

# **Formation « Analyse de Séries Temporelles »**

**Intervenante : Dhouha Kbaier**

IFREMER, REM/RDT/LSCM

**Co-organisatrice : Ingrid Puillat**

IFREMER, ODE/DYNECO/PHYSED

**Session 1 : 27 et 28 Mai 2015**

**Session 2 : 3 et 4 Juin 2015**

# Sommaire

Formation « Analyse de Séries Temporelles » .....	1
Sommaire .....	2
Remerciements.....	3
Contributions du post-doc .....	4
Comment citer cette formation ? .....	6
Appel à la formation .....	7
Programme proposé.....	8
I. Introduction (20 min).....	8
II. Autour de la non stationnarité (40 min) .....	8
III. Analyse spectrale (30-40 min) .....	8
I. Analyse spectrale avancée : la méthode EMD Empirical mode Decomposition(1h) .....	8
II. Comparaisons de EMD avec les ondelettes (30 min) .....	8
III. Conclusions et perspectives .....	8
Déroulement de la formation.....	9
Liste des participants.....	10
Slides de la formation (1 <sup>er</sup> jour) .....	11
Slides de la formation (2 <sup>ème</sup> jour).....	29
Programmes Matlab et figures générées .....	63
Fiches d'évaluation de la formation.....	110

# Remerciements

---

Nous (Dhouha Kbaier Ben Ismail, Ingrid Puillat et Pascal Iazure) voudrions remercier la Région Bretagne pour le financement du post-doc (SAD MASTOC n°8296). Nous remercions aussi toutes les personnes qui participent au maintien des bouées MAREL et l'acquisition des données MAREL Carnot. Enfin, nous remercions la Région Réunion pour son support financier au groupe NortekMed pour l'acquisition des données en île de Réunion et mises à disposition de l'Ifremer dans le cadre du projet HydroRun.

# Contributions du post-doc

---

## Publications

- *KBAIER BEN ISMAIL DHOUBA, PUILLAT INGRID and LAZURE PASCAL, 2015. "Propriétés statistiques de la température, salinité et turbidité mesurées par la station MAREL Carnot dans les eaux côtières de Boulogne-sur-Mer (France)", F.G.Schmitt & A. Lefebvre (Eds.) Mesures haute résolution dans l'environnement marin côtier, Presses du CNRS (in press).*
- *KBAIER BEN ISMAIL DHOUBA, LAZURE PASCAL and PUILLAT INGRID, 2015. "Advanced spectral analysis and cross correlation based on the empirical mode decomposition: application to the environmental time series", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters (GRSL), Accepted, in Press.*
- *KBAIER BEN ISMAIL DHOUBA, PUILLAT INGRID and LAZURE PASCAL, 2015 "Statistical properties and time-frequency analysis of temperature, salinity and turbidity measured by the MAREL Carnot station in the coastal waters of Boulogne-sur-Mer (France)", submitted to Journal of Marine Systems (Special Edition for JERICO), Mai 2015.*

## Presentations and proceedings

- *KBAIER BEN ISMAIL DHOUBA, LAZURE PASCAL and PUILLAT INGRID, 2014. "Analyse statistique et spectrale de la température, salinité et turbidité du système MAREL", Instrumentation haute fréquence pour l'observation et la surveillance de l'environnement marin, 12-13 Juin 2014, Boulogne-Sur-Mer, France.*
- *KBAIER BEN ISMAIL DHOUBA, LAZURE PASCAL and PUILLAT INGRID, 2015 "Time-frequency analysis of currents data sampled at four stations in the Réunion island: application of EMD and wavelets", International work-conference on Time Series (ITISE), 1-3 July 2015, Granada, Spain.*

## Recent given trainings and teaching

- *KBAIER BEN ISMAIL DHOUBA, 2015. Training in time series analysis, session 1: 27-28 may 2015, Iremer Brest, France, 10 attendees.*
- *KBAIER BEN ISMAIL DHOUBA, 2015. Training in time series analysis, session 2: 3-4 June 2015, Iremer Brest, France, 14 attendees.*
  - *KBAIER BEN ISMAIL Dhouha and Ingrid Puillat, 2015. Statistical properties and time-frequency analyses of environmental time series, Part I:*

Stationarity analysis and spectral analysis, Tutorial in MTS/IEEE OCEANS'15, 19-22 October 2015, Washington DC.

- *KBAIER BEN ISMAIL Dhouha* and *Ingrid Puillat*, 2015. Statistical properties and time-frequency analyses of environmental time series, Part II: Advanced time-frequency analysis of environmental time series: application of EMD and comparisons with wavelets, Tutorial in MTS/IEEE OCEANS'15, 19-22 October 2015, Washington DC.

## Brief background and list of publications relevant the proposed topic

- [1] *C. Torrence, G. Compo*, "A practical guide to wavelet analysis," *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79 (1), pp. 61-78, 1998.
- [2] *N. E. Huang, Z. Shen, S. R. Long, M. C. Wu, H. H. Shih, Q. Zheng, N.-C. Yen, C. C. Tung, and H. H. Liu*, "The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis," *Proc. R. Soc. Lond. Ser. A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 454 (1971), pp. 903-995, 1998.
- [3] *X. Chen, Z. Wu, N.E. Huang*, "The time-dependent intrinsic correlation based on the empirical mode decomposition," *Adv. Adapt. Data Anal.*, vol. 2, pp. 233-265, 2010.
- [4] *D.A. Dickey, W.A. Fuller*, "Distribution of the estimates for autoregressive time series with a unit root," *J. Am. Stat. Assoc.*, vol. 74, pp. 427-431, June 1979.

## Comment citer cette formation ?

---

**Merci de citer la formation dès que vous faites bon usage que ce soit des slides ou des programmes de la façon suivante :**

- *KBAIER BEN ISMAIL DHOUHA, 2015. Training in time series analysis, session 1: 27-28 May 2015, Ifremer Brest, France, 10 attendees.*
- *KBAIER BEN ISMAIL DHOUHA, 2015. Training in time series analysis, session 2: 3-4 June 2015, Ifremer Brest, France, 14 attendees.*

## Appel à la formation « Time series analysis »

---

La formation s'étend sur 4 demi-journées de 2h chacune. Mais on peut consacrer une demi-journée supplémentaire pour les personnes qui aiment faire plus de pratique ou qui ont des questions supplémentaires.

*Dates : Mois de Mai 2015 : Mercredi 27, Jeudi 28 et Vendredi 29 Mai 2015*

Ces dates sont prévisionnelles. Il se peut qu'en fonction du nombre de participants, la formation soit décalée pour deux journées la semaine d'après, soit des dates entre le Lundi 1<sup>er</sup> Juin 2015 et Vendredi 5 Juin 2015. Veuillez donc remplir le doodle en fonction de vos disponibilités.

*Lieu de la formation: Ifremer, Brest dans la salle de formation continue à côté du poste de garde*

Formation dans le cadre du post-doctorat de DhouhaKbaier Ben Ismail

Pour plus d'information, veuillez contacter [dhouha.kbaier@ifremer.fr](mailto:dhouha.kbaier@ifremer.fr)

Dates du post-doc : du 3 Février 2014 au 31 Juillet 2015 (18 mois)

Laboratoire d'accueil : IFREMER, ODE/DYNECO/PHYSED

Laboratoire de rattachement : IFREMER, REM/DRT/LSCM

Financement : Région Bretagne

Post-doctorat sous la direction de Pascal Lazure et Ingrid Puillat

Mise en place de la formation : Ingrid Puillat&DhouhaKbaier

*Pour s'inscrire :*

Veillez remplir le doodle :

<http://doodle.com/h7hr89xve2i7czhh>

*Licence MATLAB*

Pour les séances pratiques, chaque participant apportera son PC portable. Il faudra avoir une licence MATLAB déjà installée avec la Signal ProcessingToolbox. Si ce n'est pas le cas, vous pouvez installer provisoirement une licence réseau R14 (Matlab 2007). Pour plus d'information, vous pouvez contacter Bertrand Forest ([Bertrand.Forest@ifremer.fr](mailto:Bertrand.Forest@ifremer.fr)).

# Programme proposé

À chaque fois, on présentera des exemples intéressants pour illustrer notre approche.

<b>Mercredi</b> <b>27/05/2015</b>	<b>Matin</b> <b>(9h30-11h30)</b>	<b>I. Introduction (20 min)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Objectifs de la formation</li> <li>Présentation des séries étudiées à titre d'exemple (Marel Carnot, séries du bassin algérien, séries île de la Réunion)</li> </ul> <b>II. Autour de la non stationnarité (40 min)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pourquoi est-il important d'étudier la stationnarité des séries temporelles avant de faire des études plus élaborées ?</li> <li>Analyse préliminaire des séries temporelles</li> <li>Analyse du graphe et du corrélogramme</li> <li>Étude quantitative de la stationnarité</li> <li>Tests Augmentés de Dickey-Fuller pour tester la présence de racine unitaire et la stationnarité</li> </ul> <b>III. Analyse spectrale (30-40 min)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse harmonique</li> <li>Algorithme de Lomb-Scargle</li> <li>Analyse spectrale adaptée à des données manquantes</li> </ul>
	<b>AM</b> <b>(13h30-15h30)</b>	1h30/2h de pratique sur les notions de la matinée (histogrammes, skewness, analyse préliminaire des graphes, non stationnarité en variance, corrélogrammes, tests de stationnarités ADF, puis analyse spectrale, différents périodogrammes : périodogramme modifié, périodogramme de Welch, Lomb-Scargle et jouer avec le Lomb-Scargle en supprimant des données manquantes, etc)
<b>Jeudi</b> <b>28/05/2015</b>	<b>Matin</b> <b>(9h30-11h30)</b>	<b>Des décompositions temps-fréquences adaptatives ?</b> <b>I. Analyse spectrale avancée : la méthode EMD Empirical mode Decomposition(1h)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>L'EMD est une méthode adaptative d'analyse de données développée pour s'adapter à la variété de données produites par des processus <b>non-linéaires et non stationnaires avec des valeurs manquantes</b>.</li> <li>Décomposer n'importe quel ensemble de données compliquées en un nombre fini et petit de fonctions, dites IMFs.</li> <li>L'EMD produit différentes échelles de la série temporelle d'origine et <b>des modes ayant un sens physique</b>.</li> <li>Autre intérêt de l'EMD : faire une analyse spectrale Hilbert-Huang Transform (HHT).</li> <li>L'intérêt aussi c'est d'étudier les corrélations entre des séries non-stationnaires en utilisant les IMFs et en appliquant la méthode du Time Dependent Intrinsic Correlation (TDIC)</li> </ul> <b>II. Comparaisons de EMD avec les ondelettes (30 min)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Comparaison de Continuous Wavelet Transform (CWT) avec le spectre HHT</li> <li>Comparaison des cross wavelets et wavelet coherence avec les TDIC</li> </ul> <b>III. Conclusions et perspectives</b>
	<b>AM</b> <b>(13h30-15h30)</b>	Séance de travaux pratiques où vous pouvez tester les méthodes présentées sur vos données. <b>Veillez apporter les données brutes sans interpolation</b> . Pour la méthode EMD, décomposer la série en modes, calculer les périodes moyennes, faire les graphiques de signification des IMFs, faire le graphique pour la propriété banc de filtre dyadique, superposer les modes IMFs sur les continuous wavelets par exemple pour comparer, faire des TDIC pour les cross-corrélations, comparer avec wavelet coherence, etc.



## Déroulement de la formation

---

Nous avons lancé l'appel à la formation. On s'attendait à avoir 8 participants maximum. Mais le nombre de participants a dépassé ce qu'on avait prévu. On a arrêté le sondage et on a décidé de faire deux sessions avec 25 participants au total.

La 1<sup>ère</sup> session s'est déroulée le Mercredi 27 et Jeudi 28 Juin 2015 à la salle de formation continue près du poste de garde (Ifremer, Brest). La 2<sup>ème</sup> session s'est déroulée le Mercredi 3 Juin (salon de l'océan) et 4 Juin 2015 (salle de réunion Physed).

L'emploi de temps était également différent de ce qu'on avait prévu. Les participants étaient très intéressés surtout par l'aspect pratique.

<b>Mercredi 27/05/2015</b>	<b>Matin (9h30-12h)</b> 2h30
	<b>AM (13h30-17h30)</b> 4h
<b>Jeudi 28/05/2015</b>	<b>Matin (9h30-12h30)</b> 3h
	<b>AM (13h30-18h)</b> 4h30

<b>Mercredi 03/06/2015</b>	<b>Matin (9h30-12h30)</b> 3h
	<b>AM (13h30-17h30)</b> 4h
<b>Jeudi 04/06/2015</b>	<b>Matin (9h-13h)</b> 4h
	<b>AM (13h30-17)</b> 4h30

## Liste des participants

Session	Participants	Profil	Institut	Département
<b>Session 1</b>	Ingrid Puillat	Chef de labo	Ifremer	DYNECO/ PHYSED
	Pascal Lazure	HDR	Ifremer	DYNECO/ PHYSED
	Guillaume Dodet	Chercheur	UBO/IUEM	LETG-Geomer
	Cécile Klein	MCF	UBO/IUEM	LEMAR
	Claude Talandier	Ingénieur	CNRS	LPO/DRO
	Nicolas Le Dantec	CR CEREMA	UBO/IUEM	LDO
	Nicolas Aubin	Doctorant	Institut de Recherche de l'École Navale	M2EN
	Frédéric Hauville	MCF	Institut de Recherche de l'École Navale	M2EN
	Tania Marsset	Chercheur en Géologie	Ifremer	GM-LES
	Marie Picot	Doctorante	IUEM	LDO/GM
<b>Session 2</b>	Ingrid Puillat	Chef de labo	Ifremer	DYNECO/ PHYSED
	Peggy Rimmelin-Maury	IE-CNRS	IUEM	UMS 3113
	Marta Payo Payo	Doctorante	UBO/IUEM	LDO
	Marion Kersalé	Post-Doc	UBO	LPO
	Guillaume Charria	Chercheur en océanographie physique côtière	Ifremer	DYNECO/PHYSED
	France Floc'h	MCF	UBO/IUEM	LDO
	Christine David-Beausire	Coord. Observatoire Marin IUEM	IUEM	Observatoire
	Claude Roy	Chercheur	Ifremer	Océanographe de l'IRD au LPO (département ODE/Ifremer)
	Gaspard Fourestier	Geps Techno	ENSTA Bretagne / Ifremer	LBMS / RDT-CSM
	Frederic Vandermeirsc	Chercheur	Ifremer	DYNECO/PHYSED
	Baptiste Mengual	Doctorant	Ifremer	DYNECO/PHYSED

# Time series analysis

Presented by Dhouha Kbaier Ben Ismail  
[dhouha.kbaier@ifremer.fr](mailto:dhouha.kbaier@ifremer.fr)

Training at IFREMER, Brest, France  
 Organized by Ingrid Puillat & Dhouha Kbaier

Session 1: May 27<sup>th</sup> & 28<sup>th</sup> 2015  
 Session 2: June 3<sup>rd</sup> & 4<sup>th</sup> 2015

## Keywords

Augmented Dickey-Fuller tests  
 Auto correlation function  
 Autoregressive process  
 Correlogram  
 Cross correlation  
 Empirical mode decomposition  
 Harmonic analysis  
 Hilbert-Huang transform  
 Hilbert spectral analysis  
 Lomb-Scargle powerspectrum  
 Modified periodogram  
 Seasonality  
 Skewness  
 Stationarity  
 Tidal waves  
 Time dependent intrinsic correlation  
 Time series  
 Trend  
 Unit root  
 Wavelets  
 Wavelet coherence  
 Welch periodogram

2



1<sup>ST</sup> DAY

3

## Outline

### I. Introduction

- ✓ Objectives of the training session
- ✓ Considered times series

### II. Stationarity issues

- ✓ Preliminary analysis
- ✓ Augmented Dickey-Fuller tests

### III. Spectral analysis

- ✓ Harmonic analysis
- ✓ Lomb-Scargle algorithm
- ✓ Spectral analysis adapted to missing data

### IV. Conclusion

4

## What is a time series ?

- Collection of observations of well-defined data items
- Repeated measurements over time
- Three parts :
  - Trend or T → long term direction
  - Seasonality or S → systematic, calendar related movements
  - Errors or E → irregular (unsystematic, short term fluctuations) = residual

## Introduction

Objectifs de mes travaux de recherche

Méthodes d'analyse de séries temporelles d'observation du milieu marin

Qu'appelle-t-on série temporelle?

Collection de données obtenue de manière séquentielle au cours du temps  
→ 2 variables associées: variable quantitative + variable « temps »

Pourquoi analyse-t-on les séries temporelles?

- Prévoir
- Relier les variables
- Déterminer la causalité
- Repérer les tendances et cycles

Quelques caractéristiques des séries temporelles

Non stationnaires  
Phénomènes saisonniers  
Changement de la fréquence d'échantillonnage  
Données manquantes (NaN)

## Considered Time series

1. Marel Carnot
2. Mediterranean Basin (Algeria)
3. Réunion island

## Séries temporelles Marel Carnot

Contexte:

MAREL Carnot pour le suivi de l'état de l'environnement côtier

Séries temporelles étudiées:

Salinité, turbidité et température, le niveau de la mer  
→ Données brutes telles que transmises par la station de mesure

Durée:

5 ans - du 1<sup>er</sup> Janvier 2005 au 31 Décembre 2009

Pas d'échantillonnage:

20 minutes



## Séries du bassin algérien

- Sens de ces fichiers: suffixe 'ajfcor' pour ajusté, filtré, corrigé
  - ajusté en terme de temps: le temps affiché est juste
  - filtré= bruit pour une période <4h supprimé
  - corrigé= corrigé des dérives instrumentales
- Préfixe: S2= 2<sup>ème</sup> bloc de données: série 2 = S2
- Les instruments: ub2, tln1 et ub1
- Chacun de ces instruments ont enregistré: (name = colonne)
  - # name 0: no d'enregistrement
  - # name 1 = depS: depth, salt water [m]=Z
  - # name 2 = potemp090: potential temperature, ITS-90 [deg C]= teta
  - # name 3 = sal00: salinity, PSS-78 [PSU]= S
  - # name 4 = wetStar: WET Labs, WETStar chlorophyll concentration [æg/l]
  - # name 5 = v0: voltage, number 0 [V] = pas important
  - # name 6 = timeJ: time [julian days]= time
  - # name 7 = t090: temperature, ITS-90 [deg C] = pas important ici
  - # name 8 = c0S/m: conductivity [S/m] = pas important ici
  - # name 9 = sigma-600: density, sigma-theta [kg/m<sup>3</sup>]= dens

**Durée:**

**Pas d'échantillonnage:**



## Séries île de la Réunion

**Contexte:**

Financement de la part de la Région Réunion pour le groupe NortekMed qui a acquis les données. Ces données ont été fournies à IFREMER dans le cadre du projet HydroRun.

