

REALISATION D'UN ATLAS DE TEMPERATURES DE SURFACE A ECHELLE FINE SUR LES MERS EUROPEENNES – Période 1987-1994

CREATION OF A SURFACE TEMPERATURE ATLAS OF EUROPEAN SEAS ON A FINE SCALE FOR 1987-1994

Par P.J. LAGOUGE* et P. LE BORGNE*

RESUME

Un atlas de Température de Surface de la Mer (TSM) à échelle fine (2 km de résolution) a été réalisé pour améliorer la détection des nuages sur mer dans l'imagerie satellitaire. Il a été construit à partir des champs mensuels de TSM calculés en routine au Centre de Météorologie Spatiale (CMS) à l'aide des données AVHRR, complétés par les champs similaires produits à la NOAA et des données climatiques conventionnelles. La cohérence de ces données d'origine diverses a été analysée.

On a tenté également de déterminer dans quelle mesure cet atlas pouvait être utilisé pour mettre en évidence des anomalies mensuelles de TSM. Quelques exemples de l'année 1995 indiquent une cohérence d'ensemble entre les anomalies de TSM satellitaires et les anomalies calculées à partir des analyses du modèle de prévision Arpège.

I. INTRODUCTION

La détection des nuages à partir de l'imagerie AVHRR, de nuit, sur mer, est un problème délicat qui n'a pas trouvé encore de solution totalement automatique lorsque l'on utilise l'imagerie infrarouge pour analyser les structures thermiques de la surface de la mer. Le problème consiste en effet à détecter tous les nuages sans masquer les fronts thermiques dont la signature dans l'infrarouge est similaire à celle de la nébulosité fractionnée ou des bords de nuages.

Le calcul de la Température de Surface de la Mer (TSM) à partir de l'AVHRR s'effectue à partir des canaux 4 (11 microns) et 5 (12 microns) de ce radiomètre. La détection automatique des nuages sur l'imagerie AVHRR, de nuit, sur mer comporte 5 tests à seuils, appliqués à chaque pixel de l'image (Derrien et al., 1993). Deux tests retiendront notre attention ici : le seuil sur la température du canal IR à 11 microns (canal 4) et le seuil sur la variance locale de cette température.

Le canal 4 de l'AVHRR présente un minimum d'absorption atmosphérique. Si la température de ce canal est trop faible par rapport aux valeurs normales

ABSTRACT

An Atlas of Sea Surface Temperatures (SST) on a fine scale (2 km resolution) was created to improve detection of clouds above the sea on satellite imagery. It was drawn up from monthly SST fields which are routinely calculated at the Centre de Météorologie Spatiale using AVHRR data, completed by similar fields produced at the NOAA and conventional climatic data. The coherency of these data from various sources has been analysed.

We have also attempted to define to what extent this Atlas could be used to highlight SST monthly anomalies. Some examples from 1995 indicate overall coherency between satellite SST anomalies and anomalies calculated from analyses using the Arpège forecasting model.

I. INTRODUCTION

The detection of clouds from AVHRR imagery, at night, over the sea, is a delicate problem and when infra-red imagery is used to analyse sea-surface thermal structures a completely automatic solution has not yet been found. The problem consists of detecting all clouds without masking thermal fronts whose signature in the infra-red is similar to that of scattered cloudiness or cloud edges.

The calculation of the Sea Surface Temperature from the AVHRR is carried out using channels 4 (11 microns) and 5 (12 microns) of this radiometer. Automatic detection of clouds on AVHRR imagery, at night, over the sea consists of 5 thresholding tests, applied to each pixel of the image (Derrien and al., 1993). Two tests will be described in this paper : thresholding based on the temperature of the IR channel at 11 microns (channel 4) and thresholding based on local variance of this temperature.

Channel 4 of the AVHRR shows minimum atmospheric absorption. If the temperature of this channel is too low compared to normal values for the zone, then a cloud is assumed to be present on the pixel in question. In the current version for the automatic detection

* Météo-France/Service Central d'Exploitation Météorologique – Centre de Météorologie Spatiale, 22302 LANNION

de la zone, on considère qu'un nuage est présent sur le pixel considéré. Dans la version actuelle de la détection automatique des nuages, un seuil minimal sur la température du canal 4 a été déduit d'un atlas mensuel de la Température de Surface de la Mer (TSM) réalisé en temps réel à partir des données de NOAA-09 et NOAA-11 à la résolution spatiale de 1 sixième de degré de latitude et de longitude (15 km à la latitude de la France).

De même une variabilité spatiale élevée de la température du canal 4 est révélatrice de la présence de nuages. Elle peut être aussi induite par la présence de fronts thermiques à la surface de la mer et il n'existe pas de seuil unique permettant de discriminer un phénomène de l'autre. Le seuil sur la variabilité de la température du canal 4 est actuellement en pratique un seuil sur la valeur moyenne des valeurs absolues de la différence de température entre le pixel considéré et ses 4 voisins. Ce seuil devrait être fixé à 0.2 K pour masquer correctement les nuages. Il a été relevé à 0.5 K pour ne pas masquer les fronts thermiques, ce qui laisse non masqués beaucoup de bords de nuages et zones de nébulosité fractionnée. Une correction manuelle de ce masque, fastidieuse, reste donc nécessaire.

Deux solutions simples ont été identifiées pour améliorer la détection automatique des nuages : la constitution d'un atlas de fronts thermiques permettant d'appliquer un seuil local sur la variabilité spatiale de la température de surface (Le Borgne et Marsouin, 1995) et la constitution d'un atlas de TSM plus précis que celui actuellement utilisé dans le schéma automatique. La mise en œuvre de ces solutions devrait réduire sensiblement le travail interactif lié à la correction du masque nuage. Cependant toutes les ambiguïtés ne seront pas levées ; en effet, la présence d'une variabilité spatiale élevée de la température du canal 4 dans une région où la présence de fronts est probable au sens climatologique ne permet pas de conclure nécessairement à l'absence de nébulosité fractionnée. Des techniques de traitement d'images, permettant de coupler détection des nuages et tracé automatique de fronts pourront alors être mises en œuvre. On trouvera un exemple de ce type de technique dans Cayula et Cornillon, 1996.

Deux reproches peuvent être adressés à l'Atlas de TSM actuellement utilisé dans le schéma actuel de calcul du masque nuage sur mer :

1 - Il est alimenté en temps réel, ce qui ne permet pas de corriger les erreurs éventuelles décelées à posteriori par la comparaison avec les mesures in situ.

2 - Sa résolution spatiale (15 km) est médiocre par rapport à la résolution des champs de TSM calculés au CMS (2 km). Le calcul du masque nuage se fait pixel par pixel. On cherche donc à obtenir la meilleure estimation possible de la température minimale admissible du pixel concerné au moment de la mesure radiométrique satellitaire. Notre zone de tra-

of clouds, a minimum threshold based on the temperature of channel 4 has been deduced from a monthly Atlas of Sea Surface Temperature (SST) carried out in real time from NOAA-09 and NOAA-11 data with a spatial resolution of one sixth of a degree in latitude and longitude (15 km at the latitude of France).

Likewise, a high spatial variability in the temperature of channel 4 is an indicator of cloud presence. It can also be induced by the presence of thermal fronts at the sea surface and there is not a unique threshold which enables the distinction to be made between these two phenomena. The threshold based on channel 4 temperature variability is in practice a threshold based on the mean value of the absolute values of the difference in temperature between the pixel in question and its four neighbours. This threshold should be fixed at 0.2 K to correctly mask clouds. It has been raised to 0.5 K to avoid making thermal fronts, which means that a lot of cloud edges and zones of scattered cloudiness remain unmasked. Therefore, it is still necessary to manually correct this mask which is a fastidious process.

Two simple solutions have been identified to improve automatic detection of clouds : the construction of a Thermal Front Atlas enabling a local threshold to be applied to spatial variability and surface temperature (Le Borgne and Marsouin, 1995) and the creation of a SST Atlas which is more precise than the one currently used in the automatic scheme. The application of these solutions should considerably reduce the interactive work linked to cloud mask correction. However, this will not resolve all the problems ; the presence of a high spatial variability in the temperature of channel 4 in a region where the presence of fronts is likely climatically, does not necessarily mean that scattered cloudiness can be ruled out. Image processing techniques, enabling cloud detection to be coupled with the automatic plotting of fronts could then be applied. For an example of this type of technique see Cayula and Cornillon, 1996.

The SST Atlas used in the present calculation of cloud mask over the sea could be criticised on two points :

1 - It is provisioned in real time, which does not allow possible errors to be detected a posteriori by comparison with in situ measurements.

2 - Its spatial resolution (15 km) is mediocre in relation to the resolution of SST fields calculated at the CMS (2 km). Cloud mask calculation is carried out pixel by pixel. Therefore, the best possible estimation of the acceptable minimum temperature of the pixel in question is sought at the moment when the satellite radiometric measurement is taken. Our study zone includes the entire European littoral and North Africa. Many of the thermal structures encountered in these zones are linked to the bathymetry (tidal sea fronts, continental slope fronts, ...) and/or geographical characteristics of the coast (upwellings, estuary plume front, etc.). When they have been drawn up, the spa-

vail englobe la totalité des côtes européennes et d'Afrique du Nord. Beaucoup des structures thermiques rencontrées dans ces zones sont liées à la bathymétrie (fronts de mers à marée, fronts du talus continental,...) et/ou aux caractéristiques géographiques de la côte (upwellings, front de panaches estuariens, etc.). Lorsqu'elles sont établies, la variabilité spatiale de ces structures au cours du mois est souvent très faible (quelques kilomètres). Nous avons donc estimé prudent de ne pas dégrader a priori la résolution spatiale (2 km) des champs d'origine pour le calcul des moyennes climatologiques.

Ce texte décrit la réalisation de l'atlas. Ce travail a nécessité l'utilisation de données d'origines diverses, en particulier celles calculées dans le cadre du projet NASA-NOAA "Pathfinder". Il a été l'occasion de valider plus en détail les températures calculées au CMS et d'analyser la compatibilité de ces données avec des données externes ("Pathfinder", climatologies).

L'objectif premier de l'atlas est d'améliorer la détection des nuages sur l'imagerie AVHRR. Un tel atlas peut également être utilisé pour mettre en évidence les anomalies d'une année particulière par rapport aux conditions moyennes prévalant pendant la période de l'atlas. On examinera dans la dernière partie de cet article quelques exemples de cette utilisation et on en discutera les limites.

Enfin il est important de souligner que l'étude présentée ici n'est que la première étape d'un travail qui est par nature continu, puisque les bases de données concernées s'enrichissent et évoluent sans cesse, au CMS comme à la NOAA.

II. METHODE ET DONNEES DISPONIBLES

Les caractéristiques de l'atlas des TSM recherché sont les suivantes :

La zone géographique concernée est la zone d'acquisition des données AVHRR de Lannion, zone dite RGD (Rectification Grand Domaine), couvrant l'Atlantique Nord-Est et la Méditerranée (cf *figure 1*). On souhaite que l'atlas soit conforme aux caractéristiques des champs de TSM produits par le CMS, soit une résolution de 2 km et une mise en projection stéréopolaire. Enfin il doit contenir au moins les valeurs moyennes et minimales de la TSM pendant la période considérée, calculées sur une base mensuelle.

L'analyse des données disponibles actuellement dans le monde en matière de TSM à échelle fine nous a conduit aux conclusions suivantes :

1 - Il n'existe pas de "climatologies" de TSM satellitaire à échelle fine publiée ou disponible.

2 - Les seules données satellitaires à résolution fine disponibles au moment du démarrage de l'étude étaient les données du projet "Pathfinder". Le projet "Pathfinder" est un projet NOAA, en association avec la NASA, de retraitement des données satellitaires actuellement disponibles pour produire des séries

tial variability of these structures through the month is often very low (a few kilometres). We have therefore estimated it to be prudent not to degrade the spatial resolution (2 km) of the original fields when climatological means are calculated.

