

Ministère de l'Enseignement Supérieur
*** * ***

Université du 7 Novembre à Carthage
*** * ***

**Institut National des Sciences
Appliquées et de Technologie**



Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du

Diplôme National d'Ingénieur en Sciences Appliquées et de Technologie

Filière: Instrumentation et maintenance industrielle

Sujet:

Analyse de la température de surface de la mer à échelle fine

Réalisé par: **Ammar Karem**
Ben Jemia Maher

Entreprise d'accueil:
Météo-France

Soutenu le 15/02/2006

Responsable entreprise: Mme Françoise Taillefer
Responsable INSAT: Mr Faouzi Ben Ammar

Année universitaire: 2005/2006

Remerciements

Au terme de ce stage au sein de l'équipe GMAP du CNRM, nous tenons à remercier tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont contribué à son aboutissement.

Notre profonde reconnaissance s'adresse à Mme Françoise Taillefer qui a su guider notre progression tout au long du projet.

Nous remercions infiniment Mr Pascal Raynaud pour son assistance dans le domaine informatique, surtout en ce qui concerne le logiciel METVIEW.

Nous remercions également Mr Faouzi Ben Ammar, notre encadreur de l'INSAT, pour ses conseils avisés.

Enfin, il nous a été très agréable et extrêmement profitable de séjourner au CNRM/GMAP.

Table des matières

I. Cadre général du projet	6
I.1. CNRM/GMAP	7
I.2. Environnement de travail	8
I.2.1. L'environnement informatique	8
I.2.2. Outils et logiciels utilisés	9
II. Analyse des données par interpolation optimale	10
II.1. Théorie de l'interpolation optimale	11
II.2. Les données utilisées	12
II.2.1. Types d'observations	12
II.2.2. Collecte des données	13
II.3. Présentation de l'ébauche	13
III. Analyse CANARI dans ARPEGE/ALADIN	14
III.1. Présentation du logiciel CANARI	15
III.2. Le flux de données dans CANARI	15
III.3. Contrôle de la qualité des observations	15
III.3.1. Test d'écart à l'ébauche	15
III.3.2. Contrôle de cohérence spatiale	16
III.3.3. Attribution d'un critère final	16
IV. Analyse de la température de surface de la mer dans CANARI/ALADIN	17
IV.1. Les données conventionnelles de TSM	18
IV.2. Le domaine étudié	20
IV.3. La démarche pratique	20
IV.3.1. Préparation des fichiers climatologiques	20
IV.3.2. Préparation de l'ébauche	20
IV.3.3. Extraction des données	20
IV.3.4. Exécution de l'analyse	21
IV.3.5. Post-traitement	22
IV.3.6. Visualisation	22
V. Les données satellitales	25
V.1. Origine des données	26
V.2. Définition de la TSM	26
V.3. Couverture des données	26
V.3.1. MSG et Goes-Est	27
V.3.2. NOAA16, NOAA 17 et NOAA18	28
V.4. Le contenu des données	28
V.5. Le traitement des données	29
V.5.1. Acquisition des données	29
V.5.2. Le masque de nuage	29
V.5.3. Fabrication d'une mosaïque	29
V.5.4. Le calcul de la TSM	29
V.5.5. La validation	30
VI. Analyse des observations satellitales	31
VI.1. Extraction des données de la BDAP	32
VI.2. Sélection des données	32
VI.3. Alimentation ODB pour CANARI	32
VI.4. Analyse et visualisation	32
VI.5. Réalisation d'une analyse séquentielle	34
VII. Expériences réalisées	35

VII.1. Validation de l'analyse	36
VII.2. Ajustement de la portée	39
VII.2.1. Observations conventionnelles	40
VII.2.2. Observations satellitales	42
VII.3. Apport des données satellitales	44
VII.4. Inconvénients des observations satellitales	46
VIII. Conclusion et perspectives.....	49

Introduction

Les caractéristiques physiques et dynamiques d'un modèle de prévision numérique sont deux facteurs essentiels interagissant dans l'évolution d'une prévision. Il ne faut cependant pas perdre de vue que la qualité des prévisions dépend essentiellement de l'état initial du modèle. Cet état doit être, par conséquent, le plus proche possible de l'état réel de l'atmosphère.

L'analyse de données dans un modèle de prévision numérique constitue une étape décisive et incontournable dans la mesure où elle permet de fournir cette estimation de l'état initial de l'atmosphère.

L'état initial décrit toutes les variables du modèle à l'instant $t=0$, à la fois pour les champs d'altitude et les champs de surface. Parmi les variables de surface, la température de surface de la mer occupe une place primordiale, les deux tiers du globe terrestre étant recouverts d'eau.

Actuellement à Météo-France, seul le modèle global ARPEGE possède une analyse opérationnelle de température de surface de la mer. La réalisation de cette analyse à une échelle plus fine pour le modèle à aire limitée ALADIN figure parmi les objectifs de l'établissement, pour améliorer la qualité des prévisions à moyenne échelle.

Notre projet portera sur l'analyse à échelle fine de la température de surface de la mer. Pour cela, nous allons étudier les caractéristiques des données satellitales, seules capables de nous permettre d'atteindre l'échelle voulue, puis essayer de les incorporer dans l'analyse de la température de surface de la mer déjà existante. Ces données vont compléter les observations conventionnelles utilisées jusqu'à présent pour assurer une meilleure couverture spatiale et temporelle des mers et des océans.

I. Cadre général du projet

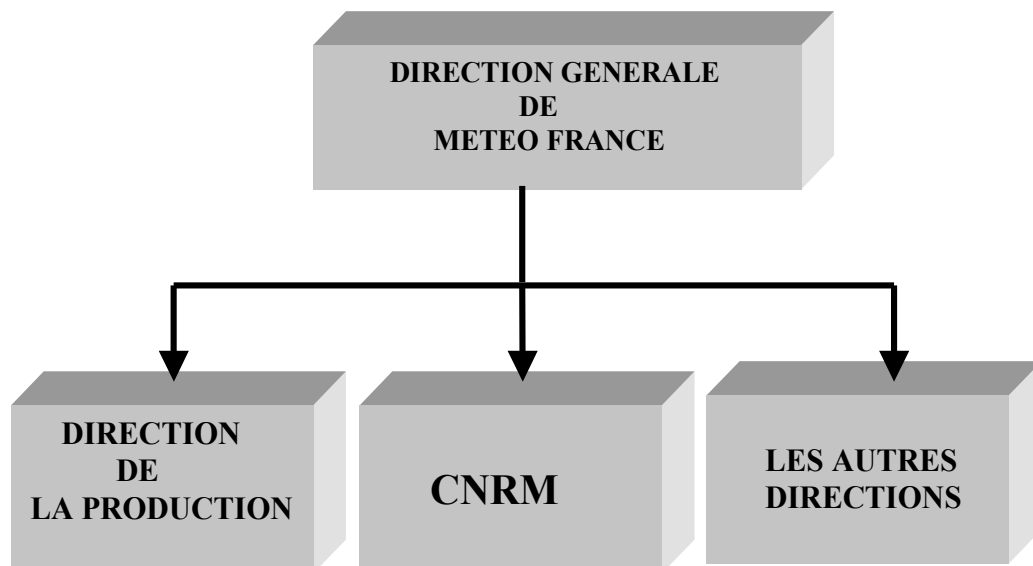
I.1. CNRM/GMAP

Dans le cadre de la coopération entre l'Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie, la Météo Tunisienne et Météo-France, nous avons pu réaliser notre projet de fin d'étude dans le Centre National de Recherche Météorologique (CNRM) et plus précisément dans le Groupe de Modélisation pour l'Assimilation et la Prévision (GMAP).

→ Voici une brève présentation du CNRM et du GMAP et de leurs activités:

- **CNRM**

Le CNRM est la direction qui assure la recherche et le développement à Météo-France. Ces actions de recherche et de développement sont orientées en priorité par les besoins du service public en matière de météorologie: prévision météorologique, physique et dynamique de l'atmosphère, connaissance du climat, interactions entre l'homme, le climat et l'atmosphère. Les domaines de recherche couverts s'étendent aux frontières de la météorologie avec la chimie de l'atmosphère, l'océanographie de surface, la physique et la dynamique du manteau neigeux, l'hydrologie de surface,... Ces recherches sont conduites en coopération étroite avec de nombreux organismes, en particulier les laboratoires de recherche atmosphériques du CNRS et des universités au niveau national et les services de recherche étrangers au niveau international.



- GMAP

Notre projet s'est déroulé au sein du groupe de modélisation pour l'assimilation et la prévision (GMAP). Le groupe figure parmi les plusieurs équipes qui forment le centre national de recherche météorologique (CNRM).

Il est chargé de la recherche et du développement conduisant à de nouveaux modèles numériques de prévision météorologique ou à l'amélioration des modèles existants, incluant à la fois la dynamique, les paramètres physiques et les techniques d'assimilation de données.

I.2. Environnement de travail

Pour la réalisation de ce projet, nous devons d'abord nous familiariser avec le monde de la prévision numérique, l'environnement informatique et les différents outils nécessaires pour l'accomplissement du travail.

I.2.1. L'environnement informatique

Au sein du groupe GMAP, l'ordinateur du bureau est lié à plusieurs machines en liaison étoile, selon le schéma de la Figure1 :

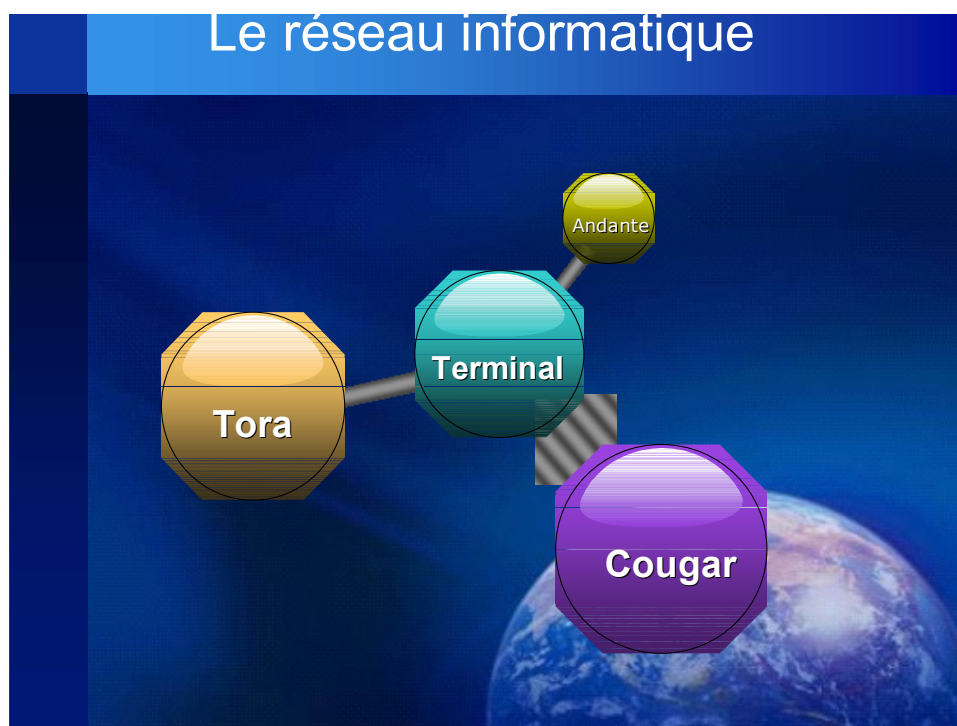


Figure1

✓ Le supercalculateur : fabriqué par la société FUJITSU, il est composé de 2 ordinateurs de 124 processeurs VPP5000. L'un est appelé Kami, il est composé de 60 processeurs et dédié aux tâches opérationnelles ; l'autre est appelé Tora, il est composé de 64 processeurs et utilisé pour les tâches de recherche et de développement.

✓ Cougar ou Delage : c'est une machine d'archivage qui sert à stocker tous les fichiers nécessaires aux expériences et produits par celles-ci, ainsi que tous les résultats opérationnels des modèles.

✓ La machine HP Andante : utilisée comme frontale avec les différentes bases de données ; elle nous servira donc principalement pour extraire les données dont nous avons besoin.

I.2.2. Outils et logiciels utilisés

Avant d'entamer le travail sur l'analyse des données, nous avons commencé d'abord à manipuler le système d'exploitation LINUX, installé sur notre PC personnel, pour nous familiariser avec les différentes commandes disponibles. Nous nous sommes intéressés ensuite à certains outils nécessaires pour notre projet:

✓ METVIEW: outil de visualisation, qui permet le tracé des différents champs météorologiques (analysés ou prévus), et le pointage des observations.

✓ Mandalay: logiciel qui permet d'explorer le contenu des fichiers d'observations au format ODB (Observation Data Base) en entrée ou en sortie de l'analyse.

II. Analyse des données par interpolation optimale

Tout système de prévision numérique qui se veut de qualité doit démarrer d'un état initial aussi proche que possible de la réalité. Les conditions d'état de l'atmosphère sont connues en quelques points grâce aux observations. Le but de l'analyse est de fabriquer à partir de ces observations un état initial pour tout point de la grille de calcul du modèle.

→ En prévision numérique, l'assimilation des données doit répondre à deux problèmes :

- ✓ l'évolution permanente des systèmes d'observation qui peut affecter la qualité, la représentativité ou la disponibilité des observations et des mesures.
- ✓ la différence de provenance et de nature des données et leur distribution inégale dans l'espace et le temps.

Pour résoudre ce dernier problème, on a d'abord pensé à mettre à jour le modèle à chaque fois qu'une observation est disponible, afin d'avoir la meilleure estimation possible de l'état du modèle à un instant initial et les données collectées sur un intervalle de temps précédant cet instant sont utilisées. Sur cet intervalle de temps, toute observation 'utilisable' remplace le champ correspondant prévu par le modèle.

Une amélioration de ce procédé conduisant à un traitement plus cohérent de données nombreuses et hétérogènes, permet un mélange des observations et des prévisions du modèle, utilisant explicitement cette fois les structures d'erreurs des données, mais aussi du modèle. Celles-ci sont déterminées statistiquement et ne varient pas dans le temps. Pratiquée opérationnellement dans les grands centres de prévision numérique, cette technique d'analyse objective est appelée **interpolation optimale**.

II.1. Théorie de l'interpolation optimale

On dispose d'observations dont on a vérifié la qualité. Il faut maintenant les intégrer à l'ébauche de façon à la modifier pour la rendre aussi proche que possible de l'état atmosphérique initial et ainsi fournir au modèle la meilleure analyse possible.

Soit A le paramètre à analyser; en chaque point de grille, on écrit:

$$A^a_k = A^g_k + \sum \lambda_i (Y^o_i - Y^g_i)$$

avec : A^a_k : valeur qu'on cherche à connaître au point de grille k,

A^g_k : valeur du paramètre A donnée par l'ébauche en k,

λ_i : poids accordé à la valeur observée ; il dépend de la qualité de l'observation (paramètre observé, type de mesure) ainsi que de la qualité estimée de l'ébauche (connue à l'aide d'un modèle statistique),

Y^o_i : valeur observée du paramètre Y au point i d'observation, Y pouvant être A mais aussi tout paramètre fortement corrélé à A et lui étant relié linéairement,

Y^g_i : valeur de Y donnée par l'ébauche en i.

Remarque: la connaissance des A^a_k dépend en théorie de toutes les valeurs observées sur la sphère. En pratique, on ne retiendra que les n observations effectuées dans un certain volume autour de chaque point de grille (i ne décrit qu'un certain domaine sur la sphère).

L'interpolation optimale est l'une des manières de déterminer les λ_j . Cette méthode les évalue de telle sorte que la quantité:

$$\sum_{\text{toutes les obs}} \frac{(\text{valeur observée} - \text{valeur dans l'analyse})^2}{\sigma_{\text{obs}}^2 + \sigma_{\text{ébauche}}^2}$$

soit minimale.

II.2. Les données utilisées

L'atmosphère est décrite par un certain nombre de paramètres physiques, à savoir la température, l'humidité, le vent, et les variables de surface qui sont mesurées directement ou indirectement par des observateurs. De multiples contraintes physiques matérielles et/ou techniques font que certaines de ces observations sont complètement ou partiellement erronées.

Les observations qui sont effectivement reçues ne sont pas instantanément utilisées par l'algorithme d'analyse. Il faut en effet les contrôler pour éliminer celles qui sont visiblement fausses ou semblent incohérentes. Ce processus fournit alors à l'analyse un ensemble de données de bonne qualité représentatives de l'état de l'atmosphère.