**Séries temporelles étudiées:**

Température, courants et niveau de la mer

→ Données brutes telles que transmises par la station de mesure

**Durée:**

6 mois - du Juillet 2011 au 19 Janvier 2012

**Pas d'échantillonnage:**

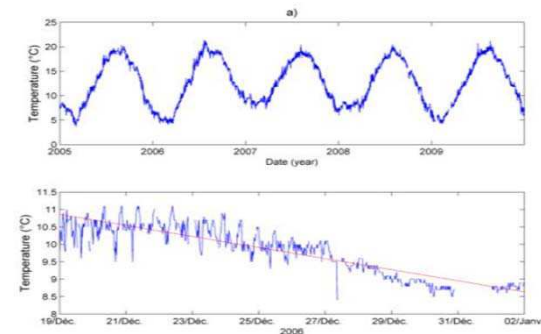
10 minutes



## STATISTICAL ANALYSIS

11

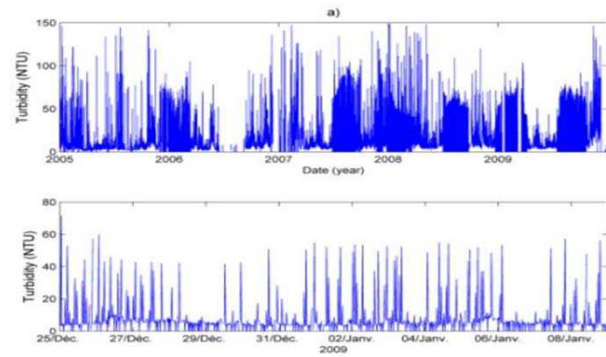
## Temperature (Marel Carnot)



- ❖ Strong annual cycle over 5 years
- ❖ A 15 day portion  
periodic component associated to the tide + stochastic fluctuations

12

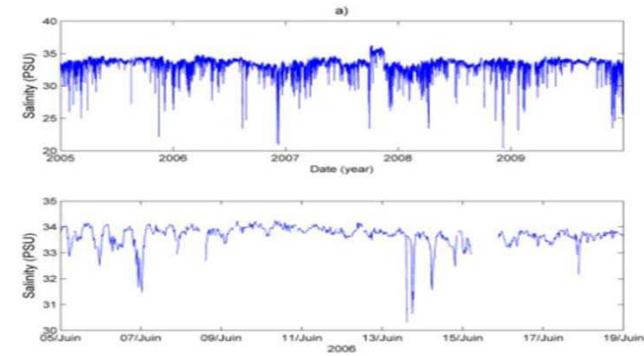
## Turbidity (Marel Carnot)



A 15 day portion shows strong periodic component associated to the tide + stochastic fluctuations

13

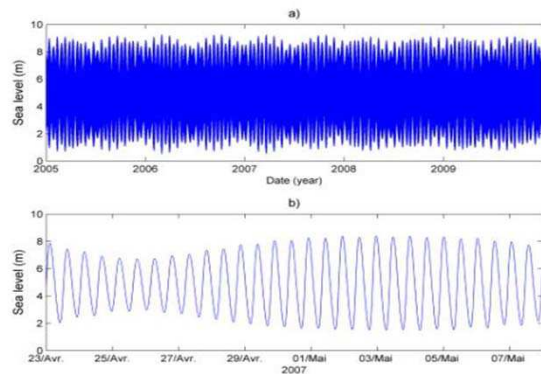
## Salinity (Marel Carnot)



A 15 day portion shows important and apparently irregular fluctuations

14

## Sea level (Marel Carnot)



A 15 day portion : a strong periodic component associated to the tide

15

## Skewness

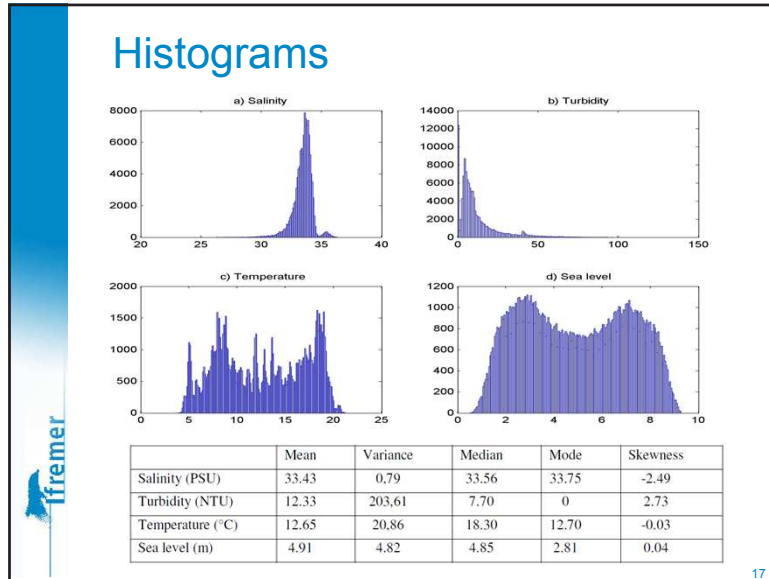
Le coefficient d'asymétrie de Fisher (skewness):

$$\gamma_1 = \frac{1}{\eta\sigma^3} \sum_i (x_i - m)^3$$

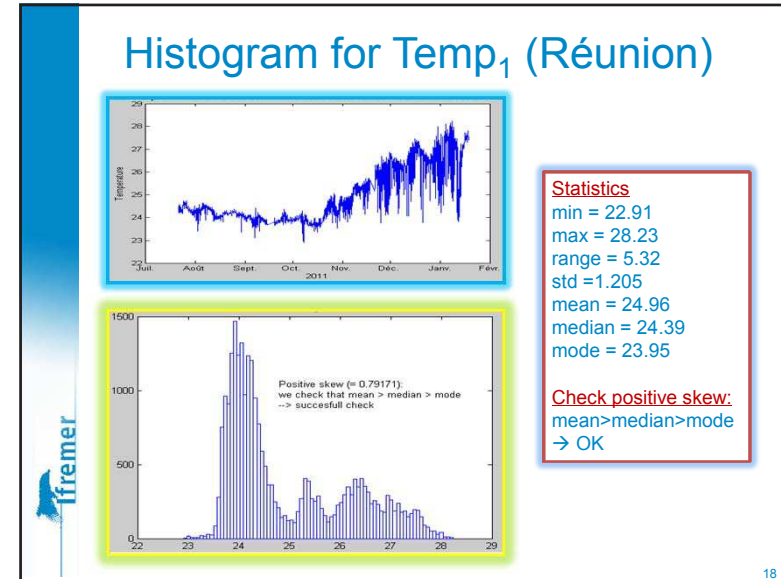
- Moment centré d'ordre 3 normalisé par le cube de l'écart-type
- Nombre sans dimension
- Comparer des distributions même si leurs échelles diffèrent
- Skewness négatif  $\leftarrow$  étalement à gauche

Mode > Médiane > Moyenne (Panofsky and Brier, 1968)

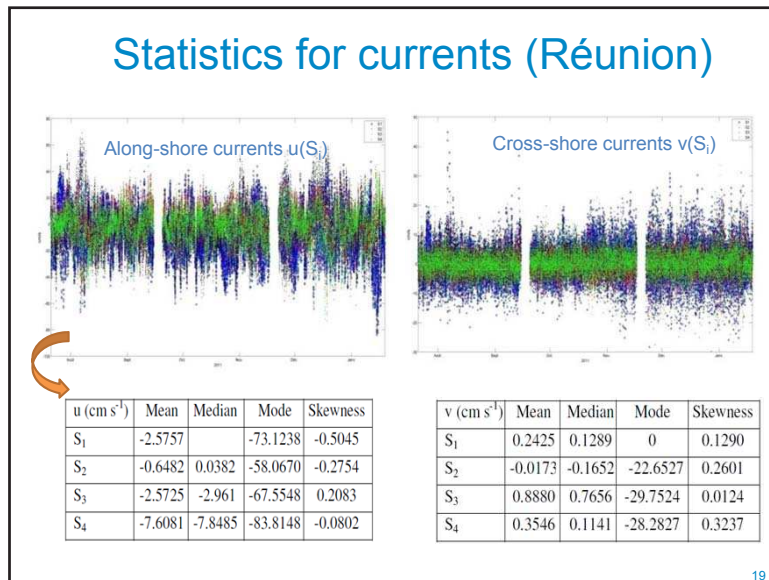
16



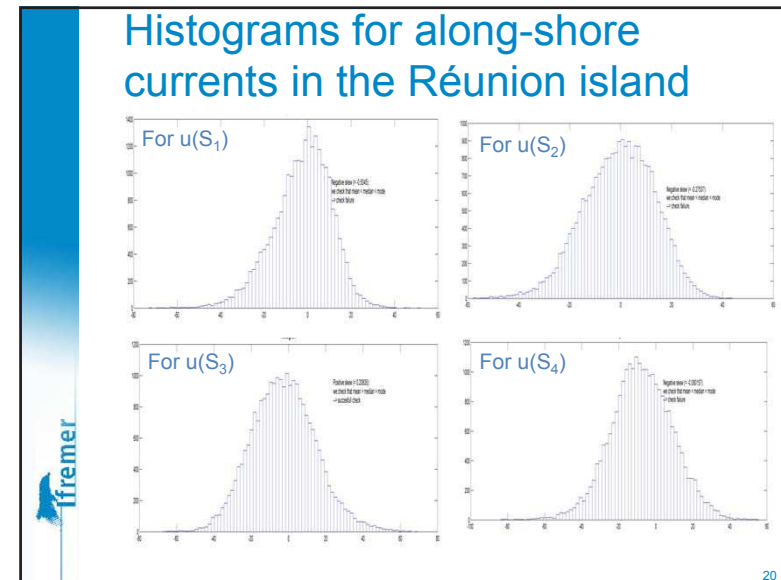
17



18



19



20

## Outline

### I. Introduction

- ✓ Objectives of the training session
- ✓ Considered times series

### II. Stationarity issues

- ✓ Preliminary analysis
- ✓ Augmented Dickey-Fuller tests

### III. Spectral analysis

- ✓ Harmonic analysis
- ✓ Lomb-Scargle algorithm
- ✓ Spectral analysis adapted to missing data

ifremer

21

## Definition of stationarity

**Definition taken from Challis and Kitney, 1991:**

“Stationarity is defined as a quality of a process in which the statistical parameters of the process do not change with time”.

- ❖ “Weak” stationary condition  
Mean, variance and covariance do not change over time
- ❖ Importance to analyze whether the series are stationary or not
- ❖ It is not valid to use standard statistical tests in the negative case (Nelson and Plosser, 1982)
- ❖ Estimating the correlation between nonstationary variables  
→ spurious dependencies
- ❖ Case of deterministic trend → a trend-adjusted series
- ❖ Case of a unit-root → differencing

ifremer

22

## II- Autour de la non-stationnarité

- ❖ Processus soit stationnaire ou pas ?
- ❖ Quelle modélisation doit-on adopter ?
- ❖ Fonction d'auto-corrélation d'un processus stationnaire:
  1.  $\forall h \in \mathbb{Z}, \rho(-h) = \rho(h)$
  2.  $\rho(0) = 1$
  3.  $|\rho(h)| \leq 1, \forall h$
- ❖ Analyse préliminaire des séries temporelles:

#### Analyse du graphe:

- Non stationnarité en moyenne et en variance
- Saisonnalité (par ex. marée et rotation de la terre)

#### Analyse du corrélogramme:

- Fonction d'auto-corrélation: pas paire
- Coefficient d'auto-corrélation d'ordre 1 (empirique): très élevé
- Autocorrélogramme: décroît lentement
- Densité spectrale: pic à l'origine

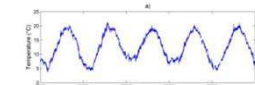
ifremer

## Graph analysis

Graphs of temperature, turbidity and salinity characterized by:

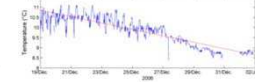
### Non stationarity in mean

Slight linear upward or downward trend  
Ex: downward trend for the 15 day portion of temp



### Non stationarity in variance

Increase or decrease in var. by slices  
Ex: variance by slices for the temp. TS over 2007  
Continuous & random increase & decrease in var. by slices



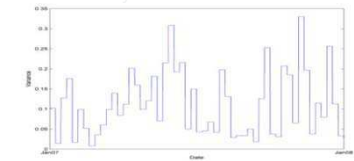
### Regularly repeated phenomenon

Presence of seasonality ?

### Series perturbed

Tide and the earth's rotation

### Sea level

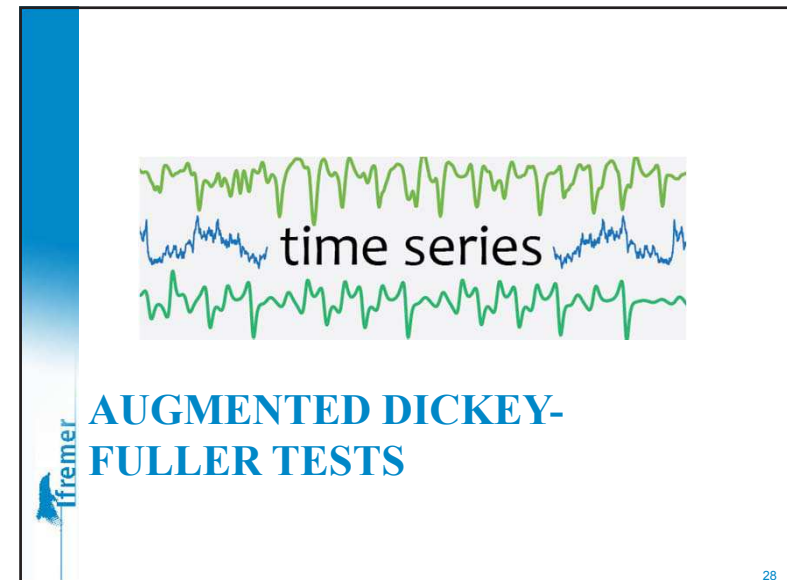
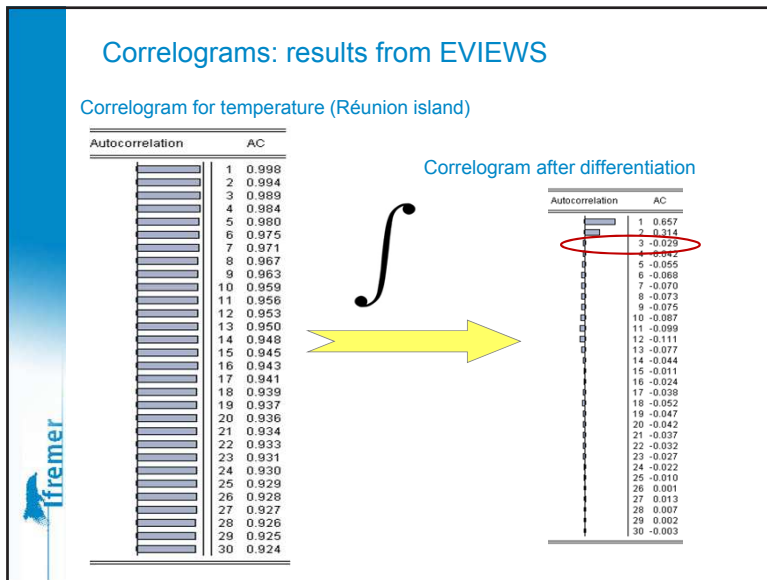
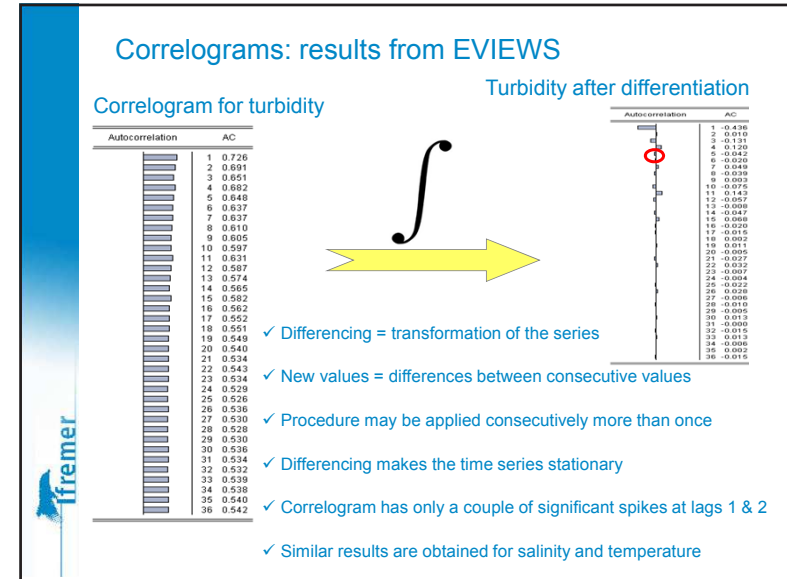
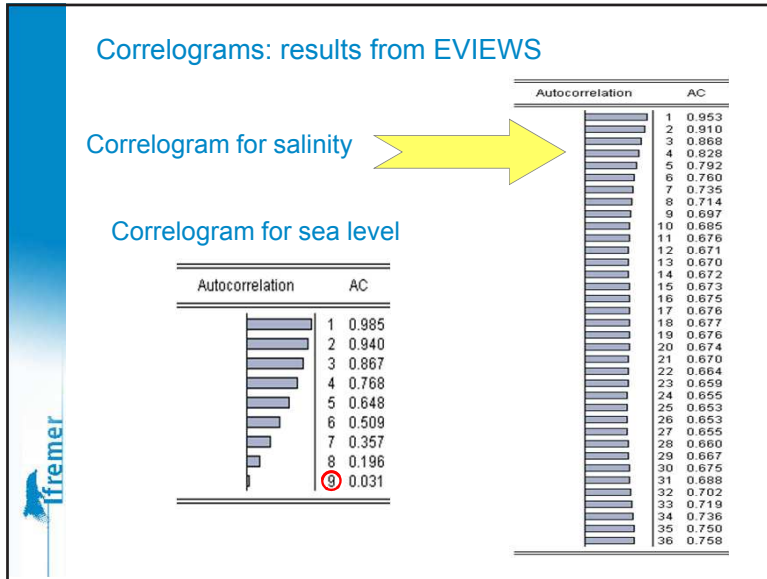


No systematic change in mean (no trend) & variance  
→ Stationary time series

ifremer

24





## What is a random walk process?

✓ A process where the current value of a variable is composed of the past value plus an error term defined as a white noise (a normal variable with zero mean and variance one).

✓ Algebraically a random walk is represented as follows:  $y_t = y_{t-1} + \xi_t$

### The implication of a process of this type

The best prediction of  $y$  for next period is the current value

The process does not allow to predict the change  $y_t - y_{t-1}$

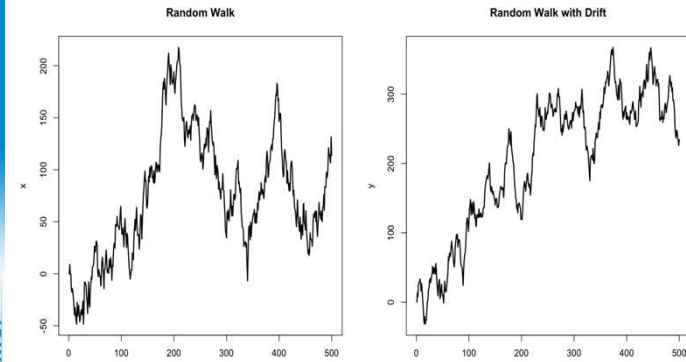
The change of  $y$  is absolutely random

Mean is constant, not variance  
 → a random walk process is nonstationary  
 → Variance increases with  $t$

Very simple forecast process



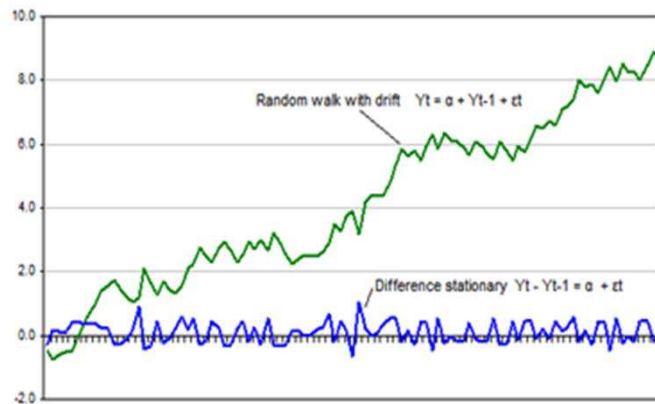
## Example of random walk process



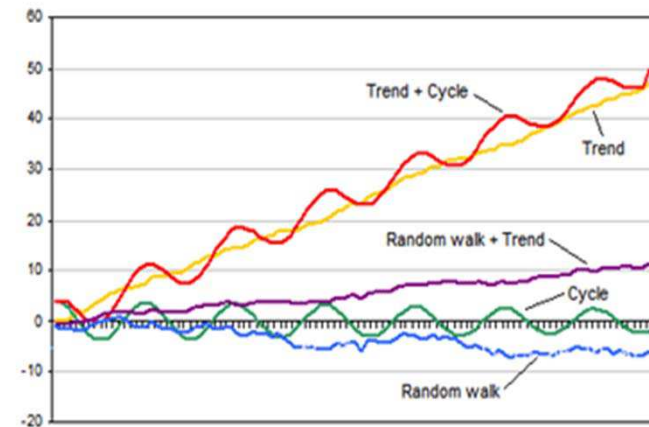
Random walk with drift:  $y_t = y_{t-1} + \alpha + \xi_t$   
 A drift acts like a trend,  $\alpha > 0 \rightarrow$  upward trend