This text describes how the SST Atlas was drawn up. Data from various sources had to be used, notably data calculated within the framework of the "Pathfinder" NASA-NOAA project. It was the occasion to carefully validate temperatures computed at the CMS and to analyse the compatibility of these data with data from outside sources ("Pathfinder", climatologies).

The principal aim of the Atlas is to improve cloud detection on AVHRR imagery. Such an Atlas can also be used to highlight anomalies of a particular year in relation to the mean conditions which prevailed during the period the Atlas covered. In the final part of this article, some examples of this will be dealt with and its limits discussed.

Lastly, it is important to underline that this study is only at its first stage since the data bases in question will be enriched and will keep on evolving, both at the CMS and at the NOAA.

II. METHOD AND AVAILABLE DATA

The characteristics of the SST Atlas are as follows :

The geographic zone in question is the Lannion AVHRR data acquisition zone, an RGD (Rectification Grand Domaine) zone, covering the north-eastern Atlantic and the Mediterranean (see *fig. 1*). We would like the Atlas to conform to SST field characteristics produced by the CMS, using 2 km resolution and stereopolar projection. Lastly, it must contain SST mean and minimum values for the period in question, calculated on a monthly basis.

The analysis of data which is currently available in the world in matters of SST on a fine scale has led to the two following conclusions :

1 - There are no published fine scale satellite SST "climatologies".

2 - The only satellite data on a fine scale which were available when this study began were data from the "Pathfinder" project. The "Pathfinder" project is a NOAA project, in conjunction with NASA, which reprocesses currently available satellite data to produce reliable time series of accessible geophysical pro-

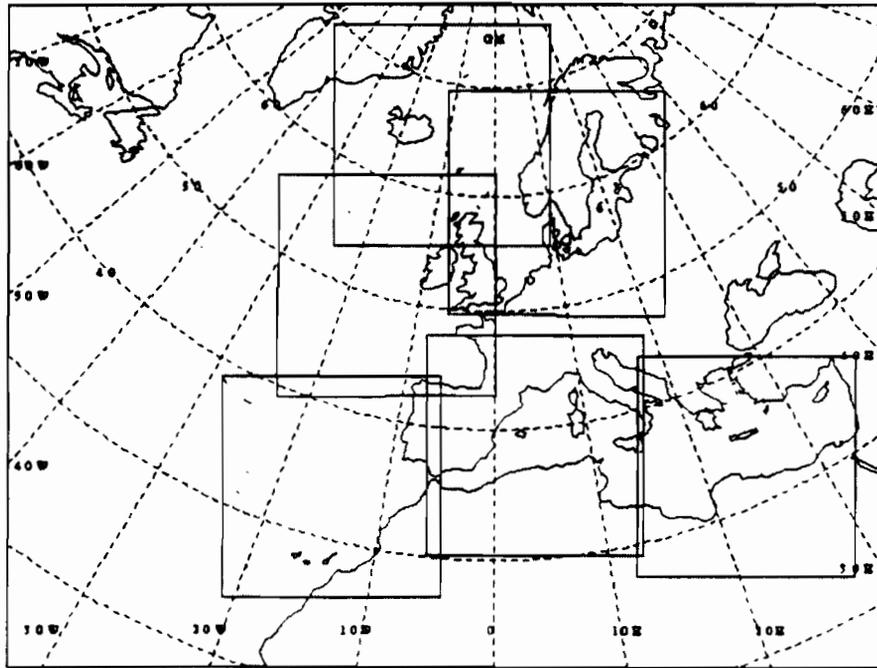


Figure 1 : LES 6 ZONES DE CALCUL DE LA TEMPERATURE DE SURFACE DE LA MER AU CMS.
THE 6 ZONES DEFINED FOR OPERATIONAL SST CALCULATIONS AT CMS.

temporelles fiables de produits géophysiques accessibles à partir de ces données. La TSM est l'un de ces produits (Vasquez et al., 1995) parmi d'autres (Ohring et Booth, 1995). Un effort particulier de recalibration des données AVHRR a été effectué à cette occasion par l'Université de Miami.

La méthode retenue pour constituer l'atlas est donc la suivante :

- Correction des données mensuelles CMS des erreurs observées au cours de l'année, constitution de mois moyens de ces données pour la période janvier 1999 - septembre 1994.

- Utilisation complémentaire des synthèses mensuelles issues du projet "Pathfinder" de la NOAA.

- Utilisation de données climatologiques pour combler les manques éventuels qui subsistent. On trouvera ci-dessous une description rapide des 3 sources de données utilisées dans l'atlas.

II.1. Les données CMS

Le CMS produit de manière opérationnelle des champs de TSM depuis janvier 1989. Dans le cadre de ce projet, nous avons décidé de ne retenir que les données du satellite NOAA-11 du 01/01/1989 au 16/09/94 (fin de l'activité de NOAA-11). L'algorithme opérationnel du CMS a été en effet bien validé sur ces données. D'autre part, quelles que soient les précautions prises, un changement de satellite génère souvent des incertitudes sur la TSM calculée, liées à la différence des caractéristiques spectrales des radiomètres, ou des paramètres de calibration. Nous avons donc exclu l'utilisation des données de NOAA-12 ou NOAA-14.

ducts from these data. The SST is one of these products (Vasquez and al., 1995) among others (Ohring and Booth, 1995). Miami University has recalibrated AVHRR data especially for this purpose.

The method used to draw up this Atlas is as follows :

- Correction of CMS monthly data for errors observed during the year, elaboration of monthly averages from these data for the period extending from January 1989 to September 1994.

- Complementary use of monthly syntheses from the NOAA "Pathfinder" project.

- Use of climatological data to fill in any possible gaps which remain. A rapid description of the 3 data sources used in the Atlas is given below.

II.1 CMS data

CMS has produced SST fields in an operational manner since January 1989. In the framework of this project, we have decided to only use NOAA-11 satellite data from 01/01/1989 to 16/09/94 (end of NOAA-11 activity). The CMS operational algorithm was carefully evaluated using these data. Moreover, whatever the precautions taken, a change in satellite often generates uncertainties in the calculated SST, linked to the difference in the spectral characteristics of the radiometers or in the calibration parameters. Therefore, data from NOAA-12 or NOAA-14 were not used.

La TSM est calculée sur les orbites de nuit. La méthode utilisée était une méthode split window simple (Castagné et al., 1986) de janvier 1989 à août 1991 ; un terme correctif dépendant de l'angle zénithal satellitaire (Antoine et al., 1992) a été introduit alors.

Le calcul de la TSM est effectué à partir des données infrarouge de l'AVHRR reprojétée sur la zone dite RGD. Cette zone (*figure 1*) couvre l'Atlantique Nord-Est et la Méditerranée à 2 km de résolution. Six sous-zones présentées dans la *figure 1* sont extraites de la RGD et font l'objet d'une analyse visuelle visant en particulier à contrôler et éventuellement corriger le

The SST is calculated on night orbits. A simple split window method was used (Castagné and al., 1986) from January 1989 to August 1991 ; a corrective factor depending on the satellite zenith angle (Antoine and al., 1992) was then introduced.

The calculation of SST is carried out from AVHRR infra-red data, reprojected on the zone known as RGD. This zone (*fig. 1*) covers the north-eastern Atlantic and the Mediterranean with a resolution of 2 km. The six sub-zones shown in *fig. 1* were extracted from the RGD and then were subjected to visual analysis to control and possibly correct cloud mask. From now onwards these zones will be referred to as : Cana

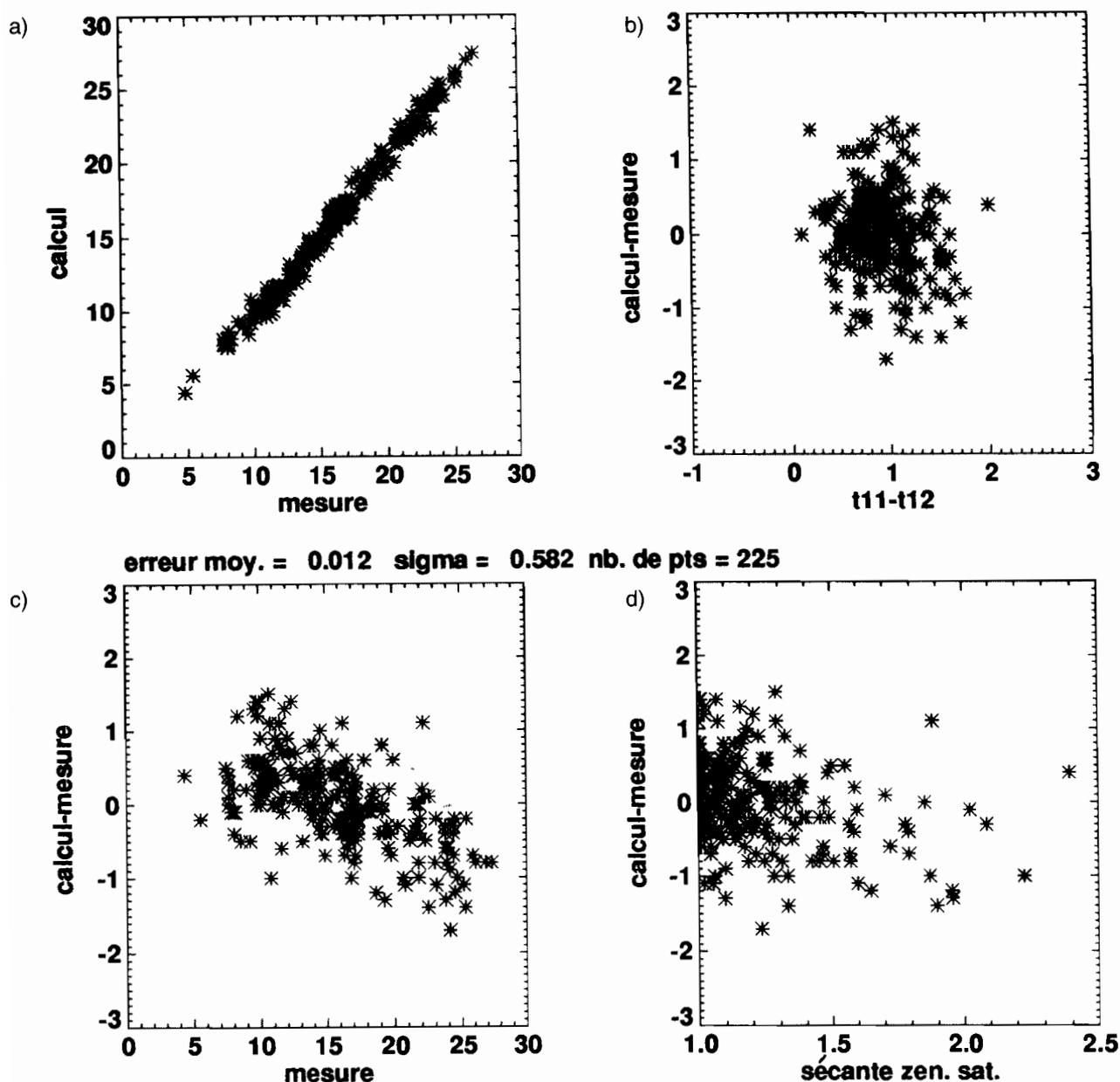


Figure 2 : RESULTATS DE VALIDATION DU CALCUL DE LA TSM AU CMS EN 1990, APRES CORRECTION DE L'ERREUR CONSTANTE DE 0.34C : a) calcul en fonction de la mesure ; b) erreur en fonction de la différence des températures radiatives à 11 et 12 microns ; c) erreur en fonction de la mesure ; d) erreur en fonction de l'angle zénithal satellitaire.
 CMS SST VALIDATION RESULTS IN 1990. THE 0.34C CONSTANT ERROR HAS BEEN CORRECTED. THIS FIGURE SHOWS THE SCATTER PLOTS OF : a) calculations versus measurements ; b) errors (calculation - measurement) versus radiative temperature differences ; c) errors versus measurements ; d) errors versus satellite zenith angle.

masque nuageux. Dans la suite du texte ces zones sont appelées : Canaries (Cana), Golfe de Gascogne (Gasc), Mer du Nord (Mnor), Mer de Norvège (Norv), Méditerranée Occidentale (Mocc) et Orientale (Mori). Un champ hebdomadaire est calculé par médiane des champs quotidiens, ce qui permet de rejeter éventuellement une valeur extrême due à la contamination d'un pixel par un nuage. Un champ mensuel est enfin calculé par moyenne des champs hebdomadaires. L'ensemble du traitement est donc conçu pour éviter autant que possible la contamination des champs de TSM par de la nébulosité non détectée.

