© Météo-France 1992

Mer d'Alboran

13 octobre 1981. Cette image montre clairement que les eaux chaudes entrant par le détroit de Gibraltar sont refroidies par l'upwelling des côtes espagnoles. Le tourbillon anticyclonique occidental (1) est bien défini et la circulation semble limitée dans la partie est de la mer d'Alboran (2). L'écoulement de l'Espagne à l'Algérie, qui est marqué sur sa droite par des gradients atteignant $4\text{ }^{\circ}\text{C} / 5\text{ km}$ est perturbé par des structures plus complexes (3) ; des turbulences (4) associées au courant Algérien sont également visibles.

Alboran Sea

October 13, 1981. This image clearly shows that warm water entering the Strait of Gibraltar is cooled by the upwelling taking place along the Spanish coast. The western anticyclonic gyre (1) is well-defined and the circulation seems to be reduced in the eastern Alboran Sea (2). The flow from Spain to Algeria, which is marked by gradients of up to $4\text{ }^{\circ}\text{C} / 5\text{ km}$ on its right, is disturbed by complicated features (3), and turbulences (4) associated with the Algerian current can be seen.



© Météo-France 1992

Méditerranée occidentale

16 octobre 1981. Cette image met en évidence le front nord-Baléares dont la position est relativement septentrionale ; il peut être suivi d'Espagne en Italie avec des gradients atteignant parfois $4\text{ }^{\circ}\text{C} / 5\text{ km}$. Les eaux au sud sont notablement plus chaudes, mises à part les zones d'upwelling de Sicile (1) et de Messine (2), et l'est des Bouches de Bonifacio (3). On notera que le courant Nord (4) est vraisemblablement formé par des eaux principalement originaires de la mer Tyrrhénienne qui est plus chaude que les eaux des zones centrales de la mer Ligurienne (5) et du golfe du Lion (6), les premières étant plus froides que les dernières. On notera également que les zones d'upwellings créées par le mistral le long des côtes de Provence (7) recouvrent les eaux plus chaudes du courant Nord qui est encore reconnaissable à l'entrée du golfe du Lion. En conséquence, la plupart des caractéristiques d'été sont encore présentes mais les eaux superficielles froides associées au courant Nord commencent cependant à pénétrer dans la mer Catalane. A noter aussi le panache de fumée (8) au dessus de l'Etna.

Western Mediterranean Sea

October 16, 1981. This image highlights the North-Balearic front which has a relatively northern location and can be followed from Spain to Italy with gradients sometimes up to $4\text{ }^{\circ}\text{C} / 5\text{ km}$. Water in the south is markedly warm, except in the upwelling zones of Sicily (1) and Messina (2), and east of the Strait of Bonifacio (3). Notice that the Northern current (4) is seemingly formed by water mainly issued from the Tyrrhenian Sea which is warmer than the water located in the central zone of the Ligurian Sea (5) and the Gulf of Lions (6), the former being cooler than the latter. Note also that the water upwelled by the Mistral along the coast of Provence (7) overlies the warmer water of the Northern current which is still recognizable at the entrance of the Gulf of Lions. Therefore, most of the summer characteristics are still present but the cool superficial water associated with the Northern current has started to penetrate into the Catalan Sea. Note also the smoke plume (8) over Mount Etna.



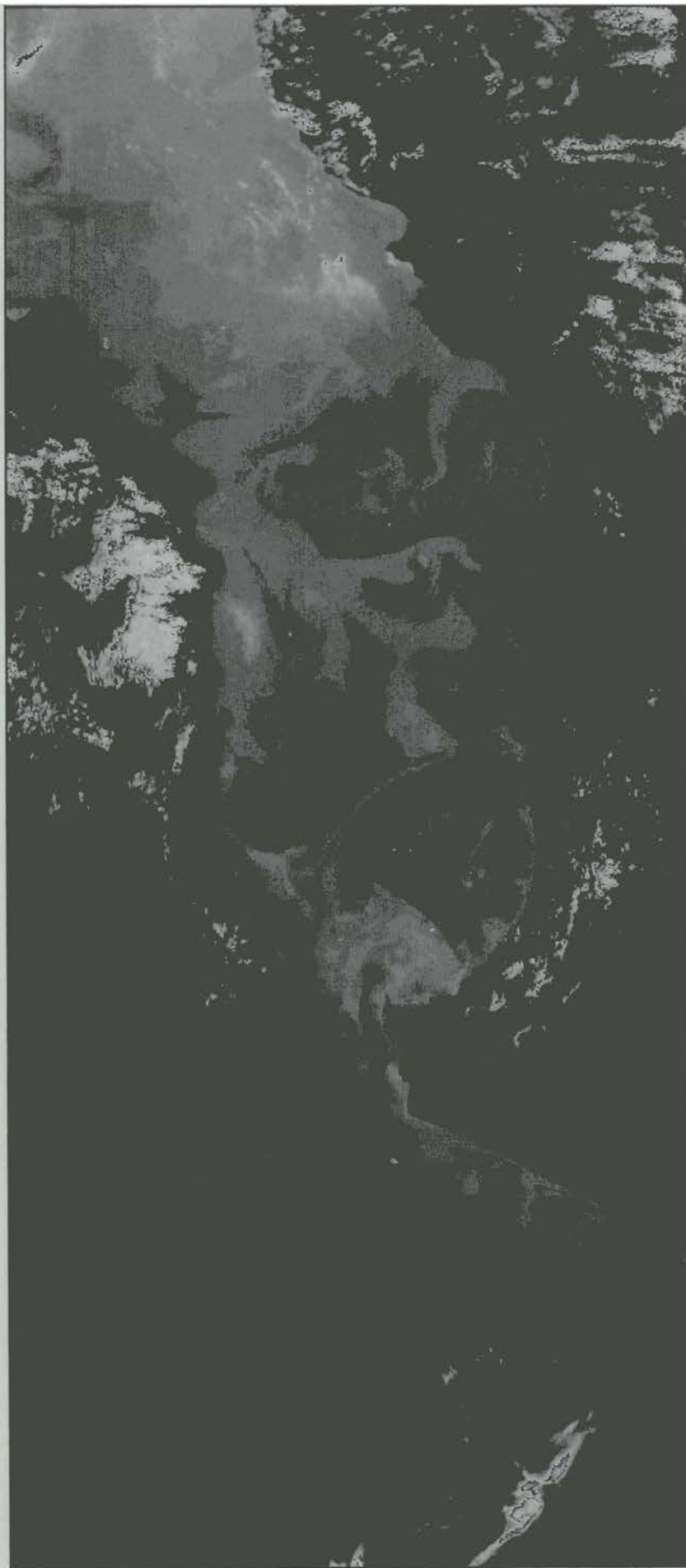
© Météo-France 1992

Mer Egée et bassin Levantin

5 octobre 1985. Cette image décrit une situation transitoire avec des gradients de TSM réduits. Comme au cours de l'été, on remarque les eaux froides des upwellings le long des côtes turques (1) et les eaux plus chaudes le long des côtes de la Grèce continentale ; une zone froide à l'ouest de la Crète (3) et une au sud-est de Rhodes (4) sont aussi identifiables. Les eaux chaudes qui coulent le long des côtes sud de la Turquie (5) puis tendent à pénétrer à l'intérieur de la mer Egée (6), et l'extension vers le nord des eaux froides des Dardanelles (7) sont par contre des caractéristiques hivernales.

Aegean Sea and Levantine Basin

October 5, 1985. This image depicts a transitory situation with reduced SST gradients. As during summertime, cool water is upwelled along the Turkish coast (1) and warmer water is amassed off the continental coast of Greece (2) ; a cool zone related to western Crete (3) and one related to southeastern Rhodes (4) are also discernable. But the warm water flowing along the southern Turkish coast (5) which tends to penetrate inside the Aegean Sea (6), and the northward spreading of the cool water issuing from the Dardanelles (7) are characteristic wintertime features.



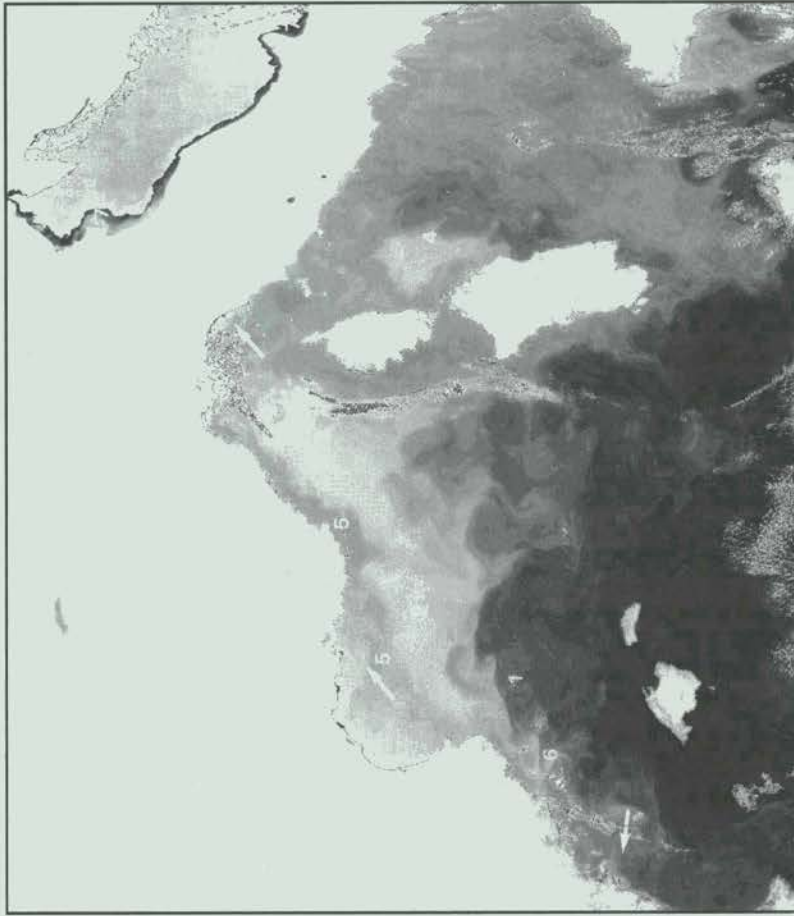
© Météo-France 1992

Mer d'Alboran

25 novembre 1981. A l'intérieur du détroit de Gibraltar, le cœur de l'écoulement entrant est relativement chaud tandis que des processus de mélange induisent un refroidissement des bords nord et sud. Aucun upwelling n'est visible le long des côtes sud de l'Espagne. A l'intérieur de la mer d'Alboran, les gradients thermiques ne sont pas assez significatifs pour rendre identifiable la circulation de surface.

Alboran Sea

November 25, 1981. Within the Strait of Gibraltar, the core of the entering flow is relatively warm while mixing processes induce cooling on the northern and southern sides ; no upwelling develops off the southern coast of Spain. Within the Alboran Sea, thermal gradients are not significant enough to trace the surface circulation.



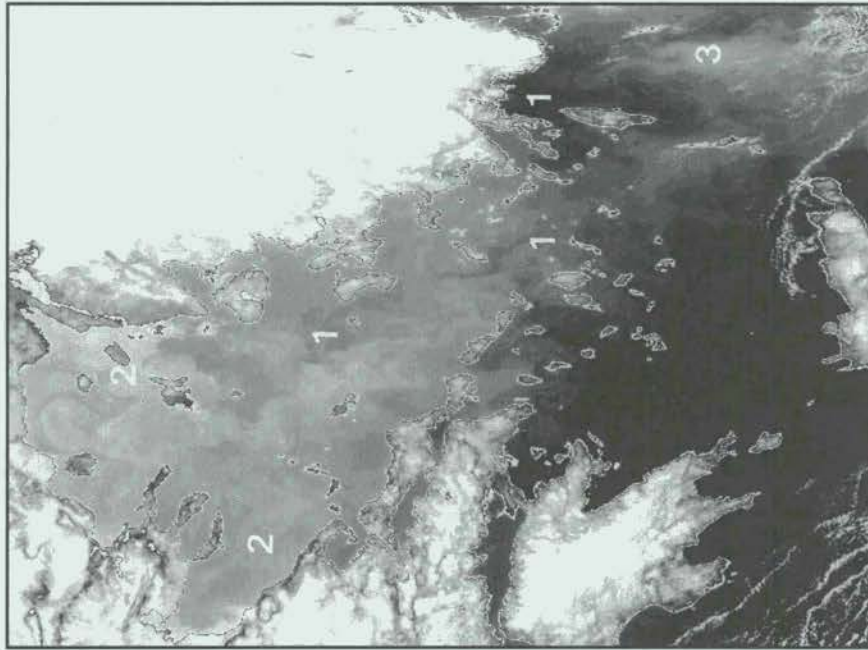
© Météo-France 1992

Méditerranée occidentale (partie nord)

27 novembre 1981. Cette image est caractéristique de conditions d'automne. Le front nord-Balears est associé à des gradients de 3-4 °C / 5 km (1) et les zones froides classiques situées au centre du golfe du Lion (2) et de la mer Ligurie (3), et à l'est des Bouches de Bonifacio (4) sont toujours présentes. Le courant Nord est clairement visible le long des côtes de France et au travers du golfe du Lion (5) alors que les eaux froides continuent de pénétrer dans la mer Catalane (6). Les panaches froids des principaux fleuves côtiers sont déjà visibles (Arno (->), Rhône (->) et Ebre (->)). A noter en Adriatique la fine veine d'eau très froide s'écoulant vers le sud le long de la côte italienne (7).

Western Mediterranean (northern part)

November 27, 1981. This image is characteristic of autumn conditions. The North-Balearic front is still associated with gradients of 3-4 °C / 5 km (1) and the classical cool zones located in the central parts of the Gulf of Lions (2) and of the Ligurian Sea (3), and east of the Strait of Bonifacio (4) are shown. The Northern current is clearly seen along the coast of France and across the Gulf of Lions (5) while cool water still continues to penetrate into the Catalan Sea (6). Already visible are the cool plumes issuing from the main river mouths (Arno (->), Rhone (->) and Ebro (->)) ; note also in the Adriatic the very cool and thin coastal vein flowing southwards along the Italian coast (7).



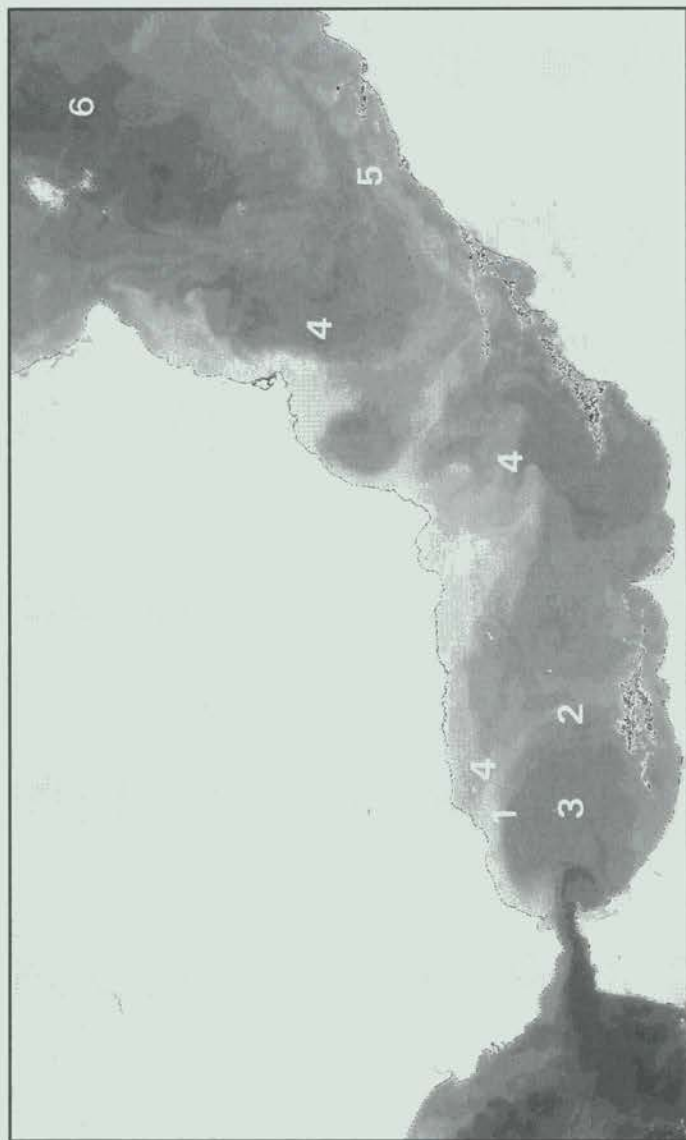
© Météo-France 1992

Mer Egée

23 novembre 1981. Des gradients faibles sont rencontrés en mer Egée à l'exception de l'ouvert des Dardanelles (2 °C / 5 km), ce qui est une situation d'automne typique. Des eaux chaudes s'écoulent vers le nord le long des côtes turques (1), alors que des eaux froides s'étendent dans le nord et l'ouest de la mer Egée (2). Bien que nuageuse et déformée, cette image permet d'identifier la zone froide de Rhodes (3).

Aegean Sea

November 23, 1981. Smooth gradients are encountered in the Aegean Sea except at the outlet of the Dardanelles (2 °C / 5 km), which is a typical autumn situation. Warm water flows northwards along the Turkish coast (1) while cool water spreads in the northern and western Aegean Sea (2). Although cloudy and distorted, the image reveals the Rhodes cool zone (3).



© Météo-France 1992

Mer d'Alboran

20 décembre 1981. Les eaux d'origine Atlantique sont maintenant nettement plus chaudes que celles de la Méditerranée. Les eaux de l'upwelling des côtes espagnoles (1) délimitent (2) l'extension du tourbillon (3), mais les eaux atlantiques ne sont plus visibles dans le centre et l'est de la mer d'Alboran. Le long de la côte espagnole on remarque la présence d'upwellings (4) engendrés par les vents de sud-ouest. Une partie de l'eau méditerranéenne froide est alors entraînée par les eaux d'origine atlantique et l'ensemble traverse la mer d'Alboran du cap de Gata au voisinage d'Oran, ce qui fait que le courant Algérien (5) paraît plus froid que l'intérieur de la Méditerranée occidentale (6).

Alboran Sea

December 20, 1981. Atlantic water is clearly warmer than the Mediterranean water. The water upwelled off southern Spain (1) delineates (2) the extension of the gyre (3), but the water of Atlantic origin is not clearly visible in the central and eastern Alboran Sea. Along the Spanish coast, the occurrence of cool water (4) upwelled by south-westerly winds is notable. Some of the cool Mediterranean water is then entrained by the water from the Atlantic and both jump across the Alboran Sea, from Cape of Gata to the vicinity of Oran, so that the Algerian current (5) appears cooler than the interior of the western Mediterranean Sea (6).



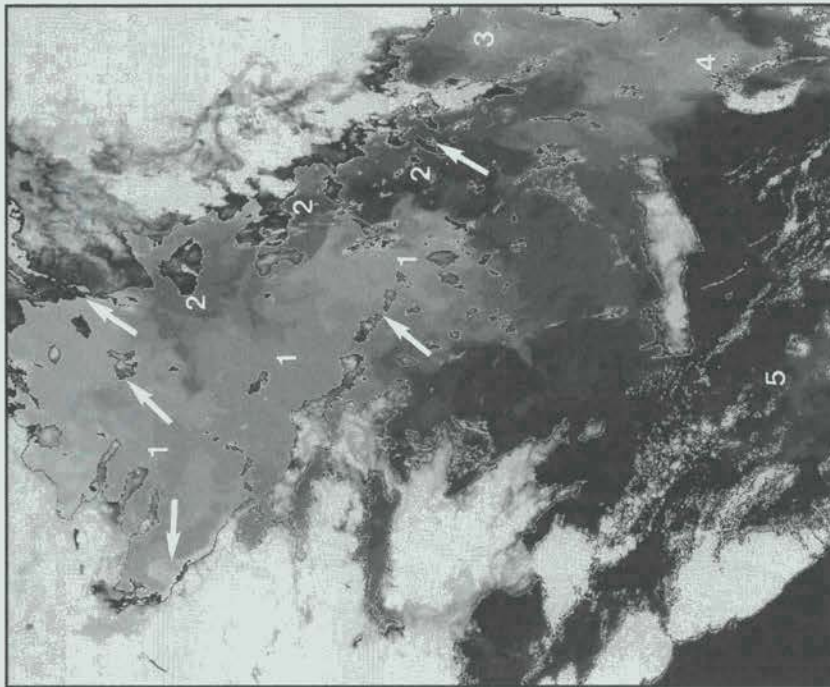
© Météo-France 1992

Méditerranée occidentale (partie nord)

30 décembre 1982. L'intérêt spécifique de cette image est de montrer que le courant Nord relativement chaud (1) est principalement issu de la mer Tyrrhénienne (2). Les contrastes qu'il présente avec la mer Ligure centrale et avec la zone froide des Bouches de Bonifacio atteignent 1-2 °C / 5 km. Noter la température relativement froide des eaux douces issues du Rhône (->), et leur influence sur l'ensemble du plateau continental du golfe du Lion, celles issues de l'Arno (->), et des rivières du nord de l'Adriatique qui forment une veine froide (3) contrastant avec les eaux chaudes s'écoulant vers le nord le long des côtes yougoslaves (4).

Western Mediterranean Sea (northern part)

December 30, 1982. Of particular interest in this image is the relatively warm Northern current (1) transporting water mainly issuing from the Tyrrhenian Sea (2); this current contrasts with the central zone of the Ligurian Sea and with the cool zone east of the Strait of Bonifacio (gradient reaching 1-2 °C / 5 km). Note the relatively low temperatures of the fresh water issued from the Rhone (->), together with its influence over the whole continental shelf in the Gulf of Lions, from the Arno (->), and from the rivers in the northern Adriatic which form a cool vein (3) contrasting with the warm water flowing northwards off Yugoslavia (4).



© Météo-France 1992

Mer Egée

17 décembre 1982. Cette image montre une situation d'hiver typique avec des eaux froides au nord et à l'ouest de la mer Egée (1), contrastant avec les eaux chaudes s'écoulant le long des côtes turques (2) jusqu'à l'île de Lemnos (->). Malgré la nébulosité, les eaux froides de l'est de Rhodes (3), du sud-est (4) et du sud-ouest (5) de la Crète sont encore discernables. Des gradients thermiques de 2 °C / 5 km se rencontrent entre les Cyclades (->) et les Sporades (->), à l'ouvert des Dardanelles (->) et dans le golfe de Salonique (->).

Aegean Sea

December 17, 1982. This image displays a typical wintertime situation with cool water in the north and in the west of the Aegean Sea (1) contrasting with the warmer water flowing off Turkey (2) till the island of Lemnos (->). Despite the cloudiness, the cool waters of eastern Rhodes (3), southeastern (4) and southwestern (5) Crete are still discernable. Thermal gradients of 2 °C / 5 km are encountered between the Cyclades (->) and the Sporades (->), at the outlet of the Dardanelles (->) and in the Gulf of Salonica (->).

**IV - CLIMATOLOGIE
DES ZONES FRONTALES,
CARTES MENSUELLES
ET STATISTIQUES**

**IV - CLIMATOLOGY
OF THE FRONTAL
AREAS, MONTHLY
AND STATISTICAL MAPS**



Figure 5 : Map of the zones discussed in chap. IV, with geographical references shown.

1. Climatologie

D'après l'analyse des diverses situations décrites au chapitre III, il nous a semblé adéquat de diviser la Méditerranée en 7 zones, référencées de A à G sur la figure 5. Quelques noms de lieux particuliers mentionnés dans le texte sont également indiqués sur cette figure.

La zone A est caractérisée par des phénomènes dépendant principalement de l'interaction entre le flux d'eau atlantique entrant et les caractéristiques géographiques de la mer d'Alboran.

La zone B est sous l'influence directe du courant Algérien et de la turbulence à échelle moyenne qu'il engendre.

La zone C couvre l'ensemble de la mer Tyrrhénienne où la distribution des TSM dépend principalement de phénomènes induits par le vent.

1. Climatology

According to the analysis of the various situations described in Chapter III, we have found it convenient to divide the Mediterranean Sea into 7 zones labelled from A to G in Figure 5. Some specific places referred to in the text are also identified in this figure.

Zone A is characterized by phenomena mainly dependent on the interaction between the incoming flow of Atlantic water and the geographic features in the Alboran Sea.

Zone B is under the direct influence of the Algerian current and the mesoscale turbulence it generates.

Zone C covers the whole Tyrrhenian Sea where the SST distribution mainly depends on wind-induced phenomena.

IV. Climatology of the frontal areas, monthly and statistical maps

Le phénomène principal qui se développe dans la zone D est la formation d'eau profonde qui a lieu dans la partie centrale du bassin Liguro-Provençal ; ce phénomène, qui contribue à la formation du front nord-Baléares, est probablement lié au courant Nord qui s'écoule le long de la pente continentale.

La zone E est caractérisée par le contraste entre les eaux relativement chaudes de la Syrte et celles plus froides qui entrent par le détroit de Sicile.

La zone F est sous l'influence de forts vents du nord qui soufflent en été en mer Egée ; elle couvre également les côtes sud de Turquie où les eaux chaudes s'écoulant vers l'ouest contrastent avec les eaux froides du sud-est de Rhodes.

L'Adriatique et la mer Ionienne du nord ont un régime spécifique caractérisé par une forte influence continentale et ont donc été rassemblées dans la zone G.

Les cycles saisonniers décrits ci-dessous débutent généralement en mars, qui est le mois d'hiver le plus typique caractérisé par des gradients de TSM particulièrement faibles.

***Zone A : La mer d'Alboran**

Des gradients thermiques faibles sont observés en **mars-avril** quand l'Atlantique et la Méditerranée ont des TSM moyennes approximativement similaires. Quelques fronts faibles sont néanmoins encore associés à l'upwelling induit sur le bord nord du tourbillon occidental de la mer d'Alboran.

Mai correspond au début du printemps avec un réchauffement des eaux superficielles, ce qui accroît l'intensité des fronts liés à l'upwelling mentionné ci-dessus. L'eau d'origine atlantique est maintenant plus froide que l'eau méditerranéenne environnante.

Les fronts s'accroissent en **juin et juillet** avec une différence entre la température des eaux de l'upwelling et celle des eaux environnantes qui peut atteindre 4 °C dans la mer d'Alboran occidentale. Les aspects typiques de la circulation sont maintenant bien mis en évidence et confirment le caractère quasi permanent du tourbillon anticyclonique occidental et la complexité de la circulation dans la partie orientale. Là, trois structures typiques peuvent apparaître, seules ou combinées : un petit tourbillon anticyclonique rattaché au cap des Trois Fourches, un écoulement principal fréquent formant une arche entre la côte espagnole et l'Algérie, parfois déviée partiellement vers l'ouest et formant alors ce qui est appelé le tourbillon oriental, et un jet se dirigeant vers l'est à partir du cap Palos.

The major phenomenon developing in zone D is the deep water formation occurring in the central part of the Liguro-Provençal Basin ; this phenomenon, which leads to the formation of the North-Balearic front, is probably linked to the Northern current flowing along the continental slope.

Zone E is characterized by the contrast between the relatively warm water of Syrta and the cooler water entering through the Strait of Sicily.

Zone F is under the influence of strong northerly winds which blow in summer in the Aegean Sea ; it also covers the southern coast of Turkey where warm water flowing westwards contrasts with the coolest water located south-east of Rhodes.

The Adriatic Sea and the Northern Ionian Sea have a specific regime characterized by a strong continental influence and have thus been grouped together into zone G.

The seasonal cycles described below generally start in March which is the most typical winter month characterized by very shallow SST gradients.

***Zone A : The Alboran Sea**

*Reduced thermal gradients are observed in **March-April** when the Atlantic and the Mediterranean have roughly similar mean SST's. Nevertheless, some weak fronts are still associated with the upwelling induced in the northern side of the western Alboran gyre.*

***May** starts the spring season with a warming of the surface water thus increasing the fronts associated with the above-mentioned upwelling. The water originating from the Atlantic is now cooler than the surrounding Mediterranean water.*

*Fronts sharpen in **June and July** with temperatures of the upwelled water lower than the surroundings by up to 4 °C in the western Alboran. The typical patterns of the circulation are now clearly seen, confirming the near permanency of the western anticyclonic gyre and the complexity of what occurs further east. There, three typical features may appear alone or combined : a small anticyclonic eddy attached to Cape Tres Forcas, a frequent and major flow forming an arc between the Spanish and the Algerian coasts sometimes partly deflected westwards and thus delineating what is called the "eastern gyre", and a jet directed eastwards from Cape Palos.*

En **août** et **septembre**, les eaux atlantiques sont encore clairement différenciées des eaux méditerranéennes même si les gradients diminuent.

En **octobre** les gradients paraissent se renforcer, en particulier le long du front Almería-Oran. L'homogénéisation des couches de surface s'accroît en **novembre** et réduit partout les gradients de TSM, ce qui donne souvent des structures thermiques non significatives.

La saison d'hiver, de **décembre** à **février**, est caractérisée par la température plus élevée de l'eau atlantique entrante par rapport aux eaux environnantes de la Méditerranée, en particulier celles qui s'écoulent du nord le long de la côte espagnole.

Résumé : La situation thermique de cette zone est dominée par le flux d'eau atlantique rentrant par le détroit de Gibraltar. Au printemps (mai à juillet), la stratification croissante des eaux met en évidence les structures dynamiques. Au cours de l'été, la couche mélangée s'épaissit et les structures frontales se réduisent. La stratification est détruite en octobre, ce qui dans un premier temps accroît les gradients puis, en novembre, masque les structures. Les gradients disparaissent où bien même s'inversent en hiver à cause du réchauffement des eaux atlantiques.

*Zone B : Le bassin Algérien

De **mars** à **mai** on ne distingue en général pas de structures thermiques dans le bassin Algérien, en raison de la turbulence intense à moyenne échelle qui mélange les eaux de surface.

En **juin**, on voit apparaître des panaches froids qui signalent les upwellings induits par les tourbillons de moyenne échelle engendrés par le courant Algérien. L'intensité des gradients associés s'accroît jusqu'en **septembre** et décroît ensuite brutalement en **octobre**. Les eaux d'origine Atlantique restent plus froides que celle de la Méditerranée jusqu'en **décembre**.

En **janvier** et en **février**, le courant Algérien est relativement chaud et donc les gradients s'inversent.

Résumé : Le cycle saisonnier est ici à peu près similaire à celui observé en mer d'Alboran avec peut-être un léger décalage dû au temps de transit de l'eau d'origine atlantique.

In August and September, Atlantic water is still clearly differentiated from the Mediterranean water even when the gradients diminish.

In October the gradients seem to strengthen, particularly along the Almeria-Oran front. The homogenization of the surface layers increasing in November reduces the SST gradients everywhere which leads often to insignificant thermal patterns.

The winter season, from December to February is characterized by newly-entered Atlantic water warmer than the surrounding Mediterranean water, especially that flowing from the northern regions along the Spanish coast.

Summary : The thermal situation of this zone is dominated by the incoming flux of Atlantic water through the Strait of Gibraltar. In spring (May to July), the increasing stratification of this water indicates the dynamical features. During summer, the mixed layer thickens and frontal structures reduce. This stratification is disrupted in October first increasing the gradients and then, in November, masking the features. Gradients disappear or even reverse during winter due to warmer Atlantic water.

*Zone B : The Algerian Basin

From March to May, no strong thermal feature can generally be detected in the Algerian Basin, due to the intense mesoscale turbulence which strongly mixes the surface water.

In June, cool plumes become visible which reveal the upwellings induced by the mesoscale eddies generated by the Algerian current. The associated gradients increase until September and then reduce sharply in October. The Atlantic water remains cooler than the Mediterranean water until December.

In January and February, the Algerian current is relatively warm and thus the gradients reverse.

Summary : The seasonal cycle here is roughly similar to that observed in the Alboran Sea with perhaps some delay due to the transit time of the Atlantic water.

***Zone C : La mer Tyrrhénienne**

En **février** et **mars**, les contrastes thermiques principaux sont ceux induits par les effluents froids des rivières le long de la côte italienne. Les eaux de la mer Tyrrhénienne sont en général plus froides que celles s'écoulant le long de la côte nord de Tunisie. Aucun gradient élevé n'est observé en **avril**.

Pendant l'été, de **mai** à **septembre**, deux systèmes frontaux principaux induits par le vent peuvent être identifiés : l'un est situé à l'est des Bouches de Bonifacio, l'autre entre la Sardaigne et la Sicile. Le refroidissement par brassage et upwelling provoqué par les vents d'ouest forts soufflant entre la Corse et la Sardaigne peut atteindre 5 °C en **août**. Au sud-ouest de la zone, le refroidissement est moins intense et la distribution des eaux froides plus irrégulière, en raison de l'interaction complexe de l'upwelling du sud de la Sardaigne et de l'écoulement turbulent d'eau atlantique.

D'**octobre** à **janvier**, les eaux froides sont encore présentes entre la Corse et la Sardaigne alors que, à cause des eaux atlantiques relativement chaudes, le front Sardaigne-Sicile s'affaiblit et souvent s'inverse.

Résumé : La zone d'eau froide à l'est des Bouches de Bonifacio est une structure quasi permanente de mai à janvier ; au sud, un upwelling peut être observé de mai à octobre et le contraste avec les eaux côtières tunisiennes s'inverse ensuite.

***Zone D : Le bassin Nord**

Le minimum de l'activité frontale s'établit dans cette zone en **avril-mai** et les caractéristiques estivales qui s'établissent en **juin** durent jusqu'en **septembre**. Au large, les eaux froides correspondent à une structure en dôme des isothermes ; elles contrastent avec les eaux chaudes dont l'écoulement cyclonique longe les côtes. L'occurrence fréquente des vents de nord-ouest dans le golfe du Lion refroidit les eaux de surface par brassage et upwelling. Ces eaux contrastent particulièrement avec les eaux de surface plus chaudes du courant Nord ; elles contrastent aussi avec les eaux plus chaudes du bassin des Baléares, créant ainsi le front nord-Baléares qui reste apparemment attaché à la côte dans l'axe des Pyrénées, même s'il peut être très déformé par la turbulence à moyenne échelle.

***Zone C : The Tyrrhenian Sea**

In February and March, the major thermal contrasts are those induced by the cold river runoffs along the Italian coast. The Tyrrhenian water is generally cooler than that flowing along the northern coast of Tunisia. No sharp gradients are observed in April.

During the summer period from May to September, two major wind-induced frontal systems can be identified : one located east of the Strait of Bonifacio, the other between Sardinia and Sicily. Cooling by mixing and upwelling due to the relatively strong westerlies blowing between Corsica and Sardinia may reach 5 °C in August. The shape of the cool water is much more irregular and less intense in the south-west of the zone, due to the complexity of the upwelling south of Sardinia and to the turbulent flow of the water of Atlantic origin.

From October to January, cool water is still encountered between Corsica and Sardinia while, due to the relatively warm Atlantic water, the Sardinia-to-Sicily front slackens and often reverses.

Summary : The cool area east of the Strait of Bonifacio is a quasi permanent feature from May to January ; in the south, upwelled water may be observed mainly from May to October, and then the contrast with the Tunisian coastal water generally reverses.

***Zone D : The Northern Basin**

The minimum frontal activity occurs in this zone during April-May and summer characteristics which begin to occur in June last till September. Offshore, the cool water is related to the doming structure of the isotherms ; it contrasts with the warmer water flowing cyclonically along the coast. The frequent occurrence of the northwesterlies in the Gulf of Lions makes the water here relatively cool, due to upwelling and mixing. This water particularly contrasts with the warmer surface water of the Northern current ; it also contrasts with the warm water of the Balearic Basin, thus producing the North Balearic front which, although markedly disturbed by mesoscale turbulence, seems to be attached to the coast in the axis of the Pyrenees. Depending on the strength and duration of the

En fonction de la force et de la durée des vents de nord, les eaux froides du bassin Nord peuvent s'étendre jusqu'au sud de la Sardaigne.

D'**octobre à décembre**, les gradients autour des eaux centrales froides s'accroissent, puis décroissent dans l'ensemble du bassin Nord. Dans le golfe du Lion, on peut souvent identifier le courant Nord chaud, non seulement suivant la pente continentale, mais aussi pénétrant le plateau continental le long de la côte, atteignant à l'ouest le delta du Rhône. Ce courant transporte également les eaux côtières froides de cette région en direction de la mer Catalane ; le front engendré de cette manière et le front nord-Baléares sont généralement les derniers à disparaître du bassin Nord.

De **janvier à mars**, les gradients de TSM entre les eaux côtières et celles du large tendent à disparaître où même à s'inverser en raison du mélange des eaux de surface et des eaux intermédiaires. La plupart des eaux côtières espagnoles (jusqu'au cap de Gata) sont relativement froides ; elles ne peuvent être distinguées des eaux de la mer Catalane centrale, et le front nord-Baléares est donc le seul à subsister dans cette région. On peut en général l'identifier plus à l'est s'incurvant des Baléares à la Sardaigne ; c'est le front le plus intense de la Méditerranée occidentale pendant cette période de l'année. D'autres structures frontales caractéristiques sont celles engendrées par les eaux froides de l'Arno, du Rhône et de l'Ebre.

Résumé : La caractéristique principale de la zone est la présence, pendant la plus grande partie de l'année, d'eaux plus froides dans la zone centrale, qui sont délimitées par des systèmes frontaux. En mer Ligurie, des fronts indiquent les limites de la circulation cyclonique et ont une intensité maximale en automne. Au nord-ouest, la distribution des TSM est assez complexe en raison des interactions entre le courant Nord, les upwellings et les effluents des rivières ; un signal saisonnier important apparaît en octobre quand les eaux froides du golfe du Lion pénètrent dans la mer Catalane. Ce signal est lié au déplacement nord-sud saisonnier du front nord-Baléares.

***Zone E : Bassin Afro-Sicilien**

Mars : la première structure estivale, le réchauffement des eaux du banc de Kerkennah, apparaît régulièrement au début de ce mois. Le reste de la zone présente encore des structures d'hiver (voir ci-dessous), souvent avec des gradients réduits.

Northerlies, the cold water from the Northern Basin largely extends southwards off Sardinia.

*From **October to December**, the gradients around the cool central water increase and then decrease in the whole Northern Basin. In the Gulf of Lions, the warm Northern current is often seen, not only following the continental slope, but also penetrating along the coast, as far west as the Rhone delta, onto the continental shelf. At the same time, this current sweeps along the cool coastal water issuing from this gulf towards the Catalan coast ; the front it thus creates and the North Balearic front will generally be the last to disappear in the whole Northern Basin.*

*From **January to March**, SST gradients between coastal and offshore water tend to disappear or even reverse due to mixing between surface and intermediate waters. Most of the Spanish coastal water (till Cape of Gata) is relatively cool ; it cannot be distinguished from the water in the central Catalan Sea and therefore, the North Balearic front is the only front which remains there. This front can be followed further eastwards curving from the Balearic Islands to Sardinia : it is the strongest front in the whole western Mediterranean during this time of the year. Other characteristic frontal structures are those induced by the cold water discharged by the Arno, the Rhone and the Ebro rivers.*

Summary : The major characteristic of the zone is the presence, during most of the year, of cooler water in the central area which is delineated by frontal systems. In the Ligurian Sea, fronts indicate the limits of the cyclonic circulation and have maximum intensity in autumn. In the north-west, the distribution of SST's is rather complex due to interactions between the Northern current, upwelled water and river runoffs ; a major seasonal feature occurs in October when cool surface water from the Gulf of Lions penetrates into the Catalan Sea. This feature has to be related to the seasonal north-south displacement of the North-Balearic front.

***Zone E : Afro-Sicilian Basin**

March : The first summer feature appears regularly at the beginning of this month : the warming up of the Kerkennah shallows. The rest of the area presents winter structures (see below), often with slackened gradients.

IV. Climatology of the frontal areas, monthly and statistical maps

En **avril**, la situation est en gros la même, l'ensemble du golfe de Gabès est alors plus chaud que les eaux du large.

En **mai**, les structures estivales s'établissent : les eaux peu profondes des côtes sud et est de la Sicile (Banc de l'Aventure, plateau continental Sicilo-Malais) sont refroidies par les vents du nord et entraînées vers le sud par le courant Africain. Elle contrastent avec les eaux plus chaudes de la mer Ionienne au nord, ce qui produit le front de Malte, de la Syrte au sud, et du détroit de Sicile à l'ouest (front du Banc de l'Aventure). La situation reste similaire en **juin**, **juillet** et **août**, avec une accentuation des gradients. On peut remarquer, cependant, que les structures frontales le long des côtes sud et est de la Sicile, bien que suivant les règles de base définies ci-dessus, sont très variables de mois en mois et d'année en année. A partir de juin, des upwellings peuvent apparaître le long du littoral de la Syrte et de la Cyrénaïque. Ils peuvent y persister jusqu'en novembre.

En **septembre**, les bancs de Kerkennah et de Djerba se refroidissent, ce qui inverse les gradients dans le golfe de Gabès. En **octobre**, une nouvelle zone frontale apparaît au large des côtes de la Tunisie. Elle peut être soit continue depuis le sud de la Sardaigne jusqu'au détroit de Sicile, soit divisée en deux parties, la première au sud de la Sardaigne, l'autre partant du sud du cap Bon, et délimitant les eaux plus chaudes du plateau continental tunisien. En **octobre** et en **novembre**, ce système frontal se superpose aux structures d'été persistantes du sud de la Sicile.

En **décembre**, les structures d'hiver sont caractérisées par un front au sud de Malte (prenant souvent la forme d'un V dont la pointe est dirigée vers le nord-ouest) qui sépare les eaux chaudes de la Syrte du courant Africain plus froid. Au cours de ce mois aussi, le long des côtes de la Syrte et de la Cyrénaïque, des eaux chaudes remplacent les upwellings froids des mois précédents. En décembre et **janvier** la limite nord des eaux chaudes du plateau continental tunisien est à nouveau frontale au contact des eaux du sud de la Sardaigne (voir également le commentaire relatif à la zone B). En janvier et **février** le front de Syrte (en forme de V) et le front du golfe de Gabès sont les seuls qui subsistent dans la zone.

Résumé : Dans cette zone le cycle annuel est assez complexe. Des phénomènes divers interfèrent, tels que : extension vers l'est du courant Africain, upwellings au sud de la Sicile et le long des côtes de Lybie, réchauffement et refroidissement des eaux

In **April** the situation is basically the same, the whole Gulf of Gabes being now warmer than the offshore water.

In **May** the situation begins to have summer features : the shallow water of the southern and eastern coasts of Sicily (Adventure Bank, Sicilo-Maltese continental shelf) are cooled by the northerlies and driven southwards by the African current. In the north they contrast with the warmer Ionian Sea, producing the Maltese front, in the south with the Syrta water and in the west with the Strait of Sicily water (Adventure bank front). The situation remains the same in **June**, **July** and **August**, with an increase in the gradients. It can be noticed, however, that the frontal structures along the southern and eastern coasts of Sicily, although following the basic features described above, are very variable from month to month, and from year to year. From June, upwelled water can appear along the Syrta and Cyrenaica shores. They may be found there as late as November.

In **September**, the shallows of Kerkennah and Djerba cool, which induces reverse gradients in the Gulf of Gabes. In **October**, a new frontal zone appears off the coast of Tunisia. It can be either continuous from southern Sardinia to the Strait of Sicily, or divided in two parts, one south of Sardinia, the other starting south of Cape Bon, and delineating the northern border of the eastern Tunisia continental shelf warmer water. In **October** and **November**, this frontal system is superimposed on the persisting summer structures of southern Sicily.

In **December** the winter structures are characterized by a front south of Malta (often with a V-shaped pointing northwestwards) separating the warm water of Syrta from the colder African current. During this month also, along the Syrta and Cyrenaica coasts, warm water replaces the cold upwellings of the preceding months. In December and January the northern limit of the Tunisian shelf warm water is still frontal against the south Sardinia water (see also the text concerning zone B). In January and February, the (V-shaped) Syrta front and the Gulf of Gabes front are the only remaining fronts in the zone.

Summary : In this zone the annual cycle is rather complex. Various phenomena interfere, such as : eastwards extension of the African current, upwellings south of Sicily and along the Lybian coast, warming and cooling of the shallows of the

IV. *Climatology of the frontal areas, monthly and statistical maps*

peu profondes du golfe de Gabès. Les principales structures thermiques sont ici créées par l'opposition entre les eaux plutôt froides des branches du courant Africain et les eaux de la Syrte et de la mer Ionienne.

***Zone F : mer Egée**

Mai : Ce mois correspond au début du printemps, avec le réchauffement du golfe de Salonique. Bien que moins étendues qu'en mars, les eaux de la mer Noire sont toujours délimitées par des fronts intenses au large des Dardanelles. En **juin**, l'ensemble des eaux côtières de la Grèce orientale jusqu'aux Cyclades, ainsi que les eaux côtières turques se réchauffent. La mer Egée centrale reste plus froide. Une zone d'eau froide peut être observée autour de Rhodes, en opposition avec les eaux chaudes du courant d'Asie Mineure.

En **juillet** et **août** les structures thermiques d'été s'établissent ; les vents du nord qui soufflent sur la mer Egée engendrent des upwellings le long des côtes occidentales turques jusqu'en Crète orientale, ce qui crée des contrastes thermiques forts avec les zones abritées. Ces vents de nord engendrent également des taches d'eau froide bien délimitées de part et d'autre de la Crète. La côte sud de la Crète présente elle-même une succession de zones chaudes et froides en fonction de la topographie de l'île. La côte sud de la Turquie est protégée par les monts Taurus et reste chaude. Les eaux froides de Rhodes sont nettement visibles. **Septembre** présente encore des caractéristiques d'été, bien que les gradients s'affaiblissent dans la mer Egée elle-même. Les eaux froides du sud-ouest et du sud-est de la Crète, ainsi que celles de Rhodes sont nettement contrastées. Le long des côtes turques, en raison de l'affaiblissement des vents du nord, les eaux chaudes peuvent s'étendre vers le nord jusqu'à Samos (et occasionnellement Mytilène).

Octobre et **novembre** représentent une transition vers l'automne qui est dominée par le contraste des eaux froides de l'Egée centrale avec les eaux côtières plus chaudes, les eaux froides de Crète (sud-est et sud-ouest) restant cependant bien visibles.

Décembre : La mer Egée occidentale dans son ensemble est plus froide que sa partie est et ce gradient ouest-est peut être frontal, particulièrement à l'ouvert des Dardanelles. Ceci souligne la contribution des eaux froides de la mer Noire au refroidissement de la partie nord de la mer Egée. Les

Gulf of Gabes. The main thermal structures here are however driven by the opposition between the cold water of the African current branches and the Ionian Sea and Syrta water.

***Zone F : Aegean Sea**

May : *This month marks the beginning of spring, with the warming of the Gulf of Salonica. Although less extended than in March, the Black Sea water is still delineated by sharp fronts off the Dardanelles. In June, the whole eastern coastal water of Greece down to the Cyclades, and the Turkish coastal shallow water as well, warm up. The central Aegean water remains colder. A cold water area may be observed around Rhodes, contrasting with the warm water of the Asia Minor current.*

In July and August the summer thermal structures occur ; the northerly winds blowing over the Aegean Sea produce upwelling zones along the western Turkish coast as far as eastern Crete while other zones are protected from the wind thus creating sharp thermal fronts. These northerlies also produce clearly delineated cold water areas on both sides of Crete. The southern coast of Crete presents alternatly cold and warm water depending on the topography of the island. The South Turkish coast is protected by the Taurus mountains and remains warm. The Rhodes cold water is clearly appparent. September still presents summer features, although the gradients weaken in the Aegean Sea itself. The cool water southwest and southeast of Crete as well as those of Rhodes strongly contrasts with its surrounding. Along the Turkish coast, due to the weakening of the northerlies, the warm water can extend northwards up to Samos (occasionally Mytilene).

October and November represent a transition towards the autumn situation dominated by a contrast between the cold central Aegean water and the warmer coastal areas. The cool water of Crete (south-west and east) remains distinct.

December : *The whole western Aegean Sea is now colder than the eastern part, and the west-east gradients may be frontal, particularly off the Dardanelles. This illustrates the contribution of the cold Black Sea water to the cooling of the Northern part of the Aegean Sea. The cold water of Rhodes*

IV. Climatology of the frontal areas, monthly and statistical maps

eaux froides de Rhodes restent bien délimitées, mais les contrastes autour des eaux froides du sud-ouest de la Crète tendent à s'affaiblir. Quelques effluents froids peuvent être observés dans le golfe de Salonique. En **janvier** les gradients est-ouest restent forts, la tache froide du sud-ouest de la Crète a disparu, alors que les contrastes autour de ces eaux froides de l'est de la Crète s'affaiblissent.

En **février** les gradients s'atténuent, et les seuls fronts qui subsistent délimitent les eaux froides de la mer Egée du nord, qui s'étendent vers le sud par les détroits de l'Eubée et des Cyclades. Les eaux du sud de la Crète sont en général homothermes.

En **mars et avril**, les gradients sont nord-sud, avec un double système frontal : le plus important délimite l'extension des eaux froides de l'Egée du nord, des Dardanelles à l'Eubée, avec une contribution importante des eaux froides de la mer Noire. Le système secondaire marque la limite, au nord des Cyclades, des eaux relativement chaudes de la mer Egée du sud.

Résumé : La situation thermique dans cette région a beaucoup de points communs avec celle de l'Adriatique (voir ci-dessous), bien que les réchauffements et refroidissements semblent se produire avec un retard de quelques semaines dans la mer Egée. De plus, cette mer est cloisonnée par de nombreuses îles, ce qui crée des conditions locales et rend l'évolution saisonnière moins claire qu'en Adriatique. L'été étant la saison des upwellings induits par les vents de nord (étésiens) est la saison la plus facilement identifiable. Août peut être considéré comme un mois d'été typique (eaux froides à l'est, chaudes à l'ouest, taches froides des deux côtés de la Crète). En automne (décembre), les gradients s'inversent (eaux froides à l'ouest, chaudes à l'est, tache froide à l'est de la Crète). L'hiver (mars) est caractérisé par des eaux froides au nord, chaudes au sud, avec des gradients généralement faibles sauf entre Eubée et les Dardanelles. Juin est un mois typique du printemps (eaux centrales froides entourées d'eaux côtières chaudes).

***Zone G : mer Adriatique et nord de la mer Ionienne**

Avril : Les premiers réchauffements du golfe de Venise indiquent le début du printemps en Adriatique. En conséquence, le système frontal intense entre les eaux côtières italiennes froides et l'Adriatique centrale plus chaude (caractéristique

*remains well delineated, although the contrasts around the south-western Crete cold water tend to weaken. Some cold river runoffs may be observed in the Gulf of Salonica. In **January** the west-east gradients remain strong, the south-west Crete cold spot disappears, while the contrasts around the eastern Crete cold water weaken.*

*In **February** the gradients attenuate, and the fronts mainly delineate the cold water of northern Aegean Sea, moving southwards through the Eubee and Cyclades Straits. The water around Crete is usually homothermal.*

*In **March and April** the gradients are north-south, with a double frontal system: the first and most important delineates the extension of the cold water of the northern Aegean Sea, from the Dardanelles to Eubee, with an important contribution of the cold Black Sea water. The secondary system marks the limit, north of the Cyclades, of the relatively warm water of the south Aegean Sea.*

Summary : *The thermal situation here has many aspects in common with that of the Adriatic Sea (see below), however, the coolings and warmings seem to occur a few weeks later in the Aegean Sea. Furthermore, the Aegean Basin is partitioned by many islands which creates local conditions and makes the seasonal evolution less clear than in the Adriatic. Summer being characterized by upwellings induced by northerly winds (etesians) is the most clearly defined season. August may be considered as a typical summer month (cold in the east, warm in the west, cold patches at both ends of Crete). December may be considered as a typical autumn month (cold in the west, warm in the east, cold patch east of Crete), March as a typical winter month (cold in the north, warm in the south, no gradients except between Eubee and the Dardanelles), and June as a typical spring month (cold central water surrounded by warm coastal water).*

***Zone G : Adriatic and Northern Ionian seas**

April : *The first warmings of the Gulf of Venice indicate the start of the spring season in the Adriatic Sea. As a consequence, the strong frontal system between the cold Italian coastal water and the warmer central Adriatic Sea (a winter*

IV. Climatology of the frontal areas, monthly and statistical maps

hivernale) commence à faiblir au nord-ouest de l'Adriatique. En **mai** quelques structures d'hiver sont toujours présentes, quoiqu'atténuées : eaux froides le long des côtes italiennes, particulièrement au large du cap Gargano et s'étendant vers le sud jusqu'au cap Santa Maria di Leuca, où le contraste avec les eaux du large plus chaudes reste frontal. La présence d'eaux chaudes le long de la côte des Balkans contrastant localement avec les effluents de rivières est une situation transitoire de printemps typique. Le réchauffement des eaux peu profondes du golfe de Venise et leur extension vers le sud, qui peut atteindre le cap Gargano, représente l'établissement progressif de la situation d'été.

Juin présente la plupart des caractéristiques estivales. Les eaux chaudes de la côte italienne sont maintenant bien établies au nord du cap Gargano. Le long des côtes albanaises et des côtes occidentales grecques jusqu'au cap Matapan, les upwellings côtiers induits par les vents de nord fréquents en cette période contrastent avec la mer Ionienne qui se réchauffe rapidement. Les eaux de l'Adriatique qui s'écoulent vers le sud autour du cap Santa Maria di Leuca peuvent cependant apparaître encore froides par rapport à celle de la mer Ionienne. En **juillet** et **août**, les eaux côtières italiennes chaudes sont en principe visibles au nord du golfe de Manfredonia. Les contrastes provoqués par les upwellings peuvent maintenant être rencontrés plus au nord jusqu'en Istrie, avec les fronts les plus intenses régulièrement présents au large de l'Albanie.

En **septembre** la situation tend à l'homothermie. Quelques caractéristiques de l'été peuvent cependant persister, soit avec la présence d'eaux froides le long de la côte yougoslave ou avec celle d'eaux chaudes le long de la côte italienne.

Octobre : une inversion des gradients le long de la côte albanaise annonce l'automne. Quand les upwellings induits par les vents du nord s'arrêtent, les eaux chaudes de la mer Ionienne, s'écoulant vers le nord, contrastent avec les eaux plus froides de l'Adriatique qui coulent vers le sud autour du cap Santa Maria di Leuca. Des eaux froides peuvent déjà apparaître dans le golfe de Venise. **Novembre** et **décembre** sont caractérisés par deux systèmes frontaux. Le premier oppose les eaux côtières italiennes froides s'étendant vers le sud depuis le golfe de Venise à celles de l'Adriatique centrale. Ce système frontal est presque permanent au nord du cap Gargano, mais peut s'étendre jusqu'à Brindisi. Le second sépare l'Adriatique centrale des eaux chaudes de la mer Ionienne qui se déplacent vers le nord le long de la côte des Balkans. Ceci produit des contrastes frontaux, principalement dans

characteristic) begins to weaken in the north-west of the Adriatic. In May some winter features are still present, although attenuated : cold water along the Italian coast, particularly off Cape Gargano and extending southwards down to Cape Santa Maria di Leuca, where the contrast with the warmer water further offshore remains frontal. The presence of warm water along the Balkan coast contrasting locally with the colder river runoffs is a transient spring characteristic. The warming up of the shallow water of the Gulf of Venice and its extension southwards, sometimes as far as Cape Gargano, represent the onset of a summer characteristic.

June presents most of the summer characteristics. The warm Italian coastal water is now well established north of Cape Gargano. Along the Albanese and the western Greek coasts down to Cape Matapan, the coastal upwellings induced by the northerly winds of the period contrast with the rapidly warming Ionian Sea. However the Adriatic water moving southwards around Cape Santa Maria di Leuca may still appear cold against the Ionian Sea. In July and August the Italian coast warm water is usually visible north of the Gulf of Manfredonia. The upwelling induced contrasts may now be encountered further north up to Istria, with the most intense fronts regularly present off the Albanian coast.

In September the situation tends to homothermy. Some characteristics of the summer season may persist however ; either with the presence of cold water along the Yugoslavian coast or with that of warm water along the Italian coast.