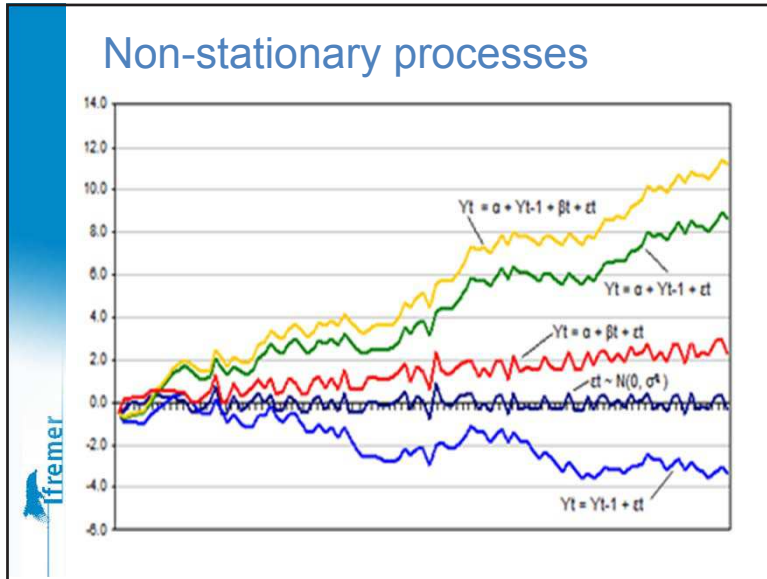


## Differencing



## Non-stationary behavior





### ADF tests

- Unit root = application of  $\Delta$  to induce stationarity
- Observed time series  $(Y_1, Y_2, \dots, Y_N)$
- Dickey and Fuller
  - Detect the presence of a unit root?
  - 3 differential-form autoregressive equations:
    - Trend Stationary (TS)
    - AutoRegressive with a Drift (ARD)
    - AutoRegressive

### ADF tests

$\gamma$  = process root coefficient

$$\Delta Y_t = \gamma Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \phi_j \Delta Y_{t-j} + \xi_t$$

$p$  = lag order

$$\Delta Y_t = \alpha + \gamma Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \phi_j \Delta Y_{t-j} + \xi_t \quad \xi_t = \text{residual}$$

$\alpha$  = drift

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta t + \gamma Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \phi_j \Delta Y_{t-j} + \xi_t$$

$\beta$  = Coefficient on a time trend

$t$  = time index

### ADF tests

(h<sub>1</sub>)

$$\Delta Y_t = \gamma Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \phi_j \Delta Y_{t-j} + \xi_t$$

$\gamma = 0 \rightarrow Y_t$  random walk  
 $\gamma < 0 \rightarrow Y_t$  stationary

(h<sub>2</sub>)

$$\Delta Y_t = \alpha + \gamma Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \phi_j \Delta Y_{t-j} + \xi_t$$

$\gamma = 0$  &  $\alpha \neq 0 \rightarrow Y_t$  random walk around a drift  
 $\gamma < 0$  &  $\alpha \neq 0 \rightarrow Y_t$  level stationary

(h<sub>3</sub>)

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta t + \gamma Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \phi_j \Delta Y_{t-j} + \xi_t$$

$\gamma = 0$  &  $\beta \neq 0 \rightarrow Y_t$  random walk around a trend  
 $\gamma < 0$  &  $\beta \neq 0 \rightarrow Y_t$  trend stationary

$\gamma$  : focus of testing

$\gamma = 0$  ?

Yes  $\rightarrow (Y_1, Y_2, \dots, Y_N)$  has a unit root

No  $\rightarrow$  alternative hypothesis of stationarity

## Specification of the lag length $p$

- An important practical issue for the implementation of ADF tests
- If  $p$  too small → remaining serial correlation in the errors → biased test
- If  $p$  too large → the power of the test will suffer
- Monte Carlo experiments → better to error on including too many lags

Lag length selection procedure (Ng and Perron, 1995)  
→ results in stable size of the test and minimal power loss.

- Set an upper bound  $p_{max}$  for  $p$
- Estimate the ADF test regression with  $p = p_{max}$
- If  $|t\text{-statistic}| > 1.6$  → set  $p = p_{max}$  and perform the unit root test  
Otherwise, reduce the lag length by one and repeat the process
- A common rule of thumb for determining  $p_{max}$   
Suggested by Schwert (1989)

$$p_{max} = \left[ 12 \times \left( \frac{N}{100} \right)^{1/4} \right]$$

ifremer

## Significance

How to estimate the significance of the coefficients in focus?

Compute the modified T (Student)-statistic  
known as Dickey-Fuller statistic

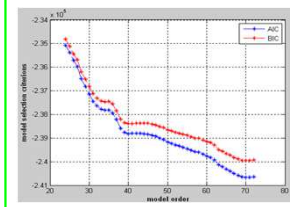
Compare T with the relevant critical value (MacKinnon, 1996)  
if the test statistic < critical value → null hypothesis rejected

Critical value: depends on the size of the sample & version of the test

ifremer

## ADF tests for temperature, salinity & turbidity (MAREL system)

Example for the choice of  $p$ :  
Temperature time series



ADF tests for salinity time series:

MATLAB function  
adftest()

EVIDENCES

Null Hypothesis: SALINITY has a unit root Exogenous: None Lag Length: 72 (Automatic - based on SIC, maxlags=72)	$p = -1$	Reject
1-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.380563	0.5552
Test critical values:	1% level	-2.584800
	5% level	-1.940827
	10% level	-1.616688
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

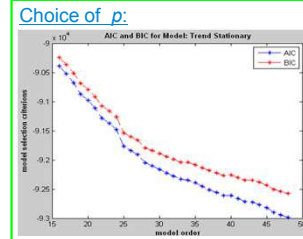
Null Hypothesis: SALINITY has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 72 (Automatic - based on SIC, maxlags=72)	$p = 0$	Accept
1-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-11.55009	0.0000
Test critical values:	1% level	-3.430231
	5% level	-2.891372
	10% level	-2.588720
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Null Hypothesis: SALINITY has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 72 (Automatic - based on SIC, maxlags=72)	$p = 1$	Accept
1-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-11.62162	0.0000
Test critical values:	1% level	-3.950103
	5% level	-3.408838
	10% level	-3.126623
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Test de Dickey-Fuller augmenté pour  $p = 72$ :

- Test de la tendance:  
La valeur  $t = \text{statistique}$  est supérieure (en valeur absolue) à la valeur critique de  $-3.4123$  au seuil de 95%:  
 $|-11.6216| > \text{valeur critique}$ :  $|t\text{-value}| = |-3.4123|$   
 $\alpha = 0.05$  étant la valeur par défaut du seuil dans la fonction `adftest()`.
- Test de racines unitaires:  
Pour le modèle AR: ADF calculée:  $|stat| = |-0.3606| < DF \text{ tabulée}$ :  $|t\text{-value}| = |-1.9416|$  au seuil de signification de 5%. → On rejette l'hypothèse d'existence de racines unitaires AR.  
Pour le modèle ARD: ADF calculée:  $|stat| = |-11.5501| > DF \text{ tabulée}$ :  $|t\text{-value}| = |-2.8610|$  au seuil de signification de 5%. → On accepte l'hypothèse d'existence de racines unitaires ARD.
- Conclusion: Cette no 1 stationnarité est de type TS (Trend Stationnaire) et ARD (Auto-Resressive with a Drift).

## ADF tests for temperature (Réunion island)



ADF tests for Temp<sub>1</sub>:

MATLAB function  
adftest()

EVIDENCES

Null Hypothesis: TEMPERATURE has a unit root Exogenous: Constant, Linear Trend Lag Length: 48 (Automatic - based on SIC, maxlags=48)	$p = 1$	Accept
1-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.417137	0.0000
Test critical values:	1% level	-3.988395
	5% level	-2.880874
	10% level	-2.587105
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Null Hypothesis: TEMPERATURE has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 48 (Automatic - based on SIC, maxlags=48)	$p = 0$	Reject
1-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-7.878863	0.0175
Test critical values:	1% level	-3.404420
	5% level	-2.881460
	10% level	-2.587108
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Null Hypothesis: TEMPERATURE has a unit root Exogenous: None Lag Length: 48 (Automatic - based on SIC, maxlags=48)	$p = -1$	Reject
1-Statistic	Prob.*	
Augmented Dickey-Fuller test statistic	0.205519	0.7771
Test critical values:	1% level	-2.585955
	5% level	-1.940837
	10% level	-1.616892
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

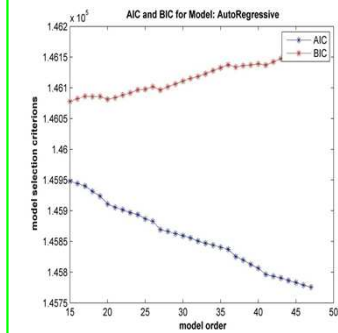
adftest() Function (Special Econometrics) | ADF tests for the three models

Augmented DF test for unit root variable:	# of lags	AR(1) estimate	Variable	1	
ADP t-statistic	0.316519	48	1.000000		
1% Crit Value	-3.5884	5% Crit Value	-2.8874	10% Crit Value	-2.5884
	-1.957		-1.631		
p = 0					
Augmented DF test for unit root variable: <th># of lags</th> <th>AR(1) estimate</th> <th>Variable</th> <th>1</th>	# of lags	AR(1) estimate	Variable	1	
ADP t-statistic	-2.679862	48	0.999424		
1% Crit Value	-3.4568	5% Crit Value	-2.874	10% Crit Value	-2.5884
	-1.957		-1.631		
p = 1					
Augmented DF test for unit root variable: <th># of lags</th> <th>AR(1) estimate</th> <th>Variable</th> <th>1</th>	# of lags	AR(1) estimate	Variable	1	
ADP t-statistic	-5.417137	48	0.997937		
1% Crit Value	-3.9988	5% Crit Value	-2.872	10% Crit Value	-2.5884
	-1.957		-1.631		
p = -1					

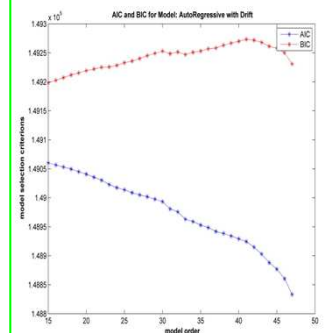
Note: Prob.\* is the probability of rejecting the null hypothesis of a unit root when there is one.

## Choice of optimal lag for currents (Réunion island)

Choice of  $p$  for  $v(S_4) \rightarrow p = 47$



Choice of  $p$  for  $u(S_2) \rightarrow p = 15$



## Outline

### I. Introduction

- ✓ Objectives of the training session
- ✓ Considered times series

### II. Stationarity issues

- ✓ Preliminary analysis
- ✓ Augmented Dickey-Fuller tests

### III. Spectral analysis

- ✓ Harmonic analysis
- ✓ Lomb-Scargle algorithm
- ✓ Spectral analysis adapted to missing data

### IV. Conclusion

42

## Harmonic analysis

First developed by William Thomson in England in 1867

Developed independently in 1874 in the U.S. by William Ferrel

### Harmonic analysis

© one knows *a priori* all the frequencies at which tidal energy will be found in a data time series

#### Most frequencies

- astronomically caused
- due to the nonlinear hydrodynamic effects of shallow water

#### Harmonic analysis of oceanic tides

Widely used MATLAB package

Created by Pawlowicz et al. (2002)

[http://www.eos.ubc.ca/~rich/#T\\_Tide](http://www.eos.ubc.ca/~rich/#T_Tide)

43

## Application to Marel Carnot time series

Chercher l'amplitude et la phase de certaines fréquences connues (utilisées pour le calcul du potentiel générateur de la marée astronomique)

### Niveau de la mer:

- Pas de données manquantes
- Prédiction var : 99.7 %

### Salinité:

- Apports d'eaux douces, cycle saisonnier avec une plus grande variabilité
- 12.5 % de données manquantes
- Prédiction var. du signal de départ : 18.4 %

### Turbidité:

- Marée, partie biologique (plancton au printemps), effets hautes fréquences liées aux tempêtes, cycle des courants de marée (remise en suspension et advection)
- 13 % de données manquantes
- Prédiction var. du signal de départ : 8.3 %

Amplitude	Tidal wave	Type
2.8431	Principal lunar $M_2$	Semidiurnal
0.9429	Principal solar $S_2$	Semidiurnal
0.5160	Larger elliptical lunar $N_2$	Semidiurnal
0.3478	Declinational lunar-solar $K_2$	Semidiurnal
0.3160	$M_2 = 2M_2$	Compound

44

## Application to Marel Carnot time series : Temperature

**Température:**

- ~12.5 % de données manquantes
- Prédiction var : 95 % !
- Filtrage pour éliminer les basses fréquences (cycles saisonniers)

**Série de température après filtrage:**

Filtre de Butterworth: ordre 5, passe bande entre 1h et 3 jours

- Mettre en évidence les effets de la marée
- Prédiction var : 25.6 %

45

## Harmonic analysis

↓

Not relevant except for the sea level

## Appropriate spectral analysis

Comparing different periodograms

46

## SPECTRAL ANALYSIS

47

## Blackman-Tukey spectral analysis (1958)

- ✓ Most popular method to compute powerspectra in earth sciences
- ✓ Performs autospectral analysis in three steps:
  1. Calculation of the autocorrelation sequence
  2. Windowing
  3. Computation of the discrete Fourier transform
- ✓ Blackman-Tukey powerspectral density  $PSD = |X(f)|$   
 $X(f)$ : complex Fourier transform of the autocorrelation sequence  
 Employing a Fast Fourier Transformation (FFT)
- ✓ Several window shapes For the modified periodogram:
  - Bartlett (triangular)
  - Hamming (cosinusoidal)
  - Hanning (slightly different sinusoidal)
- ✓ In the frequency domain  
 time series \* window =  
 convolu. (original signal's powerspectrum ,rectangular window's spectrum)
- ✓ Enhancement: Welch's method (1967)

48

## Principle of Welch's method (1967)

1. Divide the time series into overlapping segments
2. Window the overlapping segments, like for the modified periodogram
3. Compute the powerspectrum for each segment
4. Average all spectra to improve the SNR of the powerspectrum

Frequency Domain

Time Domain

Original signal

1st segment (l = 1 : 100)

Overlap of 100 samples

2nd segment (l = 51 : 150)

Overlap of 100 samples

3rd segment (l = 101 : 200)

Overlap of 100 samples

Martin H. Trauth  
MATLAB® Recipes for Earth Sciences  
2<sup>nd</sup> Edition

## Dynamics of turbidity

Modified periodogram with a Hamming window

Welch powerspectrum

- Very complex dynamics for both periods.
- **For high frequencies:**  
Turbulent-like behaviour  
+ a regime following roughly a power-law
- **For low frequencies:**  
Visible deterministic forcings  
Several energetic spikes  
Diurnal tidal cycle  $K_1$   
Semidiurnal cycle  $M_2$   
 $M_4 = 2 \cdot M_2 \rightarrow$  Propagation of  $M_2$
- **Welch method versus modified period.**
  - ⊕ Improves the SNR of the spectrum
  - ⊖ Loss of resolution
  - ⊖ Ex: No spikes for monthly ( $M_m$ ) and semimonthly ( $M_s$ ) lunar tides
  - ⊖ Annual cycle  $S_a$  not detected at all

## Dynamics of along-shore current $u(S_1)$

Modified periodogram with a Hamming window

Welch powerspectrum

## Dynamics of cross-shore current $v(S_3)$

Modified periodogram with a Hamming window

Welch powerspectrum

## Discussion: Blackman-Tukey method

In earth sciences, often unevenly spaced time series

Missing values: a common characteristic property of autonomous monitoring data bases due to  
 routine maintenance, inaccessibility, vandalism, removal of biofouling  
 failure of the measuring devices.

© Blackman-Tukey method requires evenly-spaced data

→ We have interpolated all the time series with missing data  
 as done in some studies (Ibanez and Conversi, 2002; Paparella, 2005)

© Interpolation introduces numerous artifacts to the data in time & frequency domains

© Alternative method of time-series analysis  
 increasingly popular in earth sciences  
 Lomb-Scargle algorithm  
 (Lomb, 1976; Scargle 1981, 1982, 1989; Press et al. 1992; Schulz and Stattegger, 1998).

## Outline

### I. Introduction

- ✓ Objectives of the training session
- ✓ Considered times series

### II. Stationarity issues

- ✓ Preliminary analysis
- ✓ Augmented Dickey-Fuller tests

### III. Spectral analysis

- ✓ Harmonic analysis
- ✓ Lomb-Scargle algorithm
- ✓ Spectral analysis adapted to missing data

### IV. Conclusion

## Spectral analysis: summary

Estimation du spectre = estimer la transformée de Fourier de la fonction d'auto-corrélation à partir d'un nombre fini de données bruitées

1. **Périodogramme modifié**
  - Fenêtre rectangulaire remplacée par une fenêtre générale
  - Compromis entre résolution spectrale et fuite de spectre
2. **Périodogramme avec *fft*** → calcul plus rapide
3. **Périodogramme de Welch**
  - Ensemble de périodogrammes modifiés qui sont moyennés
4. **Périodogramme de Lomb-Scargle**
  - Adapté au cas des échantillons irréguliers
  - Évaluer les données de la série temporelle seulement aux instants qui ont été réellement mesurés
  - Pas besoin d'interpolation pour le périodogramme de Lomb-Scargle
  - *Brett Shoelson a publié un algorithme MATLAB pour calculer le périodogramme Lomb-Scargle*

## Lomb-Scargle algorithm (1/2)

- ❖ Consider only times  $t_j$  that are actually measured
- ❖ Suppose a series  $y(t)$  of  $N$  data points
- ❖ Lomb-Scargle normalized periodogram  $P_x$  as a function of angular frequency  $\omega = 2\pi f > 0$

$$P_x(\omega) = \frac{1}{2\sigma^2} \left\{ \frac{\left[ \sum_j (y_j - \bar{y}) \cos \omega(t_j - \tau) \right]^2}{\sum_j \cos^2 \omega(t_j - \tau)} + \frac{\left[ \sum_j (y_j - \bar{y}) \sin \omega(t_j - \tau) \right]^2}{\sum_j \sin^2 \omega(t_j - \tau)} \right\}$$

Where  $\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$  &  $s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2$ : arithmetic mean & variance

$\tau$ : offset that makes  $P_x(\omega)$  independent of shifting the  $t_j$ 's by any constant

Scargle (1982) showed →  $P_x(\omega)$  = least-squares fit of sine & cosine to  $y(t)$ :

$$\hat{y}(t) = A \cos \omega t + B \sin \omega t$$



## Lomb-Scargle algorithm (2/2)

Lomb-Scargle periodogram: exponential probability distribution with unit mean (Scargle, 1982)

The probability that  $P_x(\omega)$  will be between some positive quantity  $z$  and  $z+dz$  is  $\exp(-z) dz$ .

We scan  $M$  independent frequencies


False alarm probability = probability that a given peak in the periodogram is not significant

$\rightarrow P(> z) \equiv 1 - (1 - e^{-z})^M$

How to choose  $M$  ?

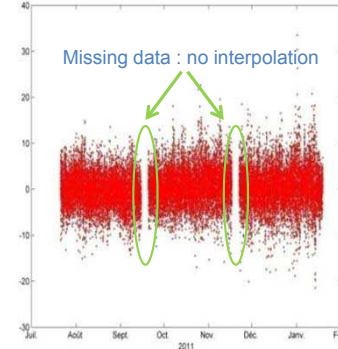
- Nyquist criterion (Press et al., 1992)
- Best value  $M = 2N$ ,  $N$  length of the time series

$hifac$  = highest frequency/ Nyquist frequency  
(Matlab program)  $hifac = 1$

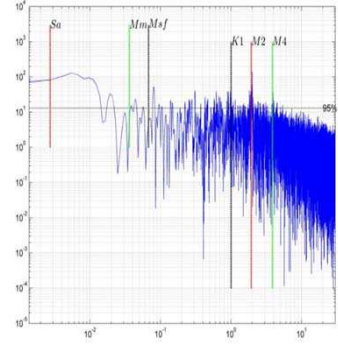


57


## Application of Lomb-Scargle



Missing data : no interpolation

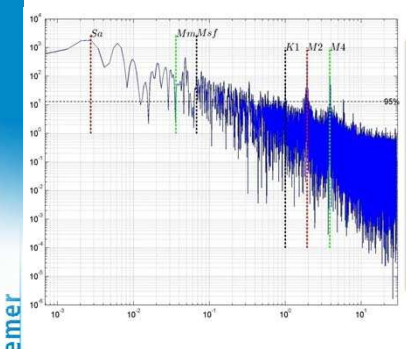


**Cross-shore currents in the Réunion island  $v(S,t)$**




58

## Lomb-Scargle for salinity (Marel)



- Similar to the turbidity spectrum
- **For high frequencies:**  
Turbulent-like behaviour
- **For low frequencies:**  
Visible deterministic forcings  
Several energetic spikes

**Salinity over the year 2005: 18.74 % of missing data**




59

## Limits of Lomb-Scargle

Lomb-Scargle adapted for unevenly spaced data

- what are the limits?
- High rate of missing values?
- Lomb-Scargle still significant?
- Always detect most energetic frequencies?
- Would the method suffer above a certain threshold ?