Pendant toute la période concernée, les températures quotidiennes calculées au CMS ont été comparées en routine aux données coïncidentes de bateaux et bouées sélectionnés. Des statistiques résumant le comportement annuel de l'algorithme opérationnel sont régulièrement produites. La *figure 2* présente les résultats de 1990. Ils montrent en particulier le défaut principal de nos données : une dépendance de l'erreur en fonction de la température : ce défaut est inhérent à l'approche split-window utilisant un jeu de coefficient unique adapté aux conditions d'absorption atmosphérique moyennes de notre zone. Les résultats de la période 1989-1995 sont donnés dans le *tableau 1*.

Les données CMS présentent de nombreux manques liés à la nébulosité et ne couvrent que les six sous-zones de la RGD ; il est donc nécessaire de les compléter avec des données d'une autre origine.

annnée	89	90	91	92	93	94	95
nb cas	123	225	248	271	463	252	251
biais	0.28	0.01	0.25	-0.03	0.20	0.21	0.40
ecart-type	0.50	0.58	0.74	0.57	0.60	0.69	0.59

Tableau 1 : **RESULTATS DE LA VALIDATION OPERATIONNELLE DE 1989 A 1995. NB : L'erreur constante de 0,34°C observée avant août 1991 est corrigée avant comparaison avec les mesures bateaux.**

Table 1 : **OPERATIONAL VALIDATION RESULTS FROM 1989 TILL 1995. NB : The 0.34C constant error has been corrected before comparison with in situ measurements.**

II.2. Les données "Pathfinder"

Nous souhaitons compléter nos données avec les données les plus semblables possibles. Les seules données satellitaires à résolution "fine" disponibles sont les données du projet "Pathfinder". La base de données TSM "Pathfinder" comporte des champs de TSM de divers types et des fichiers d'intercomparisons bouées + données satellitaires. Les données ayant la meilleure résolution possible sont les températures de surface diurnes (orbites ascendantes) ou nocturnes (orbites descendantes) à 0.088° (latitude et longitude) de résolution. Leur couverture est mondiale. Seules les données nocturnes ont été retenues pour cette étude. Les données quotidiennes, hebdomadaires et mensuelles des années 1987, 1988, 1989, 1990 étaient disponibles au début 1996, date de mise en place de ce travail. L'algorithme utilisé est

(Canaries), Gasc (Gulf of Gasgogne), Mnor (North Sea), Norv (Norwegian Sea), Mocc (Occidental) and Mori (Oriental) Mediterranean. A weekly field is calculated from the median of daily fields, which means that a possible extreme value due to the contamination of a pixel by a cloud can be eliminated. Lastly, a monthly field is calculated from the average of weekly fields. Therefore, all the processing is designed to keep contamination of SST fields with undetected clouds to a minimum.

During the entire period in question, daily temperatures calculated at the CMS were compared as a matter of routine with coincident data from selected ships and buoys. Statistics resuming the annual behaviour of the operational algorithm are regularly produced. *Figure 2* illustrates the results for 1990. They show in particular the major drawback of our data : error dependence as a function of temperature ; this drawback is inherent in the split-window method using a unique coefficient set adapted to the mean atmospheric absorption conditions of our zone. The results for the 1989-1995 period are given in *table 1*.

The CMS data have numerous gaps linked to cloudiness and only cover the six sub-zones of the RGD ; they therefore had to be completed with data from another source.

II.2. "Pathfinder" data

We wanted to complete our data with data which was as similar as possible. The only satellite data which was available at a "fine" resolution were those from the "pathfinder project". "Pathfinder" data includes various types of SST fields and match up data bases. The data with the finest resolution are day-time (ascending orbits) or night-time (descending orbits) surface temperatures at 0.088 degrees (latitude and longitude) of resolution. Their cover is worldwide. Only nighttime data has been used in this study. When we began our study in early 1996 only daily, weekly and monthly data for 1987, 1988, 1989, 1990 were available. The split-window algorithm used in the Pathfinder project was similar to the one used at the CMS. The coefficients of this algorithm are however variable as a function of atmospheric absorption,

algorithme split window similaire à celui utilisé au CMS. Les coefficients de cet algorithme sont cependant variables en fonction de l'absorption atmosphérique, ce qui évite le défaut rencontré sur les données CMS. Ils sont de plus déterminés annuellement à partir de régressions menées sur les données in situ. On trouvera dans Vasquez et al., 1995, plus de détails sur cet algorithme. La précision indiquée de ces données est de 0.5 à 1°C (NOAA/NASA, 1997).

Ces données, comme toutes données de TSM issues de la radiométrie infrarouge, présentent des manques dus à la nébulosité.

II.3. Données climatologiques

Les données climatologiques classiques ont été utilisées en dernier recours pour constituer des champs finaux absolument complets. Dans le cadre de ce projet nous avons utilisé la climatologie de Reynolds (Reynolds et Smith, 1995) ; elle assimile données conventionnelles et données satellitaires. Cette climatologie, disponible à la NOAA, contient des TSM mensuelles sur l'ensemble du globe en projection cylindrique équidistante à 1 degré de résolution.

III. SYNTHÈSE DES DONNÉES CMS

III.1. Corrections des données initiales

Les erreurs que présentent les données CMS sont les suivantes :

1 - une erreur résultant de l'absence de correction fonction de l'angle zénithal satellitaire, du 01/01/89 au 02/08/91.

2 - une erreur résultant d'une mauvaise introduction du terme en angle zénithal du 02/08/91 au 05/12/91.

3 - une erreur constante due à une erreur informatique (TSM effectivement présente dans les données = TSM calculée - 0.34°C), du 01/01/89 au 02/08/91.

4 - une erreur fonction de la TSM elle-même, qui résulte de l'emploi d'un algorithme split-window adapté aux latitudes moyennes.

Ces erreurs sont faibles (quelques dixièmes de degré) et n'ont guère de conséquences sur l'utilisation quotidienne opérationnelle des données. Mise à part l'erreur 3, elles sont présentes dans le *tableau 1*, qui donne des résultats similaires à ceux des algorithmes opérationnels de la NOAA (McClain, 1989).

Dans le cadre de la réalisation de l'atlas, on a cherché cependant à effectuer toutes les corrections possibles.

Les erreurs 1 et 2, dépendant de l'angle zénithal satellitaire, concernent les années 1989, 1990 et 1991. Elles peuvent se corriger à partir des calculs quotidiens, mais non à partir des moyennes mensuelles. On peut considérer que ce problème, limité aux angles zénithaux satellitaires élevés (voir Antoine

which avoids the shortcoming encountered on CMS data. Moreover, they are calculated yearly from regressions carried out on in situ data. This algorithm is described in detail in Vasquez and al., 1995. The indicated accuracy for these data is between 0.5° and 1°C (NOAA/NASA, 1997).

These data, like all SST data provided by infra-red radiometry, contain gaps due to cloud cover.

II.3. Climatic data

Conventional climatic data were used as a last resort to complete the final fields. In this project, Reynolds Climatology (Reynolds and Smith, 1995) was used ; it assimilates conventional data and satellite data. This climatology which is available at the NOAA, has monthly SST for the whole globe in an equidistant cylindrical projection with a resolution of 1 degree.

III. SYNTHESIS OF CMS DATA

III.1. Initial data corrections

Errors in CMS data are as follows :

1 - an error resulting from the satellite zenith angle not being corrected from 01/01/89 through 02/08/91.

2 - an error resulting from a badly introduced zenithal angle factor from 02/08/91 through 05/12/91.

3 - a constant error due to a computing error (SST really present in the data = calculated SST - 0.34°C) from 01/01/89 through 02/08/91.

4 - an error function of the SST itself, which resulted from the use of a split-window algorithm adapted to mid-latitudes.

These errors are low (some tenths of a degree) and have hardly any bearing on the operational daily use of data. Apart from error 3, they are present in table 1, which gives similar results to those of NOAA operational algorithms (Mc-Clain, 1989).

In the framework of the creation of this Atlas, we have tried to carry out all possible corrections.

Data from 1989, 1990, and 1991 are subject to errors 1 and 2, depending on the satellite zenithal angle. These errors can be corrected from daily calculations but not from monthly means. One can consider that this problem, linked to the high satellite zenithal angles (see Antoine and al., 1992 and *figure 2*) is atte-

et al., 1992 et la *figure 2*) est atténué par le calcul de la médiane hebdomadaire préalable au calcul des moyennes mensuelles. La distribution des angles zénithaux satellitaires élevés, fonction de la configuration de chaque orbite, est en effet aléatoire sur notre zone. On notera enfin que la correction de ces erreurs après 1991 n'a pas de conséquences significatives sur nos statistiques de validation.

L'erreur 3 est un simple biais dont la correction est élémentaire.

L'erreur 4 peut se corriger à partir des statistiques de validation de la manière suivante : la correction à appliquer, déduite des mesures bateaux, est déterminée année par année. Les erreurs relevées par intervalle de température calculée sont données dans le *tableau 2*. NB : l'erreur constante de 0.34°C observée avant août 1991 est corrigée avant comparaison avec les mesures bateaux.

Les corrections appliquées sont égales à l'opposé de l'erreur moyenne dans chaque classe de température et considérées comme centrées sur 7.5, 12.5, 17.5, ...°C. La correction appliquée à une température appartenant à un intervalle particulier (de 7.5 à 12.5°C, de 12.5 à 17.5, etc.) sera interpolée à partir des corrections correspondant aux bornes de cet intervalle. La correction sera constante pour les températures inférieures à 7.5°C, ou supérieures à 27.5°C.

Le comportement de l'erreur n'est pas identique d'une année sur l'autre. La tendance de l'algorithme du CMS à sous-estimer la température calculée pour des températures élevées est cependant incontestable (voir *figure 2* les résultats de validation détaillés pour 1990). La sous-estimation commence à 20°C et s'aggrave à partir de 25°C. Ce défaut des algorithmes split window est connu et il existe dans la littérature des solutions pour y remédier : algorithmes non linéaires (Walton, 1988) ; utilisation de coefficients dépendant explicitement de la gamme des contenus en vapeur d'eau considérés (François et Ottlé, 1996). Des solutions de ce type sont à l'étude au CMS.

nuated by the calculation of weekly medians prerequisite to the calculation of monthly means. The distribution of high satellite zenithal angles, a function of the configuration of each orbit, is in fact random over our zone. Lastly, it can be noted that correction of these errors after 1991 has not had any significant bearing on our validation statistics.

Error 3 is a simple bias which can be easily corrected.

Error 4 can be corrected from validation statistics in the following manner : The correction which has to be applied is deducted from ship measurements and is defined year by year. The errors noted per calculated temperature interval are given in *table 2*. N.B. : the constant error of 0.34°C observed before August 1991 was corrected before comparison with ship measurements.

To correct the errors, the mean error has been deducted from each temperature class and is considered as being centred on 7.5, 12.5, 17.5, ... °C. The correction applied to a temperature belonging to a particular interval (from 7.5° to 12.5°C, from 12.5° to 17.5°C, etc.) was interpolated from the corrections corresponding to the limits of this interval. The correction was constant for temperatures below 7.5°C, or higher than 27.5°C.