October : an inversion of the gradients along the Albanian coast announces the arrival of autumn. When the upwelling induced by the northerly winds stops, the warm water of the Ionian Sea, moving northwards, contrasts with the colder Adriatic water moving southwards around Cape Santa Maria di Leuca. Occasionally cold water may already appear in the Gulf of Venice. November and December are characterized by two frontal systems. Firstly the Italian coastal water, extending southwards from the Gulf of Venice, is now colder than the central Adriatic water. This frontal system is almost permanent north of Cape Gargano, but may extend down to Brindisi. Secondly, the central Adriatic water also contrasts with the warm Ionian water moving northwards along the Balkan coast. This produces frontal contrasts, mainly in the southern Adriatic between

IV. Climatology of the frontal areas, monthly and statistical maps

le sud de l'Adriatique entre Otranto et Dubrovnik. Le contraste entre ces eaux chaudes et les effluents de rivières de l'Albanie (principalement dans le golfe de Drin) est également frontal.

Janvier : Les eaux de la mer Ionienne ne présentent plus de différences thermiques notables avec celles de l'Adriatique centrale, ce qui indique le début de l'hiver. Les fronts subsistant le long de la côte des Balkans sont induits par les effluents froids. Le front de la côte italienne, en revanche, est pratiquement continu de Venise à Tarente. En **février** et **mars** la situation est complètement dominée par un contraste entre les eaux centrales de l'Adriatique et les eaux côtières froides. Ce contraste est frontal partout, à l'exception de la côte nord yougoslave. Le système frontal peut être double dans la partie la plus nord de l'Adriatique.

Résumé : Trois phénomènes principaux régissent la distribution des fronts thermiques dans l'Adriatique :

- 1 - le contraste entre les eaux de la mer Ionienne et les eaux souvent froides de l'Adriatique,
- 2 - les variations rapides de température dans les eaux peu profondes du nord de l'Adriatique, qui s'écoulent ensuite le long de la côte italienne,
- 3 - le contraste entre les upwellings froids de la côte des Balkans et les eaux plus chaudes de la mer Ionienne et de l'Adriatique.

Conclusions

Derrière l'apparente complexité des contrastes thermiques en Méditerranée, quelques règles de base gouvernent la distribution saisonnière des fronts.

Dans les bassins du nord, un cycle à quatre saisons est produit par deux phénomènes principaux :

- 1 - les eaux s'étendent vers le nord depuis les bassins sud plus chauds (mers Tyrrhénienne et Ionienne, Méditerranée du sud-est) le long des bordures est des bassins nord (bassin Liguro-Provençal, mer Adriatique, mer Egée). Ces courants chauds sont clairement visibles lorsqu'il existe une différence de TSM substantielle entre le nord et le sud, c'est-à-dire d'avril à février.

- 2 - de juin à septembre cependant, des eaux refroidies par brassage et upwelling par les vents de nord (mistral, tramontane, bora, meltem) s'étendent le long des côtes est des bassins nord (ouest et sud Sardaigne, côte des Balkans, côte occidentale turque).

L'interférence de ces deux phénomènes produit le cycle de saisons suivant : l'hiver (de février à avril) est caractérisé par des gradients nord-

Otranto and Dubrovnik. The contrast between this warm water and the river runoffs of Albania (mainly in the Gulf of Drin) is also frontal.

January : *The Ionian water no longer contrasts with the central Adriatic water indicating the beginning of winter. The remaining fronts along the Balkan coast are induced by the cold river runoffs. The Italian coastal front, however, is almost continuous from Venice to Tarento. During February and March the situation is completely dominated by a contrast between the central Adriatic water and the cold coastal water. This contrast is frontal everywhere, with the exception of the northern Yugoslavian coast. The frontal system may be double in the northernmost part of the Adriatic.*

Summary : Three major phenomena lead to the distribution of the thermal fronts in the Adriatic Sea :

- 1 - the contrast between the water of the Ionian Sea and the often colder water of the Adriatic,*
- 2 - the rapid temperature variations in the shallow water of the northern Adriatic, which then move southwards along the Italian coast,*
- 3 - the contrast between the cold upwellings of the Balkan coast and the warmer Ionian and Adriatic water.*

Concluding remarks

Behind the apparent complexity of the thermal contrasts in the Mediterranean, a few basic rules govern the seasonal distribution of the fronts.

In the northern basins, a four-season cycle is produced by two main phenomena :

- 1 - Water extends northwards from the southern warmer basins (Tyrrhenian and Ionian Seas, south eastern Mediterranean) along the eastern side of the northern basins (Liguro-Provençal Basin, Adriatic Sea, Aegean Sea). These warm currents are clearly visible when there is a substantial north-south SST difference from April to February.*

- 2 - From June to September, however, water upwelled and mixed by the northerlies (Mistral, Tramontane, Bora, Meltem) extends along the eastern coast of the northern basins (west and south Sardinia, Balkan coast, western Turkish coast)*

The interference of these two phenomena results in the following seasons : Winter (February to April) is characterized by weak north-south gradients. In Spring (May-June) and autumn

IV. Climatology of the frontal areas, monthly and statistical maps

sud faibles. Au printemps (mai-juin) et en automne (octobre-janvier) les eaux chaudes s'étendent le long des côtés est des bassins. En raison des upwellings, l'été (juillet-septembre) présente un renversement des gradients, les eaux les plus chaudes se trouvant sur les bords ouest.

D'autre part, deux phénomènes agissent sur un rythme de deux saisons (été/hiver) :

1 - les taches froides, liées aux circulations cycloniques (bassin Liguro-Provençal, est des Bouches de Bonifacio, sud-est de Rhodes). Elles apparaissent surtout entre juin et novembre.

2 - les eaux froides s'écoulant vers le sud le long des bords ouest (produisant par exemple le front d'Ibiza et le front d'Otrante).

Les zones sud sont en général gouvernées par les contrastes entre les eaux s'écoulant le long du continent africain et les eaux du large. Ceci produit un cycle à deux saisons correspondant aux situations où les eaux entrantes sont plus chaudes (hiver), où moins chaudes (été) que les eaux résidentes. Dans le bassin Afro-Sicilien, ce cycle à deux saisons est accentué l'été par les upwellings du sud de la Sicile.

(October-January) warm water extends along the eastern sides of the basins. Due to upwellings, summer (July-September) presents a reversal of the gradients, with warm water on the western sides.

On the other hand, two other phenomena act on a two seasons (summer/winter) basis :

1 - The cold patches, related to cyclonic circulations (Liguro-Provençal Basin, east of the Strait of Bonifacio, south-east of Rhodes). These mainly appear from June to November.

2 - The cold water flowing southwards along the western coast (producing for instance the Ibiza front and the Otranto front).

The southern zones are mainly governed by the contrasts between the water flowing along Africa and the offshore water. This produces a two-season cycle corresponding to situations when the entering water is warmer (winter) or colder (summer) than the resident water. In the Afro-Sicilian basin, this two-season cycle is emphasized in summer by the upwellings south of Sicily.

2. Cartes mensuelles

Les cartes présentées dans ce chapitre sont des synthèses mensuelles de cartes hebdomadaires ; les unes et les autres ont déjà été publiées par le CMS dans le bulletin mensuel SATMER (Météo-France).

La zone couverte par un front au cours de ses déplacements est représentée en noir (plus la zone est large plus le front est mobile), avec le gradient maximum enregistré pour le mois indiqué sous le front. Quelques limites thermiques intéressantes (gradients restant cependant inférieurs à 1 °C / 5 km, en pointillés) peuvent être également tracées pour donner une vue d'ensemble des masses d'eau.








Noter que certaines zones peuvent rester nuageuses pendant tout le mois.

2. Monthly maps

The maps presented in this chapter are monthly syntheses of weekly maps ; both maps have been already published in the monthly CMS bulletin SATMER (Météo-France).

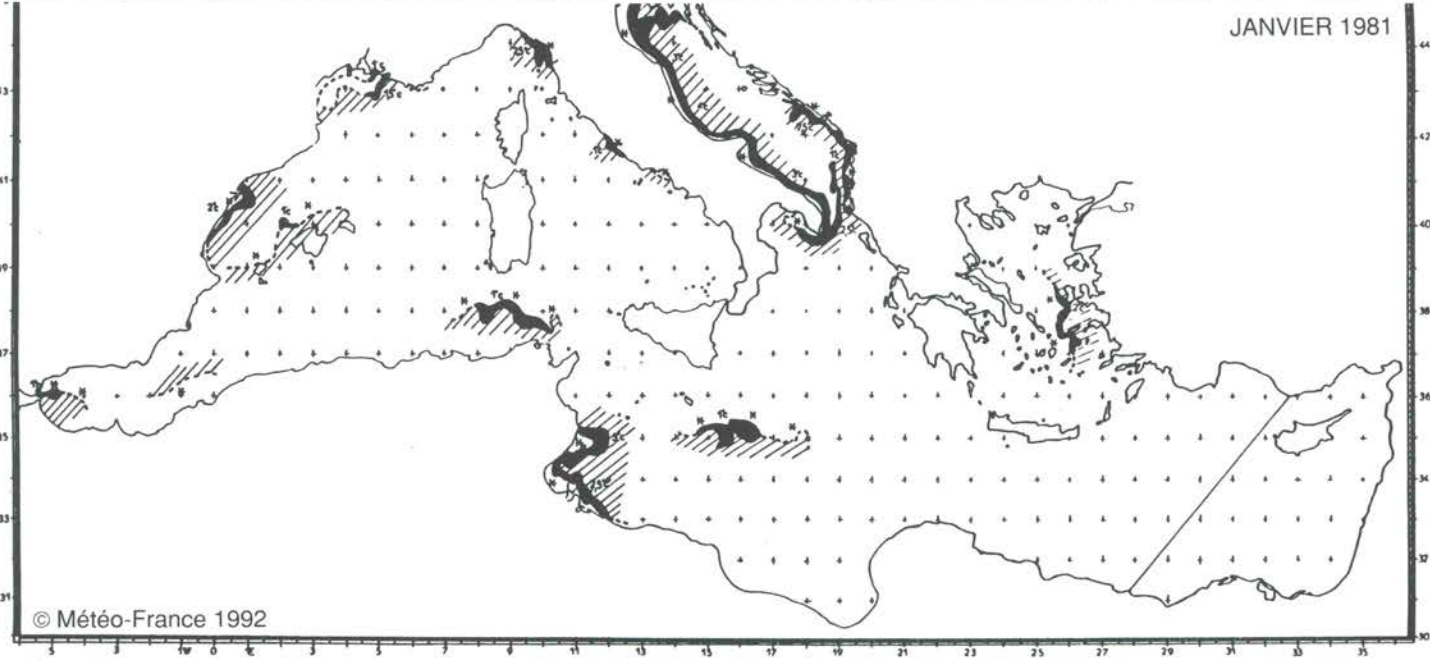
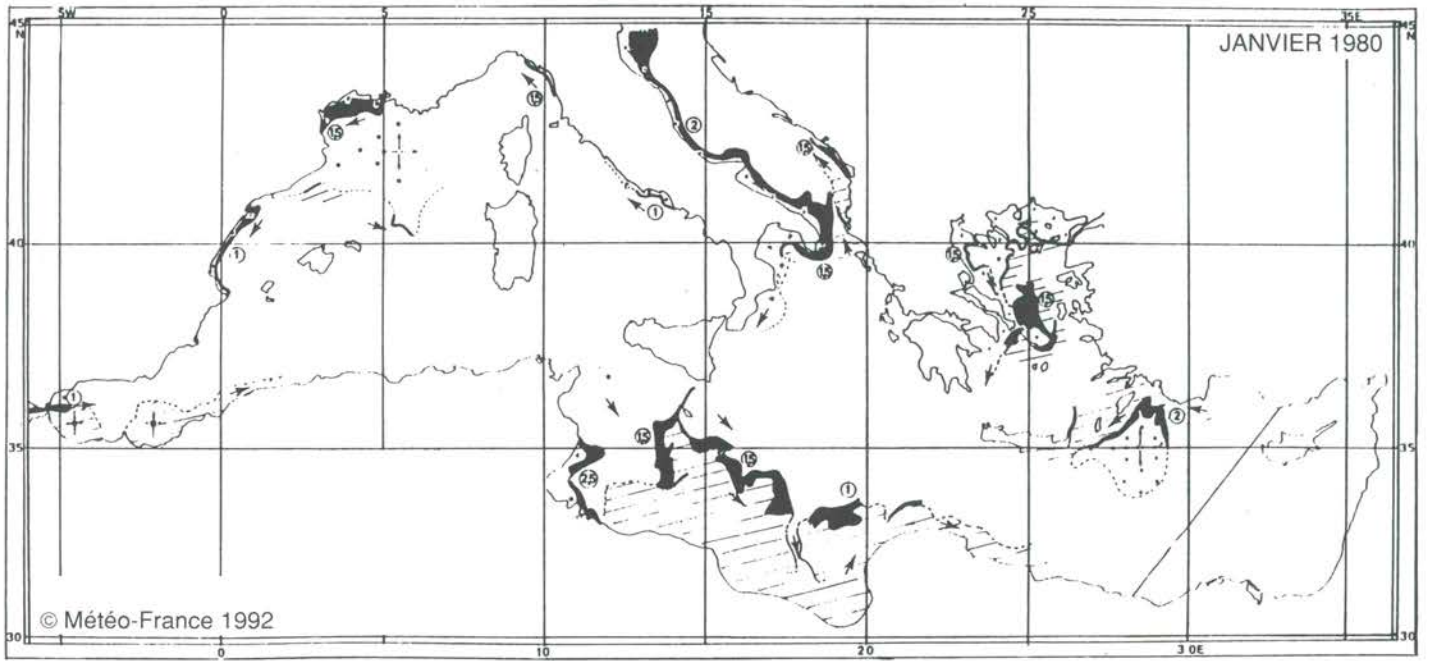
The area covered by a front by its displacements is represented in black (the larger the black zone, the more variable the position of the front), with the maximum gradient recorded during the month shown beside the front. Some interesting thermal limits (gradients remaining lower than 1 °C / 5 km, dotted lines) may also appear in order to provide a picture of the water masses.

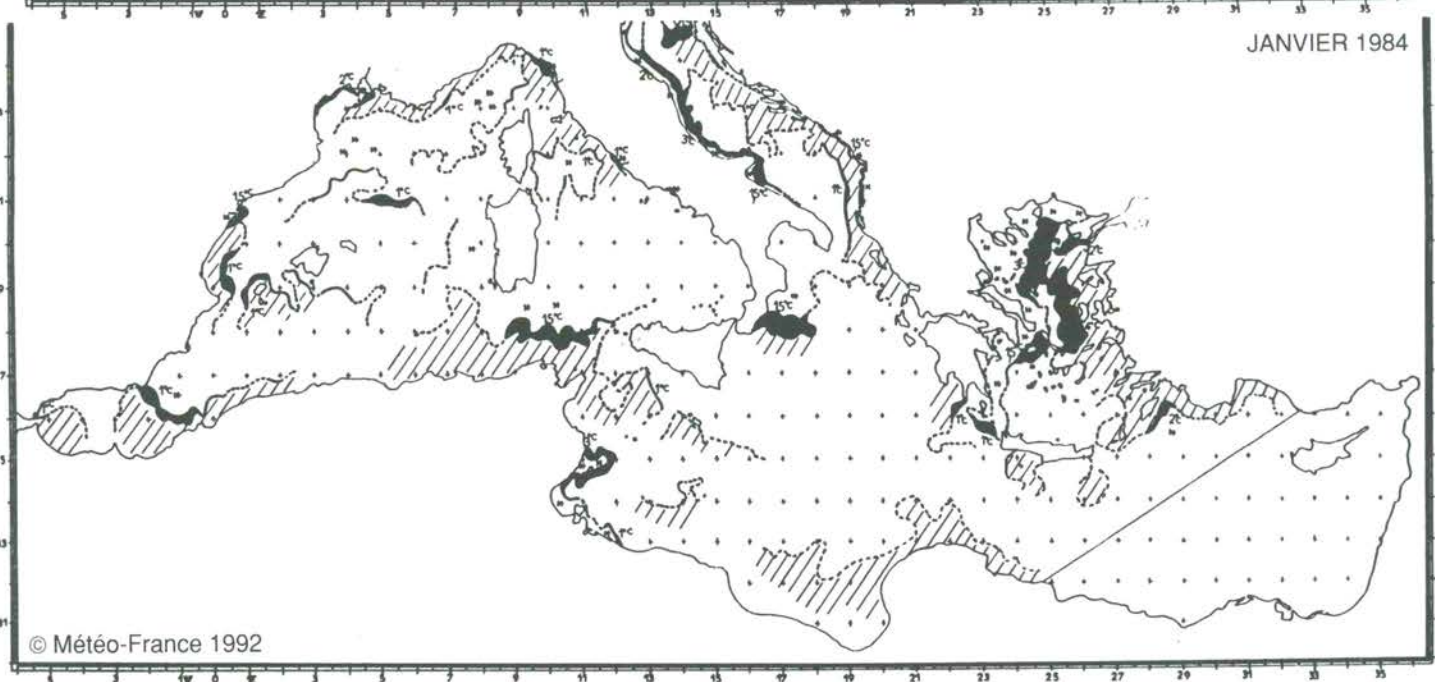
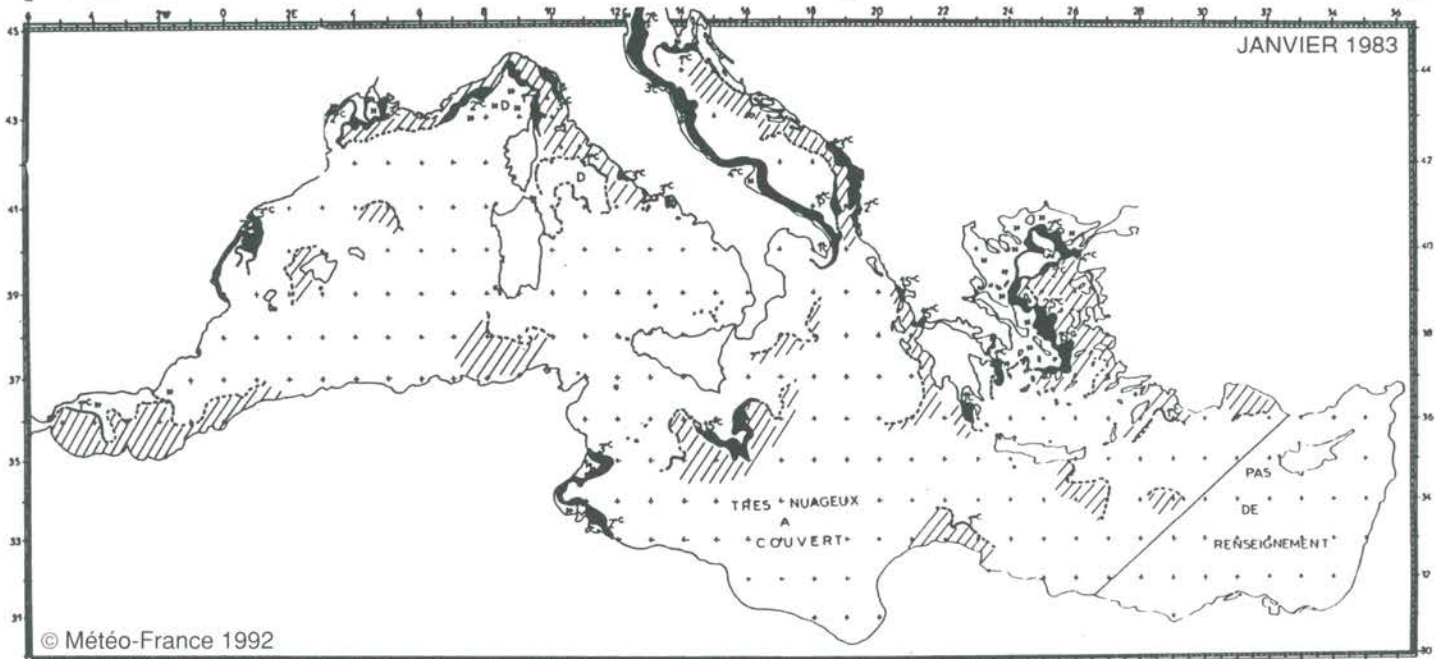
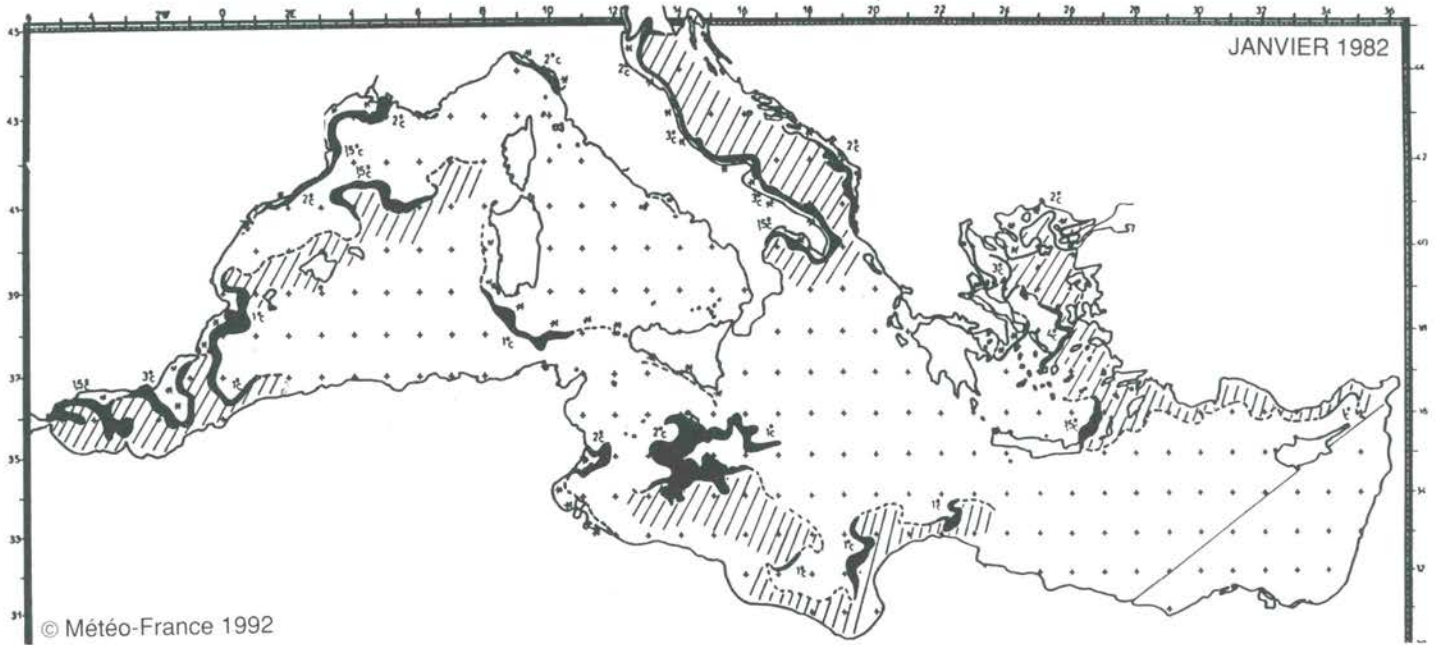
Note that some areas may be cloudy throughout a particular month.

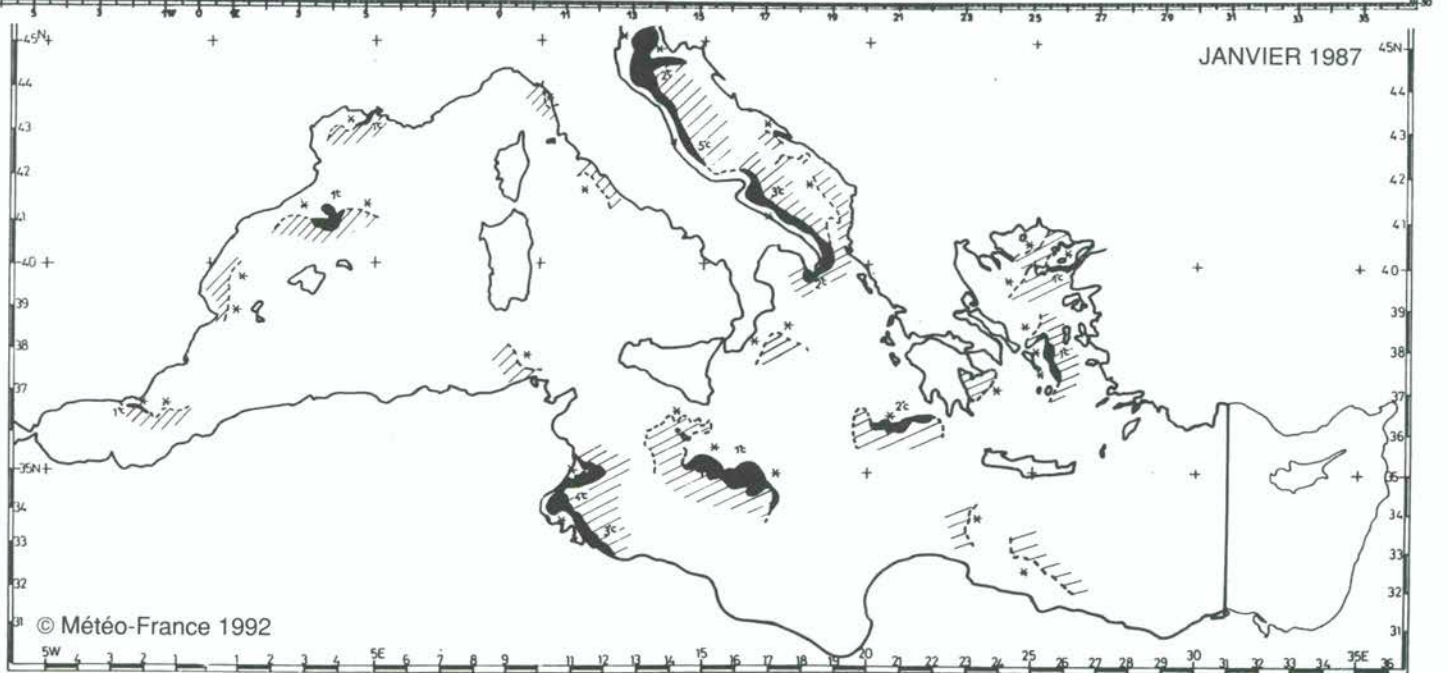
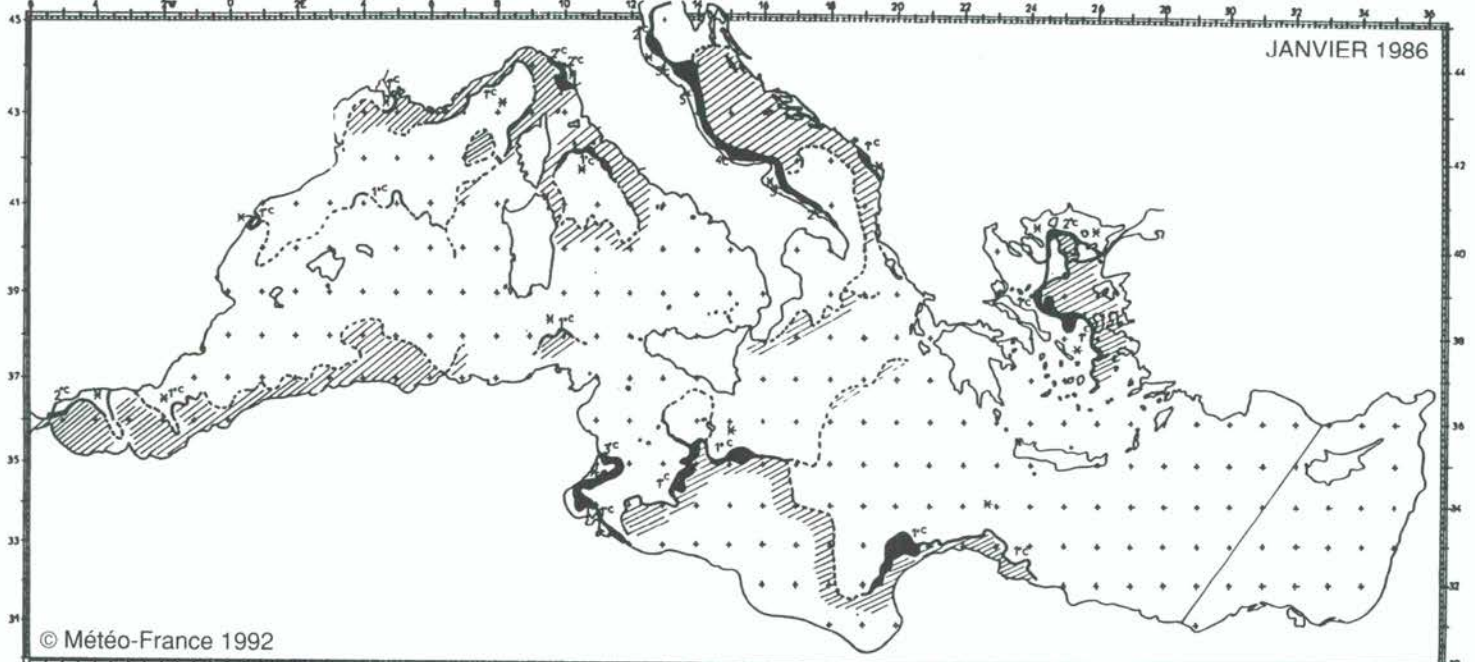
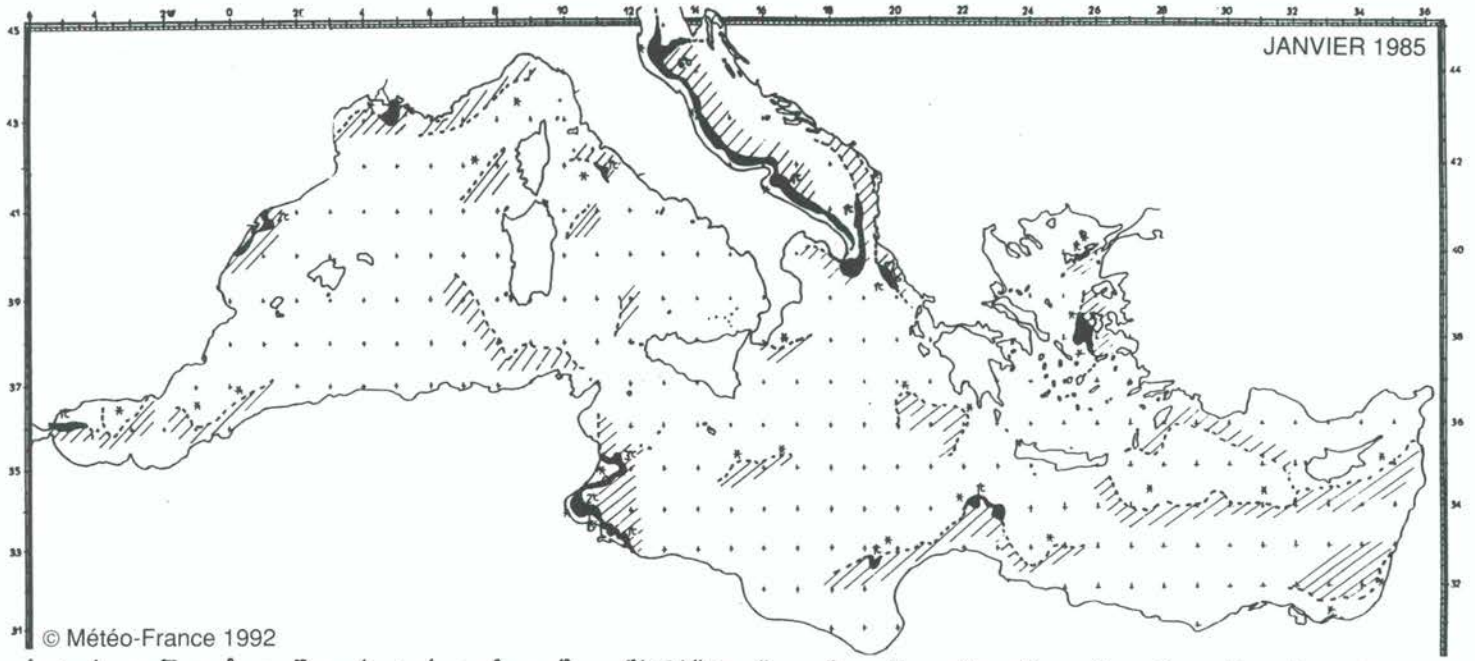
	Légende cartographique	Map Legend
	Enveloppe des fronts	<i>Fronts' envelope</i>
	Eau froide	<i>Cool water</i>
	Eau chaude	<i>Warm water</i>
	Gradient en °c / 5 km	<i>Gradient in °c / 5 km</i>
	Divergence	<i>Divergence</i>
	Convergence	<i>Convergence</i>
	Courant supposé	<i>Expected current</i>

JANVIER

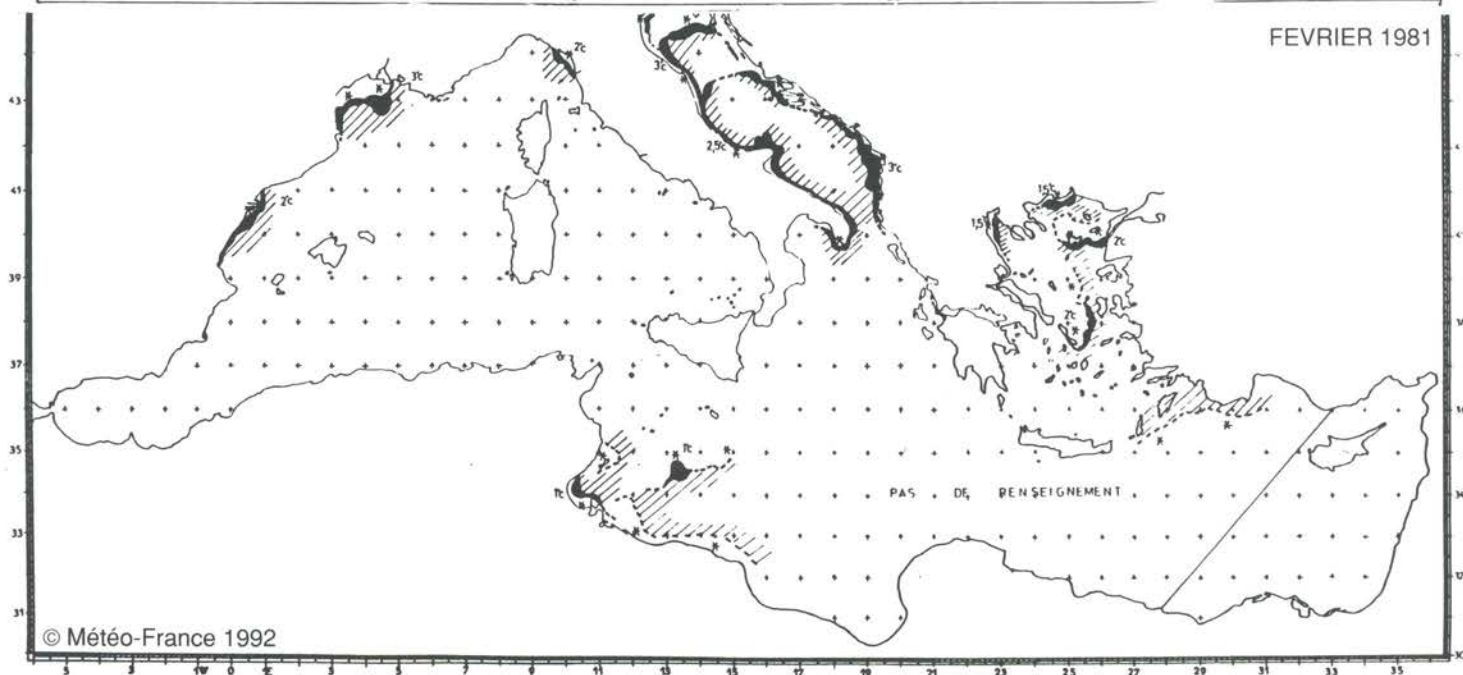
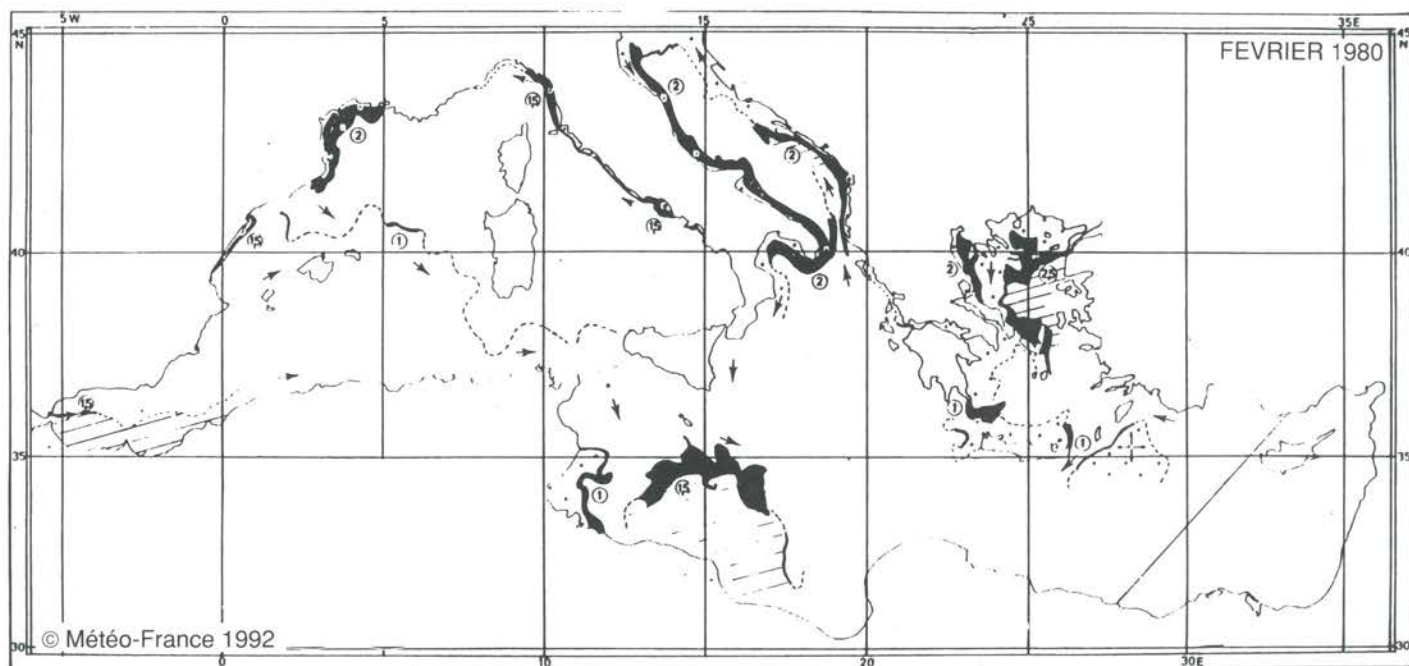
JANUARY

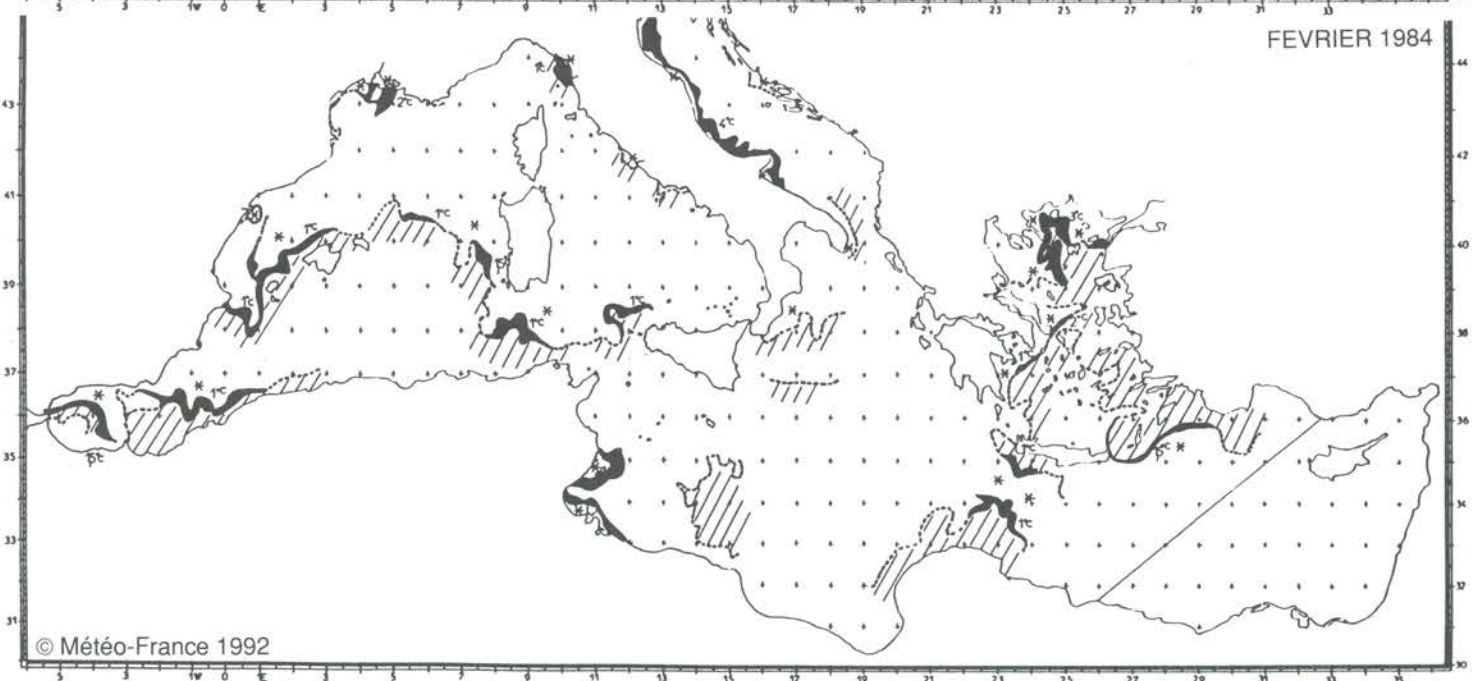
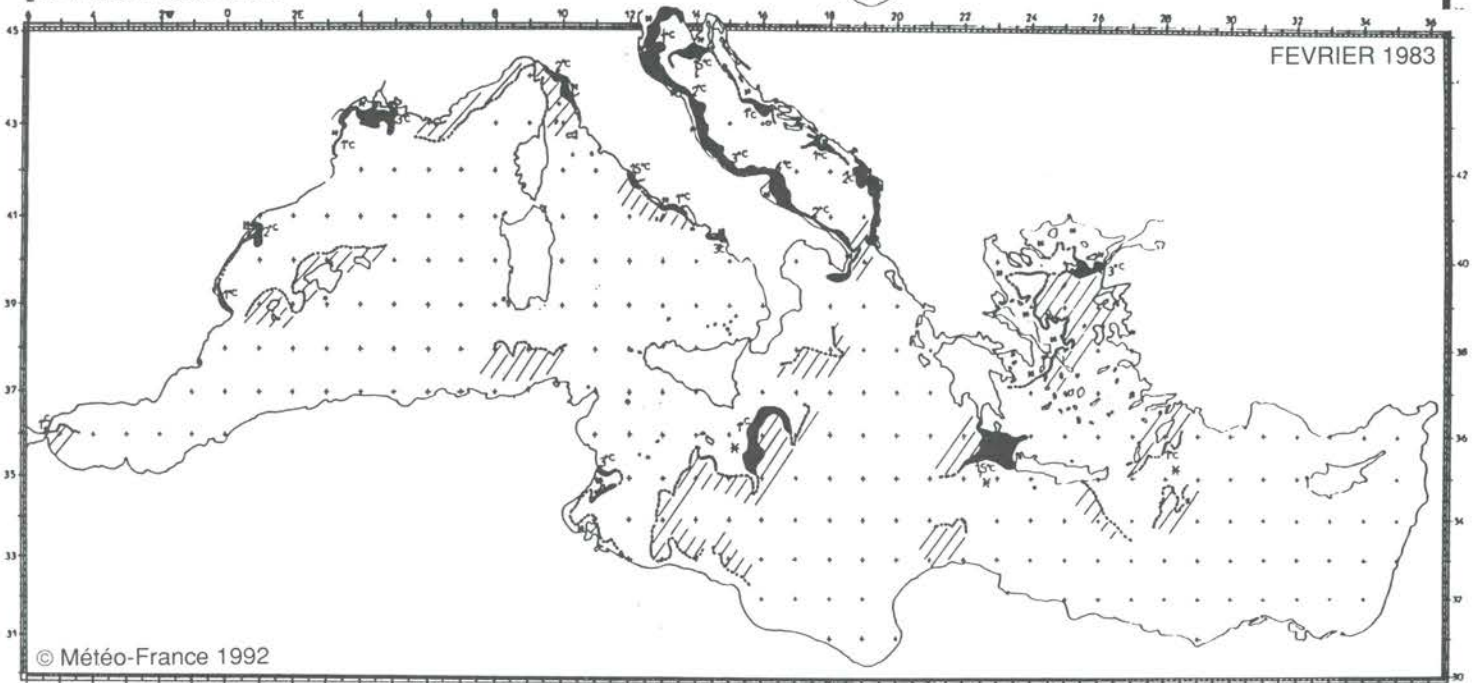
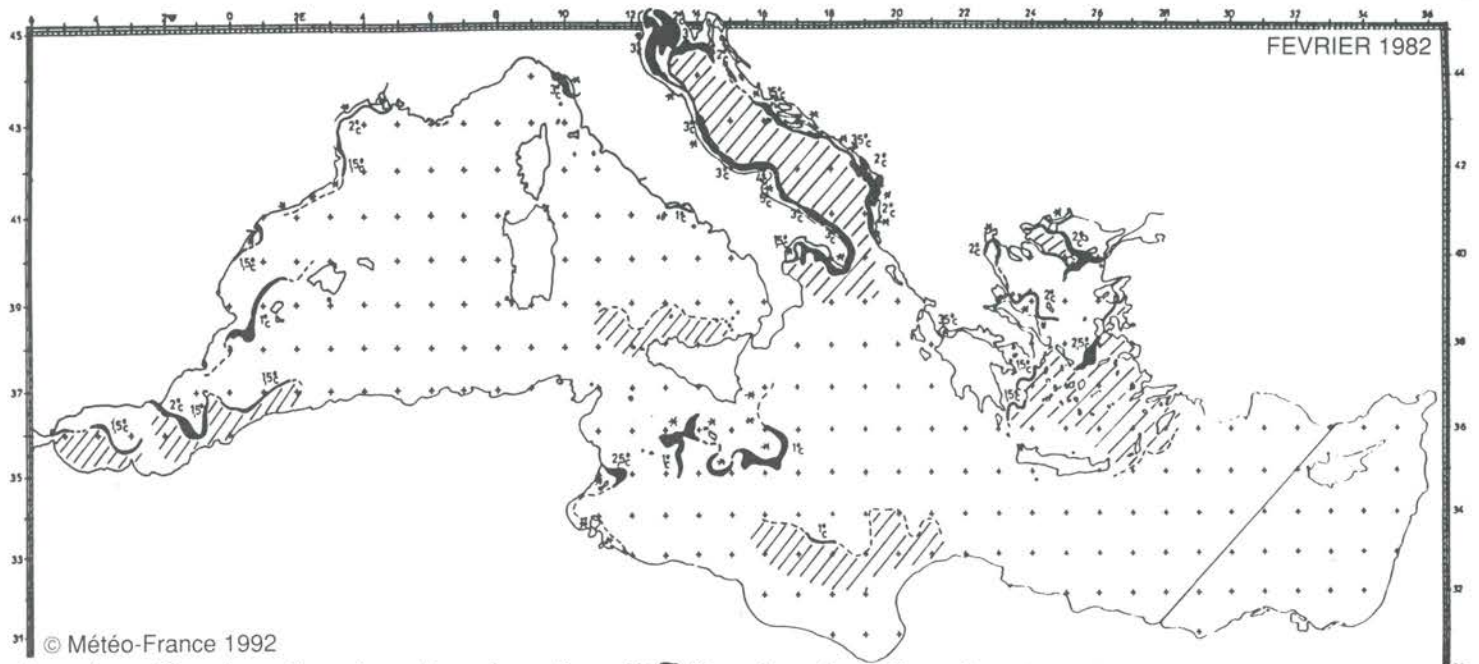