60

## Quelle limite pour le Lomb-Scargle ?

Analyse de la série temporelle de salinité sur l'année 2005:  
26280 échantillons: 3 mesures par heure\*24 heures\*365 jours  
Données manquantes dans les données brutes: 18.76 %  
21348 échantillons réellement mesurés

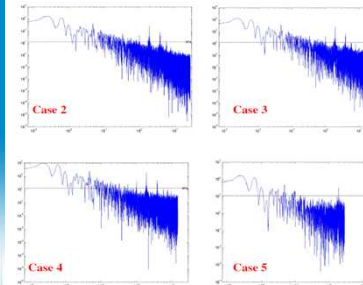
Supprimer aléatoirement d'autres données et estimer le périodogramme par la méthode du Lomb-Scargle:

1. Supprimer une semaine de mesure: 1.92 %  
au total: 20.68 % de données manquantes
2. Supprimer un mois de mesure: 8.22 %  
au total: ~27 % de données manquantes
3. Supprimer 3 mois de mesure: 24.65 %  
au total: ~43.42 % de données manquantes
4. Supprimer 6 mois de mesure: 49.31 %  
au total: ~68 % de données manquantes
5. Supprimer 90 % ...



fremer

## Illustrate the limits of Lomb-Scargle



Time series	# significant frequencies
Original data	131
Case 1	98
Case 2	90
Case 3	79
Case 4	53
Case 5	14

✓ The more data are discarded, the less energetic spikes are observed in the powerspectrum

✓ Several seasonalities are no more visible

✓ Even a whole range of high frequency disappears progressively

✓ Beyond 3 months of discarded data, the Lomb-Scargle algorithm really suffers from a high rate that approaches 50% of missing measures

Comparing different Lomb-Scargle powerspectra for the salinity while increasing the rate of missing data

62

Huang *et al.* (1998, 1999)  
New adaptive data analysis method  
Nonlinear and nonstationary processes  
Hilbert-Huang Transform (HHT)  
To be introduced tomorrow 😊

fremer

## Conclusion

### Contexte:

Richesse de données: station MAREL Carnot, île de Réunion et séries du bassin algérien

### Non-stationnarité:

▪ EViews : Différents corrélogrammes → décroissance très lente de la fonction d'auto-corrélation → séries non stationnaires

▪ Décroissance rapide vers zéro du corrélogramme du niveau de la mer → série plutôt stationnaire

▪ Tests ADF: programme MATLAB, fonction MATLAB *adftest()* de Econometrics Toolbox et le logiciel EViews → mêmes résultats

▪ Déterminer le type de non-stationnarité pour pouvoir la traiter correctement

**Analyse harmonique:** À part sur les niveaux de la mer, elle n'est pas pertinente

### Analyse spectrale:

✓ Comparer différents périodogrammes (modifié, Welch)

✓ Périodogramme lomb-Scargle adapté aux séries temporelles avec des données manquantes et capable de distinguer des fréquences très proches

64

## Conclusion

### Contexte:

Richesse de données: station MAREL Carnot, île de Réunion et séries du bassin algérien

### Non-stationnarité:

- EVIEWS : Différents corrélogrammes → décroissance très lente de la fonction d'auto-corrélation → séries non stationnaires
- Décroissance rapide vers zéro du corrélogramme du niveau de la mer → série plutôt stationnaire
- Tests ADF: programme MATLAB, fonction MATLAB *adftest()* de Econometrics Toolbox et le logiciel EVIEWS → mêmes résultats
- Déterminer le type de non-stationnarité pour pouvoir la traiter correctement

**Analyse harmonique:** À part sur les niveaux de la mer, elle n'est pas pertinente

### Analyse spectrale:

- ✓ Comparer différents périodogrammes (modifié, Welch)
- ✓ Périodogramme lomb-Scargle adapté aux séries temporelles avec des données manquantes et capable de distinguer des fréquences très proches

## Quelques perspectives

### Techniques de filtrage

Filtre de Butterworth

Filtre de Demerliac

→ Filtre les hautes fréquences

→ Ne fonctionne qu'avec des données horaires

→ Utilisé par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) pour calculer le niveau moyen journalier

### Méthodes d'interpolation

### Méthodes avancées d'analyse spectrale (→ 2<sup>ème</sup> journée)

EMD

Ondelettes

## Keywords

Augmented Dickey-Fuller tests  
 Auto correlation function  
 Autoregressive process  
 Correlogram  
 Cross correlation  
 Empirical mode decomposition  
 Harmonic analysis  
 Hilbert-Huang transform  
 Hilbert spectral analysis  
 Lomb-Scargle powerspectrum  
 Modified periodogram  
 Seasonality  
 Skewness  
 Stationarity  
 Tidal waves  
 Time dependent intrinsic correlation  
 Time series  
 Trend  
 Unit root  
 Wavelets  
 Wavelet coherence  
 Welch periodogram

## Acknowledgments

The authors would like to thank the Région Bretagne for financial support of the post-doctoral fellowship (SAD MASTOC n°8296). They also thank the Région Réunion for financial support brought to the NortekMed group for the acquisition of the data, provided to IFREMER within the framework of the HydroRun project.

Thank you for your attention



2<sup>ND</sup> DAY

# Time series analysis

Presented by Dhouha Kbaier Ben Ismail  
[dhouha.kbaier@ifremer.fr](mailto:dhouha.kbaier@ifremer.fr)

Training at IFREMER, Brest, France  
 Organized by Ingrid Puillat & Dhouha Kbaier

Session 1: May 27<sup>th</sup> & 28<sup>th</sup> 2015  
 Session 2: June 3<sup>rd</sup> & 4<sup>th</sup> 2015

## Outline 1<sup>st</sup> day

### I. Introduction

- ✓ Objectives of the training session
- ✓ Considered times series

### II. Stationarity issues

- ✓ Preliminary analysis
- ✓ Augmented Dickey-Fuller tests

### III. Spectral analysis

- ✓ Harmonic analysis
- ✓ Lomb-Scargle algorithm
- ✓ Spectral analysis adapted to missing data

### IV. Conclusion

2

## Keywords

Augmented Dickey-Fuller tests  
 Auto correlation function  
 Autoregressive process  
 Correlogram  
 Cross correlation  
 Empirical mode decomposition  
 Harmonic analysis  
 Hilbert-Huang transform  
 Hilbert spectral analysis  
 Lomb-Scargle powerspectrum  
 Modified periodogram  
 Seasonality  
 Skewness  
 Stationarity  
 Tidal waves  
 Time dependent intrinsic correlation  
 Time series  
 Trend  
 Unit root  
 Wavelets  
 Wavelet coherence  
 Welch periodogram

3



## 2<sup>ND</sup> DAY

4

## Background & objectives

- ❖ In marine sciences: often nonlinear and nonstationary time series
  - Adequate and specific methods are needed
- ❖ Here: Application of the Empirical Mode Decomposition method (EMD) associated to the Hilbert Spectral Analysis (HSA)
- ❖ Correlation between two nonstationary TS:
  - EMD based Time Dependent Intrinsic Correlation (TDIC)
- ❖ Analysis of temperature, currents & salinity time series
  - Application of EMD
  - Power spectra using HSA
  - Pattern of correlations at ≠ scales and ≠ locations
  - TDIC analysis

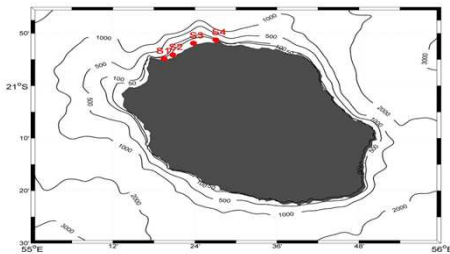
## Outline

- I. Background & objectives
- II. Experimental database
- III. Hilbert-Huang Transform (HHT)
- IV. Time Dependent Intrinsic Correlation (TDIC)
- V. Discussion
- VI. Conclusions & perspectives

## Experimental database

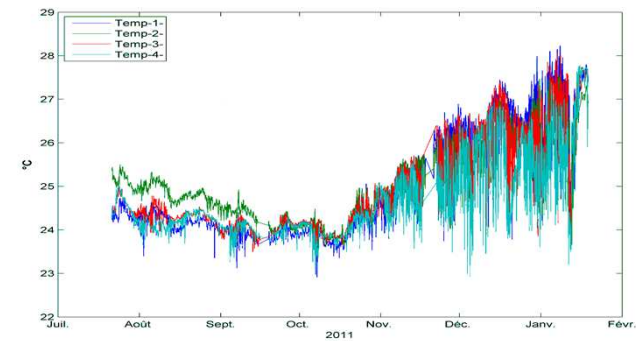
- ✓ Automatic measurements in the
- ✓ Location: Réunion island in the Indian Ocean, 700 km east of Madagascar
- ✓ 40m depth waters
- ✓ Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP)

- ✓ Records: bottom temperatures, currents and sea level
- ✓ 4 different sites = 4 different stations in the island
- ✓ High frequency measures: every 10 min
- ✓ 6 months - from 21<sup>st</sup> July 2011 to 19<sup>th</sup> January 2012



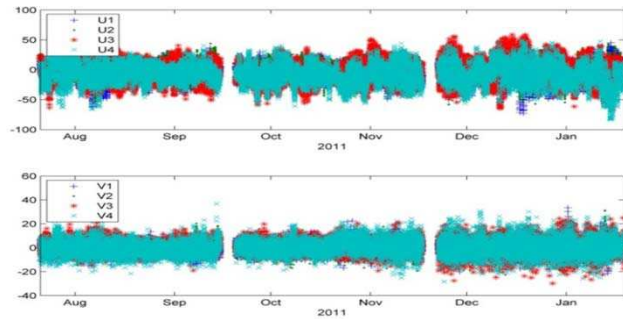
## Temperature time series

- Nonstationary series
- Standard Fourier spectral analysis: inappropriate
- Adequate power spectral analysis



## Currents time series

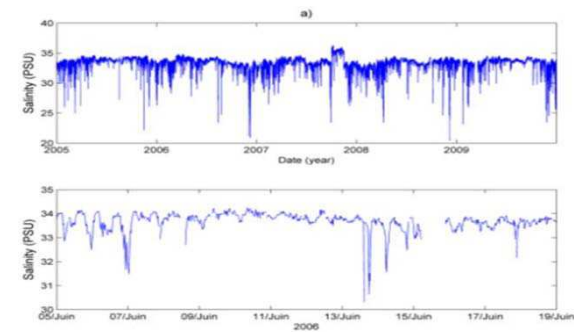
- Nonstationary series
- Standard Fourier spectral analysis: inappropriate
- Adequate power spectral analysis



9

## Salinity (Marel Carnot)

- Nonstationary series
- Important and apparently irregular fluctuations (see 15 day portion)
- Standard Fourier spectral analysis: inappropriate
- Adequate power spectral analysis



10

## Advanced spectral methods

Classical spectral estimates perform well for:

- ☺ linear systems
- ☺ periodic data
- ☺ stationary data
- ☹ In Earth sciences: often unevenly spaced and nonstationary time series
- ☺ New adaptive data analysis method
  - (Huang et al., 1998)
  - NASA: Hilbert-Huang Transform (HHT)

11

## Motivations

- Complexity and multi-scale fluctuations in oceanography
- Need of high frequency sampling to detect every fluctuations
- Need of adequate methodology for data analysis

12

## A general feature of high frequency coastal Environmental Data

- Stochastic variability on a large range of scales
- Turbulent-like small-scale stochastic fluctuations
- Large-scale deterministic period (tidal and daily cycles...)
- Many missing data

## What is EMD ?

- ✓ A new analysis technique proposed by Huang et al. (1998, 1999)
- ✓ Decomposes a signal into a sum of modes, without leaving the time domain
- ✓ The mode functions form a basis, nearly orthogonal
- ✓ Each mode is localized in frequency space: acts as a filter bank
- ✓ Can be used for detrending or denoising time series
- ✓ Can be applied to nonlinear and non-stationary data, even with relatively small number of datapoints
- ✓ Complementary to Fourier or Wavelet analysis

This approach was first proposed by Norden Huang (NASA) in 1998 and 1999 in oceanography to analyze water waves

- 4000 citations for this 1998 paper
- Hundreds of papers applying the new method to various fields
- Ocean, atmosphere, signal processing, mechanical engineering, climate studies, earthquakes, biomedical studies...
- But still no exact mathematical results

PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY OF MATHEMATICAL, PHYSICAL & ENGINEERING SCIENCES

Home | Current Issue | Past Issues | Submit | Subscribe | Alerts

Access Granted by Université des Sciences et Technologies de Lille

The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis

Norden E. Huang<sup>1</sup>, Zheng Shen<sup>1</sup>, Steven R. Long<sup>1</sup>, Manli C. Wu<sup>2</sup>, Hong H. Shih<sup>3</sup>, Quann Zheng<sup>4</sup>, Nai-Chyuan Yen<sup>1</sup>, Chi Chao Tung<sup>5</sup> and Henry H. Liu<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Author Affiliations

Abstract

A new method for analyzing nonlinear and non-stationary data has been developed. The key part of the method is the 'empirical mode decomposition' method with which any complicated data set can be decomposed into a finite and often small number of 'intrinsic mode functions' that admit well-behaved Hilbert transforms. This decomposition method is adaptive, and, therefore, highly efficient. Since the decomposition is based on the local characteristic time scale of the data, it is applicable to nonlinear and non-stationary processes. With the Hilbert transform, the 'intrinsic mode functions' yield instantaneous frequencies as functions of time that give sharp identifications of modulated structures. The final presentation of the results is an energy-frequency-time distribution, designated as the Hilbert spectrum. In this method, the main conceptual innovations are the introduction of 'intrinsic mode functions' based on local properties of the signal, which make the instantaneous frequency meaningful; and the introduction of the instantaneous frequencies for complicated data sets, which generate the need for adaptive harmonics to represent nonlinear and non-stationary signals. Examples from the numerical results of the classical nonlinear oscillator systems and data representing natural phenomena are given to demonstrate the power of this new method. Classical nonlinear system data are especially interesting, for they serve to illustrate the roles played by the nonlinear and non-stationary effects in the energy-frequency-time distribution.

4000 citations for this 1998 paper

Hundreds of papers applying the new method to various fields

Ocean, atmosphere, signal processing, mechanical engineering, climate studies, earthquakes, biomedical studies...

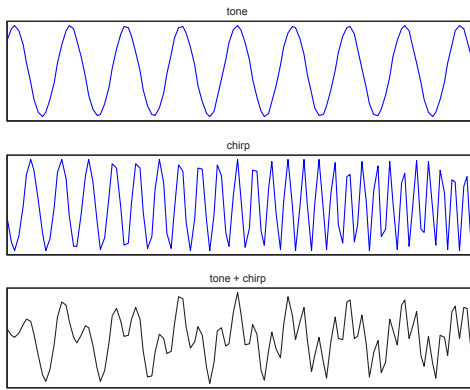
But still no exact mathematical results

## EMD algorithm

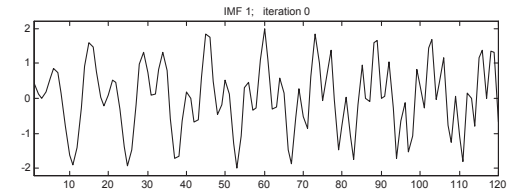
1. Identify all local maximum (resp. minimum) extrema of  $x(t)$
2. Interpolate maximum (resp. minimum) by cubic spline to form upper (reps. lower) envelop  $e_{\max}$   $e_{\min}$
3. Compute the average  $m_1(t) = (e_{\max} + e_{\min})/2$
4. Extract the detail  $d_1(t) = x(t) - m_1(t)$
5. Iterate on the residual  $d_{1,1}(t) = d_1(t) - m_{1,1}(t) \dots d_{1,k}(t) = d_{1,k-1}(t) - m_{1,k}(t)$  until  $imf_1 = d_{1,k}(t)$
6. We obtain  $x(t) = \sum imf + r_n(t)$



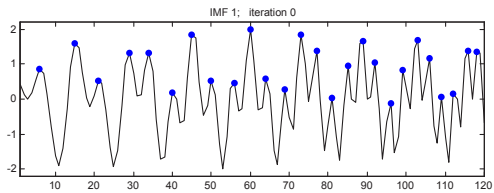
# How does EMD Work?



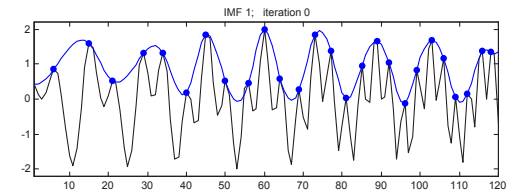
<http://perso.ens-lyon.fr/patrick.flandrin/emd.html>



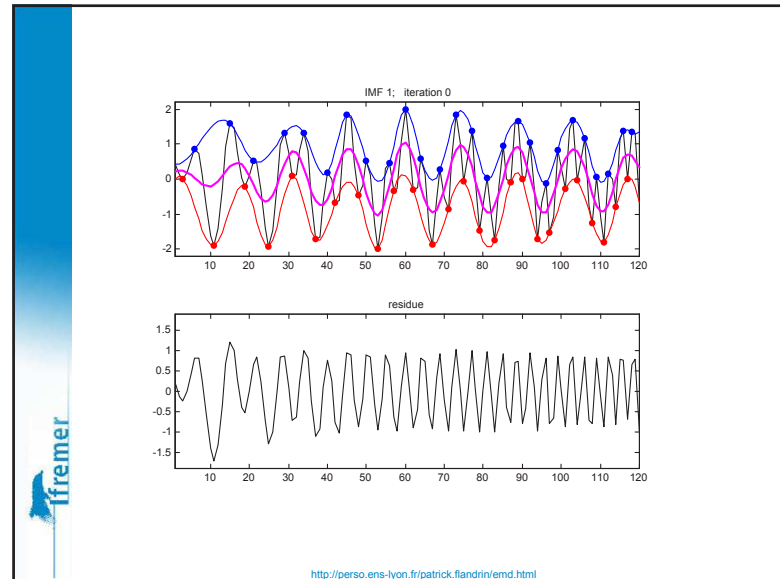
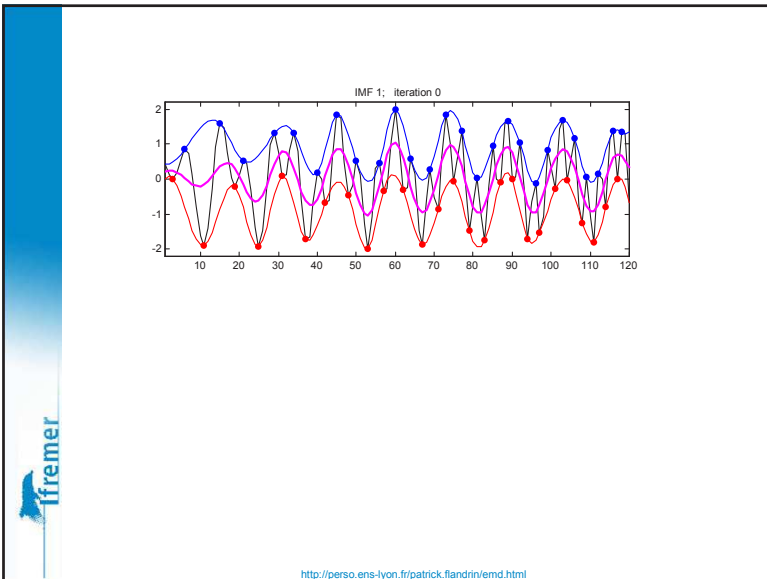
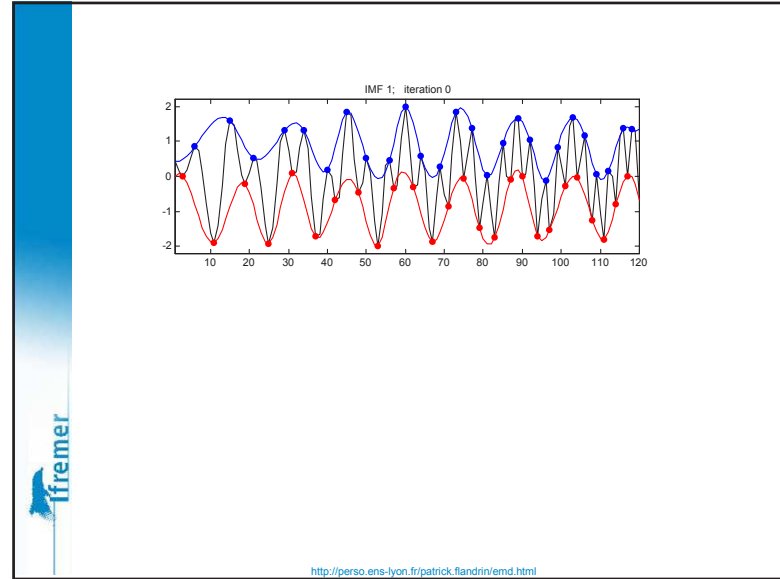
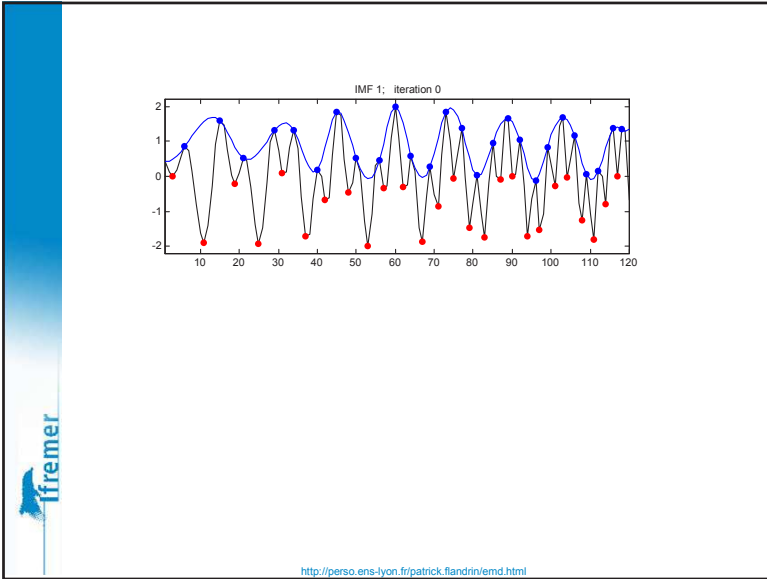
<http://perso.ens-lyon.fr/patrick.flandrin/emd.html>