Errors are not the same from one year to the next. The fact that the CMS algorithm tends to underestimate calculated high temperatures is beyond question (see *figure 2* for detailed validation results of 1990). The underestimation begins at 20°C and becomes worse from 25°C upwards. This shortcoming inherent in split-window algorithms is well documented and solutions do exist : non-linear algorithms (Walton, 1988) ; use of coefficients explicitly depending on the range of water vapour in question (François and Ottlé, 1996). Studies are being carried out at the CMS to try and remedy this problem.

année	5-10 °C	10-15 °C	15-20 °C	20-25 °C	25-30 °C
1989	0.57	0.44	0.17	-0.46	-0.46
1990	0.03	0.35	-0.08	-0.47	-0.66
1991	0.14	0.15	0.58	0.05	0.29
1992	-0.26	-0.09	0.21	-0.02	0.00
1993	-0.02	0.17	0.41	-0.07	0.32
1994	0.25	0.35	0.36	0.20	-0.15
1995	0.23	0.45	0.42	0.32	0.25

Tableau 2 : DISTRIBUTION DES ERREURS MOYENNES DE LA TEMPERATURE CALCULEE AU CMS DE 1989 A 1995 PAR INTERVALLES DE TEMPERATURES.

Table 2 : MEAN ERRORS IN FUNCTION OF SURFACE TEMPERATURE RANGES FROM 1989 TILL 1995.

III.2. Comparaison avec les données Pathfinder (NOAA)

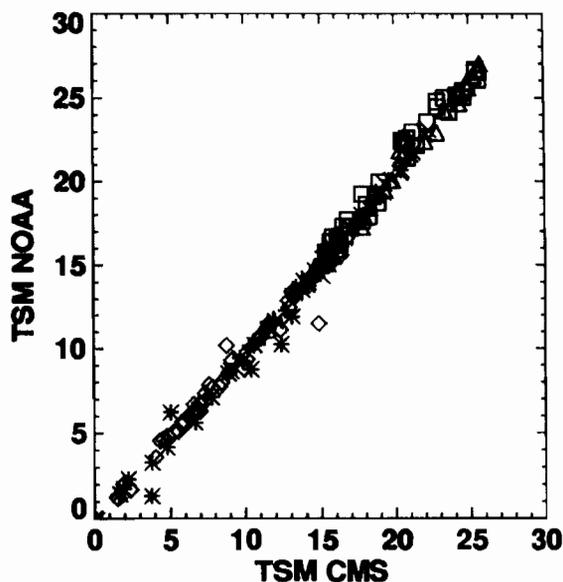
Avant de mélanger données Pathfinder et données CMS, nous souhaitons les comparer sur une année commune de leurs périodes respectives. Cette comparaison a été effectuée de manière détaillée pour l'année 1990.

La comparaison entre les champs CMS et les champs Pathfinder a été effectuée sur des plages homogènes de taille limitée (de 100 à 200 km de côté) choisies de façon à échantillonner le mieux possible les conditions de température rencontrées dans chaque zone. On définit ainsi de 2 à 4 plages par zone. Le taux de couverture nuageuse des plages est évidemment un paramètre qui peut gêner la compa-

III.2. Comparison with Pathfinder data (NOAA)

Before merging Pathfinder and CMS data, we decided to compare Pathfinder and CMS data over a twelve month period for which both data sets were available. This comparison was carried out in a detailed manner for 1990.

CMS and Pathfinder fields were compared over homogeneous areas of limited size (100 km by 200 km) selected to precisely sample the temperature conditions encountered in each zone. Therefore, 2 to 4 areas were defined per zone. The fraction of cloud cover over the areas is clearly a parameter which could interfere with data comparison. The first test was carried out for all cloud cover conditions (see fig. 3, N.B. : on this figure, CMS data were not correc-



Statistiques pour l'année 1990

Couvert. nuageuse max. d'une plage : 100
Nombre de cas : 204

Moyennes (ecarts-type)

NOAA : 14.69 (6.57)
CMS : 14.62 (6.15)
Diff : -0.08 (0.70)

Regressions (correlations)

CMS = 0.93 NOAA + 0.91 (1.00)
NOAA = 1.06 CMS - 0.85 (1.00)
CMS - NOAA = -0.07 NOAA + 0.91 (-0.63)

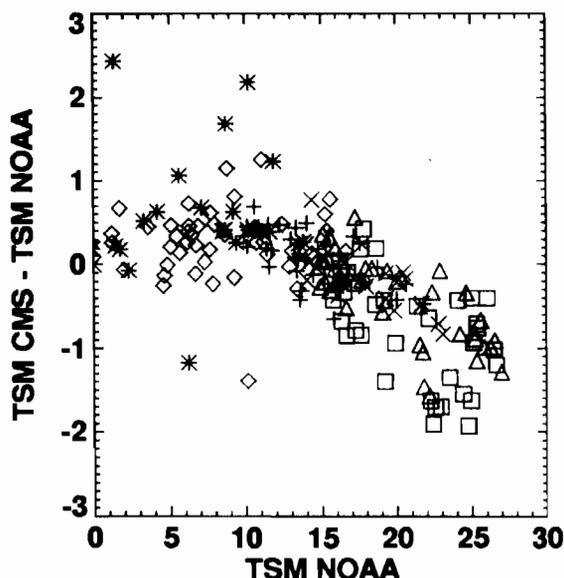


Figure 3 : COMPARAISON DES DONNEES CMS ET DES DONNEES NOAA "PATHFINDER" SUR DES PLAGES DE TEMPERATURES HOMOGENES POUR L'ANNEE 1990. TOUTES LES PLAGES NON TOTALEMENT NUA-GEUSES SONT PRISES EN COMPTE. COMPARISONS OF CMS AND NOAA "PATHFINDER" SSTs OVER HOMOGENEOUS TEMPERATURE BOXES IN 1990. ALL BOXES ARE CONSIDERED PROVIDING THEY ARE NOT TOTALLY CLOUD COVERED.

raison des données. Le premier test est effectué pour toutes les conditions de couverture nuageuse (voir figure 3. NB : les données CMS ne sont pas corrigées de l'erreur constante de 0.34°C sur cette figure). Ce test fait apparaître :

- une différence CMS - Pathfinder qui devient linéairement décroissante après 15°C (comportement identique à l'erreur observée sur les mesures in situ).
- une différence très bruitée pour les températures inférieures à 15°C.

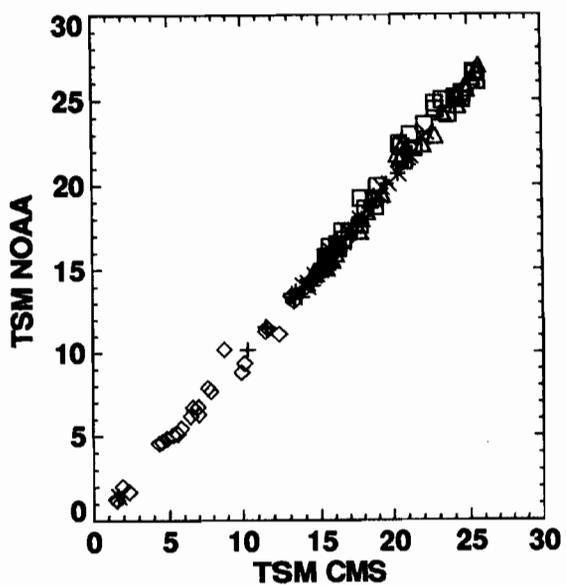
Lorsque l'on filtre les comparaisons avec le taux de couverture nuageuse admissible sur les plages, on observe (figure 4) :

ted for the 0.34°C constant error). This test highlighted :

- a CMS-Pathfinder difference which linearly decreased above 15°C (identical error behaviour observed in the in situ measurements).
- a very noisy difference for temperatures below 15°C.

When the comparisons were filtered with the fraction of acceptable cloud cover over the areas, one observed (figure 4) :

- an expected reduction in the standard deviation of this difference (from 0.7 for an acceptable fraction of 100 % to 0.58 for a fraction of 20 %).



Statistiques pour l'année 1990

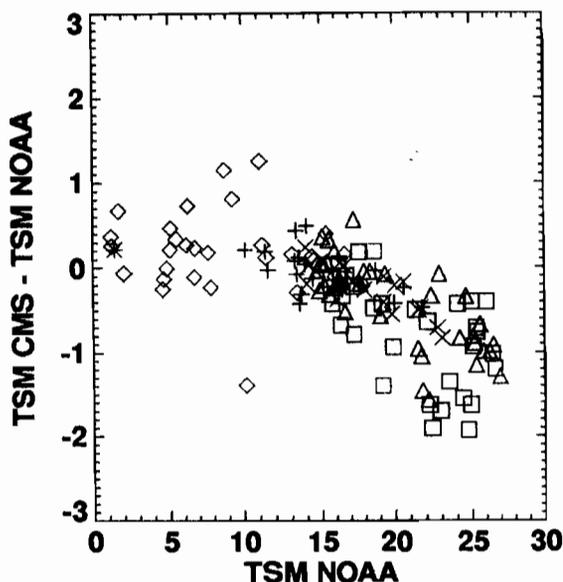
Couvert. nuageuse max. d'une plage : 19 %
Nombre de cas : 138

Moyennes (ecarts-type)

NOAA : 16.70 (6.23)
CMS : 16.40 (5.85)
Diff : -0.29 (0.58)

Regressions (correlations)

CMS = 0.94 NOAA + 0.77 (1.00)
NOAA = 1.06 CMS - 0.73 (1.00)
CMS - NOAA = -0.06 NOAA + 0.77 (-0.68)



×	Cana	+	Gasc
◇	Mnor	△	Mocc
□	Mori	*	Norv

Figure 4 : COMPARAISON DES DONNEES CMS ET DES DONNEES NOAA "PATHFINDER" SUR DES PLAGES DE TEMPERATURES HOMOGENES POUR L'ANNEE 1990. LE TAUX DE COUVERTURE NUAGEUSE D'UNE PLAGES DOIT ETRE INFERIEUR A 20%.
 COMPARISONS OF CMS AND NOAA "PATHFINDER" SSTs OVER HOMOGENEOUS TEMPERATURE BOXES IN 1990 FOR BOXES WITH A 20% MAXIMUM CLOUD COVER.

– une diminution logique de l'écart type de la différence (de 0.7 pour un taux admissible de 100 % à 0.58 pour un taux de 20 %)

– une décroissance de la différence moyenne (de -0.08 à -0.29) s'expliquant par une augmentation de la température moyenne de la comparaison (glissement de 14.69 à 16.70). L'élimination des plages nuageuses (plus fréquentes sur les zone nord, ou pendant l'hiver) s'effectue en effet au détriment des cas de températures faibles. On trouvera dans le *tableau 3* les résultats de la comparaison des données CMS (non corrigées du biais constant) et Pathfinder pour l'ensemble de l'année 1990. Les résultats pour les zones Gasc et Mocc, qui nous intéressent plus particulièrement, sont détaillés.

– a decrease in the mean difference (from -0.08 to -0.29) due to an increase in the mean temperature of the comparison (shift from 14.69 to 16.70). The elimination of cloudy areas (more frequent over the northern zone, or during winter) was in fact carried out to the detriment of low temperature occurrences. Results from the comparison of CMS (constant bias uncorrected) and Pathfinder data are shown in *table 3* for the whole of 1990. The results for the Gasc and Mocc zones, which especially interest us, are shown in detail.

	Toutes zones 90	Toutes zones 89	Gasc 90	Mocc 90
nbcas	138	136	19	35
temperature moyenne (NOAA)	16.70	15.95	15.15	20.00
différence (CMS -NOAA)	-0.29	-0.10	-0.07	-0.43
écart-type	0.58	0.90	0.27	0.53

Tableau 3 : COMPARAISONS CMS NOAA POUR UN TAUX DE COUVERTURE NUAGEUSE ADMISSIBLE MAXIMUM DE 20 %.

Table 3 : COMPARISONS BETWEEN CMS SSTs AND NOAA "PATHFINDER" SSTs FOR A 20 % MAXIMUM CLOUD COVER OF THE BOXES.