II.2.1. Types d'observations

Les observations météorologiques sont disponibles dans divers types de messages (SYNOP, SHIP, AMDAR, SATOB, DRIBU, BATHY, TEMP, PILOT, SATEM.....).

Les SYNOP sont réalisés par les stations météorologiques synoptiques ; ils renseignent sur les paramètres de surface. Les DRIBU sont mesurés par les bouées dérivantes. Les AIREP sont fournis par les avions qui de plus en plus sont équipés du système ASDAR qui mesure automatiquement le vent et la température et les transmet via les satellites aux différentes stations terrestres sous forme de messages AMDAR. Les TEMP correspondent aux radiosondages. Les SATEM correspondent aux données des satellites à orbites polaires (NOAA) qui sont équipés de radiomètres mesurant les radiances dans les différents canaux infrarouges et micro-ondes. Les SATOB sont des messages élaborés à partir des images fournies par les satellites géostationnaires (MSG, GOES...), ils fournissent des mesures de composantes

zonales et méridiennes du vent, obtenues à partir du déplacement des pixels nuageux sur les images satellites.

Paramètres et messages correspondants

paramètres	SYNOP	SHIP	AIREP	SATOB	DRIBU	BATHY	TEMP	PILOT
Pression surface	*	*			*		*	
T2m	*	*			*		*	
U10m	*	*			*		*	*
V10m	*	*			*		*	*
Precip.	*	*						
Neige	*							
SST		*		*	*	*	*	
U			*	*			*	*
V			*	*			*	*
T			*	*			*	
Hu				*				
Hu2m	*	*					*	

II.2.2. Collecte des données

Les moyens de télécommunication jouent un rôle prédominant dans l'opération de collecte de données. Ils devraient par conséquent être performants partout dans le monde puisque la collecte de données se fait en collaboration entre tous les pays.

Le Système Mondial d'Observation forme un vaste système de points de mesures plus ou moins bien répartis sur la planète. Il regroupe environ 10000 points d'observations de surface sur terre , 7000 sur mer , 1000 points de mesure en altitude , 600 stations radar et un système d'observations satellitaires composé de cinq satellites géostationnaires (METEOSAT , GOES) et de satellites à orbite polaire (NOAA 16,NOAA17.....).

→ Toutes ces données seront contrôlées en entrée de toute analyse.

II.3. Présentation de l'ébauche

Les fichiers d'ébauche (guess) représentent pour l'analyse l'information passée qui va subir des modifications apportées par les observations météorologiques recueillies à l'heure H de l'analyse pour représenter au mieux l'état initial de l'atmosphère.

En pratique, on prend la prévision de l'échéance 6h issue du réseau précédent comme ébauche pour notre analyse. C'est-à-dire que si l'on doit exécuter une analyse le jour J à 0h, le fichier guess sera la prévision 6h lancée à 18h le jour J-1.

III. Analyse CANARI dans ARPEGE/ALADIN

Dans le cadre de l'analyse CANARI du modèle de prévision ARPEGE, opérationnel à METEO-FRANCE, une analyse du champ de TSM a été développée. Elle s'effectue directement sur la grille du modèle, et alimente le champ global de température de surface.

Cette analyse a été codée de façon similaire à celle que CANARI (Code d'Analyse Nécessaire à Arpège pour ses Rejets et son Initialisation) réalise déjà pour décrire l'état initial des différentes variables du modèle ARPEGE. CANARI travaille par interpolation optimale, directement sur chacun des niveaux du modèle, selon la géométrie de ce dernier.

L'état initial du modèle ALADIN peut être obtenu à partir des fichiers ARPEGE. De ce fait, la prévision qui en résulte n'est qu'une adaptation au relief sur un domaine plus petit de la situation météorologique traitée par le modèle global ARPEGE. Mais comme le modèle ALADIN possède la même physique et la même dynamique que celle d'ARPEGE, il est préférable d'aborder le problème d'analyse de données au sein du modèle ALADIN, en utilisant une méthode déjà développée pour le modèle global ARPEGE. D'où l'adaptation de l'analyse CANARI pour le modèle ALADIN.

III.1. Présentation du logiciel CANARI

CANARI est un logiciel qui exécute une analyse par interpolation optimale pour toutes les variables météorologiques. Il réalise une combinaison des informations initiales, en minimisant l'erreur quadratique moyenne.

CANARI est un outil d'analyse efficace, stable, simple d'utilisation tout en étant très sophistiqué (contrôle des observations en particulier), installé dans un environnement opérationnel dans plusieurs pays. A METEO-FRANCE, il est utilisé opérationnellement pour initialiser les champs de surface du modèle global.

III.2. Le flux de données dans CANARI

Dans son principe, CANARI réalise une combinaison d'informations provenant d'une ébauche et d'un jeu d'observations. Les observations sont connues de CANARI par l'intermédiaire de fichiers d'observations organisés

en base de données gérée par un système de requêtes particulier. Ces fichiers contiennent initialement les valeurs des paramètres observés et leur localisation spatio-temporelle, ainsi que les statistiques d'erreurs d'observations appropriées et les codes qualité apposés par le prétraitement et le pilotage. En sortie d'analyse, ils contiennent en plus les écarts à l'ébauche et à l'analyse, les écarts-types d'erreurs de l'ébauche aux points d'observations, ainsi que les codes qualité apposés en cours d'analyse et de contrôle.

→ Lors de l'exécution de l'analyse CANARI, cette base de données observées est accédée à chaque fois que c'est nécessaire et l'information devant être utilisée est stockée en mémoire centrale dans des tableaux de travail spécifiques.

III.3. Contrôle de la qualité des observations

Cette opération s'effectue en trois étapes : test de l'écart à l'ébauche, contrôle de cohérence spatiale puis synthèse des étapes précédentes pour attribuer à chaque observation un indice de qualité.

III.3.1. Test d'écart à l'ébauche

Il s'agit là d'une étape incontournable dans tout processus d'analyse. Elle s'effectue séquentiellement, observation par observation. Le guess est interpolé à chaque position

d'observation pour chaque champ, ce qui permet de comparer les valeurs observées et celles du modèle et d'en déduire un premier critère de qualité par comparaison à une valeur appelée seuil de rejet. Au point d'observation nous disposons alors de deux valeurs d'un champ donné : une valeur X_0 réellement observée et une valeur interpolée par CANARI en ce point à partir de l'ébauche X_g . La première tient compte de la situation actuelle de l'état de l'atmosphère et la deuxième tient compte de ce qui s'est passé il y a six heures.

$$\text{On a: } X_0 - X_g \leq \lambda (\text{VAR}_0 + \text{VAR}_g)^{1/2}$$

avec X_0 : valeur du paramètre X observé au point i,

X_g : valeur de X prévue par l'ébauche en i,

λ : seuil de rejet.

VAR_0 : variance de l'erreur de mesure du paramètre X (fonction des instruments et des méthodes de mesure).

VAR_g : variance de l'erreur de prévision (statistiques fixées).

La différence $X_0 - X_g$ est appelée "résidu observé"

L'interpolation de l'ébauche au point d'observation i est obtenue de la façon suivante:

1) interpolation horizontale sur les niveaux du modèle des 12 points de grille les plus proches de i (4 seulement pour les variables de surface),

2) interpolation verticale à la pression du point i.

Si l'inégalité est vérifiée, l'observation est probablement correcte, dans le cas contraire elle est probablement incorrecte.

III.3.2. Contrôle de cohérence spatiale

Pour chaque observation à tester, on effectue une analyse utilisant l'ensemble des observations disponibles, exception faite de l'observation à tester. On obtient alors une valeur estimée, mais faisant intervenir cette fois la variance d'erreur de l'analyse du paramètre analysé et la variance d'erreur d'observation du paramètre observé. Un test similaire, à celui décrit précédemment est effectué et permet d'affecter un critère de qualité supplémentaire.

Ainsi, dans le cas où l'ébauche est de mauvaise qualité, une observation s'en écartant trop pourra être retenue à condition qu'elle soit voisine d'au moins une observation supplémentaire de valeur semblable.

III.3.3. Attribution d'un critère final

A l'issue des deux tests précédents, un critère de qualité est affecté à chaque paramètre de chaque observation selon les priorités suivantes :

un paramètre est déclaré correct si le test à l'ébauche est positif ou, dans le cas contraire, si le test de cohérence spatiale est positif. Dans tous les autres cas, le paramètre est déclaré incorrect.

IV. Analyse de la température de surface de la mer dans CANARI/ALADIN

L'analyse de la température de surface de la mer dans le modèle ALADIN est réalisable grâce au logiciel CANARI déjà décrit dans les parties précédentes.

IV.1. Les données conventionnelles de TSM

Les données conventionnelles de TSM utilisées dans CANARI proviennent des observations utilisées par les météorologistes pour observer et surveiller les mers et les océans. Ces données sont essentiellement fournies par les bouées et les bateaux.

➔ Une description de ces observations est fournie ci-dessous :

OBSERVATIONS DE SURFACE

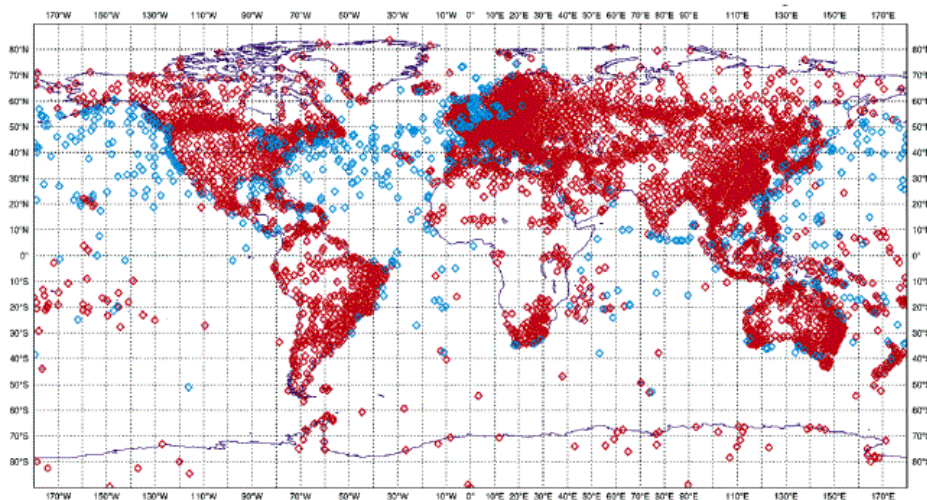


Figure2

- Les 'SYNOP' : données des stations météorologiques synoptiques de surface. Nous allons les utiliser pour récupérer l'information fournie par les stations côtières du domaine d'étude choisi.
- Les 'SHIP' : données mesurées par des bateaux météorologiques et commerciaux équipés d'instruments de mesure.

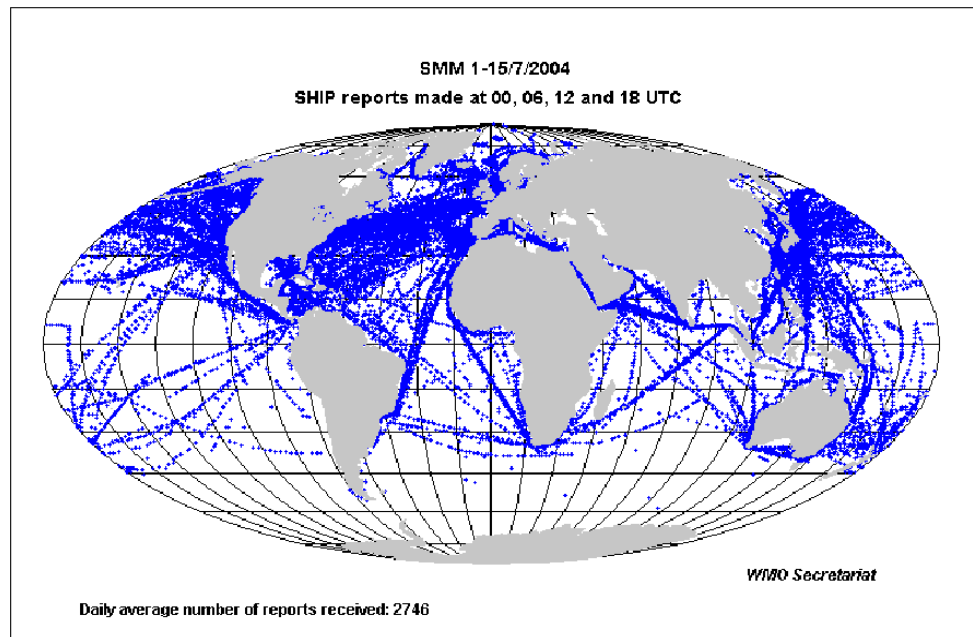


Figure3

- Les ‘TEMP SHIP’ : données obtenues des radiosondages lancés par les bateaux. Dans certains cas, la première mesure correspond à la TSM.
- Les ‘BATHY’ : mesures en profondeur réalisées par des sondes. On prendra aussi la première valeur de la sonde lorsqu’elle représente la surface.
- Les ‘DRIBU’ : mesures effectuées par les bouées dérivantes, qui fournissent des informations sur les paramètres de surface de la mer.

BOUEES (dérivantes et fixes)

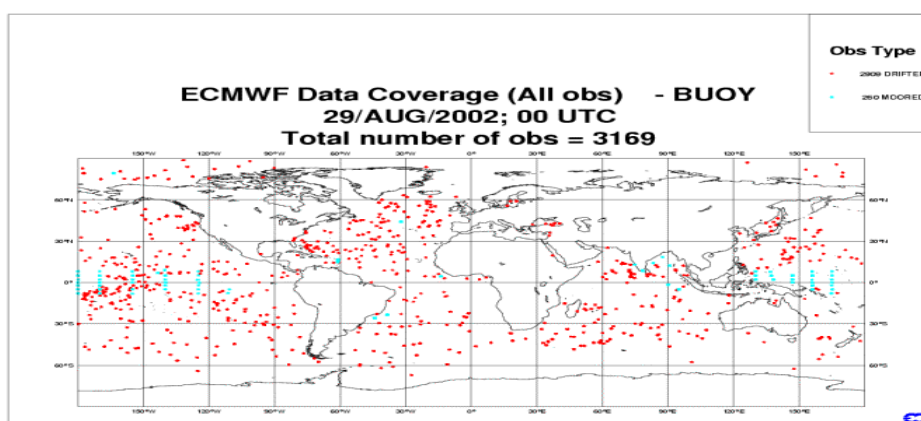


Figure4

IV.2. Le domaine étudié

Le domaine choisi pour la réalisation des expériences représente une partie de la Mer Méditerranée, comportant le Golfe du Lion et le Golfe de Gênes pour la partie nord et les côtes nord du Maghreb pour la partie sud. Ce domaine représente un bon cas d'étude car il contient peu d'observations conventionnelles. Il est défini par les latitudes 45°N et 35°N et les longitudes -1° et 15°E. On l'appellera au cours des expériences le domaine 'MEDIT'.

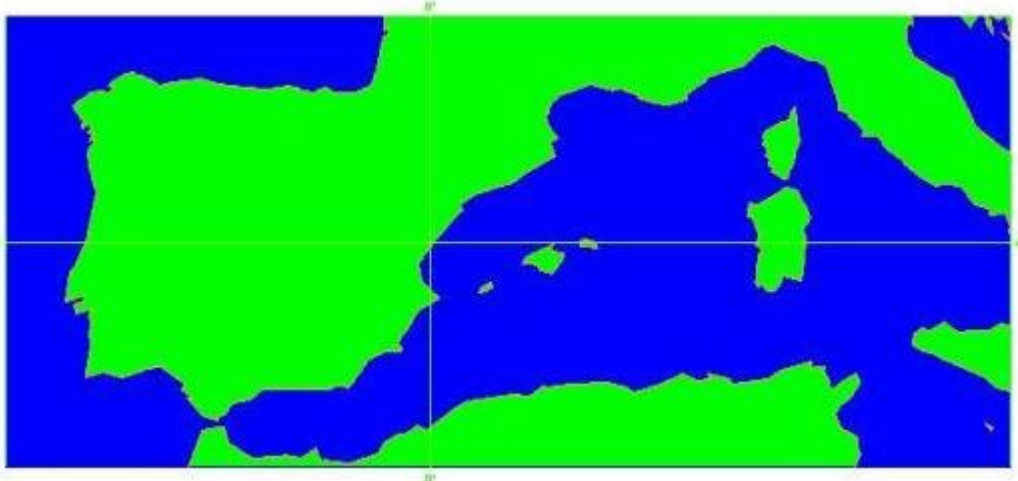


Figure5

IV.3. La démarche pratique

Toutes les étapes de préparation et d'exécution de l'analyse seront étudiées ci-dessous.