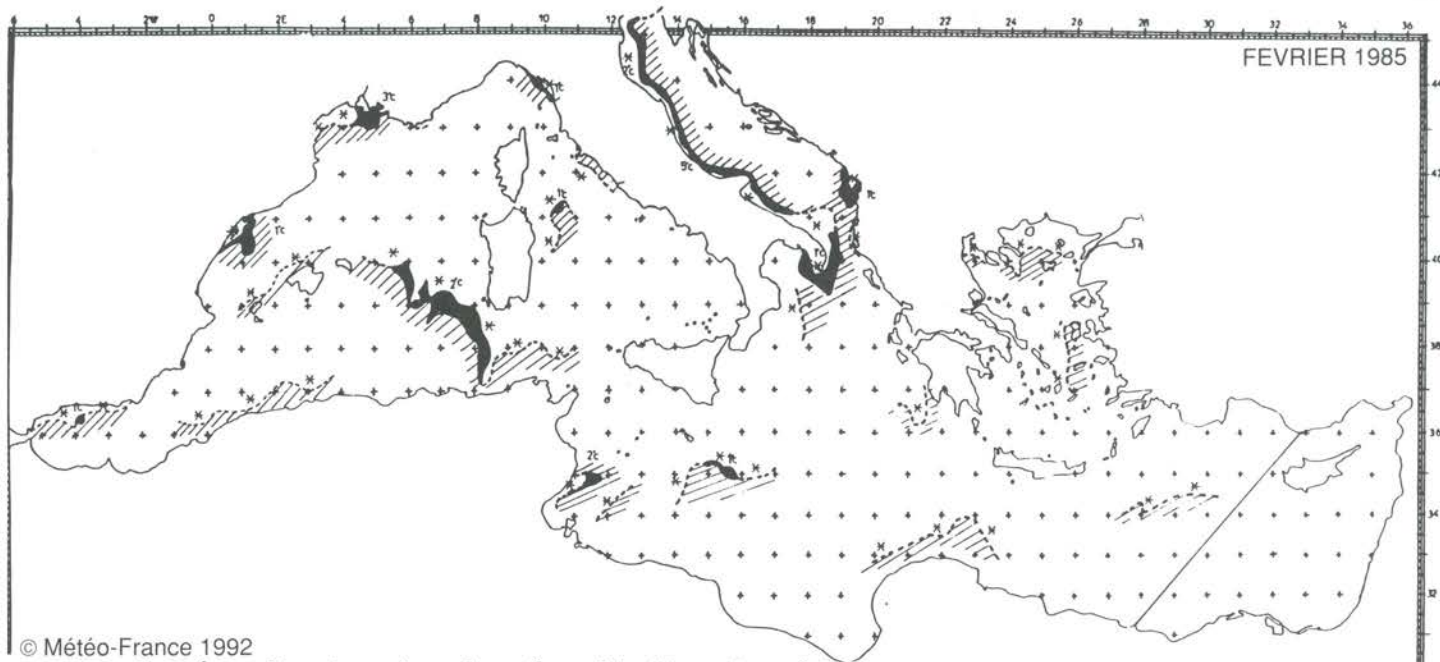




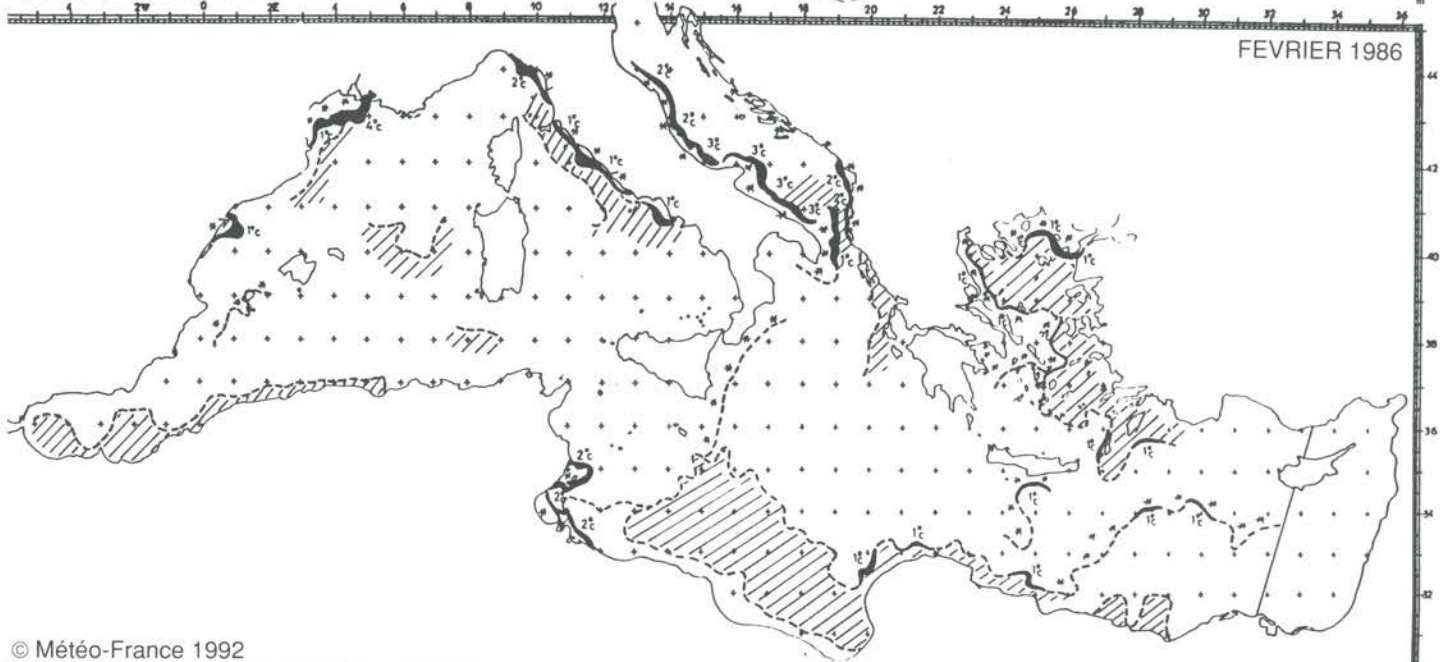
FEVRIER FEBRUARY



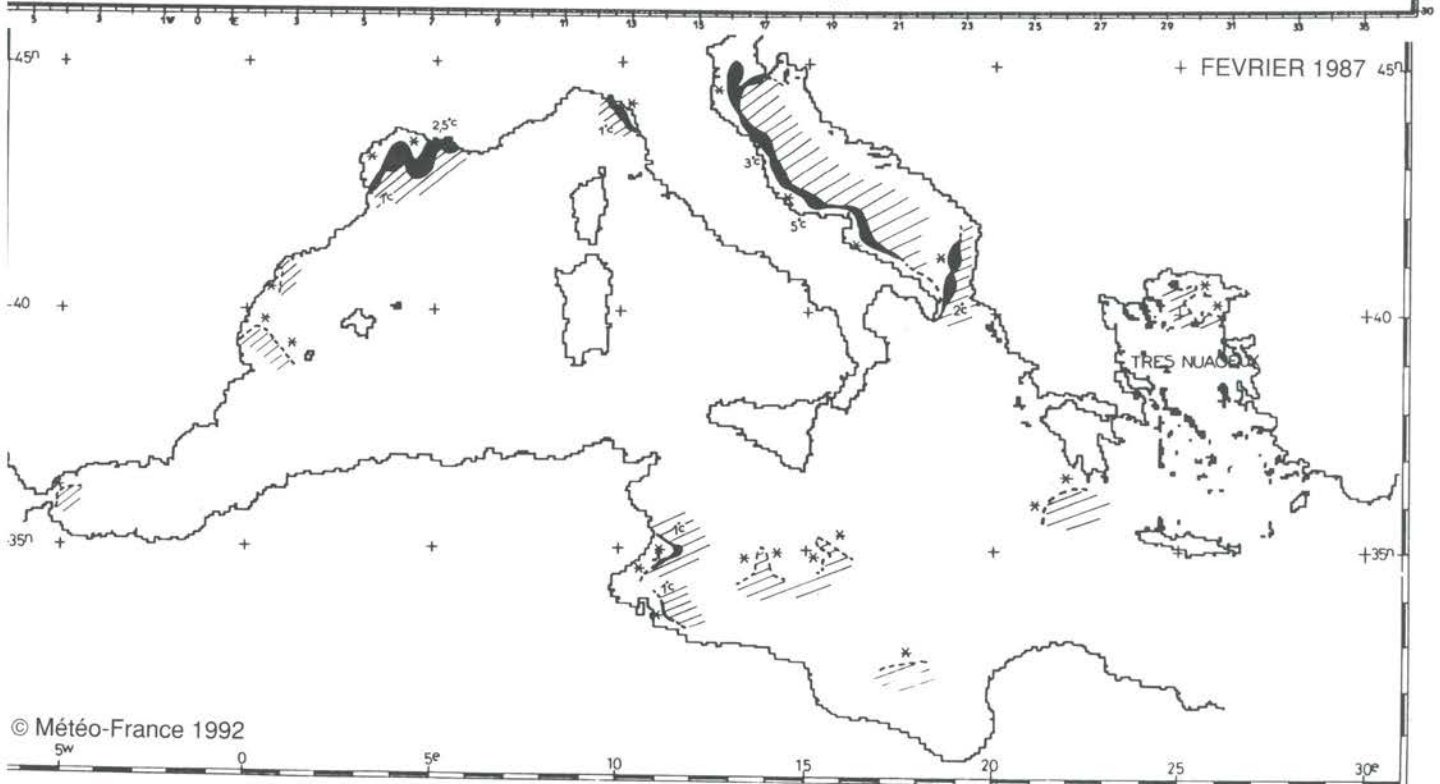




© Météo-France 1992



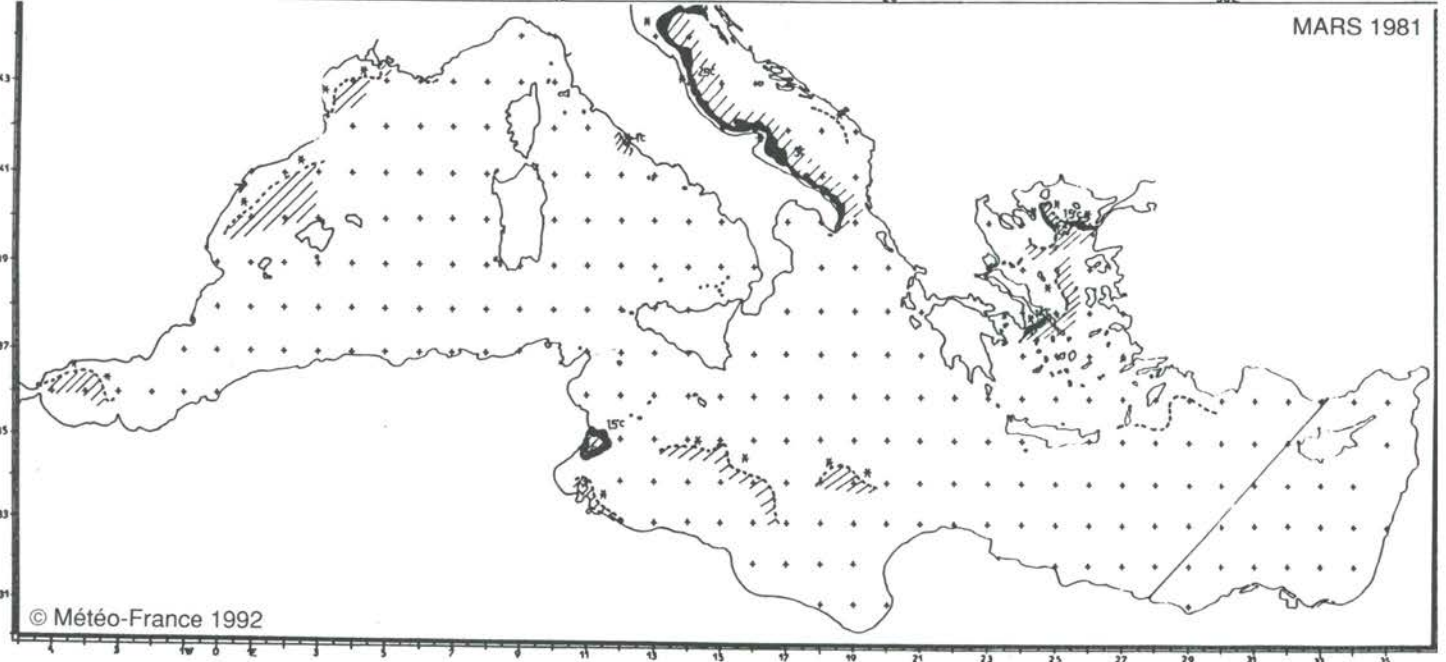
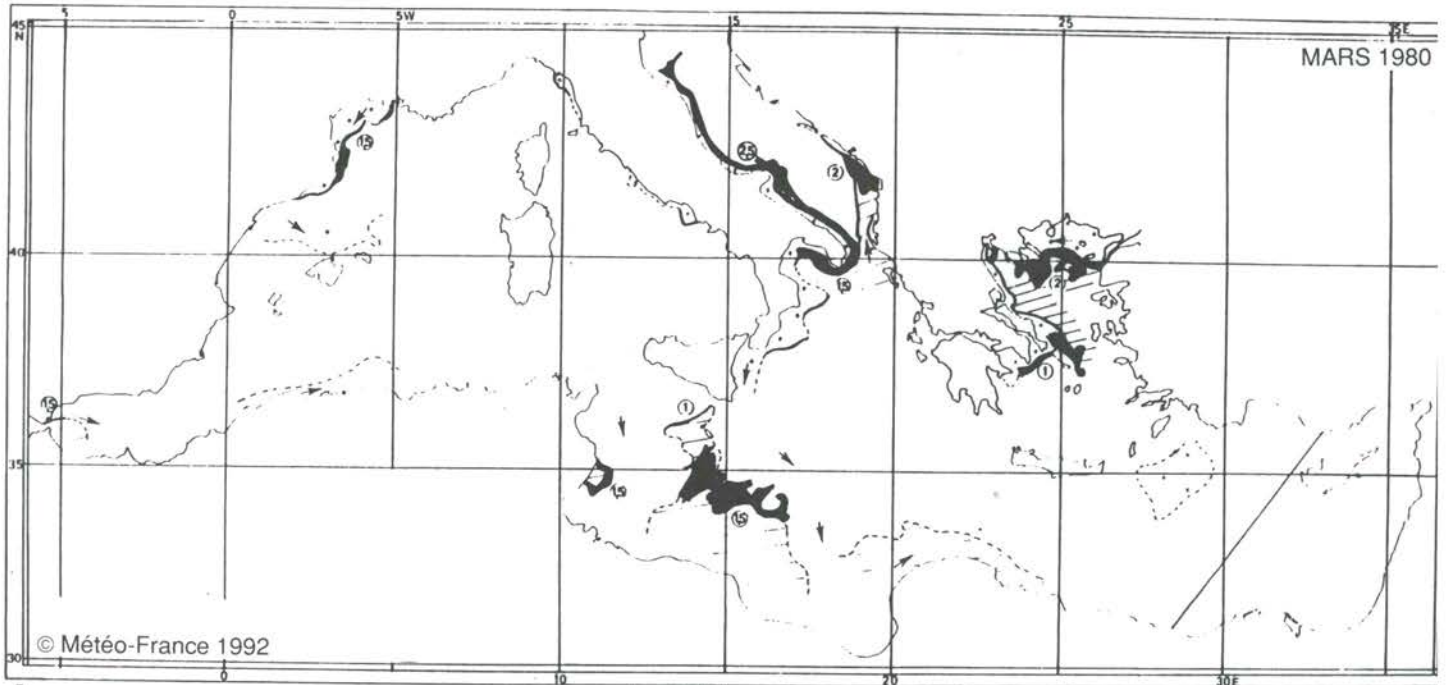
© Météo-France 1992

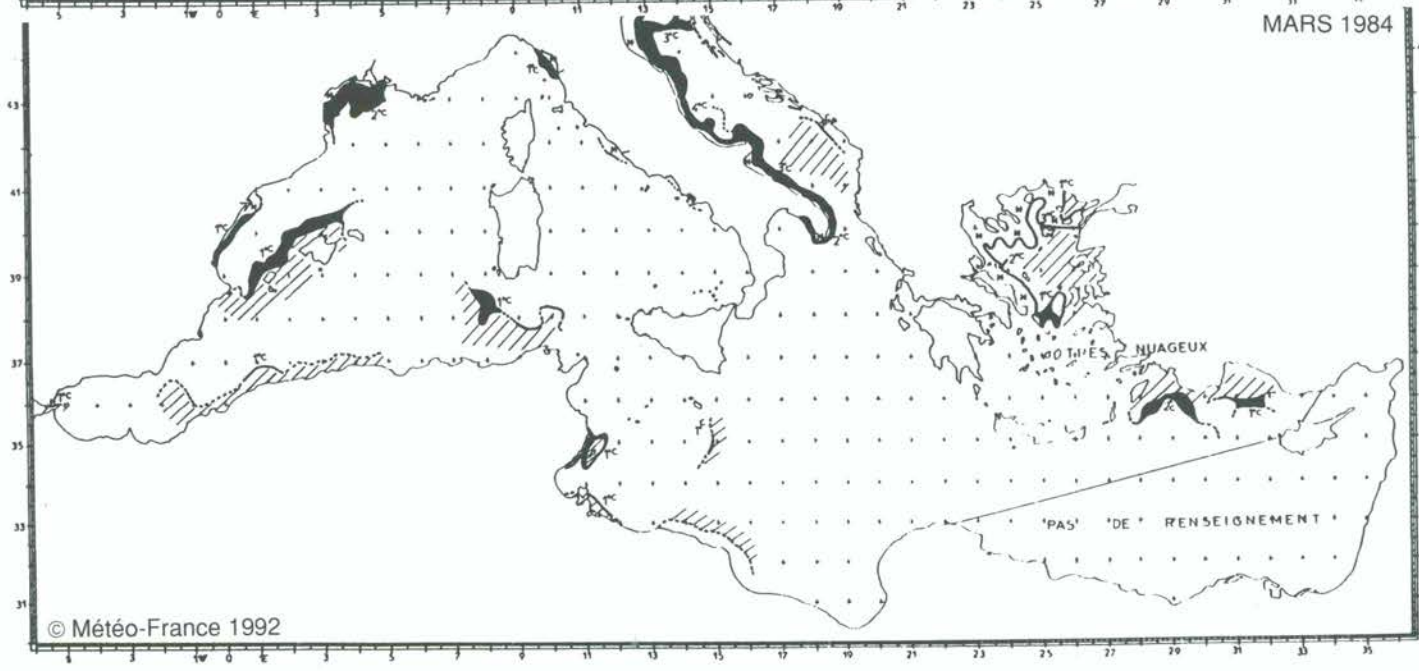
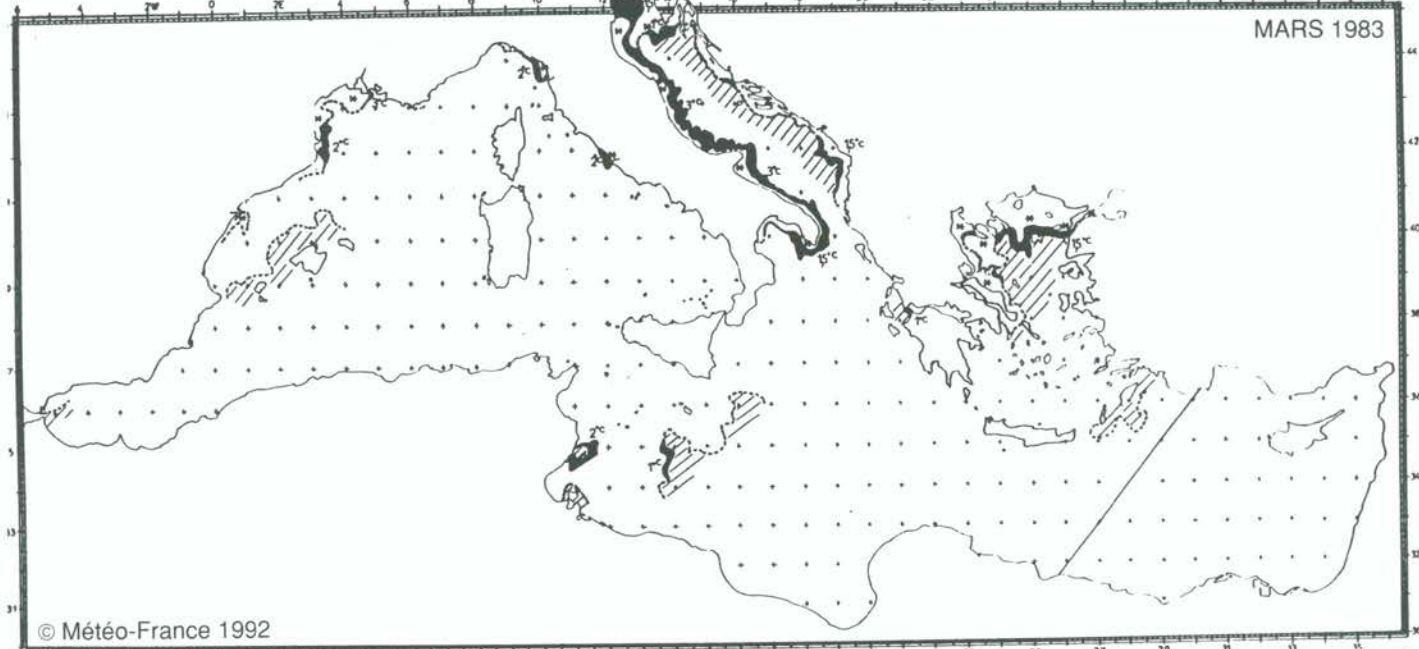
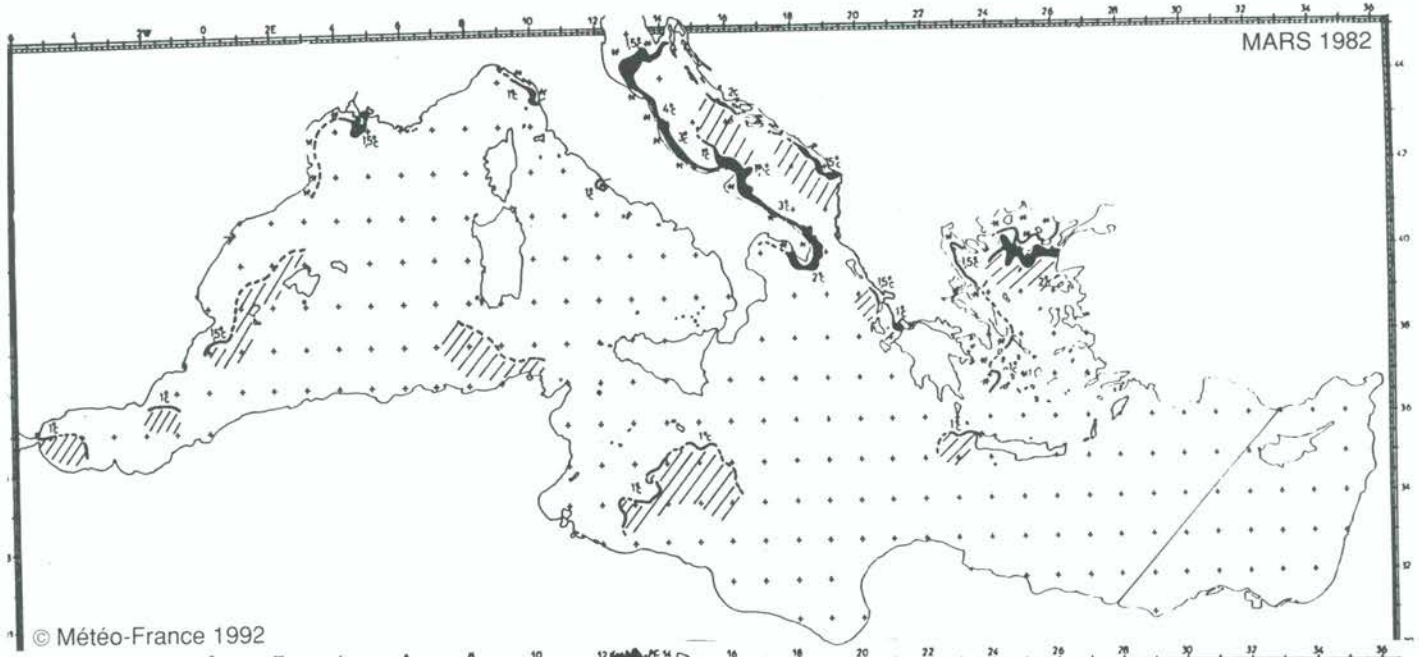


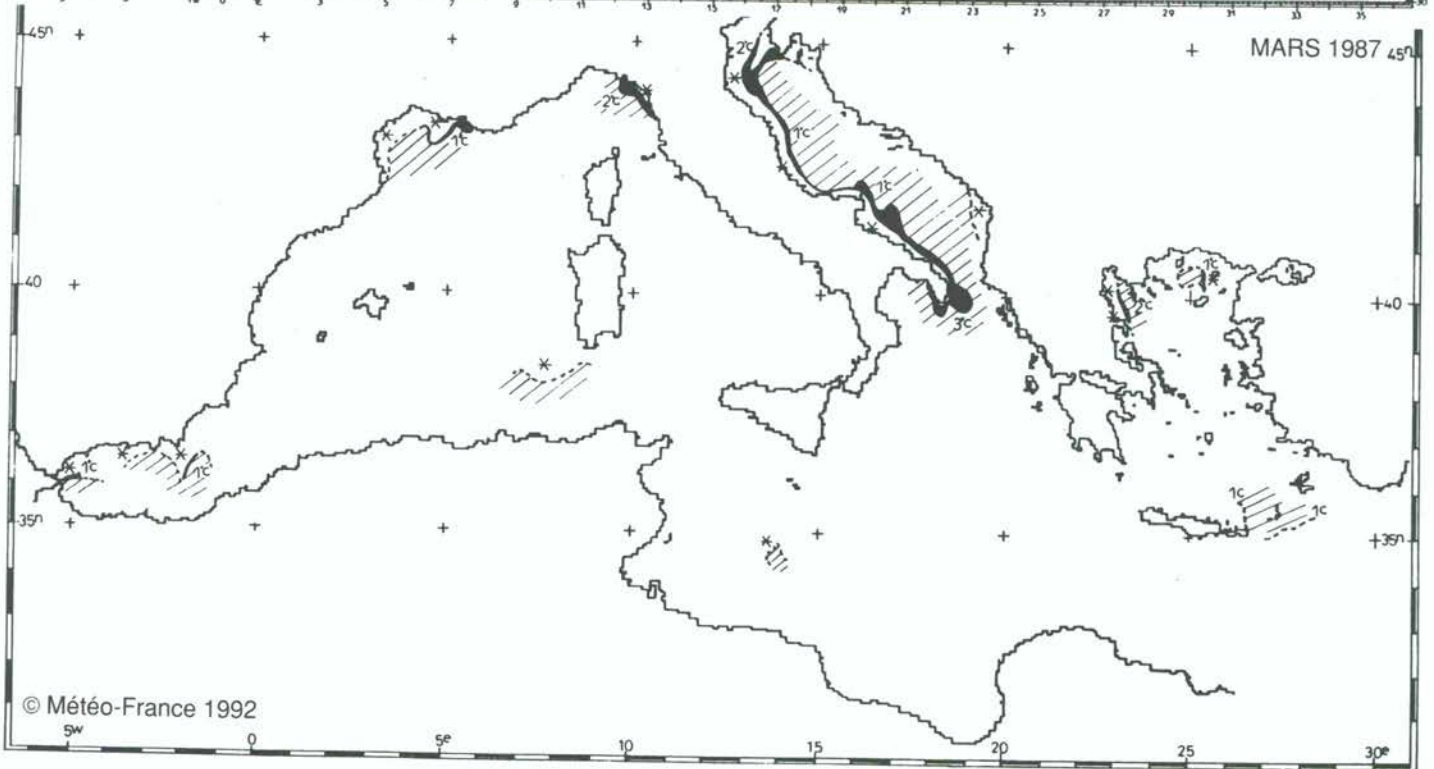
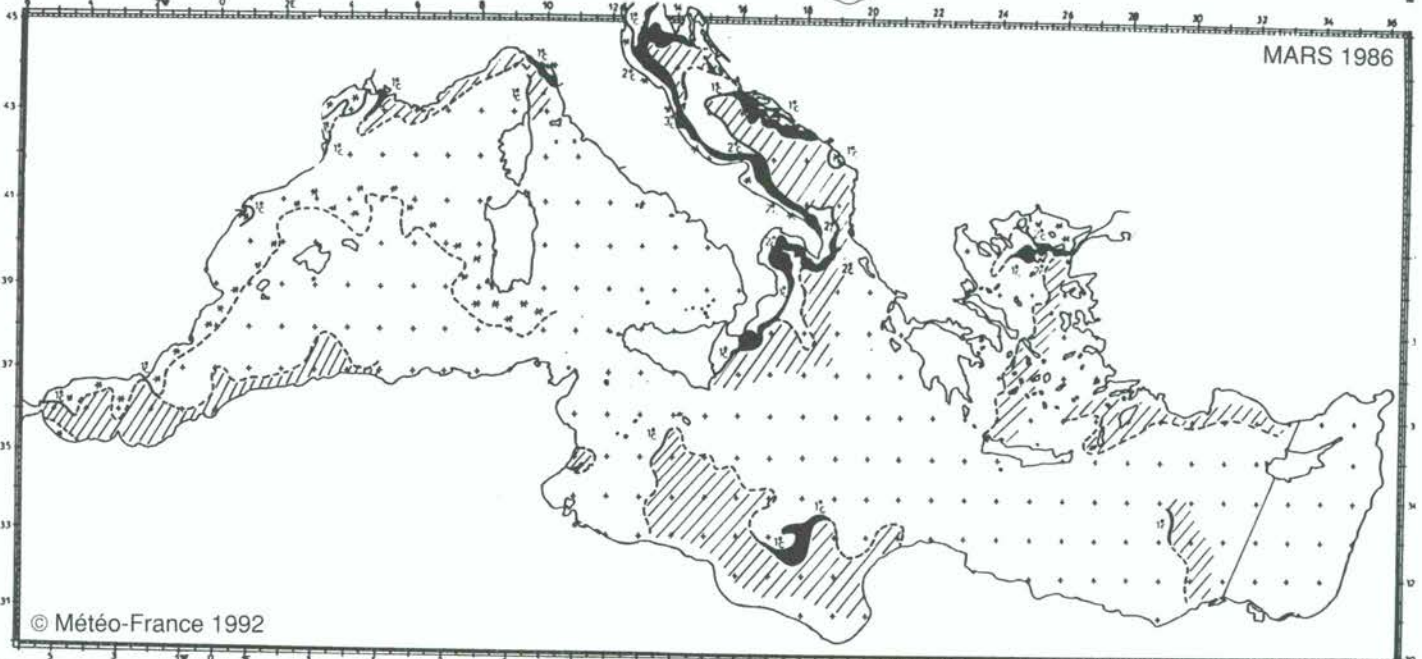
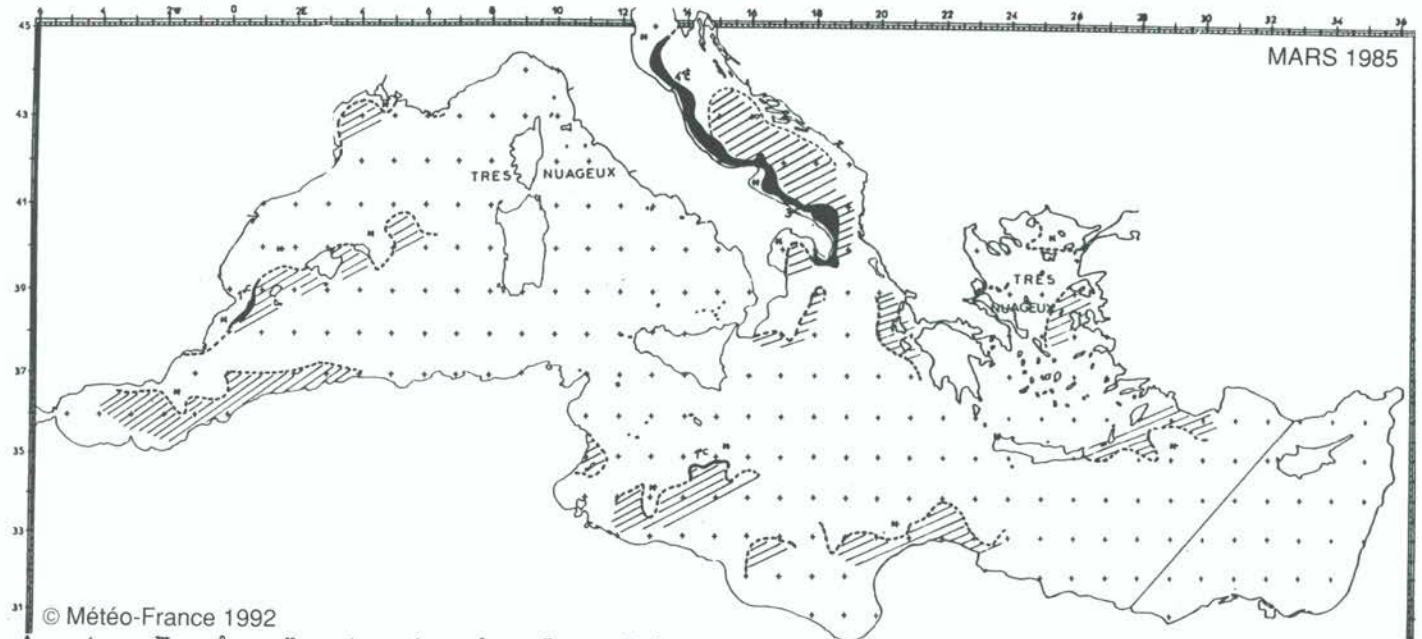
© Météo-France 1992

MARS

MARCH

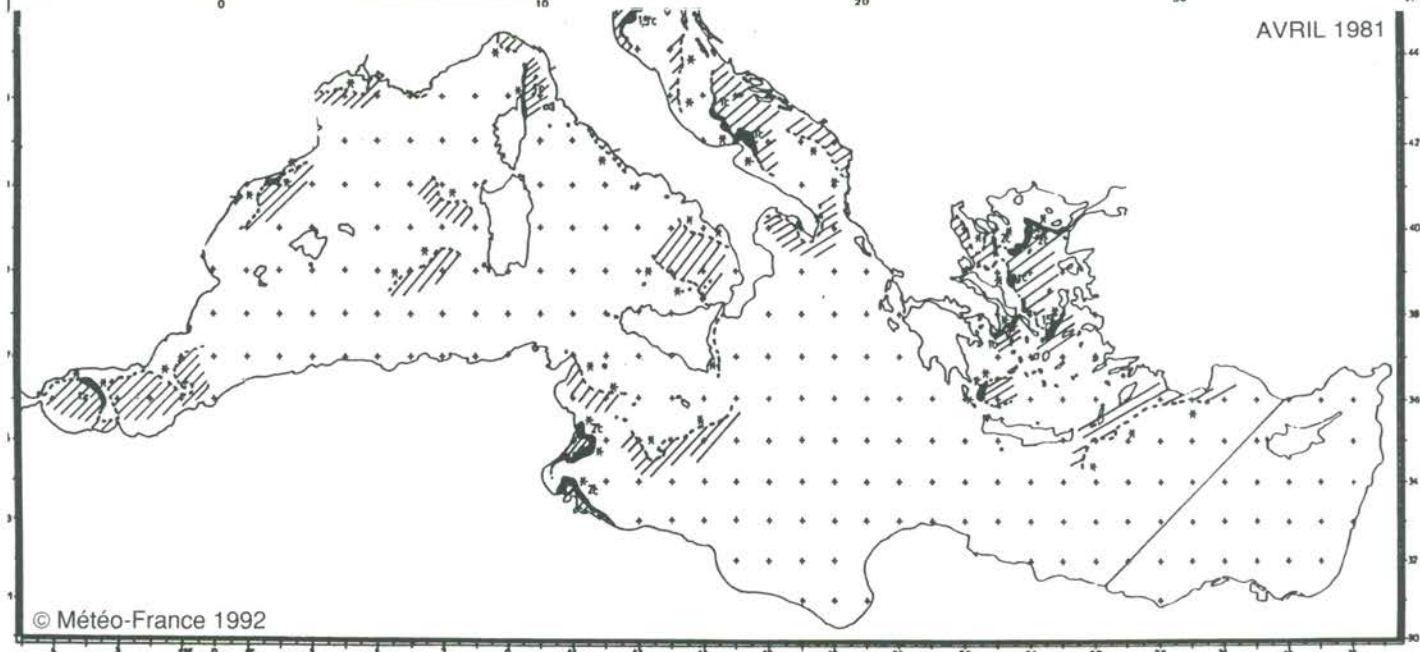
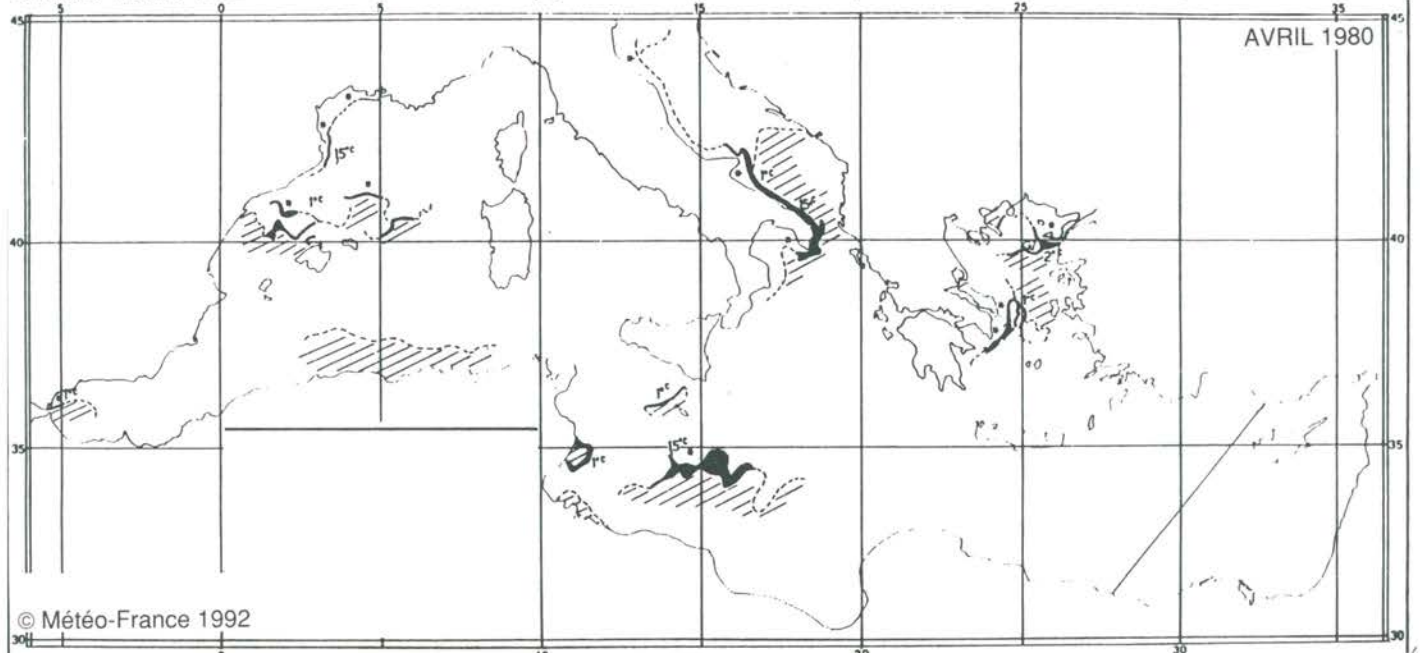
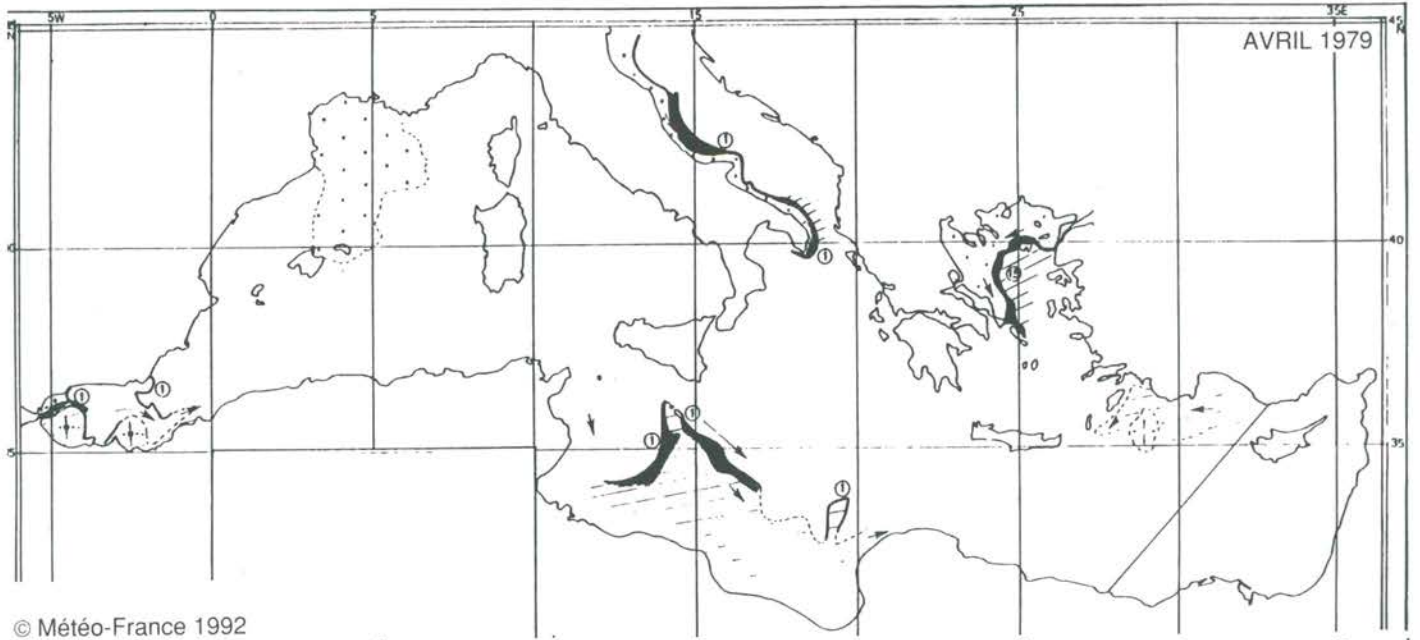


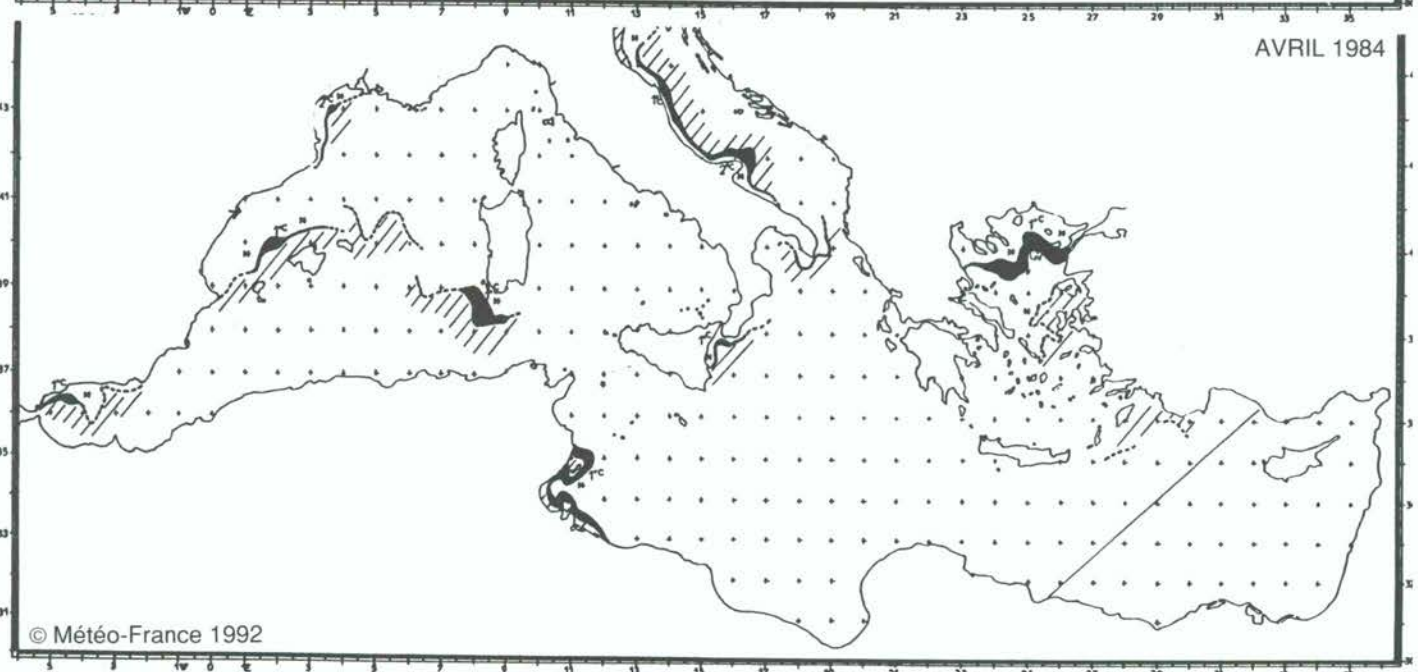
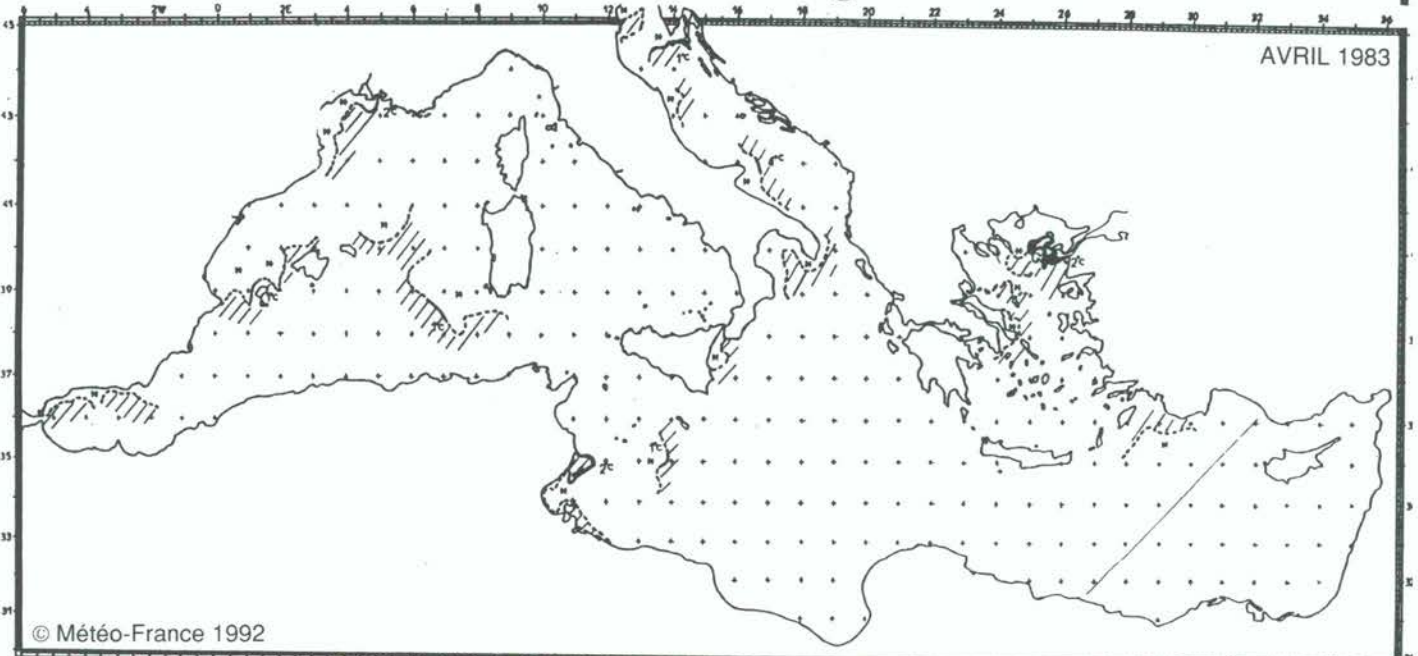
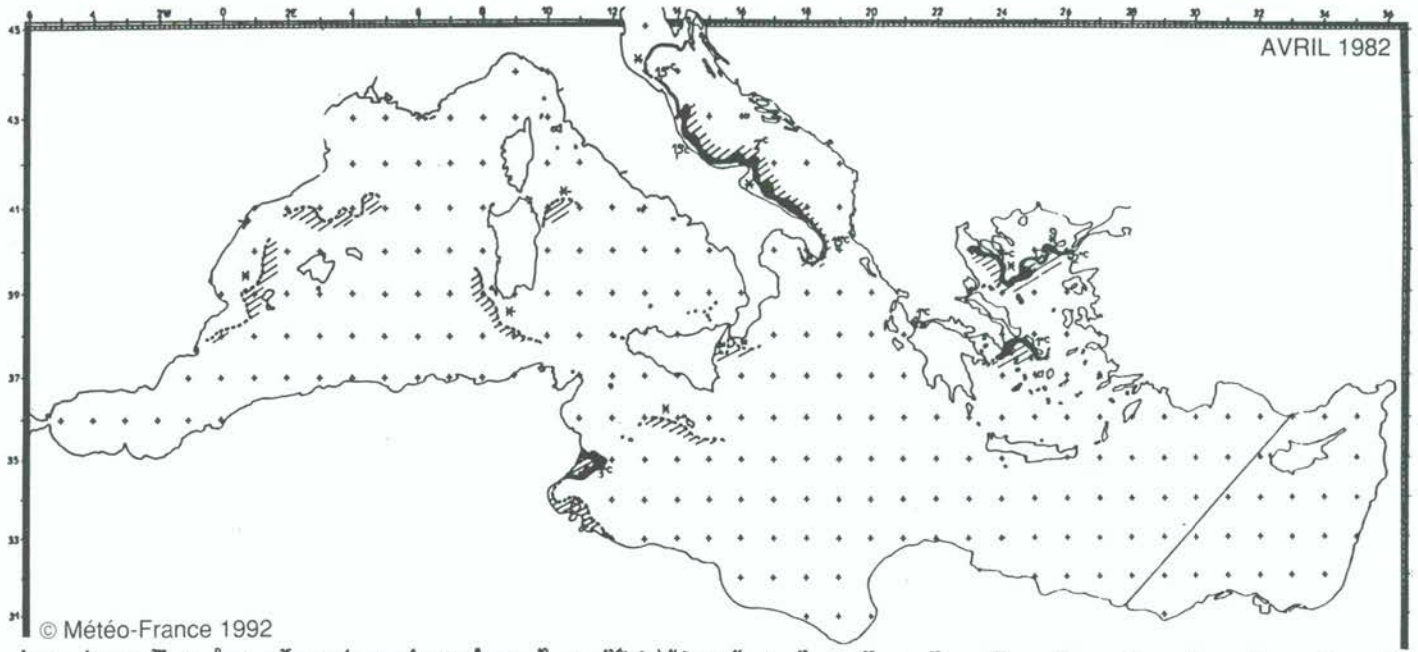


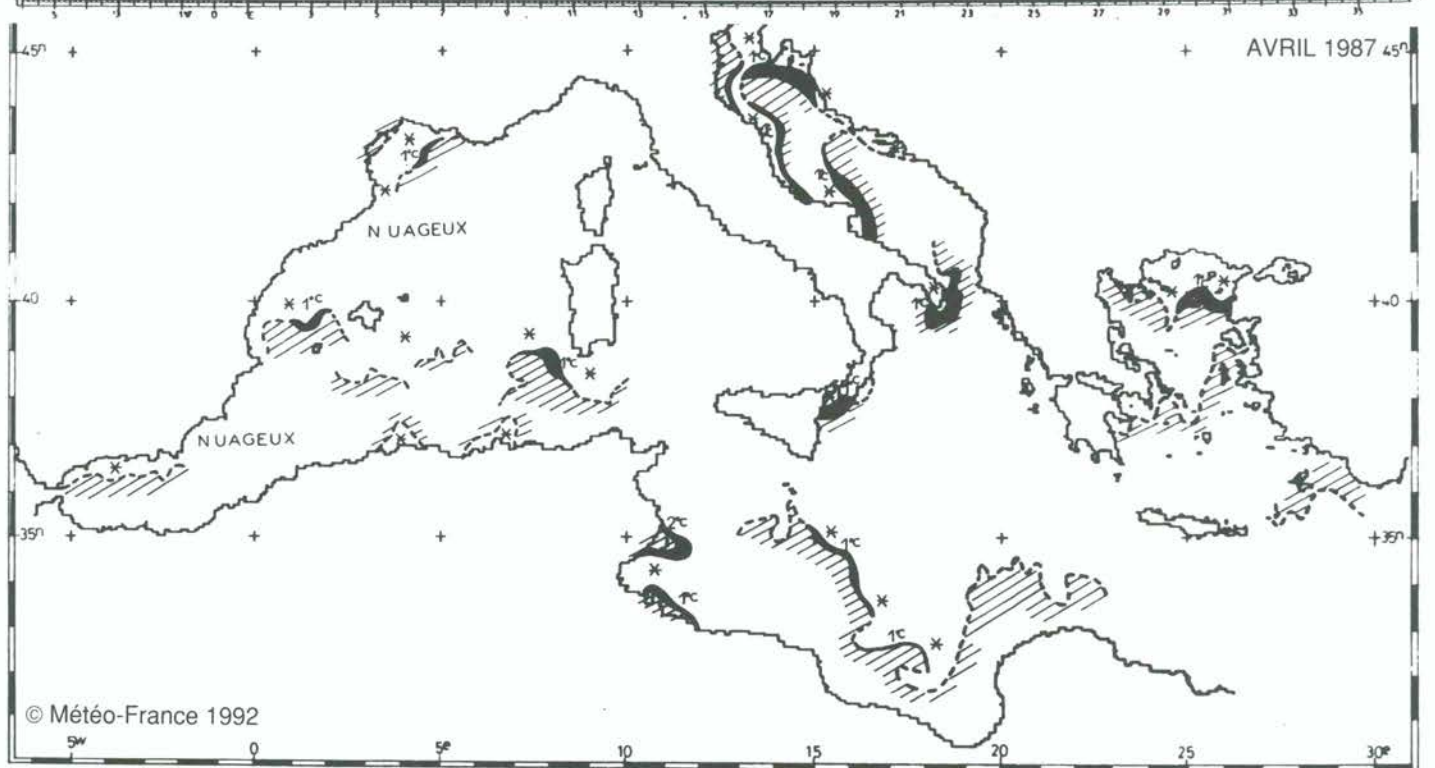
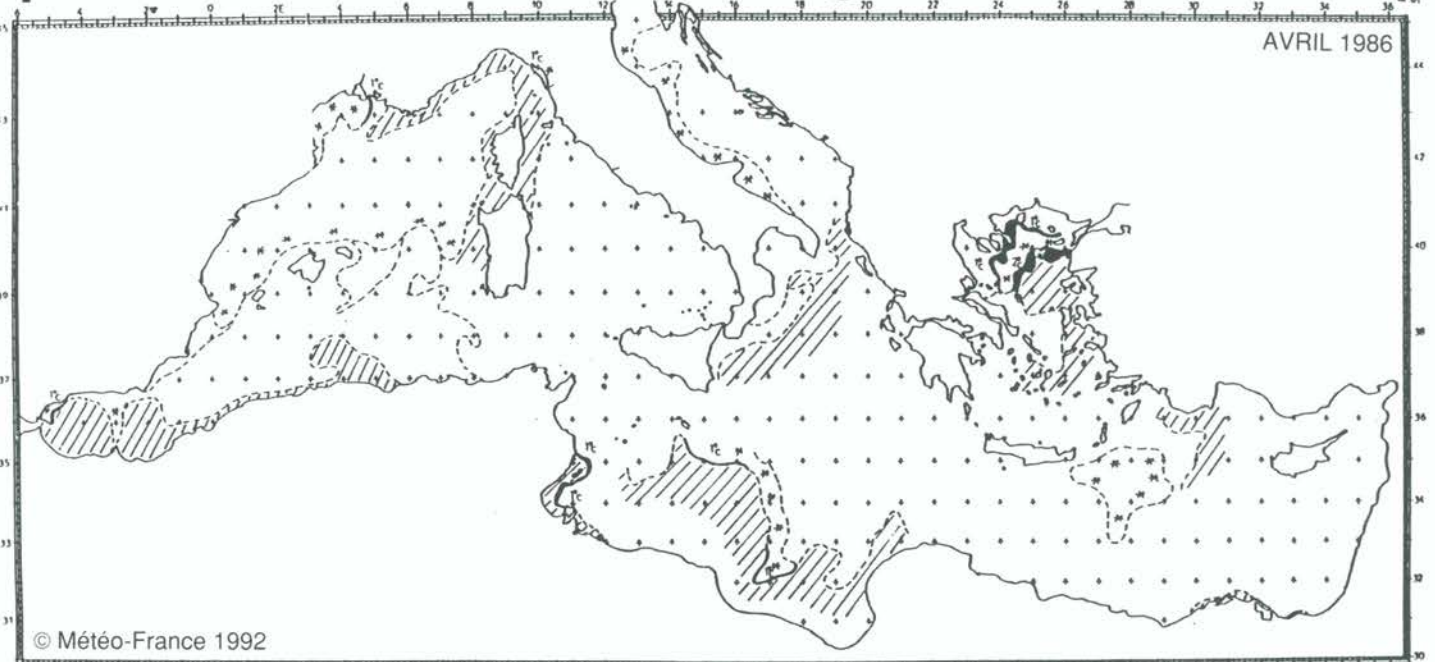
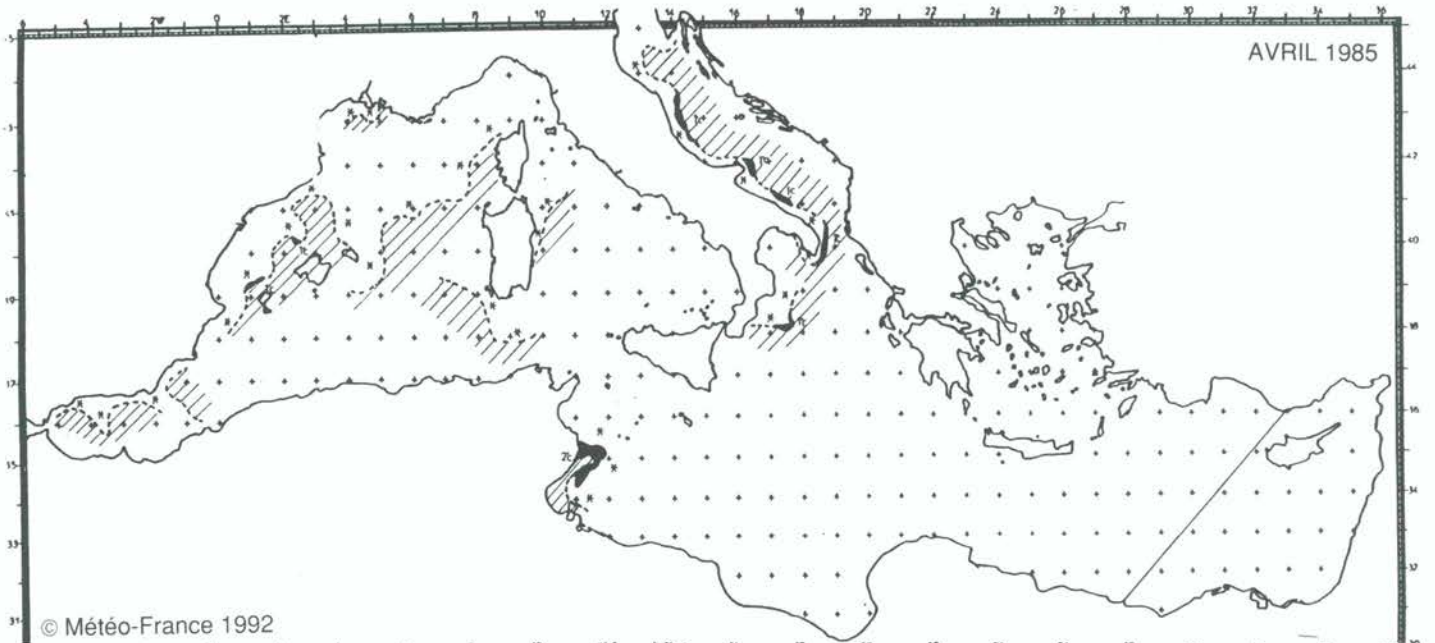


