



United Nations/Morocco/European Space Agency International Workshop  
on the

Use of Space Technology for Sustainable Development

25 – 27 April 2006, Rabat, Morocco

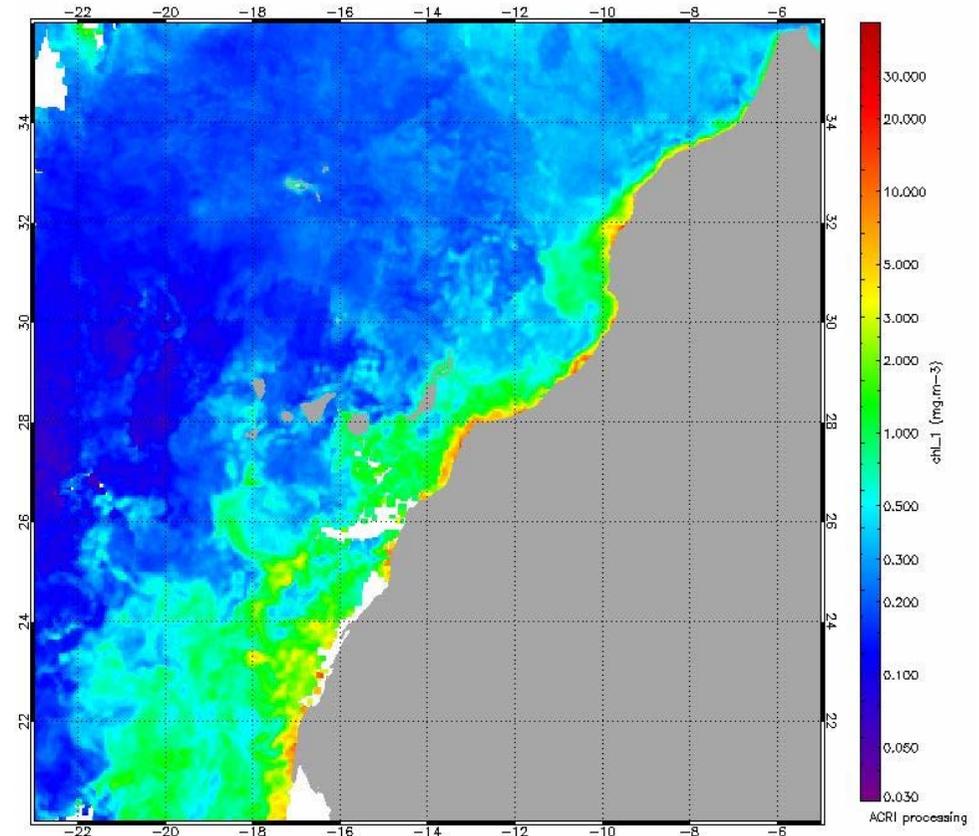


## Génération d'indices d'upwelling à partir de l'observation spatiale pour la caractérisation et le suivi de la dynamique d'upwelling marocain : perspectives halieutiques

Présenté par :

Abderrahman ATILLAH (CRTS, MAROC)

Aissa BEN AZZOUZ (INRH, MAROC)



# *Plan de l'exposé*

## **Introduction**

**-Objectifs et logique de l'étude**

**-Méthodologie de calcul de l'indice d'upwelling : algorithme et paramètres d'entrées**

**-Validation et évaluation de la pertinence scientifique des différents produits**

**-Analyse de la dynamique spatiale et temporelle de l'upwelling marocain**

➤ ***Variabilité saisonnière de l'indice d'upwelling par zones géographiques***

➤ ***Variabilité interannuelle***

➤ ***Anomalie de l'upwelling côtier marocain***

**- Conclusions et perspectives**

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet APPUIT/GERMA co-financé par l'Union Européenne, mené conjointement entre le CRTS et l'INRH

Le travail a été poursuivi, après la phase du projet, des améliorations ont été apportées et les résultats sont en cours d'exploitation et d'analyses, notamment, par l'équipe de l'INRH

### **EQUIPE CRTS**

**-Mr A. ATILLAH**

**-MR. ARID**

### **EQUIPE INRH**

**-Mr A. ORBI**

**-Mr K. HILMI**

**- Mr. A. Ben Azzouz**

### **ACRI**

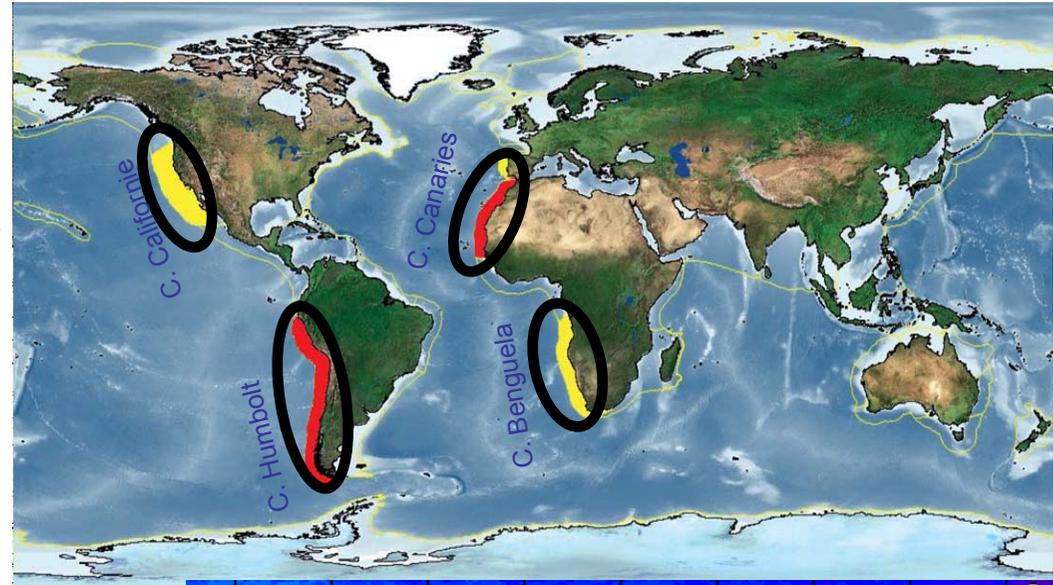
**-Mr MANGIN A**

### **IRD**

**-Mr. DEMARCQ H.**

# Introduction

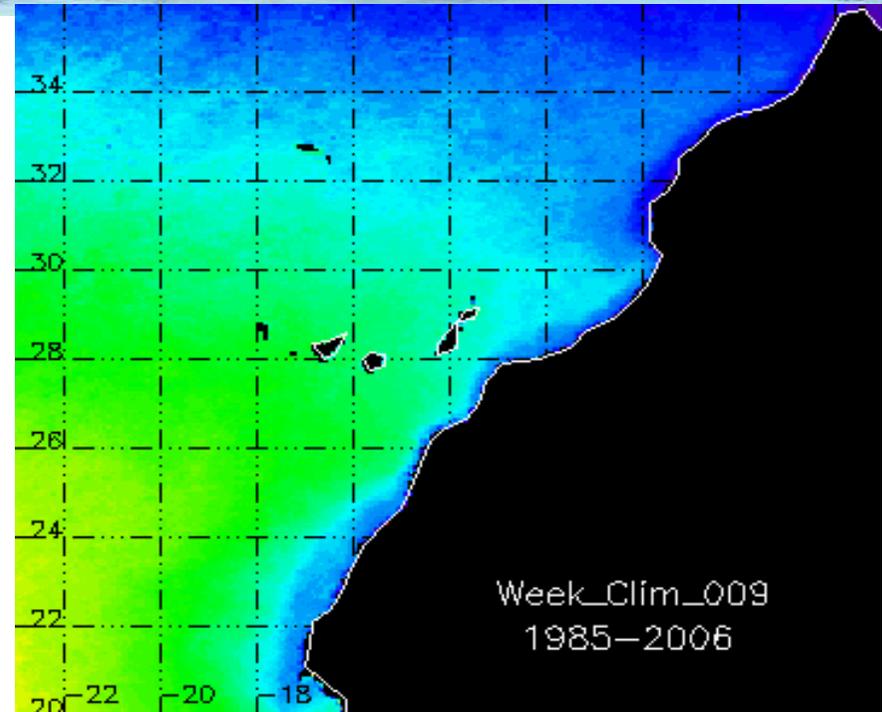
- Les eaux atlantiques marocaines sont l'une des 4 zones les plus importantes au monde par leurs ressources marines caractérisées par le présence du phénomène d'upwelling



- *Système fortement productif et riche en matières organiques et éléments nutritifs développant une importante biomasse*

- *80 % des captures nationales sont constituées par les ressources pélagiques pêchées dans ces zones*

*Série d'image SST correspondante à un cycle annuel moyen (moyenne annuelle de 22 années)*



# Objectifs et logique de l'étude de l'upwelling

- Exploitation des données de l'observation spatiale pour la génération de produits opérationnels adaptés à la caractérisation et au suivi de l'état de l'upwelling et de ses fluctuations spatiales et temporelles (TSM, Chlorophylle a, Indices d'upwelling et de rétention,...)

- Mise à la disposition des utilisateurs de :

- Produits opérationnels issus de l'observation spatiale pour la surveillance et la caractérisation du phénomène d'upwelling en temps quasi réel intégrant différents types d'information (TSM, Chlorophylle, données météo,...);

- Produits de suivi de la dynamique spatio-temporelle du phénomène et de ses paramètres (sur des séries temporelles longues).