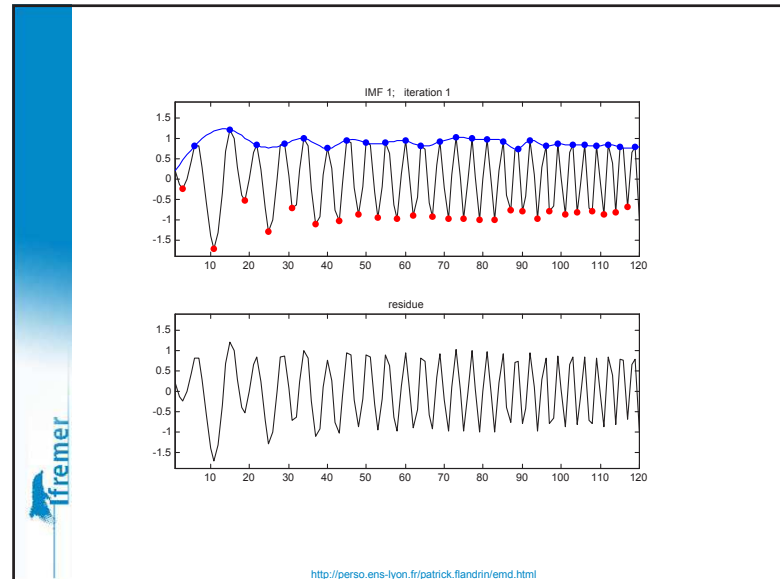
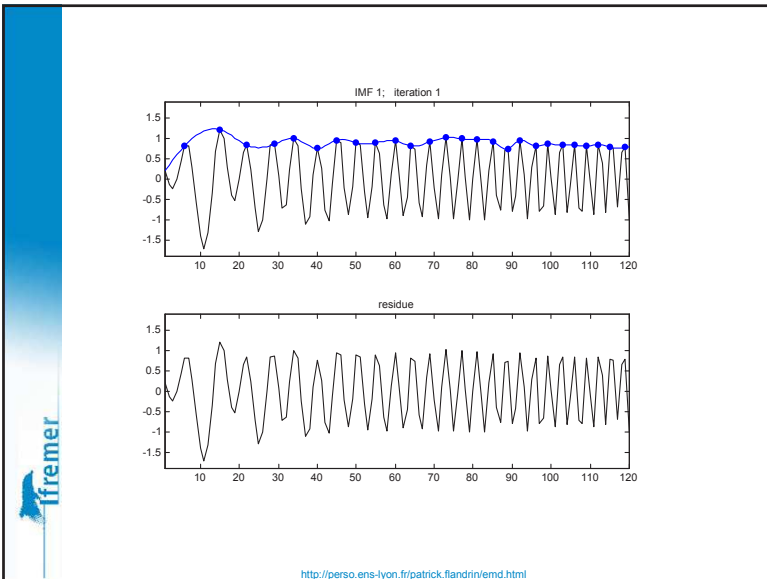
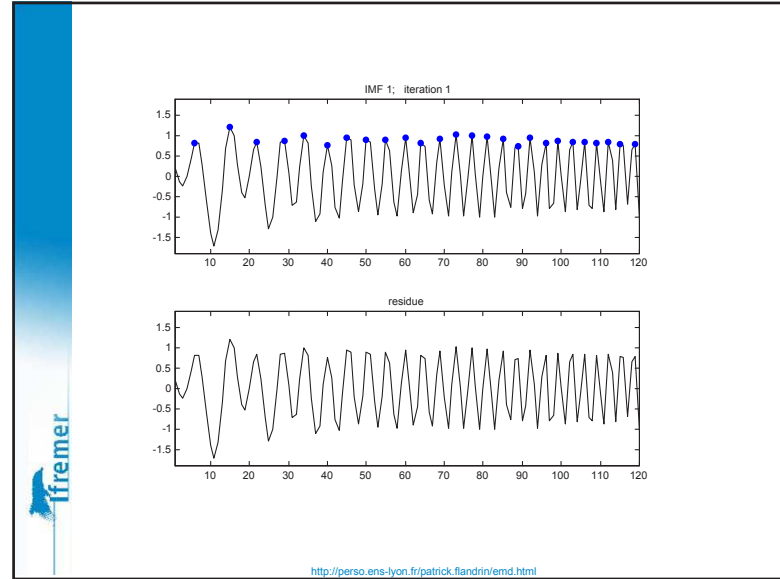
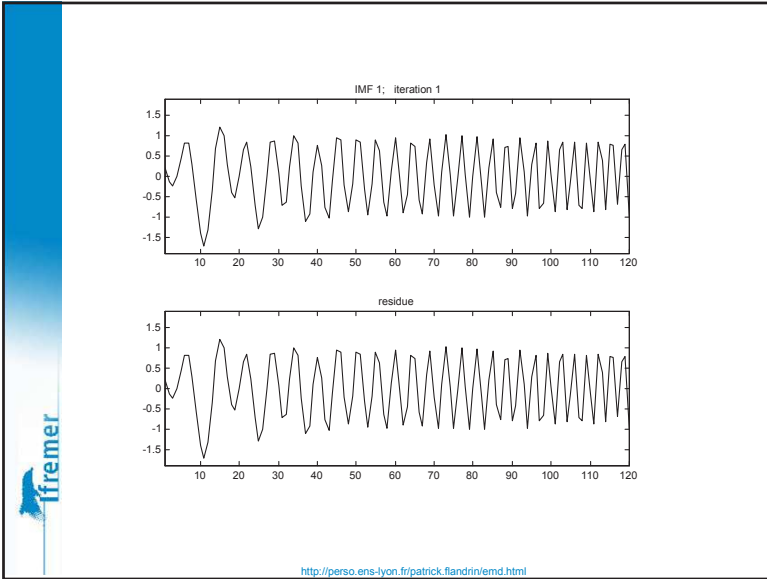


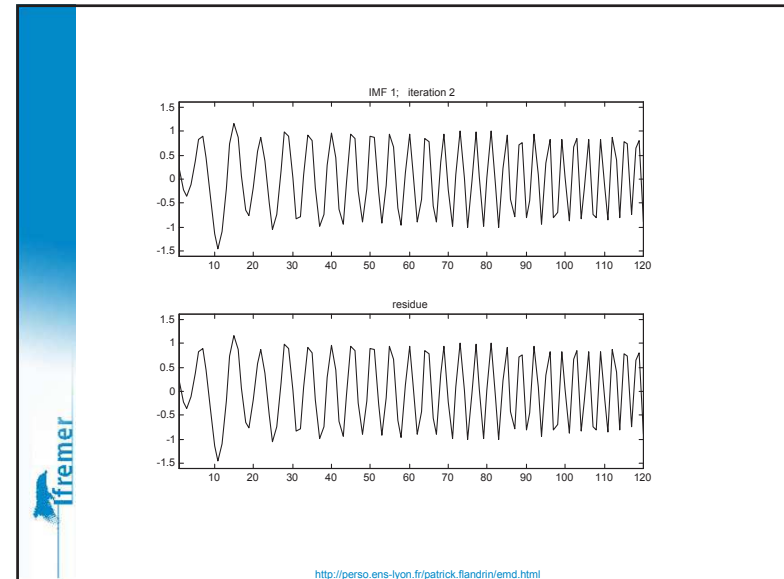
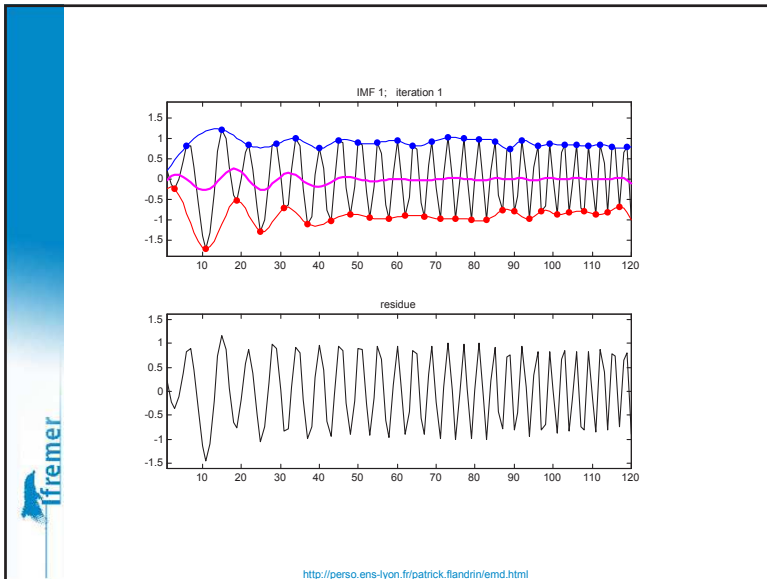
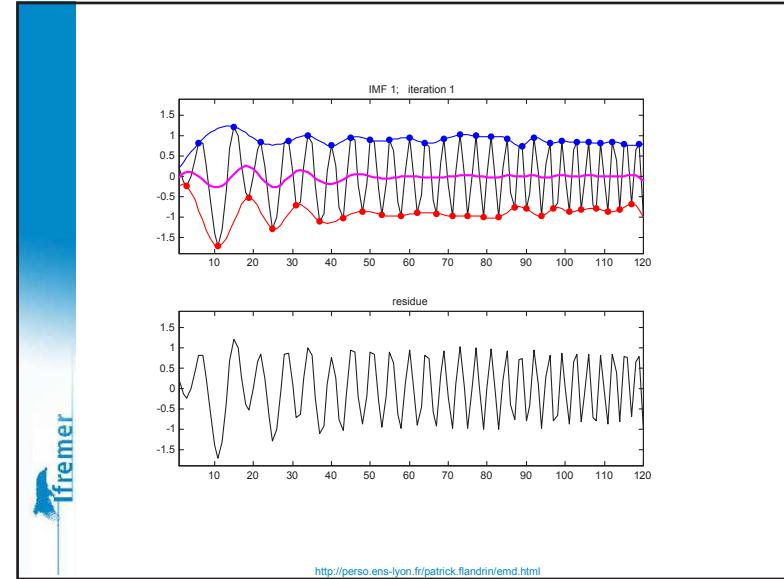
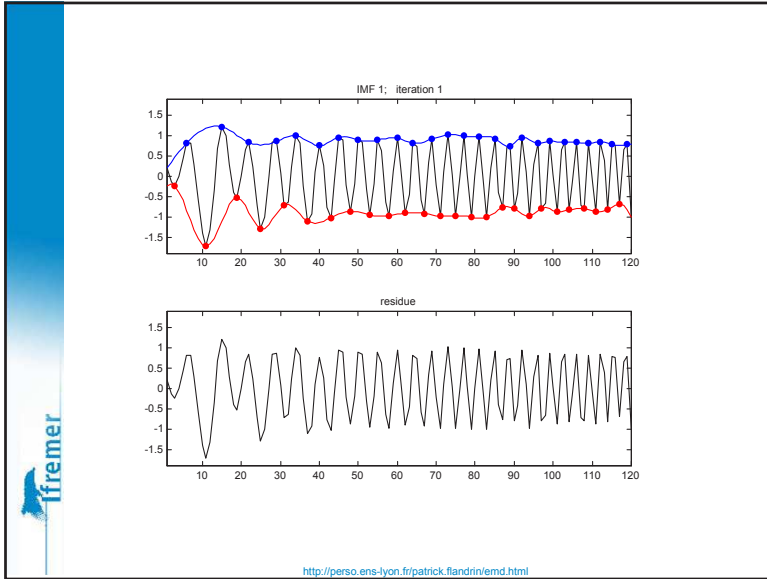
<http://perso.ens-lyon.fr/patrick.flandrin/emd.html>

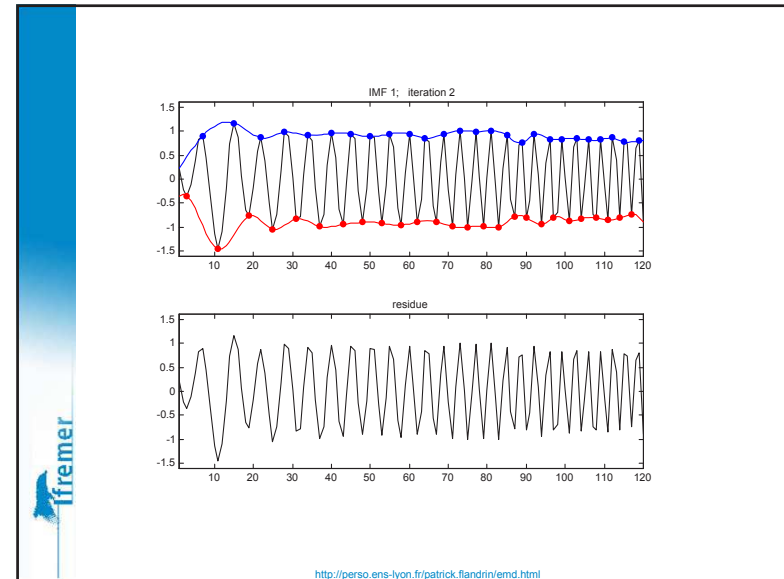
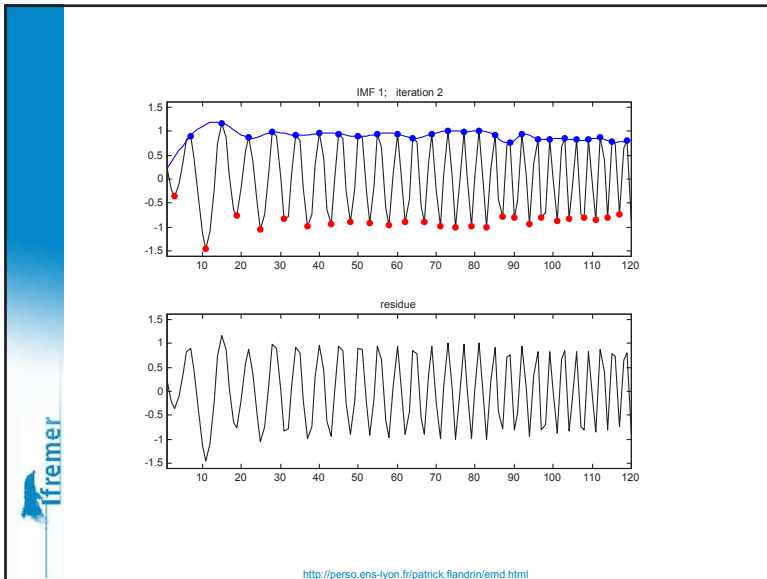
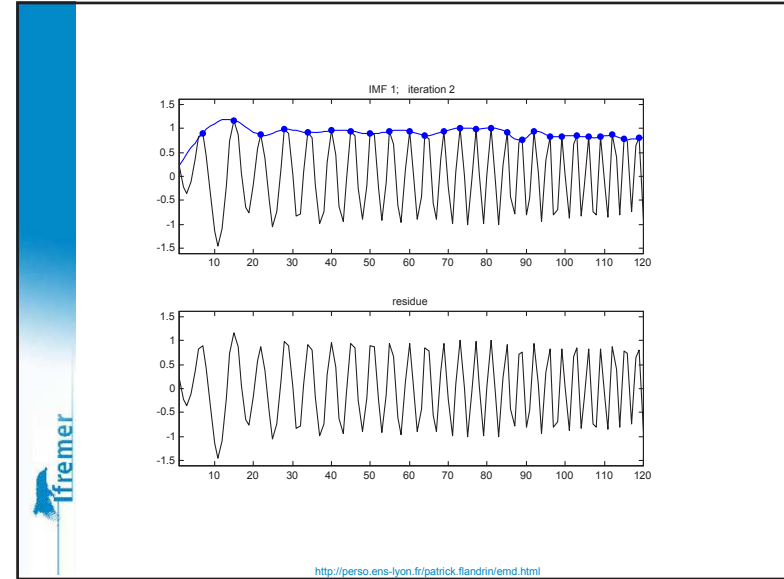
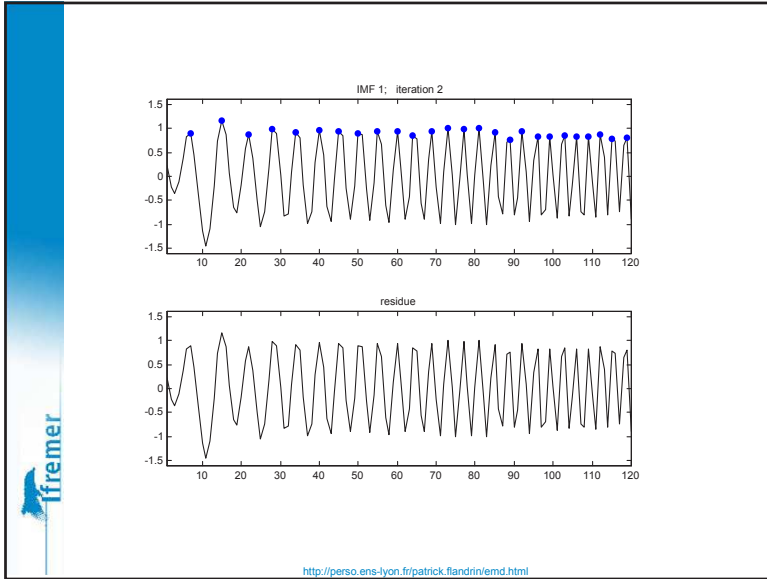