AVRIL

APRIL

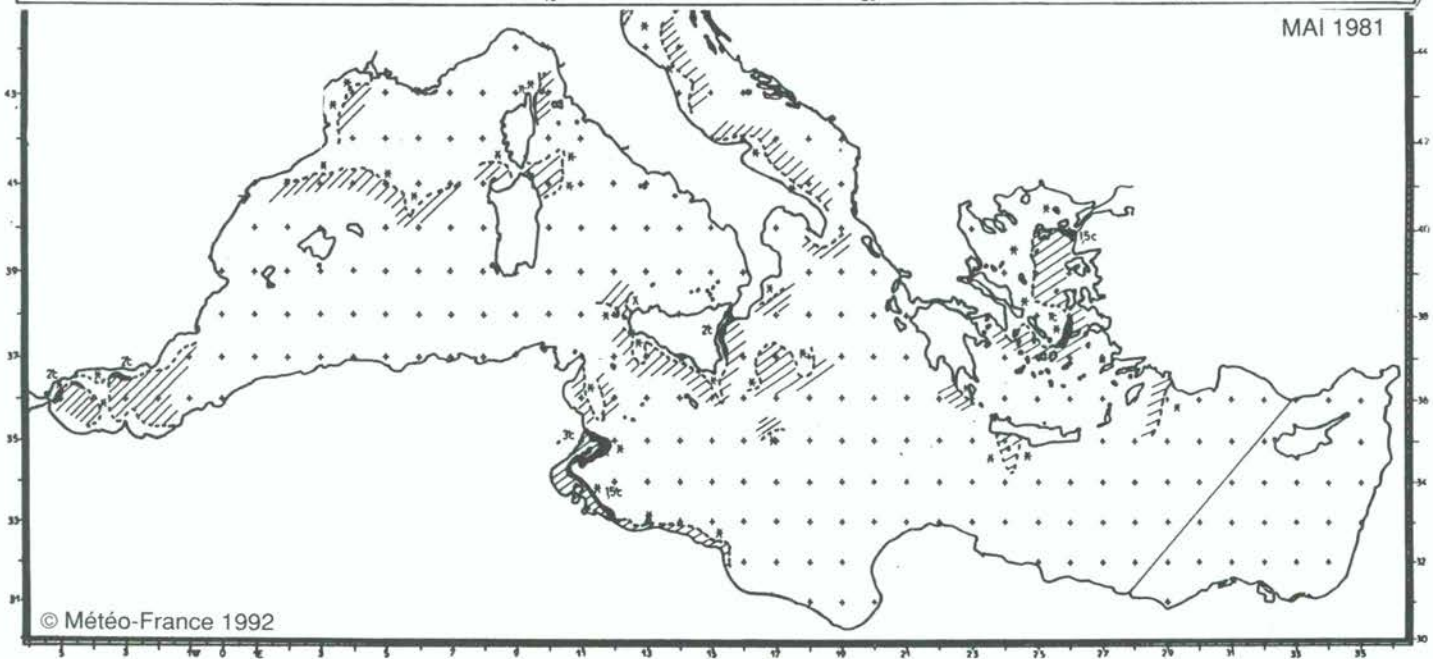
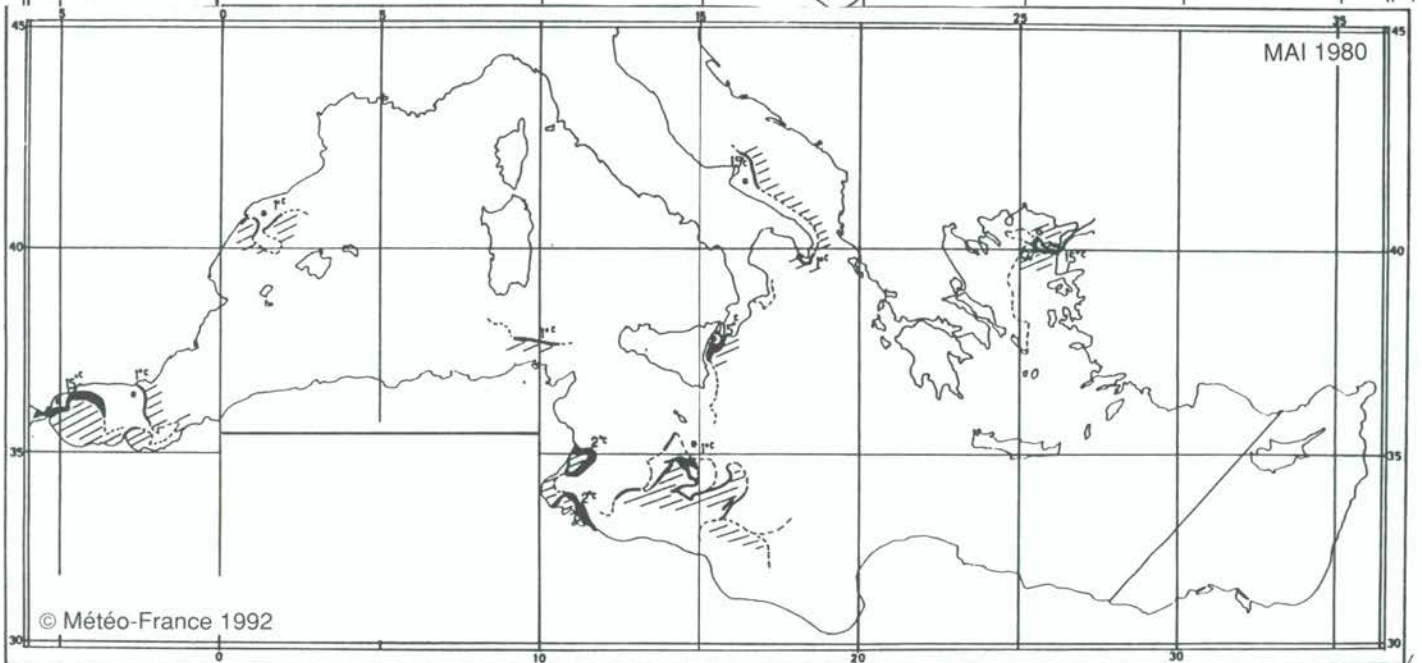
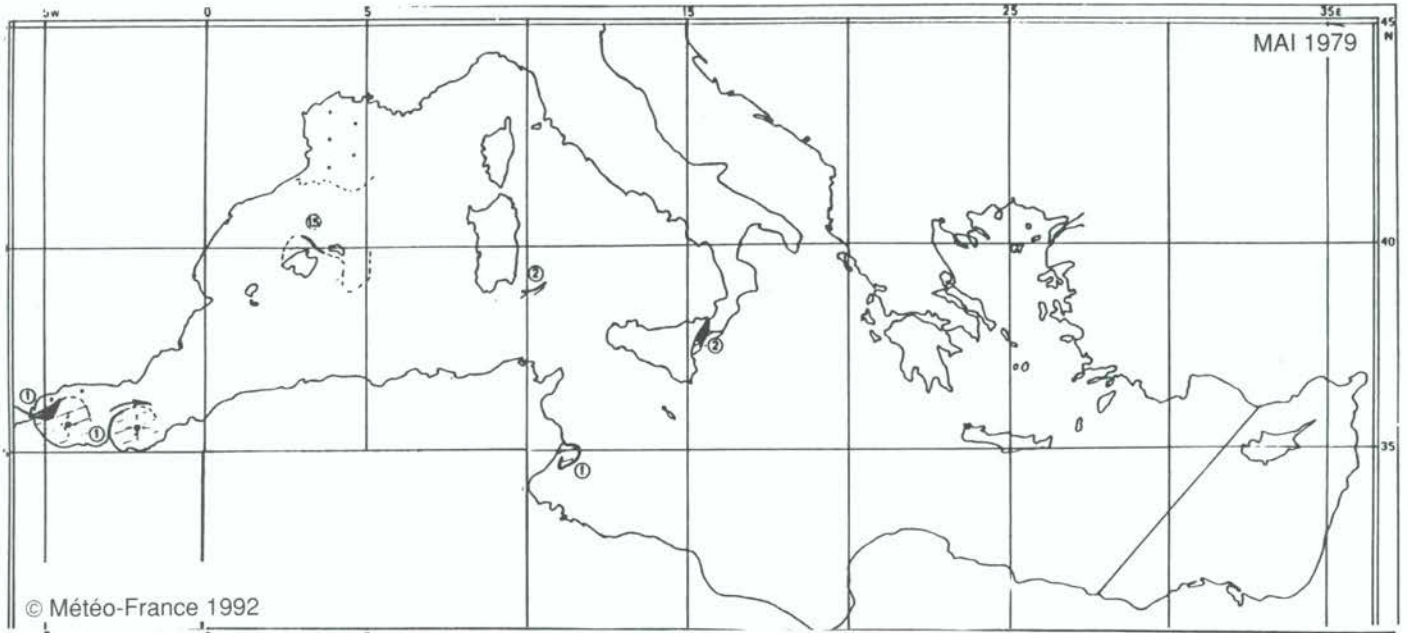


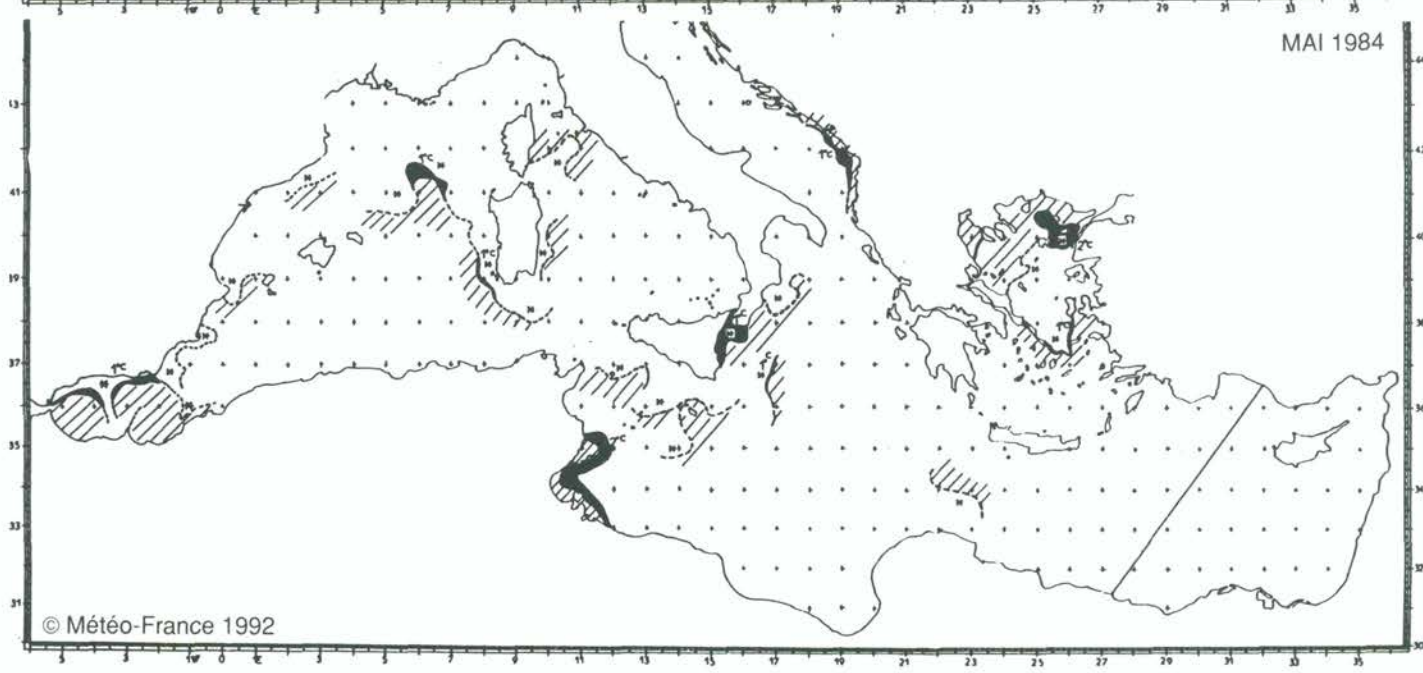
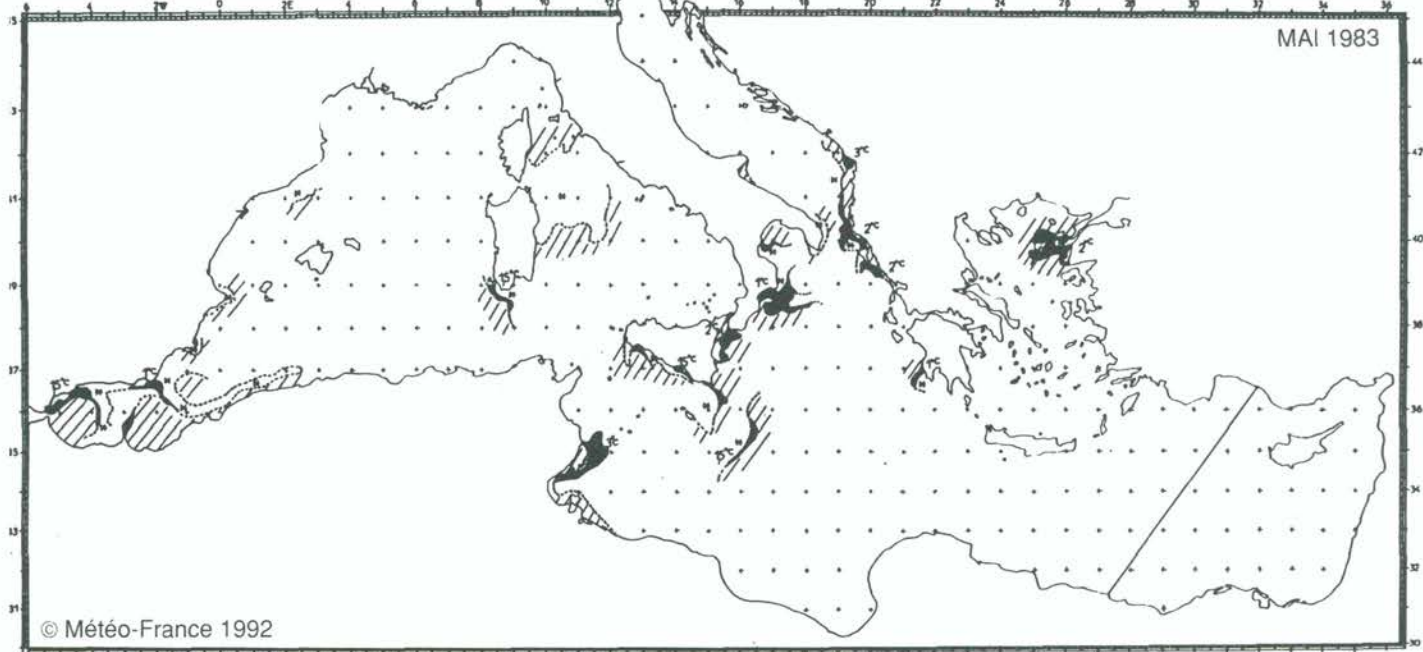
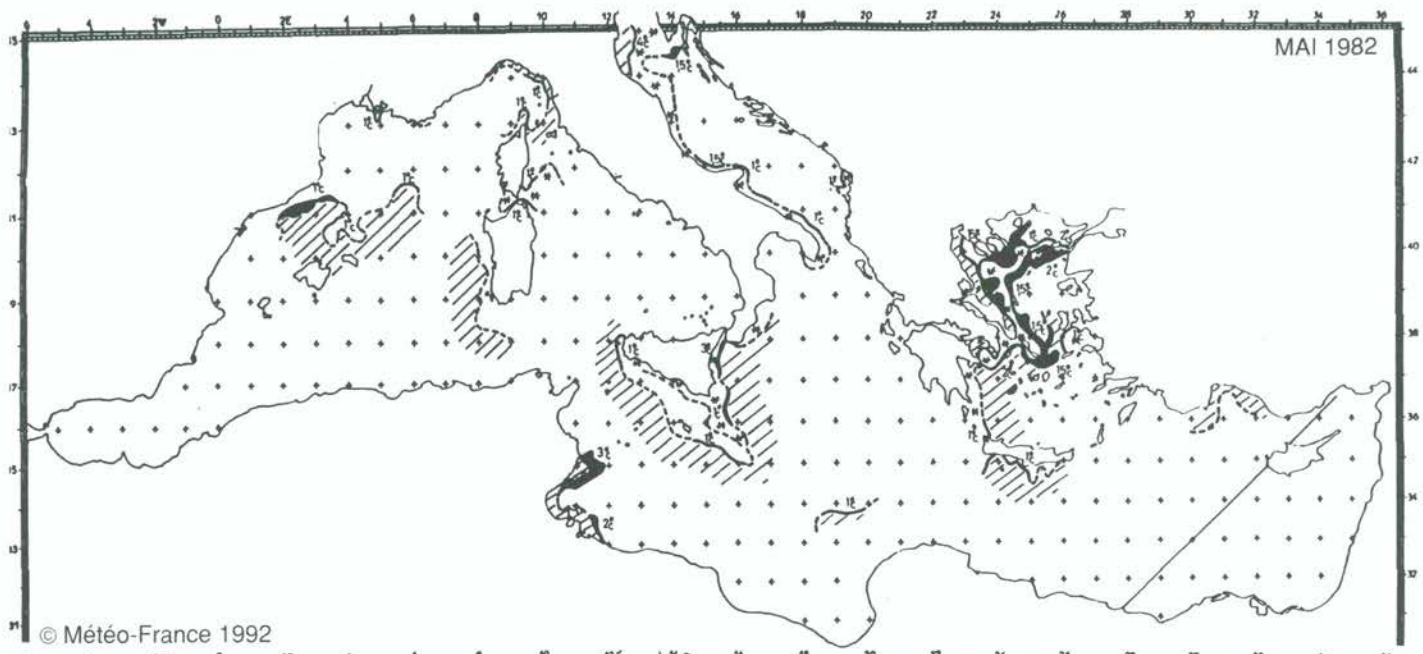


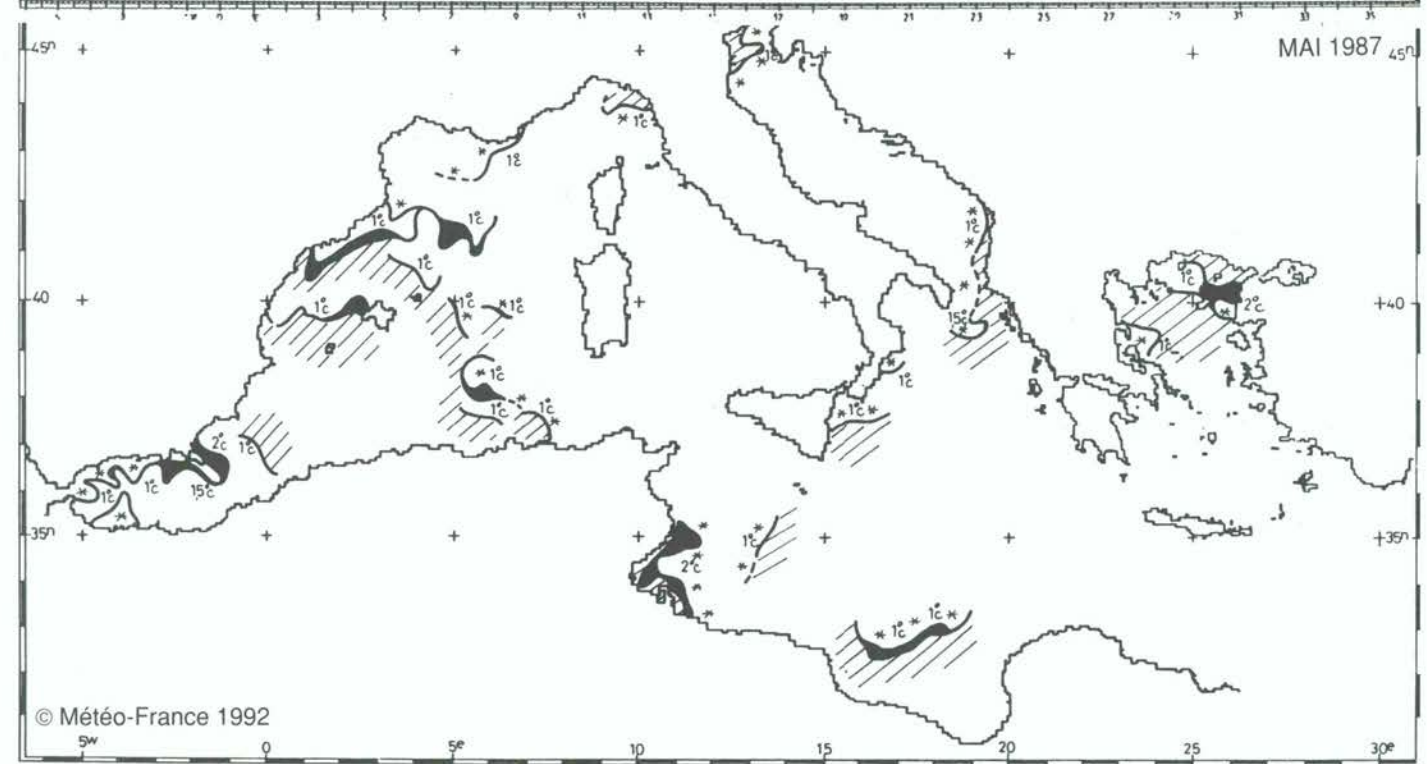
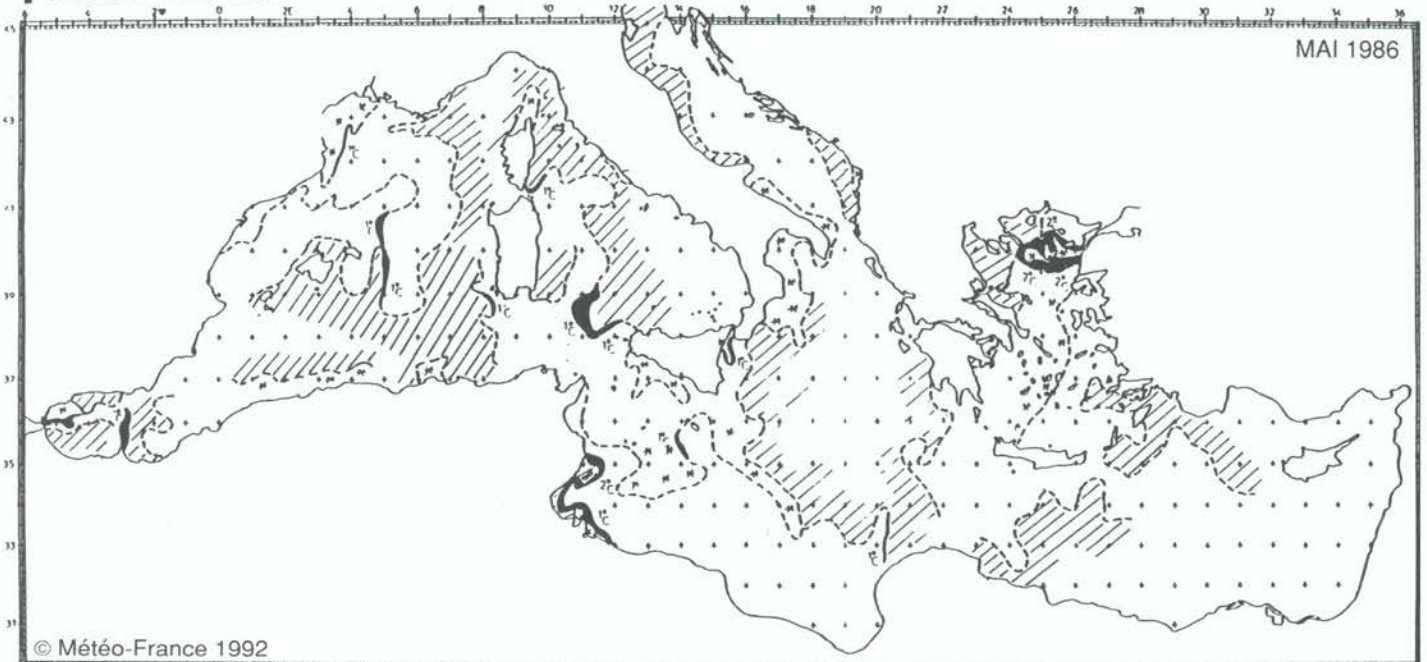
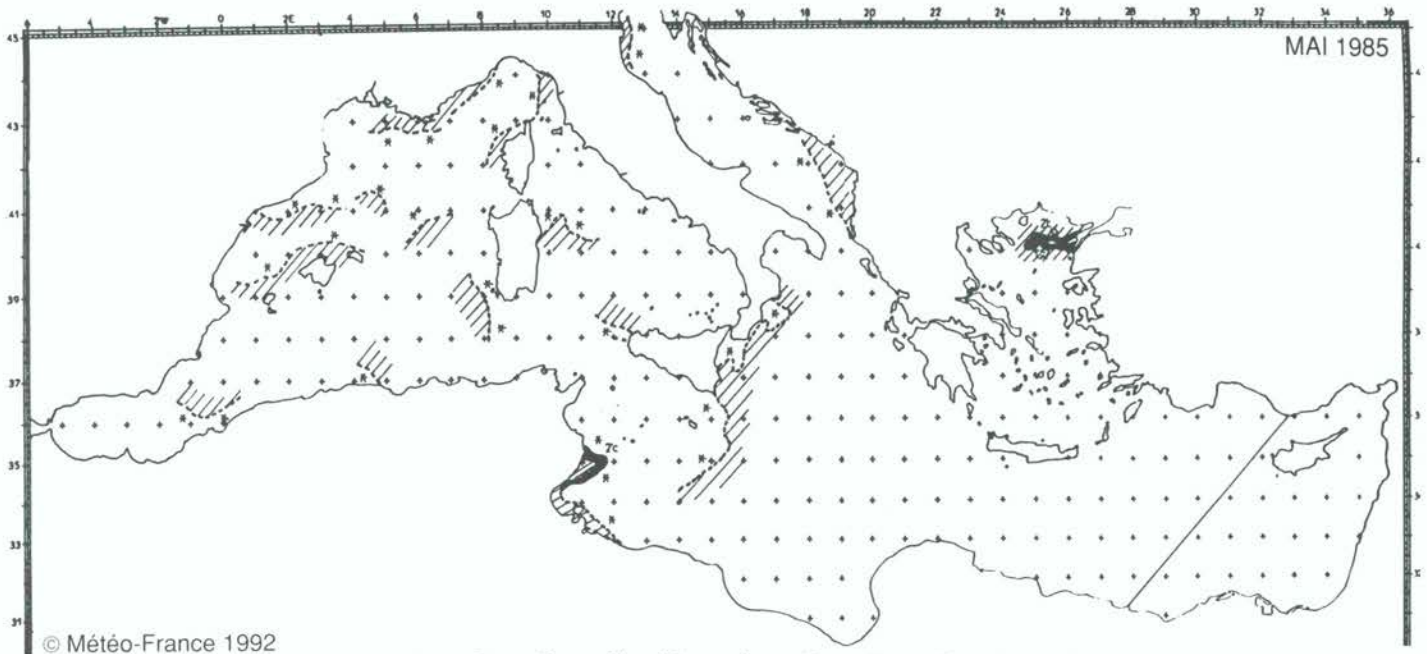


MAI

MAY

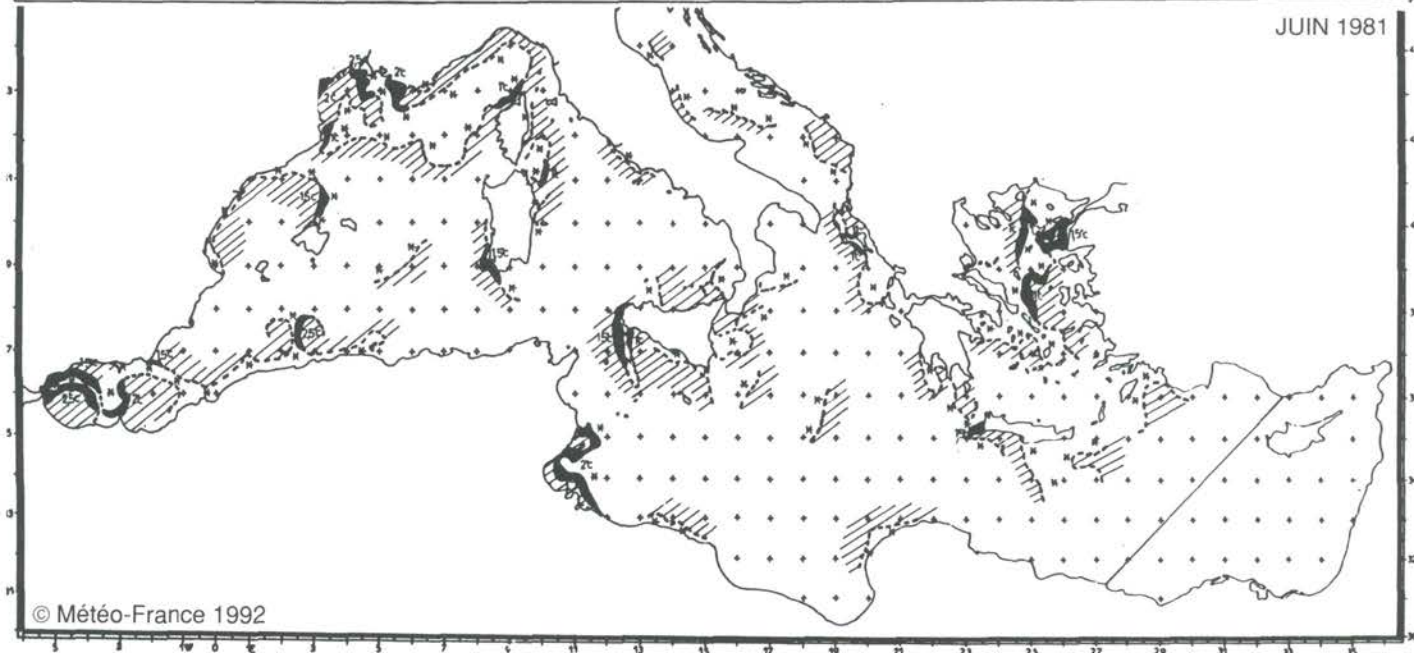
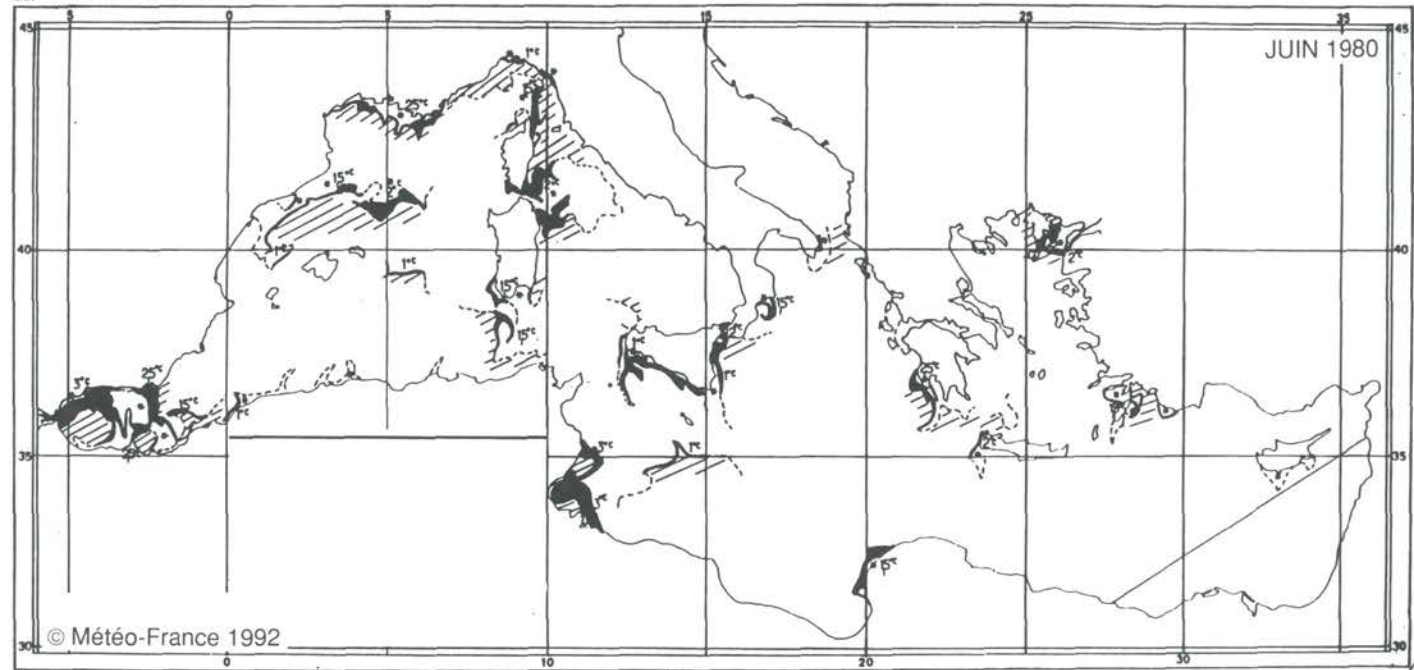
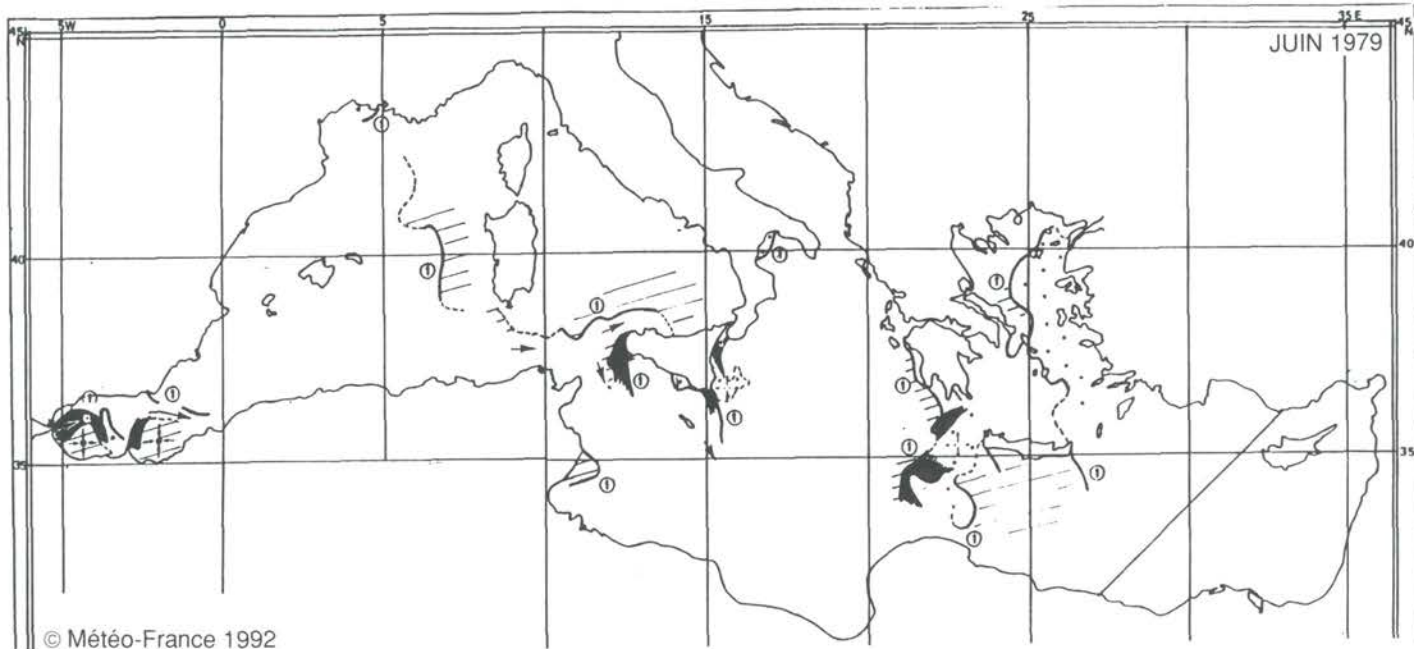


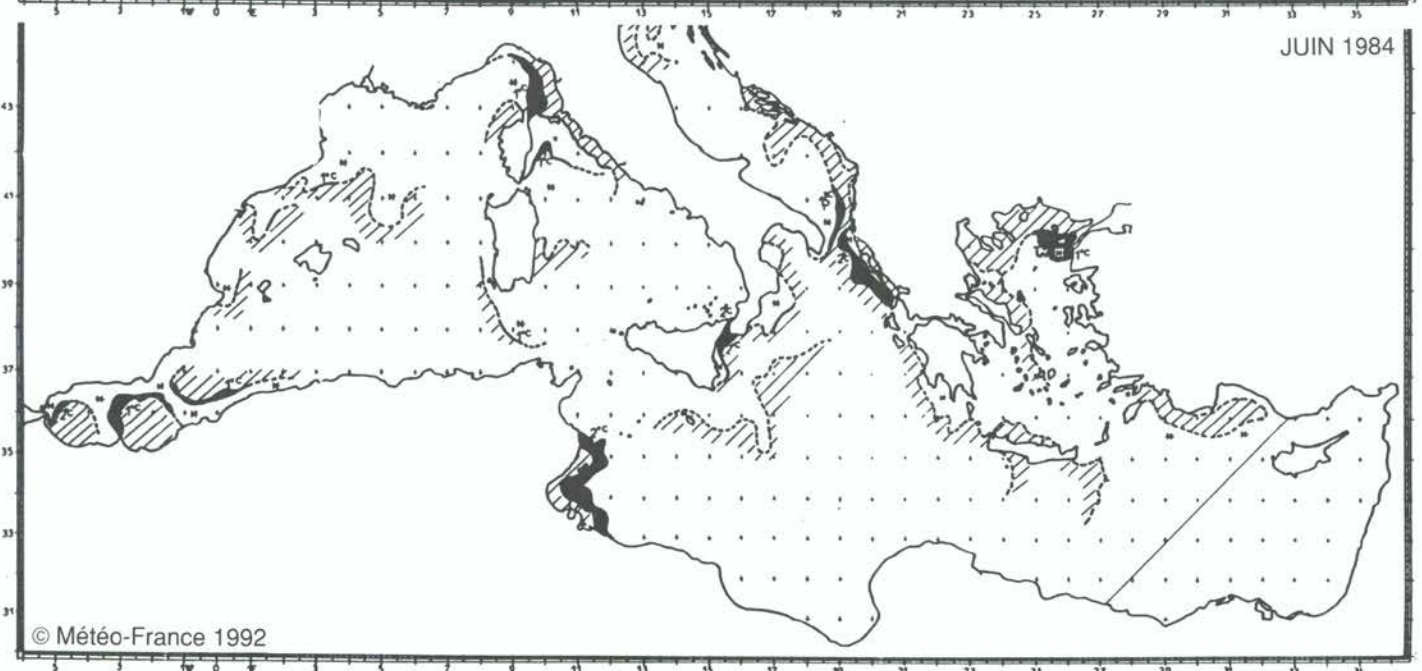
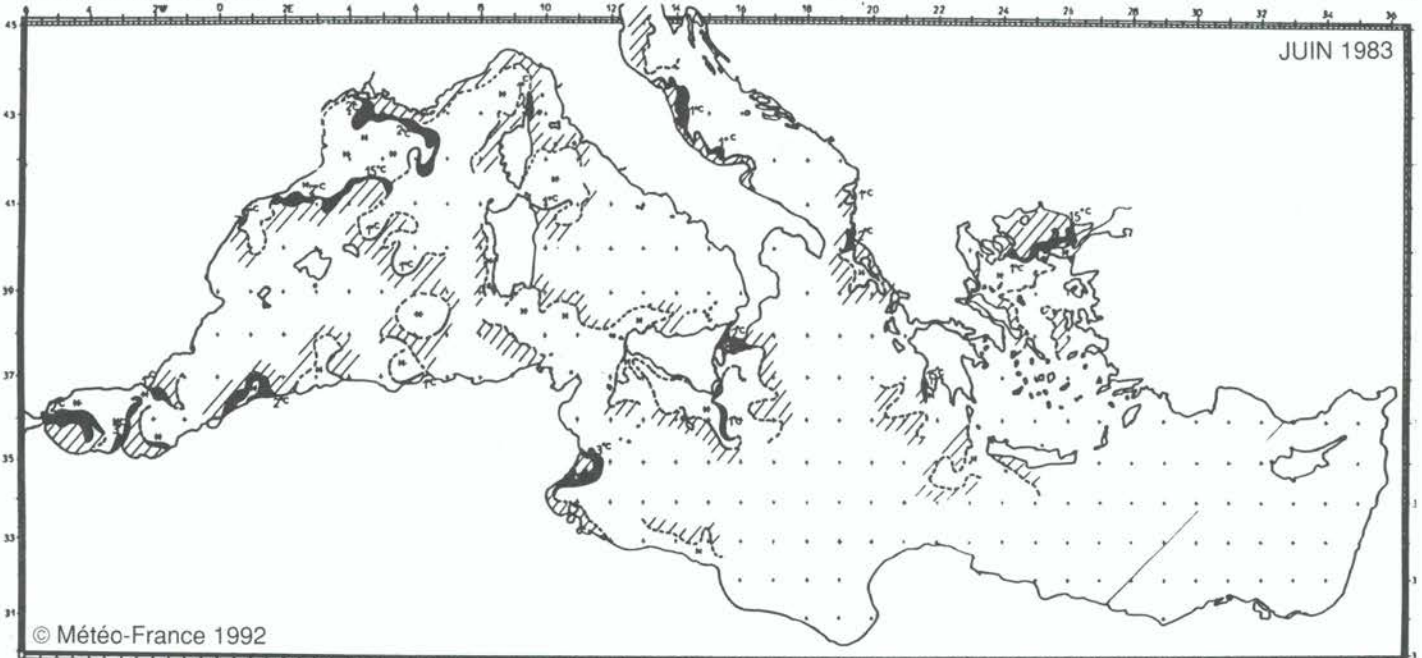
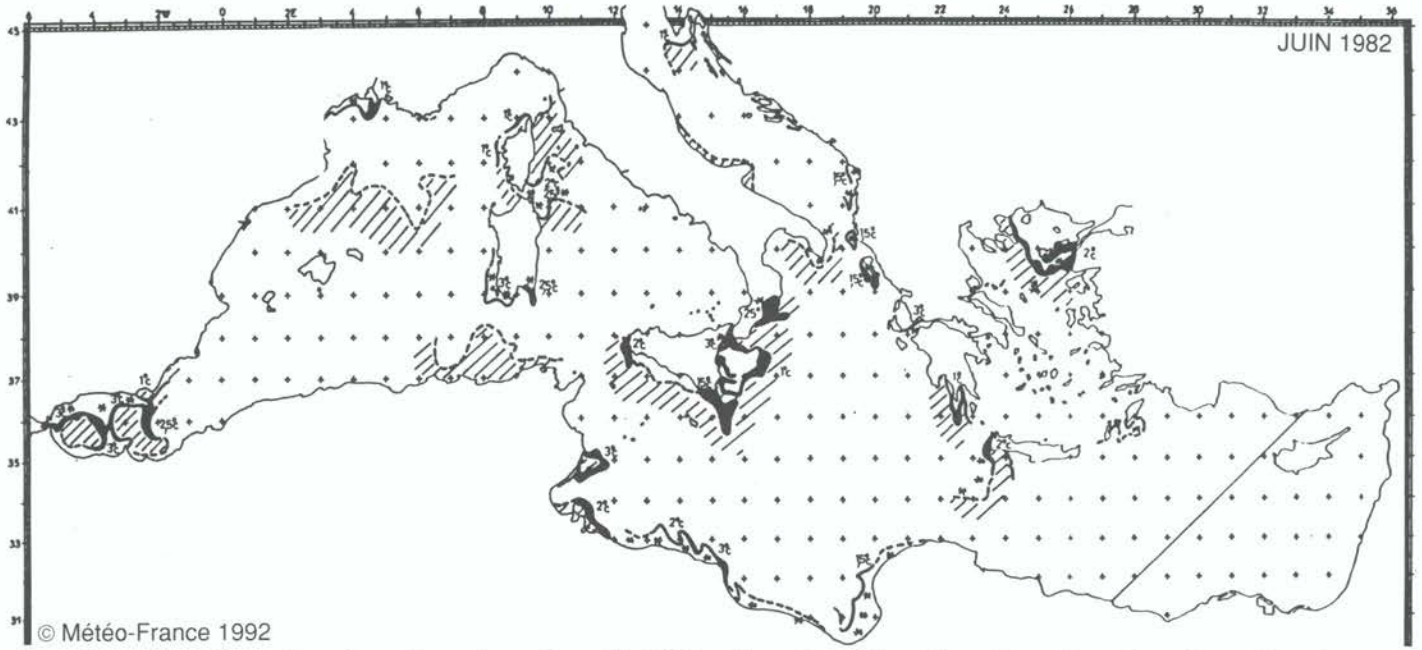


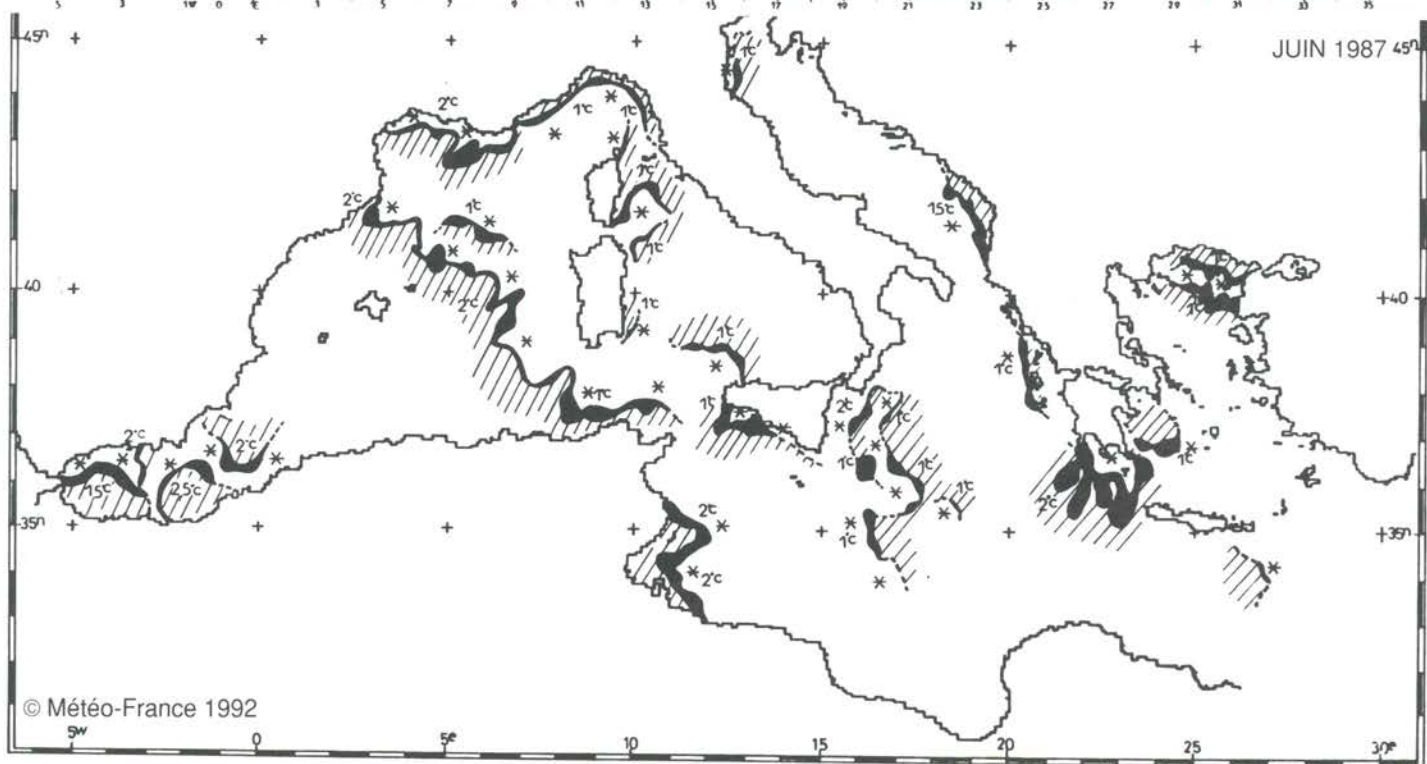
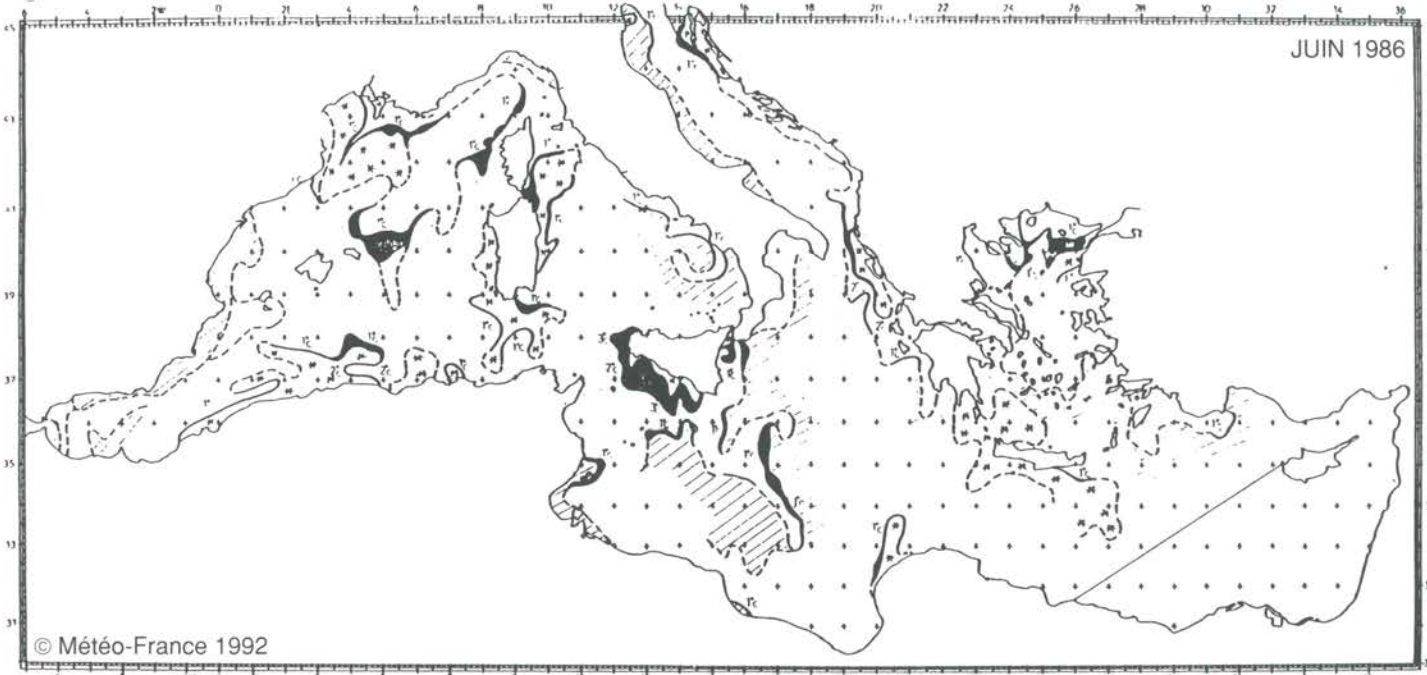
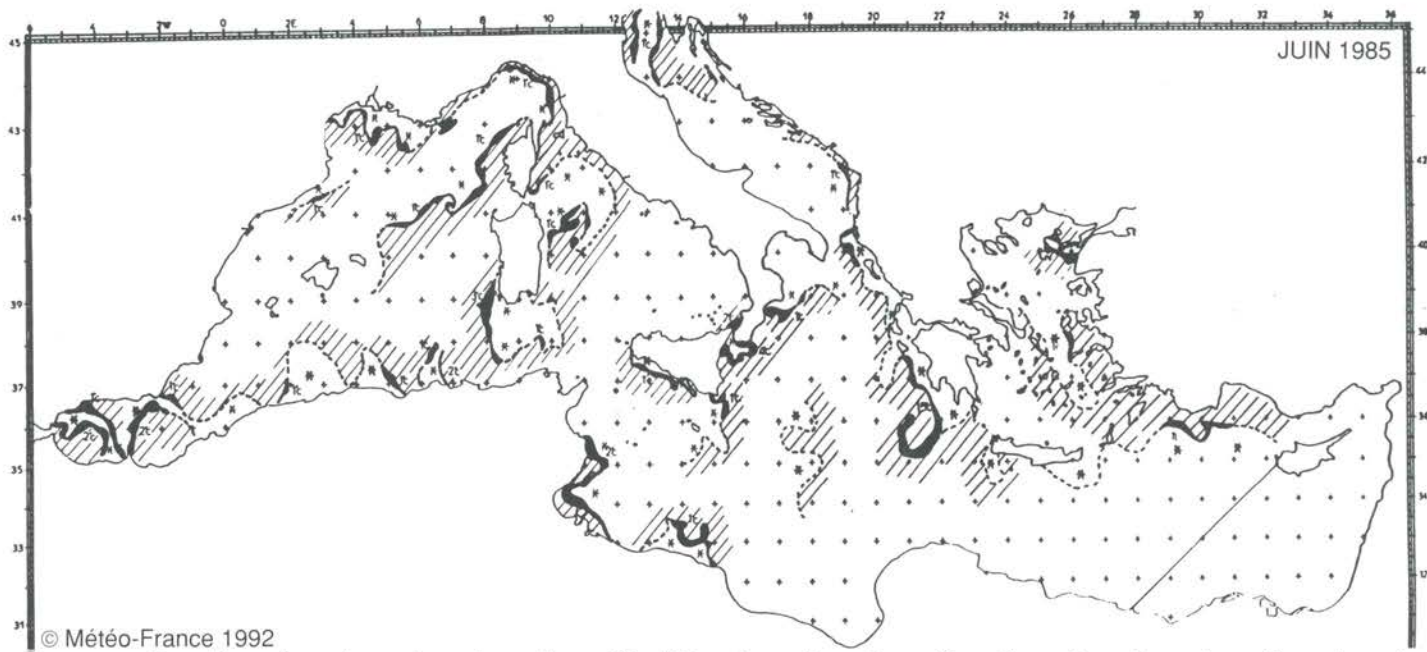


JUIN

JUNE

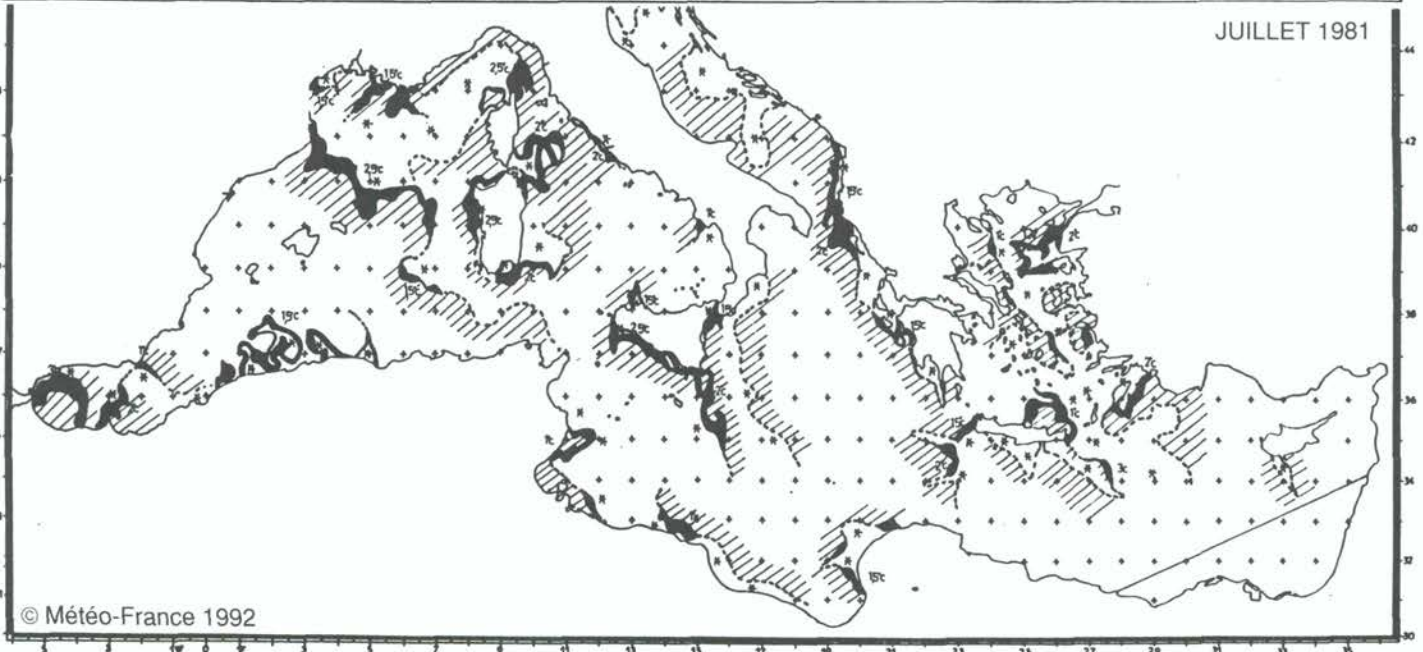
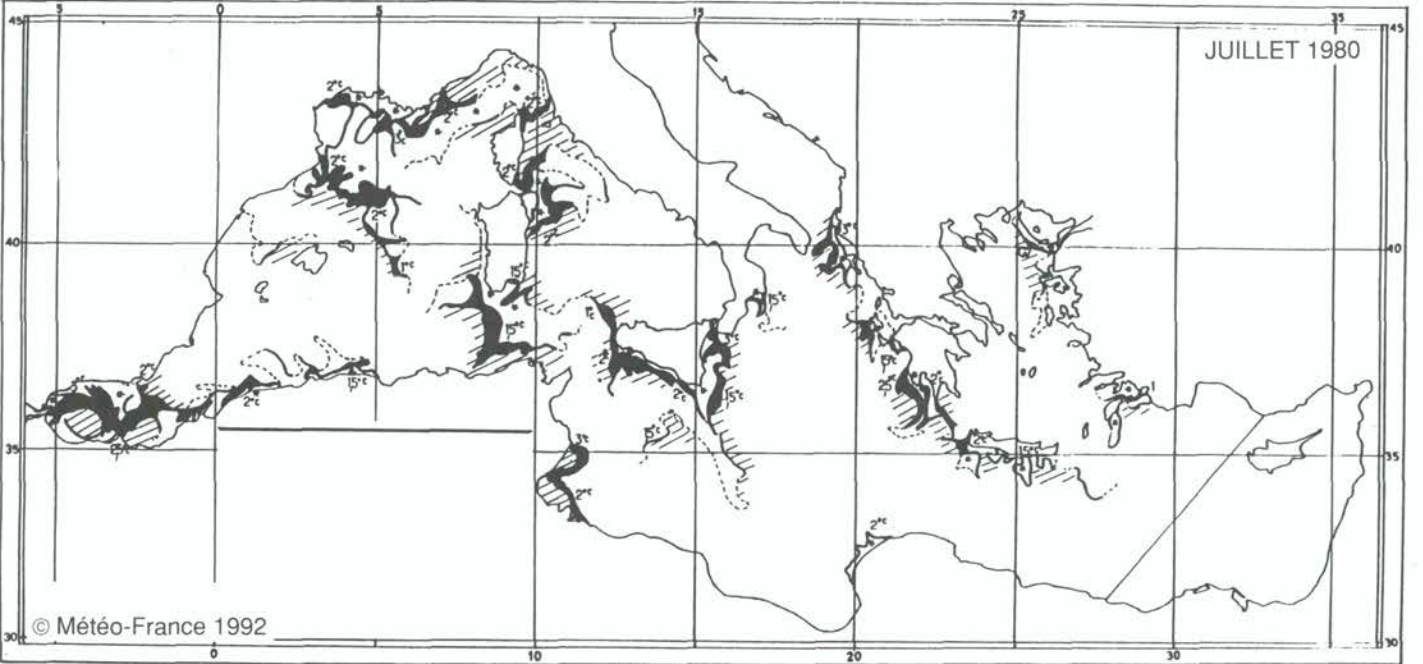
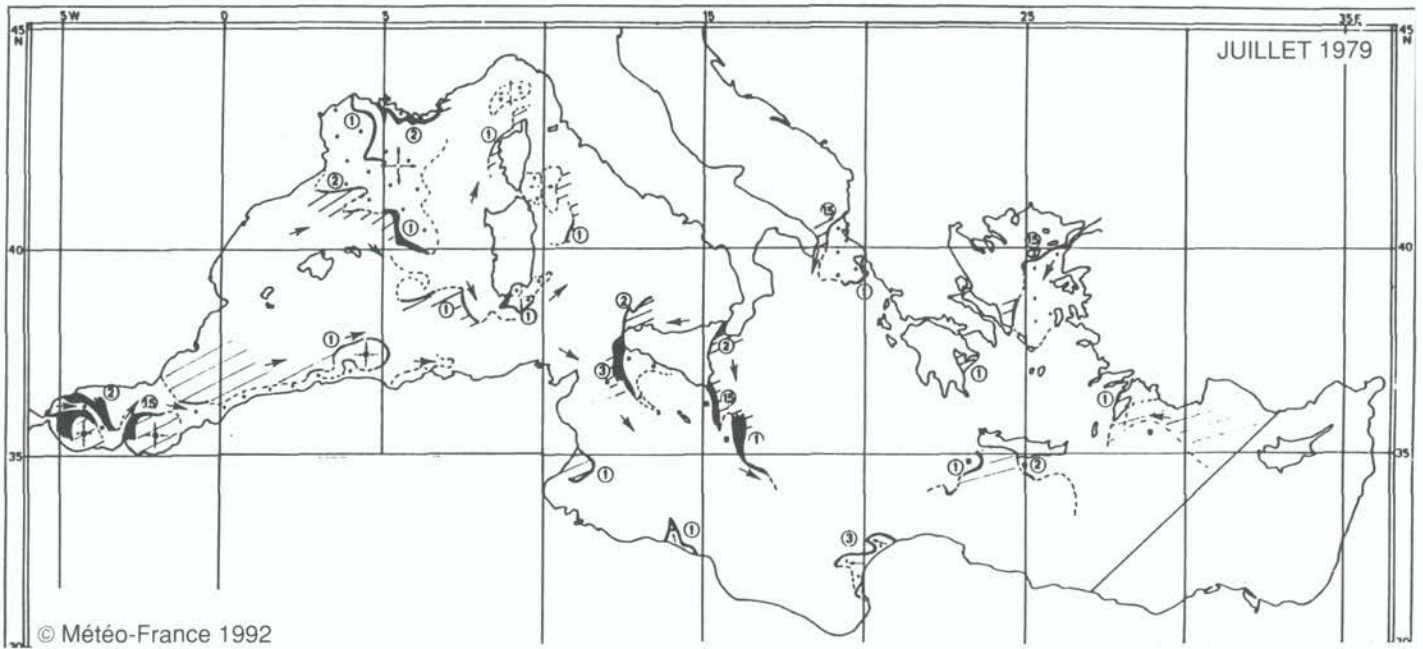