- Outils et applicatifs dédiés essentiellement à la recherche scientifique

Station de réception des données NOAA au CRTS

## Logique de l'étude

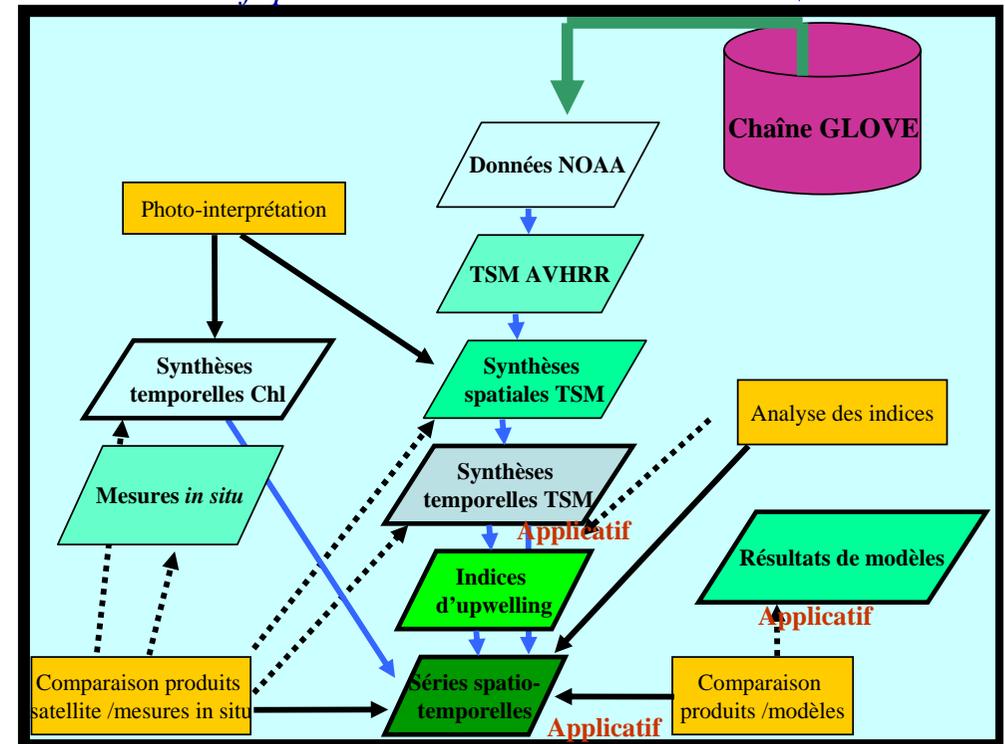
- Définition des produits upwelling à base de télédétection

- Elaboration de méthodologies

- Prototypage des produits et validation technique : réalisation d'applicatifs de génération de produits dérivés

- Validation et évaluation de la pertinence scientifique des produits élaborés

- Constitution des séries temporelles et suivi de la variabilité spatiale et temporelle de l'upwelling :



# Méthode de calcul de l'indice d'upwelling

## Echelle et projection

Tous les produits cartes ou indices sont définis dans deux grilles superposables et géo-référencées en *projection plate carrée* dimensionnées de façon à couvrir l'ensemble du littoral atlantique marocain :

- Grille haute résolution : 1.1km (produit de base)
- Grille basse résolution : 5 km (produit synthèse)
- Latitude : 20° N – 36° N
- Longitude : 23° W – 5° W
- Coordonnées du centre : 28.00° N, 14.00° W.

## Méthodologie appliquée

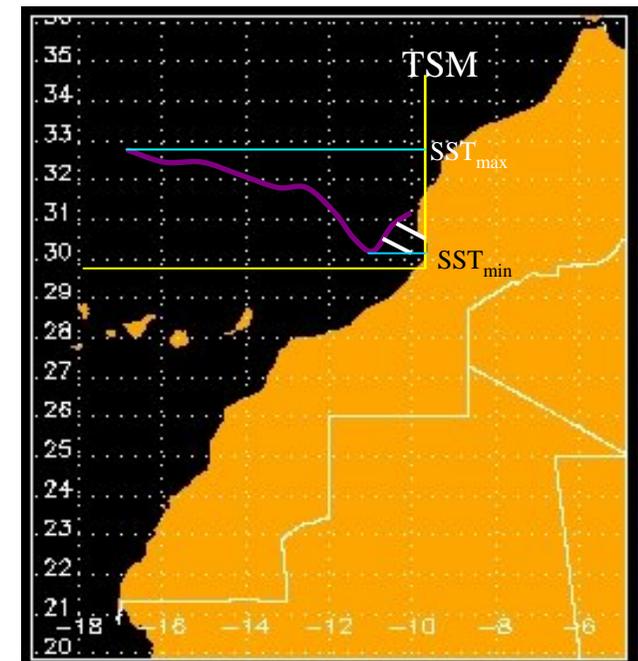
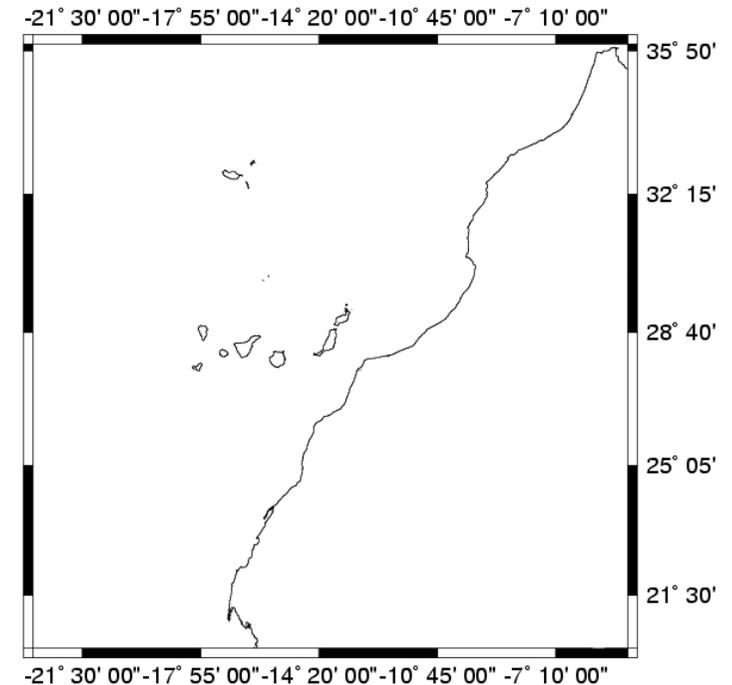
La méthode retenue est celle proposée par (Demarcq & Faure, 2000)

$$CUI = \frac{SST_{max} - SST_{min}}{SST_{max} - SST_{up}}$$

C'est un indice zonal standardisé basé sur la différence thermique entre les eaux d'upwelling côtières froides (temp. min) et les eaux chaudes du large (Temp. max)

- Structuration en « radiales »
- Extraction de la SST le long de la radiale
- Création de l'indice d'upwelling

Cette différence thermique renseigne sur la présence ou non de l'upwelling côtier et sur son intensité



# Méthode de calcul de l'indice d'upwelling :

## Paramètres d'entrées

### 1. Synthèse spatio-temporelle de la TSM : base de calcul de l'indice d'upwelling

Le produit synthèse temporelle TSM est une carte TSM renouvelée régulièrement à partir des *synthèses spatiales quotidiennes* de TSM, issues du capteur NOAA/AVHRR (sur plusieurs jours successifs), elles mêmes composées de plusieurs passages quotidiens

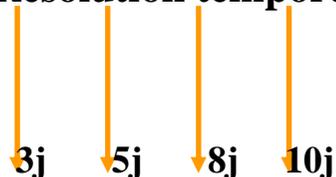
#### a. Justification :

- *Réduction des données par sous-échantillonnage spatial et temporel Simplifier l'analyse et l'interprétation spatio-temporelle de l'upwelling*
- *Contournement de la problématique de la couverture nuageuse;*
- *Elimination de la variabilité à très court terme due aux nuages tout en conservant la variabilité aux échelles de temps et d'espace intéressant le phénomène d'upwelling*

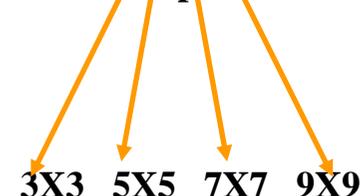
**b. Optimisation et synthétisation de la résolution originale de l'image :** le choix de la fréquence et du filtre spatial a fait l'objet d'une optimisation et d'une évaluation scientifique selon les critères suivants :

- *la conservation de la variabilité aux échelles de temps et d'espace de la dynamique de l'upwelling et la visibilité des structures de surface associées;*
- *l'absence de parasites dans la synthèse liés au déplacement d'une structure au cours de la période de synthèse ;*
- *la réduction du nombre de pixels nuageux dans l'image de sortie*

Résolution temporelle



Filtre spatial



# Méthode de calcul de l'indice d'upwelling :

## Paramètres d'entrées

### 1. Synthèse spatio-temporelle de la TSM : base de calcul de l'indice d'upwelling

L' exercice d'optimisation ont permis de choisir pour la synthèse spatio-temporelle:

- **Une image périodique chaque semaine :**

*(échantillonnage temporel de 8 jours calendaires, débutant le premier janvier de chaque année) :*

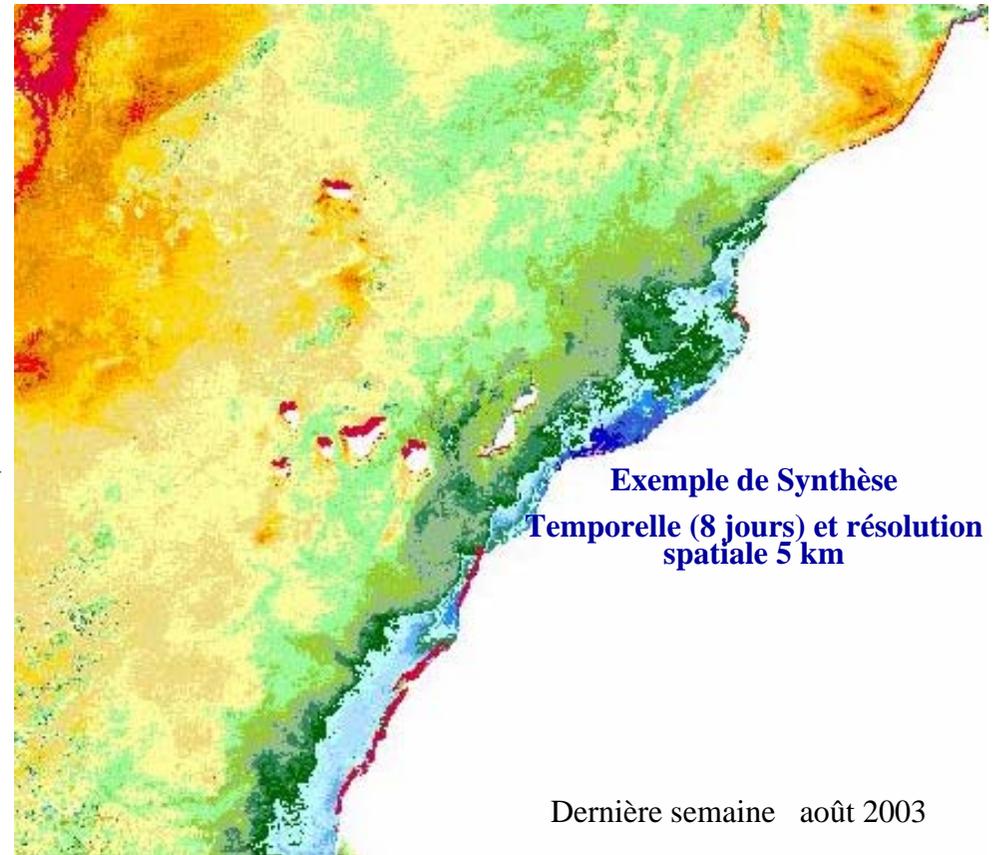
*- ce pas de temps est adéquat pour le suivi de la dynamique temporelle de l'upwelling*