IV.3.1. Préparation des fichiers climatologiques

Ce sont des fichiers mensuels nécessaires à toute configuration d'analyse ou d'interpolation horizontale d'ARPEGE et ALADIN.

Ils donnent les caractéristiques de surface (indice terre/mer, propriétés de la végétation, pourcentage de sable, albédo, émissivité) et l'orographie du milieu.

Ils sont élaborés à partir de bases de données globales ou locales selon les paramètres à l'aide de la configuration e923, sur la grille demandée.

IV.3.2. Préparation de l'ébauche

En mode opérationnel, le guess est préparé par tout un cycle d'assimilation propre au modèle considéré en utilisant le plus grand nombre d'observations disponibles.

Mais dans le cas d'étude présent, vu que nous avons défini une nouvelle grille de travail, le guess sera fourni par une prévision 6^h d'ARPEGE de la date correspondante interpolée sur le domaine MEDIT via la configuration e927.

IV.3.3. Extraction des données

Les observations météorologiques sont stockées dans la banque de données météorologique (BDM). Dans une première étape, les données sont extraites de la BDM et sauvegardées dans un fichier intermédiaire au format ASCII à l'aide de la tâche opérationnelle OULAN.

→ La seconde étape consiste en la fabrication d'une base de donnée spécifique, appelée ODB, à partir de ce fichier d'informations, à l'aide de la tâche opérationnelle BATOR.

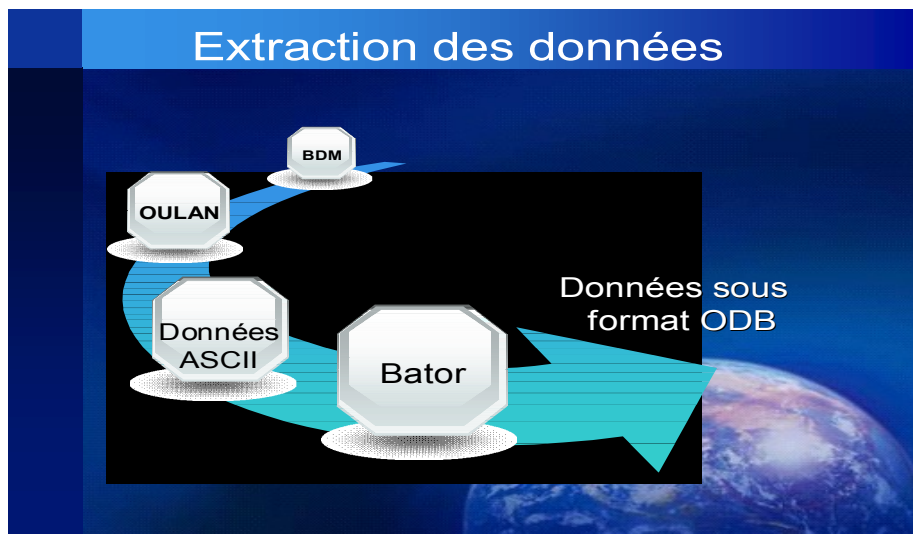
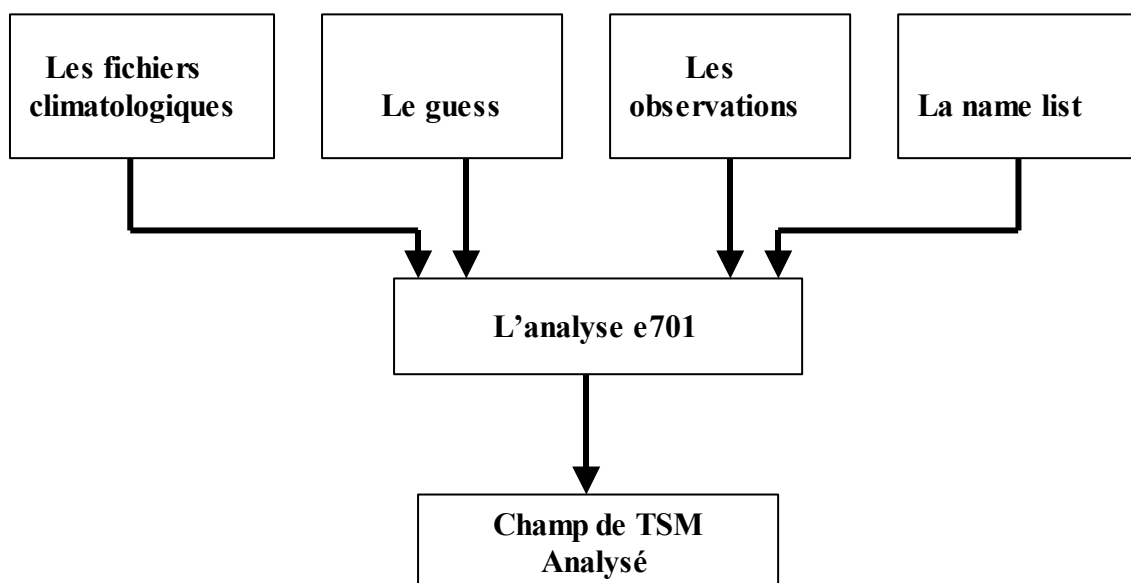


Figure 6

IV.3.4. Exécution de l'analyse

Après avoir préparé toutes les composantes de l'analyse, à savoir la name list (comme fichier de commandes), les fichiers climatologiques, le guess et la base des observations, on lance le script de l'analyse CANARI (e701) qui fournit en sortie un champ de TSM analysé.



IV.3.5. Post-traitement

Cette partie est réalisée après l'analyse par le programme fullpos, qui permet d'interpoler l'analyse depuis la grille modèle vers une grille latitude/longitude. Le nouveau champ est ensuite envoyé au logiciel de visualisation des paramètres météorologiques METVIEW (f. paragraphe 1.2.2).

IV.3.6. Visualisation

Avec toutes les options qu'il possède, METVIEW nous permet de visualiser les résultats des différentes expériences menées sur l'analyse de la TSM.

On pourra ainsi visualiser l'analyse, le guess, l'incrément et voir l'impact des modifications introduites. Ce même logiciel sert aussi à extraire directement les données de la BDAP ou de la BDM et à les visualiser ensuite.

- Exemples de champs visualisés

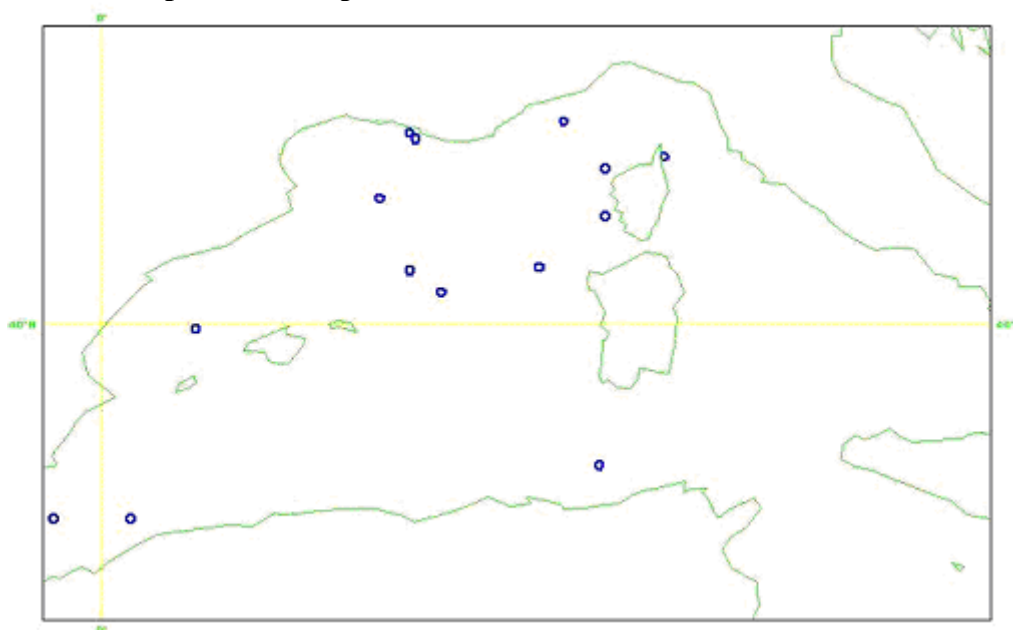


Figure7: Les observations conventionnelles de TSM du 15/09/2005 à 18h

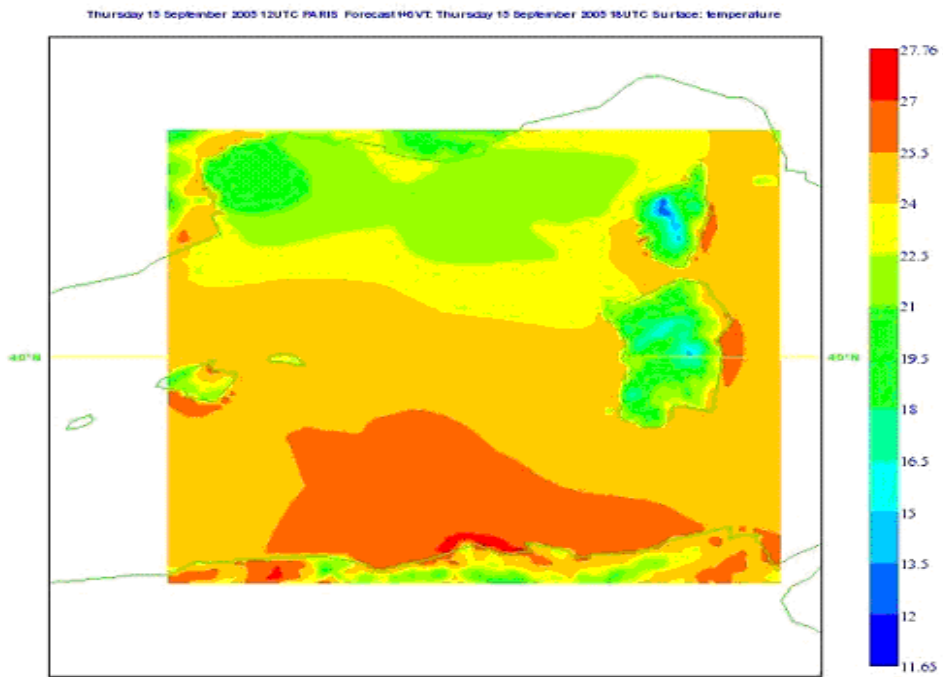


Figure8 :Ebauche

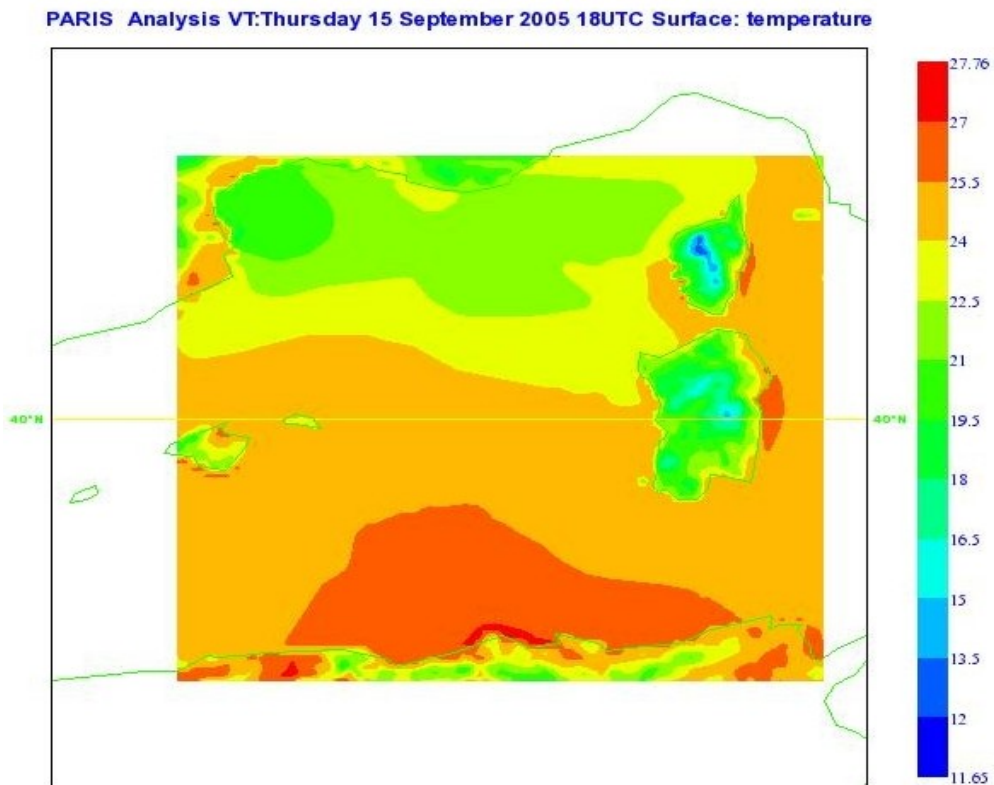


Figure9 : Champ de TSM analysé

PARIS Analysis VT:Thursday 15 September 2005 18UTC Surface: **temperature

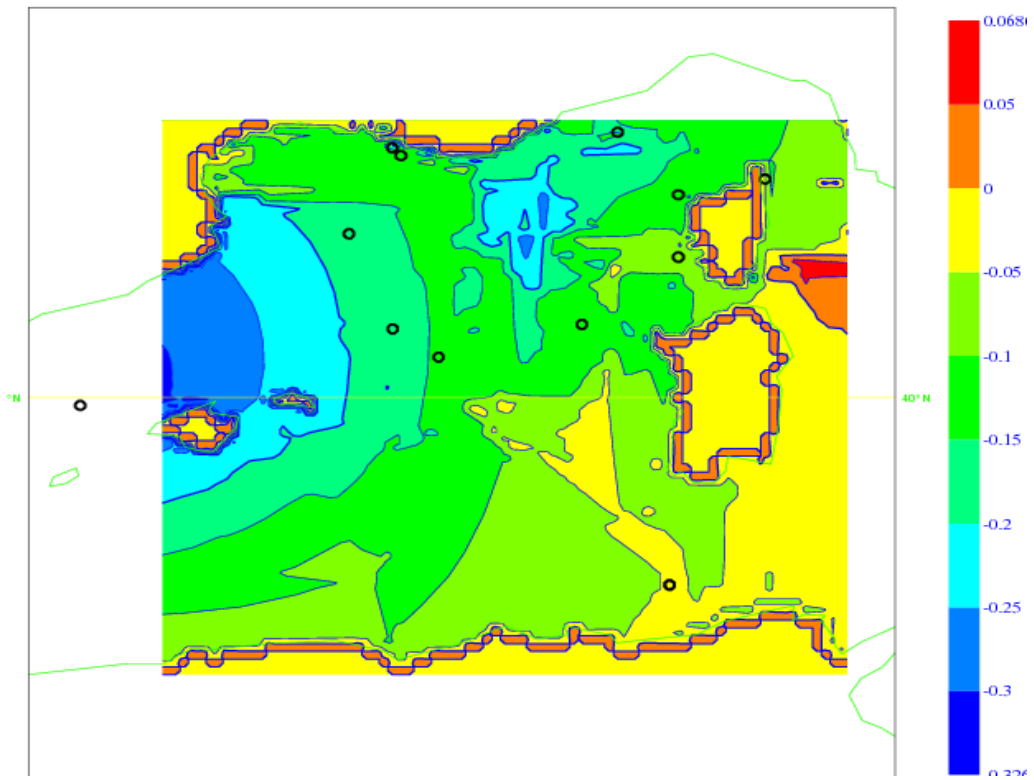


Figure10 :Analyse-Ebauche+Obs

V. Les données satellitales

L'observation par les satellites a largement contribué à une meilleure connaissance du comportement de l'atmosphère et à l'amélioration des prévisions. Ces nouvelles données météorologiques complètent les observations des stations terrestres, des radiosondages et des radars. Elles comblent partiellement la quasi absence d'information sur les zones désertiques et océanographiques. Les mesures des satellites sont traitées en temps réel 24 heures sur 24. Elles fournissent des informations sur la couverture nuageuse, les flux radiatifs, la quantité d'ozone, le profil vertical de température et d'humidité dans l'atmosphère, les paramètres de surface sur mer ou sur continent, dont la température. Les données brutes sont soumises à des traitements informatiques complexes pour les rendre exploitables par différents logiciels d'analyse.