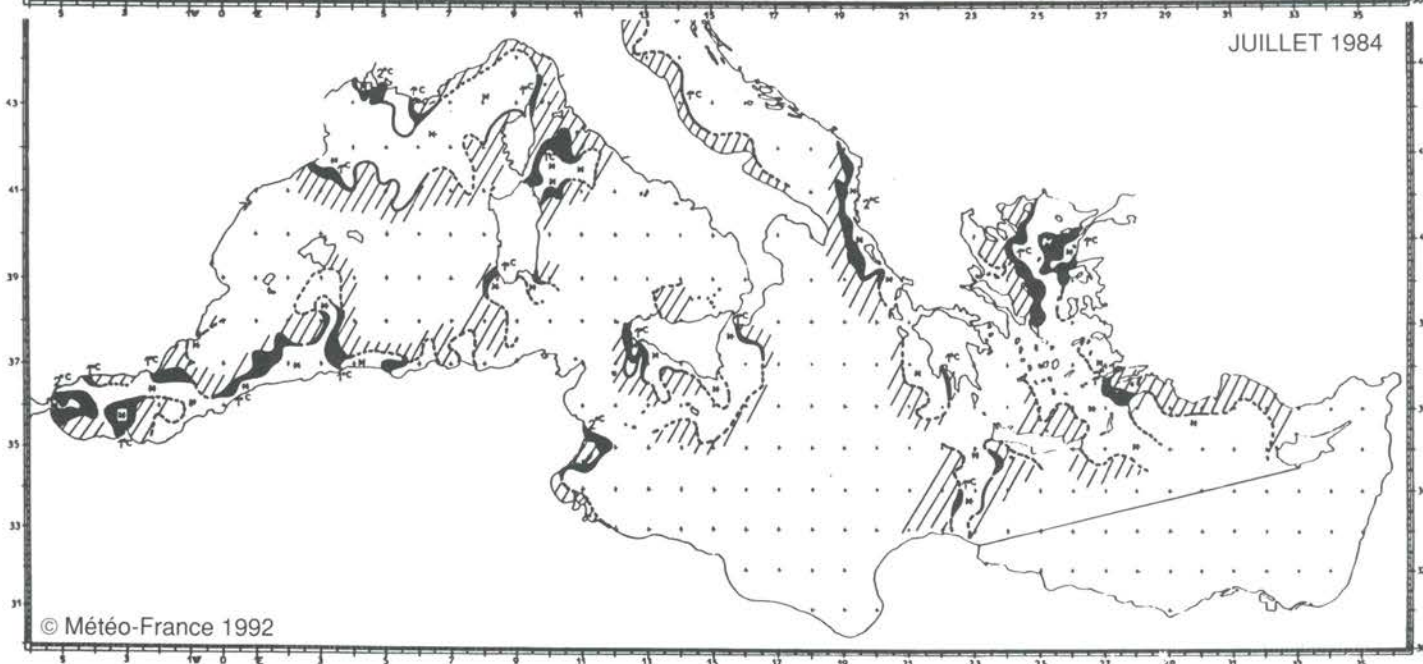
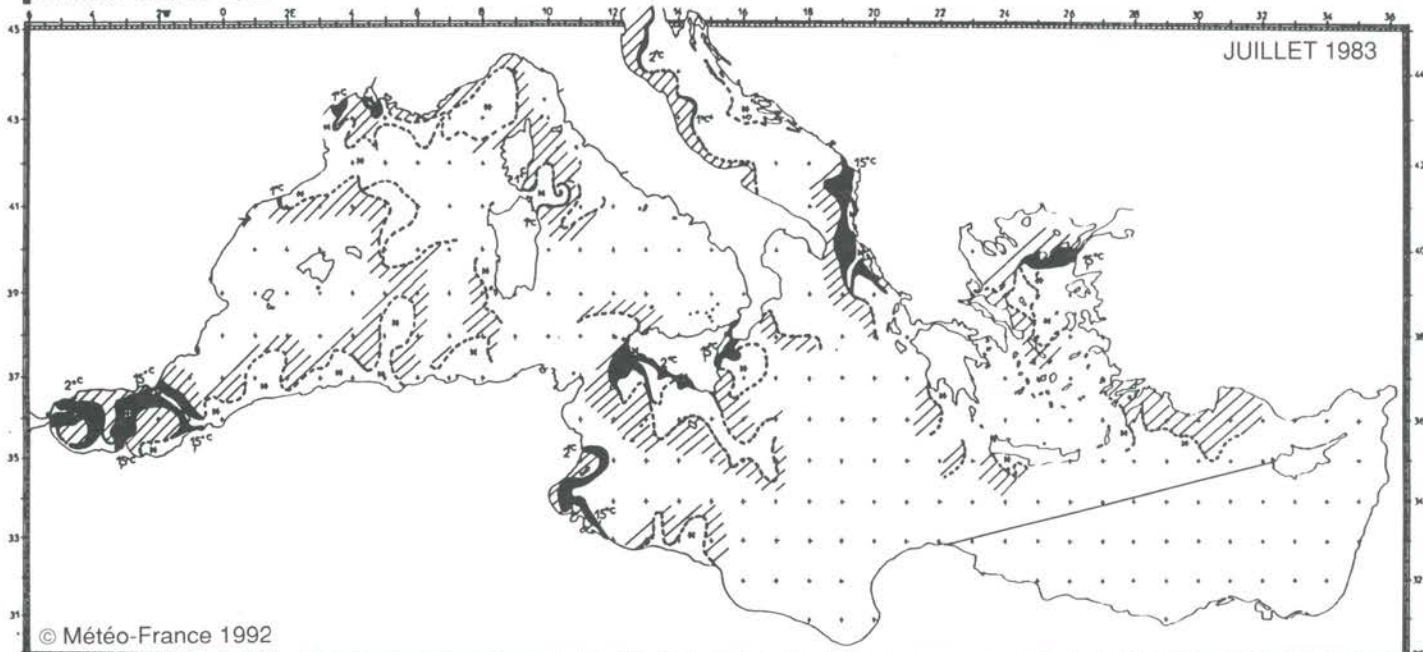
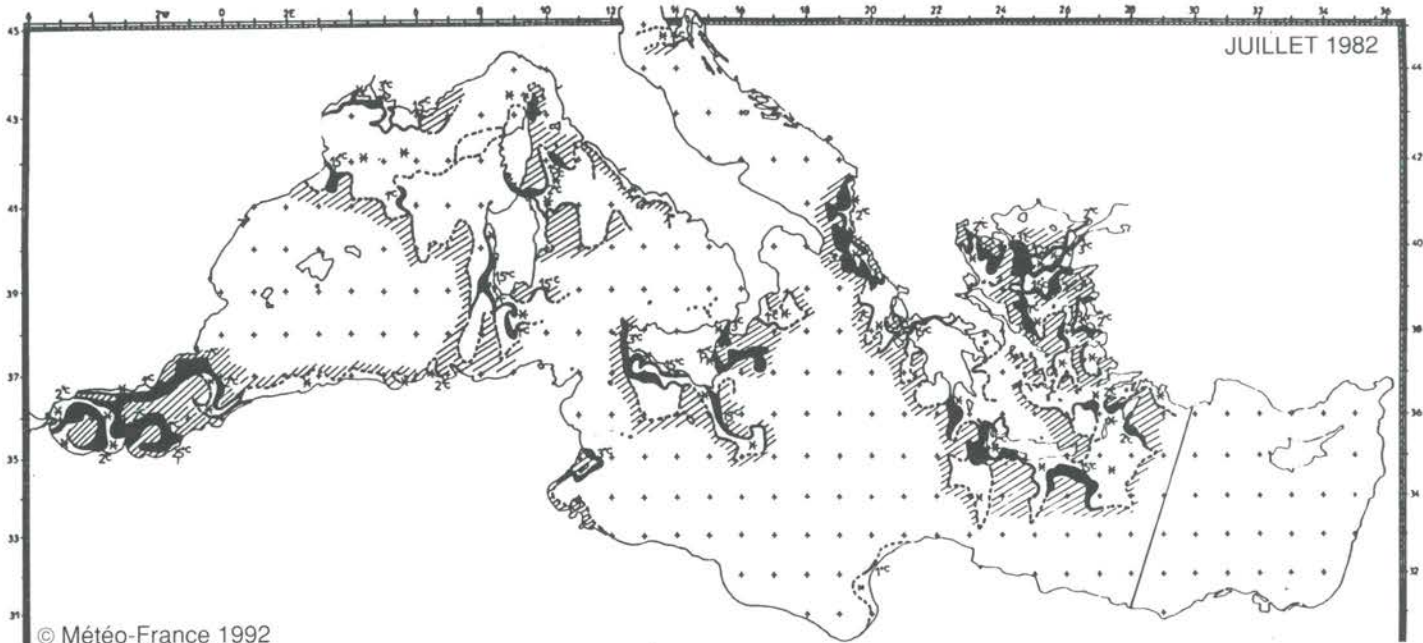


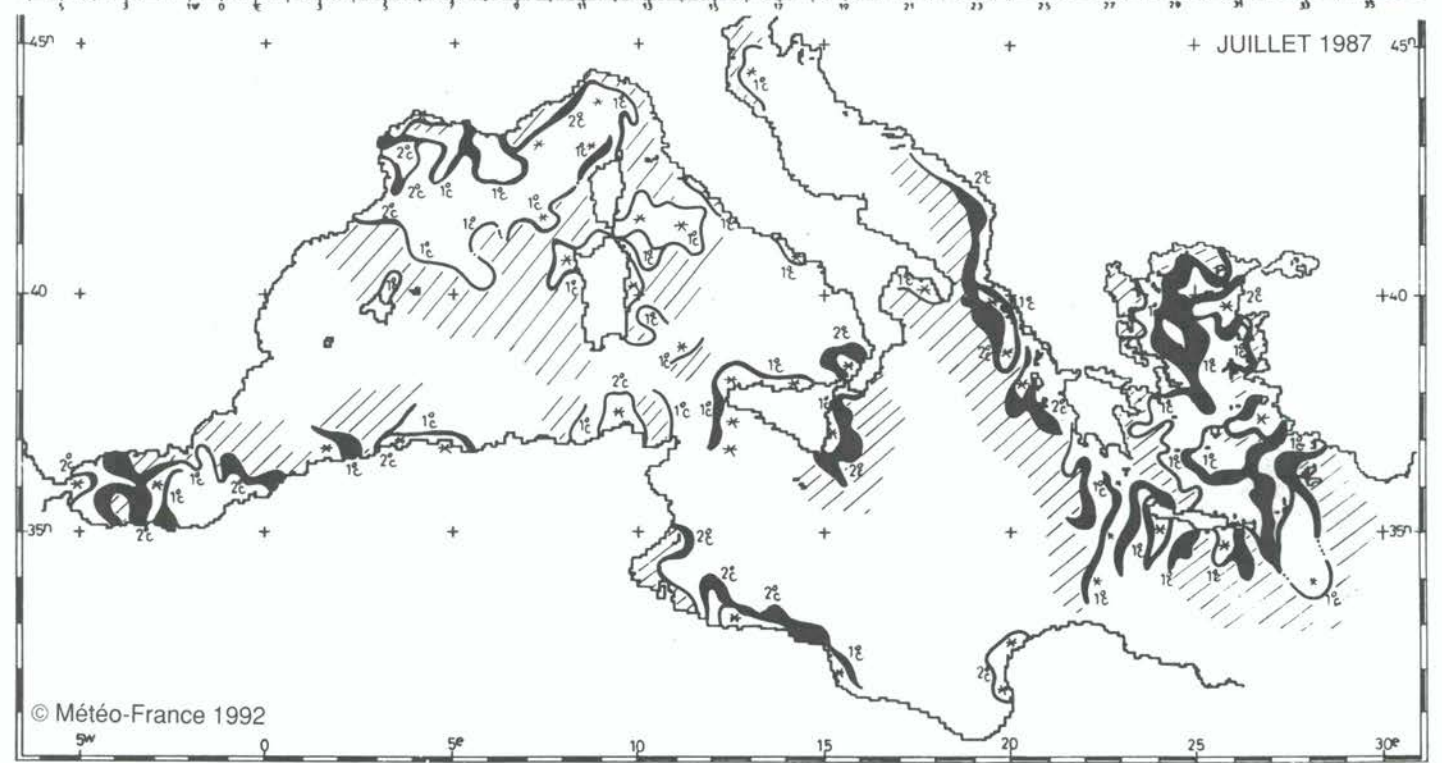
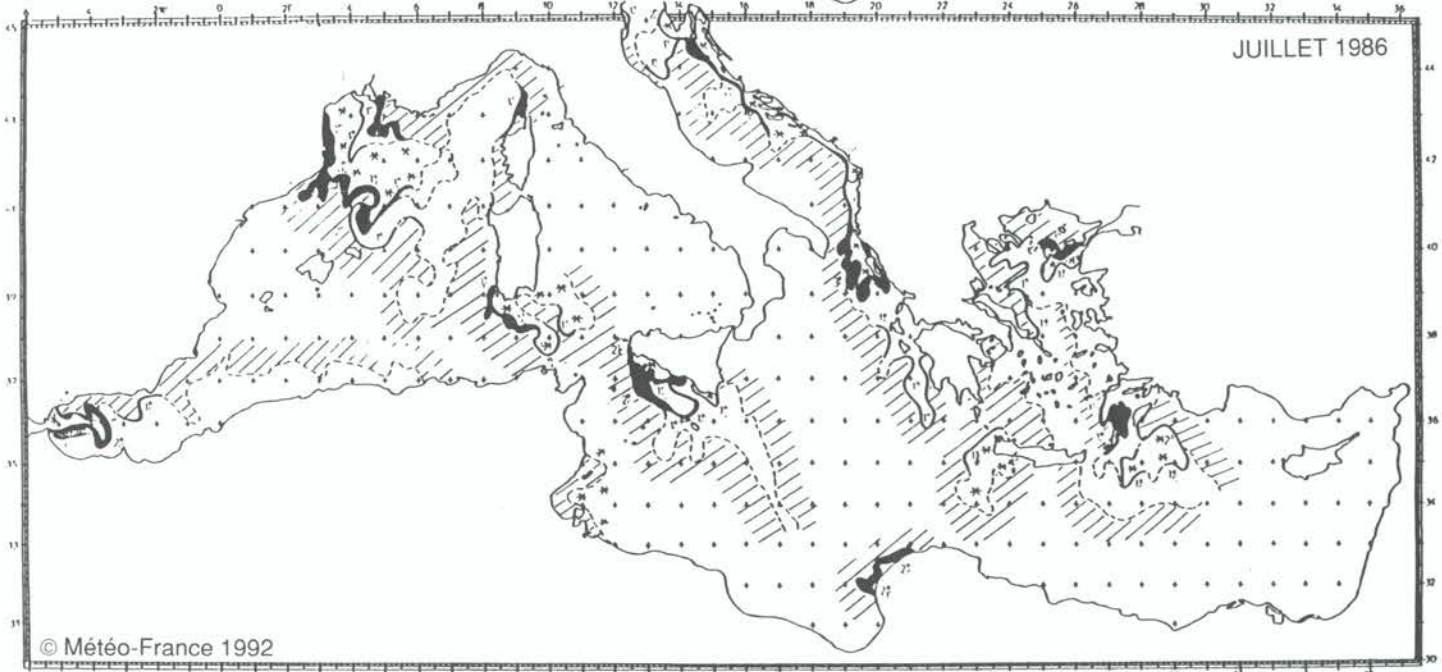
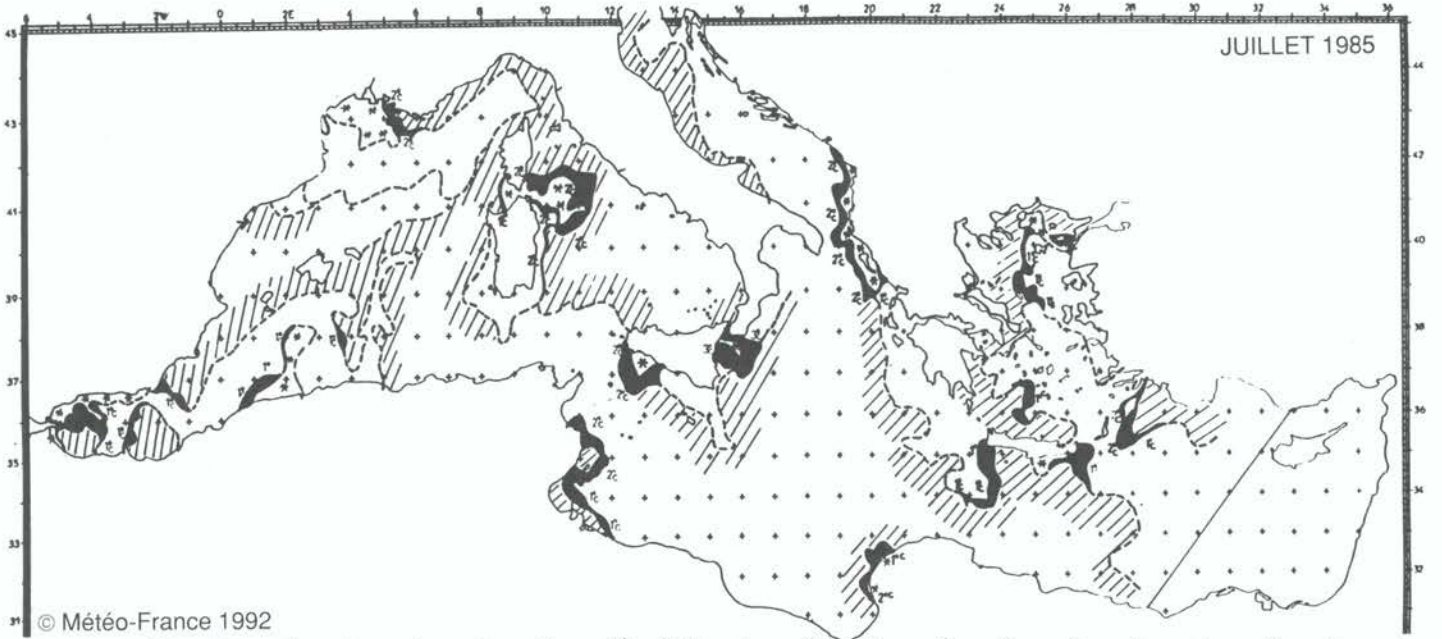


JUILLET

JULY

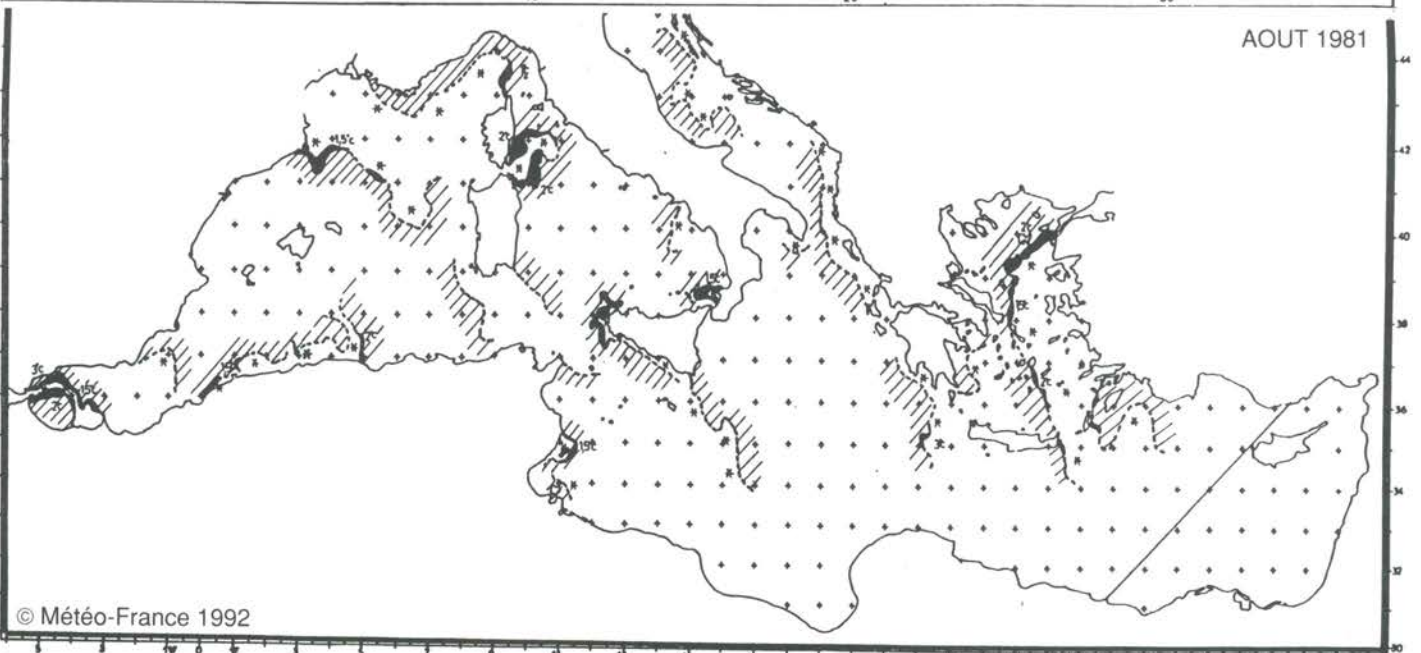
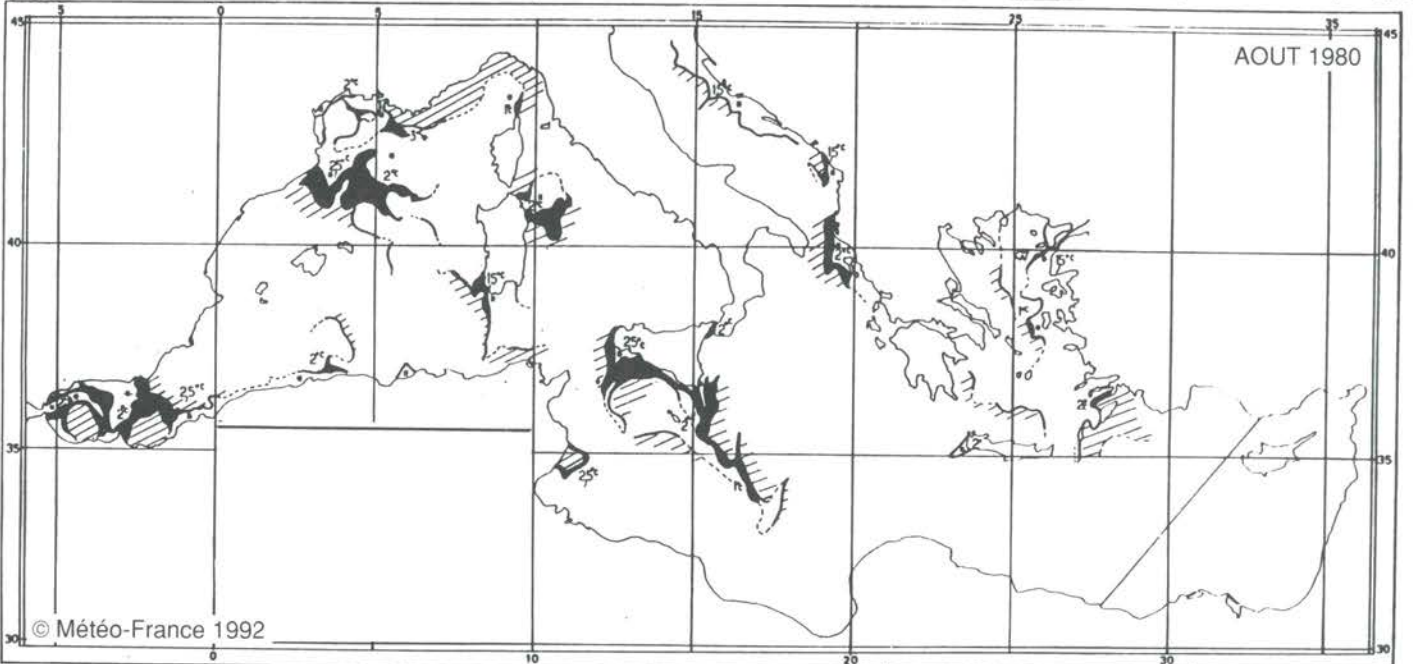
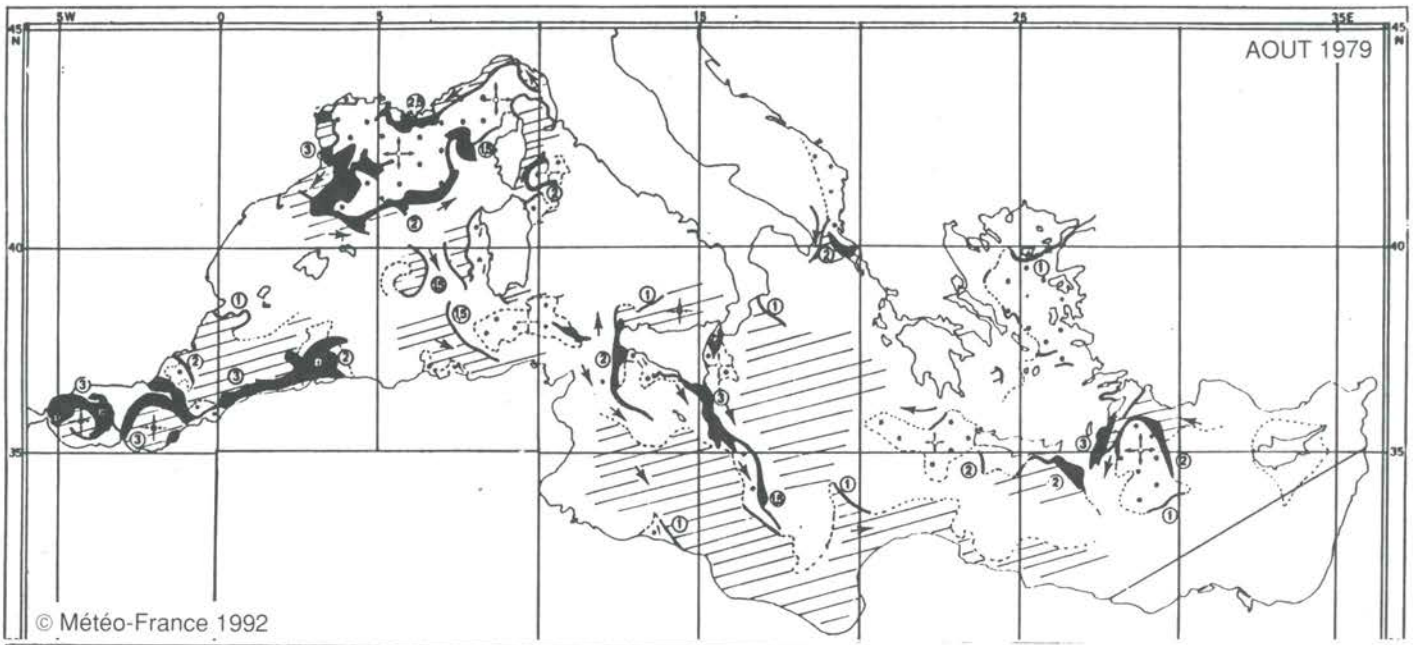


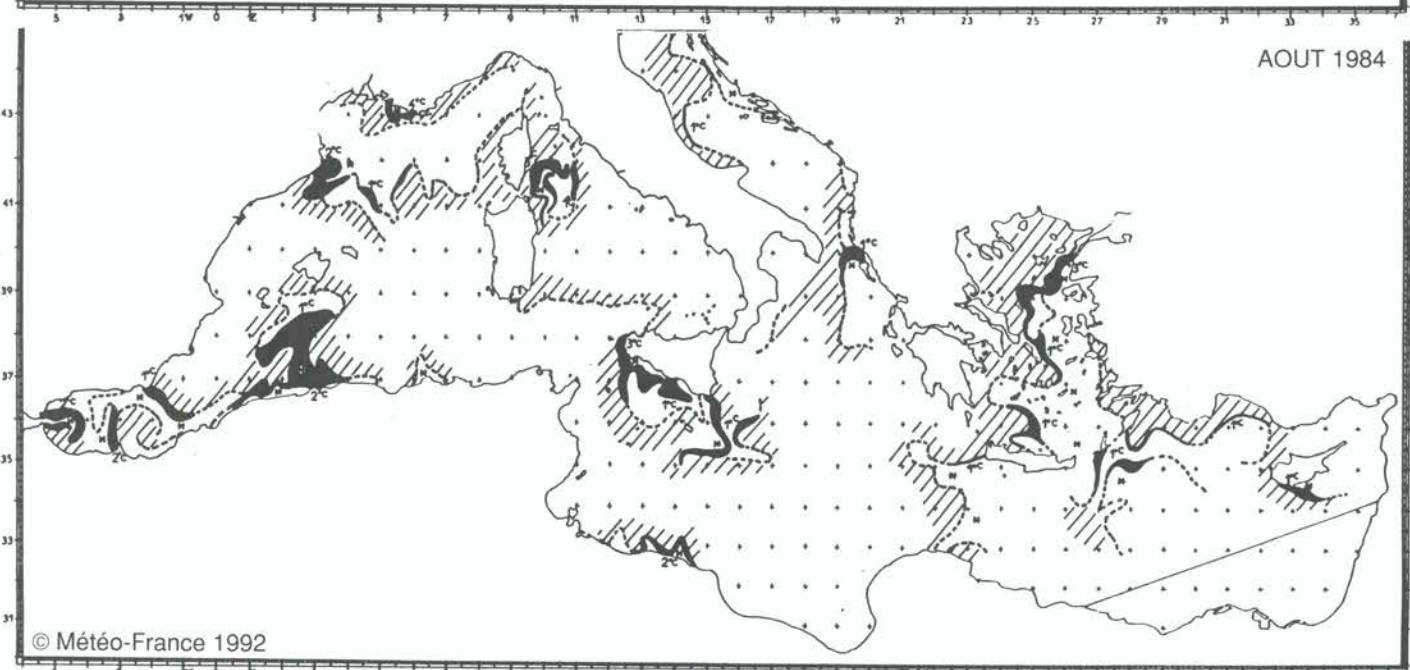
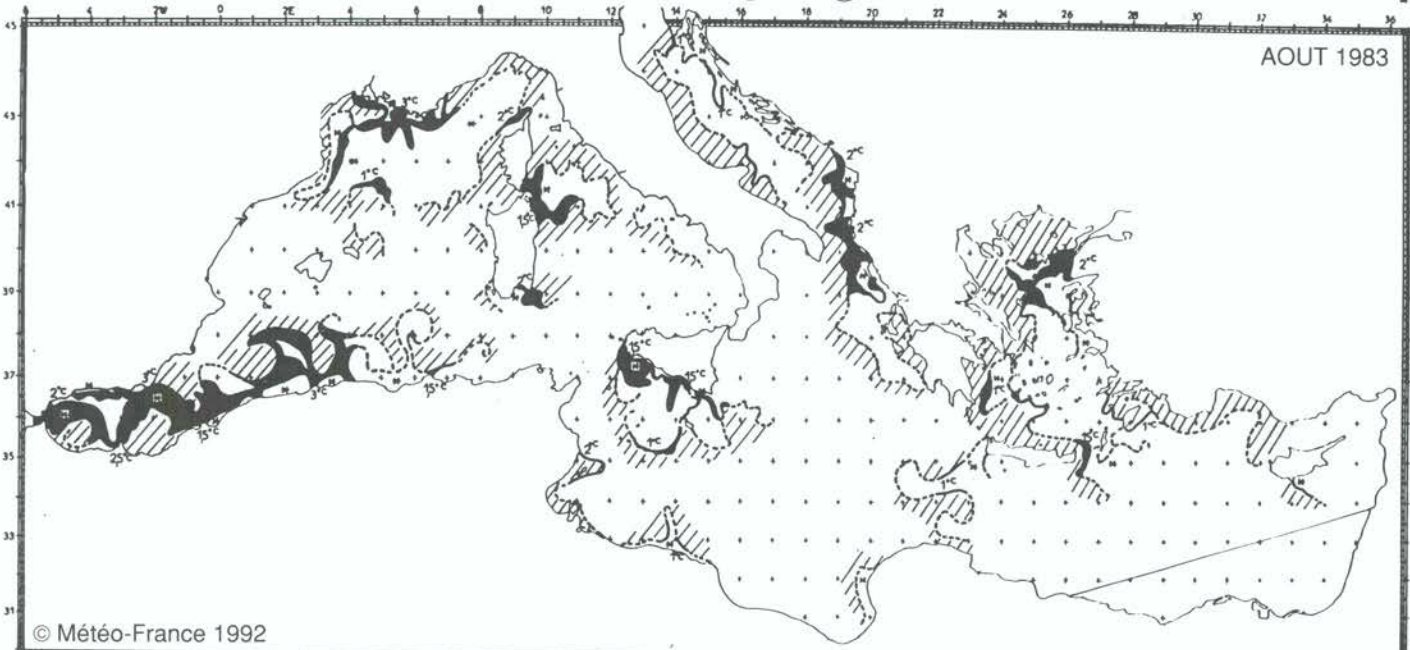
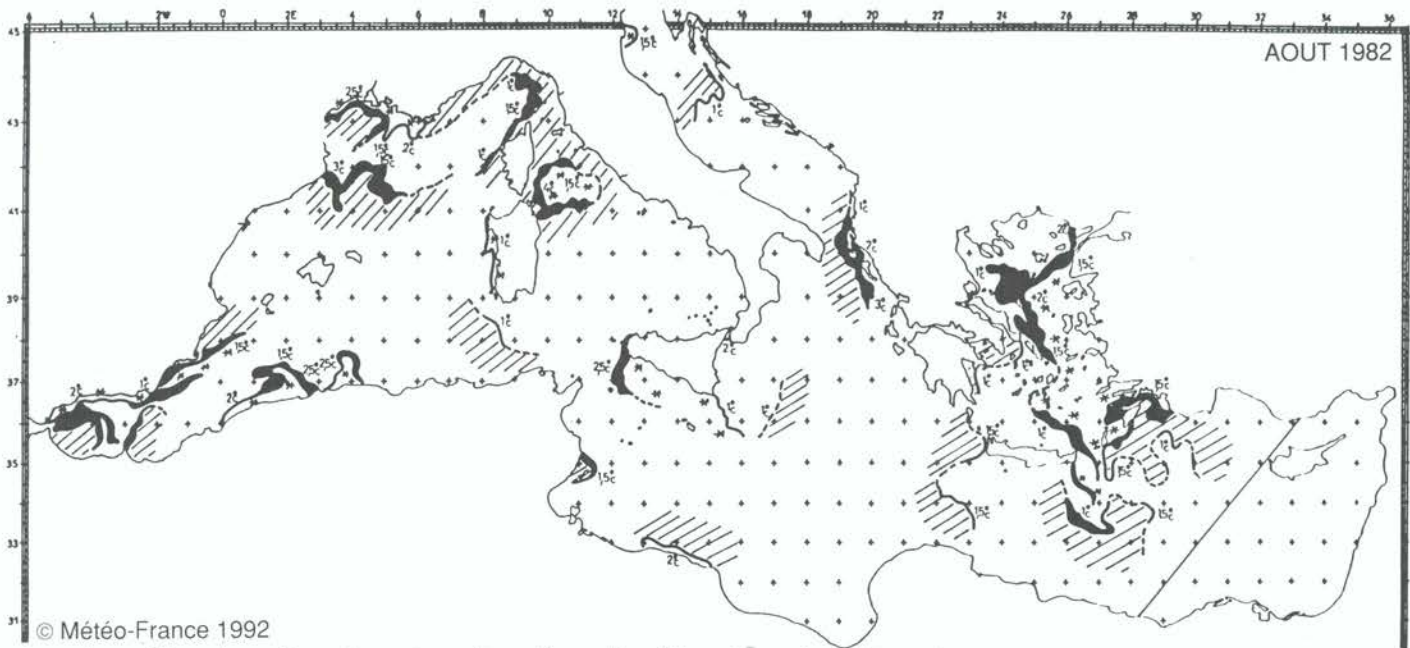


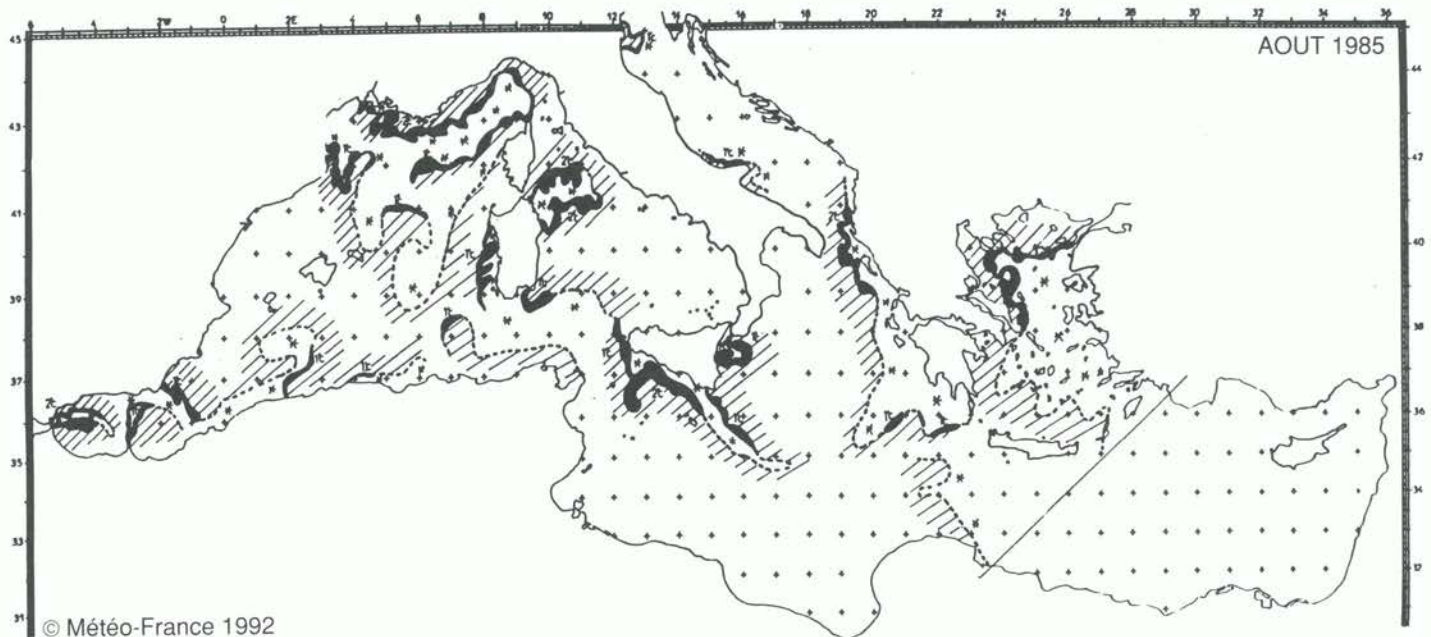


AOUT

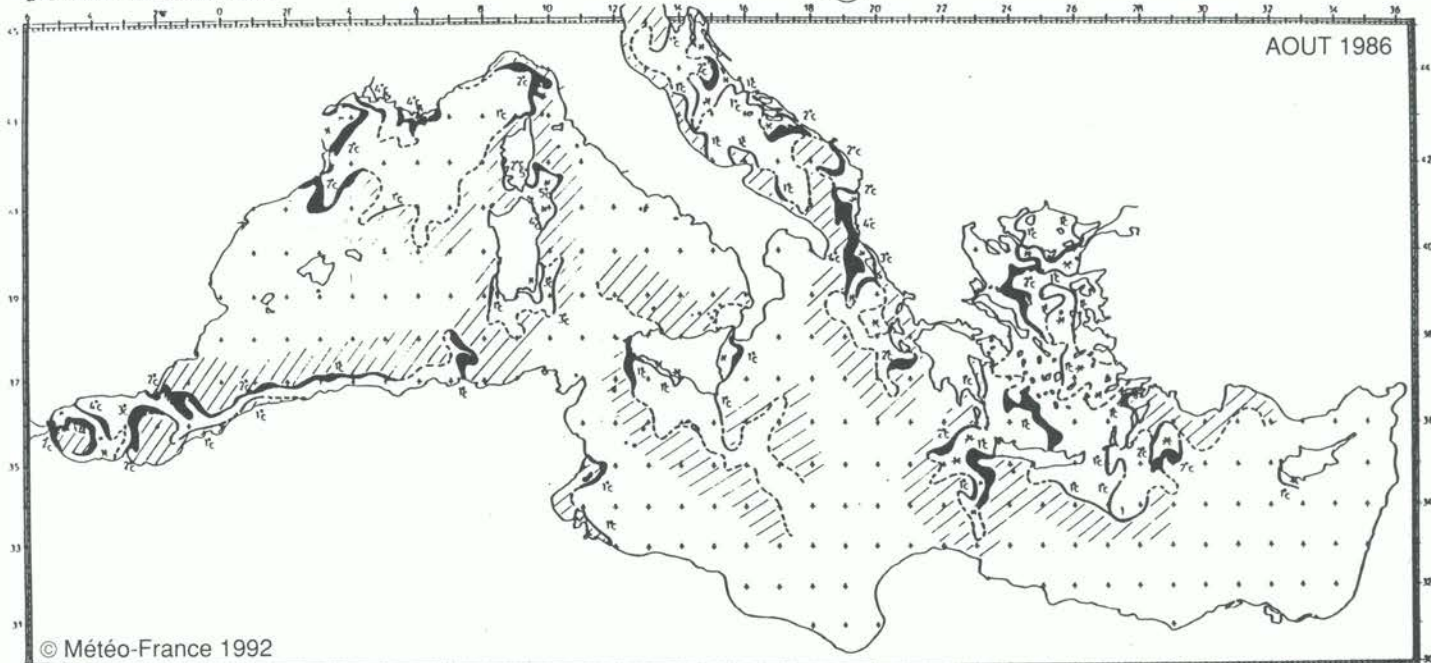
AUGUST



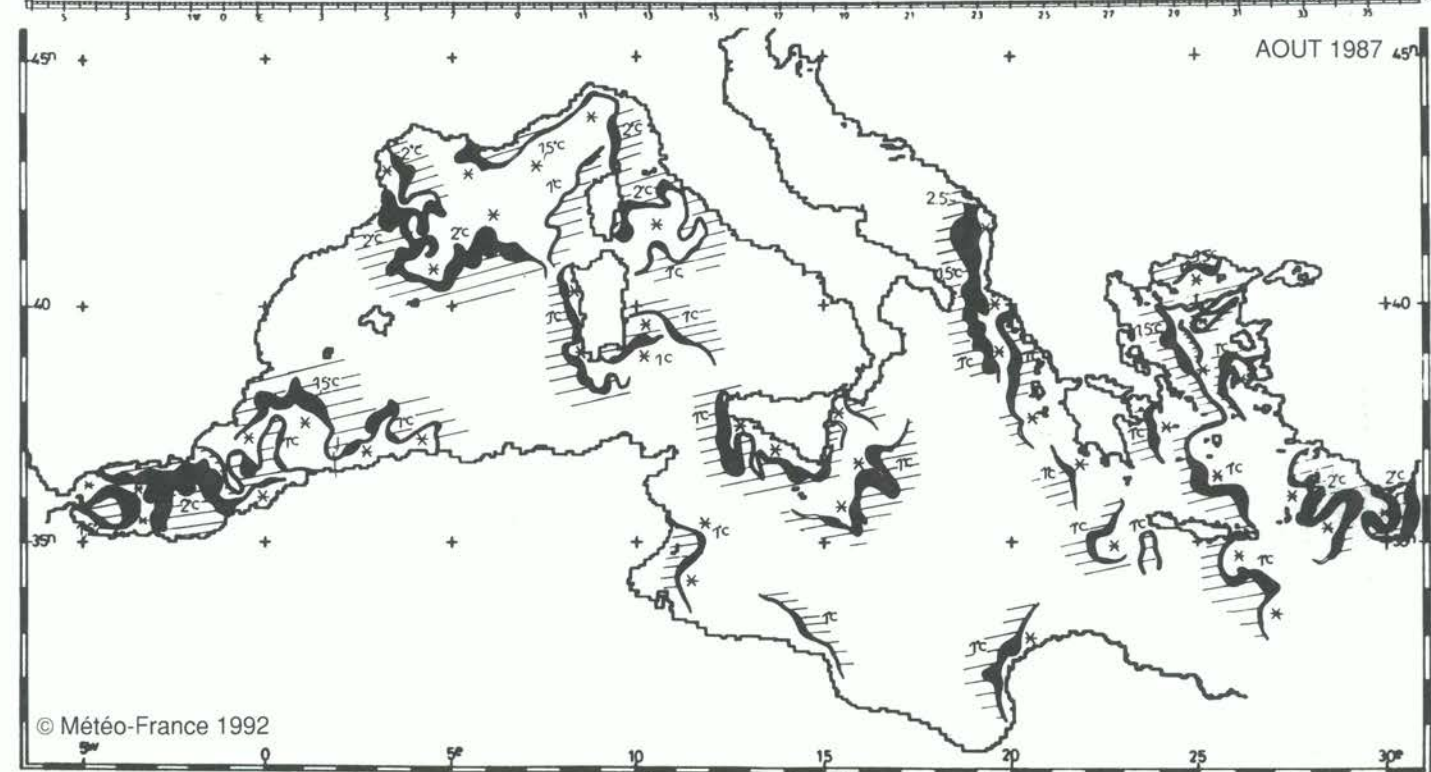




© Météo-France 1992



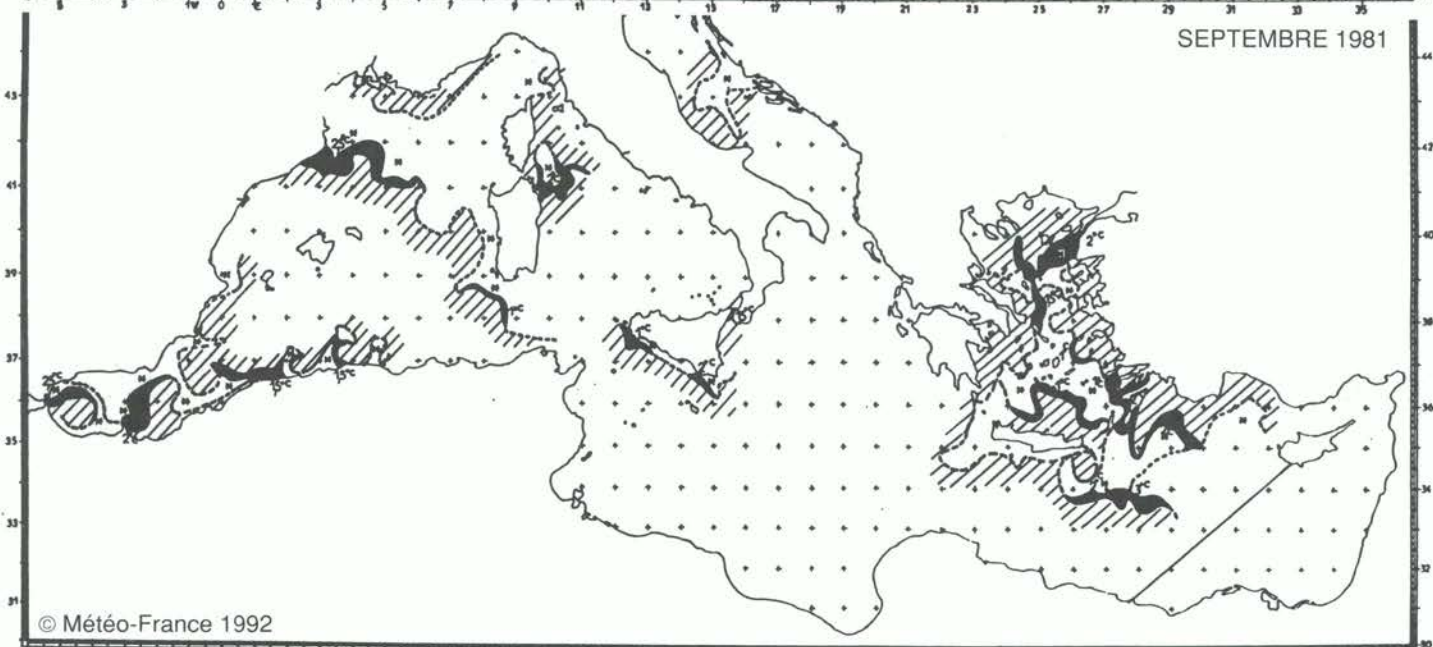
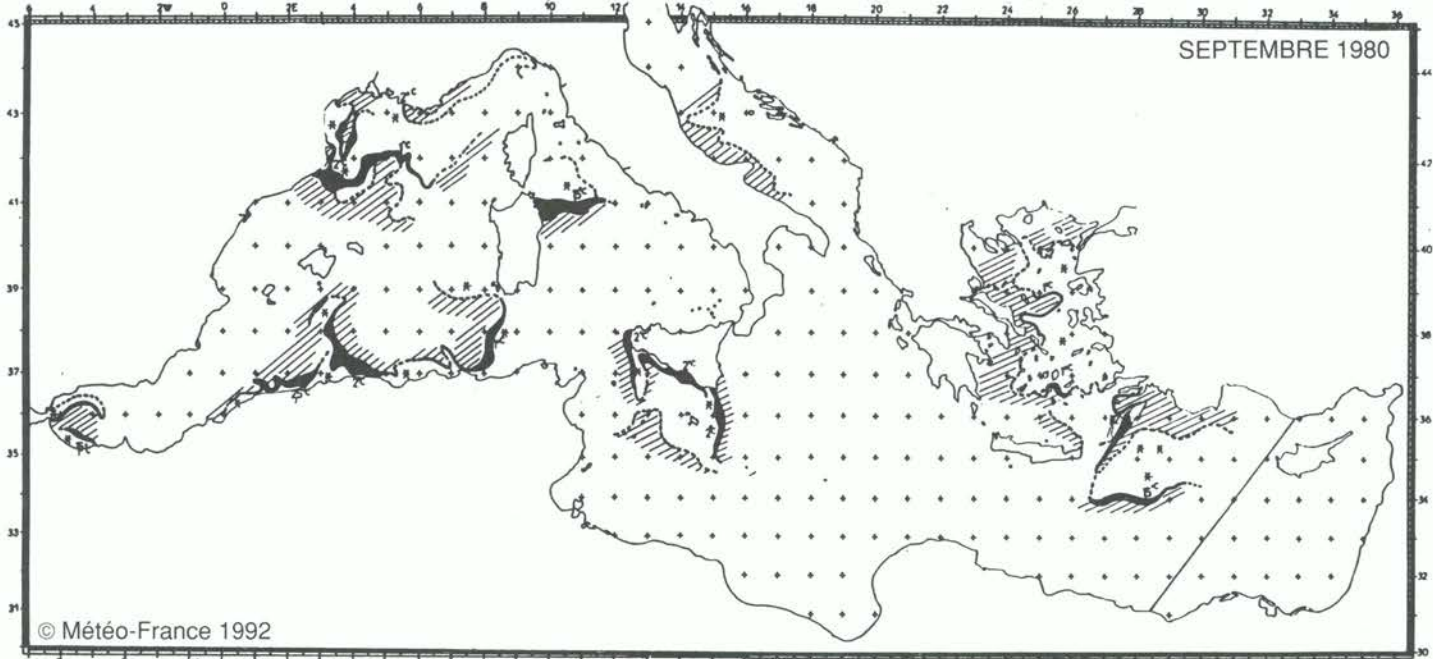
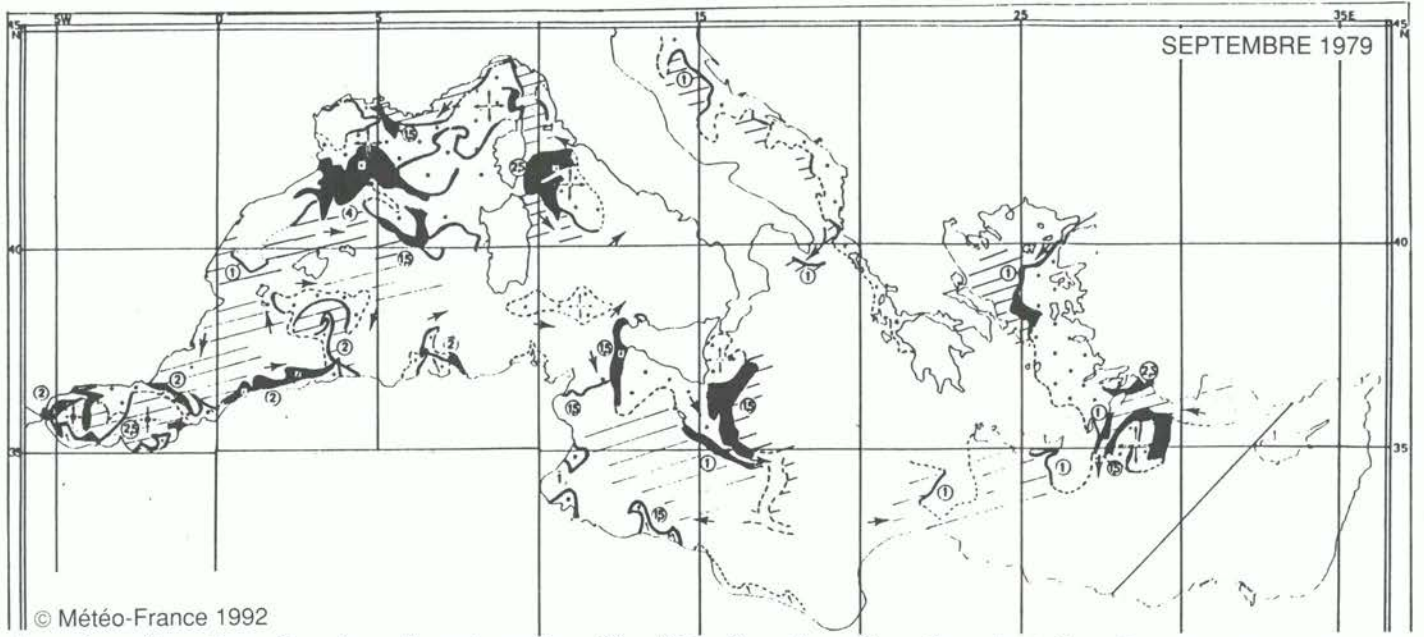
© Météo-France 1992