- **un échantillonnage spatial de 5 x 5 pixels (0.05°) :**

*• Cette résolution paraît suffisante pour identifier les structures de moyenne échelle : zones d'upwelling et de rétention, filaments au large des caps, etc,...*

- **Elimination des pixels nuageux**

**• Conservation de la valeur maximale à l'intérieur du filtre spatial et pendant les 8 scènes composant la synthèse**



# Paramètres d'entrées de l'appli

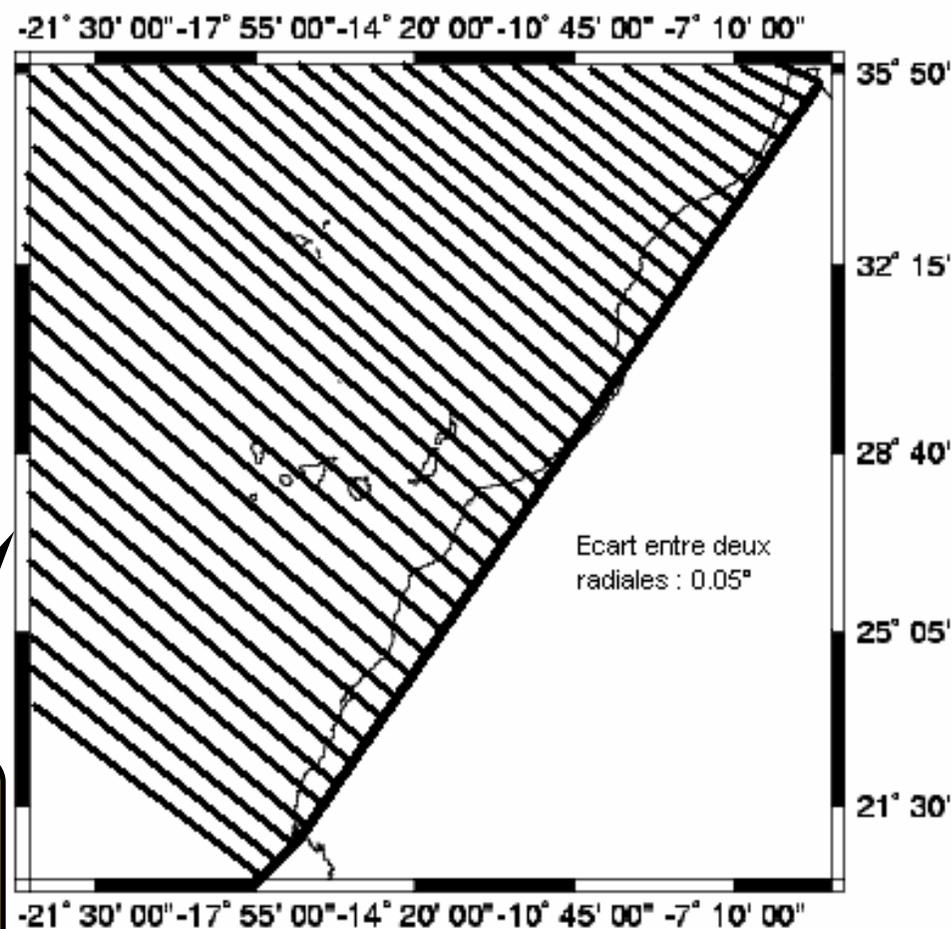
## 2. Cartes des radiales pour l'extraction de la valeur de l'indice:

*Prise en compte des considérations géographiques et océanographiques : largeur du plateau continental et de l'orientation convexe du littoral (choix de lignes de base perpendiculaires à la direction générale de la côte pour mieux couvrir la largeur effective du plateau)*

- Orientation de 32°
- 320 radiales
- Ecart entre 2 radiales : 0.05°

Radiales perpendiculaires au trait de côte

Orientation de 32°





## Paramètres d'entrées de l'applicatif

### 4. Meilleure détermination de la valeur de la référence (TSM maximale)

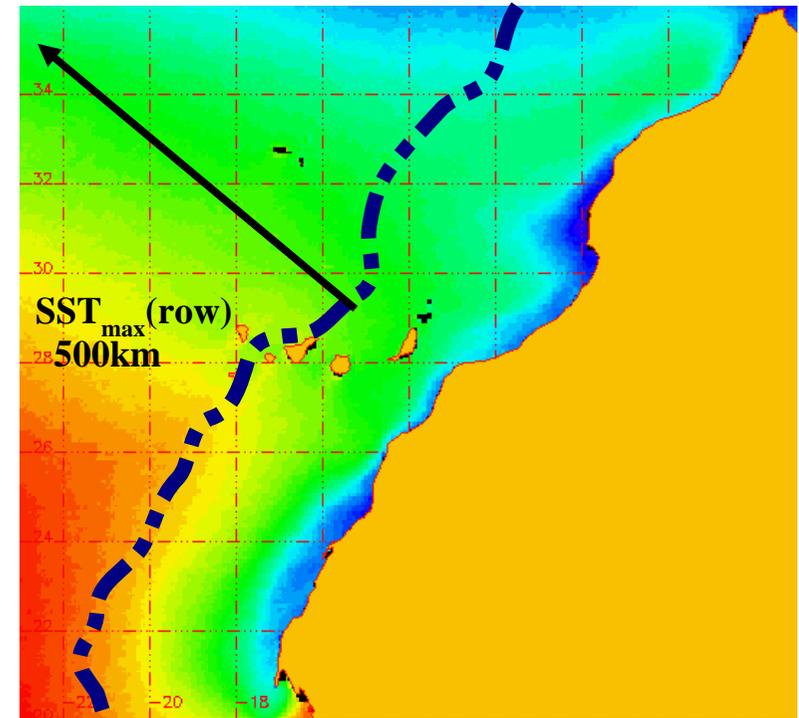
La recherche de la référence est basée également sur un critère de distance à la côte (km) au-delà de laquelle l'algorithme cherche cette valeur . Trois propositions sont envisageables :

*A. - Valeur détectée sur la même image le long de la radiale traitée (risque de bruit des structures fines)*

*B- Valeur détectée sur la carte TSM moyennée ou filtrée pour lisser le bruit et les structures fines*

*C. Valeur issue de la climatologie (différence entre la saison actuelle et la moyenne climatologique)*

- 46 images hebdomadaires moyennes calculée sur une période de 22 ans (1985-2006)



**5. La température théorique des eaux résurgentes** (valeurs de températures in situ) pour normaliser le calcul d'indice (données issues des campagnes océanographiques effectuées par INRH)

# Applicatif indice d'upwelling

## Sortie de l'applicatif :

Fichier ascii prêt au traitement et à l'analyse avec en sortie pour chaque radiale (320 radiales par image hebdomadaire) :

N°radiale	Rlat	Rlon	Cui	Cri	Clat	Clon	Cz	sstMin	sstMax	latMax	lonMax	sstUp	Delta_z	confiance
1	21,28	17,08	0,67	0	21,33	17,13	-17	18	22,09	24,9	-22,9	16	-17.0	ok

- Valeurs des indices d'upwelling et de rétention
- Les valeurs TSM min. et TSM max.
- Les coordonnées des TSM min. et TSM max.
- La profondeur de la valeur minimale
- La pente du front thermique pour caractériser la force de l'upwelling
- Indice de confiance : correct, douteux ou mauvais

Cet indice est un produit synthétisant le suivi a long terme de la dynamique spatio-temporelle du phénomène d'upwelling et permet de définir

- les zones côtières où l'upwelling est permanent ou persistant
- les zones où le phénomène est saisonnier
- la variabilité interannuelle des remontées d'eau froide,
- la mise en corrélation avec les causes météorologiques (vent, indice NAO, autres paramètres...)
- la mise en relation avec les données de pêche