V.1. Origine des données

Les données satellitales de température de surface de la mer dont nous disposons sont acquises et traitées au CMS (Centre de Météorologie Spatiale à Lannion) à partir des mesures effectuées par les satellites géostationnaires (MSG et GOES-Est) et les satellites à orbite polaire (NOAA16, NOAA17 et NOAA18).

✓ MSG est situé au dessus de l'Afrique. Son radiomètre SEVERI possède 4 canaux IR : le canal 4 (3.48-4.36 microns), le canal 7 (8.3-9.1 microns), le canal 9 (9.8-11.8 microns) et le canal 10 (11-13 microns).

✓ Le radiomètre AVHRR embarqué sur les satellites NOAA a trois canaux IR: le canal 3 (3.6-3.8 microns), le canal 4 (10.2-11.2 microns) et le canal 5 (11.5-12.5 microns).

V.2. Définition de la TSM

En pratique, les satellites météorologiques permettent de connaître la température des premiers microns de la surface de l'océan. Les données conventionnelles (bateaux, bouées) proviennent de mesures effectuées à une profondeur de 0.5 à 1 mètre, voire 2m pour certains bateaux.

La différence de température entre la couche superficielle et le volume à 1m est d'environ 0.2 K la nuit, mais cette différence peut atteindre plusieurs K le jour dans les conditions favorables au réchauffement. Les algorithmes dérivés des simulations montrent un biais de quelques degrés K, qu'on peut corriger au cours du traitement des données.

V.3. Couverture des données

Les produits de TSM sont accessibles à tous les utilisateurs sur les serveurs ftp de Météo France et peuvent être livrés sur demande par le réseau de communication de données météorologiques régional (RMDCN) aux services météorologiques européens en format Grib.

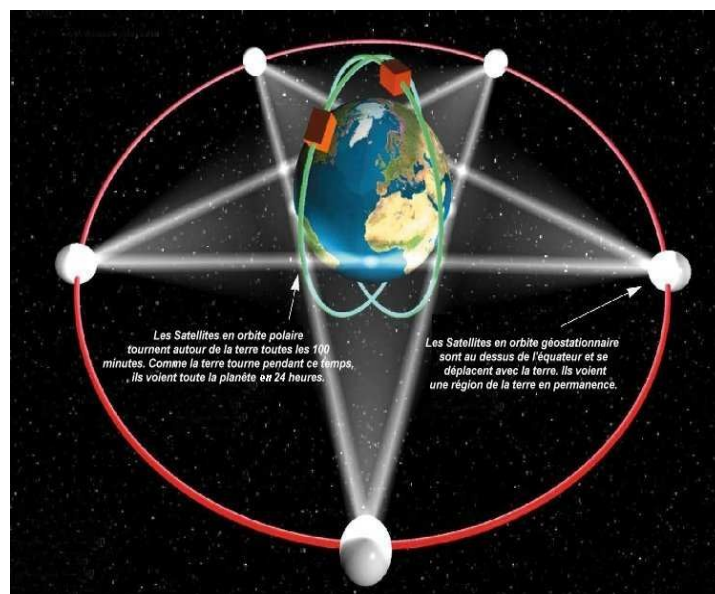
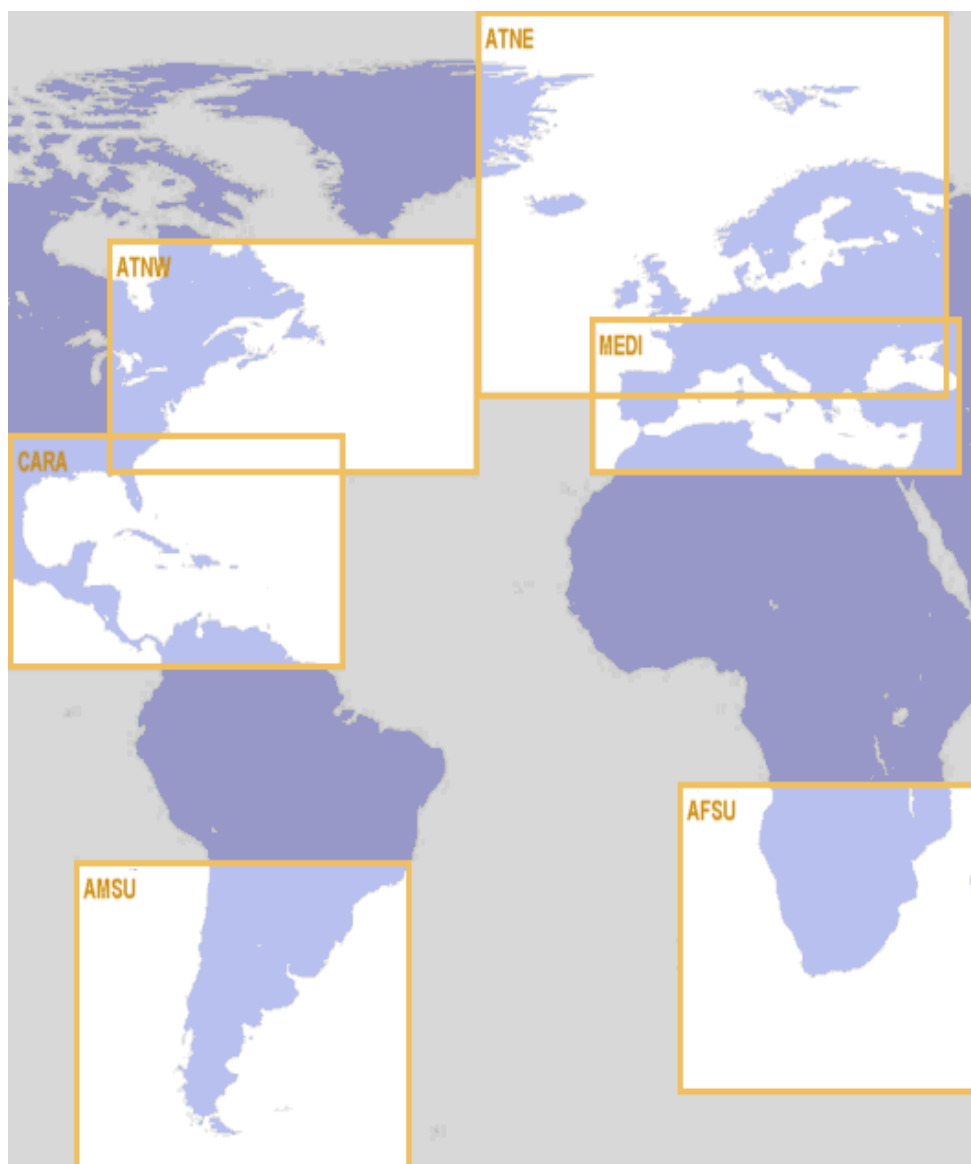


Figure11

V.3.1. MSG et Goes-Est

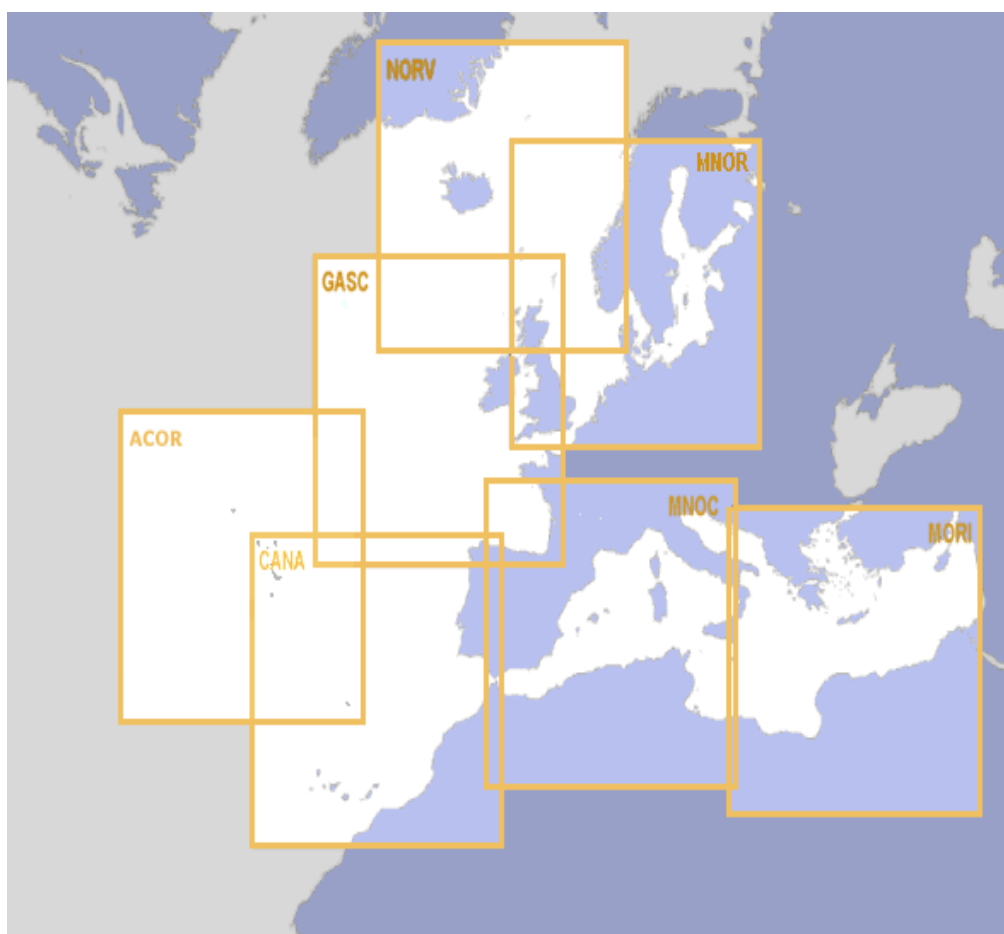


Les données fournies à partir des satellites géostationnaires sont disponibles sur la zone 100°W à 45°E, 60°N à 60°S, sur une grille latitude/longitude de résolution 0.1°.

Les mesures sont moyennées sur 3 heures (fenêtres centrées sur 0100, 0400, 0700, 1000, 1300, 1600, 1900, 2100 UTC) et disponibles 8 fois par jour dans la BDAP.

V.3.2. NOAA16, NOAA 17 et NOAA18

7 zones ont été définies pour couvrir la région du Nord Atlantique.



- MNOC : Méditerranée occidentale.
- MORI : Méditerranée orientale.
- CANA, ACOR et GASC : Océan Atlantique proche.
(Les îles Canari, les Açores et le golfe de Gascogne).

- NORV : Mer de Norvège et Groenland.
- MNOR : Mer du Nord et Mer Baltique.

➔ Ces données sont disponibles 4 fois par jour en projection stéréographique polaire.

V.4. Le contenu des données

Les données provenant des satellites contiennent d'abord le produit principal qui est la température de la couche superficielle de la mer puis des champs associés tel que l'heure moyenne de calcul de chaque pixel et l'indice de qualité qui nous renseigne sur le niveau de confiance donné à chaque pixel et qui est réparti en 6 classes:

5 : excellent, 4 : bon, 3 : acceptable, 2 : mauvais, 1 : incorrect, 0 : non traité.

V.5. Le traitement des données

Les produits satellitaires sont acquis et traités par METEO-FRANCE. La chaîne de traitement de la TSM est brièvement décrite ci-dessous :

V.5.1. Acquisition des données

Cette étape se fait au Centre de Météorologie Spatiale de Lannion (CMS), qui fait partie de la Direction de la Production. Une équipe travaille sur l'acquisition et le calibrage des données satellitaires.

V.5.2. Le masque de nuage

Le masque de nuage opérationnel du CMS est basé sur un algorithme multispectral (Derrien et LeGléau 1999).

Il utilise une échelle fine de climatologie, qui sert à comparer les valeurs de TSM à la température climatologique minimale au même moment de l'année. Une valeur de TSM inférieure à la valeur climatologique donne une indication sur la contamination de la valeur par un nuage.

→ Si $T_s < T_{smin}$: le pixel est considéré comme nuageux.

V.5.3. Fabrication d'une mosaïque

Vu que les satellites à orbite basse balayent le globe par bande, on attend alors que toute la région soit balayée pour reconstruire les morceaux et fabriquer une mosaïque de données pour toute la région. Par contre, les satellites géostationnaires sont fixes par rapport à la terre, et la zone couverte reste inchangée.

V.5.4. Le calcul de la TSM

✓ MSG

Le calcul de la TSM se fait avec deux algorithmes de nuit et de jour.

$$TS = (a+b.S) \cdot T_{87} + (c+d.S)T_{11} + (e+f.S)T_{12} + g.S + h \quad (\text{le jour})$$

$$TS = (a+b.S) T_{87} + (c+d.S)T_{39} + (e+f.S)T_{11} + (g+S.h)T_{12} + i.S + j \quad (\text{la nuit})$$

a, b, c, d, e, f, g, h, i et j sont des constantes tabulées,

T₈₇, T₁₁, T₁₂, et T₃₉ correspondent respectivement aux valeurs des canaux 8.7, 11, 12 et 3.9 microns,

S dépend de la position du satellite.

✓ NOAA/AVHRR

La valeur de la température de surface de la mer est dérivée des températures de brillance correspondant aux canaux 11 et 12 microns.

$$Ts = (A_0 + A_1.S) \cdot T_{11} + (B_0 + B_1 S + B_2 T_{guess}) (T_{11} - T_{12}) + C_0 + C_1.S_1$$

A0, A1, B0, B1, B2, C0 et C1 sont tabulées pour le calcul de la TSM,
T11 et T12 sont les températures de brillance des canaux 11 et 12
microns.
S et S1 dépendent de la position du satellite.

V.5.5. La validation

Beaucoup de tests sont réalisés quotidiennement sur ces données, afin de les valider. Le principe est de comparer les valeurs de bouées à des valeurs satellitales correspondantes à une résolution de 2 km.

Remarques:

- Les données satellitales de TSM sont plus fiables la nuit que le jour à cause du réchauffement solaire de la couche supérieure de la mer.
- La présence de vent améliore nettement la qualité de ces données (en l'absence de nuage) parce qu'elle réalise un brassage de l'eau de mer.

VI. Analyse des observations satellitales

Les deux types de produits décrits précédemment sont élaborés dans le cadre du ‘SAF Océan et Glace de mer’.

On peut penser à priori que les données issues de l’AVHRR/NOAA sont de meilleure qualité que les données MSG, vu leur meilleure résolution spatiale et les grandes performances du radiomètre.

Mais, pour des raisons d’accessibilité, nous allons utiliser celles de MSG qui sont plus faciles à extraire car elles se trouvent dans la BDAP, et sont disponibles selon une géométrie que nous maîtrisons mieux.

VI.1. Extraction des données de la BDAP

Les TSM issues de MSG/Goes-Est sont extraites de la BDAP via une procédure que nous avons développée qui s’exécute sur la machine Andante. Seules les données des cinq derniers jours sont disponibles ; il n’y a pas de rétention plus longue car elles ne sont pas utilisées pour l’instant par les modèles.

VI.2. Sélection des données

Ensuite, on exécute un programme sur Tora afin de ne retenir que les données relatives à notre domaine d’étude (MEDIT) pour les variables souhaitées (température, heure et indice de qualité).

Dans un premier temps, seules les données de nuit sont utilisées afin d’éliminer les problèmes dûs au réchauffement diurne. Il est possible de prendre un maximum de précaution en n’utilisant que les données affectées d’un indice de qualité maximal, mais nous n’appliquerons pas ce critère pour démarrer l’étude.

VI.3. Alimentation ODB pour CANARI

Nous avons modifié le script BATOR pour qu’il fabrique des bases d’observations (ODB) compréhensibles par CANARI et contenant les informations satellitales. Dans un premier temps, nous avons codé ces données satellitales comme des messages de type SHIP. Une discrimination pourra être introduite ultérieurement pour affiner si besoin les fonctions de structures affectées à chaque source d’information dans le code d’analyse.