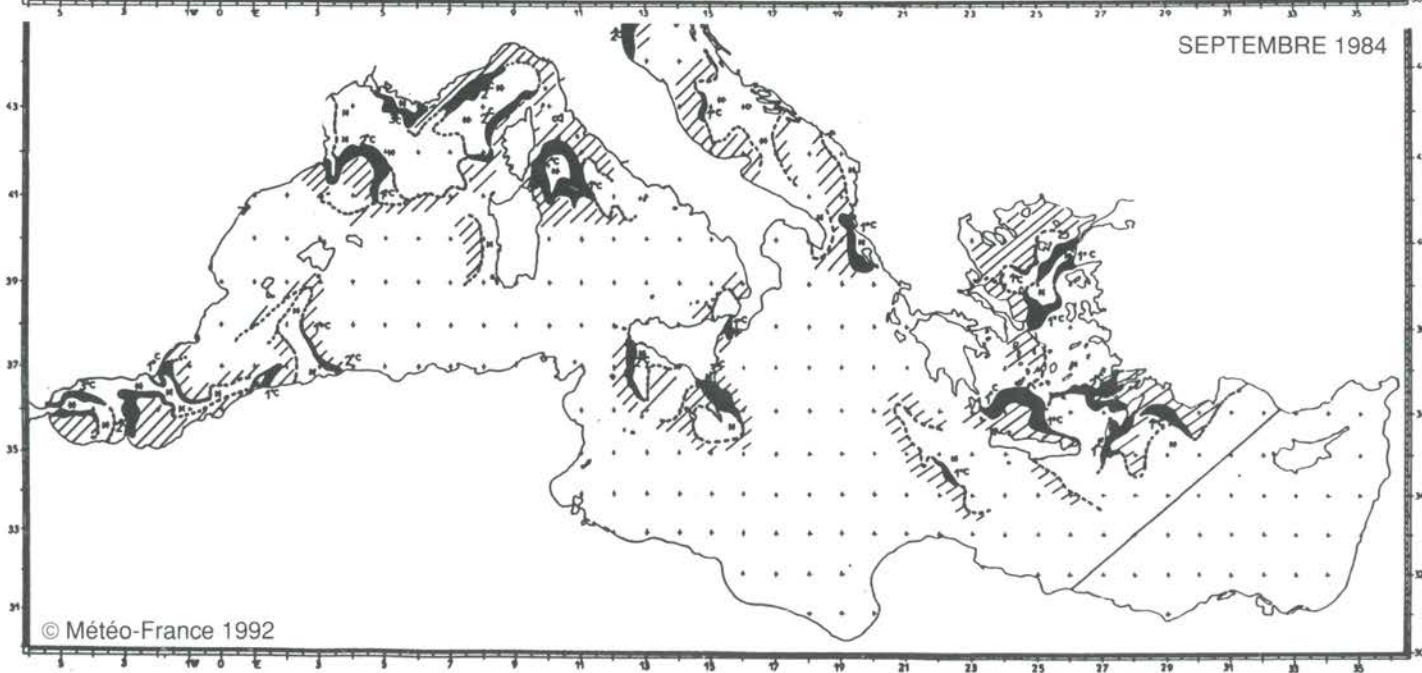
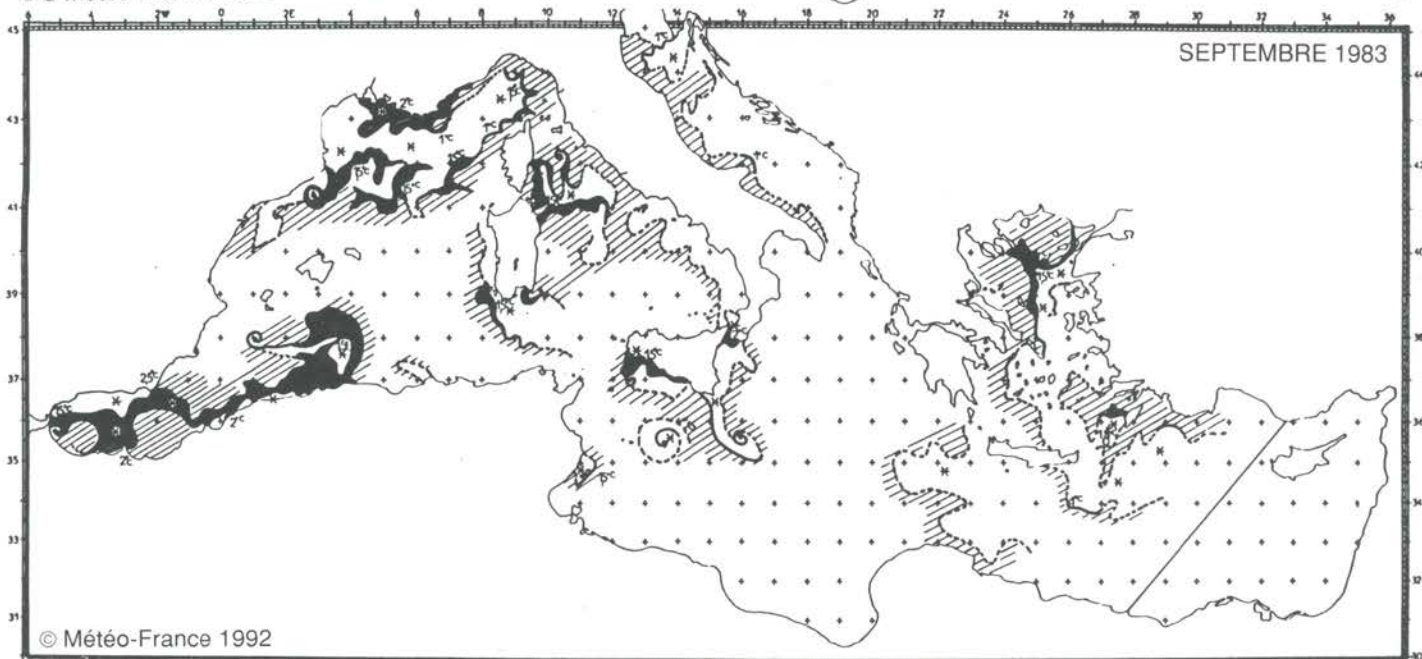
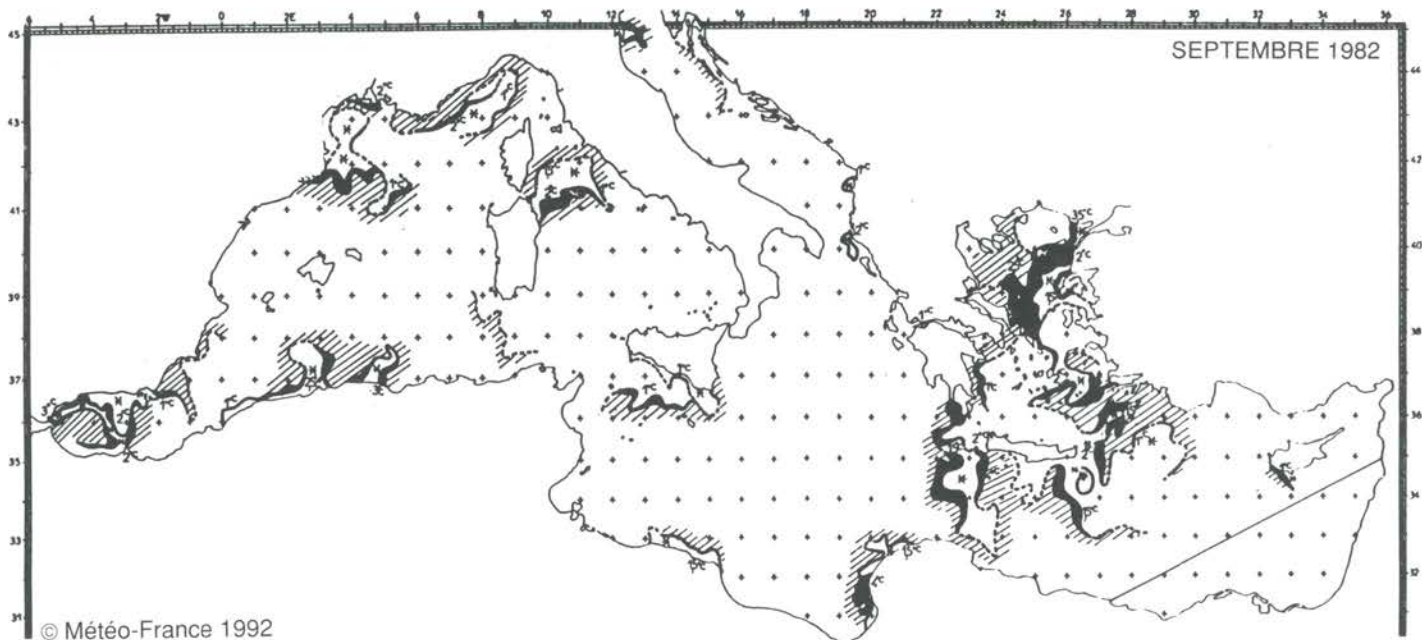


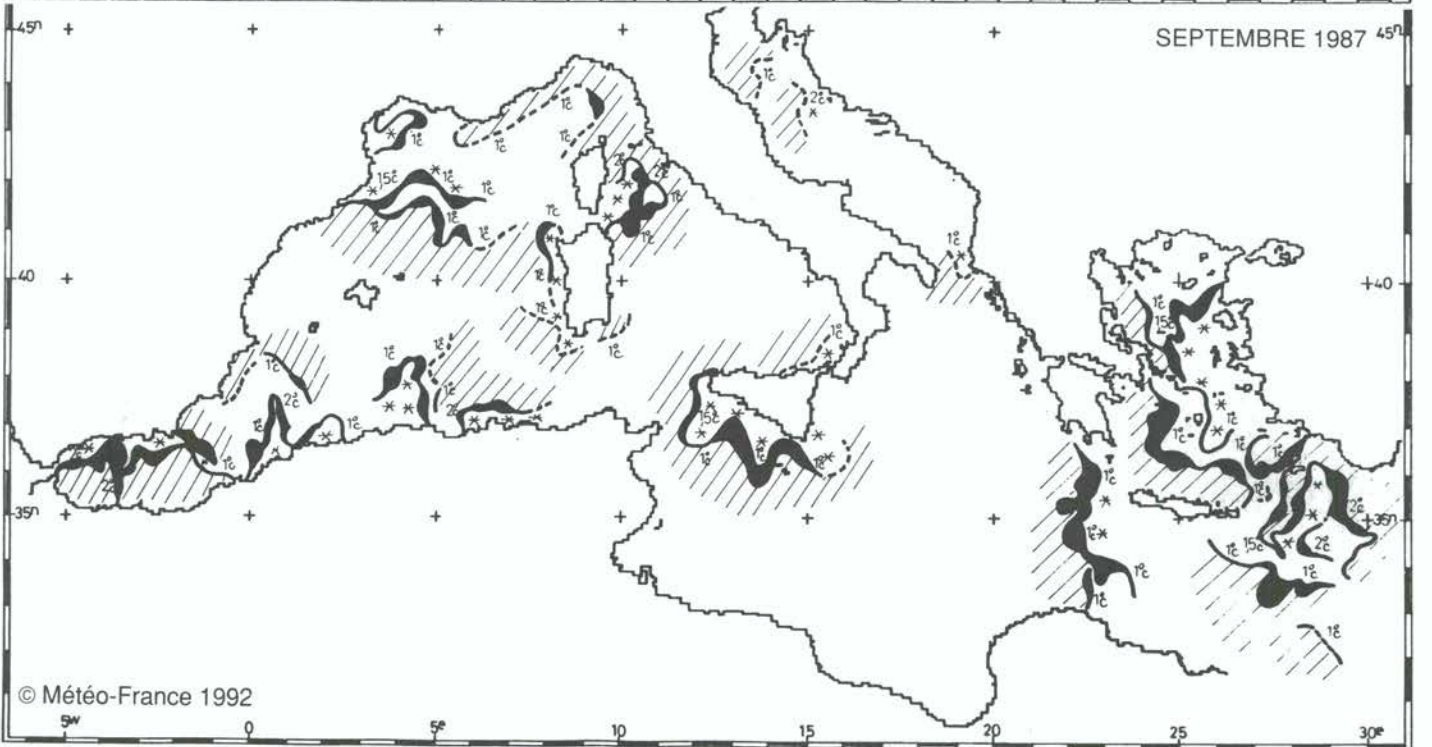
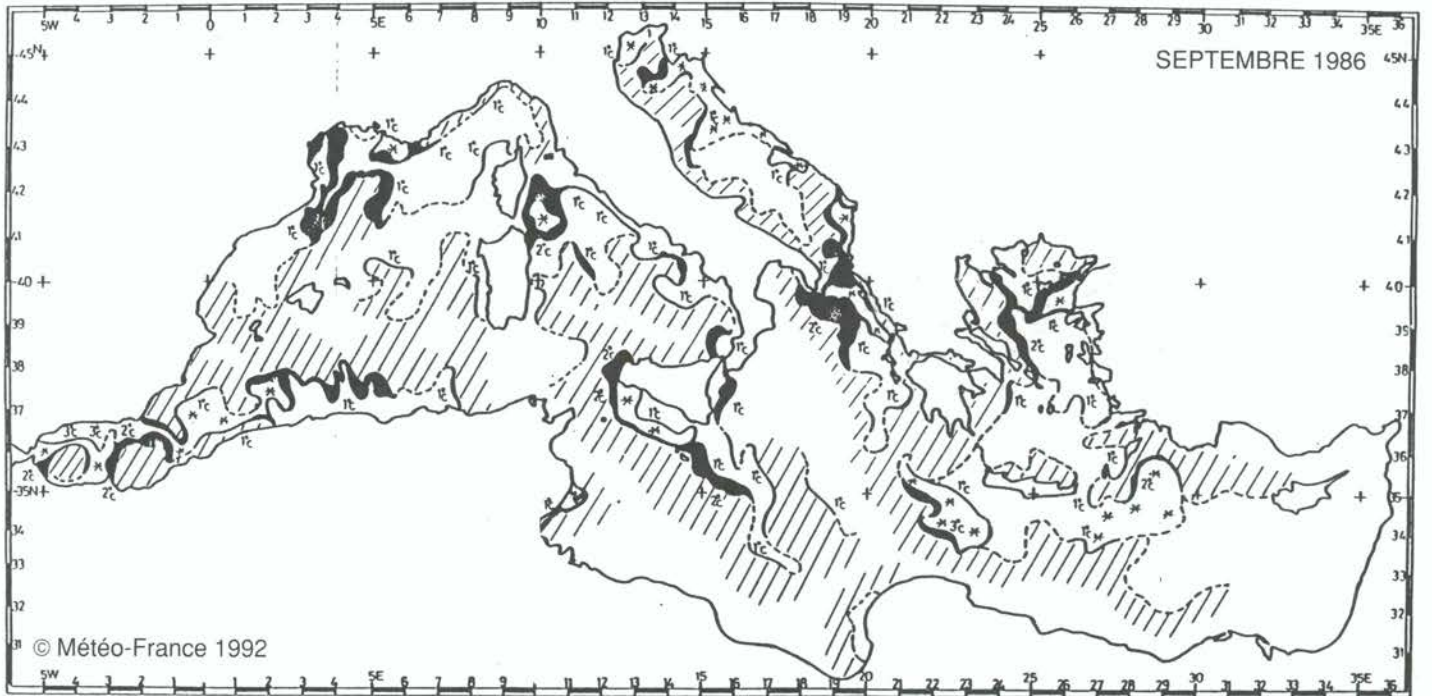
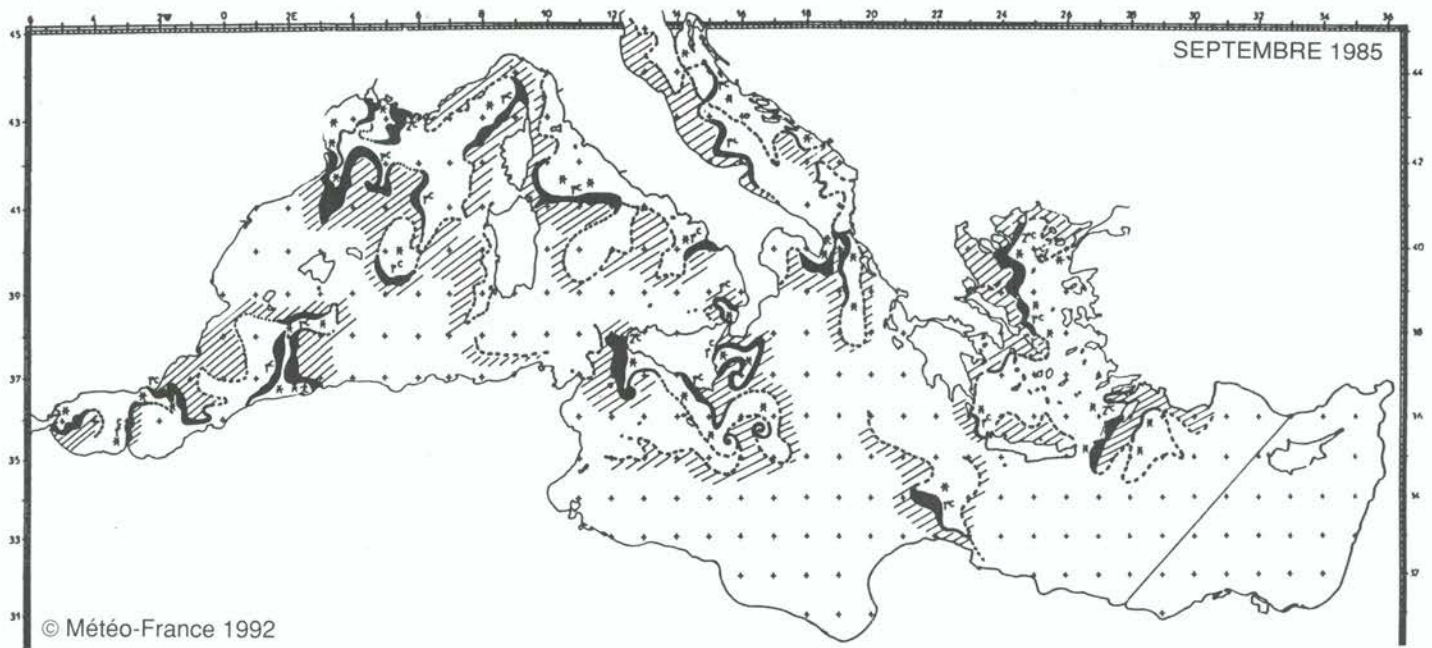
© Météo-France 1992

SEPTEMBRE

SEPTEMBER

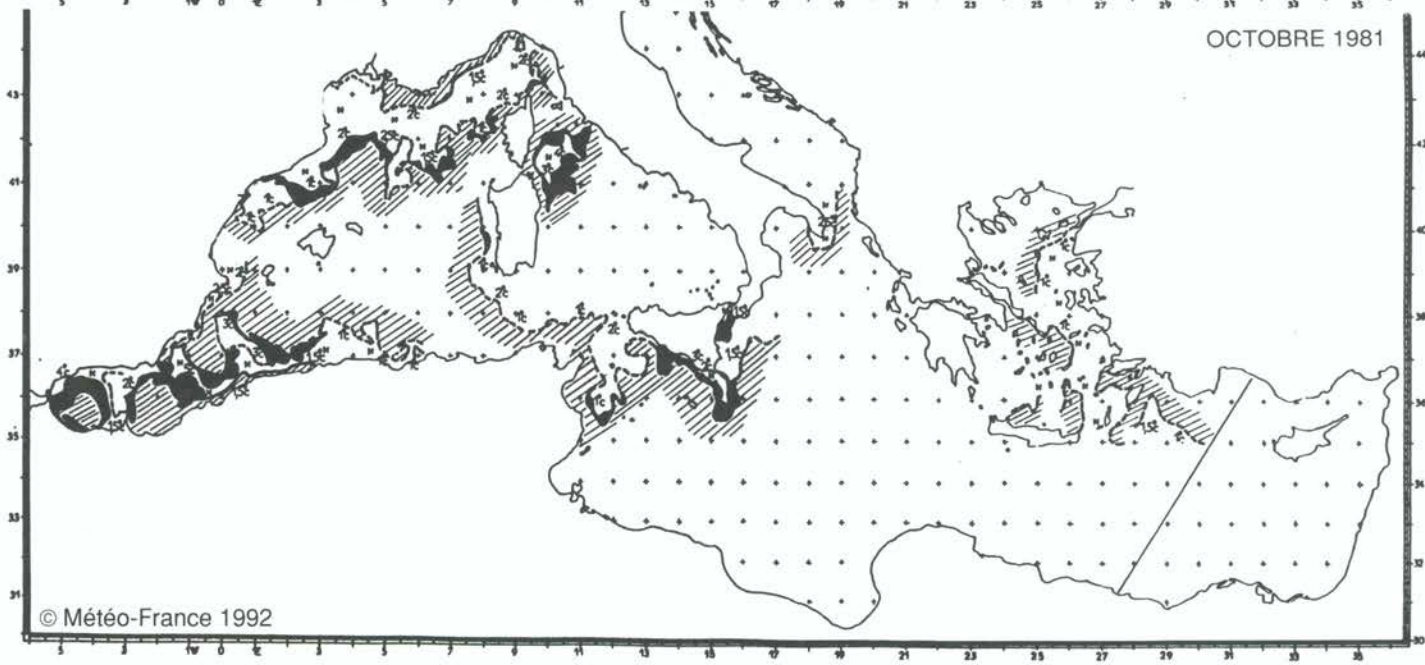
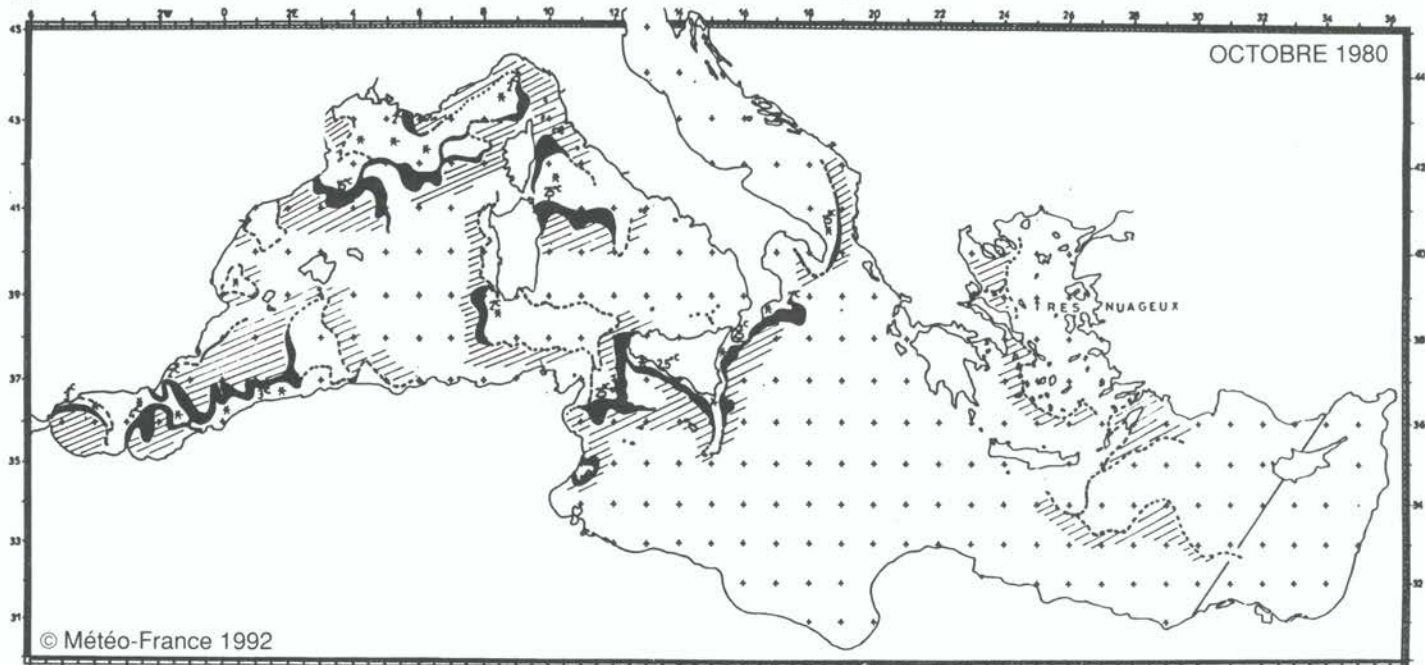
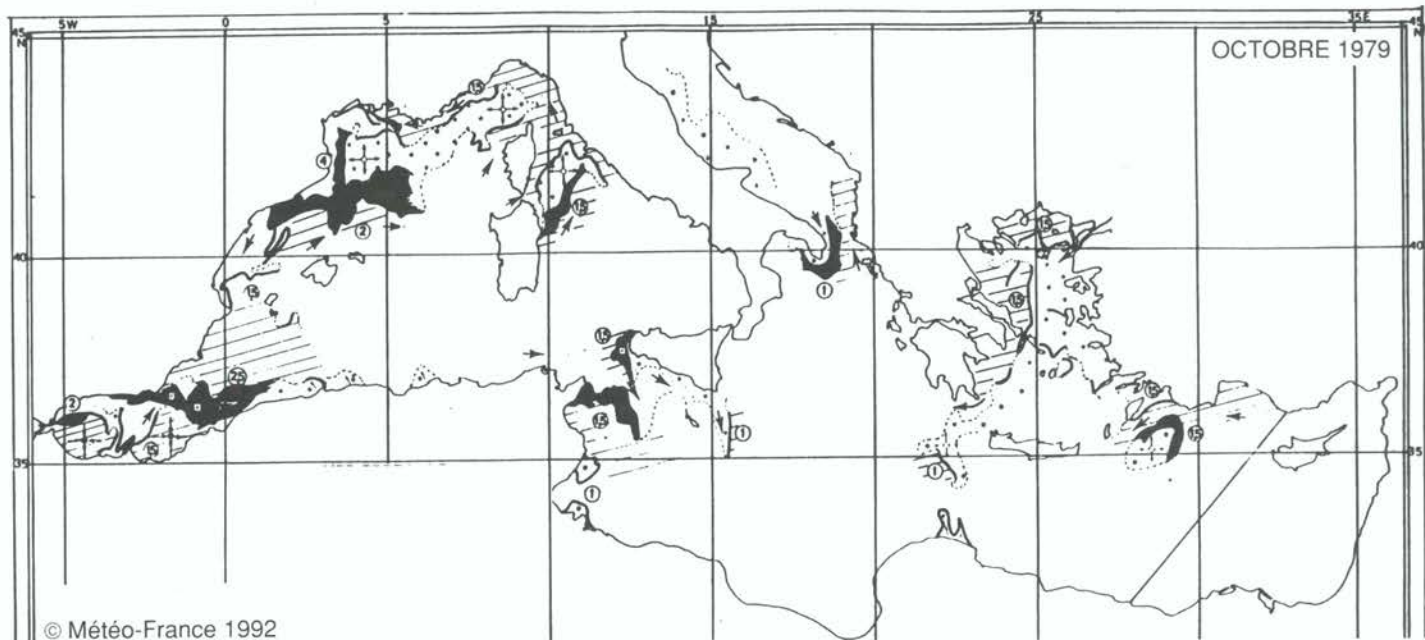


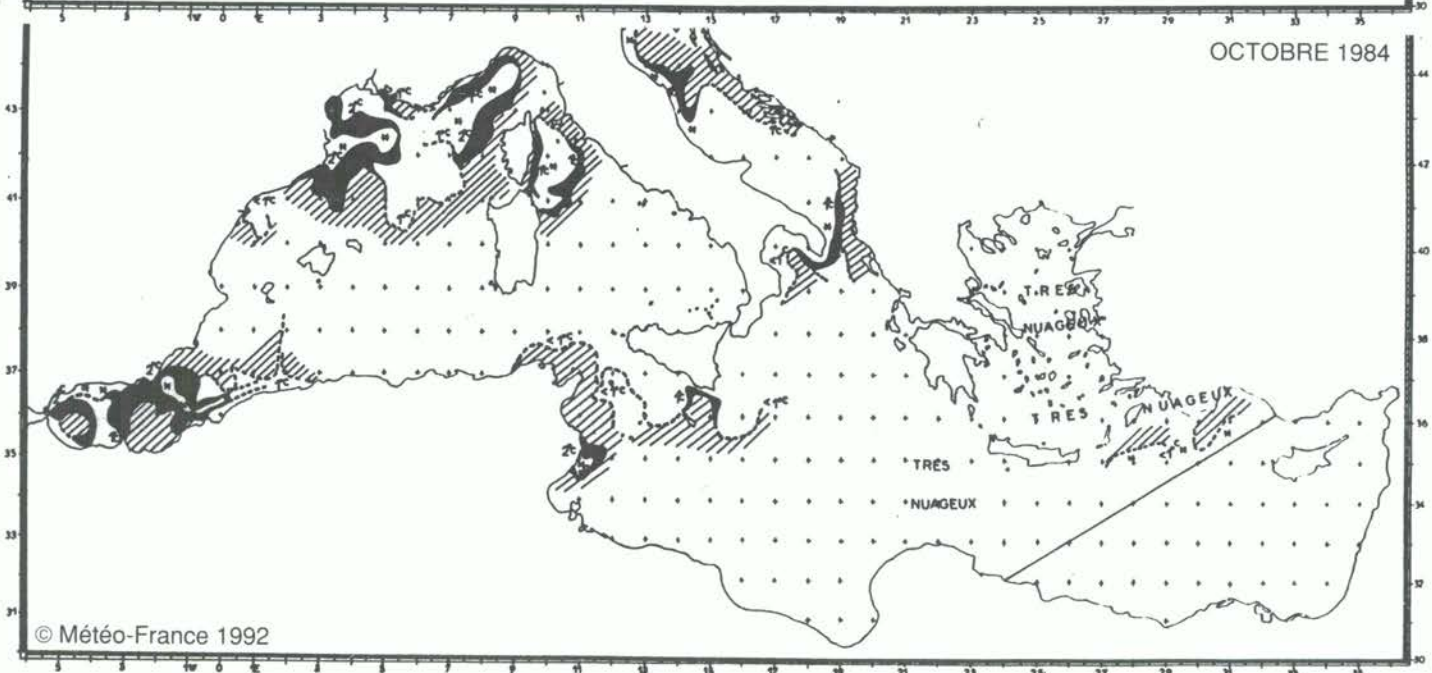
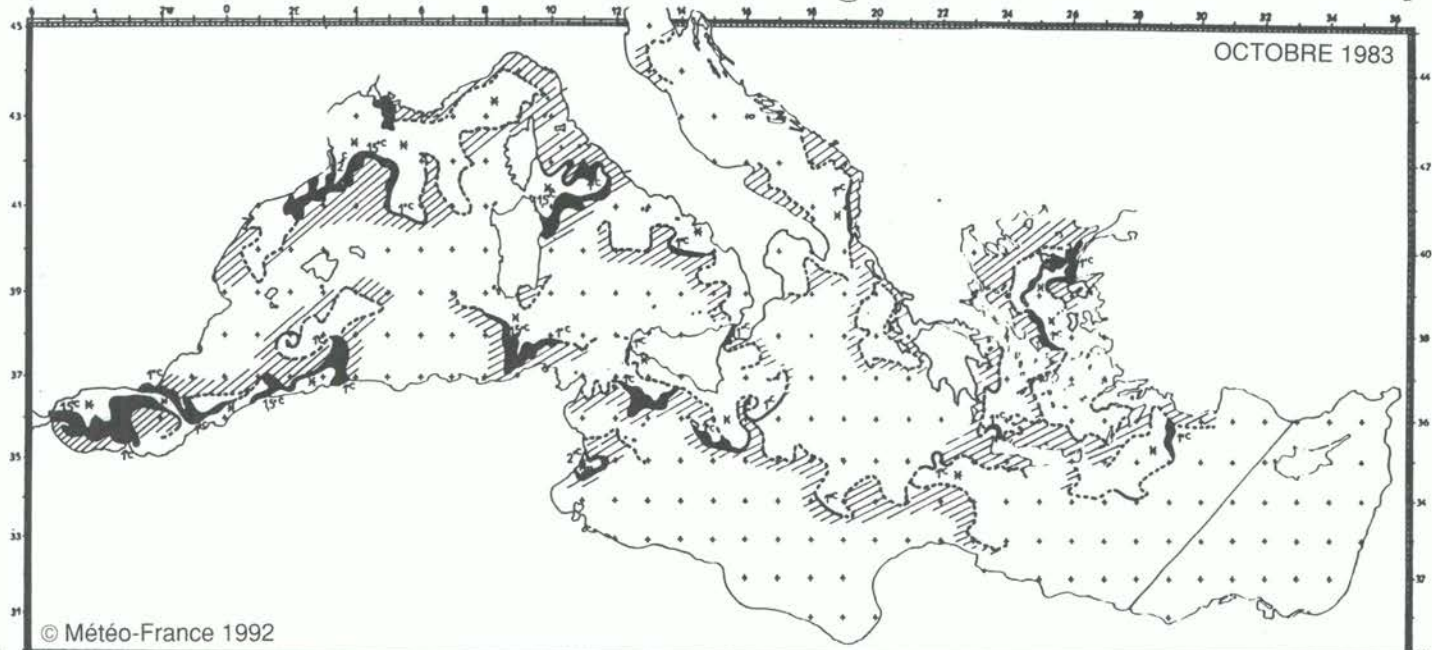
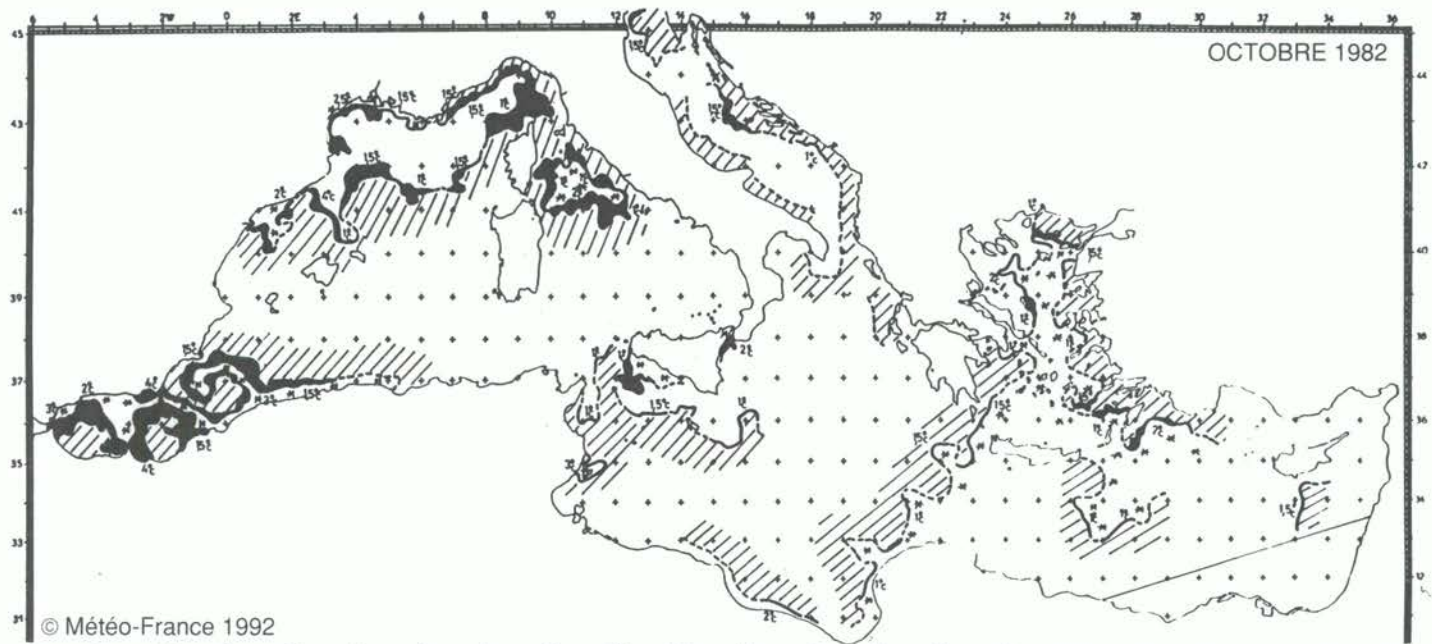


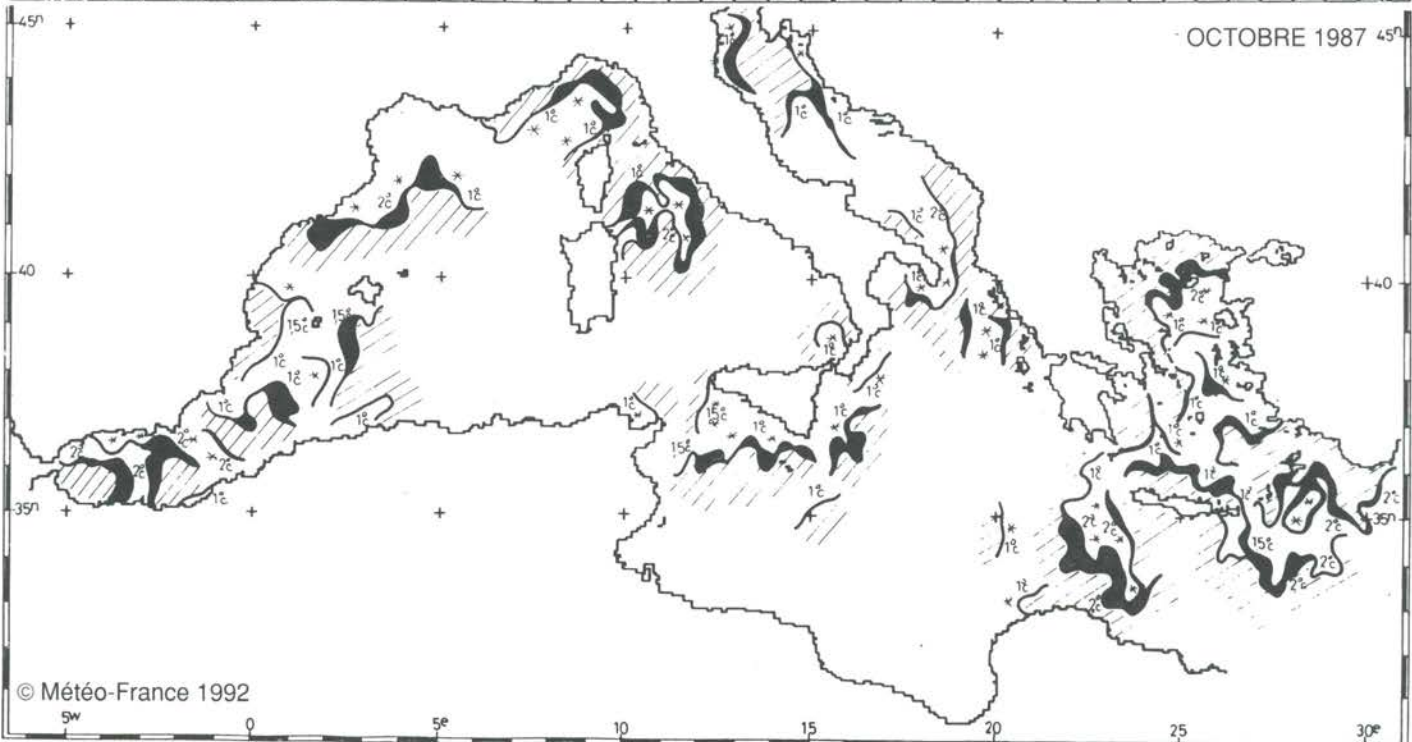
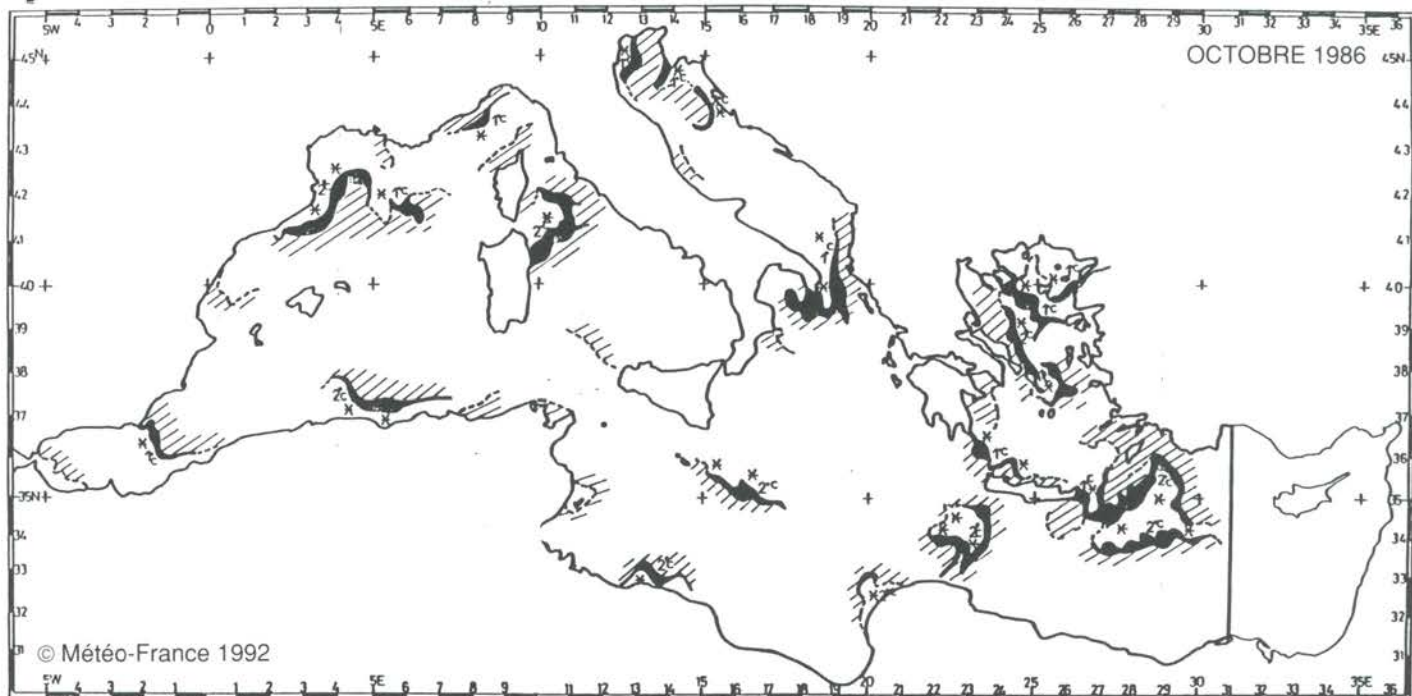
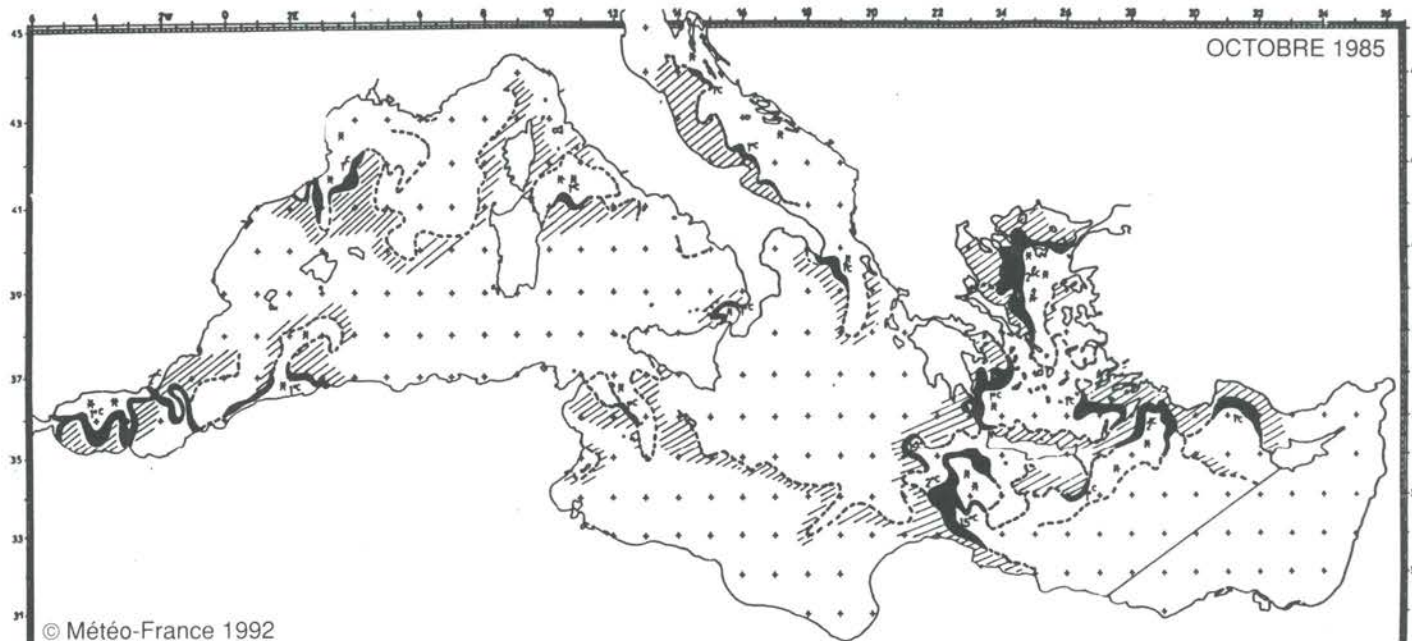


OCTOBRE

OCTOBER

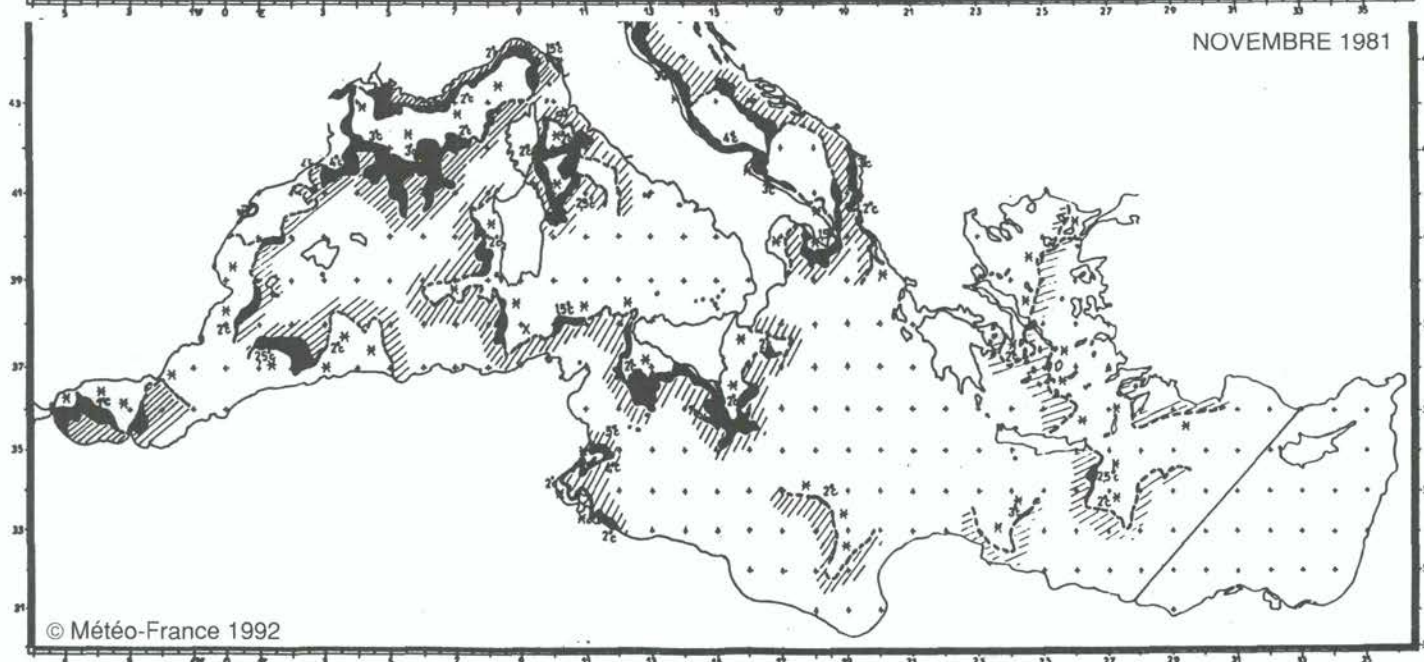
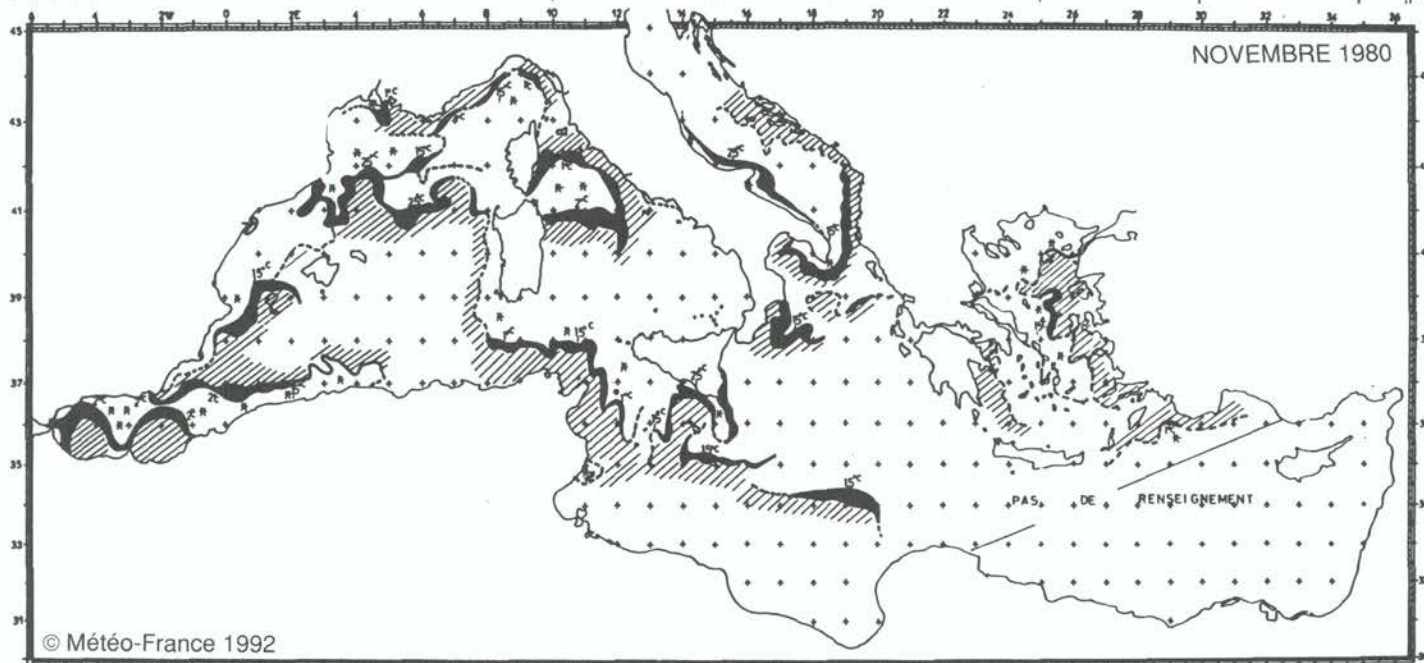
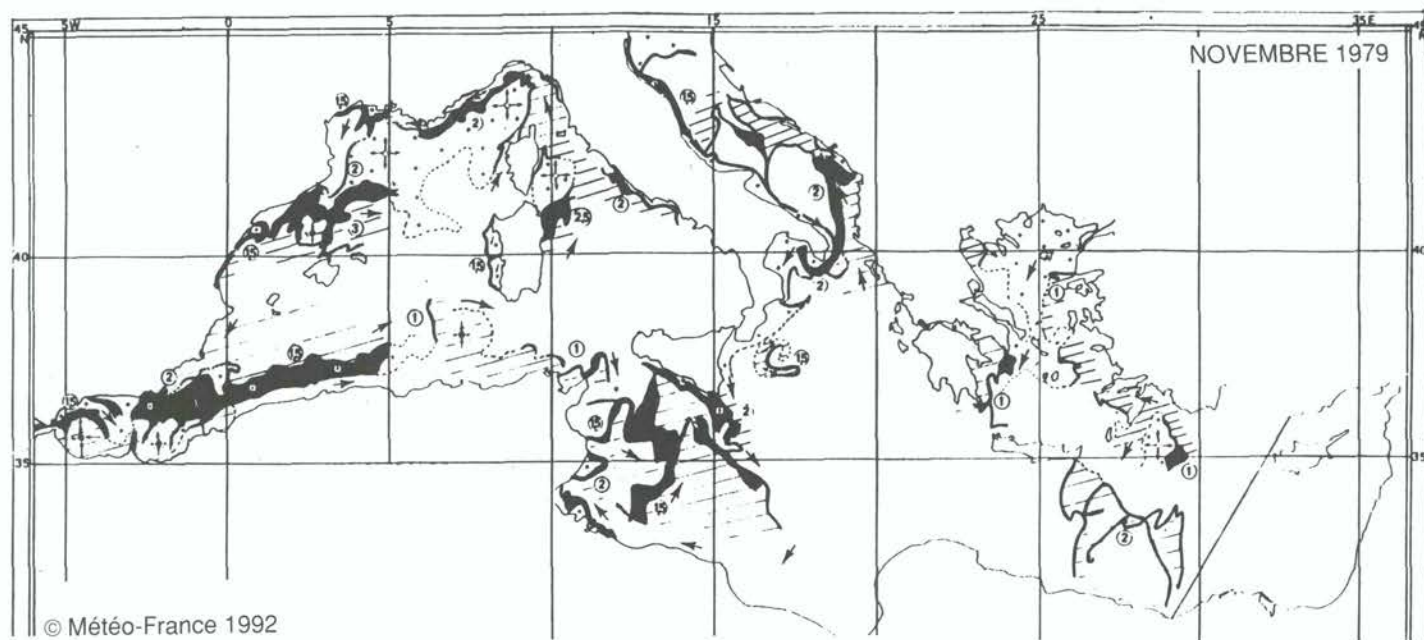