	Toutes zones 90	Toutes zones 89	Gasc 90	Mocc 90
nbcas	138	136	19	35
temperature moyenne (NOAA)	16.70	15.95	15.15	20.00
différence (CMS -NOAA)	0.05	0.07	0.08	0.01
écart-type	0.46	0.80	0.27	0.40

Tableau 4 : COMPARAISONS CMS NOAA POUR UN TAUX DE COUVERTURE NUAGEUSE ADMISSIBLE MAXIMUM DE 20 %, APRES CORRECTION DES DONNEES CMS.

Table 4 : COMPARISONS BETWEEN CMS SSTs AND NOAA "PATHFINDER" SSTs FOR A 20 % MAXIMUM CLOUD COVER OF THE BOXES, AFTER CORRECTION OF THE CMS SST.

On effectue ensuite les comparaisons entre les données Pathfinder et les données CMS corrigées de l'erreur constante et des erreurs observées sur les températures in situ suivant la méthode décrite au paragraphe III.1. Les résultats sont donnés dans le *tableau 4*.

Les différences moyennes sont devenues très faibles (inférieures à 0.1°) et les écart-type sont significativement réduits. La correction appliquée aux données CMS est donc considérée comme satisfaisante.

Then Pathfinder and CMS data corrected for constant error and temperature dependent errors observed in situ according to the method described in paragraph III.1 were compared. The results are given in table 4.

The mean differences have become very low (less than 0.1°) and the standard deviations have been significantly reduced. The correction which has been applied to CMS data is therefore considered as being satisfactory.

III.3. Réalisation de mois moyens CMS

Ces champs moyens mensuels à 2 km de résolution comportent : moyenne, écart-type, minimum,

III.3. Drawing up of CMS mean months

These monthly mean fields with a resolution of 2 km are made up of : mean, standard deviation, mini-

maximum, nombre de cas (occurrence). La moyenne n'est pas calculée si le pixel n'a été clair qu'une fois. Un filtre complémentaire des cas nuageux est effectué de la manière suivante : une première moyenne interannuelle est calculée pixel par pixel pour toutes les données. Chaque température est comparée à cette moyenne, les pixels tels que l'écart entre la moyenne et la température est supérieur à une limite est déclaré nuageux. La limite est une fonction de la zone et du mois ; elle vaut en général 2°C. Les mois moyens CMS sont finalement incorporés dans une grille RGD. Les recouvrements de zone sont gérés au profit de la zone présentant le plus grand nombre de cas.

Réalisation de minimales : on calcule des minimales de moyennes mensuelles et non des minima absolus. Dans la perspective d'une utilisation de ces données pour détecter les nuages, la deuxième quantité aurait été préférable. Dans l'état actuel des traitements du CMS, elle aurait nécessité le retraitement de l'ensemble de l'archive quotidienne du CMS, et le traitement de données Pathfinder quotidiennes (voir ci-dessous), ce qui n'était pas envisageable dans le cadre de cette étude.

IV. UTILISATION DES DONNEES NON CMS

Pour combler les manques des données CMS, on utilisera les données Pathfinder, puis les données Reynolds.

IV.1. Utilisation des données Pathfinder

Après avoir envisagé de n'utiliser que les données 89-90, incluses dans la période des données CMS, on utilise les données de 1987 à 1990. Cette option présente l'avantage de traiter une plus longue série, ce qui permet d'être exigeant sur le nombre de données incorporées dans la moyenne et surtout de calculer une valeur minimale plus significative.

La moyenne interannuelle des fichiers Pathfinder est calculée de la même manière que celle des fichiers CMS. Le fichier résultat comporte la moyenne, l'écart-type, le minimum, le maximum et le nombre de cas trouvés. Les résultats sont reprojétés sur le format RGD sans interpolation préalable.

IV.2. Utilisation des données climatologiques

Les données climatologiques (Reynolds) sont présentées originellement en projection cylindrique équidistante à 1 degré de résolution ; on les interpole au 1/12 de degré sur une grille mondiale avant reprojektion sur la grille RGD et incorporation dans le projet.

IV.3. Le mélange des données

Ils se fait en deux étapes : addition des données Pathfinder puis addition des données climatologiques.

imum, maximum, number of occurrences. The mean was only calculated if there were two values available for the pixel in question. An additional filter was applied to cloudy cases to minimise errors which could have slipped through the previous check : An initial interannual mean was calculated pixel by pixel for all the data. Each temperature was compared to this mean, pixels for which the difference between the mean and the temperature was higher than a certain limit were declared cloudy. The limit was a function of the zone and the month ; in general it was 2°C. The CMS mean months were finally incorporated into a RGD grid. Zone overlapping was dealt with to benefit the zone with the greatest number of occurrences.

Drawing up of minima : The minima were calculated from monthly means and not from absolute minima. With the view to using these data to detect clouds, it would have been better to use absolute minima. Bearing in mind the current means of processing data at the CMS, this would have meant reprocessing the Atlas using all the daily CMS files and all daily Pathfinder data (see below), which was not possible within the framework of this study.

IV. USE OF NON CMS DATA

The addition of non CMS data to fill in any gaps was carried out in two stages. Priority was given to Pathfinder data and if any gaps still remained data from Reynolds Climatology were used.

IV.1. Use of Pathfinder data

Initially only data from 1989-1990 were to be used, a period for which CMS data were also available, but finally we extended the period to cover 1987-1990. This meant that a longer data series could be processed and so we could be more exacting about the number of data incorporated in the mean and so a more significant minimal value could be calculated.

The interannual mean of Pathfinder files was calculated in the same manner as that of CMS files. The result file included the mean, standard deviation, the minimum, the maximum and the number of occurrences. The results were reprojected on the RGD format without preliminary interpolation.

IV.2. Use of climatological data

Climatological data (Reynolds) are presented in a cylindrical equidistant projection with a resolution of one degree ; they were interpolated to 1/12° on a world-wide grid before being reprojected on the RGD grid and incorporated into the project.

IV.3. Data merging

This was carried out in two stages : addition of Pathfinder data then addition of climatological data.

mois	nb cas	moyenne CMS	moyenne pathfinder	diffe- rence	écart- type	a	b
01	2281111	13.46	13.33	0.13	0.57	1.06	-0.95
02	2264373	12.93	12.86	0.07	0.53	1.06	-0.82
03	2301826	12.68	12.57	0.11	0.51	1.07	-1.00
04	2503940	12.36	12.42	-0.06	0.60	1.07	-0.75
05	2531524	14.19	14.16	0.03	0.87	1.12	-1.76
06	2554644	16.58	16.42	0.16	0.69	1.04	-0.81
07	2558085	18.95	18.74	0.21	0.77	1.07	-1.47
08	2590900	19.96	19.71	0.25	0.70	1.04	-1.04
09	2385701	19.78	19.41	0.36	0.81	1.08	-1.87
10	2362520	17.76	17.44	0.31	0.70	1.04	-1.04
11	2200116	16.39	16.18	0.22	0.79	1.03	-0.78
12	2043827	15.02	14.73	0.30	0.68	1.06	-1.24

Tableau 5 : COMPARAISON GLOBALE DES MOYENNES CMS (1989-1994) ET PATHFINDER (1987-1990) SUR LA RGD POUR LES POINTS PRESENTANT PLUS DE 2 OCCURRENCES. LES DEUX DERNIERES COLONNES DONNENT LES COEFFICIENTS a ET b DE LA REGRESSION $T_{\text{pathfinder}} = a \cdot T_{\text{CMS}} + b$.

Table 5 : GLOBAL COMPARISONS OF THE CMS MEANS FROM 1989 TILL 1994 WITH THE "PATHFINDER" MEANS FROM 1987 TILL 1990 FOR POINTS WITH MORE THAN TWO OCCURRENCES. THE TWO LAST COLUMNS PRESENT THE COEFFICIENTS a AND b OF THE REGRESSION $T_{\text{Pathfinder}} = a \cdot T_{\text{CMS}} + b$.

Le champ ne comporte initialement que les données du CMS. On lui ajoute les données Pathfinder en un point de grille donné si le nombre d'occurrences des données CMS est au maximum de 1 et si le nombre d'occurrences des données Pathfinder est au minimum de 2. Lors de cette opération on compare les températures correspondant à la condition occurrences CMS et occurrences Pathfinder valant 2 ou plus (cf *tableau 5*).

Le *tableau 5* montre que la différence entre les champs Pathfinder et les champs CMS reste inférieure à 0.4° et ne dépasse 0.3° que pour 3 mois (septembre, octobre, décembre). On observe, pour 1 mois donné une sous-estimation de la TSM CMS par rapport à la TSM Pathfinder pour les températures élevées, une surestimation pour les températures basses (a toujours supérieur à 1 et pratiquement constant). La différence positive observée (surtout partir de juillet) n'est pas cohérente avec ce comportement et peut donc être attribuée à la différence de période. Il sera intéressant de confirmer ce point lorsqu'on disposera des données Pathfinder sur une période plus étendue.

On ajoute enfin au champ final les données climatologiques Reynolds dans le cas où les occurrences CMS et Pathfinder sont au maximum de 1. Les données climatologiques Reynolds sont également comparées aux champs "satellites" CMS + Pathfinder. (cf *tableau 6*).

La différence entre la climatologie Reynolds et les champs de référence satellitaires reste également inférieure à 0.4°. Il semble que la référence satellitaire soit plus froide que la climatologie Reynolds pour les mois froids, plus chaude pour les mois chauds ($T_s > 15^\circ$).

The resulting field was initialised with only CMS data. Pathfinder data were added as a grid point if the maximum number of occurrences of CMS data was 1 and the minimum number of Pathfinder data 2. During this operation, the temperatures respecting the CMS and Pathfinder condition : occurrences equalling 2 or more (see *table 5*) were compared.

Table 5 shows that the difference between Pathfinder and CMS fields is always less than 0.4°, and was only between 0.3 and 0.4 for 3 months (September, October, December). It can be seen that for a given month, in relation to high temperatures, CMS SST were underestimated compared with Pathfinder SST, and overestimated when temperatures were low ("a" was always greater than 1 and almost constant). The positive difference which was observed (especially for July) is not coherent with this and can therefore be attributed to the period of the 2 bases. It will be interesting to confirm this point when Pathfinder data have been available for a longer period of time.

Finally, Reynolds climatological data were added to the resulting field when the maximum number of CMS and Pathfinder data were 1. Reynolds climatological data were also compared with CMS + Pathfinder "satellite" fields (see *table 6*).

The difference between Reynolds climatology and satellite reference fields also remained less than 0.4°. It would appear that the satellite reference was colder than Reynolds climatology for cold months and hotter for hot months ($T_s > 15^\circ$).

mois	nb cas	moyennes satellitaires	moyennes climatologiques (Reynolds)	différence	écart-type
01	6313361	13.34	13.63	-0.29	0.69
02	6313432	12.79	13.14	-0.35	0.70
03	6564641	12.38	12.76	-0.38	0.67
04	6655229	12.77	13.03	-0.26	0.62
05	6803500	13.79	14.00	-0.22	0.74
06	6809948	15.96	15.92	0.04	0.77
07	6810920	18.13	17.98	0.15	0.80
08	6809104	19.25	19.13	0.11	0.70
09	6793008	18.73	18.72	0.02	0.74
10	6771186	17.38	17.31	0.07	0.69
11	6684927	15.70	15.75	-0.05	0.72
12	6490555	14.34	14.44	-0.10	0.73

Tableau 6 : COMPARAISON GLOBALE DES MOYENNES SATELLITAIRES CMS (1989-1994) + PATHFINDER (1987-1990) ET DE LA CLIMATOLOGIE REYNOLDS SUR LA RGD POUR LES POINTS PRESENTANT PLUS DE 2 OCCURRENCES.

Table 6 : GLOBAL COMPARISONS OF ALL SATELLITE DERIVED MEANS (CMS FROM 1989 TILL 1994 + "PATHFINDER" FROM 1987 TILL 1990) WITH REYNOLDS CLIMATOLOGY FOR POINTS WITH MORE THAN TWO OCCURRENCES.

Le champs de températures moyennes de juillet est présenté à titre d'exemple sur la figure 5.