VI.4. Analyse et visualisation

Après la récupération des données, on suit la procédure déjà vue au paragraphe (4.3.4) pour l’exécution de l’analyse. Seule la base contenant les observations est donc remplacée par une autre contenant les données satellitales.

Visualisation

- Nous présentons les données et l’analyse du 02/01/2006 à 00h

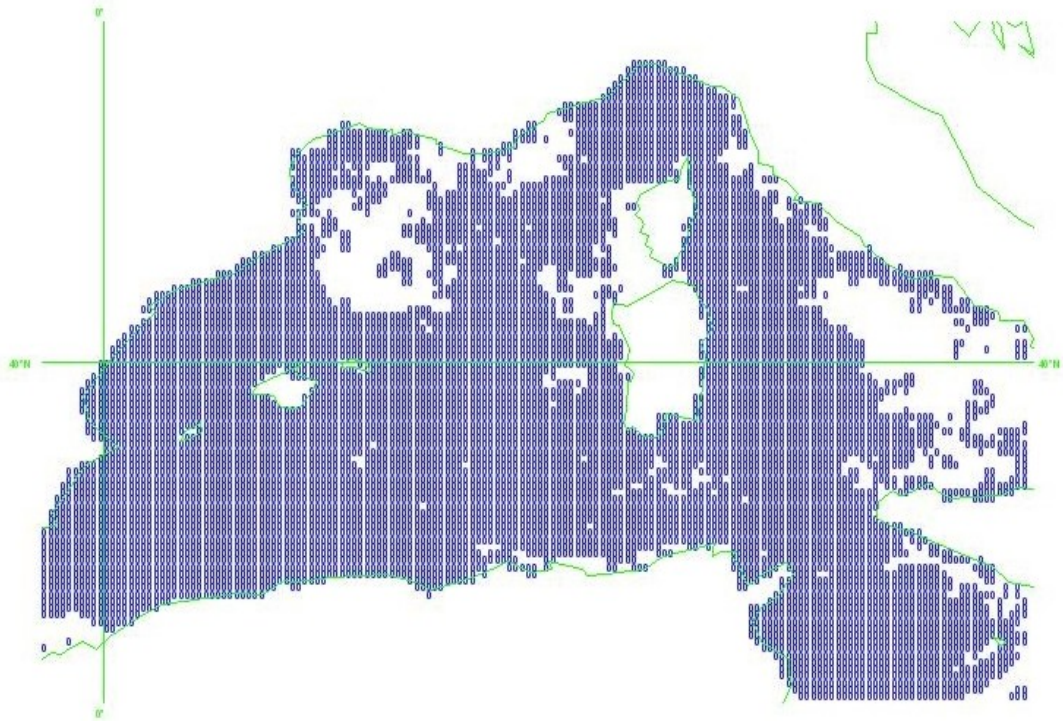


Figure12: Les données satellitales de TSM

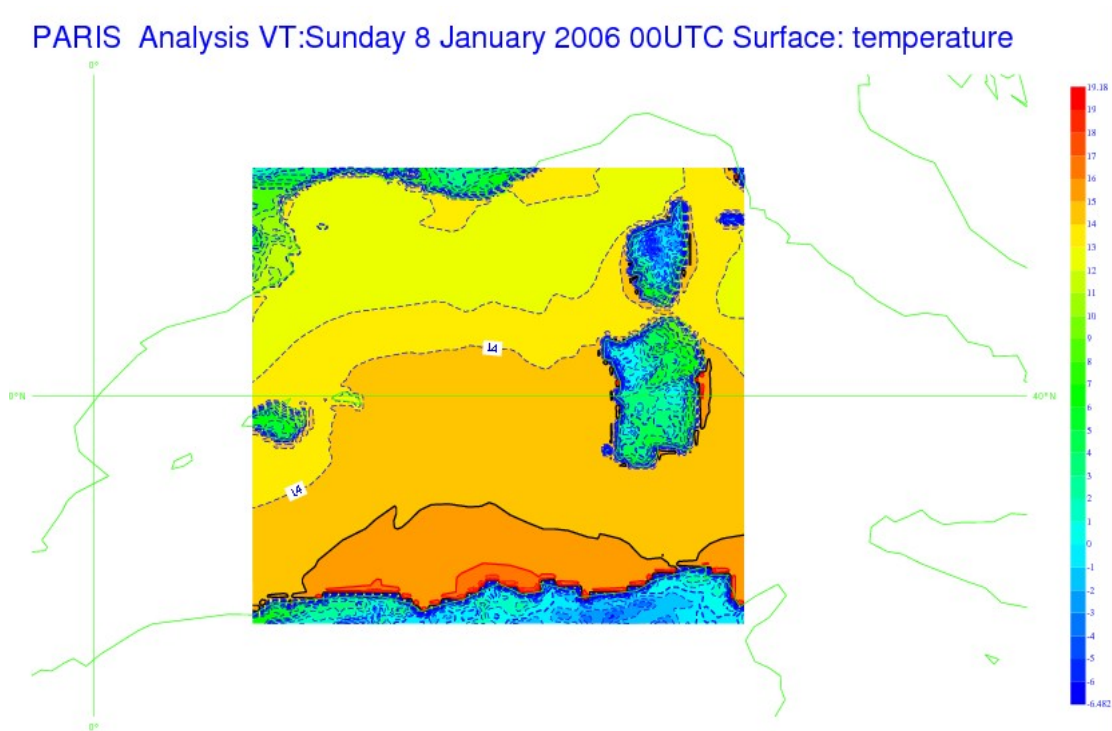


Figure13: Champ de TSM analysé

VI.5. Réalisation d'une analyse séquentielle

Après la réalisation de plusieurs analyses ponctuelles incluant des observations satellitales de TSM, nous avons mis au point un script qui permet l'assimilation de ces observations sur plusieurs jours pour étudier l'évolution du champ de TSM.

En pratique, on initialise le script 'séquenceur' par une ébauche issue d'ARPEGE pour le premier réseau du cycle, ensuite l'ébauche de chaque réseau successif sera automatiquement fournie par l'analyse précédente car le champ de TSM n'évolue pas au cours de la prévision.

Un fichier 'file_date' sera incrémenté après l'analyse de chaque réseau pour permettre le fonctionnement du séquenceur.

On utilisera seulement le réseau 00h pour l'assimilation des données satellitales (cycle de 24h).

Cette approche nous permettra d'étudier les variations de la TSM à une échelle fine pendant les périodes qui seront choisies.

✓ Principe de l'analyse séquentielle

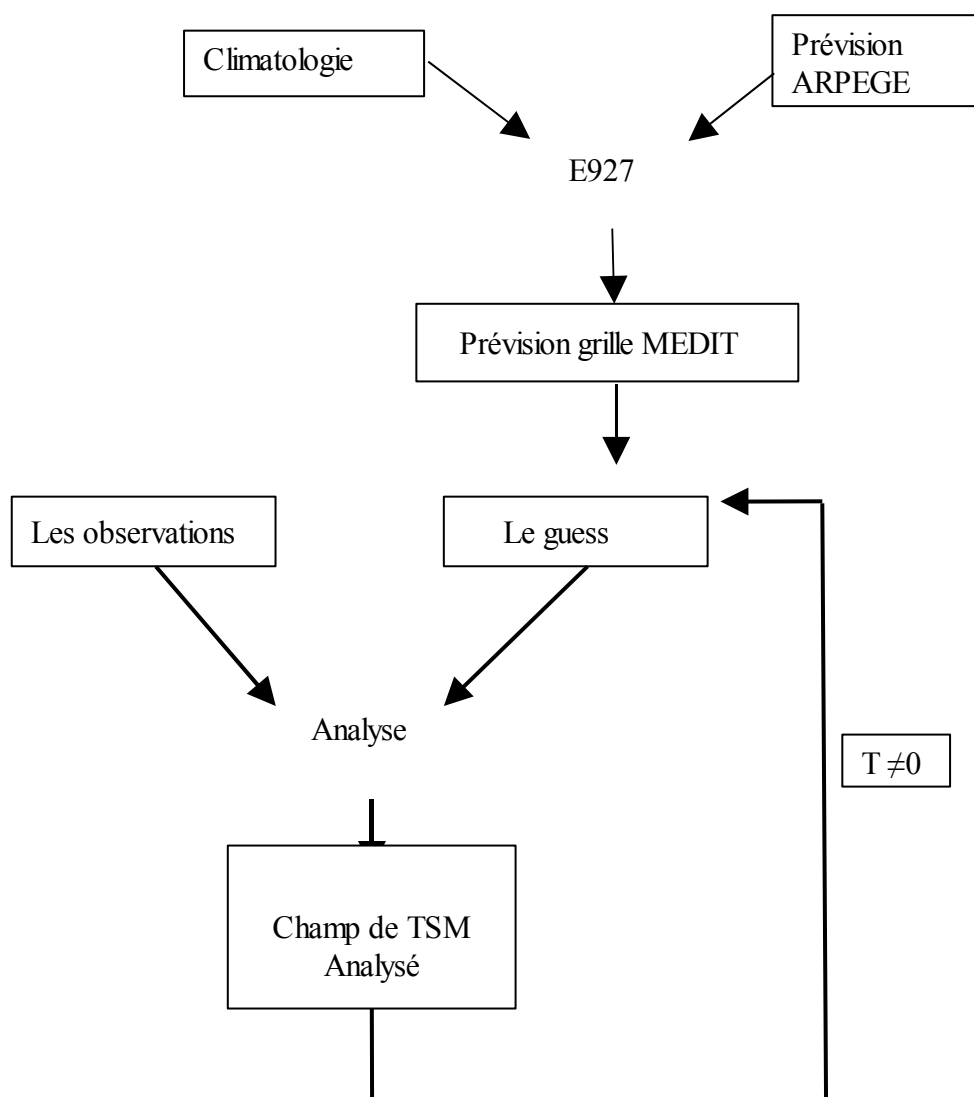


Figure 14

VII. Expériences réalisées

La première partie des expériences va concerner les données conventionnelles de température de surface de la mer afin de valider l'analyse et voir les modifications à faire pour s'adapter à la méso-échelle. La seconde partie sera consacrée à l'introduction des observations satellitales dans l'analyse.

VII.1. Validation de l'analyse

Procédons tout d'abord au pointage des observations sur le domaine d'étude.

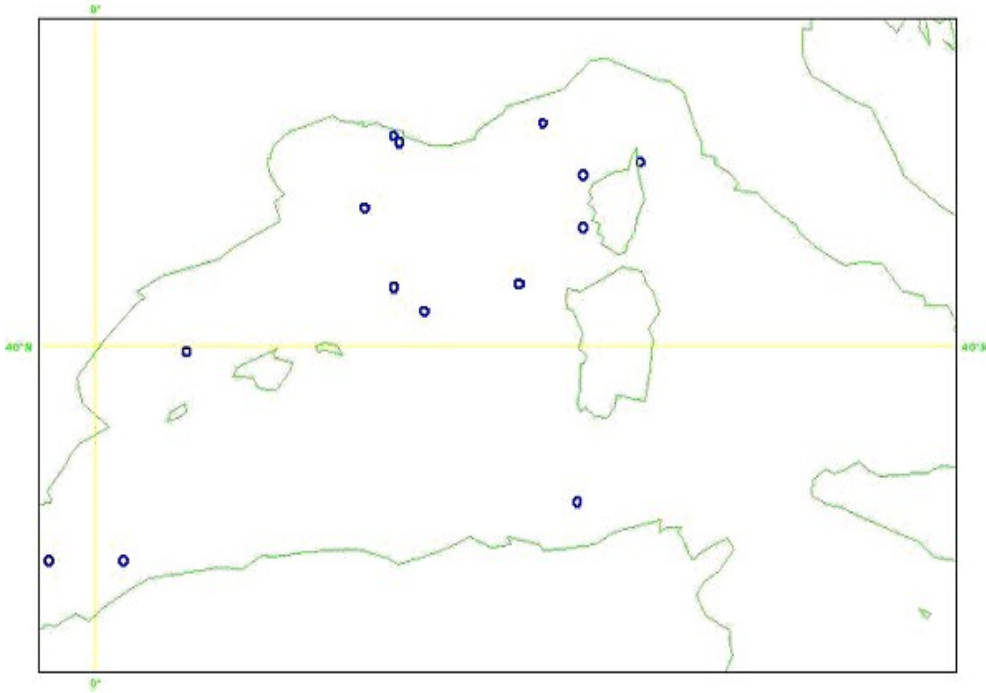


Figure15: Les observations de TSM conventionnelles du 15/09/2005 à 18h.

✓ Nous remarquons que le nombre des observations est faible dans cette zone de la Méditerranée, et surtout vers les côtes tunisiennes. Mais ce nombre d'observations augmente relativement près des côtes tunisiennes dans la période estivale.

Après avoir pointé les observations, nous visualisons l'incrément 'analyse-Ebauche' (Figure16) afin de voir l'effet des observations sur l'analyse.

PARIS Analysis VT:Thursday 15 September 2005 18UTC Surface: **temperature

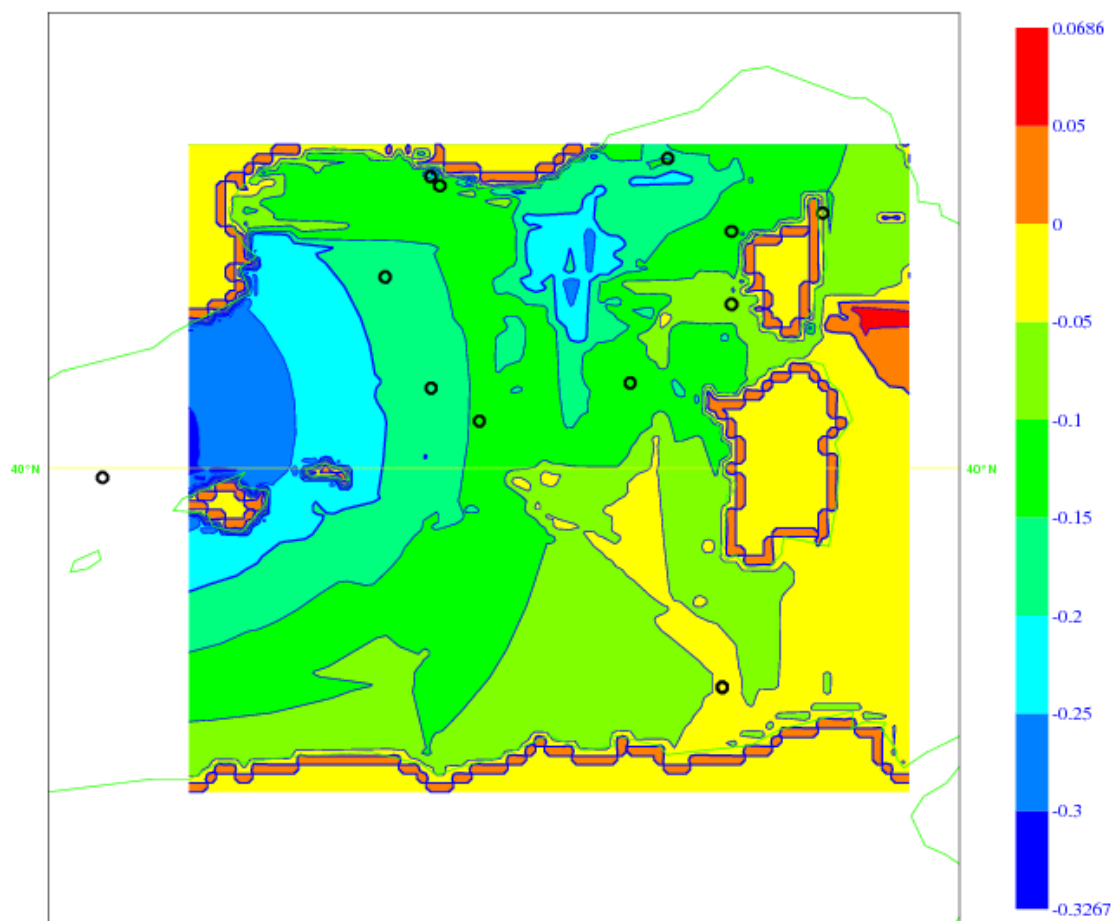


Figure16: Analyse – Ebauche+Obs

✓ Le champ est modifié principalement dans la région nord du domaine à cause de la présence d'observations plus nombreuses dans cette zone.