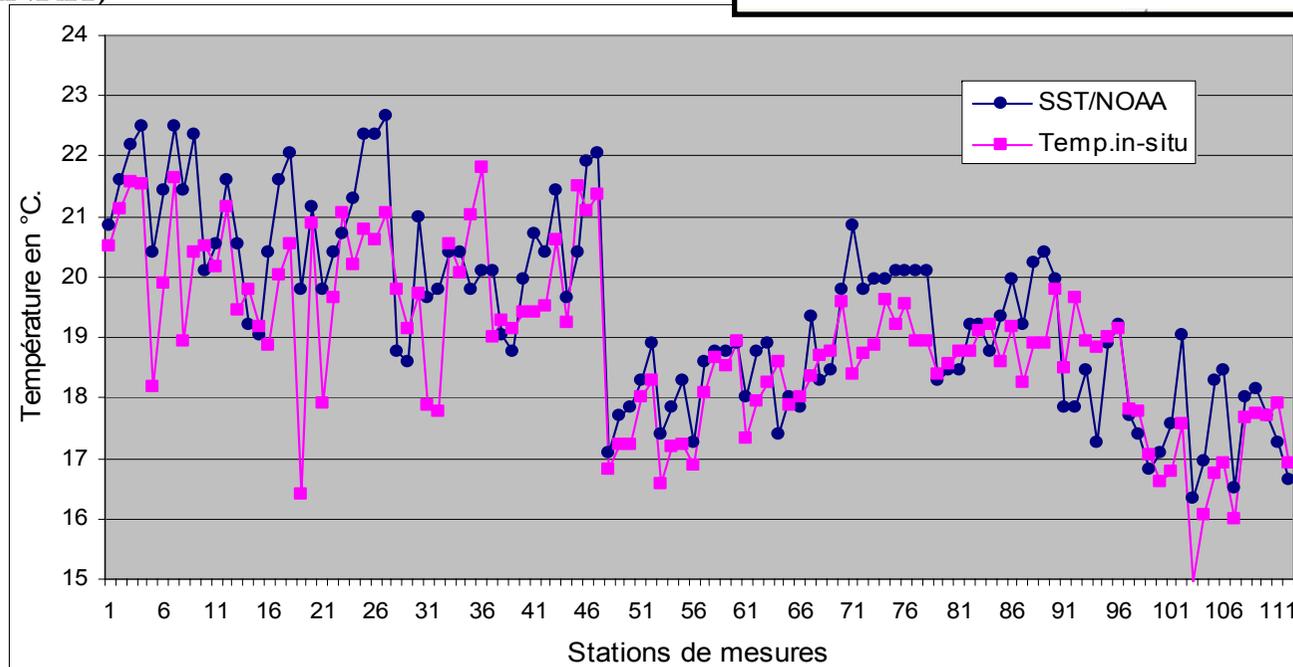
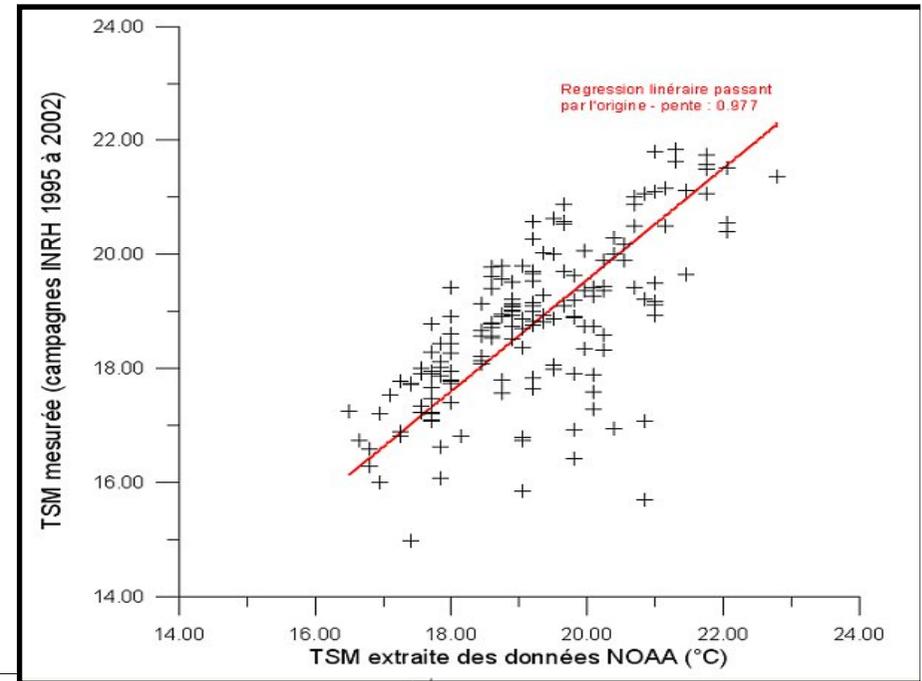
# Validation et évaluation Synthèse temporelle de la TSM

Recours aux données de mesures in situ  
(campagnes de l'INRH) pour :

1- juger de la validité des champs de température satellite et de la barre d'erreur entre les deux types de mesure,

2- évaluer la pertinence des mesures spatiales pour le suivi de la dynamique spatiale et temporelle de l'upwelling.

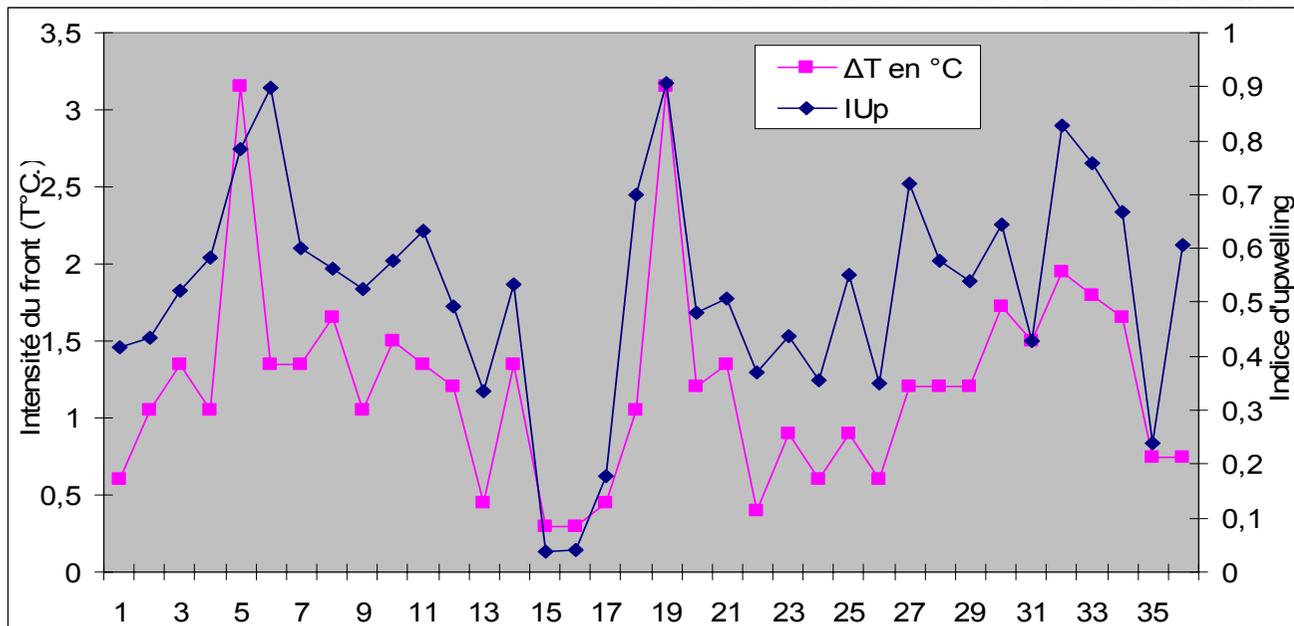
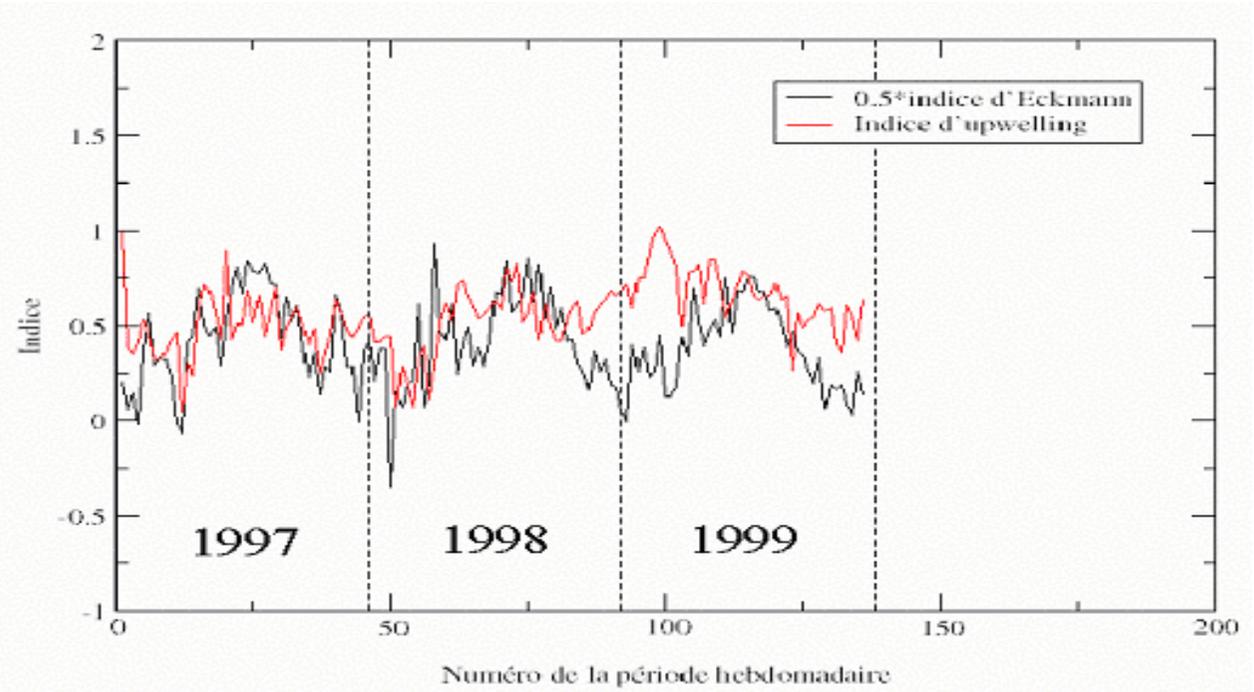
- Périodes de comparaison : campagnes des hivers et des étés des années 1995-96, 1997, 1998, 1999 (campagnes INRH)



# Validation du Produit indice d'upwelling

Evaluation de la pertinence de l'indice d'upwelling

Comparaison avec l'indice d'Ekman (station de Dakhla)

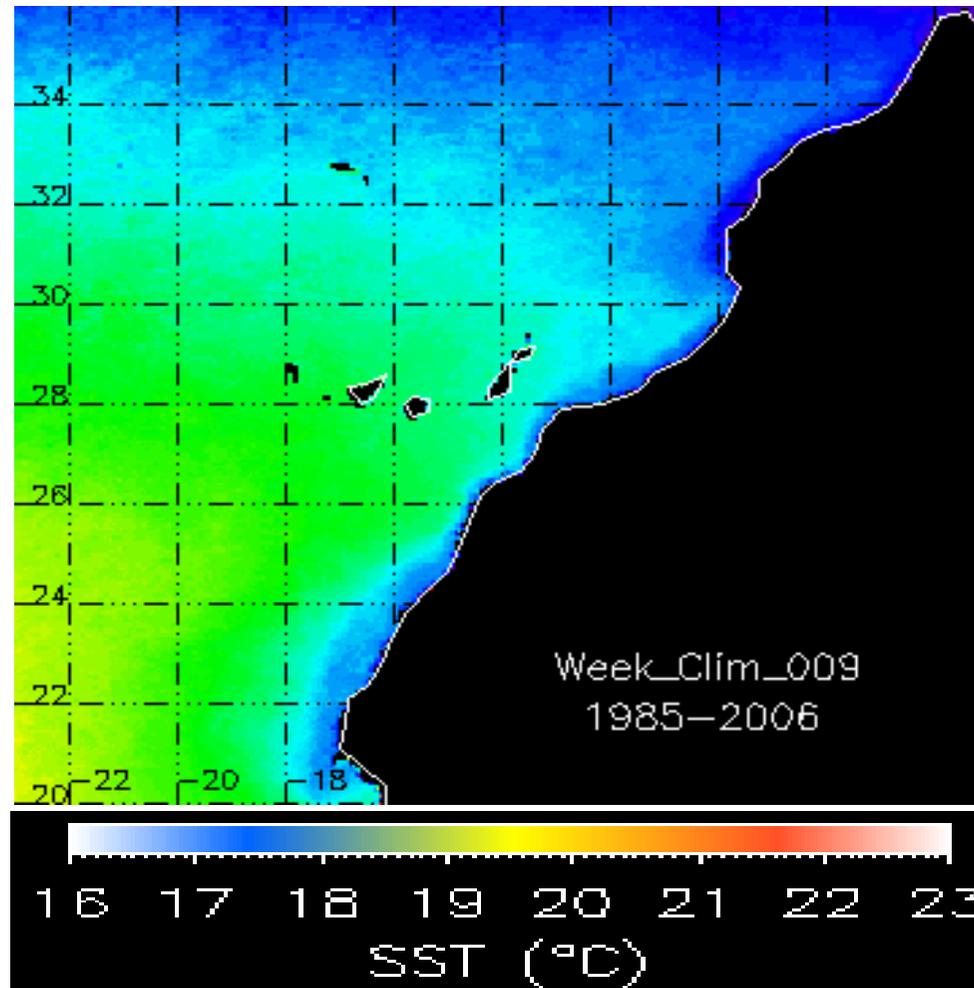


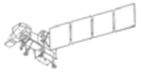
Comparaison indice d'upwelling et pente du gradient thermique