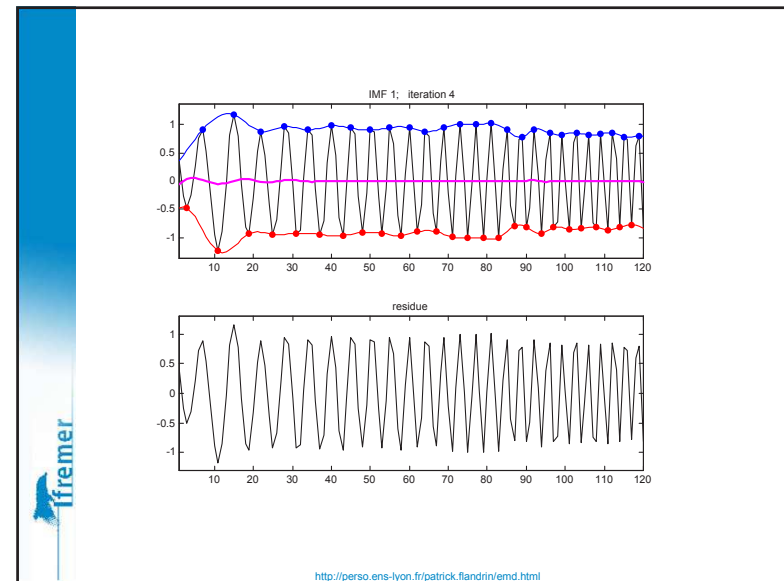
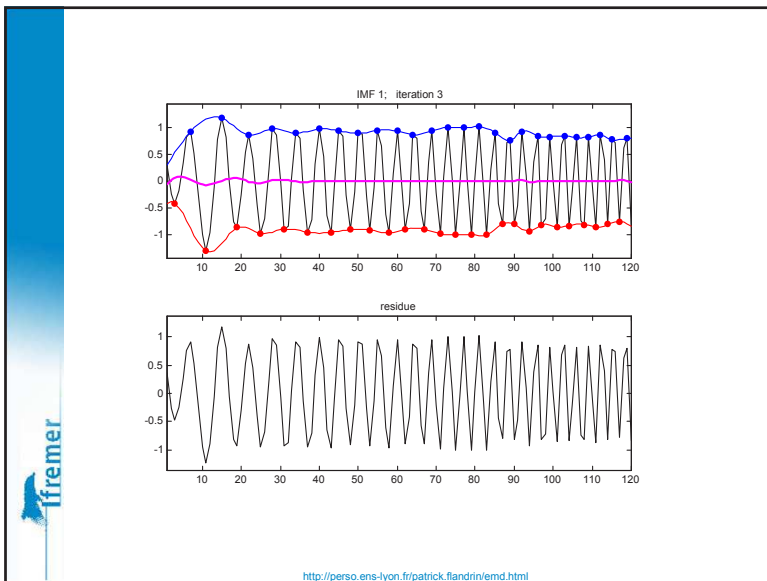
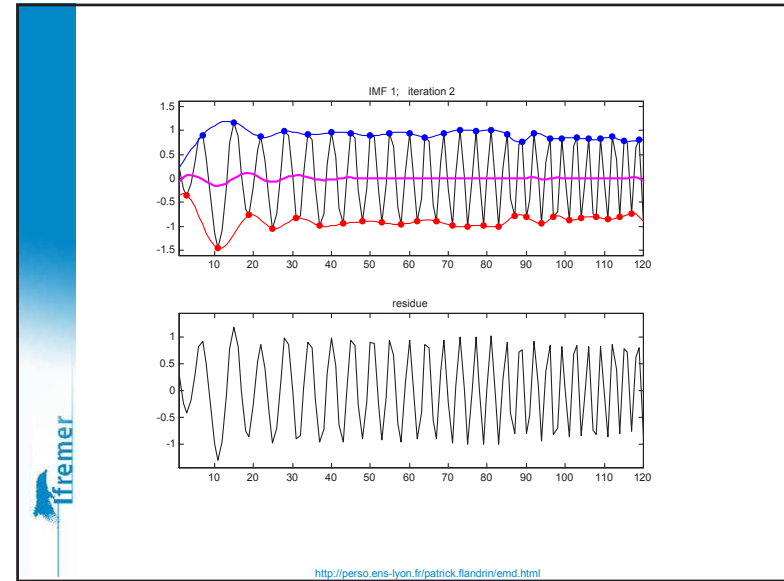
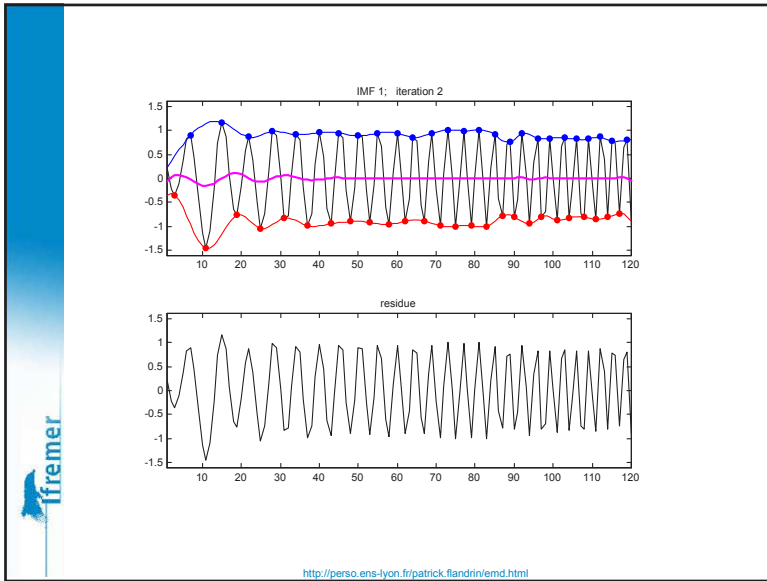
<http://perso.ens-lyon.fr/patrick.flandrin/emd.html>

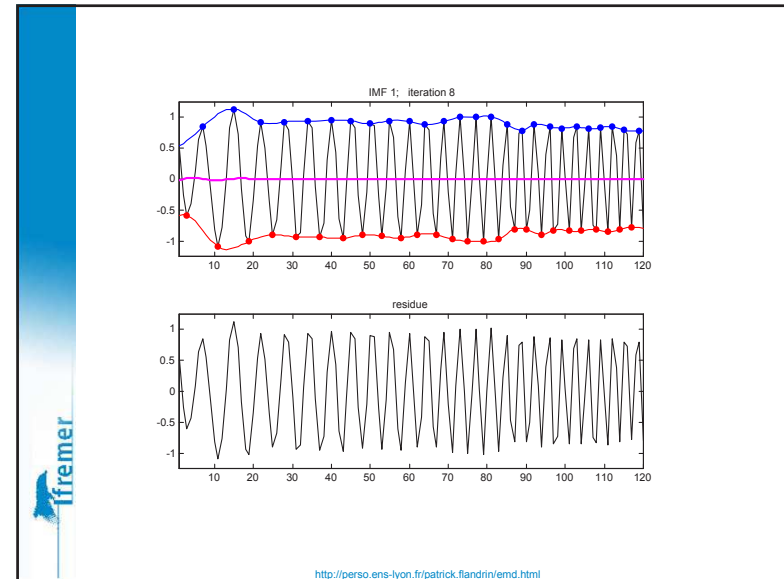
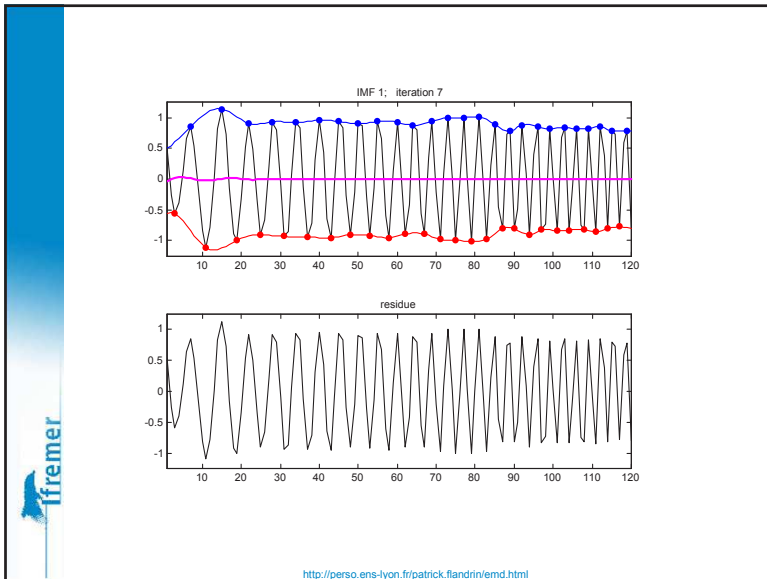
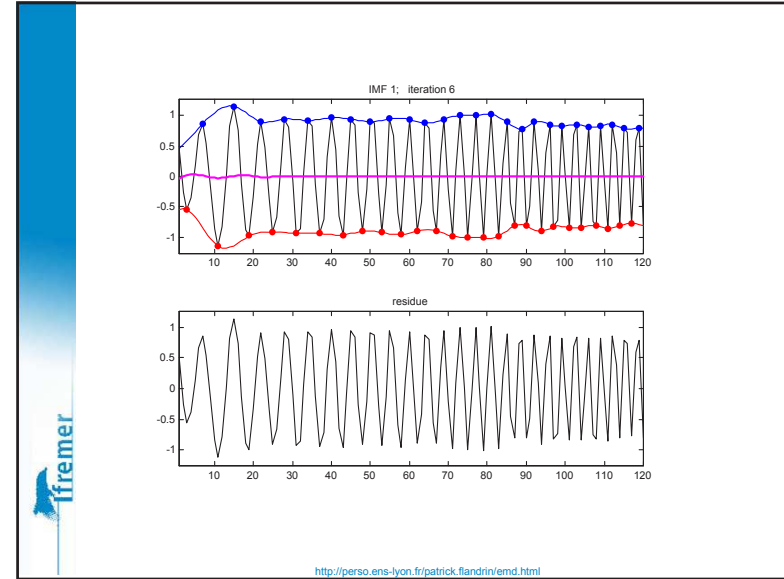
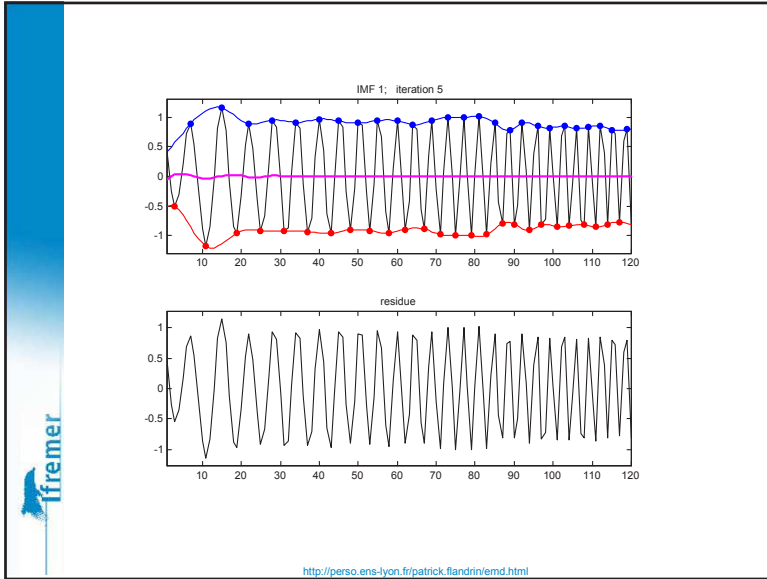


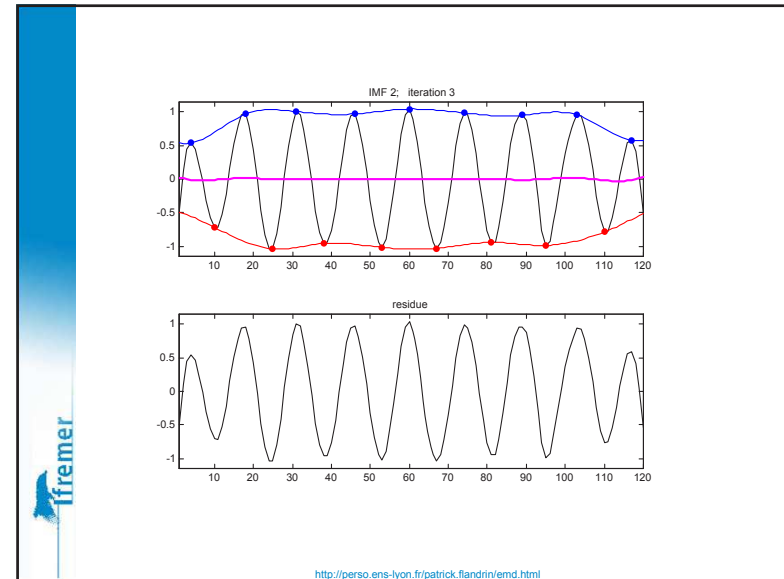
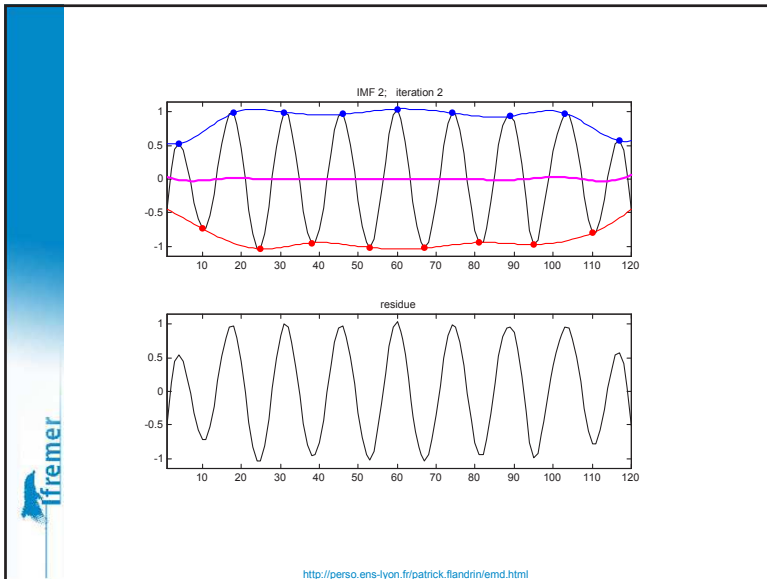
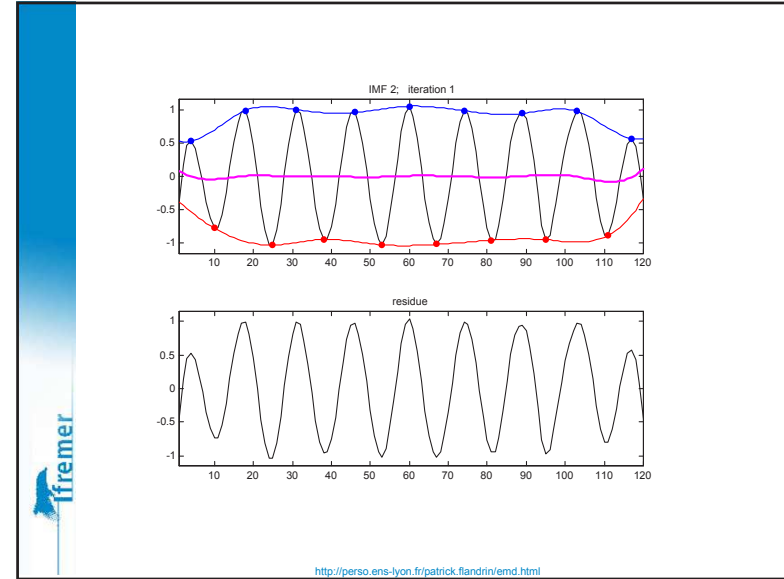
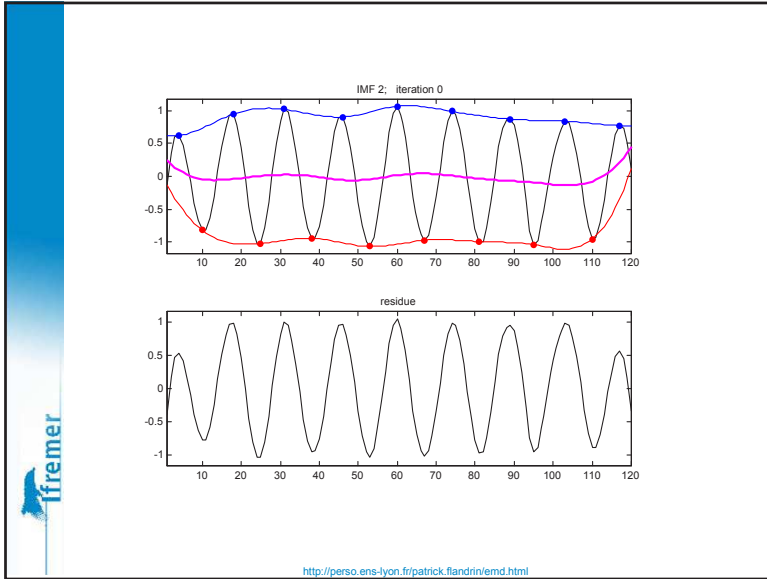




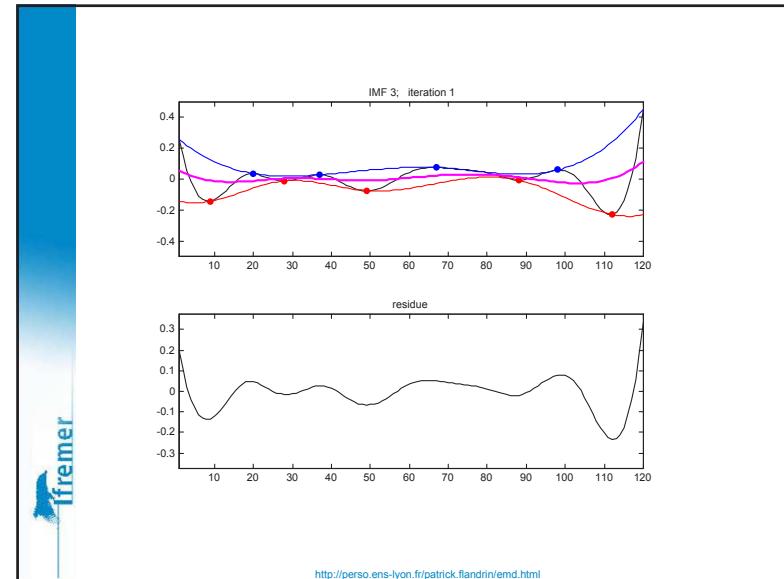
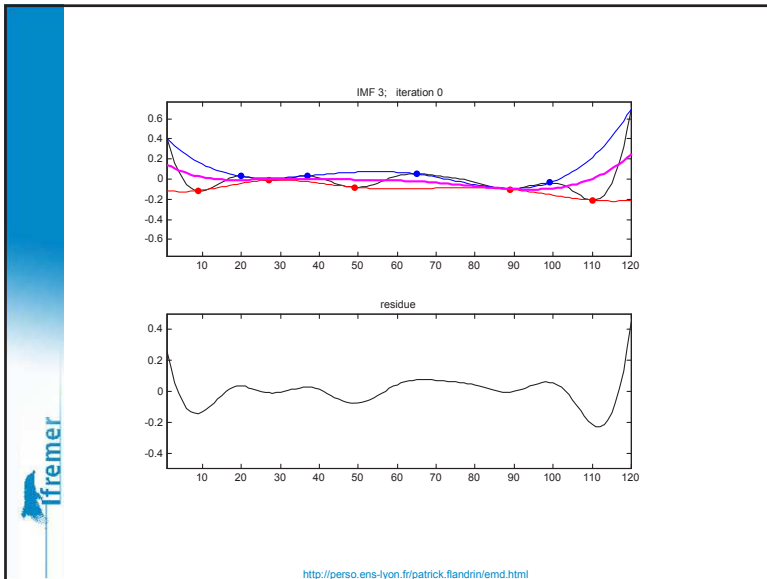
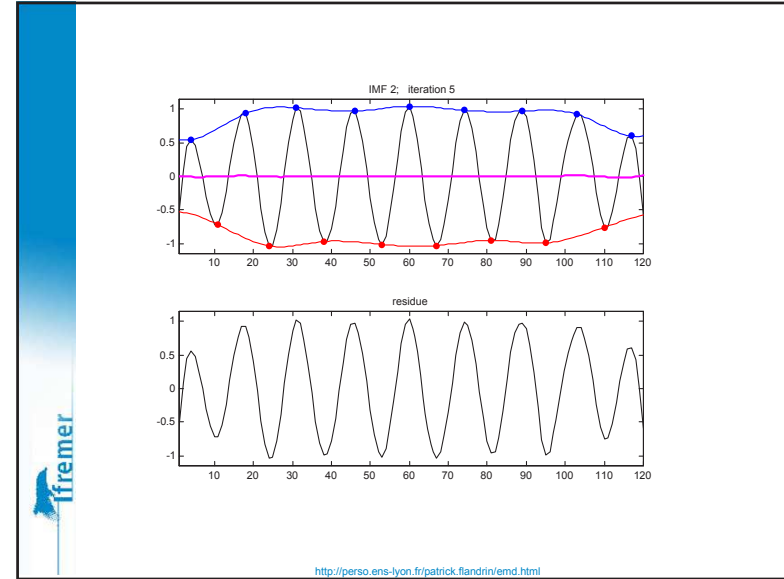
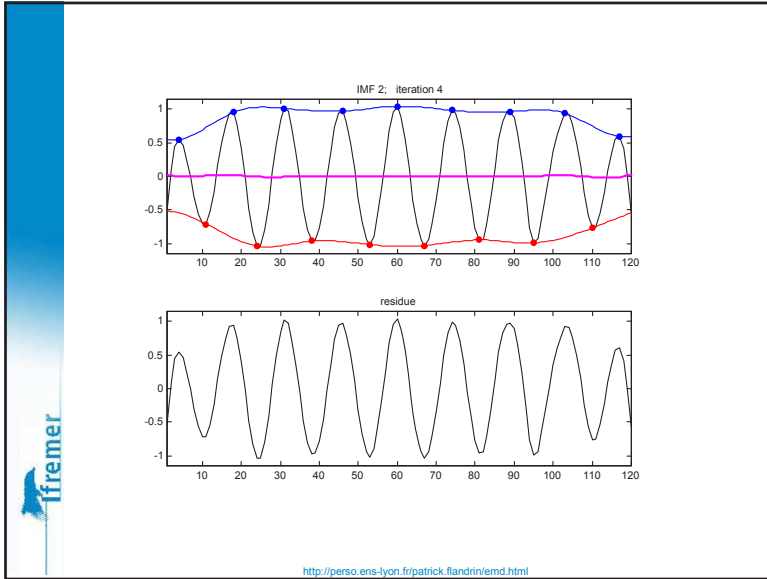