Mais cette variation reste faible en moyenne (0.3°C) voire négligeable par rapport aux valeurs du guess.

✓ Il n'y a pas eu de variation dans la région sud et l'analyse a conservé les valeurs du guess dans cette zone à cause du manque de données.

La même opération est renouvelée pour la date du 10/06/2005 à 06h

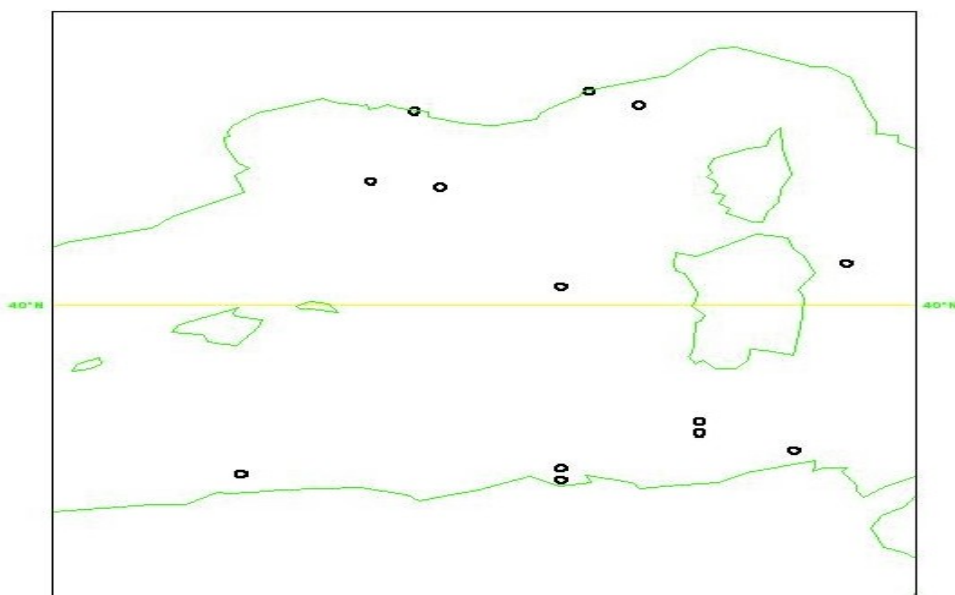


Figure17

PARIS Analysis VT:Friday 10 June 2005 06UTC Surface: **temperature

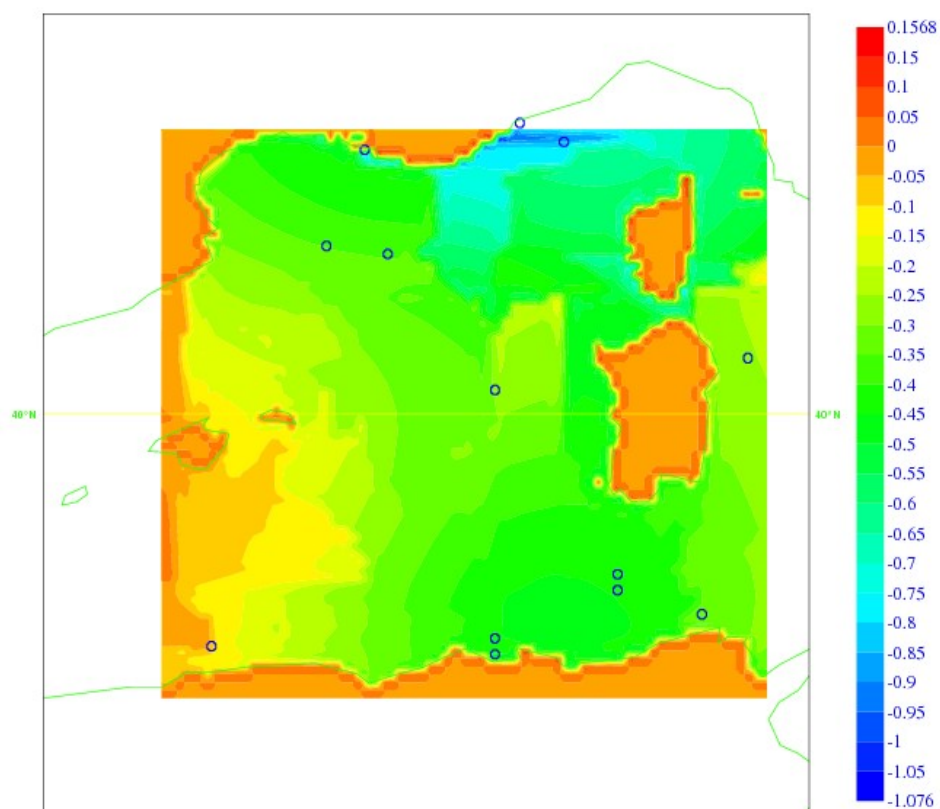


Figure18:Analyse-Ebauche+Obs

✓ Nous voyons mieux dans ce cas (Figure18) l'effet de l'analyse ; la bonne répartition des observations au nord et au sud du domaine nous donne des valeurs significatives (1°C) et plus homogènes de l'incrément.

✓ Nous constatons que le champ varie surtout près des observations, mais on ne sait pas encore si l'analyse travaille dans le bon sens ou pas.

→ L'analyse doit minimiser l'écart qui se trouve entre le guess et les valeurs observées, donc pour valider l'analyse on doit vérifier que:

$$|\text{Obs-analyse}| < |\text{Obs-guess}|$$

Sinon, il serait mieux de garder le guess comme état initial pour alimenter le modèle.

→ Pour réaliser cette vérification, les valeurs 'obs-guess' et 'obs-analyse' sont extraites des bases d'observations de sortie de l'analyse, grâce à des requêtes spécifiques de Mandalay, et ensuite nous dessinons un nuage de point en prenant comme axe des ordonnées les valeurs 'obs-analyse' et comme axe des abscisses les valeurs 'obs-guess'.

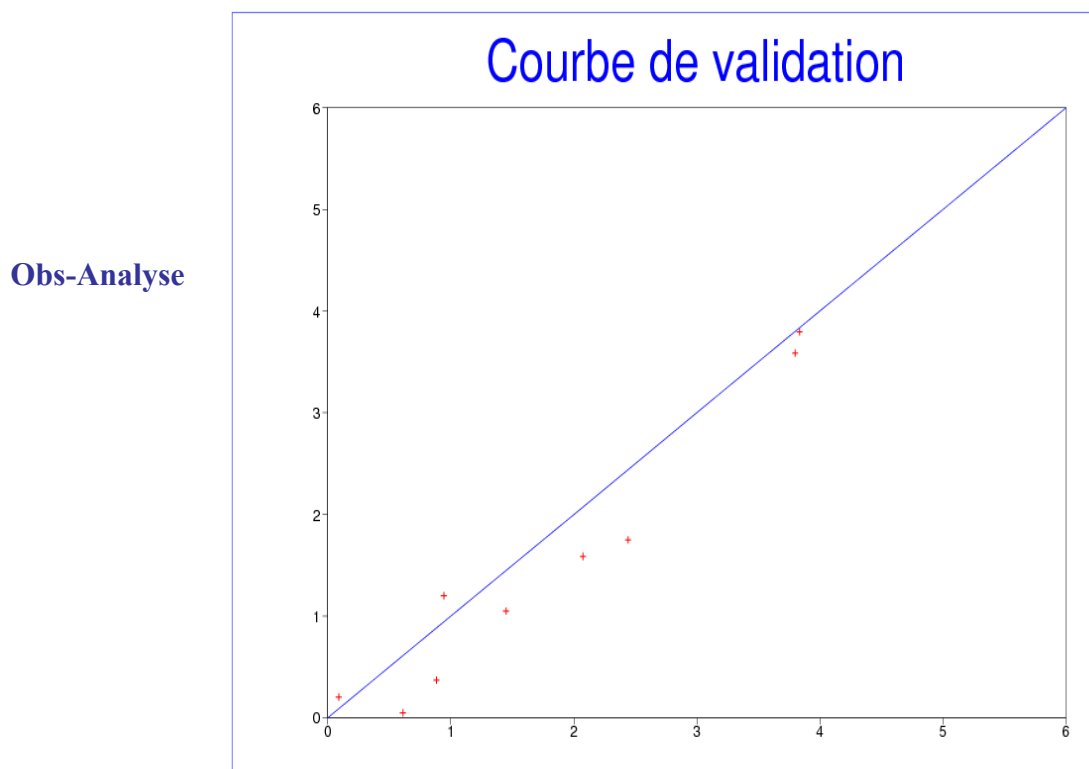


Figure19

✓ La majorité des points (Figure19) se trouve au-dessous de la bissectrice, ce qui confirme notre hypothèse, et valide l'analyse effectuée.

VII.2. Ajustement de la portée

Dans cette expérience, nous allons essayer de régler la portée de l'analyse suivant le nombre d'observations disponibles.

VII.2.1. Observations conventionnelles

L'influence de la portée est testée avec les valeurs 200, 300 et 400 km. Nous présentons ici le cas du 15/09/2005 à 18h.

PARIS Analysis VT:Thursday 15 September 2005 18UTC Surface: **temperature

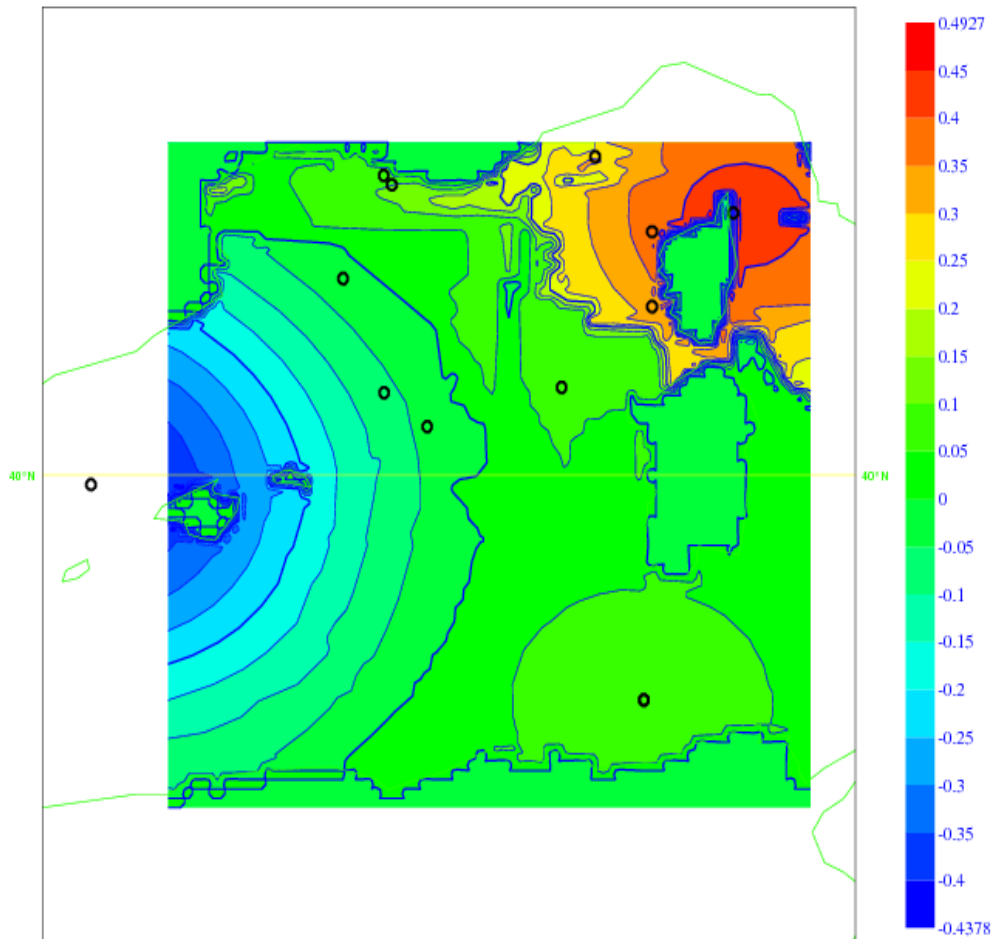


Figure 20: Calcul des résidus avec une portée de 200 km

PARIS Analysis VT:Thursday 15 September 2005 18UTC Surface: **temperature

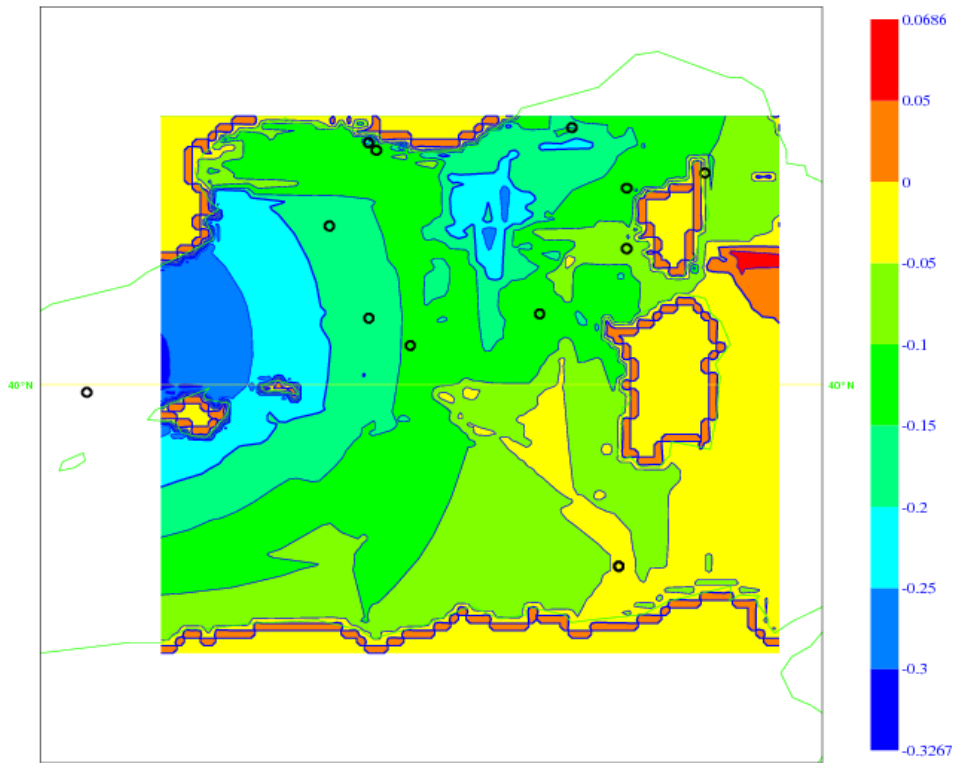


Figure21: Calcul des résidus avec une portée de 300 km

PARIS Analysis VT:Thursday 15 September 2005 18UTC Surface: **temperature

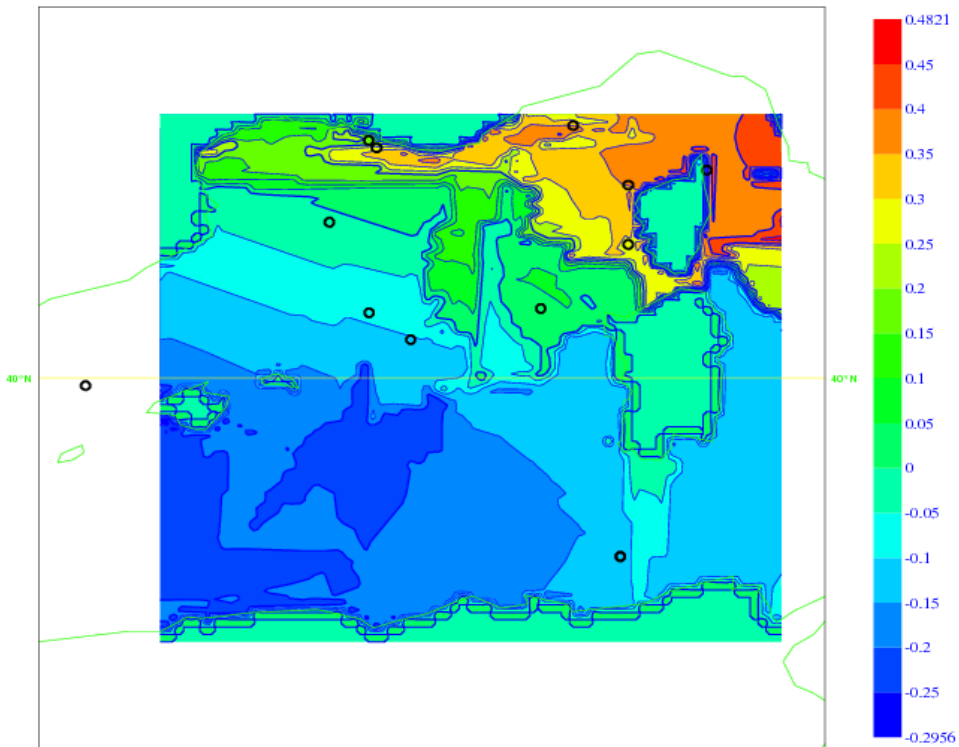


Figure22: Calcul des résidus avec une portée de 400 km

✓ Si on suit l'évolution des isolignes de température près des observations, on constate que la corrélation entre les observations devient plus importante au fur et à mesure qu'on augmente la portée.