Figure 5 illustrates the mean temperature fields for July.

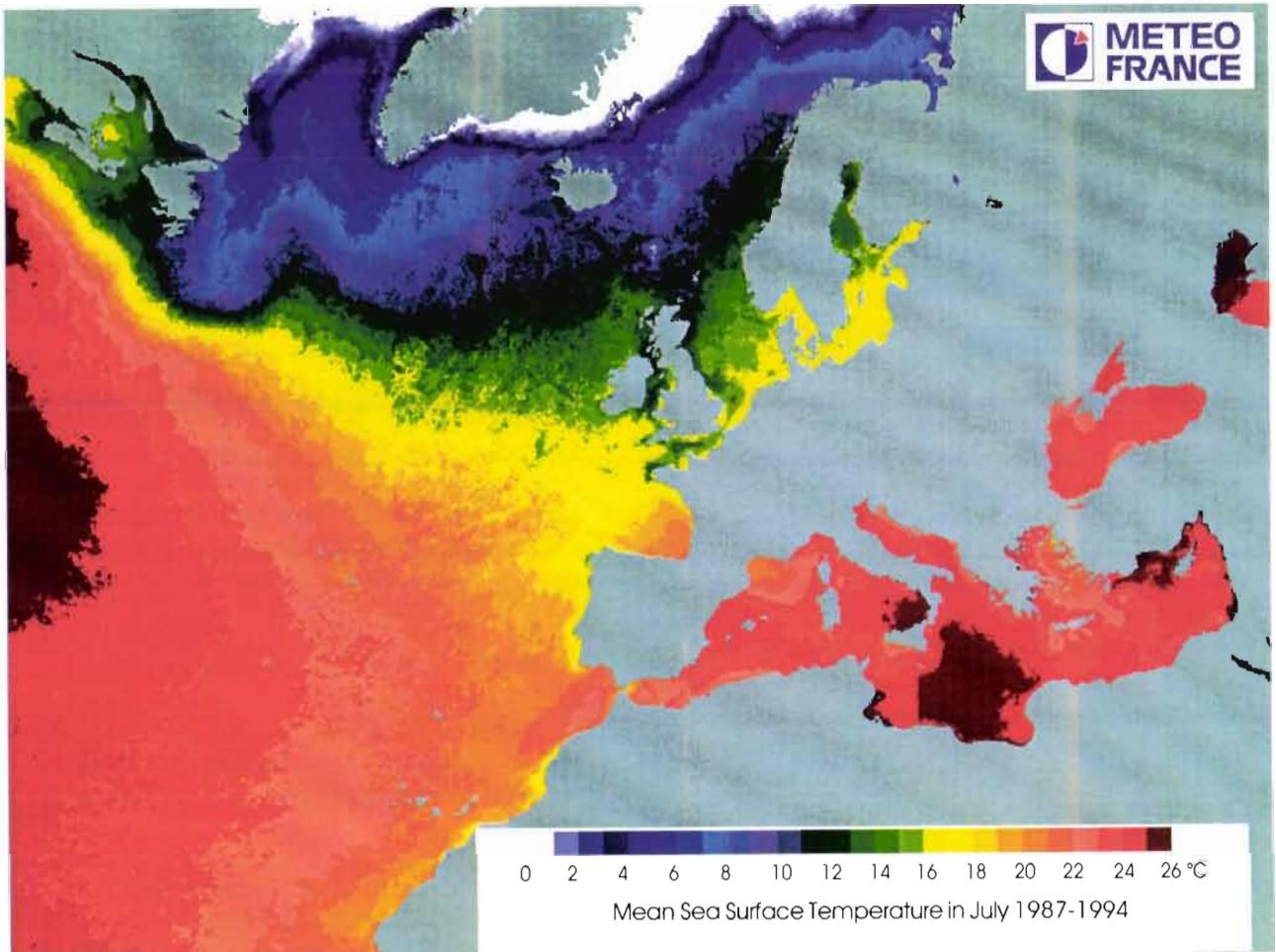


Figure 5 : CHAMPS DES TEMPERATURES MOYENNES DE L'ATLAS EN JUILLET.
MEAN VALUES OF THE ATLAS SST IN JULY.

Les températures minimales CMS sont complétées par les minimales Pathfinder selon les mêmes règles. Elles sont également comparées pour l'ensemble des champs (cf *tableau 7*).

Dans le cas où les champs des minimales satellitaires restent incomplets, on ajoute au champ climatologique Reynolds la différence moyenne : minimales satellitaires – moyennes Reynolds présentée en dernière colonne du *tableau 7*.

CMS minimum temperatures were completed by Pathfinder minimum temperatures according to the same set of rules. They were also compared with all the fields (see *table 7*).

In the case where satellite minimum fields were incomplete, the mean difference : satellite minimum – Reynolds mean shown in the last column of *table 7*, was added to Reynolds climatological field.

mois	nb cas*	minimales CMS	minimales pathfinder	différence	écart-type	minimales-at.-climatologie Reynolds
01	2275512	12.73	12.68	0.05	0.94	-0.98
02	2257430	12.25	12.03	0.05	0.88	-0.98
03	2290324	12.08	11.95	0.12	0.90	-1.05
04	2493906	11.74	11.79	-0.05	0.75	-1.00
05	2531514	13.01	13.32	-0.31	1.16	-1.16
06	2554642	15.43	15.57	-0.14	1.05	-0.96
07	2558085	17.94	17.78	0.15	1.16	-0.82
08	2590900	19.04	18.76	0.28	1.05	-0.77
09	2385701	18.86	18.52	0.33	1.05	-0.88
10	2362520	16.88	16.56	0.33	1.06	-0.79
11	2200106	15.52	15.45	0.07	1.07	-0.87
12	2043816	14.24	14.08	0.16	0.87	-0.81

*(peut être distinct de celui de la moyenne car on se limite aux températures >0)

Tableau 7 : COMPARAISON GLOBALE DES MINIMALES CMS (1989-1994) ET PATHFINDER (1987-1990) SUR LA RGD POUR LES POINTS PRESENTANT PLUS DE 2 OCCURRENCES. LA DERNIERE COLONNE DONNE LA VALEUR MOYENNE DE LA DIFFERENCE ENTRE LES MINIMALES SATELLITAIRES ET LES MOYENNES CLIMATOLOGIQUES REYNOLDS.

Table 7 : GLOBAL COMPARISONS OF THE CMS MINIMA FROM 1989 TILL 1994 WITH THE "PATHFINDER" MINIMA FROM 1987 TILL 1990 FOR POINTS WITH MORE THAN TWO OCCURRENCES. THE LAST COLUMN PRESENT THE DIFFERENCE BETWEEN THE SATELLITE DERIVED MINIMA AND THE REYNOLDS CLIMATOLOGICAL MEANS.

V. EXAMENS DE QUELQUES CAS D'ANOMALIES EN 1995.

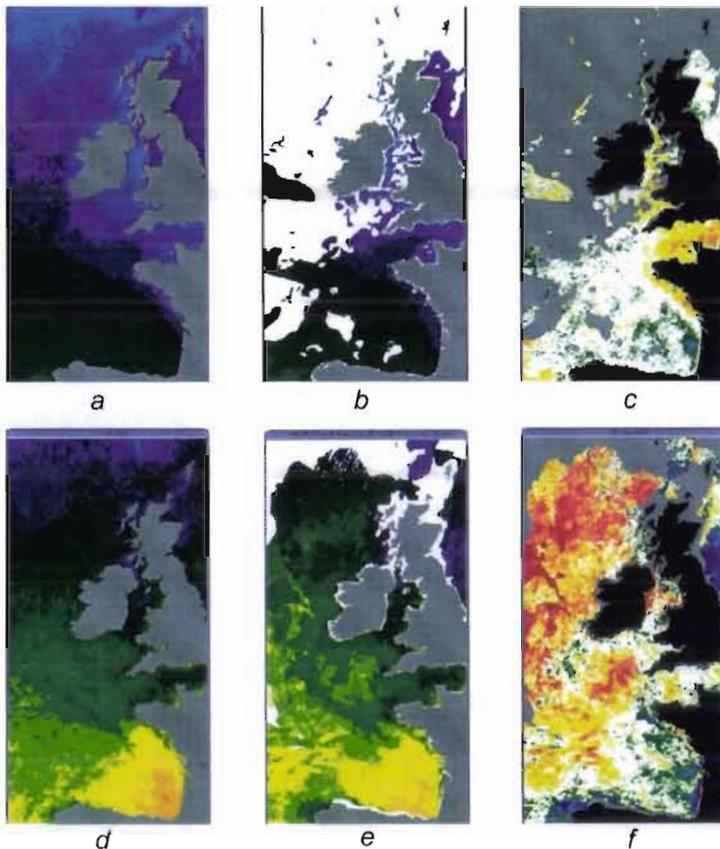
On se propose ici de tester les possibilités d'utilisation d'un atlas de TSM à échelle fine satellitaire pour mettre en évidence, pour un mois donné, les anomalies de températures de surface de la mer par rapport à la période de référence. Il s'agit d'une étude préliminaire ayant l'objectif limité de tester l'intérêt de ces anomalies, d'en vérifier la cohérence par rapport aux anomalies conventionnelles et enfin de préciser éventuellement la méthode à utiliser.

Les anomalies de l'année 1995 par rapport aux moyennes de l'atlas ont été calculées après corrections des données mensuelles de 95 à l'aide des relevés d'erreur du *tableau 2*. Les champs présentés dans les *figures 6 et 7* représentent la partie côtière de la zone Gasc, pour lesquelles les anomalies de températures ont été particulièrement importantes en 1995. On présente pour les mois de mars, juin, août et octobre les extraits de moyennes climatologiques, le

V. INVESTIGATION OF SOME OF THE SST ANOMALIES WHICH OCCURRED IN 1995

In this section, the possibilities of using an SST Atlas of satellite origin to highlight, for a given month, sea surface temperature anomalies in relation to the reference period, is described. It was only a preliminary study limited to testing the potential interest of these anomalies, to check their coherence in relation to conventional anomalies and lastly to possibly specify the best method to use.

1995 SST anomalies in relation to the Atlas means were calculated after correcting 1995 monthly data for errors shown in *table 2*. The fields shown in *figures 6 and 7* represent the coastal part of the Gasc zone, for which temperature anomalies were especially high in 1995. Extracts from climatological means, the corresponding monthly satellite SST field and the difference between the two fields are shown for March, July, August and October. *Figure 8* illustrates the anomalies from the "Arpège" (French NWP model) analysis



ANOMALIES DE TSM EN 1995

a: TSM moyennes de l'atlas en mars
b: TSM moyennes en mars 1995
c: Anomalies de TSM en mars 1995

d: TSM moyennes de l'atlas en juin
e: TSM moyennes en juin 1995
f: Anomalies de TSM en juin 1995

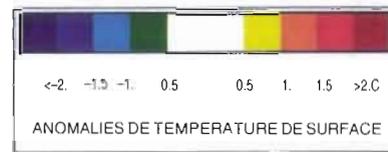
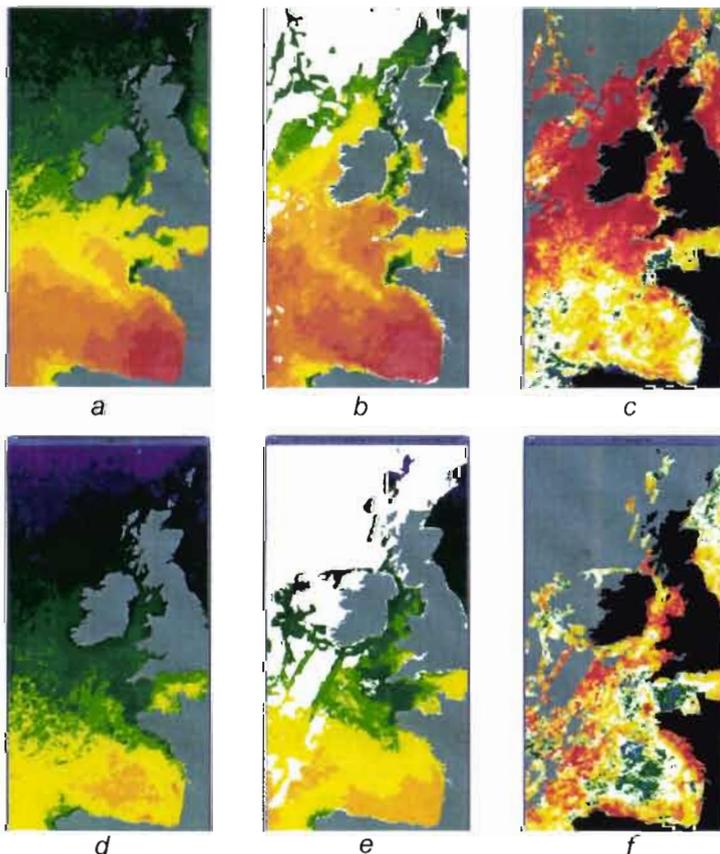


Figure 6 : LES CHAMPS DE TMS SATELLITAIRES ET LES ANOMALIES DE MARS ET JUIN 1995. LES CORRESPONDANCES COULEUR TEMPERATURE DES IMAGES a, b, d ET e SONT CELLES DE LA FIGURE 5. SATELLITE SSTs AND ANOMALIES IN MARCH AND JUNE 1995. THE TEMPERATURE COLOR CODE OF PLATES a, b, d AND e IS THAT OF FIGURE 5.