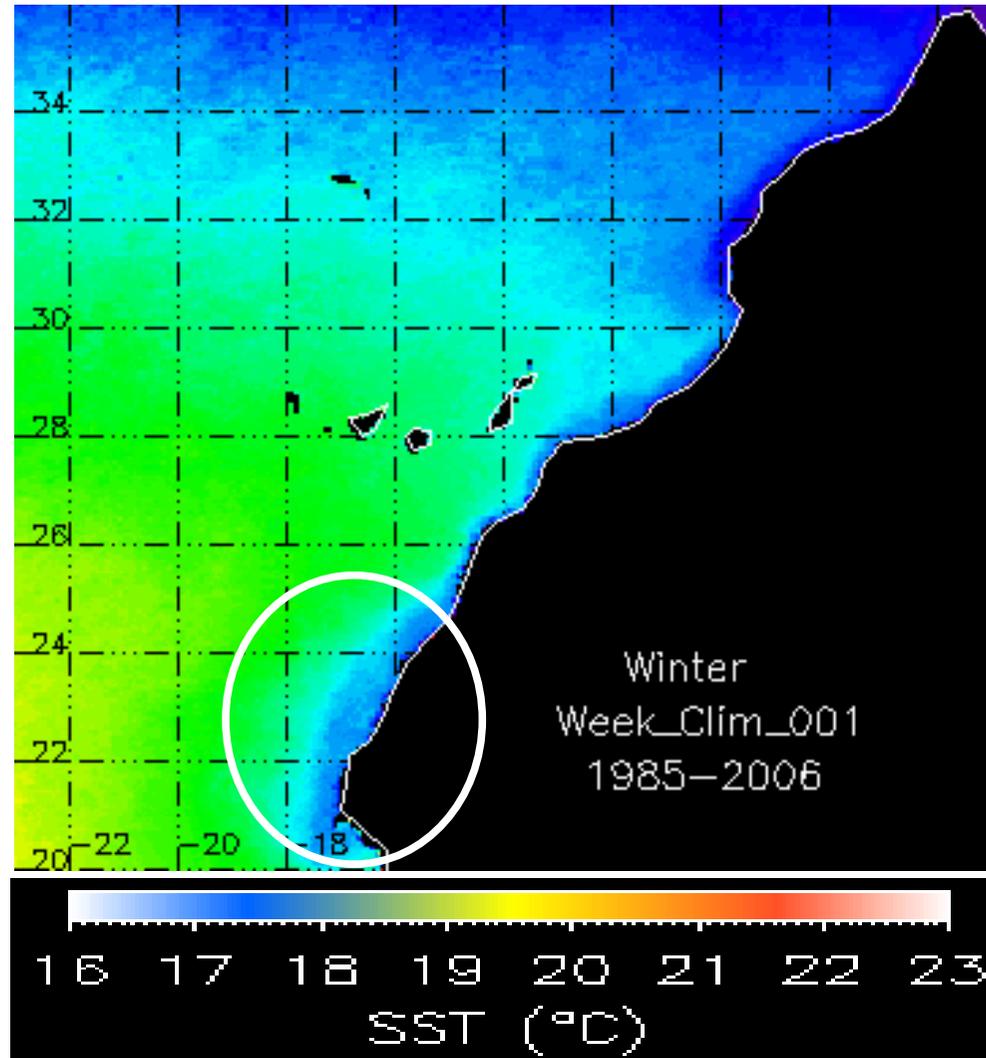
# Dynamique spatio-temporelle de l'upwelling Marocain

*Animation d'une série d'image SST correspondante à un cycle annuel moyen  
(moyenne annuelle de 22 années)*

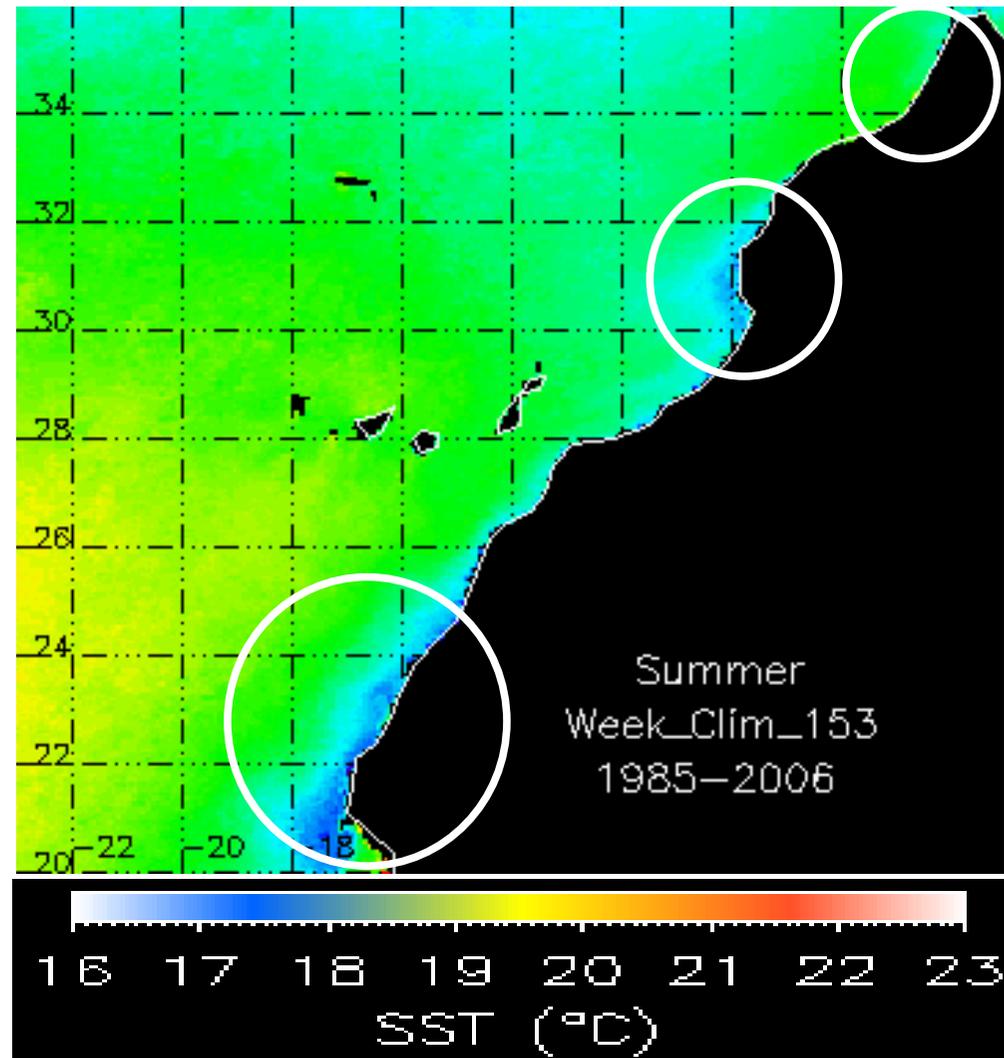




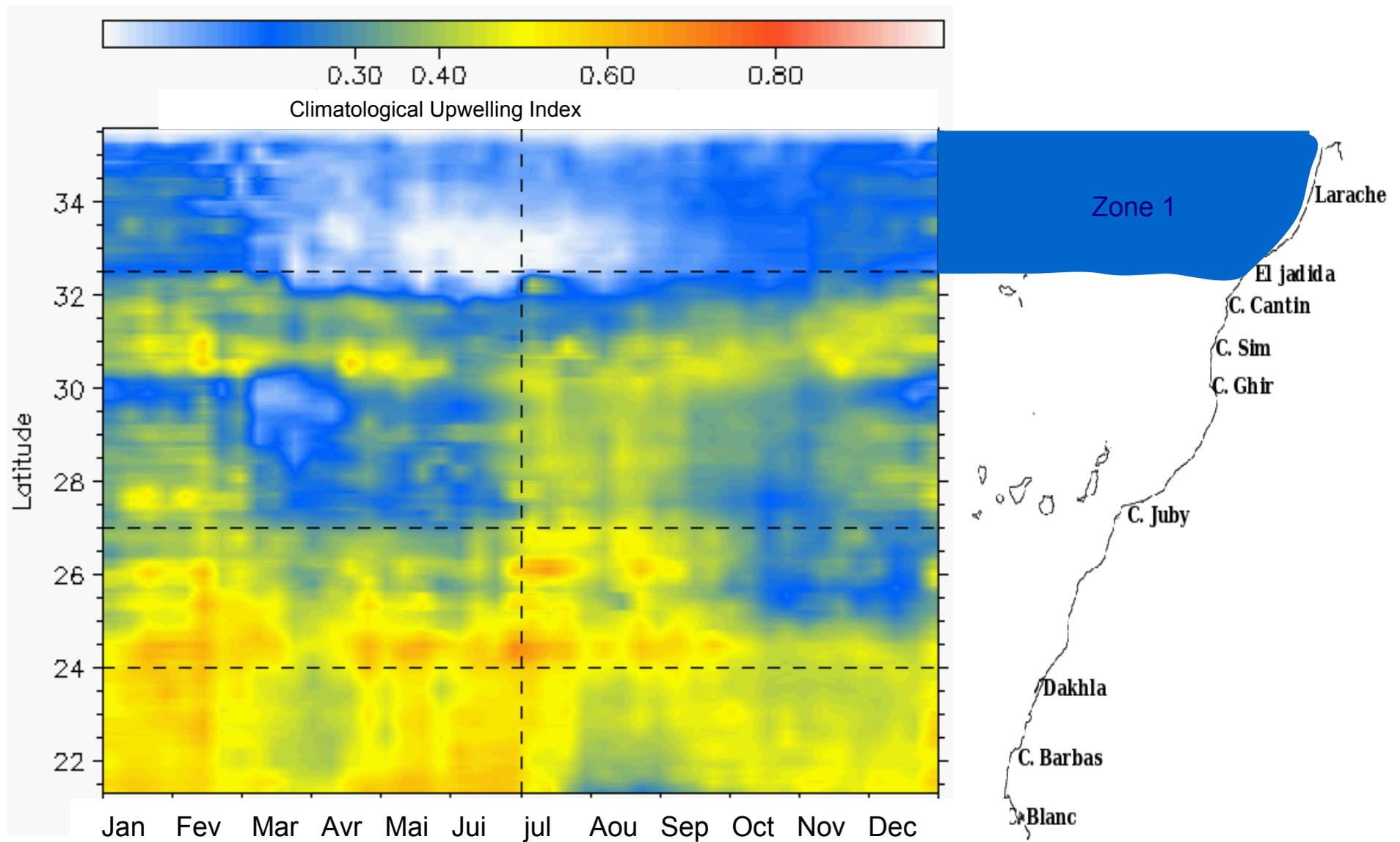
# Animation d'une série d'image SST correspondante à la climatologie (22 années) de la saison hivernale