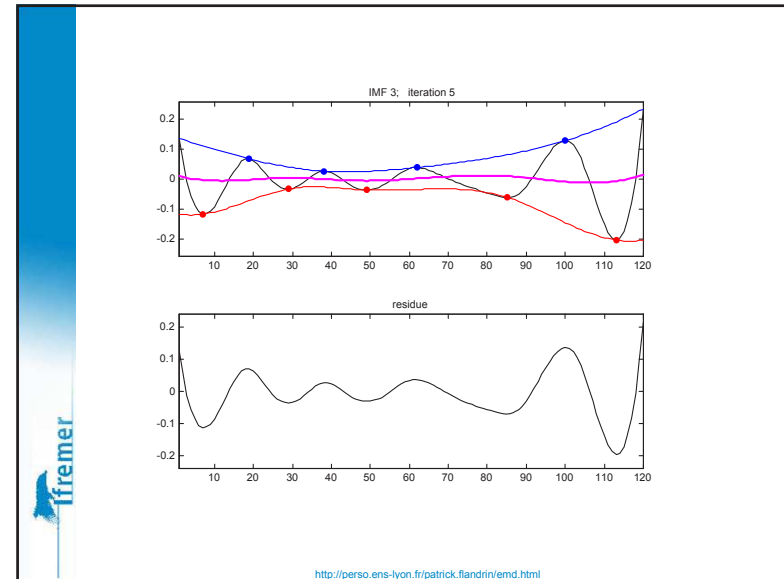
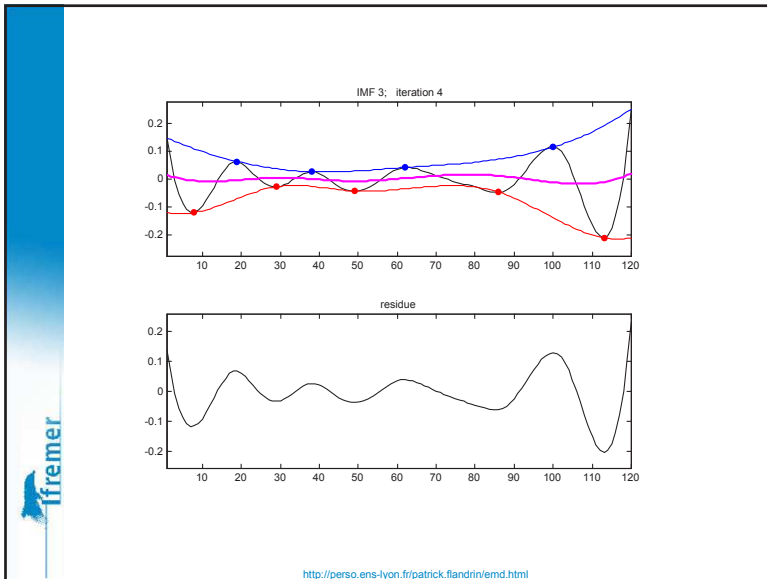
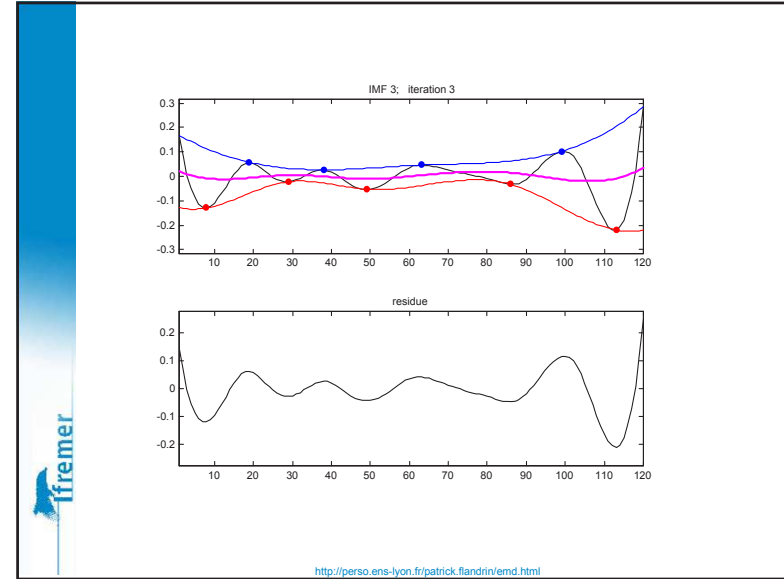
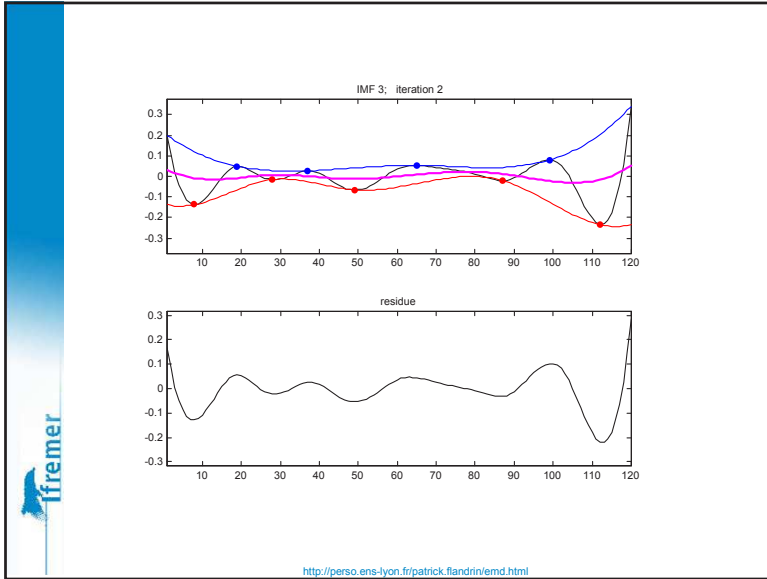


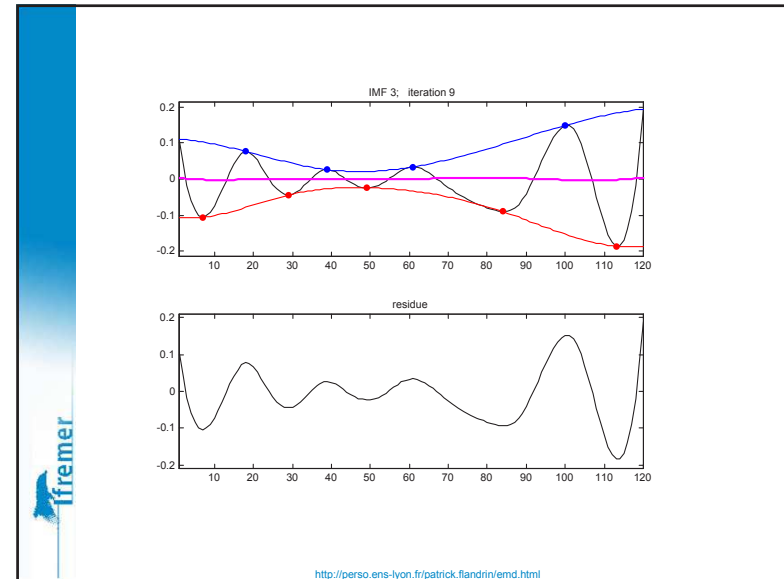
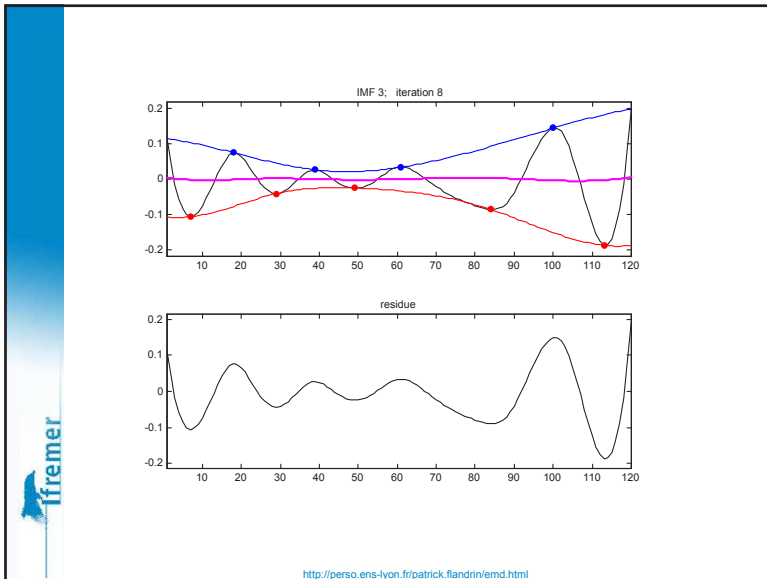
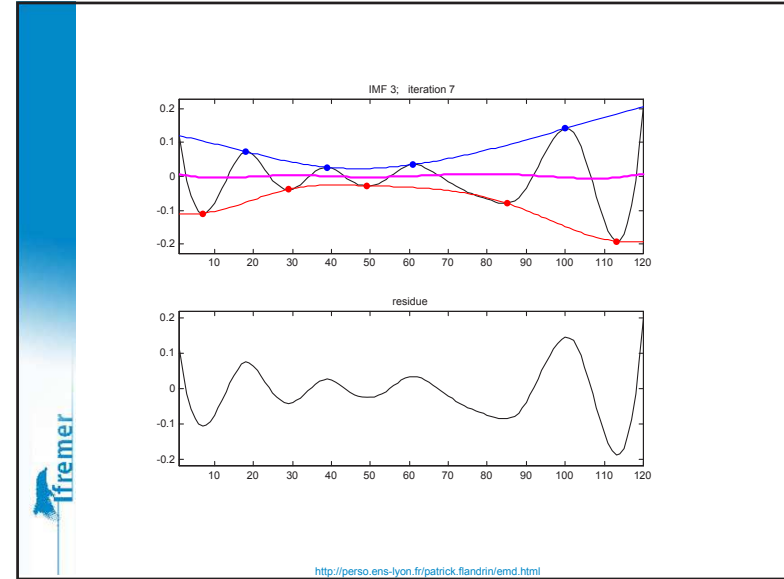
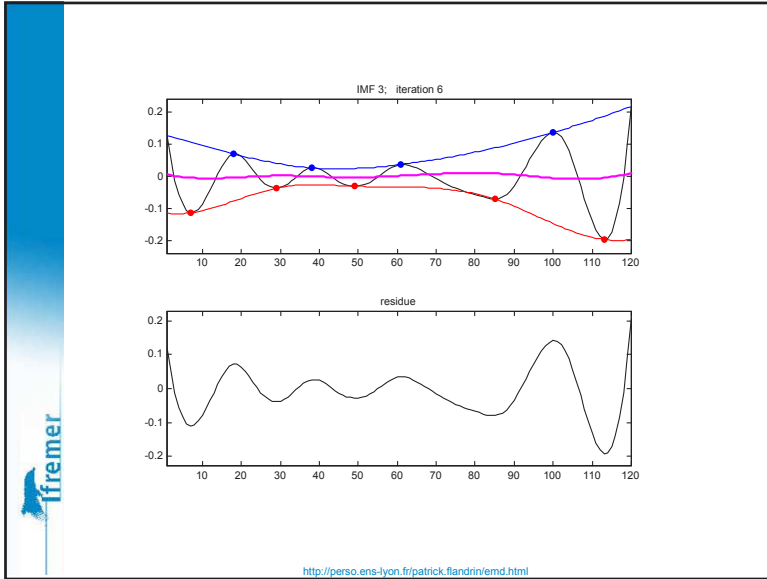


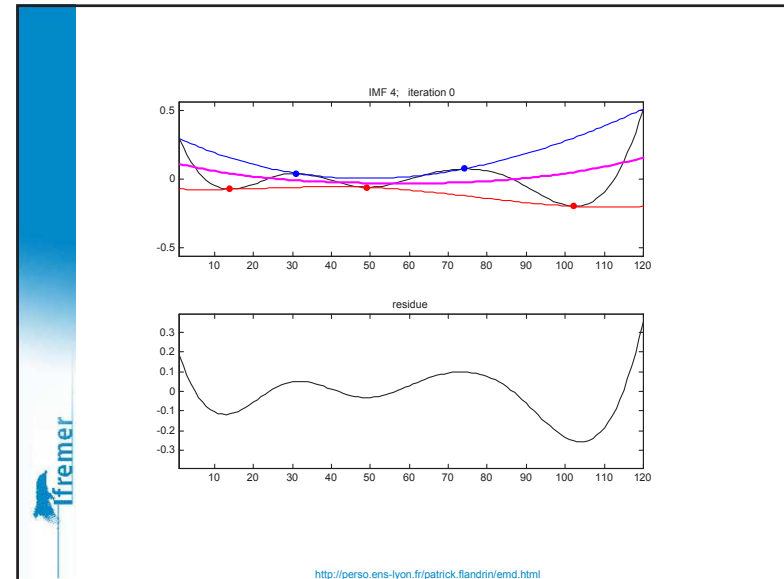
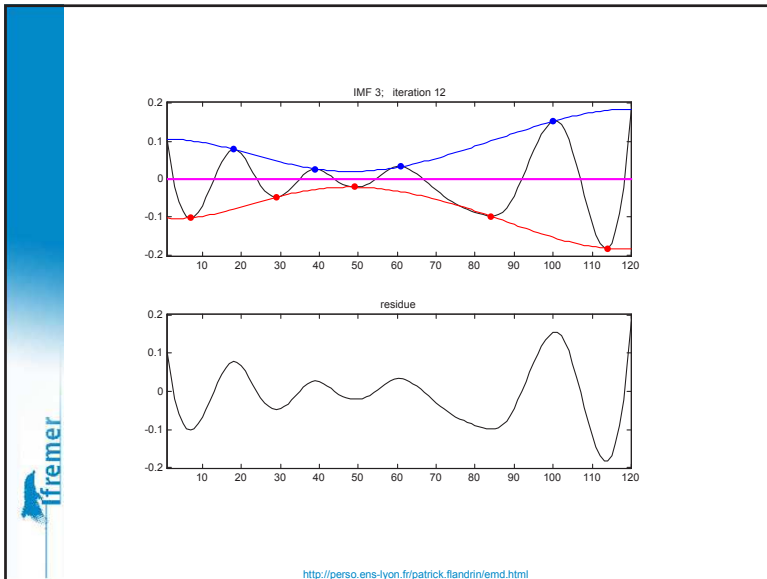
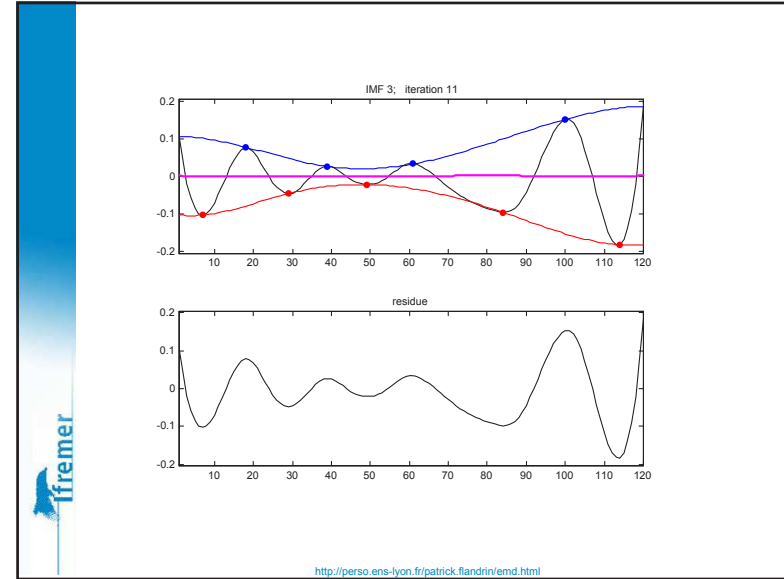
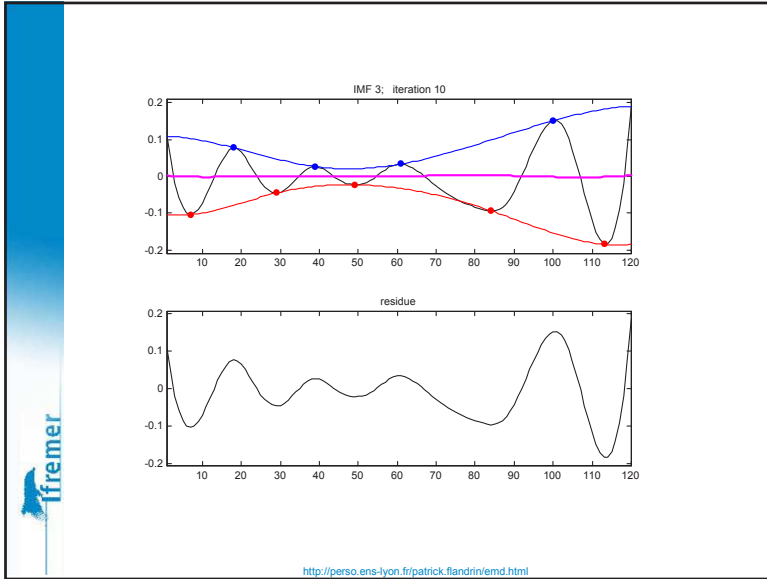