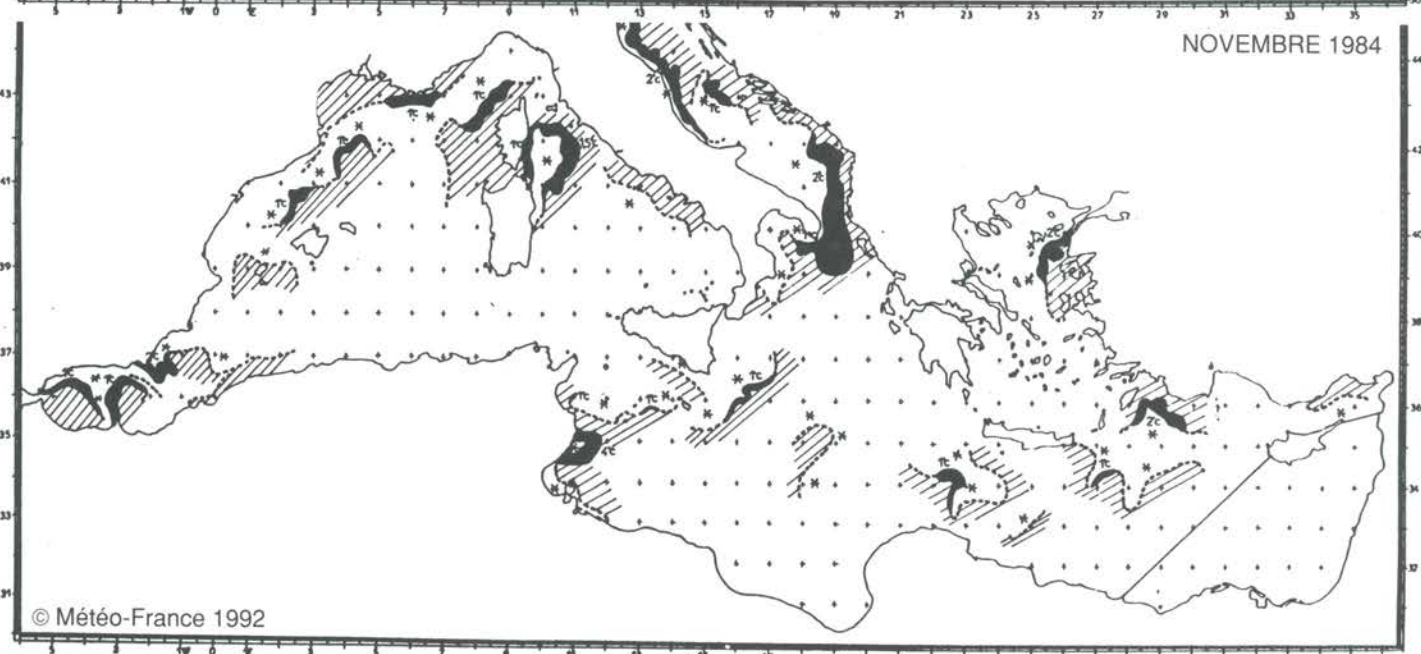
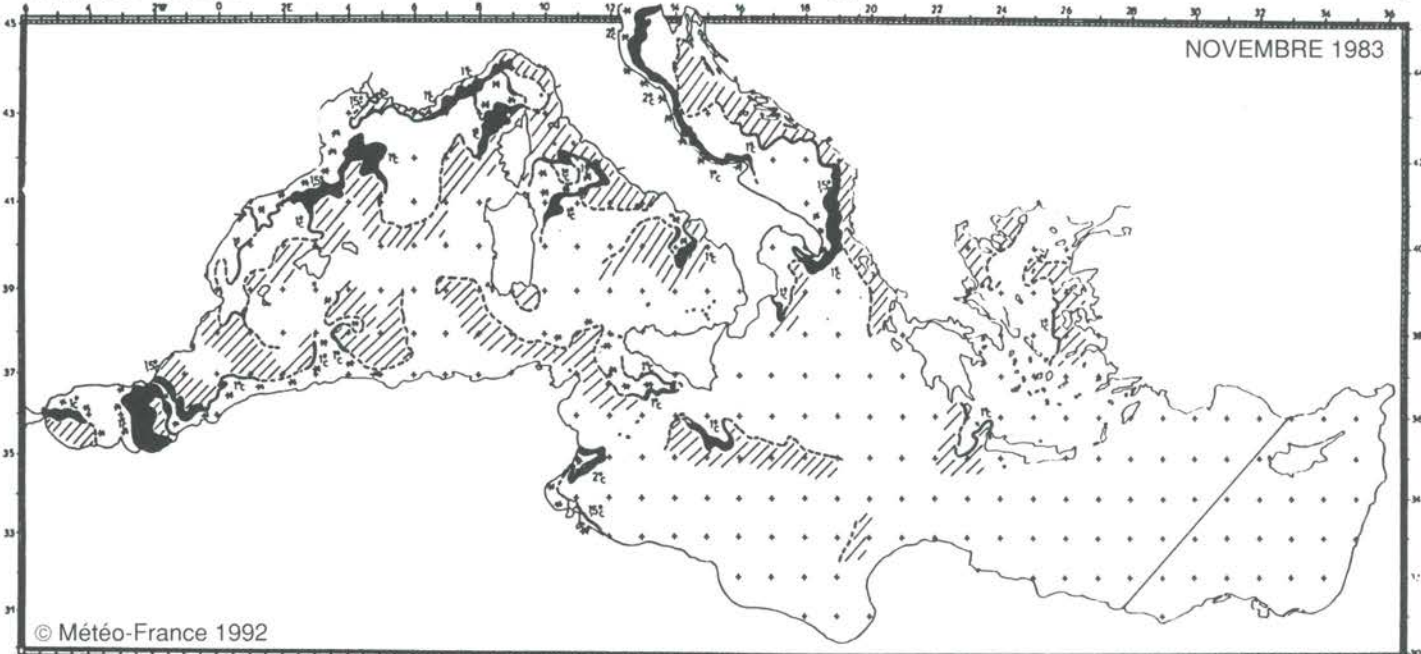
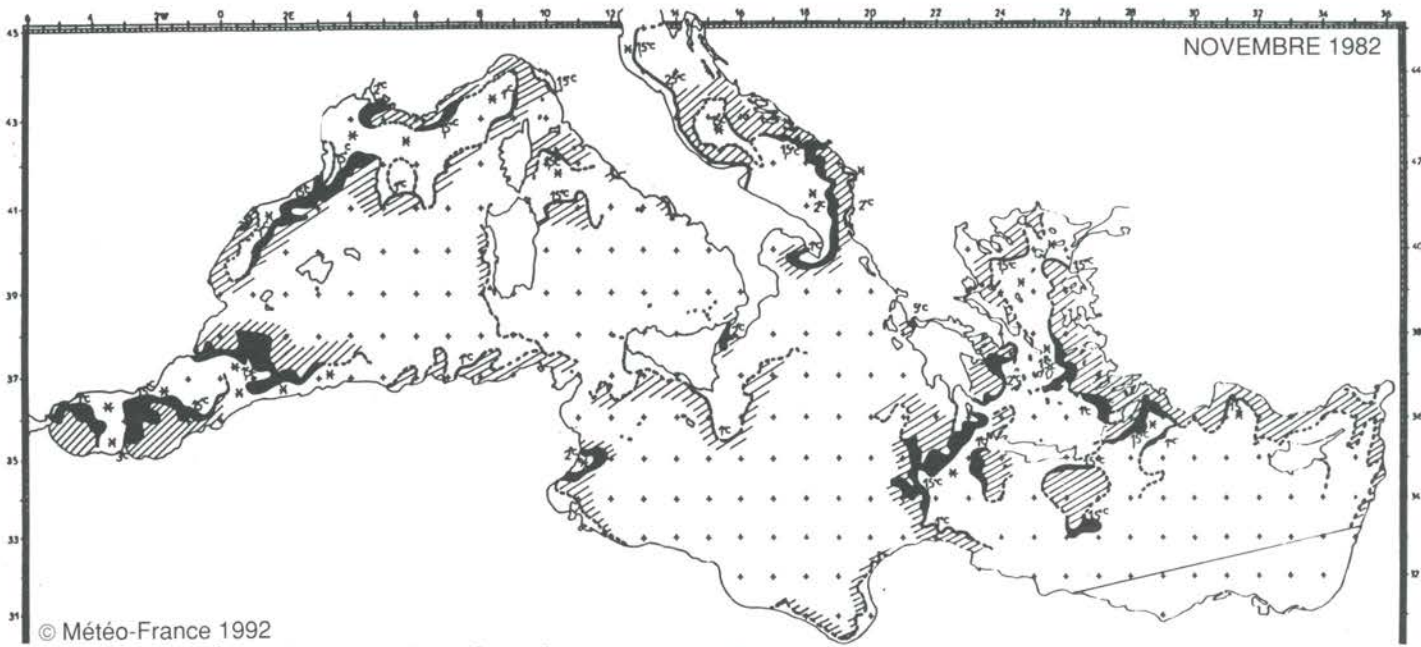


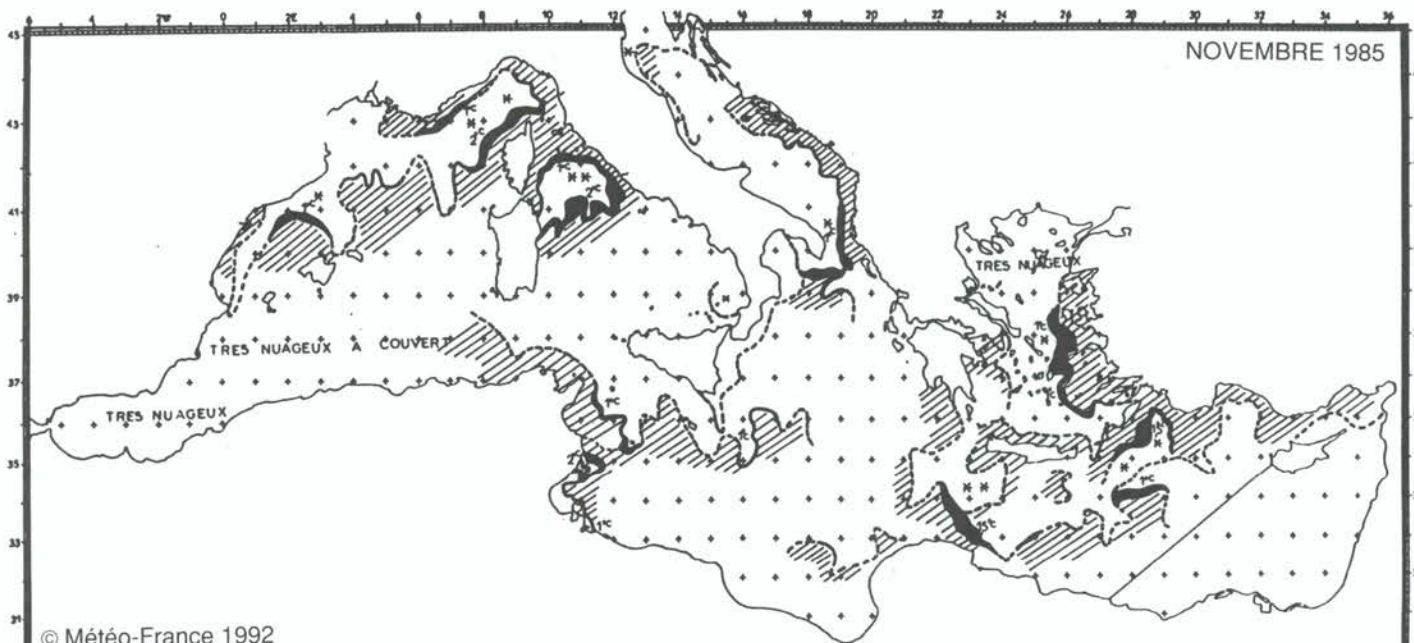


NOVEMBRE

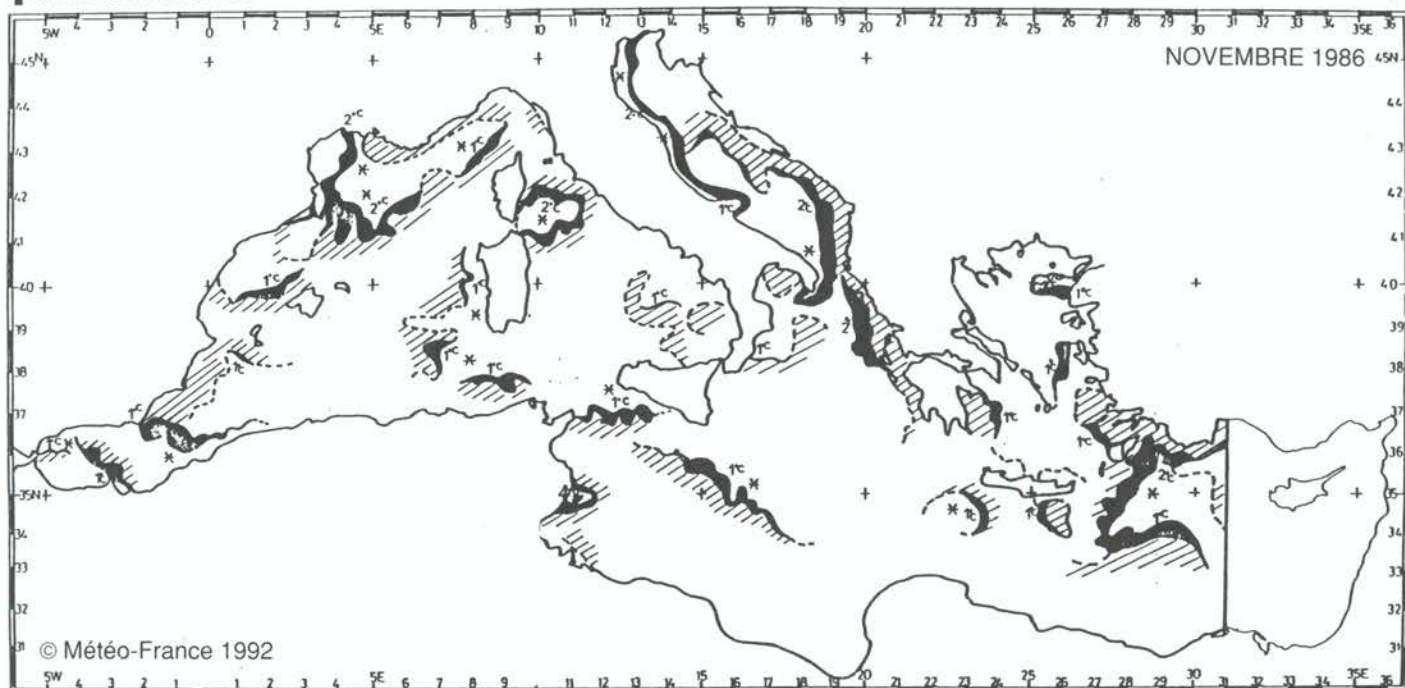
NOVEMBER



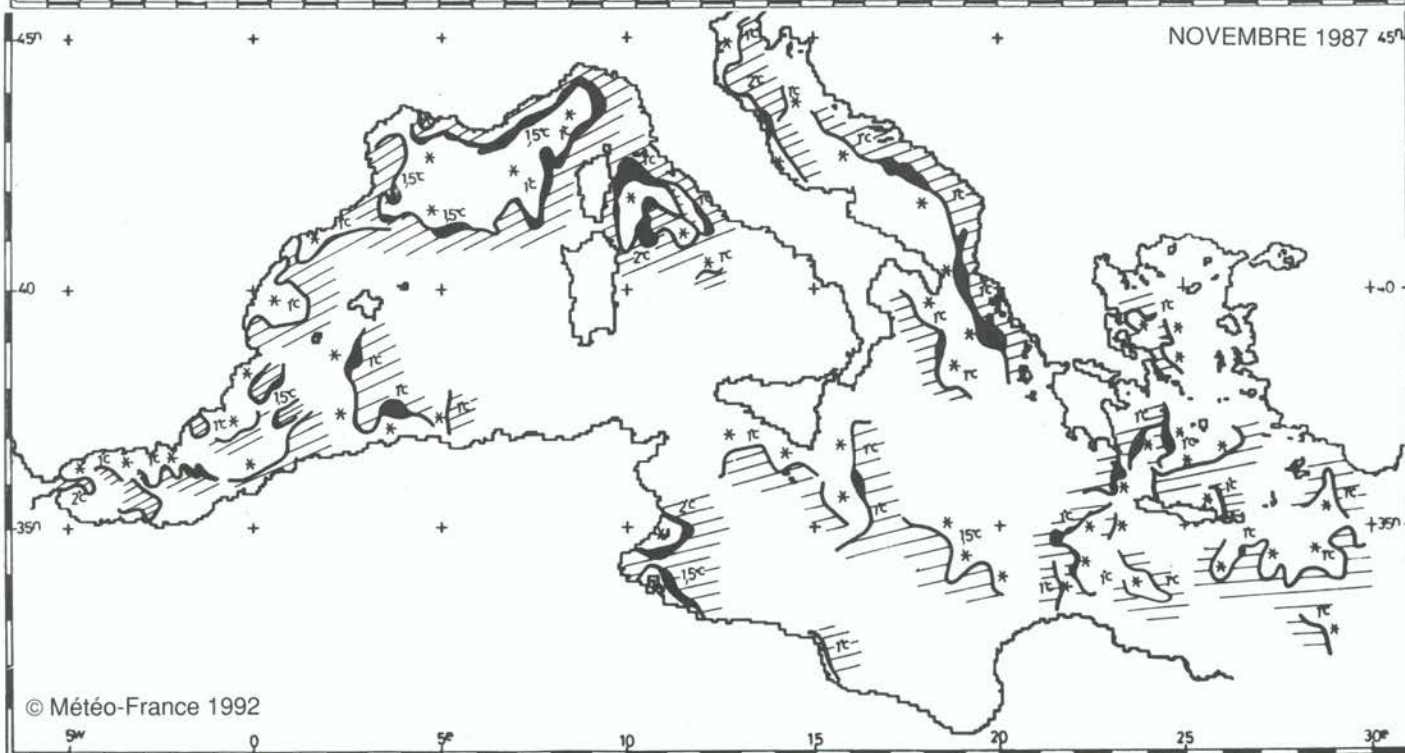




© Météo-France 1992



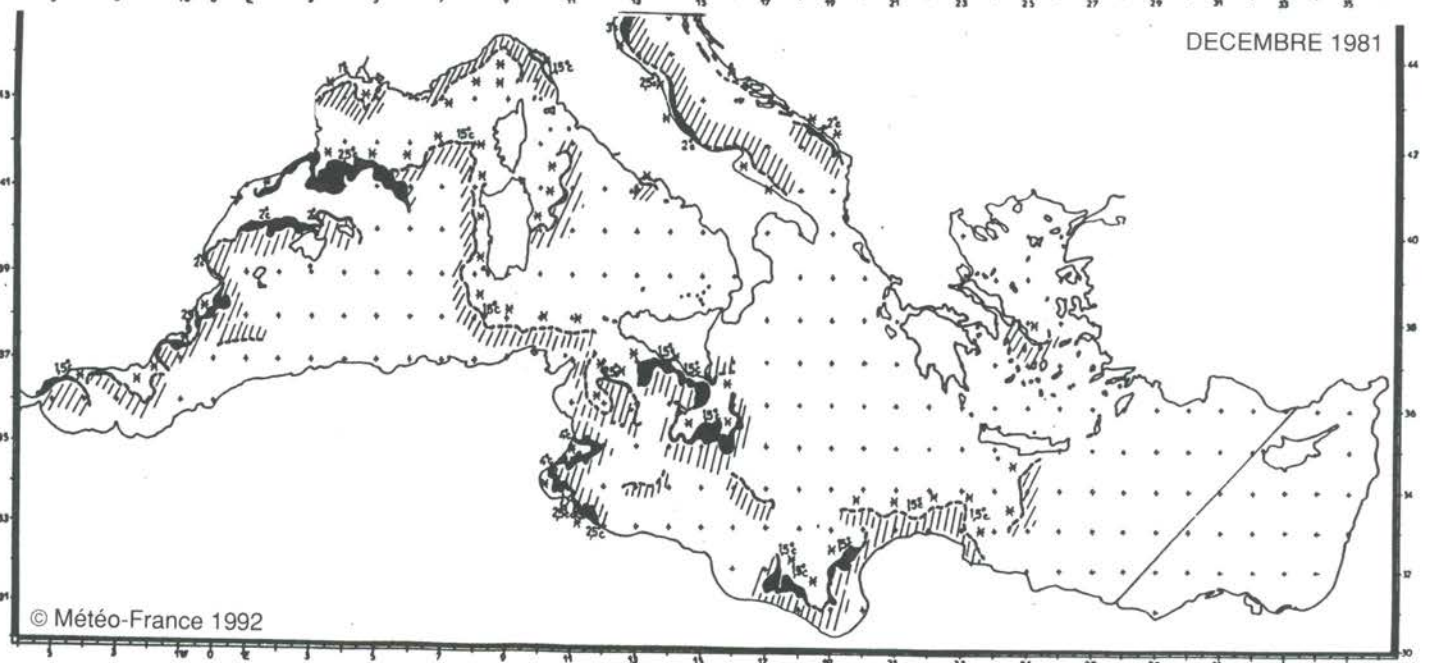
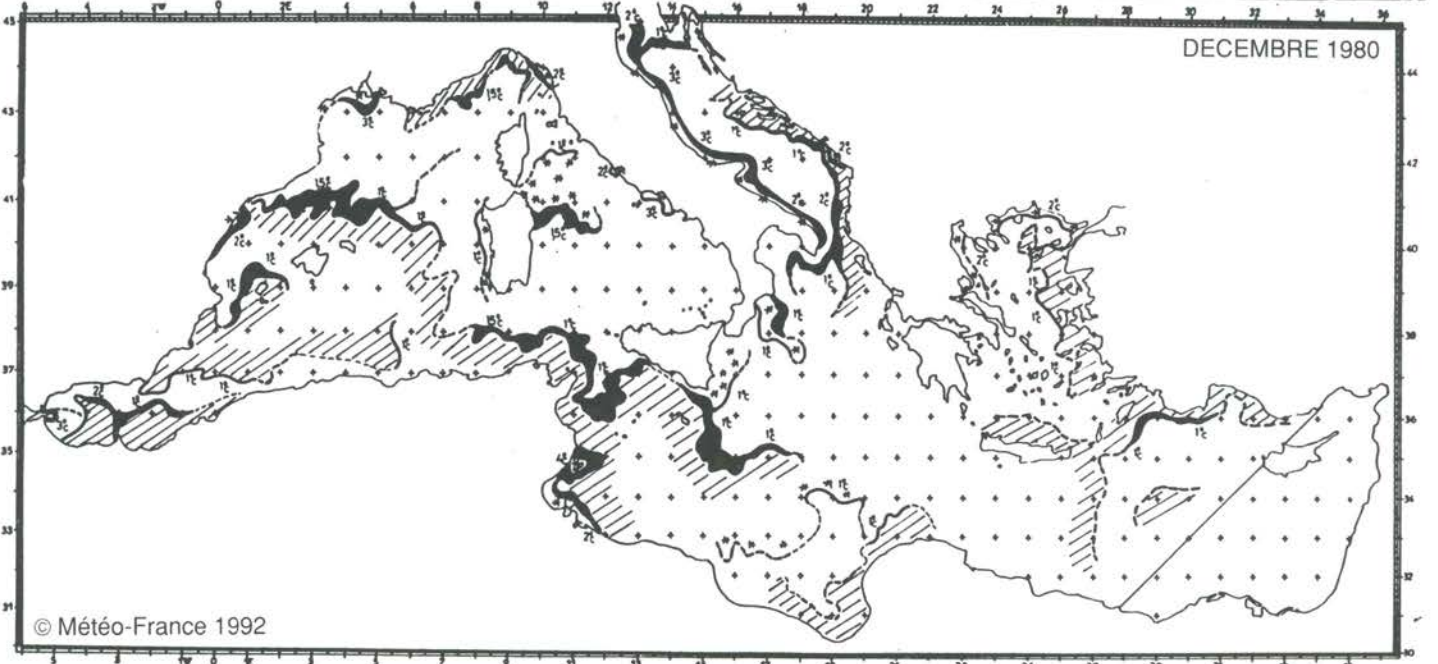
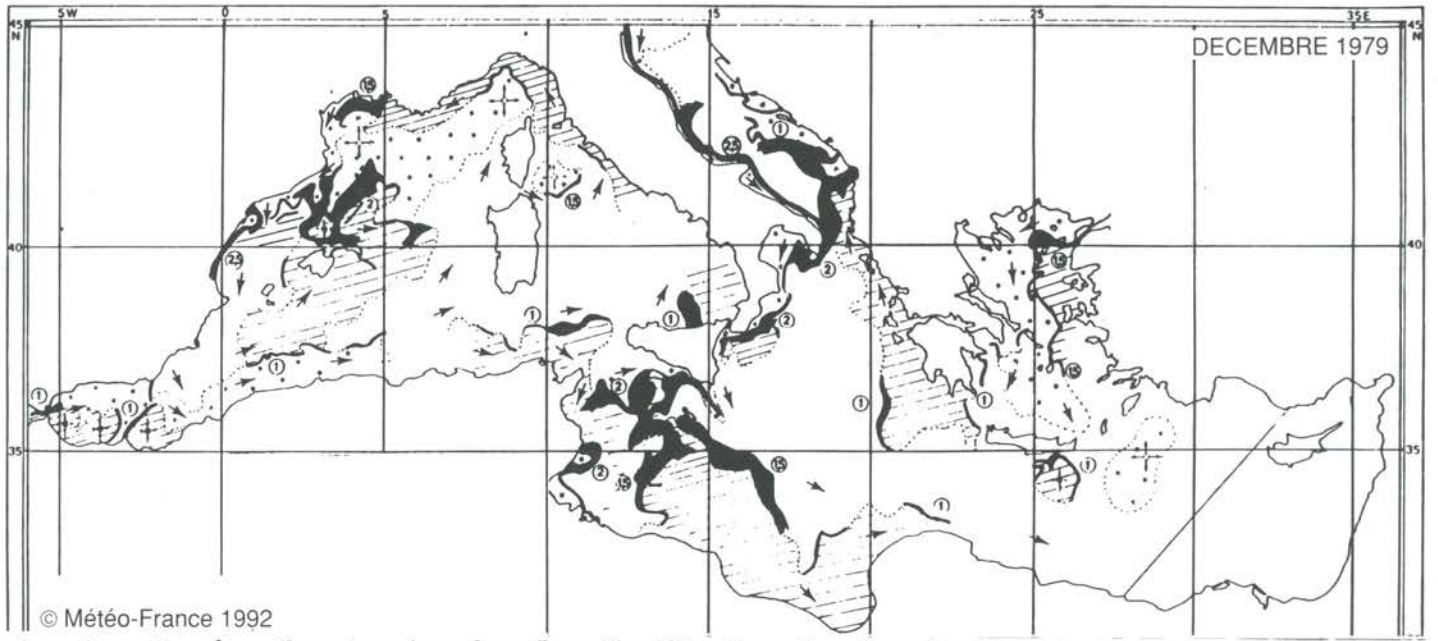
© Météo-France 1992

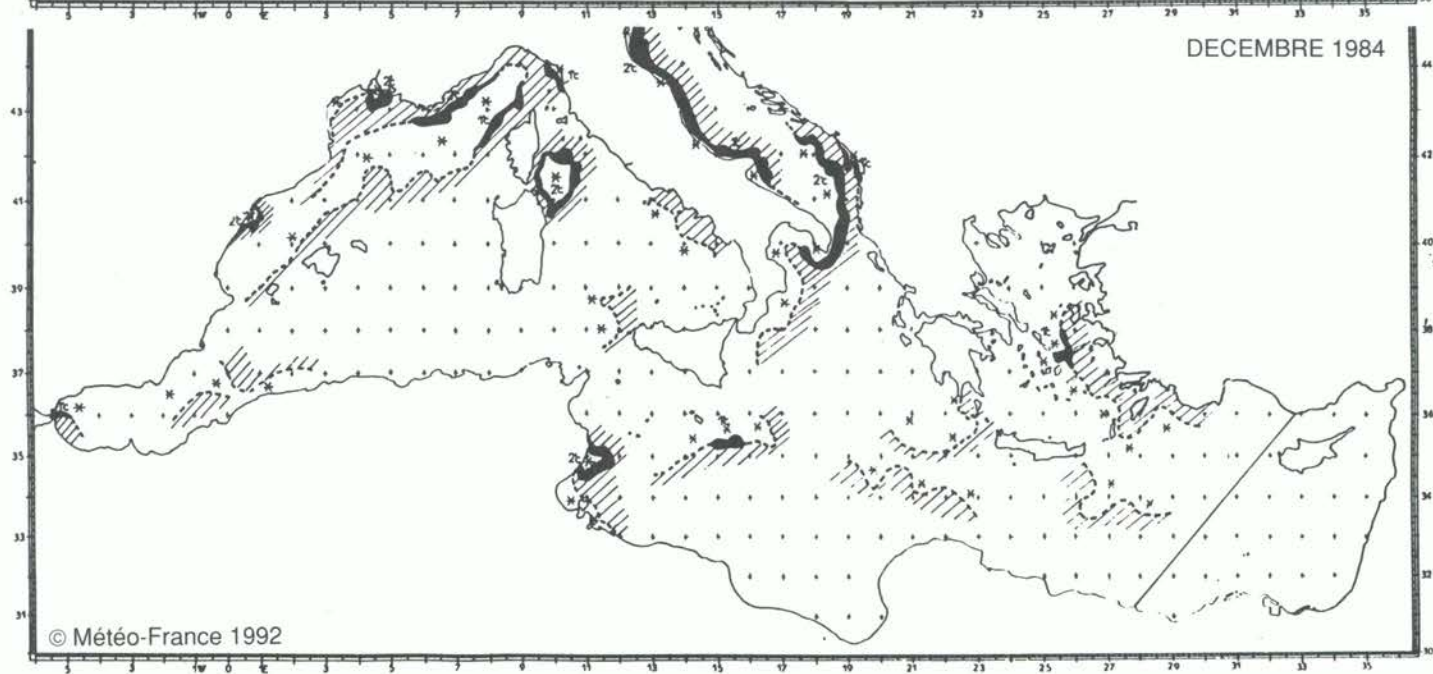
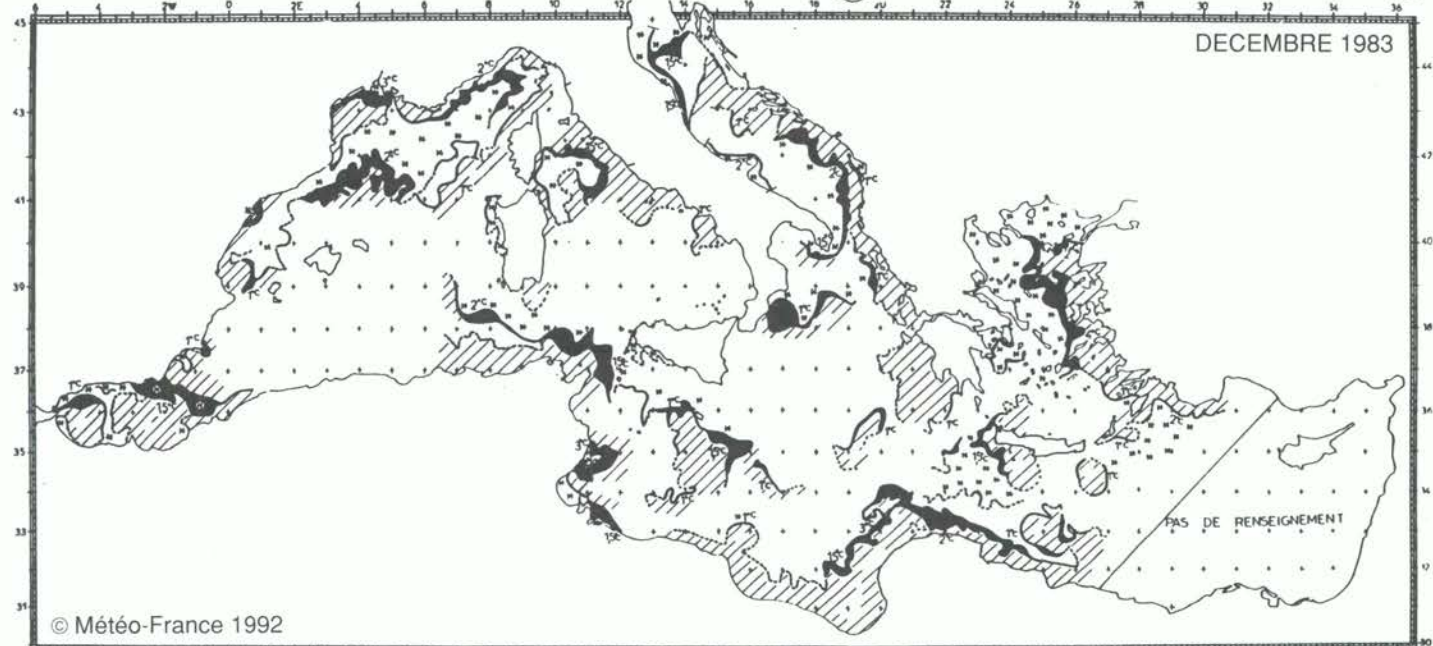
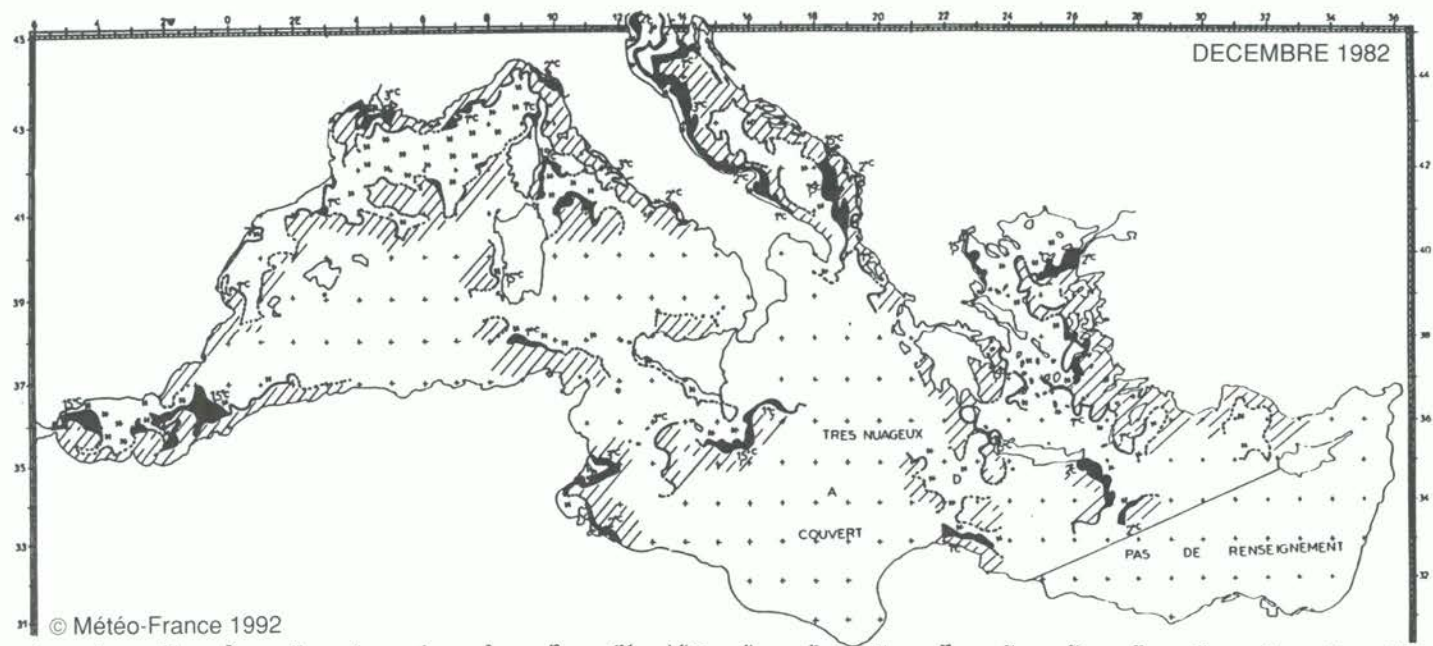


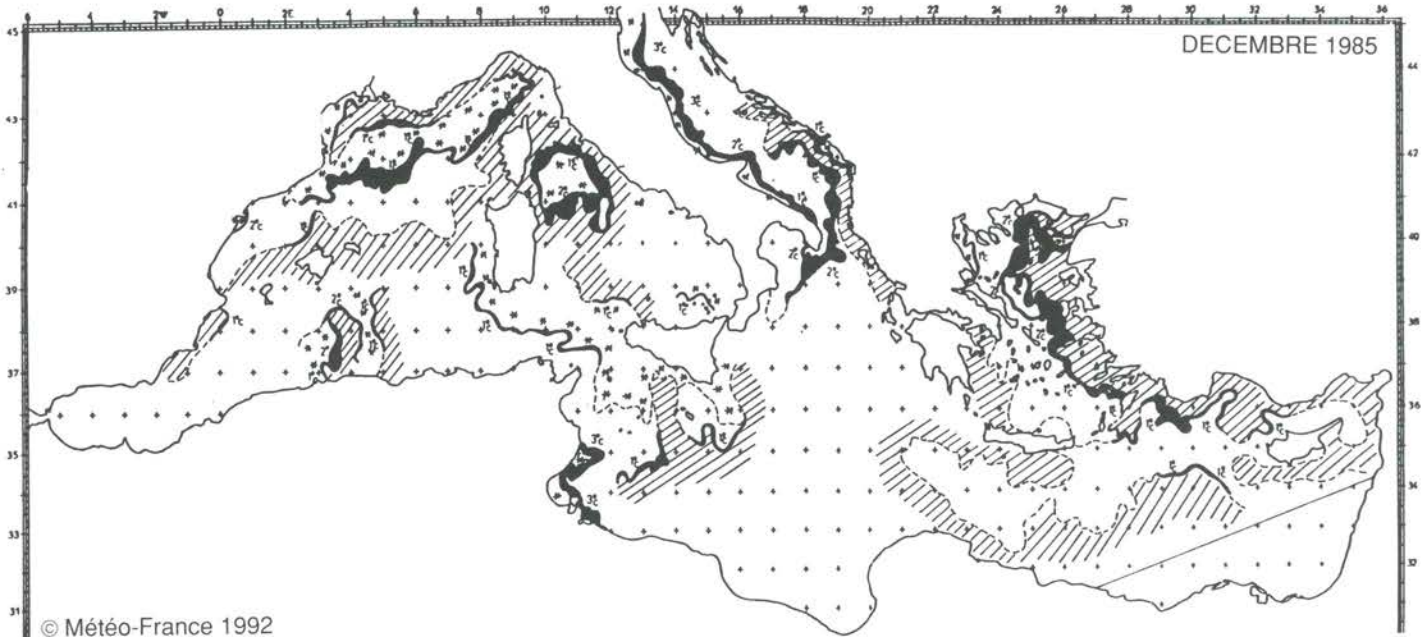
© Météo-France 1992

DECEMBRE

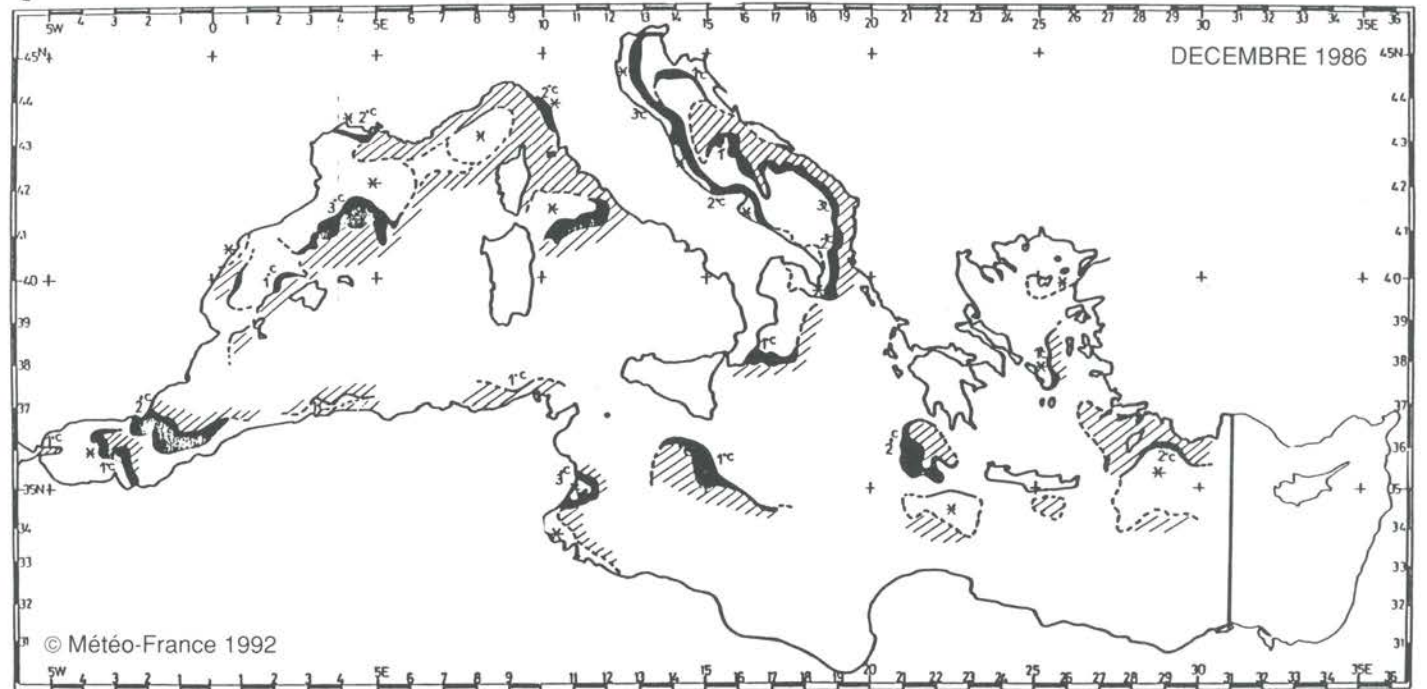
DECEMBER



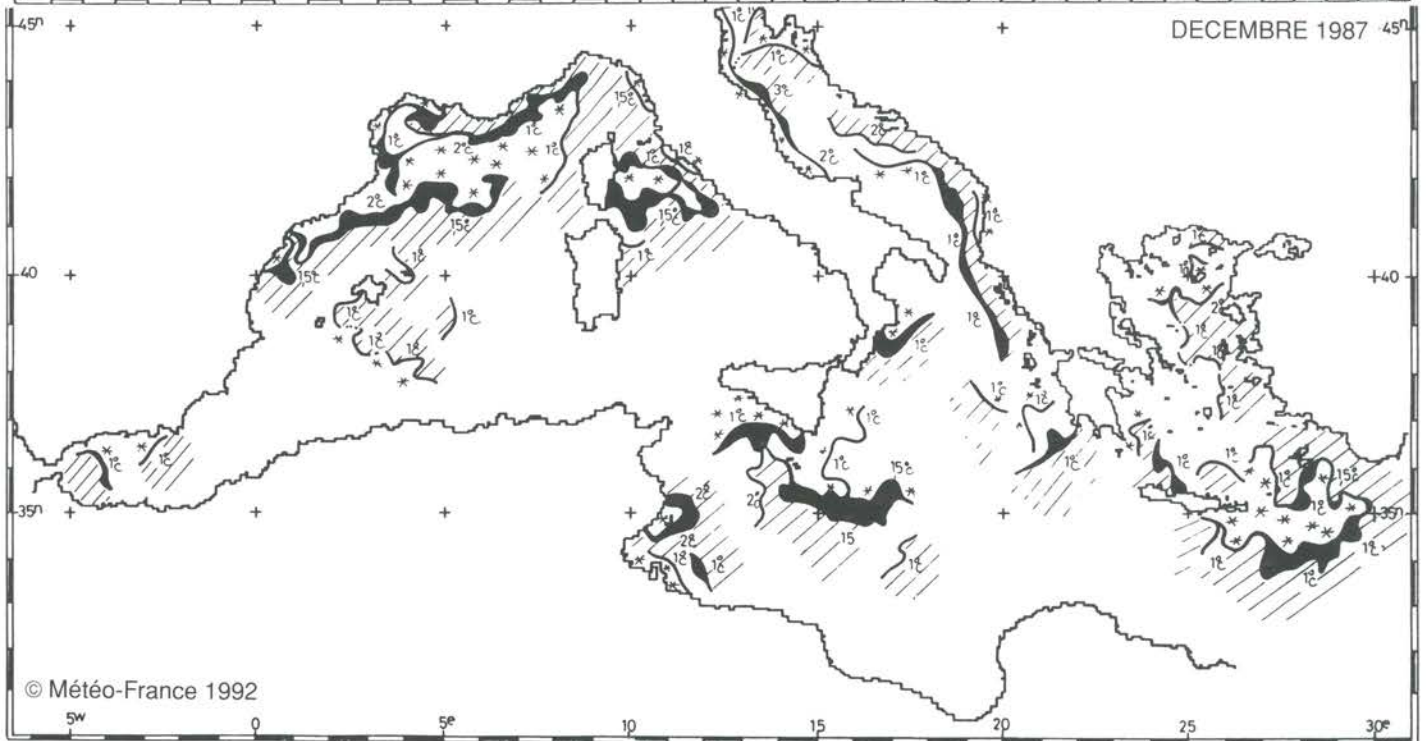




© Météo-France 1992



© Météo-France 1992



© Météo-France 1992

3. Cartes statistiques

La carte des fronts maximaux donne la valeur maximale des gradients de surface. A partir des observations hebdomadaires, ces derniers ont été calculés mensuellement pour la période 1980 - 1986, sur une grille de 15' en latitude et longitude, et sont donnés en °C / 5 km, sur une échelle de 0 à 6.

Les cartes d'occurrence donnent sur la même grille le nombre de semaines pendant lesquelles un front a été observé sans considération d'intensité pourvu qu'elle soit supérieure à 1 °C / 5 km.

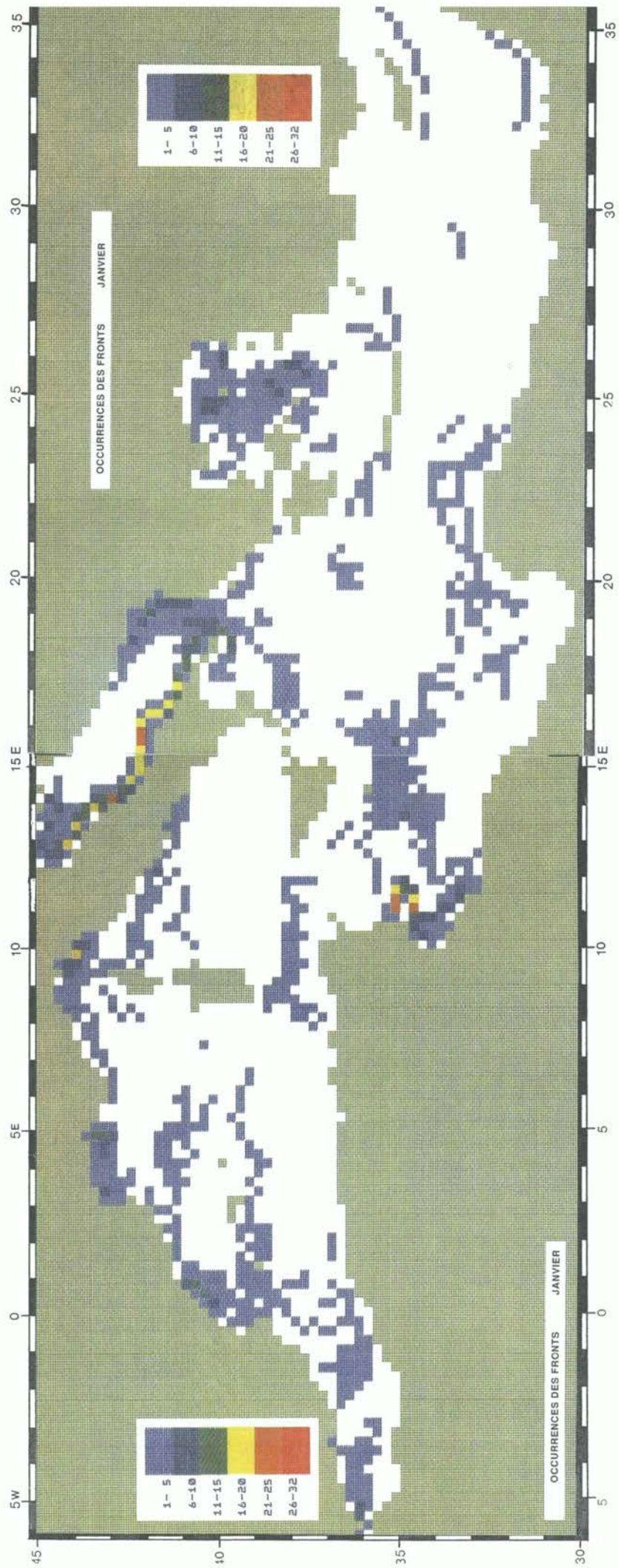
3. Statistical maps

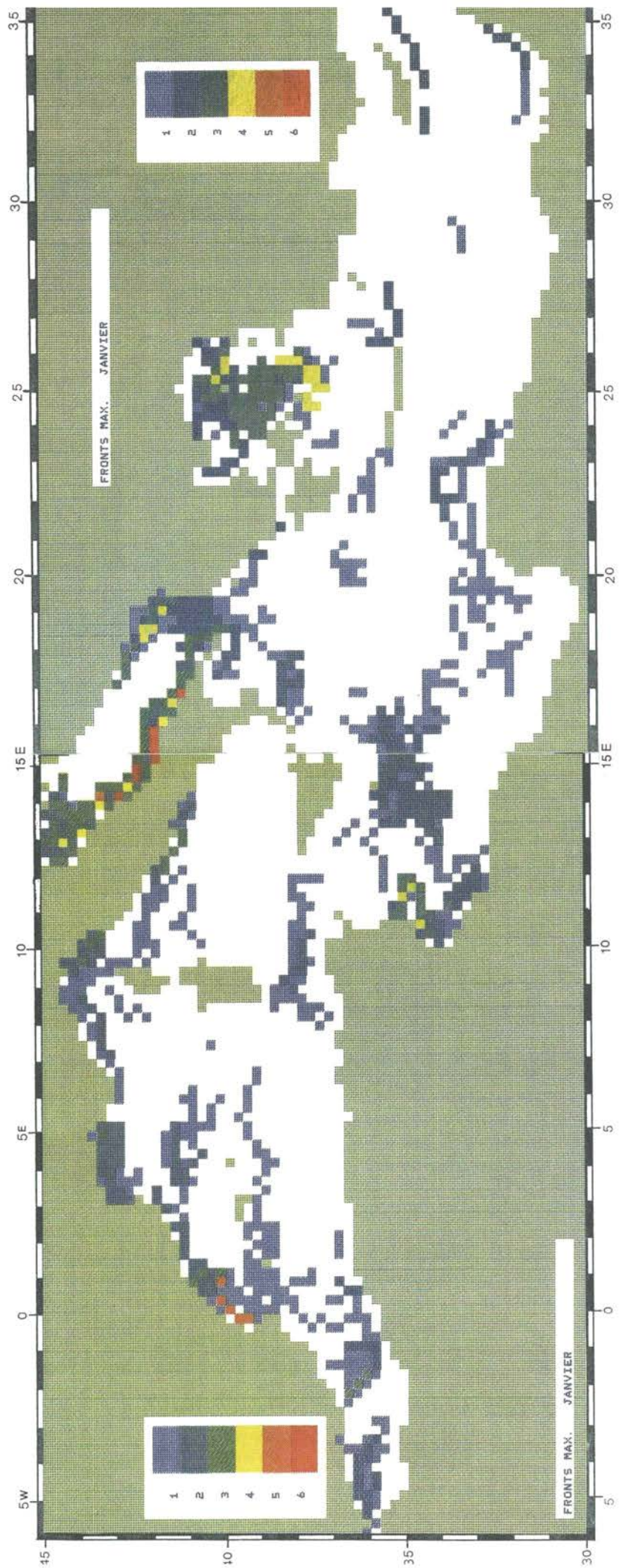
The maximum front maps provide the maximum values of the surface thermal gradients. They have been calculated on a monthly basis from the weekly observations during the period 1980 - 1986. They are displayed on a 15' lat.-15' lon. grid in units of °C / 5 km on a scale from 0 to 6.

The occurrence maps display on the same grid the number of weeks that a front has been observed (without considering its intensity providing it is more than 1 °C / 5 km).