VII.2.2. Observations satellitales

Nous présentons les résultats obtenus sur les données du 02/01/2006, car le nombre d'observations est élevé.

Vu la densité des observations (une observation tout les 10 km environ), nous testerons les valeurs 300,200 et 100 km pour la portée.

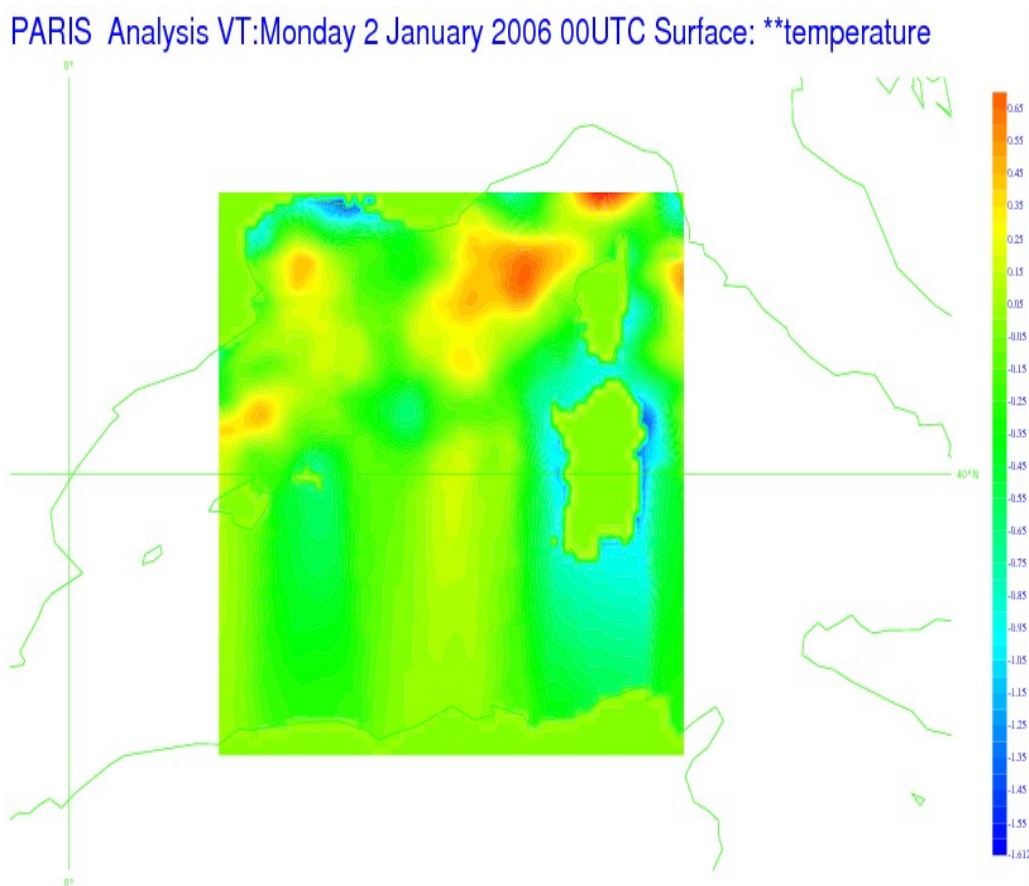


Figure 23: Calcul des résidus avec 300 km

PARIS Analysis VT:Monday 2 January 2006 00UTC Surface: **temperature

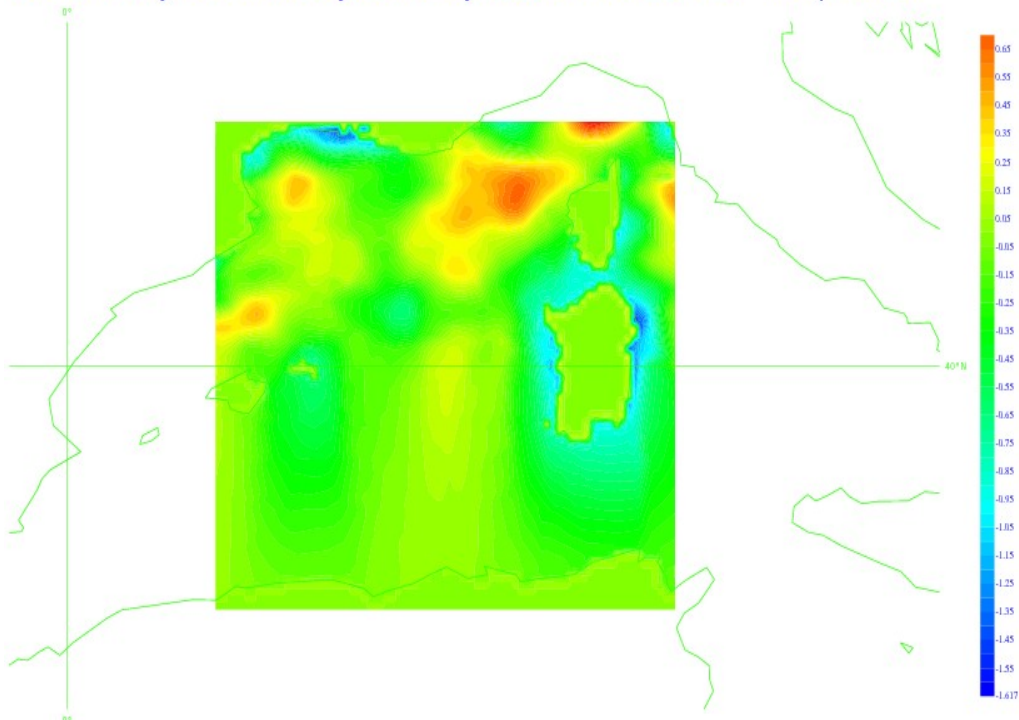


Figure 24: Calcul des résidus avec 200 km

PARIS Analysis VT:Monday 2 January 2006 00UTC Surface: **temperature

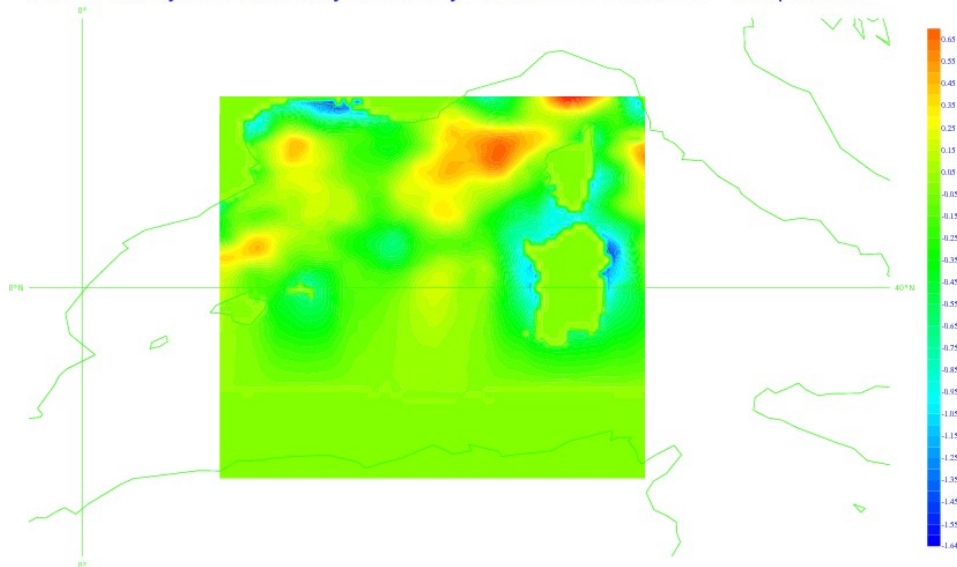


Figure 25: Calcul des résidus avec 100 km

✓ Contrairement aux cas avec les observations conventionnelles, le changement de la portée dans l'analyse avec les observations satellitales n'a pas entraîné de changement important dans le champ final, ce qui est voulu car la taille des systèmes résolus dans l'analyse de chaque point est volontairement plafonnée, le fait d'en rajouter n'apportant aucune information significative.

→ Au vu des résultats précédents, dans les expériences suivantes, la portée utilisée pour définir les différentes corrélations sera de 300 km.

VII.3. Apport des données satellitales

Nous allons maintenant comparer une analyse utilisant des observations satellitales avec une analyse conventionnelle afin d'étudier leurs différences dans une situation météorologique semblable.

→ Nous présentons les résultats pour l'expérience menée sur la situation du 02/01/2006.

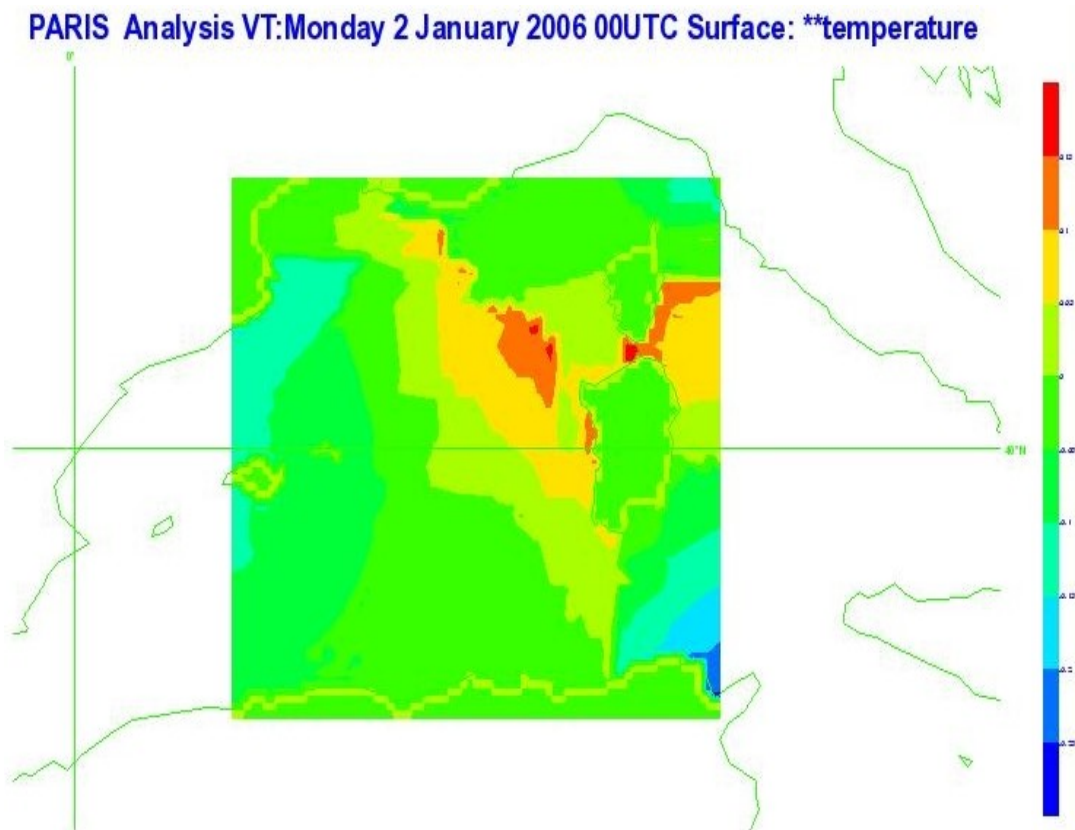


Figure 26: Résidus de l'analyse conventionnelle

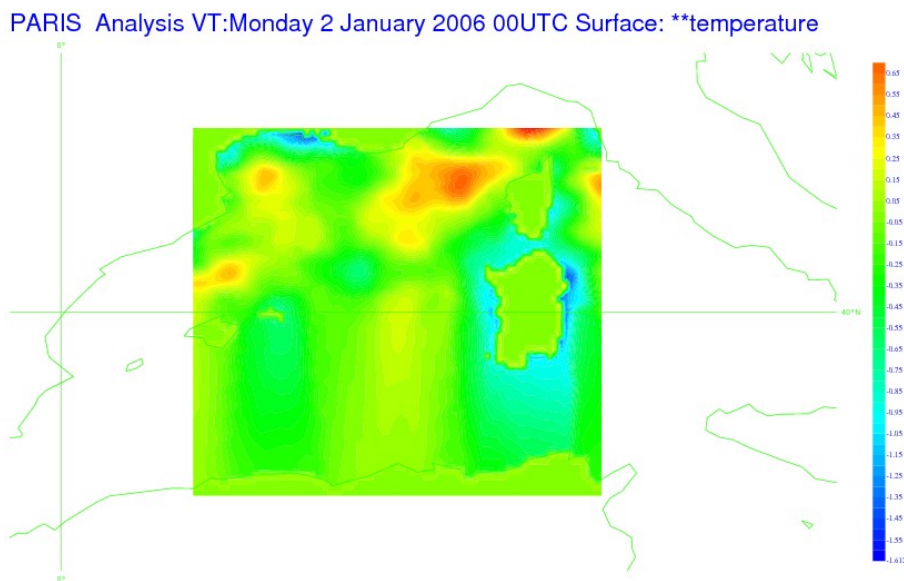
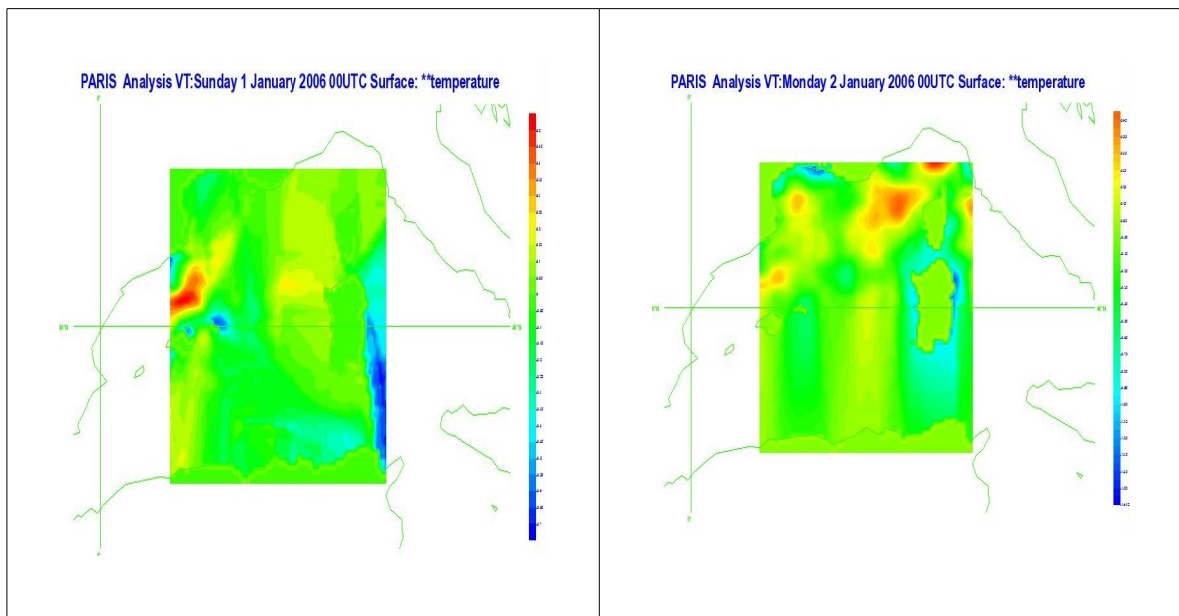


Figure 27: Résidus de l'analyse avec les données satellitales

✓ les structures de l'analyse utilisant les données satellitales (Figure27) sont beaucoup plus fines que celles de l'analyse conventionnelle (Figure26) d'où leur apport dans l'analyse de la température de surface de la mer pour une utilisation à méso-échelle.