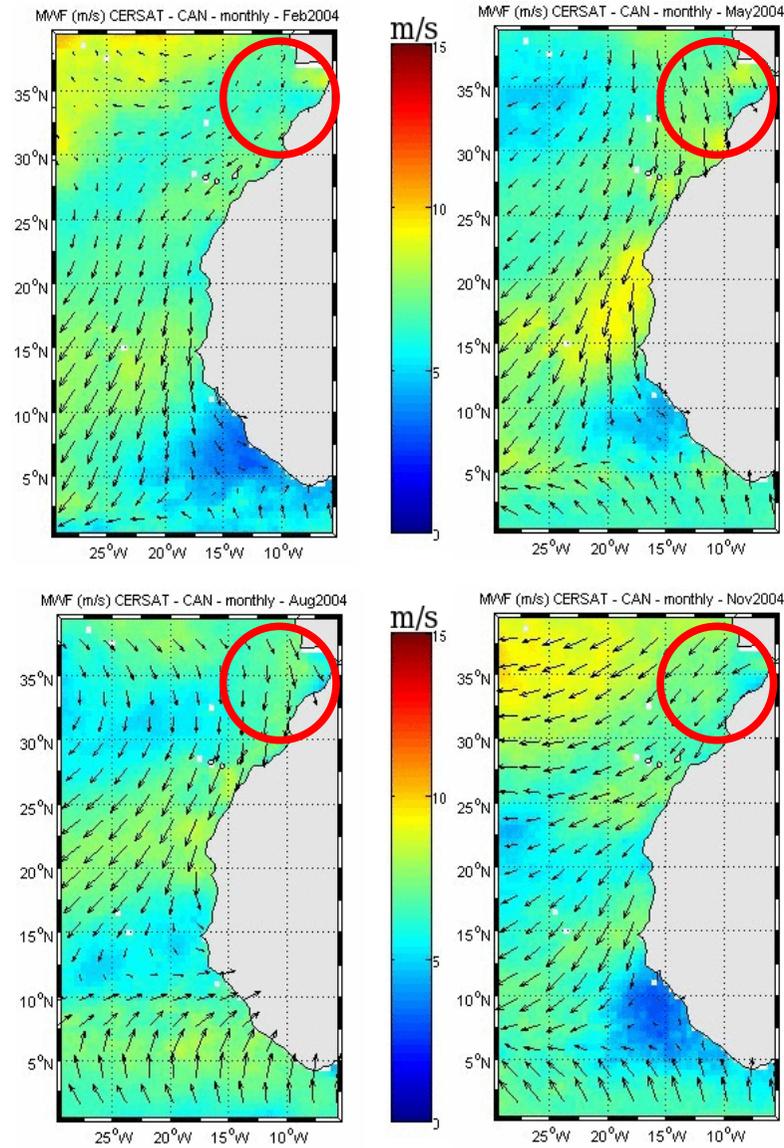
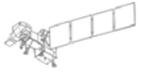


Animation d'une série d'image SST correspondante à la climatologie  
(22 années) de la saison estivale

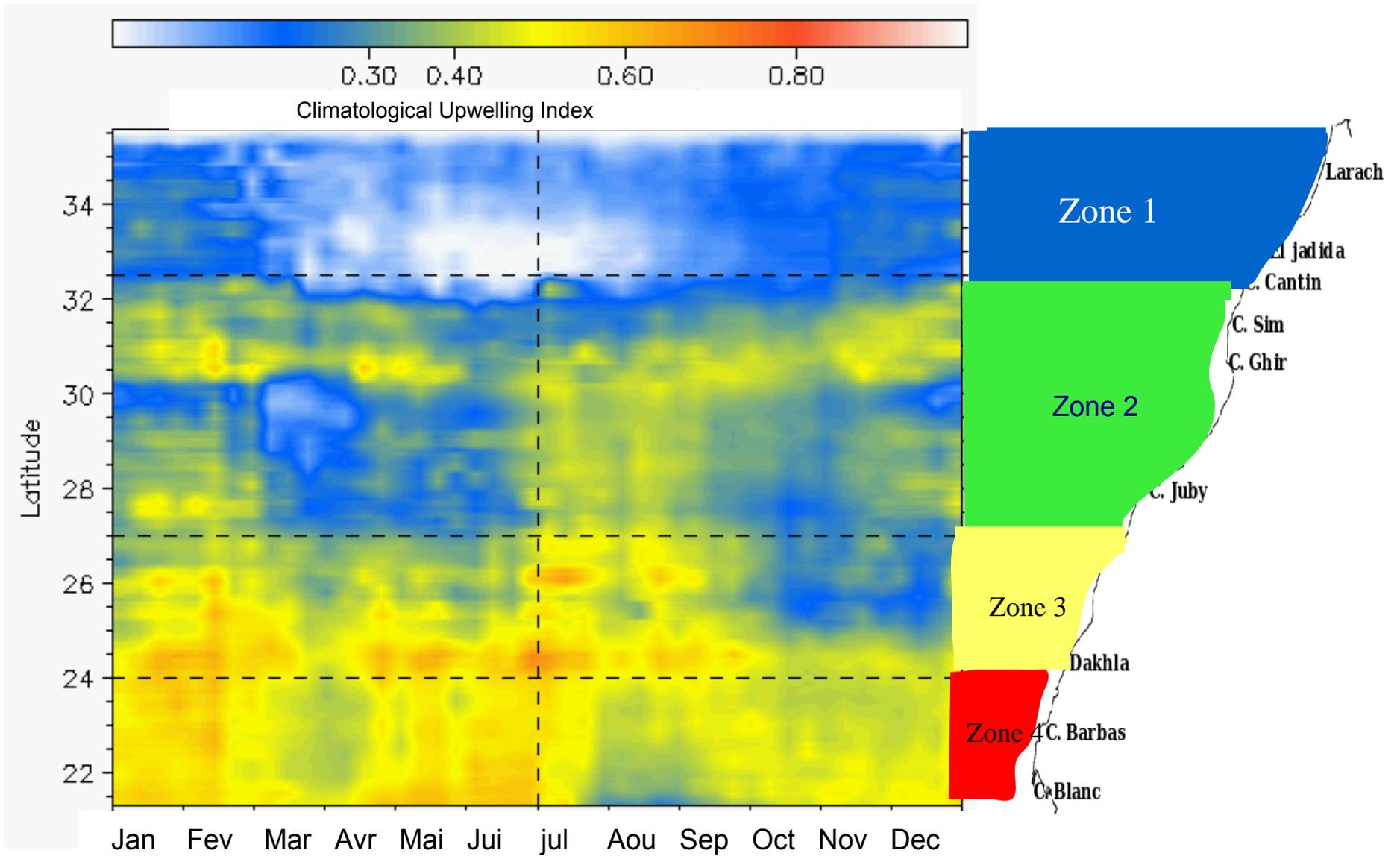


## Evolution de l'indice d'upwelling sur un cycle annuel et Découpage en zones homogènes d'upwelling



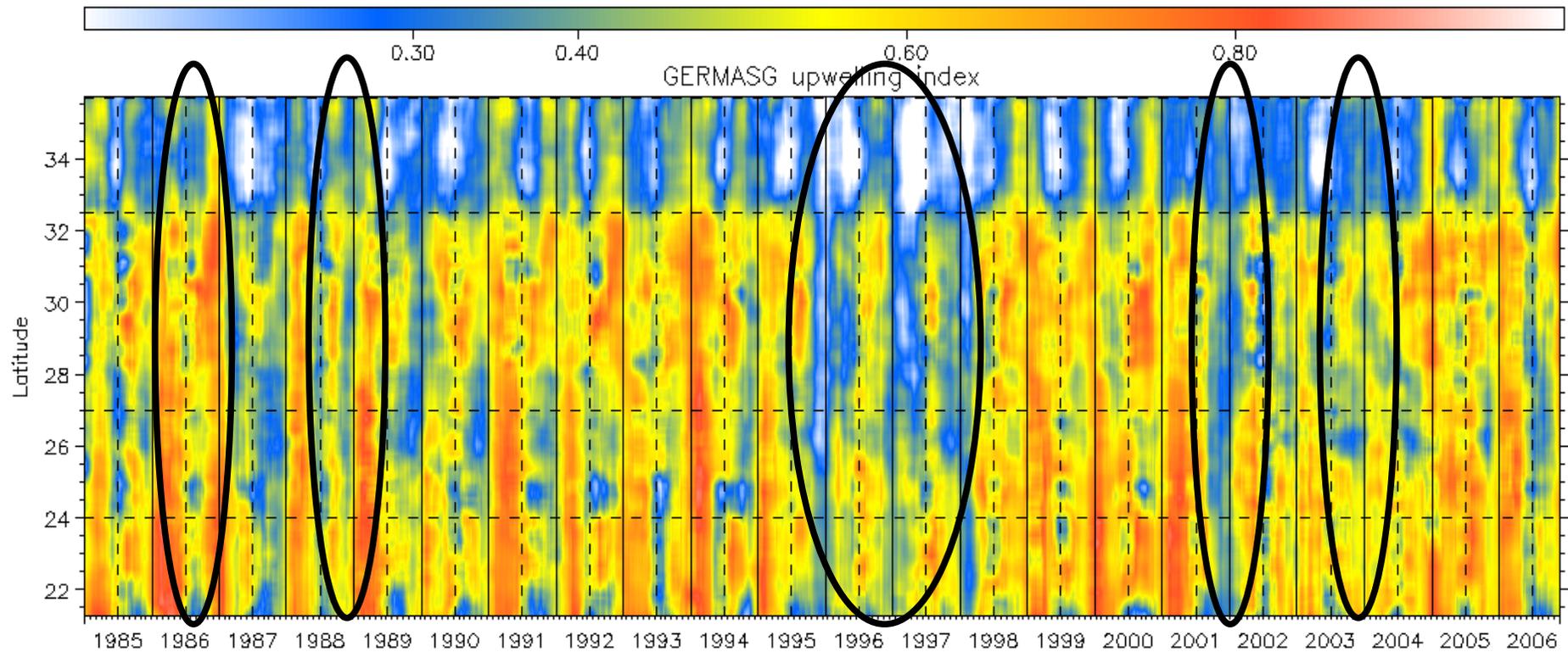


Vecteurs du vent du diffusionmètre SeaWinds (satellite QuikSCAT) des mois de Février, Mai, Août et Nov 2004 (CERSAT-data Center-IFREMER).