Représentations graphiques mensuelles
des fronts maximaux et des occurrences des fronts

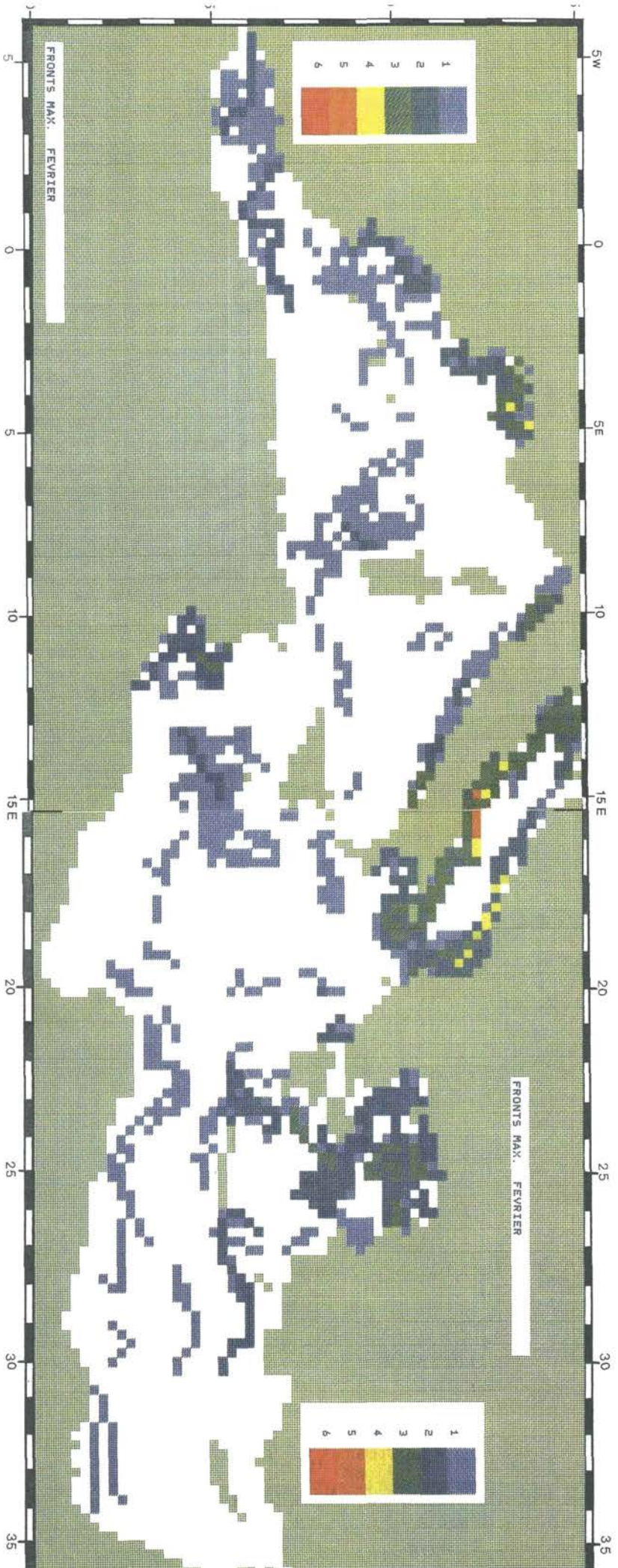
*Monthly Maps of Maximum
Fronts and of Fronts occurrences*



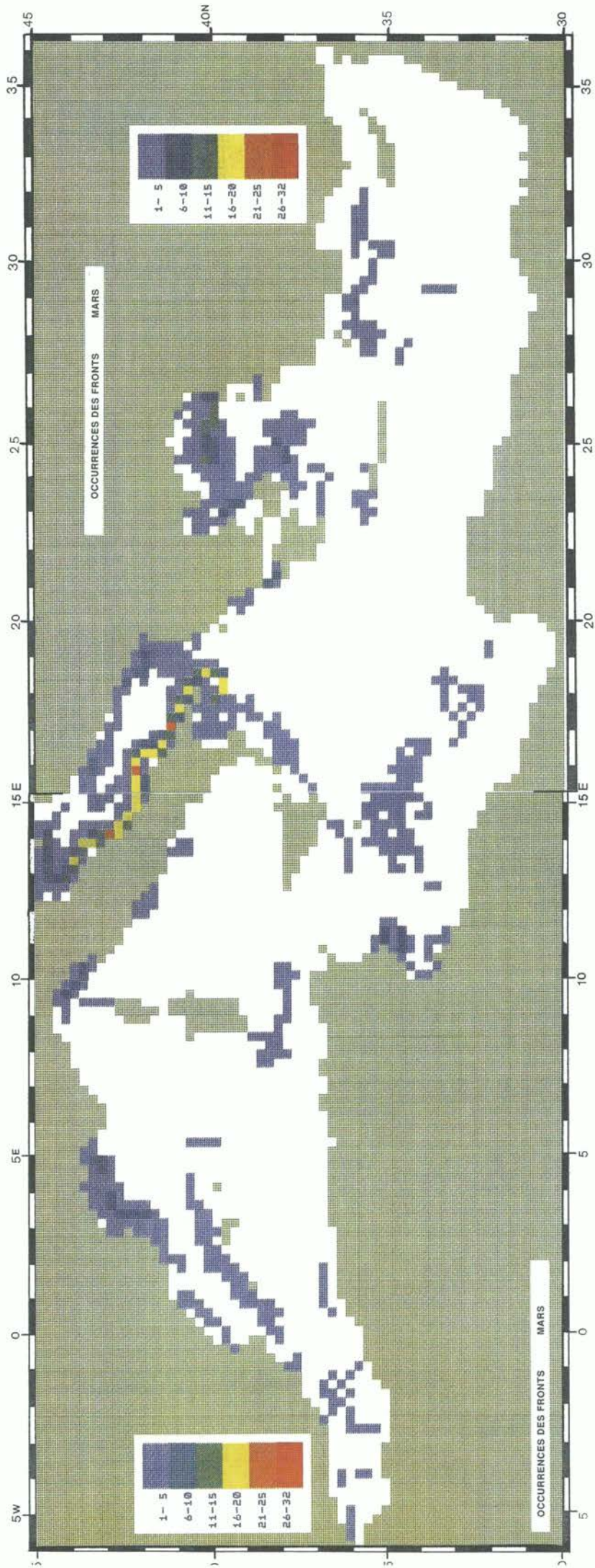


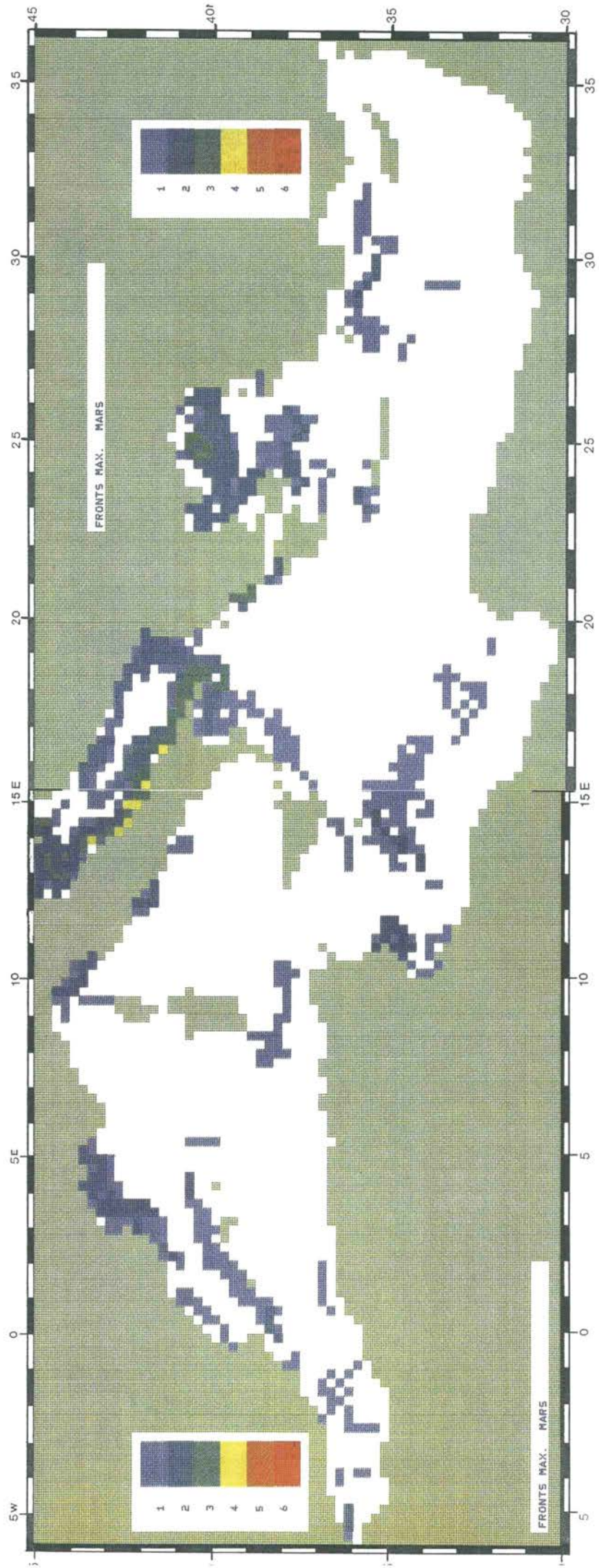
© Météo-France 1992





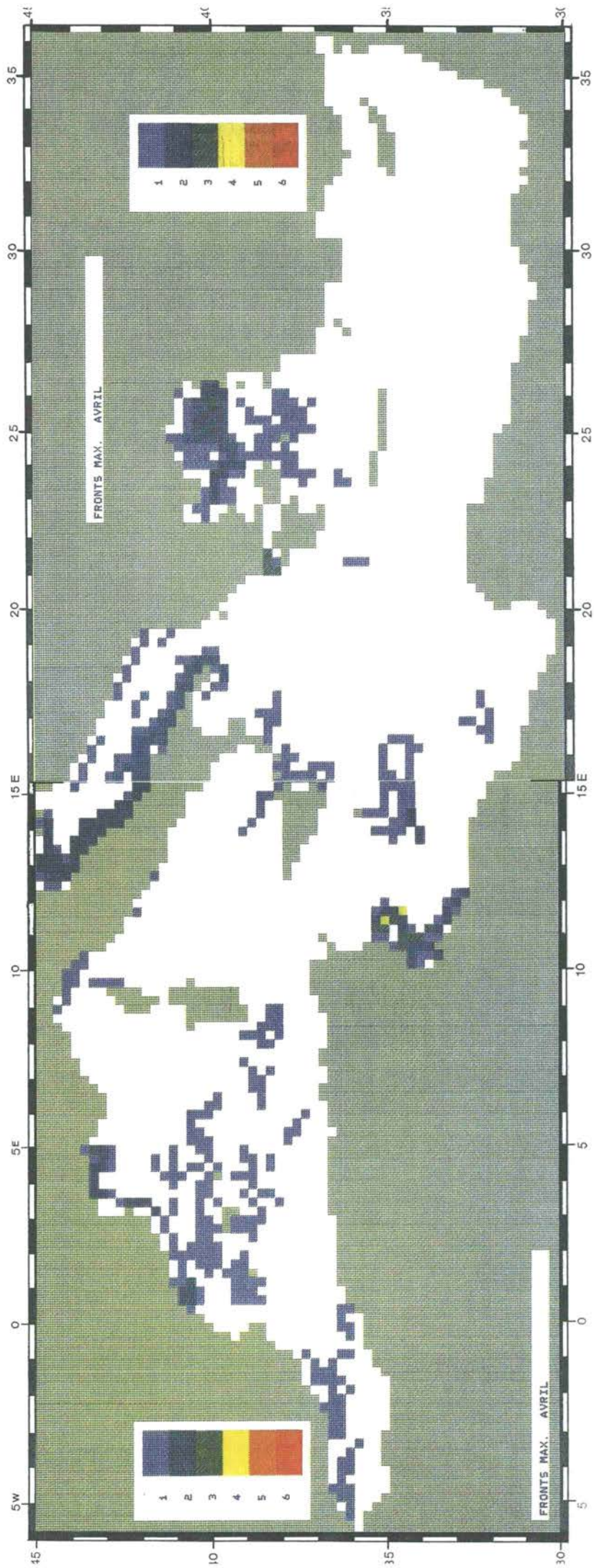
© Météo-France 1992

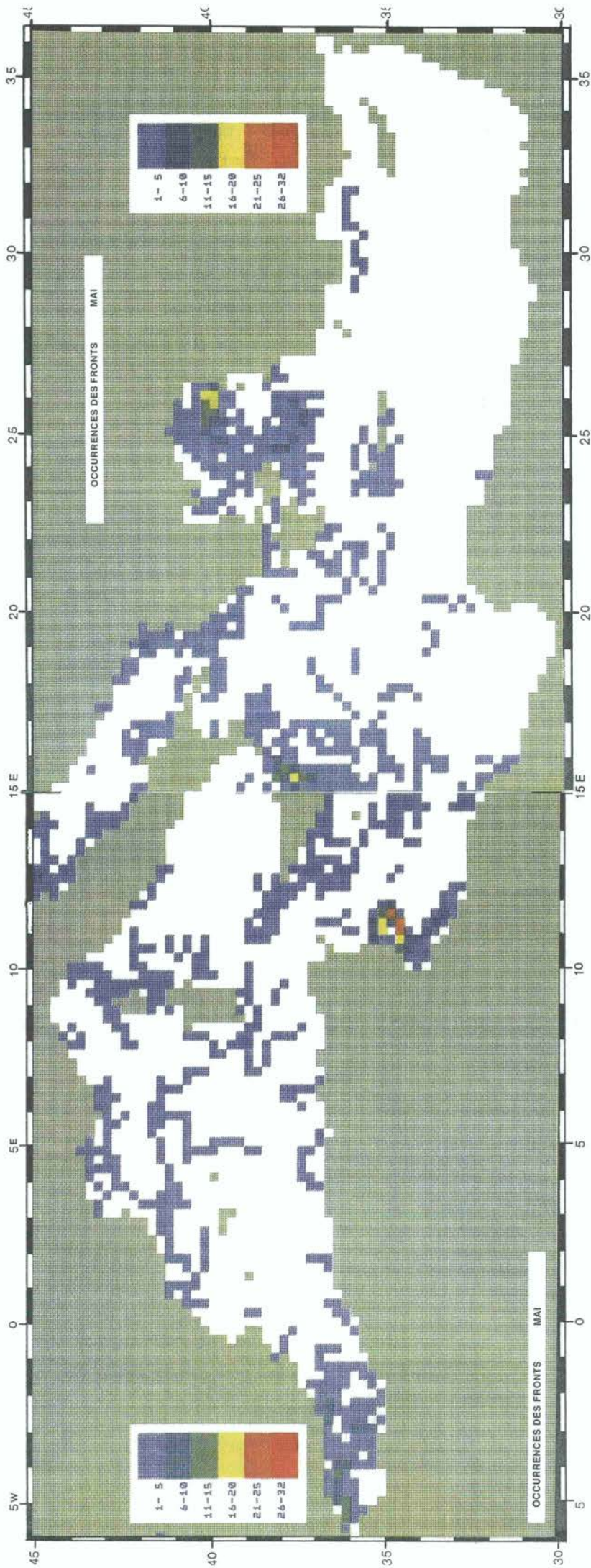




© Météo-France 1992



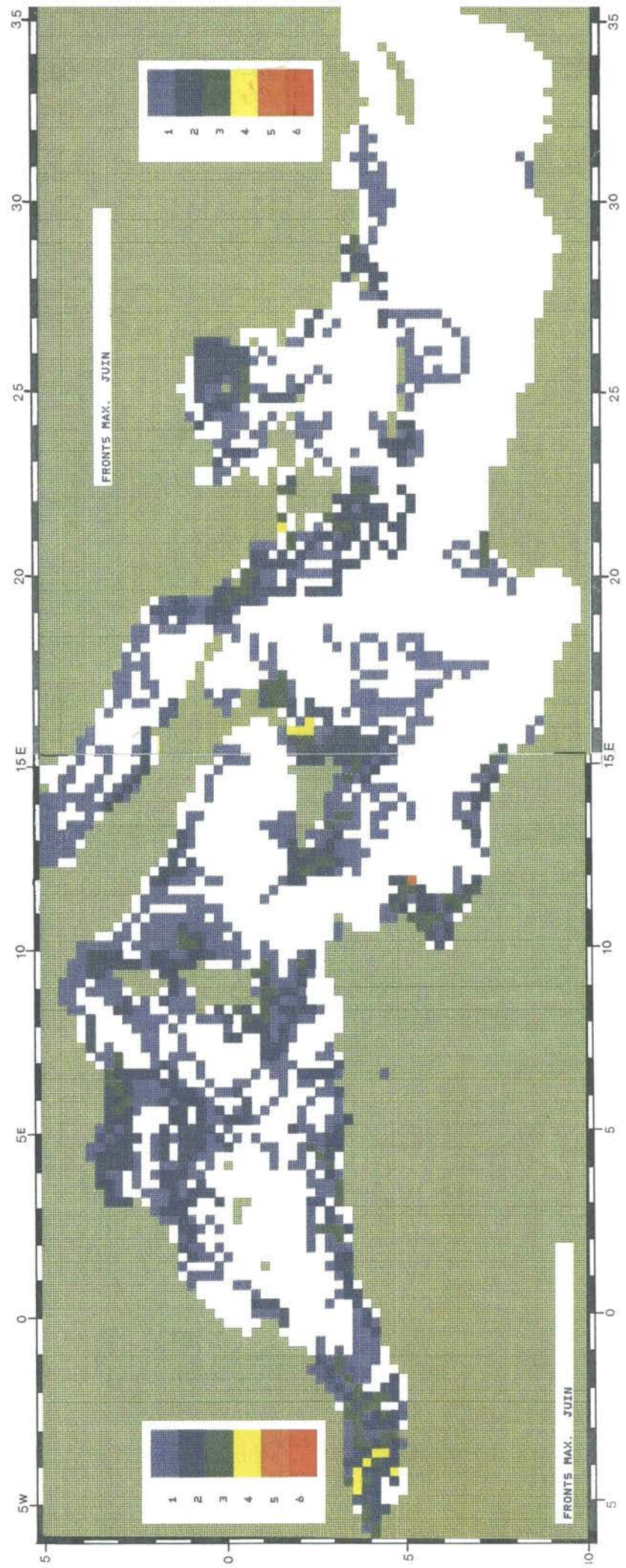




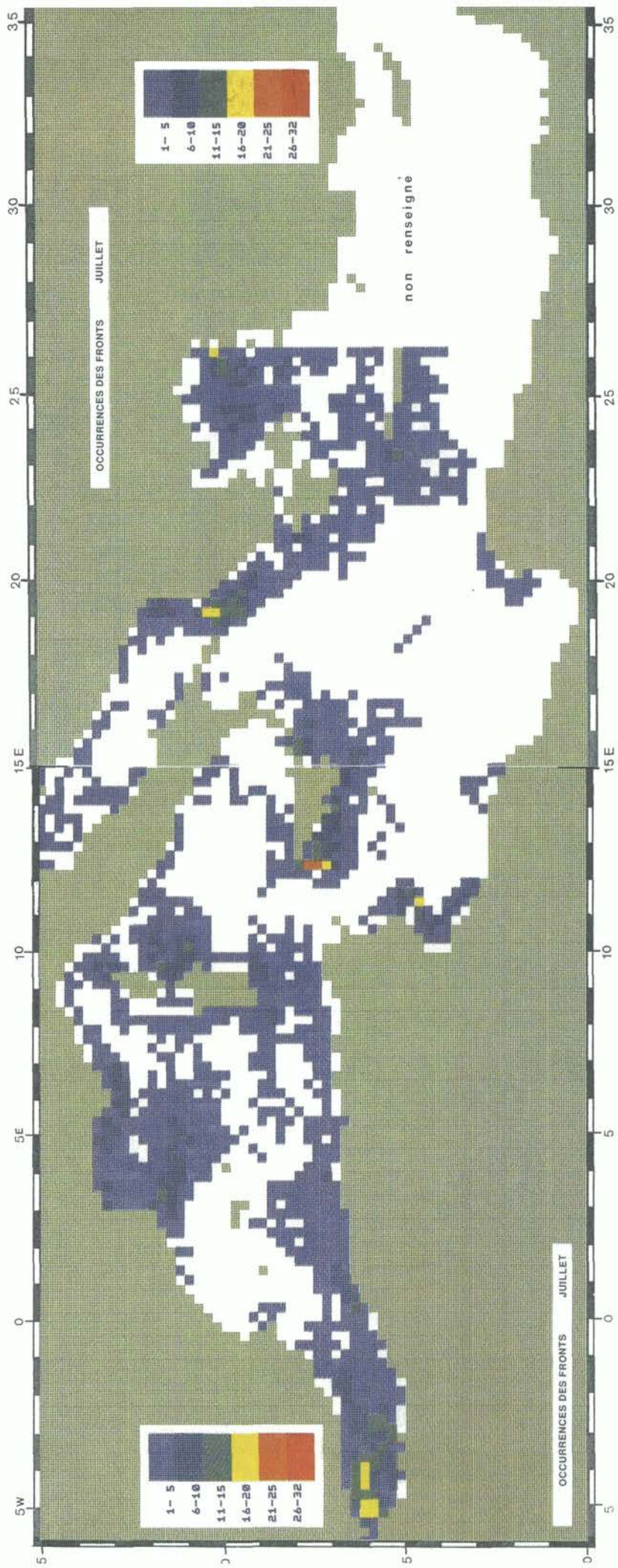


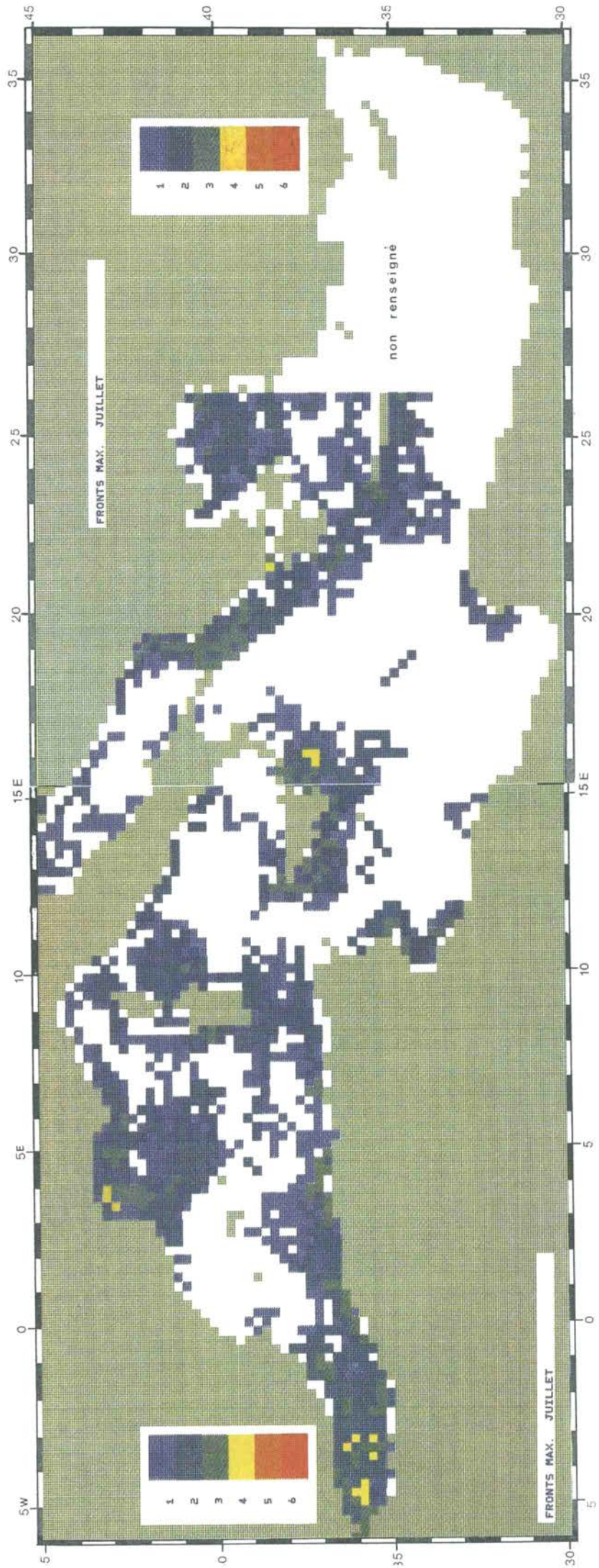
© Météo-France 1992

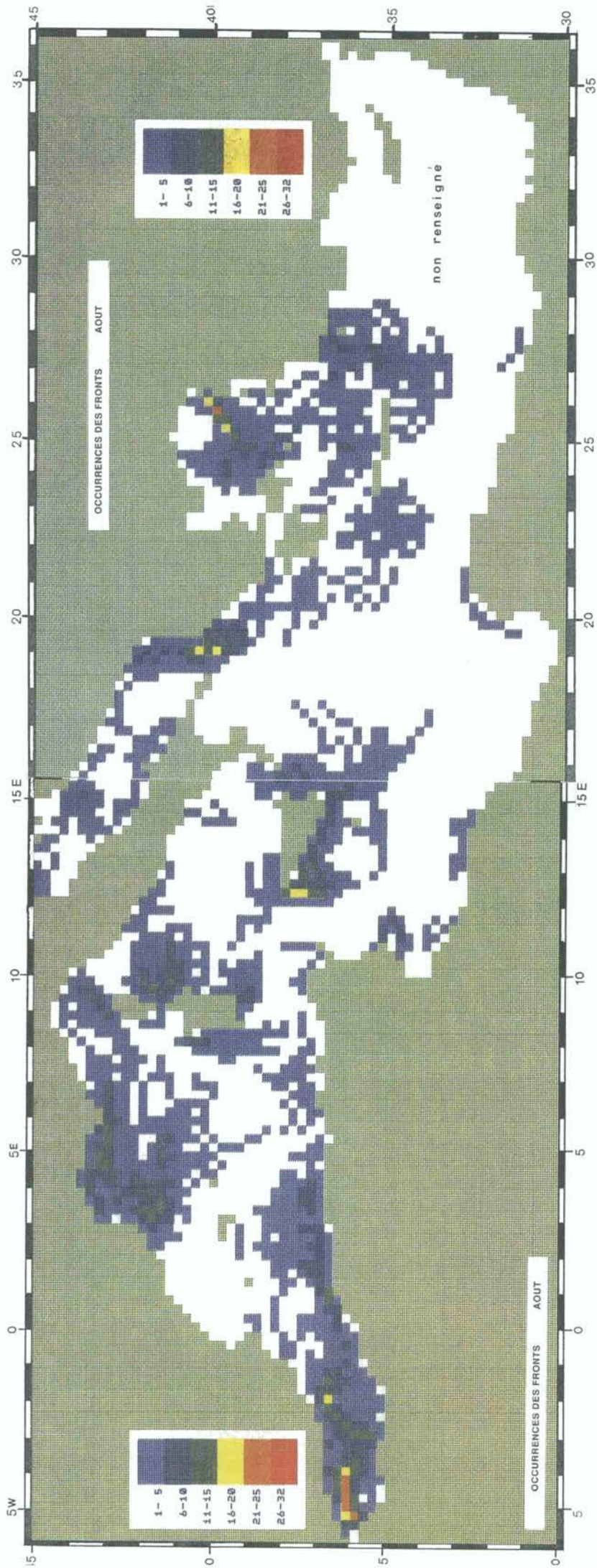




© Météo-France 1992

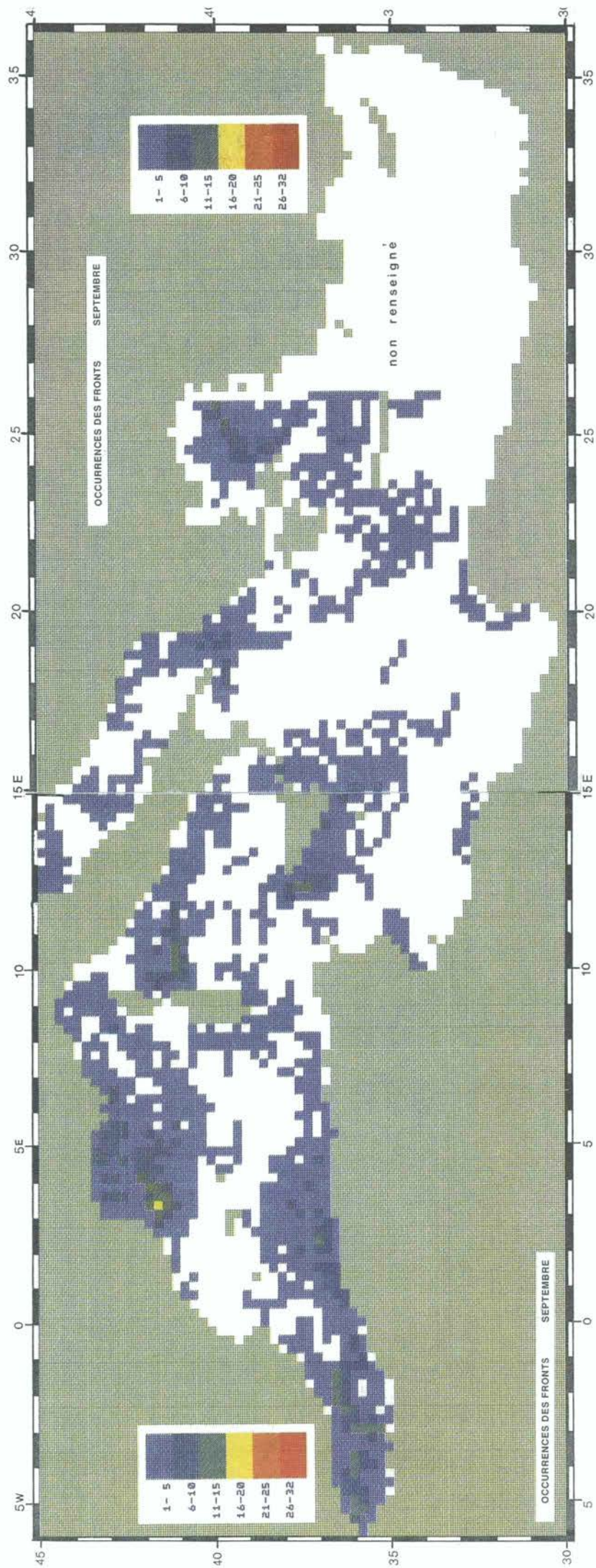


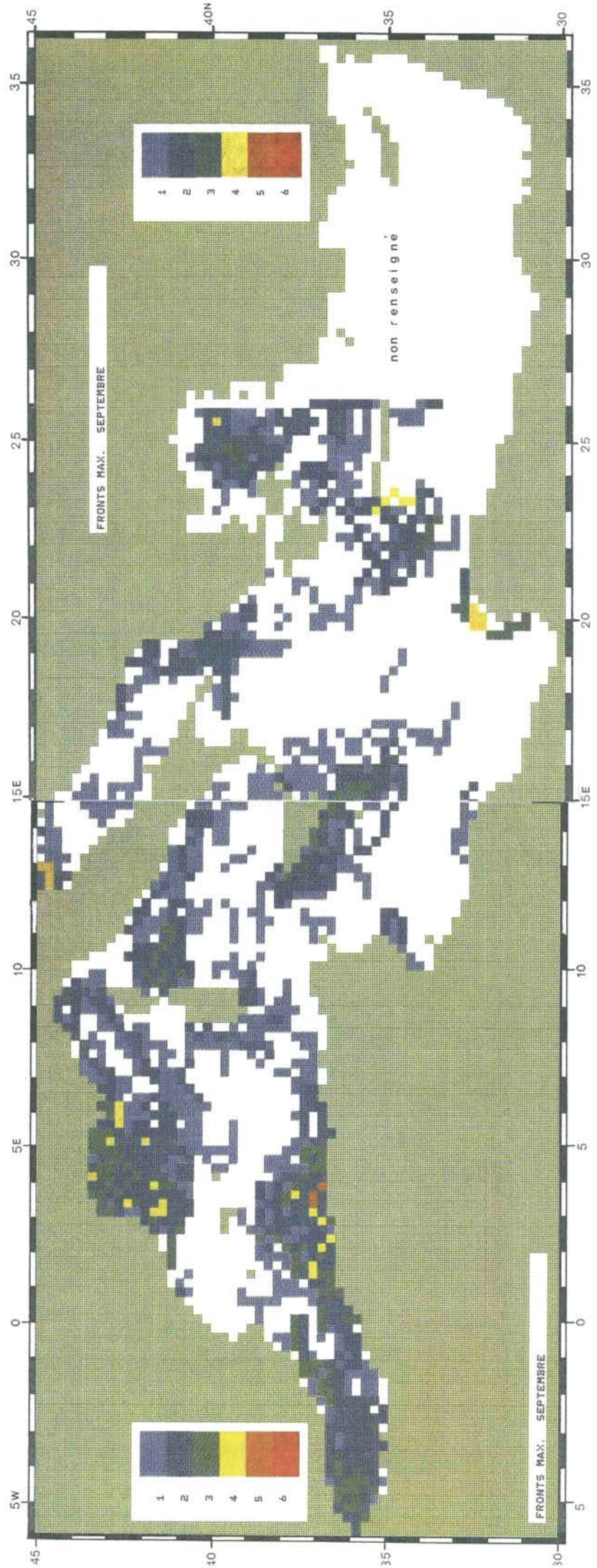


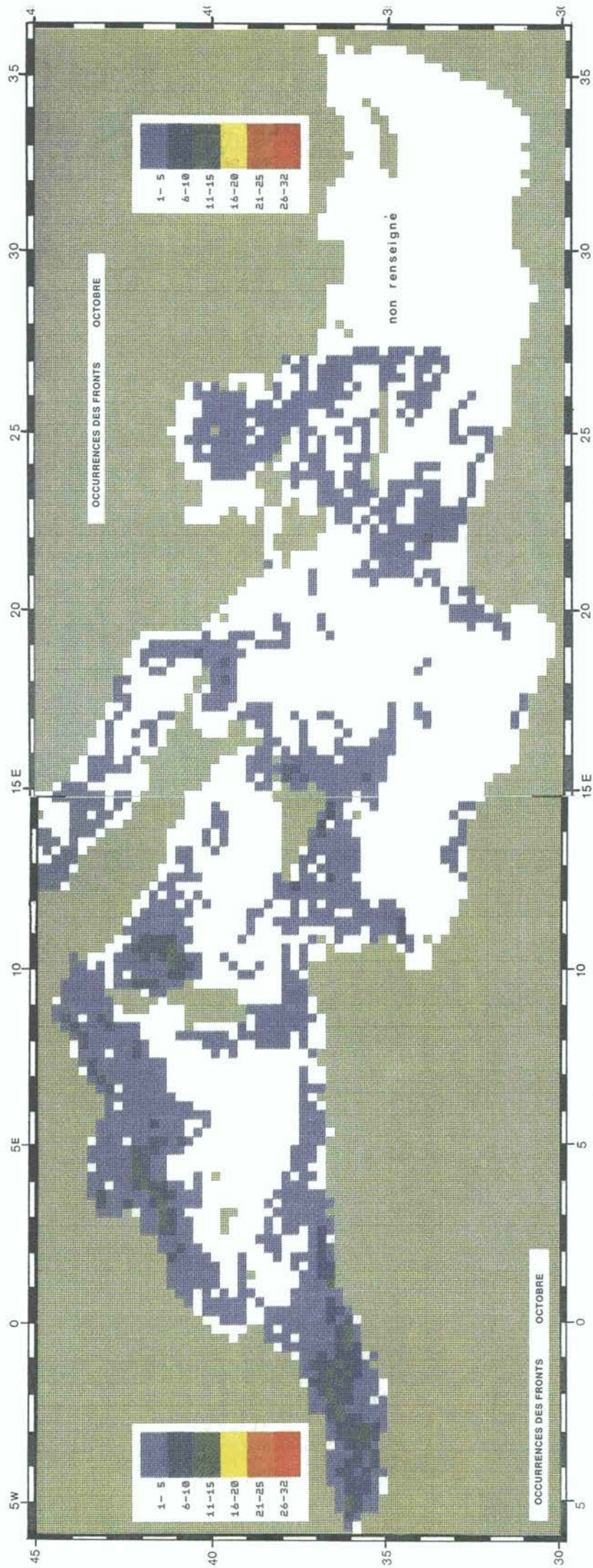


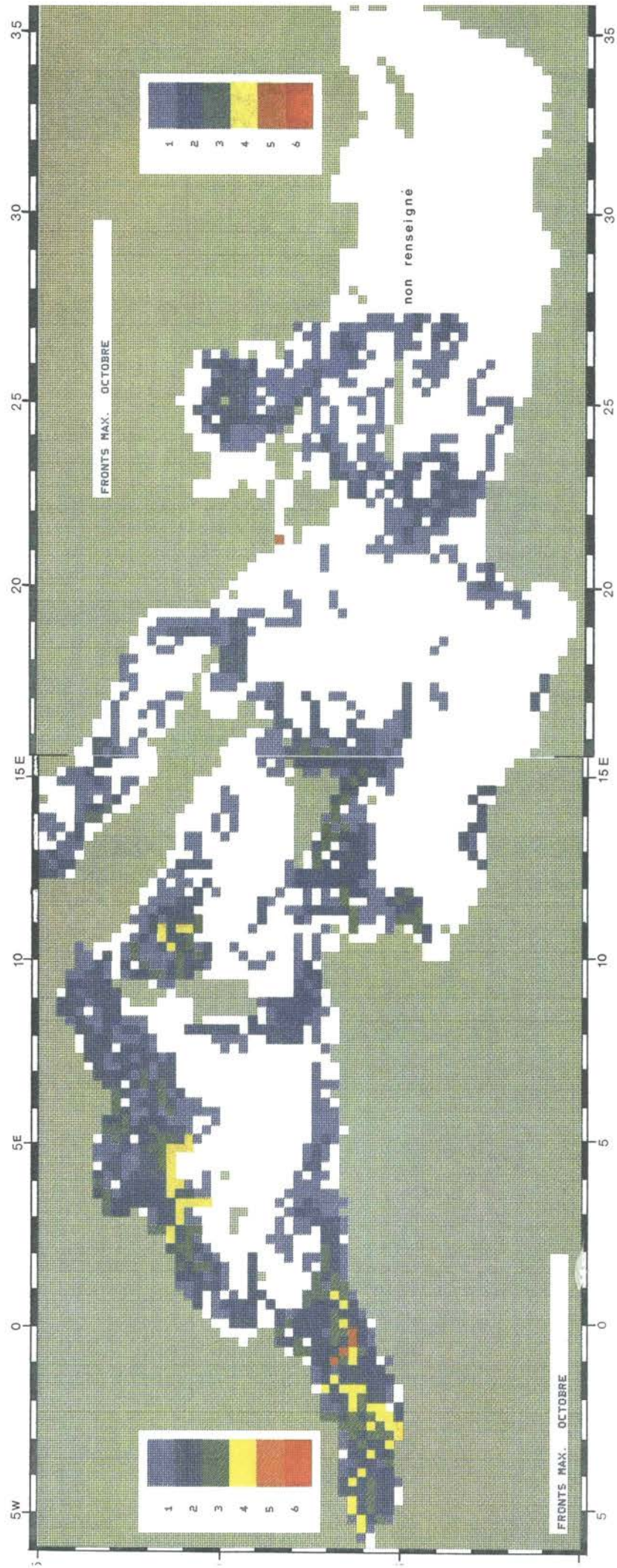


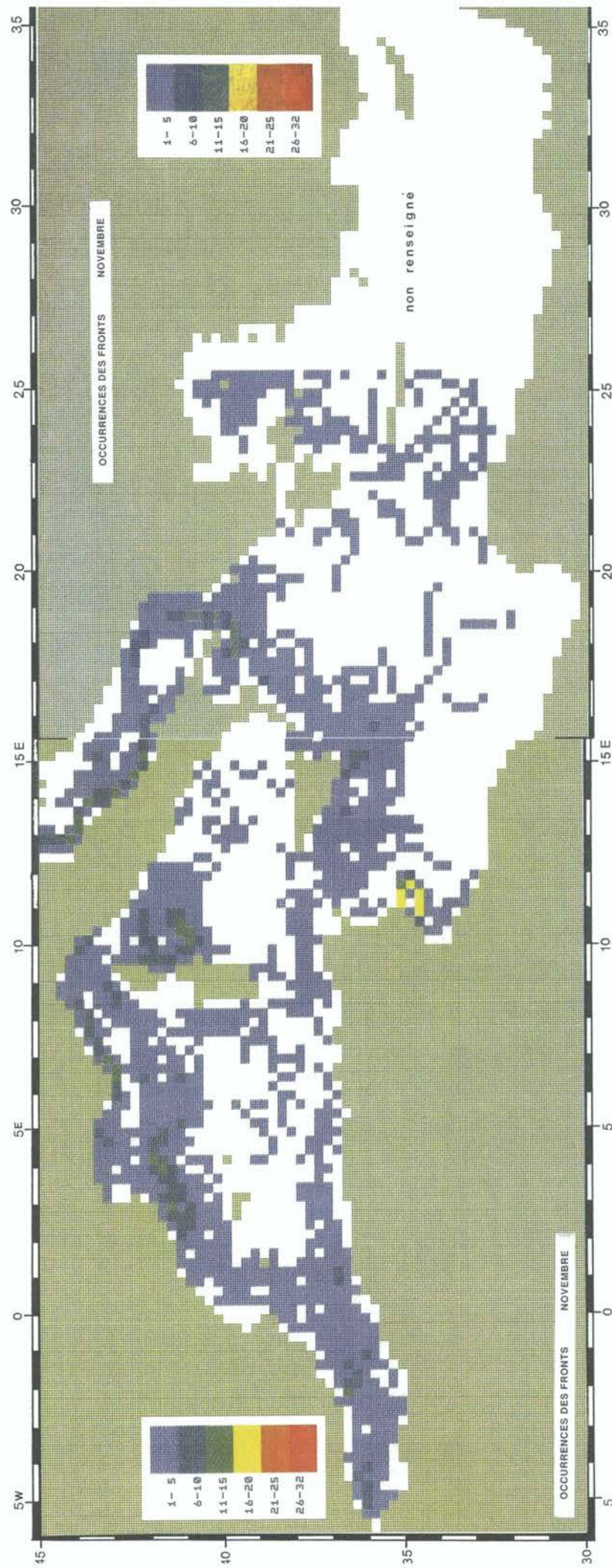
© Météo-France 1992

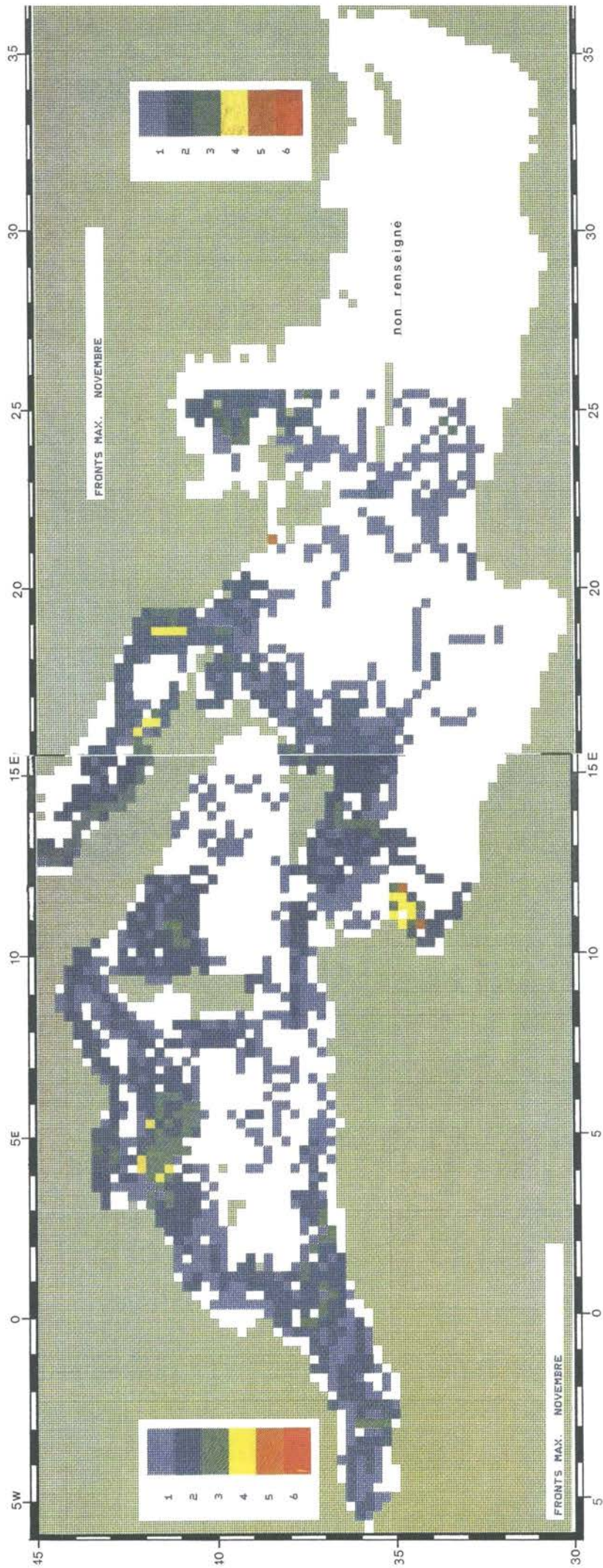


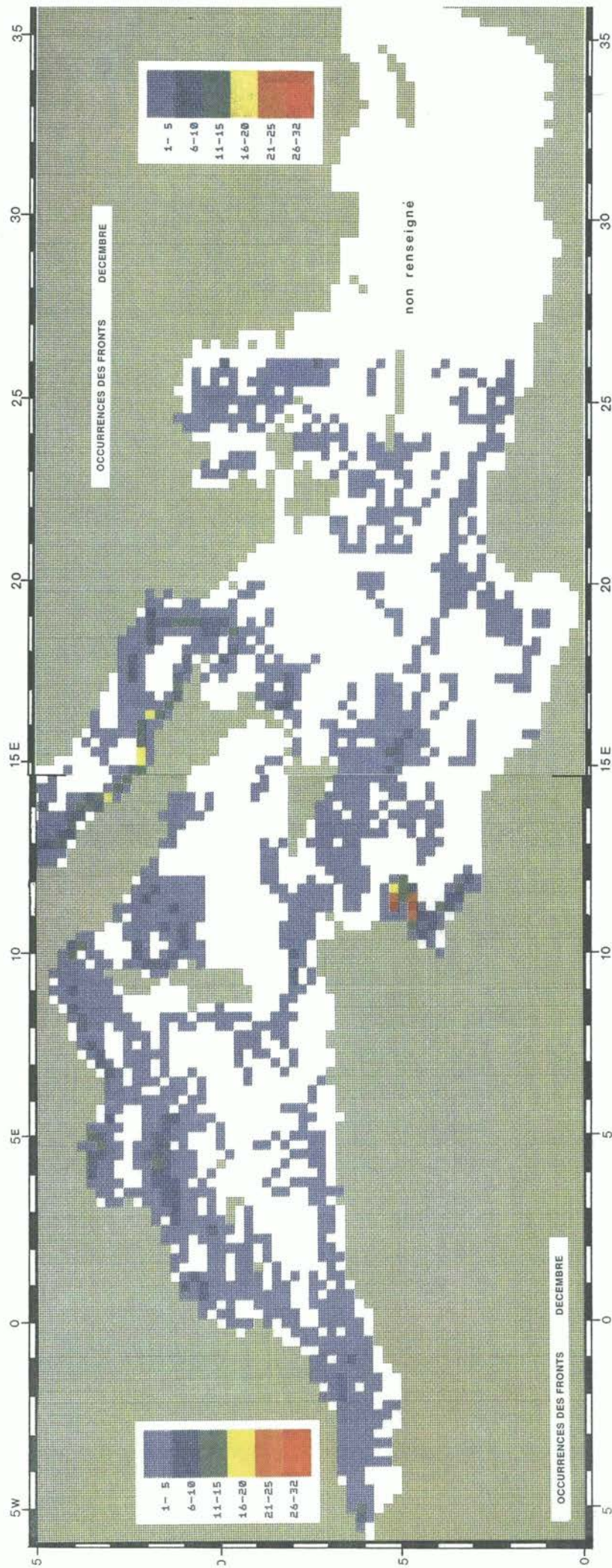


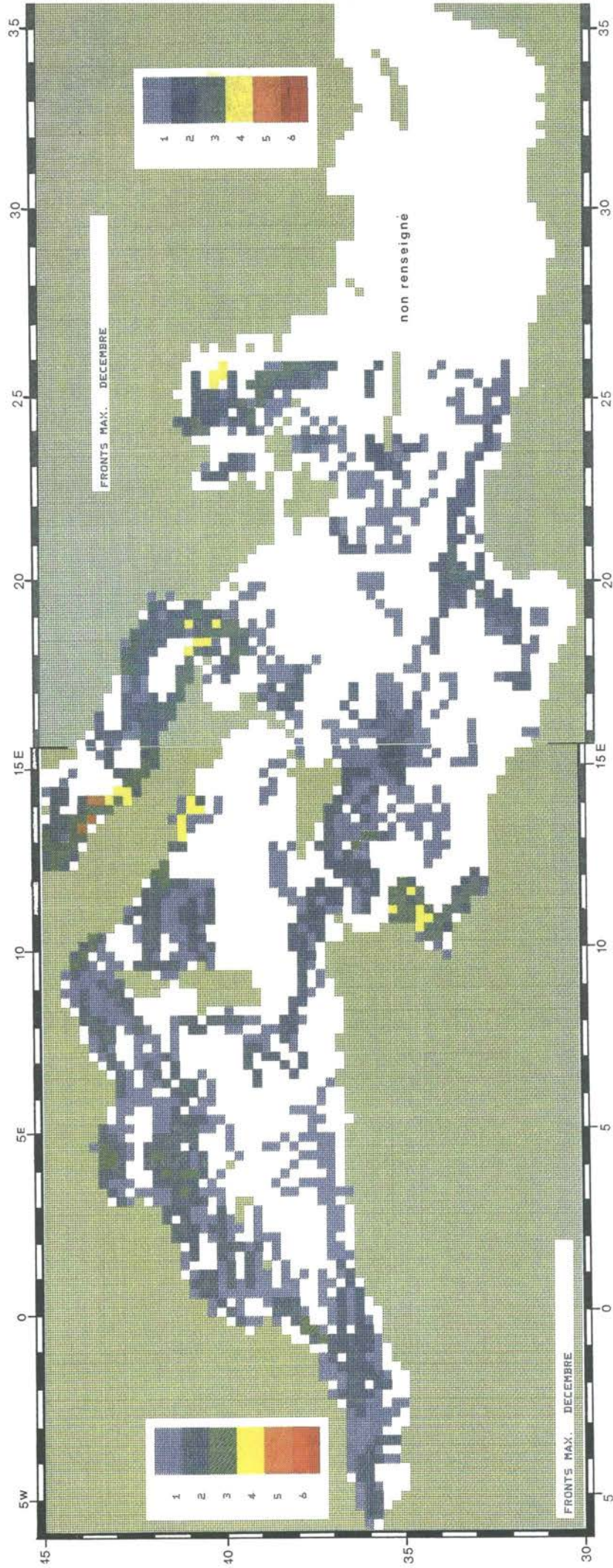












CONCLUSION

L'analyse de quelques images spécifiques et les statistiques présentées dans ce document montrent clairement que les données IR par satellite fournissent une information très significative, et cohérente avec ce qui est connu par les mesures *in situ*, sur les caractéristiques hydrologiques des couches de surface.

A condition que certaines précautions élémentaires soient respectées pour s'assurer que les traits observés sur l'image infrarouge (forme, échelles de temps et d'espace...) correspondent à des phénomènes océaniques, il est également possible de déduire des informations de nature hydrodynamique. De telles informations ont été largement supportées par toutes les expériences au cours desquelles des données *in situ* et par télédétection ont été comparées. De plus, il est maintenant évident que l'information IR disponible sur les bateaux en temps réel est de très grande valeur, en étant même parfois essentielle. Une stratégie d'échantillonnage adaptée aux phénomènes actuels pressentis à partir de l'imagerie IR augmente de beaucoup la qualité des mesures *in situ*.

De telles informations détaillées, peu onéreuses et facilement exploitables devraient être largement utilisées, non seulement par les océanographes physiciens mais aussi par l'ensemble des océanographes. Des comparaisons avec des données visibles montrent que la distribution de la chlorophylle et du contenu en sédiment est souvent étroitement reliée à celle de la température. Le souhait des auteurs est que ce document soit rendu accessible aux spécialistes de toutes les disciplines, en les encourageant ainsi à utiliser ces données de télédétection.

CONCLUSION

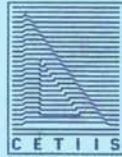
The analysis of some specific images and the statistics presented in this document clearly show that IR satellite data provide us with very significant information about the hydrological characteristics of the surface layers which is consistent with what is known from in situ measurements.

Provided that some elementary precautions are respected to ensure that the features observed in the IR image (shape, time and space scales...) are relevant to oceanic phenomena, it is also possible to infer some dynamical information. Such results have been widely supported by all the experiments during which in situ and remotely-sensed data have been compared. Moreover, it is now obvious that IR information made available to ships in near-real time is extremely valuable, and even essential in some instances. A sampling strategy adapted to the actual phenomena inferred from IR tremendously increases the quality of in situ measurements.

Such detailed, cheap and easily-handled information should be widely used, not only by physical oceanographers but by the whole oceanographic community. Comparisons with visible data show that the distribution of chlorophyll and of sediment content is often closely related to that of temperature. The hope of the authors is that this document is made available to specialists in all disciplines, thereby encouraging them to make use of these remotely-sensed data.

COMITE D.

- M. le Prof. M.A. ALI, Université de Montréal (Canada).
- M. le Prof. J. AUBOUIN, Université Pierre-et-Marie
- M. le Prof. M. BACESCU, Musée Gr. Antipa, P...
- Dr. A. BALLESTER, Instituto de ciencias del mar, Barcelo...
- M. le Prof. B. BATTAGLIA, Istituto di zoologia, anatomia comparata e genetica, Padova (Italie).
- M. le Prof. G. BOILLOT, Station marine, Villefranche-sur-Mer (France).
- Dr. Q. BONE, Marine LABORATORY, Plymouth (Grande-Bretagne).
- M. le Prof. P. BOUGIS, Institut océanographique, Paris (France).
- M. l'Ingénieur général J. BOURGOIN, Service hydrographique et océanographique de la Marine, Paris (France).
- Cdt. J.-Y. COUSTEAU, Fondation Cousteau, Paris (France).
- M. J. DELORME, Paris (France).
- M. le Prof. A. DISTÈCHE, Université de Liège (Belgique).
- M. le Prof. F. DOUMENGE, Musée océanographique, Monaco (Principauté de Monaco).
- M. le Prof. P. DRACH, Laboratoire Arago, Banyuls-sur-Mer (France).
- M. le Prof. M. FONTAINE, Institut océanographique, Paris (France).
- M. G. GRAU, Institut français du pétrole, Rueil-Malmaison (France).
- M. le Prof. A. GUILCHER, Université de Bretagne occidentale, Brest (France).
- M. le Prof. A. IVANOFF, Université Pierre-et-Marie Curie, Paris (France).
- Dr. G. KULLENBERG, Commission océanographique intergouvernementale, Paris (France).
- M. le Prof. H. LACOMBE, Muséum national d'histoire naturelle, Paris (France).
- M. le Prof. L. LAUBIER, Institut océanographique, Paris (France).
- M. le Prof. L. LEGENDRE, Université Laval, Québec (Canada).
- M. le Prof. X. LE PICHON, Collège de France, Paris (France).
- M. le Prof. C. LÉVI, Muséum national d'histoire naturelle, Paris (France).
- Dr. C. MAURIN, Bazoges-en-Pareds (France).
- M. le Prof. J.-M. PÉRÈS, Station marine d'Endoume, Marseille (France).
- M. le Prof. H. POSTMA, Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Texel (Pays-Bas).
- M. le Prof. L. SALDANHA, Universidade de Lisboa (Portugal).
- M. le Prof. E. SEIBOLD, Freiburg (Allemagne).
- M. le Prof. J.-P. TRUCHOT, Université de Bordeaux I, Arcachon (France).



Conception et Réalisation
CETIIS
B.P. 33000
13791 AIX-EN-PROVENCE CEDEX 3
TÉL : (33) 42 60 09 66
FAX : (33) 42 39 89 85

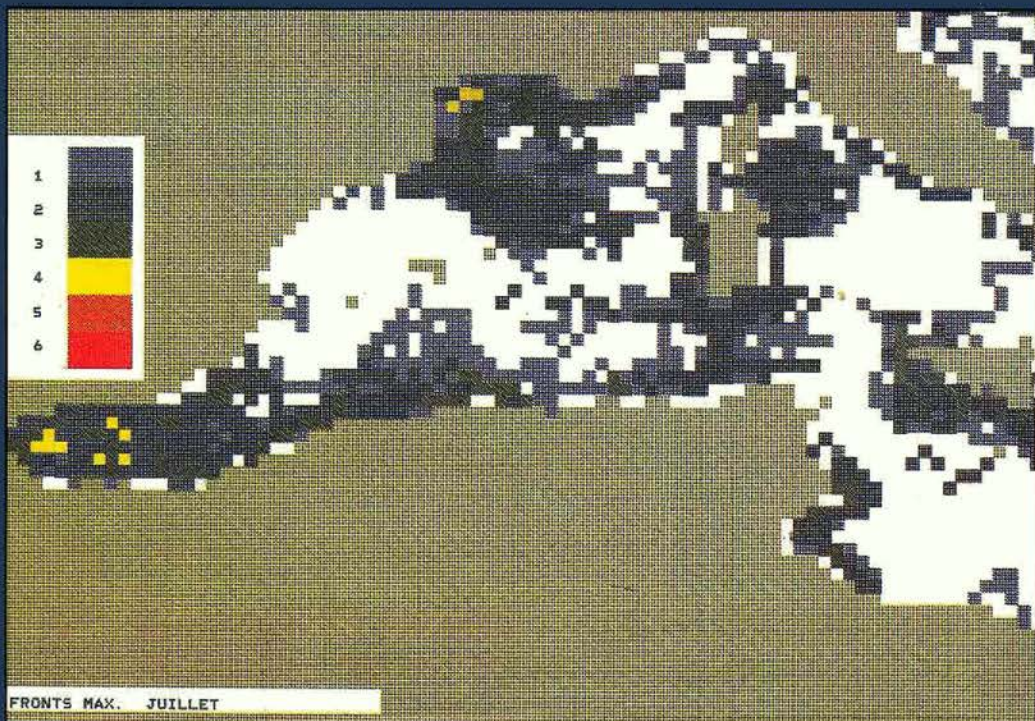
Publié avec le concours financier du
Gouvernement de la Principauté de Monaco

Burimprim - 13240 Septèmes-les-Vallons

ISBN 2-7260-0154-8



Conception et Réalisation
CETIIS
B.P. 33000
13791 AIX-EN-PROVENCE CEDEX 3
TÉL : (33) 42 60 09 66
FAX : (33) 42 39 89 85



Publié avec le concours financier
du Gouvernement de la Principauté de Monaco

Burimprim - 13240 Septèmes-les-Vallons

ISBN : 2-7260-0154-8