ANOMALIES DE TSM EN 1995

a: TSM moyennes de l'atlas en aout
b: TSM moyennes en aout 1995
c: Anomalies de TSM en aout 1995

d: TSM moyennes de l'atlas en octobre
e: TSM moyennes en octobre 1995
f: Anomalies de TSM en octobre 1995

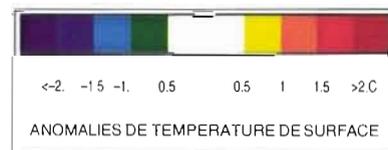
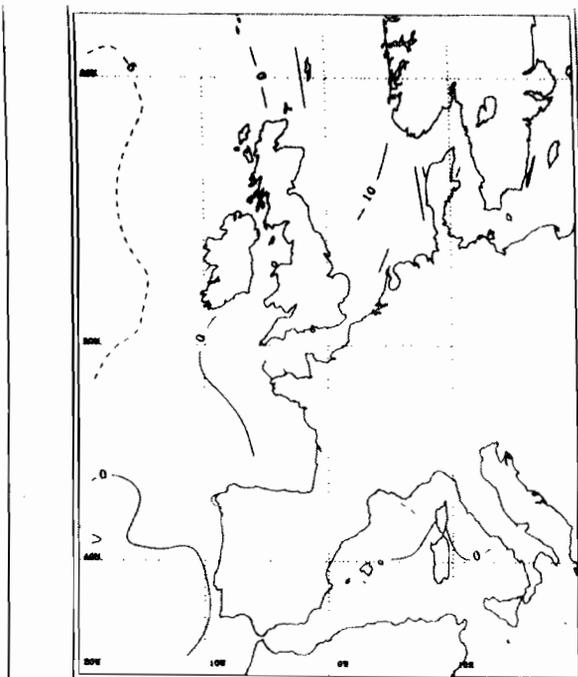


Figure 7 : LES CHAMPS DE TMS SATELLITAIRES ET LES ANOMALIES D'AOUT ET OCTOBRE 1995. LES CORRESPONDANCES COULEUR TEMPERATURE DES IMAGES a, b, d ET e SONT CELLES DE LA FIGURE 5. SATELLITE SSTs AND ANOMALIES IN AUGUST AND OCTOBER 1995. THE TEMPERATURE COLOR CODE OF PLATES a, b, d AND e IS THAT OF FIGURE 5.



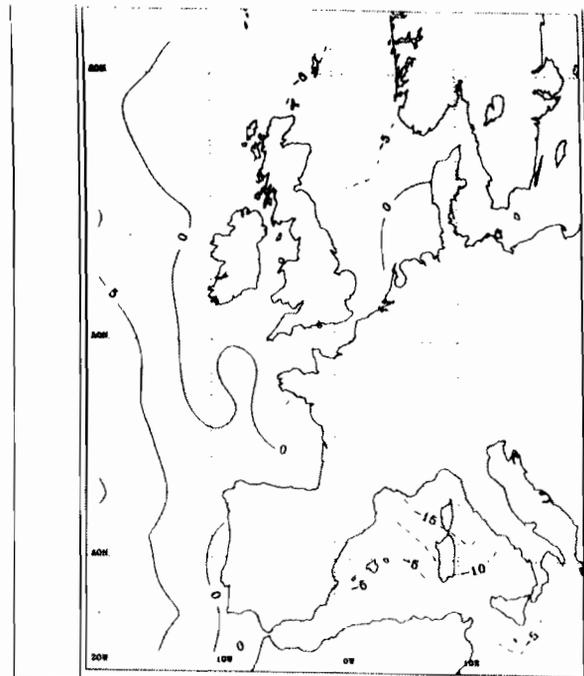
Anomalie climatologique SST (en 1/10°C)

Statistiques mensuelles: origine AGA

MOYENNE par pavés de 2 degrés



MARS 1995



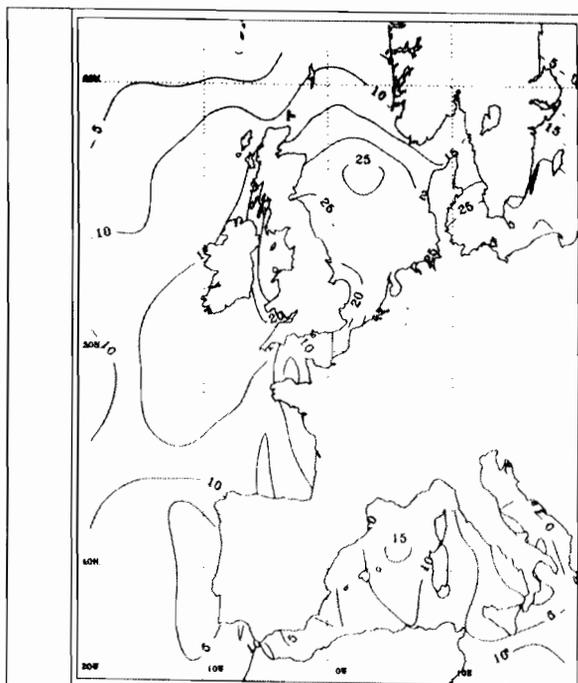
Anomalie climatologique SST (en 1/10°C)

Statistiques mensuelles: origine AGA

MOYENNE par pavés de 2 degrés



JUIN 1995



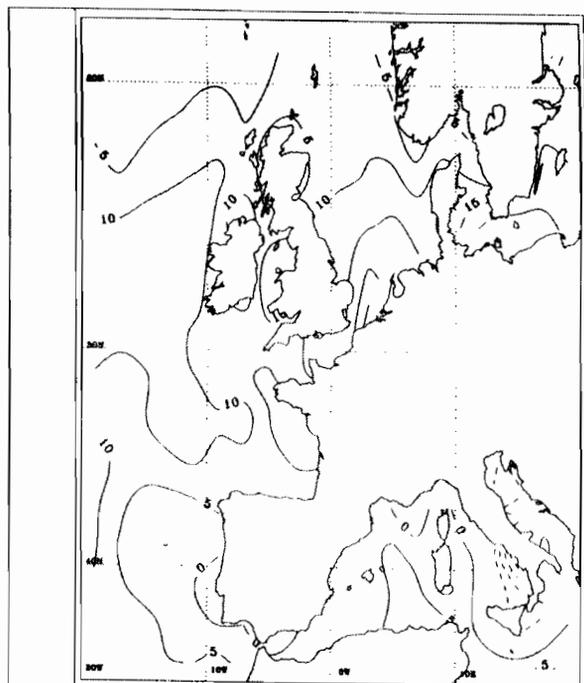
Anomalie climatologique SST (en 1/10°C)

Statistiques mensuelles: origine AEA

MOYENNE par pavés de 2 degrés



AOUT 1995



Anomalie climatologique SST (en 1/10°C)

Statistiques mensuelles: origine AEA

MOYENNE par pavés de 2 degrés



OCTOBRE 1995



Figure 8 : LES ANOMALIES CLIMATOLOGIQUES CALCULEES A PARTIR DES ANALYSES D'ARPEGE EN MARS, JUN, AOUT ET OCTOBRE 1995.
CLIMATOLOGICAL ANOMALIES CALCULATED FROM THE FRENCH NWP MODEL ARPEGE IN MARCH, JUNE, AUGUST AND OCTOBER 1995.

champ de TSM satellitaire mensuel correspondant et la différence des deux champs. La *figure 8* représente les anomalies de l'analyse d'Arpège par rapport aux champs climatologiques de Reynolds. Ces cartes d'anomalies sont publiées régulièrement dans la revue "Metmar" (Météo-France).

Ces exemples appellent les commentaires suivants :

Mars : le mois moyen de mars est assez proche des moyennes de la période de l'atlas, l'anomalie positive de la Manche et de la mer d'Irlande se retrouve néanmoins sur la carte des anomalies satellitaires comme sur la carte des anomalies climatiques issues des analyses. Noter l'étendue de la nébulosité sur le mois moyen satellitaire.

Juin : le mois de juin est un mois d'augmentation rapide de la TSM pour la zone qui nous intéresse. Le champ moyen de juin 1995 présente les défauts liés aux variations de la couverture nuageuse pendant la période considérée. Des données prises en début de mois seront plus froides que des données de fin de mois, ce qui crée les zones hétérogènes visibles à l'Ouest de l'Irlande. Ce défaut se retrouve naturellement sur les cartes d'anomalies. Les grandes lignes des anomalies issues des analyses se retrouvent cependant sur les anomalies satellitaires : anomalies négatives au Nord-Est de l'Angleterre, anomalie positives sur l'Ouest de la zone.

Août : d'après les analyses Arpège, le mois d'août présente des anomalies positives intéressant principalement les Iles Britanniques et la Mer du Nord et dépassant éventuellement 2.5° au Nord-Est de l'Angleterre. Les isolignes non cotées sont de 1.0° pour la ligne reliant la Cornouaille Britannique au Pays basque en passant par la pointe de la Bretagne et de 0.5° pour la tache du nord de la Bretagne. Cette distribution générale se retrouve sur les anomalies satellitaires.

Octobre : ce mois présente une distribution méridienne des anomalies de température d'après les analyses, avec une diminution des anomalies d'Ouest en Est à l'ouvert du Golfe de Gascogne, puis une augmentation d'intensité en Manche Est et en Mer d'Irlande. Cette distribution se retrouve également sur les anomalies satellitaires. Une exception cependant : l'isoligne non cotée de la zone Sud-Bretagne, Vendée vaut 0.5° ce qui indique une anomalie positive relativement plus faible pour cette zone, alors que c'est l'inverse (anomalies supérieures à 1.5°) qui s'observe sur les données satellitaires.

Les résultats obtenus en 1995 sur le proche Atlantique sont donc plutôt encourageants puisque les grandes tendances des anomalies mises en évidence à partir des sorties de modèles se retrouvent sur les anomalies satellitaires ; celles-ci permettent une localisation beaucoup plus précises des phénomènes. L'exemple du mois d'août 1995 illustre bien l'intérêt potentiel d'un tel atlas. Il met en évidence en

in relation to Reynolds climatological fields. These anomaly charts are regularly published in the "Metmar" review (Météo-France).

The following remarks can be made :

March : The March 1995 mean was fairly close to the means of the period the Atlas covers, the positive anomaly over the English Channel and the Irish Sea nevertheless occurred on satellite anomalies and on the conventional climatic anomaly chart produced from the analyses. The extent of cloud cover on the image of the satellite mean month must be noted.