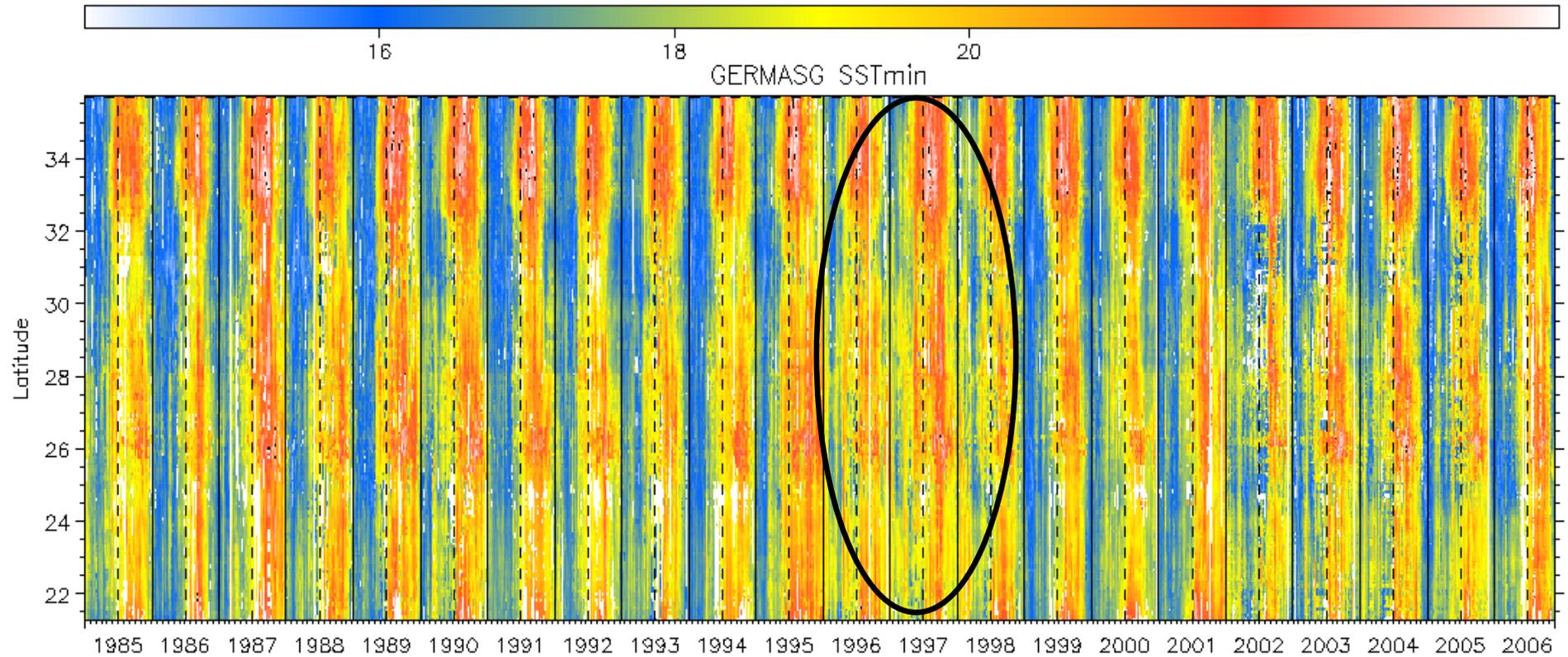


Evolution de l'indice d'upwelling sur un cycle annuel et Découpage en zones homogènes d'upwelling

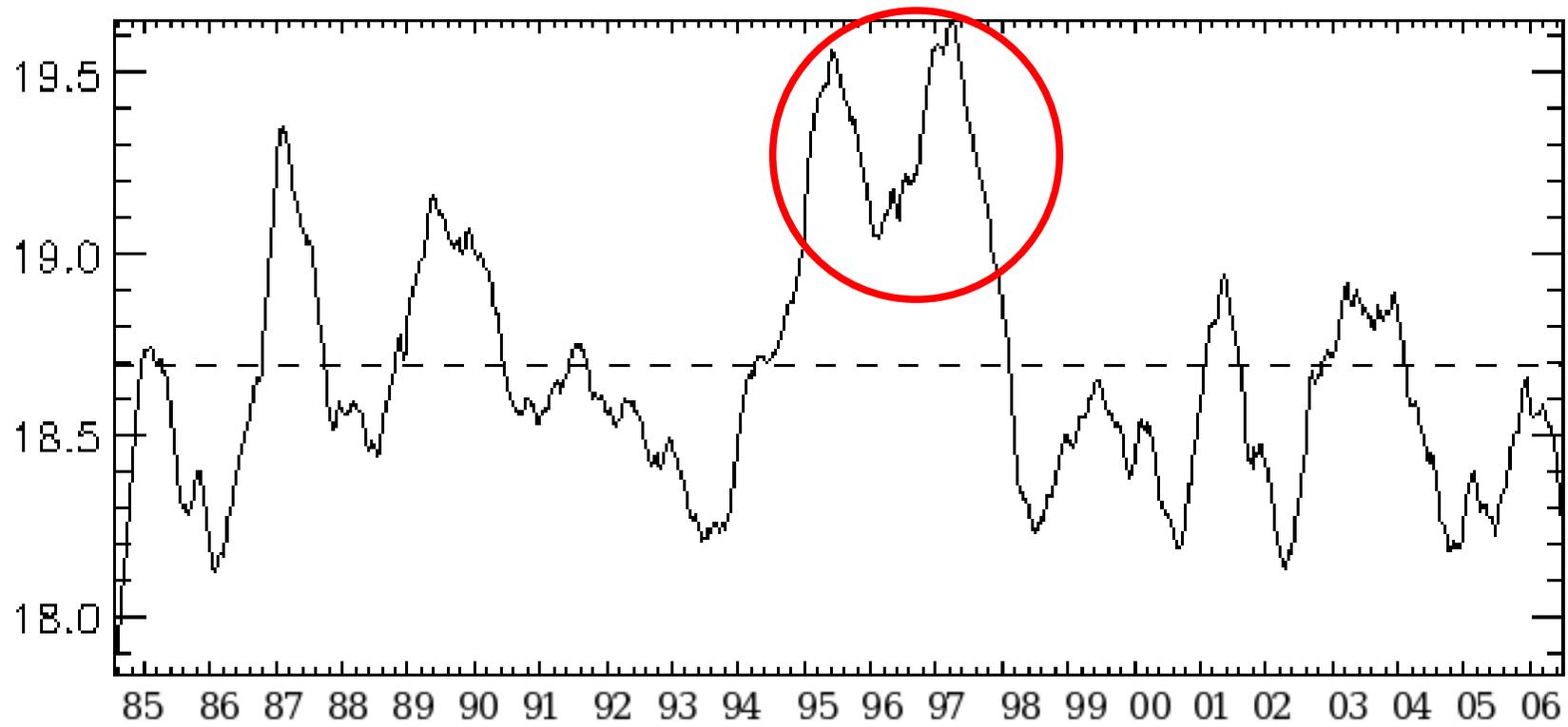
## Evolution interannuelle de l'indice d'upwelling le long du littoral marocain



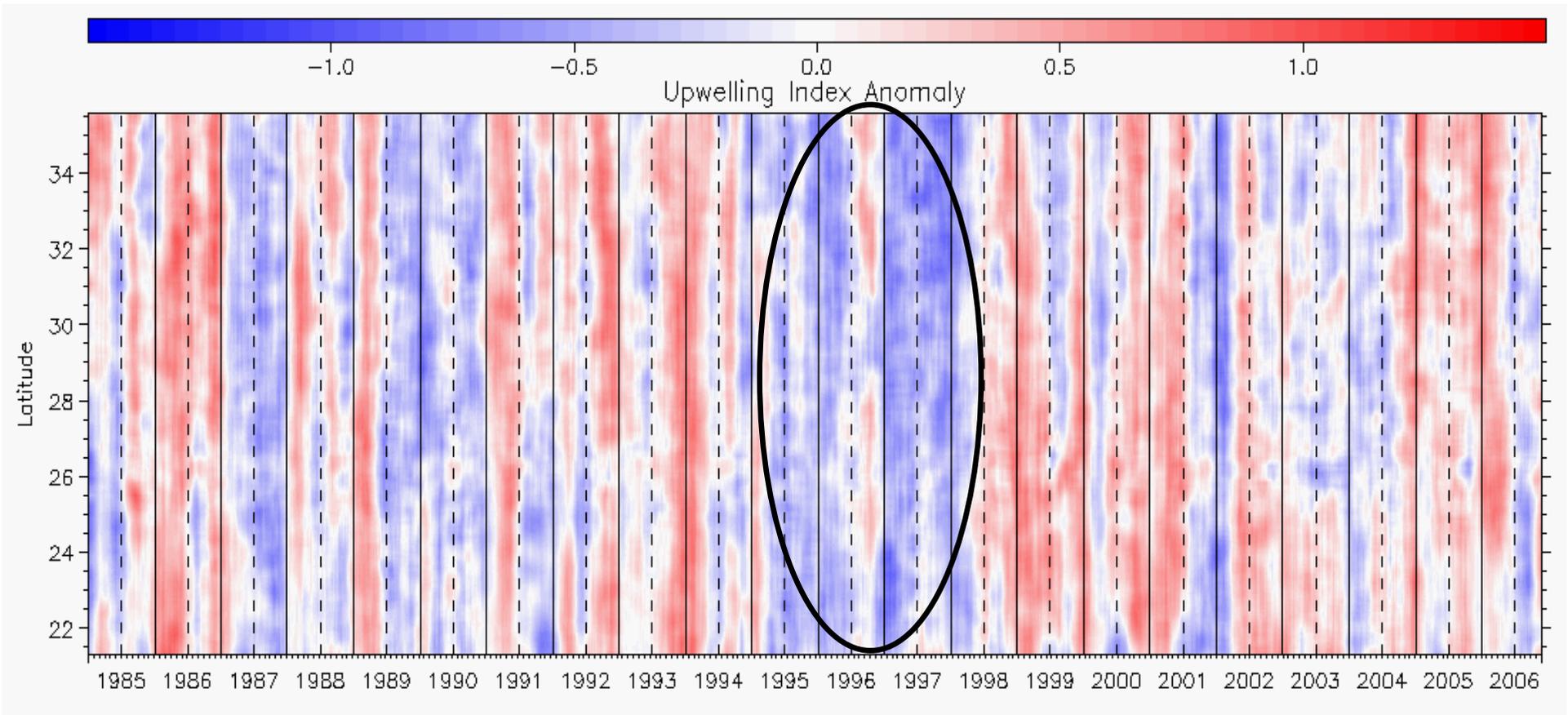
## Evolution interannuelle de la SSTmin le long du littoral marocain