➤ Après avoir visualisé l'analyse ponctuelle, nous allons maintenant visualiser les résultats de l'analyse séquentielle.



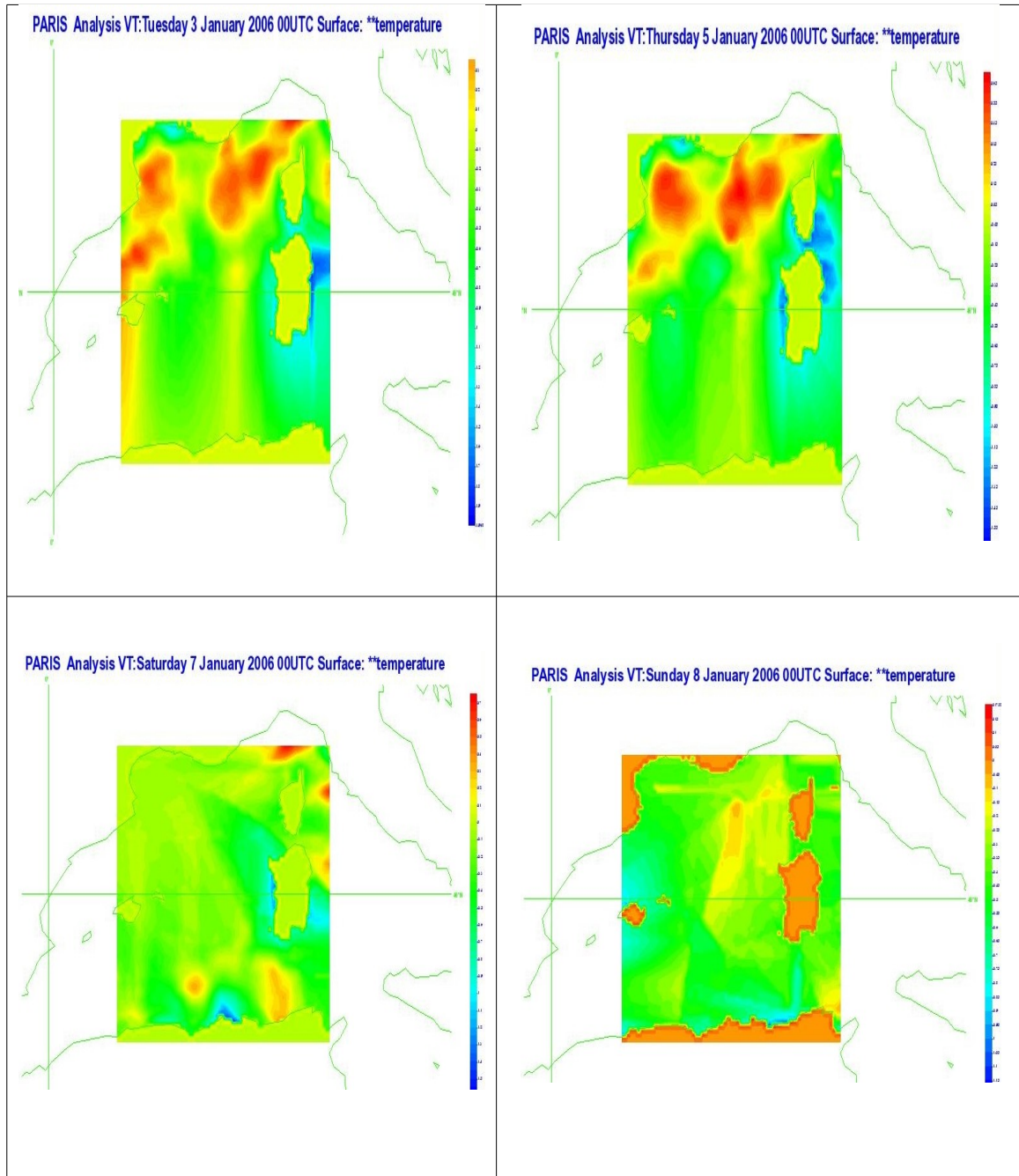


Figure 28: Calcul des résidus par le séquenceur

✓ On remarque que l'utilisation d'une analyse séquentielle des données satellitales permet la détection des variations de la TSM à échelle fine.

VII.4. Inconvénients des observations satellitales

La situation précédente présentait une nuit peu nuageuse sur la Méditerranée, nous allons examiner ce qui se passe lorsque les données satellitales sont peu nombreuses.

→ Cas du 08/02/2006

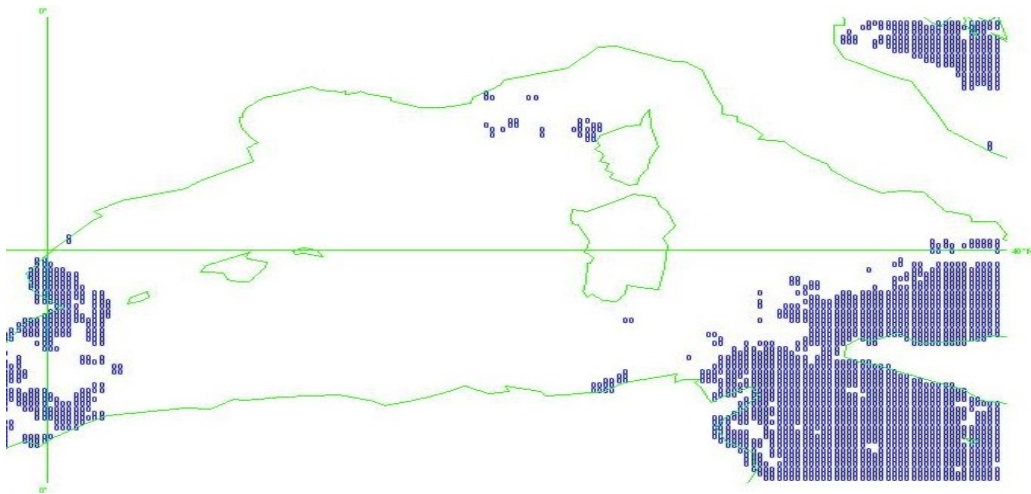


Figure 29: Observations satellitales de TSM

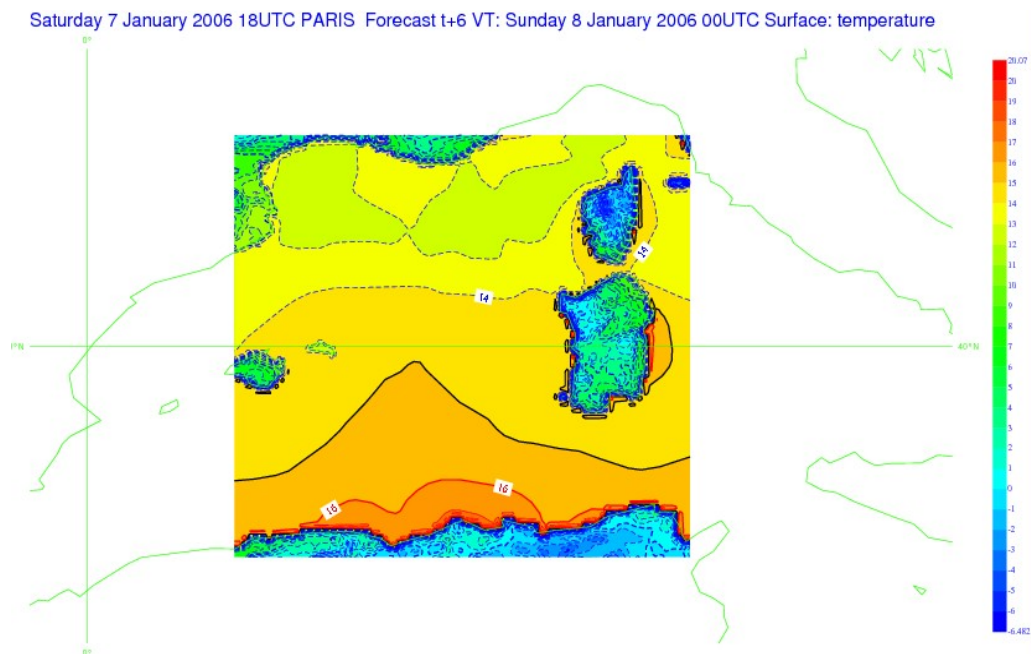


Figure 30: Ebauche

PARIS Analysis VT:Sunday 8 January 2006 00UTC Surface: temperature

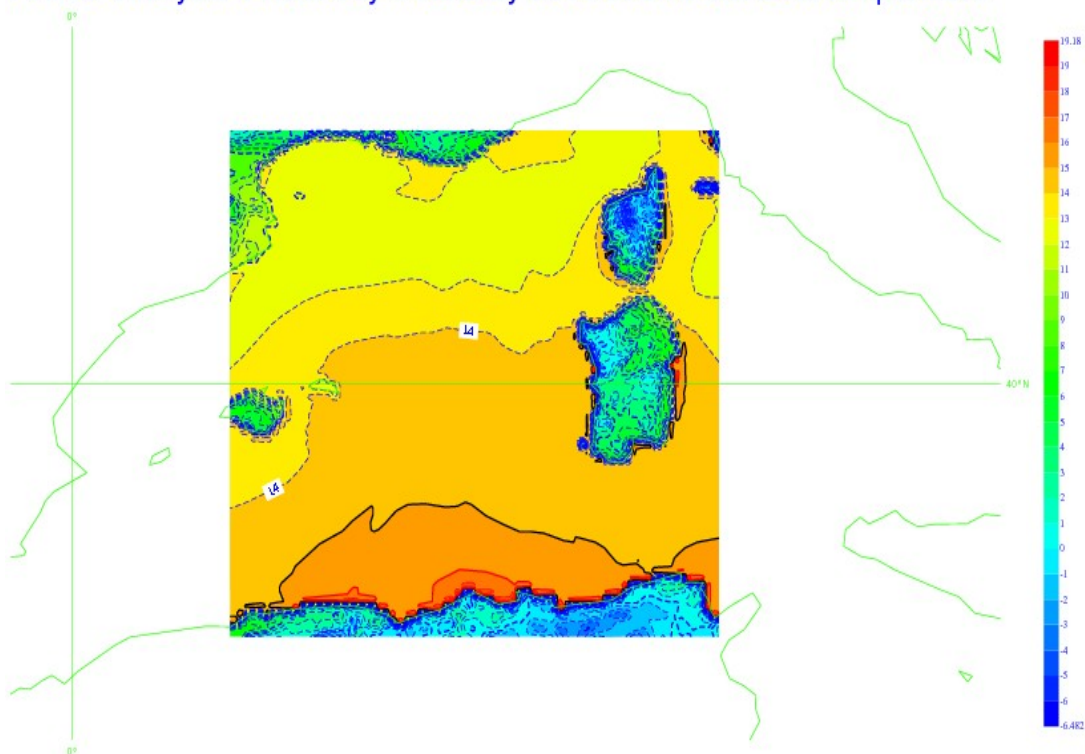


Figure 31: Champ de TSM analysé

✓ Comme prévu, l'analyse (Figure31) est proche de l'ébauche (Figure30), peu d'informations ayant été apportées par les observations.

On peut conclure de cette expérience que les données satellitales ne peuvent pas remplacer les données conventionnelles vu leur dépendance des nuages. Mais ces données vont compléter le réseau d'observation afin d'avoir une meilleure représentativité de l'état réel de l'atmosphère.

VIII. Conclusion et perspectives

L'objectif de notre projet était l'analyse de la température de surface de la mer à échelle fine. Le travail accompli était divisé en trois grandes parties.

La première partie consistait à maîtriser l'environnement informatique et à se familiariser avec le système mis à disposition au sein du groupe GMAP.

Ce ci nous a permis d'acquérir de nouvelles connaissances en informatique et en prévision numérique nécessaires pour la suite de notre vie professionnelle.

Dans la seconde partie, nous avons abordé l'analyse de la température de surface de la mer, dans ses aspects théorique et pratique, incluant la théorie de l'interpolation optimale, les caractéristiques des observations météorologiques et l'exécution pratique de l'analyse.

La dernière partie était consacrée à l'étude des données satellitales de TSM des différents satellites météorologiques (géostationnaires et à orbite polaire) et à leur incorporation dans l'analyse. Cette étape nous a permis de mettre en évidence l'apport de ces données pour l'analyse de la température de surface de la mer pour accéder à une meilleure représentation de la réalité.

Cette analyse pourra être raffinée dans le futur, en lui introduisant quelques changements. Il faudra adapter les fonctions de structure aux données en établissant des variogrammes et réaliser de nouvelles assimilations.

Il sera souhaitable également de comparer les deux types de données satellitales pour utiliser le plus performant.

Quand l'analyse sera réglée à échelle fine, il faudra en évaluer l'impact sur les prévisions du modèle ALADIN.

Table des illustrations

Figure 1 : Le réseau informatique.....	8
Figure 2 : Observations de surface.....	18
Figure 3 : Les mesures des bateaux météorologiques du 15/7/2004.....	19
Figure 4 : Les mesures des bouées du 29/08/2002.....	19
Figure 5 : Le domaine d'étude MEDIT.....	20
Figure 6 : Extraction des données.....	21
Figure 7 : Les données conventionnelles de TSM du 15/09/2005.....	22
Figure 8 : Ebauche du 15/09/2005.....	23
Figure 9 : Champ de TSM analysé du 15/09/2005.....	23
Figure 10 : Analyse-ébauche+OBS du 15/09/2005.....	24
Figure 11 : Les satellites météorologiques.....	26
Figure 12 : Les données satellitaires de TSM du 02/01/2006.....	33
Figure 13 : Champ de TSM analysé du 02/01/2006.....	33
Figure 14 : Principe de l'analyse séquentielle.....	34
Figure 15 : Les données conventionnelles du 15/09/2005 à 18h.....	36
Figure 16 : Analyse-Ebauche.....	37
Figure 17 : Les observations conventionnelles du 10/06/2005.....	38
Figure 18 : Analyse-Ebauche du 10/06/2005.....	38
Figure 19 : Courbe de validation.....	39
Figure 20 : Calcul des résidus avec une portée de 200 km.....	40
Figure 21 : Calcul des résidus avec une portée de 300 km.....	41
Figure 22 : Calcul des résidus avec une portée de 400 km.....	41
Figure 23 : Résidus des données satellitaires avec une portée de 300 km.....	42
Figure 24 : Résidus des données satellitaires avec une portée de 200 km.....	43
Figure 25 : Résidus des données satellitaires avec une portée de 100 km.....	43
Figure 26 : Résidus de l'analyse conventionnelle du 02/01/2006.....	44
Figure 27 : Résidus de l'analyse satellitaire du 02/01/2006.....	45
Figure 28 : Calcul des résidus par le séquenceur.....	46
Figure 29 : Observations satellitaires de TSM du 08/01/2006.....	47
Figure 30 : Ebauche du 08/01/2006.....	47
Figure 31 : Champ de TSM analysé du 08/01/2006.....	48

Glossaire

ALADIN: Aire Limitée Adaptation Dynamique développement InterNational

ARPEGE : Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle

AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer

BDAP : Base de Données Analysées et Prévues

BDM : Base de Données Météorologiques

CANARI : Code d'Analyse Nécessaire à Arpège pour ses Rejets et son Initialisation

CMS : Centre Météorologique Spatial

CNRM : Centre National de Recherche Météorologique

CNRS : Centre National de Recherche Scientifique

GOES : Geostationary Operational Environmental Satellite

MSG : Météosat Seconde Génération

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

TSM : Température de Surface de le Mer

SEVIRI: Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager

CEPMET: Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen Terme

ODB : Observational Data Base

Références

TAILLEFER Françoise, Novembre 2002 : 'CANARI ' Technical Documentation.

RATIER Alain, 1983: 'Essai d'analyse objective optimale de la température de surface de la mer à partir des données conventionnelles', rapport de stage de recherche IEM effectué de Juillet 1982 à Juin 1983 à METEO-FRANCE.

RATIER Alain, 1986 : 'Analyse optimale de la température de surface de la mer', Ateliers de Modélisation du CNRM, Octobre 1986, p 155-156.

OSI SAF Project Team 2001: 'North Atlantic Regional Sea Surface Temperature', Product Manual.

RICHARD W. REYNOLDS AND THOMAS M.SMITH, November 1992: 'Improved Global Sea Surface Temperature Analyses Using Optimum Interpolation'