June : In the study zone, there was a rapid increase in SST. The mean field for June 1995 showed defects linked to variations in cloud cover during the period in question. Data recorded at the beginning of the month were colder than data recorded at the end of the month, which created heterogeneous zones visible to the west of Ireland. This defect was naturally observed on anomaly charts. However, the anomalies are the same on satellite and conventional anomaly charts : negative anomalies in the north-east of England, positive anomalies over the western part of the zone.

August : In August, according to the Arpège analyses the positive anomalies principally affected the British Isles and the North Sea and possibly overshoot 2.5° in north-east England. The isolines whose values are not shown are 1.0° for the line linking Cornwall (UK) to the Basque Country, cutting the westernmost part of Brittany and are 0.5° for the cold area in northern Brittany. A similar phenomenon was observed on satellite anomaly charts.

October : In October, temperature anomalies had a meridian distribution and there was a reduction in anomalies from east to west at the opening of the Biscay Gulf, then an increase in intensity in the eastern part of the English Channel and in the Irish Sea. This distribution occurred on satellite anomaly charts. However, there was an exception : the isoline value which was not shown from southern Brittany to the Vendée was 0.5° and indicated a relatively weaker positive anomaly in this zone, whereas the contrary was observed on satellite data (anomalies greater than 1.5°).

The results obtained in 1995 for the near Atlantic are fairly encouraging since the important trends in the anomalies shown by the models also occurred on satellite anomaly charts ; this enabled phenomena to be much more precisely localised. August 1995 clearly illustrates the potential of such an Atlas. It demonstrates that within areas of important positive anomalies over the north-east Atlantic, very important contrasts could be seen locally. In particular, it underlines the role of merging induced by tidal currents. The positive anomalies were rather low over the Irish Sea, the English Channel/Ushant frontal system limited a

effet que, dans un contexte d'anomalie positive importante sur l'Atlantique Nord-Est, les situations locales sont très contrastées. On peut mettre en particulier en évidence le rôle du brassage induit par les courants de marée : les anomalies positives sont relativement faibles en Mer d'Irlande ; le système front de Manche front d'Ouessant délimite une zone d'anomalies négatives pouvant atteindre -1° alors que l'ensemble de la Mer Celtique présente des températures de l'ordre de 1.5° supérieures à la moyenne, etc. Cette situation n'est que très vaguement suggérée par la carte d'anomalies classiques.

La méthode mise en œuvre est cependant à reconsidérer. Compte tenu des hétérogénéités apparaissant sur les moyennes mensuelles satellitaires liées aux variations temporelles de la TSM et aux variations temporelles de la couverture nuageuse, il serait préférable de calculer des anomalies sur une base de temps plus restreinte, par exemple décadaire, en interpolant l'atlas sur cette base de temps, et de produire une anomalie mensuelle moyennée à partir de ces anomalies décadaires. On peut de même questionner l'échelle spatiale retenue (2 km). Elle a été choisie comme étant la plus fine possible compte tenu des données disponibles, pour éviter toute dégradation a priori de l'information. Pour ne pas alourdir les traitements liés à l'utilisation de cet atlas, on adopte une résolution unique sur l'ensemble des mers européennes. Une résolution de 2 km est certainement excessivement fine en dehors du plateau continental. En zone côtière, il sera sans doute difficile de définir une résolution spatiale optimale en fonction des échelles de temps considérées (décade, mois), compte tenu de la variété des situations rencontrées. Si l'on considère par exemple la stabilité spatiale des fronts de mers à marée, il est probable qu'on ne pourra dégrader la résolution spatiale sur les données mensuelles au delà de 5-6 km sans altérer la qualité du masque nuage.

VI. CONCLUSION

Cette étude a permis de recenser les problèmes posés par la réalisation d'un atlas de températures de surface d'origine satellitaire et son utilisation éventuelle pour la mise en évidence d'anomalies. En ce qui concerne la réalisation de l'atlas, la méthode utilisée semble ne pas devoir être remise en cause, au moins en ce qui concerne la réalisation des moyennes. En effet, la correction des champs mensuels du CMS des erreurs (quelques dixièmes de $^{\circ}\text{C}$) observées a posteriori sur les mesures in situ permet de recalculer des champs de TSM présentant un biais pratiquement nul par rapport aux champs correspondants produits dans le cadre du projet Pathfinder. Le mélange des données CMS et Pathfinder permet de créer des champs moyens continus.

Pour le calcul des minimales, le calcul des minima absolus aurait été préférable au calcul des valeurs minimales des moyennes mensuelles. Il sera donc

zone of negative anomalies which could reach -1° whereas the Celtic Sea showed temperatures about 1.5° higher than the mean, etc. The conventional anomaly chart only vaguely hinted at this possible situation.

However, the method which was used has to be reconsidered. Taking into account the heterogeneity which appeared on satellite monthly means linked to temporal variation in the SST and in cloud cover, it would be preferable to calculate anomalies over a shorter time scale, for example the dekad, by interpolating the Atlas on this time base and producing a mean monthly anomaly from these dekadal anomalies. The spatial scale (2 km resolution) can be questioned too. Taking into account available data, this scale was selected as being the one which avoided information degradation. To minimise processing, a unique resolution was used over all the European seas. A 2 km resolution certainly provides excessive detail off the continental plateau. In coastal zones, it will be undoubtedly difficult to define an optimal spatial resolution as a function of the considered time scales (dekad, month), taking into account the variety of situations encountered. If the spatial stability of tidal fronts is considered, it is possible that the spatial resolution of monthly data could not be degraded beyond 5 to 6 km without altering the quality of the cloud mask.

VI. CONCLUSION

This study has enabled the problems raised by the creation of a sea surface temperature Atlas of satellite origin to be reviewed as well as the possibility of using it to highlight anomalies. As far as the creation of the Atlas is concerned, the method which was used appears to be satisfactory and does not need to be questioned, at least as far as the drawing up of the means are concerned. The correction of CMS SST monthly fields for errors (some tenths of a degree C) observed a posteriori on in situ measurements, enabled SST fields to be recalculated and when they were compared with Pathfinder data they had an almost null bias. The merging of CMS and Pathfinder data enabled continuous mean fields to be created.

As for the calculation of the minima, it would have been preferable to calculate absolute minima rather than calculating minimum values from monthly means. Therefore, it would be preferable to calculate minima from daily data.

As far as using the atlas to highlight anomalies is concerned, the results obtained for 1995 over the near Atlantic are quite encouraging since the important trends in conventional climatological anomalies also occur on satellite anomaly charts. All the same, it must not be forgotten that the reference period is only 6 years long, which could greatly restrict the significance of these charts and use to which they could be put. However, one can suppose that they will provide more precise information than current documents on

souhaitable d'implanter un calcul des minima à partir des données quotidiennes.

En ce qui concerne la mise en évidence d'anomalies à partir de cet atlas, les résultats obtenus en 1995 sur le proche Atlantique sont plutôt encourageants puisque les grandes tendances des anomalies climatiques classiques se retrouvent sur les anomalies satellitaires. Il faut toutefois garder à l'esprit la faible durée de la période de référence (6 ans), ce qui restreint la signification et l'utilisation que l'on peut faire de ces cartes. On peut supposer cependant qu'elles pourront apporter une information plus précise que les documents actuels sur la distribution géographique des anomalies, qui peut intéresser les activités de pêcheries côtières et d'aquaculture, et plus généralement la surveillance de l'environnement des eaux côtières.

L'utilisation de l'atlas pour l'amélioration du masque nuageux sur l'imagerie AVHRR est en cours de développement au CMS.

Enfin cet atlas sera à recalculer périodiquement en fonction de la disponibilité des données du CMS et du projet Pathfinder.

REMERCIEMENTS

Les données du programme NOAA/NASA "Pathfinder" utilisées dans ce travail ont été obtenues au "Physical Oceanography Distributed Active Archive Center" (PODAAC) du "Jet Propulsion Laboratory" (JPL), California Institute of Technology. Les auteurs remercient le Dr J. Vasquez, qui leur a grandement facilité l'accès à ces données.

Les cartes d'anomalies de l'analyse Arpège ont été fournies par le service "AVISO vent/flux" de Météo-France ; nous remercions en particulier L. Degeilh pour son aide.

the geographical distribution of anomalies, which could interest on-shore fishing and shell-fish activities, and could be used in a more general manner to monitor the environment of coastal waters.

The use of this Atlas to improve cloud detection on AVHRR imagery is being developed at the CMS.

Lastly, this Atlas has to be periodically recalculated as a function of the availability of CMS and Pathfinder data.

ACKNOWLEDGEMENTS

The Pathfinder data from the NOAA/NASA programme used in this study were provided by the California Institute of Technology Jet Propulsion Laboratory (JPL), "Physical Oceanography Distributed Active Archive Center" (PODAAC). The authors would like to warmly thank Dr. J. Vasquez, who helped us to access these data.

The anomaly charts from the Arpège analysis were provided by the AVISO vent/flux Department of Météo-France ; we would like to especially thank L. Degeilh for his kind help.

REFERENCES

- ANTOINE J.Y., DERRIEN M., HARANG L., LE BORGNE P., LE GLEAU H. AND LE GOAS C., 1992. – Errors at large satellite zenith angles on AVHRR derived sea surface temperatures. *International Journal of Remote Sensing*, 13, 9, pp 1797-1804.
- CASTAGNÉ N., LE BORGNE P., LE VOURC'H J. AND OLRV J.P. – Operational measurements of sea surface temperatures at CMS Lannion from NOAA-7 AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 7,8, 953-984.
- CAYULA J.F. AND CORNILLON P., 1996. – Cloud detection from a sequence of SST images. *Remote sensing of Environment*, 55, 80-88.
- DERRIEN M., GAILLARD O., LE BORGNE P., LE GOAS C., MARSOUIN A., 1992. – SST monitoring of the european seas with AVHRR data. *Proceedings of the Central Symposium of the ISY conference, Munich*, 30 March-4 April 1992, ESA SP-341, pp. 283-288.
- DERRIEN M., FARKI B., HARANG L., LE GLEAU H., NOYALET A., POCHIC D., SAIROUNI A., 1993. – Automatic cloud detection applied to NOAA-II/AVHRR imagery. *Remote sensing of Environment*, 46, 246-267.
- FRANÇOIS C. AND OTTLÉ C., 1996. – Atmospheric corrections in the thermal infrared : Global and water vapor dependent split window algorithms - Applications to ATSR and AVHRR data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34, 2, 457-470.
- LE BORGNE P. AND MARSOUIN A. – Atlas of thermal fronts of the European Seas derived from AVHRR imagery, *Proceedings of the 1995 Meteorological Satellite Data Users' Conference, Winchester (UK)*, 4th-8th September 1995, EUMETSAT EUMP17, pp. 65-72.
- MC CLAIN E.P. – Global sea surface temperatures and cloud clearing for aerosol optical depth estimates. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 4 and 5, 763-769.
- NOAA/NASA AVHRR Oceans Pathfinder Monthly Sea Surface Temperature, <http://podaac.jpl.nasa.gov>.
- OHRING G. AND BOOTH A.L., 1995. – The NOAA Pathfinder program, *Advanced Space Research*, 16, 1010-1020.
- REYNOLDS R.W. AND SMITH T.M., 1995. – A high resolution global Sea Surface Temperature climatology, *Journal of Climate*, 8, 1571-15838.
- VASQUEZ J., VAN TRAN A., SUMAGAYSAY R., SMITH E., HAMILTON M., 1995. – Sea Surface Temperature data set user's guide, NOAA/NASA AVHRR oceans Pathfinder, JPL, California Institute of Technology.
- WALTON C., 1988. – Nonlinear multichannel algorithms for estimating SST with AVHRR satellite data, *Journal of Applied Meteorology*, 27, 2, 115- 124.

Lagouge P.J., Le Borgne P.

Réalisation d'un atlas de températures de surface à échelle fine sur les mers européennes - période 1987-1994 = Creation of a surface temperature atlas of european seas on a fine scale for 1987-1994.

Veille Climatique Satellitaire, 1996, (58-59), p. 57-77.

ISSN 1144-2026