SSTmin interannual evolution  
Area: 21-35,6 °N



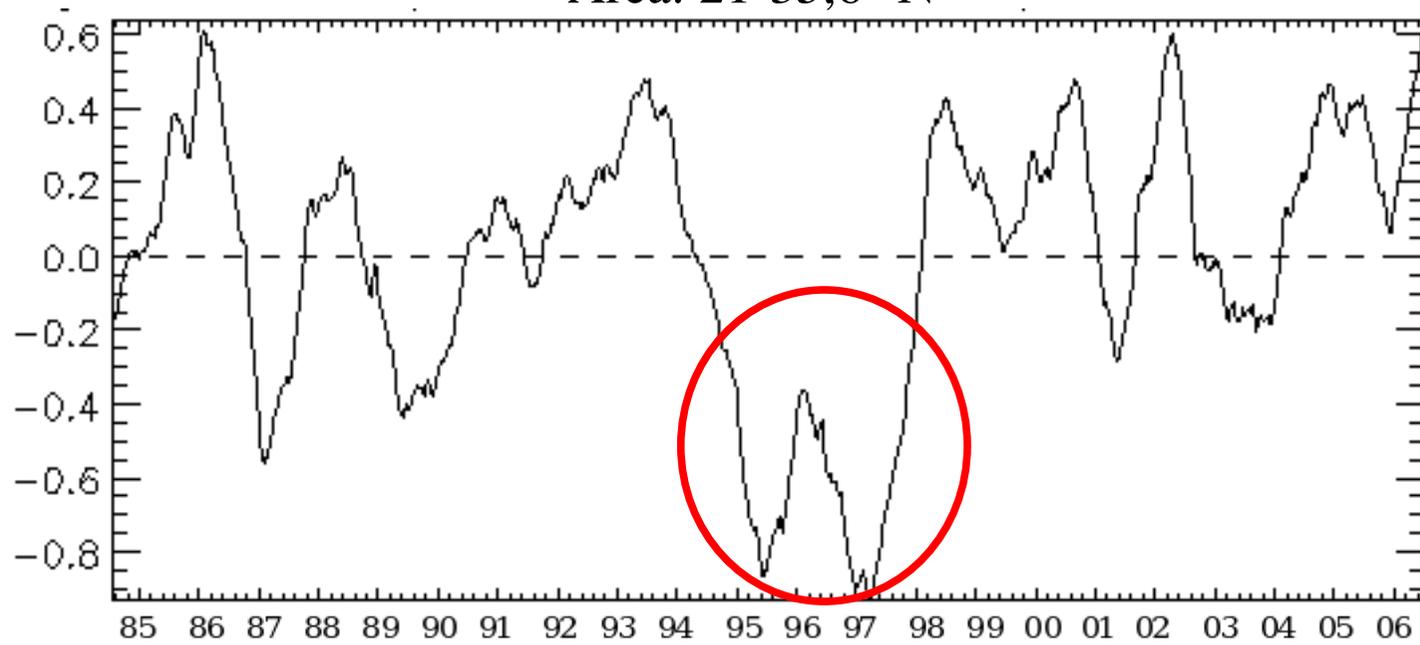
# Upwelling Index Anomaly

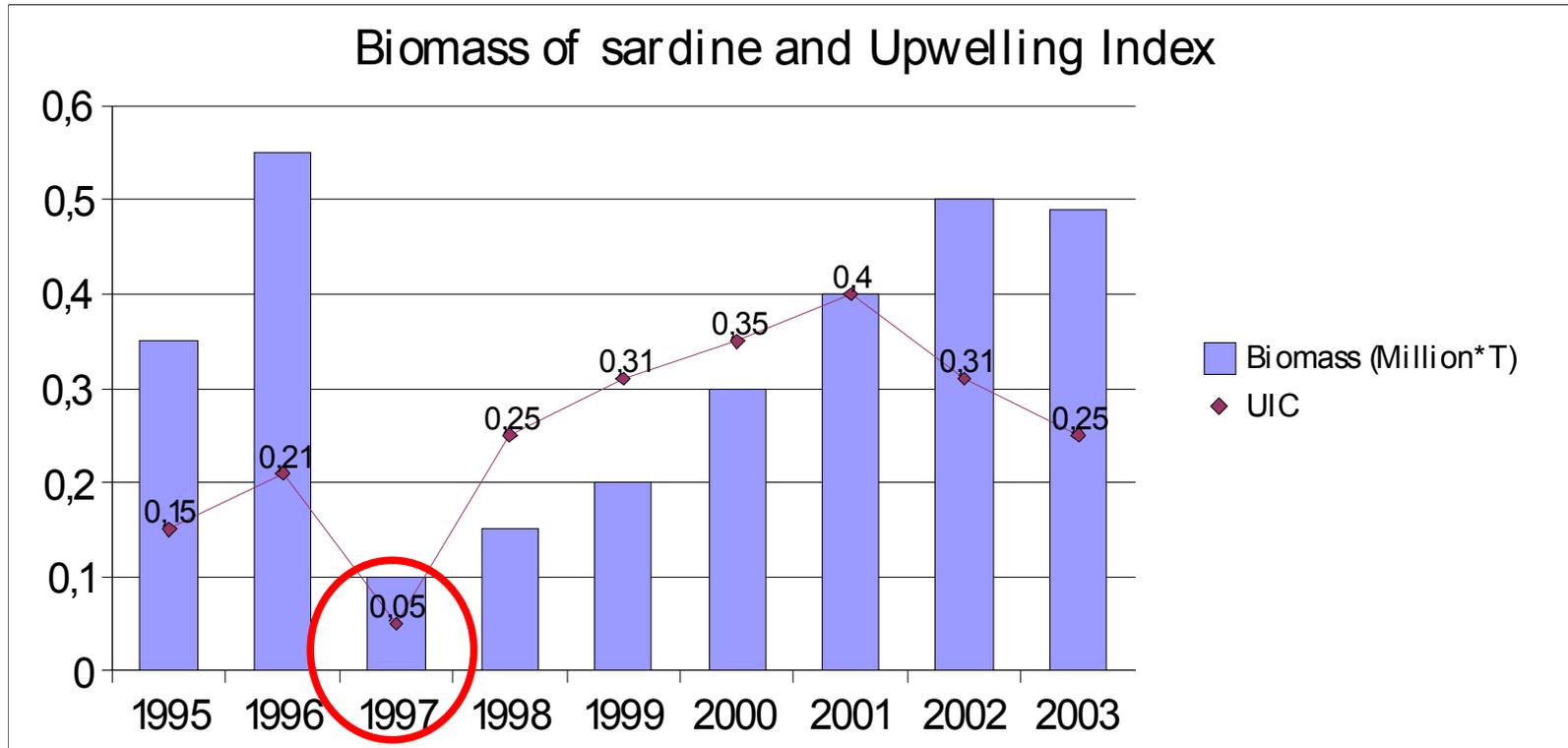
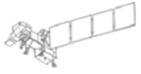


Evolution interannuelle de l'anomaly de l'indice d'upwelling le long du littoral marocain

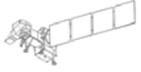


Upwelling index anomaly  
Area: 21-35,6 °N



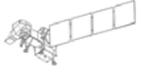


Evolution annuelle de la biomasse de sardine estimée par acoustique sur la période 1995-2003 (source: Fridjof Nansen cruises)



# Conclusions

- *L'upwelling présente une variabilité latitudinale importante*
- *La variabilité saisonnière est toujours forte, avec un minimum au Sud et un maximum entre les latitudes 26 et 32 °N*
- *La variabilité interannuelle est en moyenne inférieure à la variabilité saisonnière, mais peut atteindre le même ordre de grandeur dans le cas d'une relaxation exceptionnelle des alizés, comme en 1996-97.*
- *la variabilité de l'intensité de l'indice d'upwelling ne montre pas de tendance significative sur les années mais révèle une anomalie négative de l'upwelling durant la période 1995-1997.*
- *la variabilité de l'intensité de l'upwelling semble ainsi plus reliée à une variabilité climatique de grande échelle qu'à des anomalies locales. Ce point sera à vérifier, à travers d'autres types de données régionales (SST, champs de vent) et à travers l'analyse d'indices climatiques tels le NAO (North Atlantic Oscillation).*



## *Perspectives*

- *Les paramètres océanographiques (SST, Vent) permettent une vision synoptique du littoral marocain très complémentaire des actions de recherche actuelles*
- *Actions de recherche en cours en Océanographie spatiale:*
  - Les couplages entre l'upwelling et la production primaire
  - L'étude de la dynamique spatiale du phytoplancton et le couplage avec les modèles et les observations
  - La quantification des structures de méso-échelle sur les images et de son action sur les processus de production
  - L'étude des déplacements de populations pélagiques en fonction des conditions environnmentales