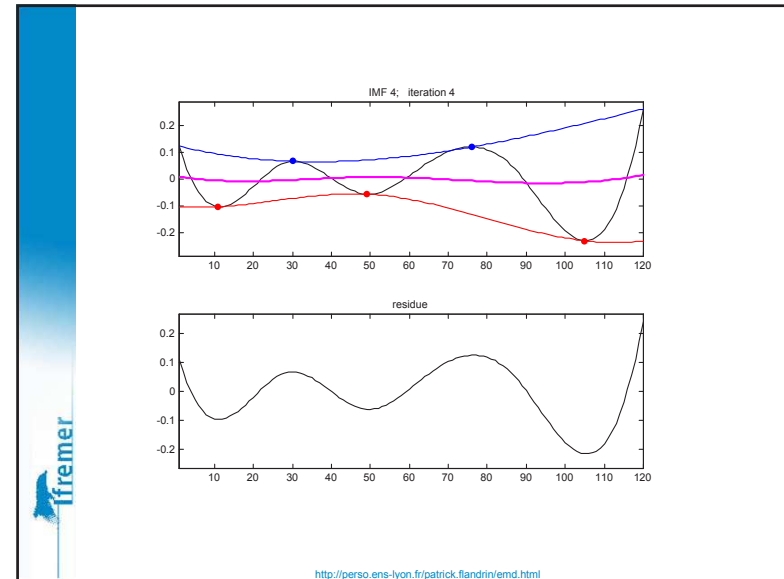
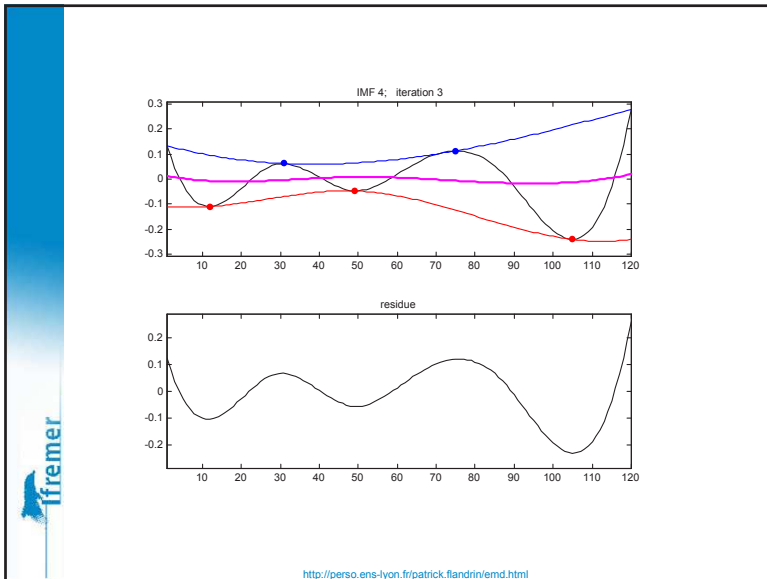
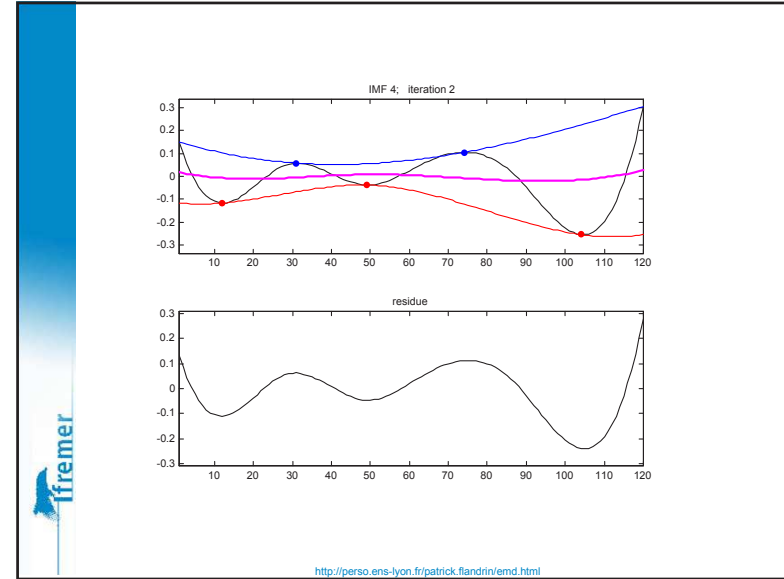
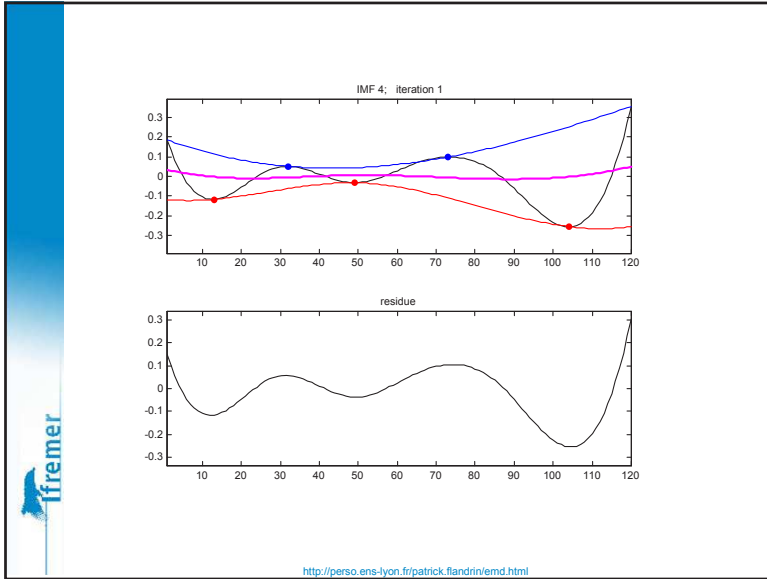


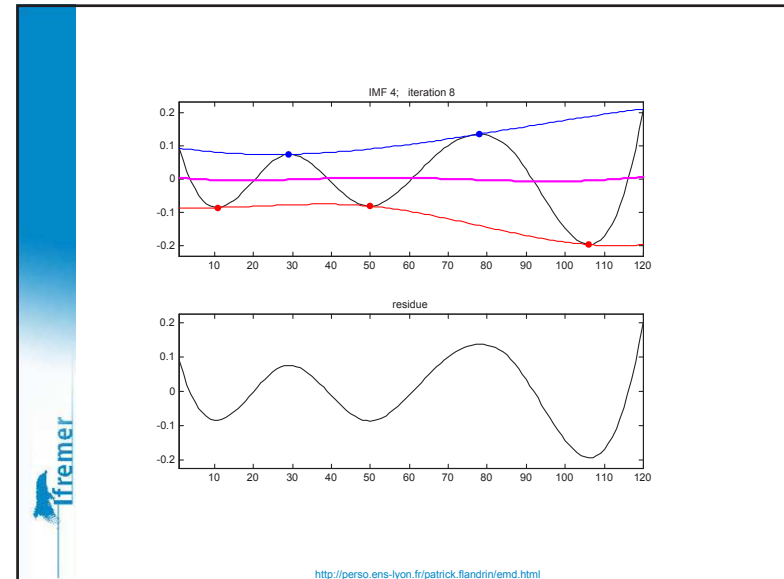
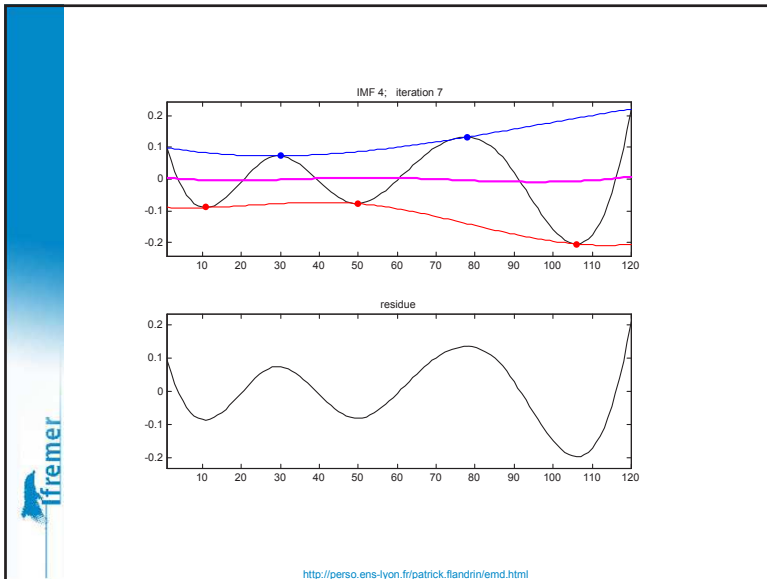
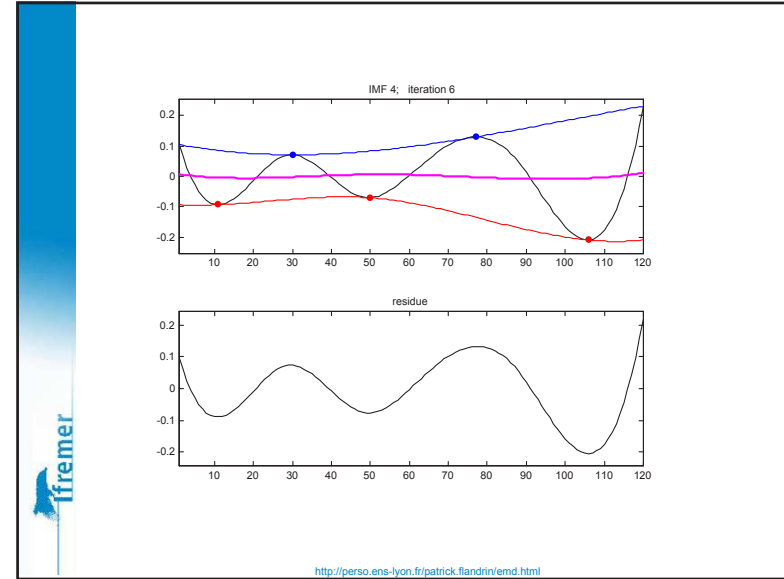
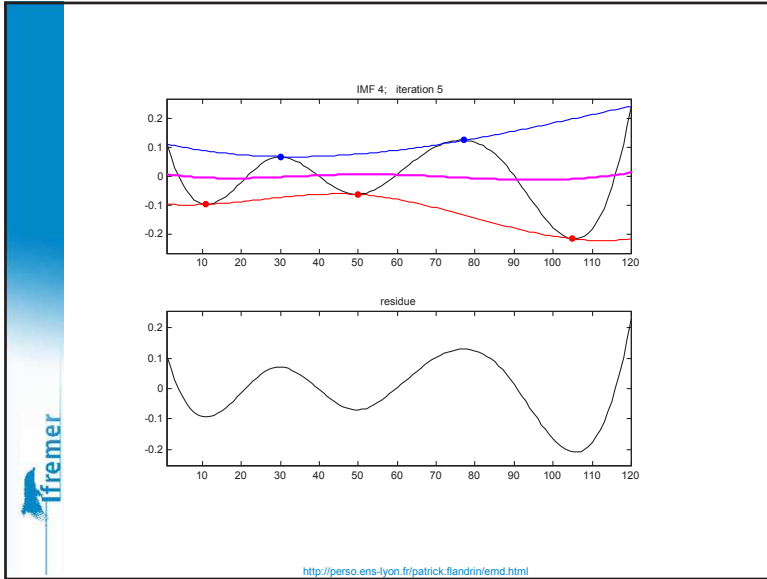


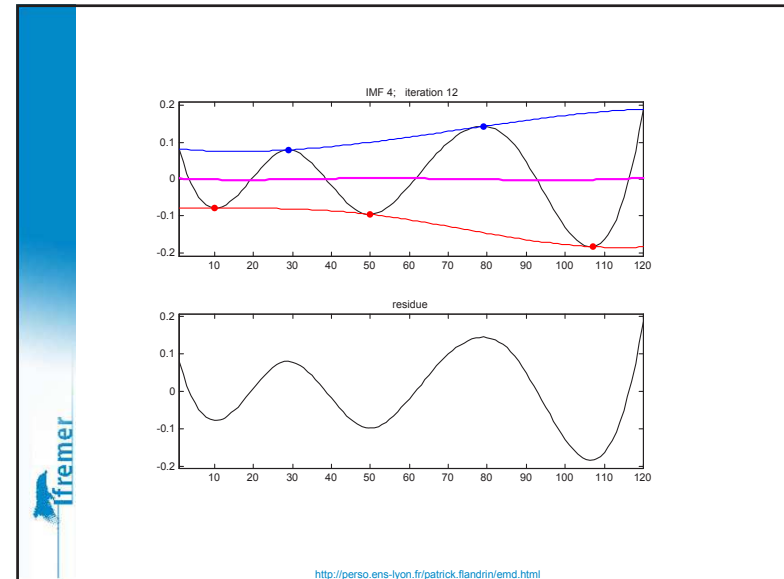
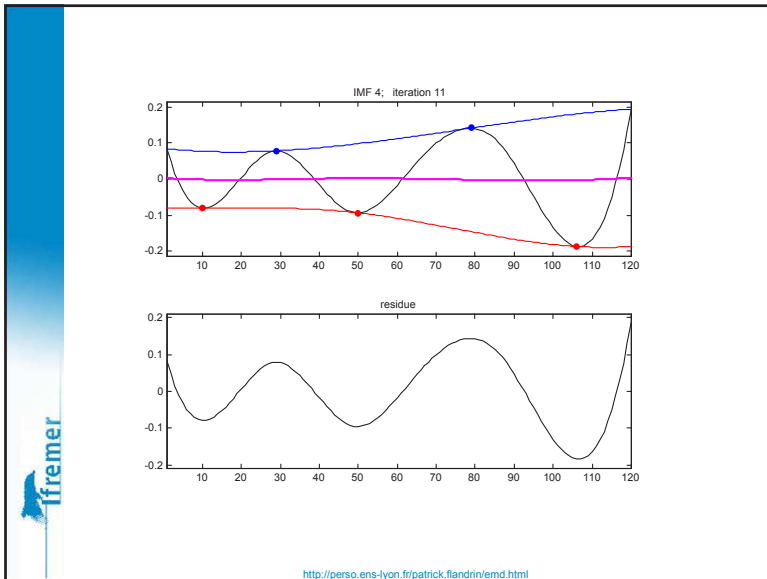
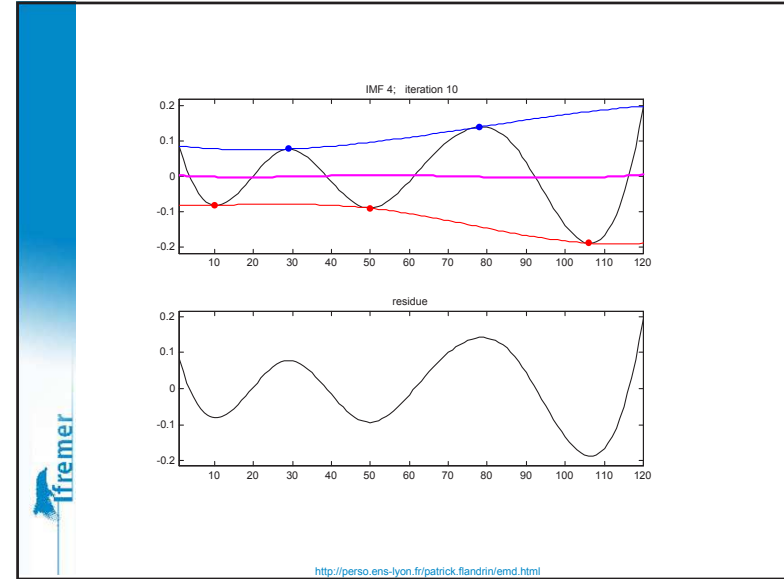
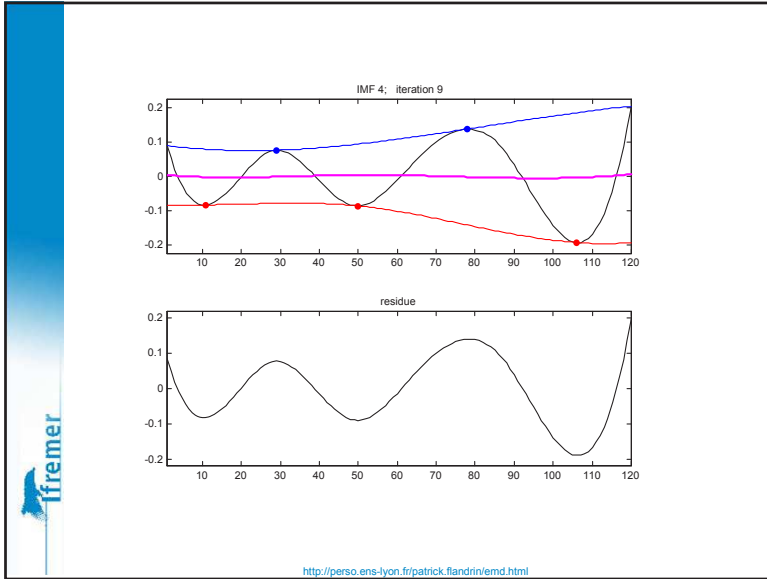


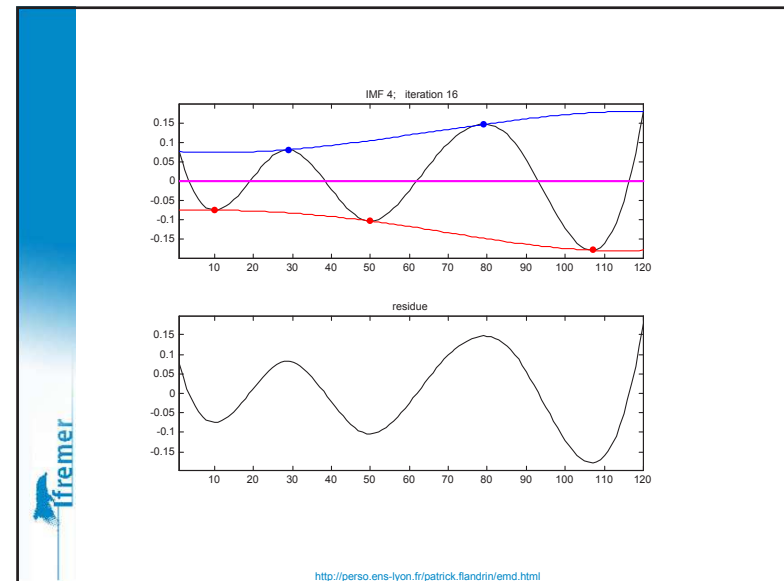
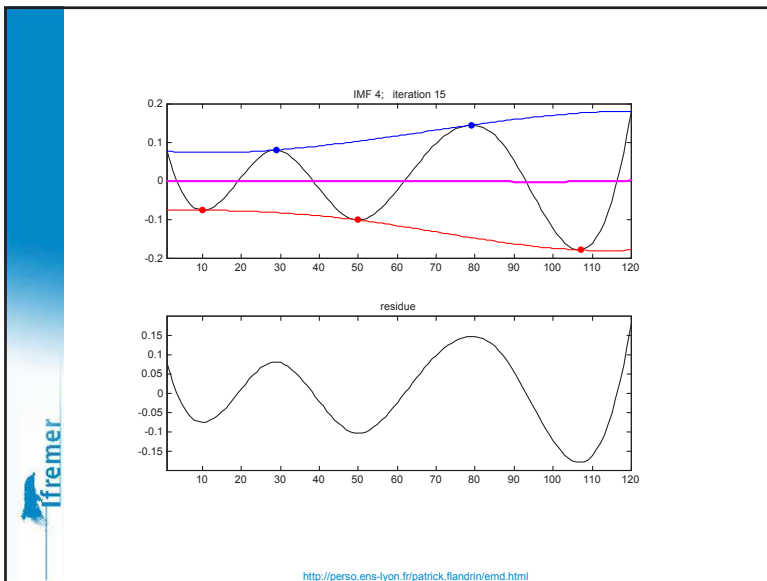
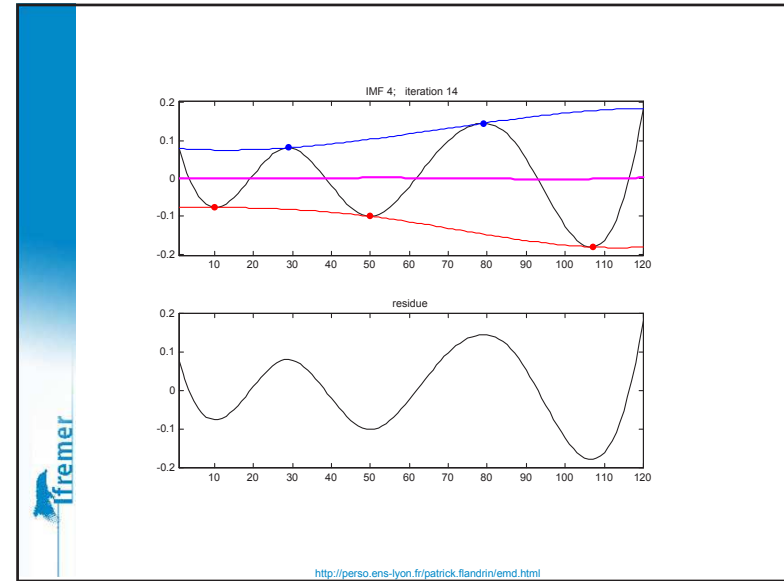
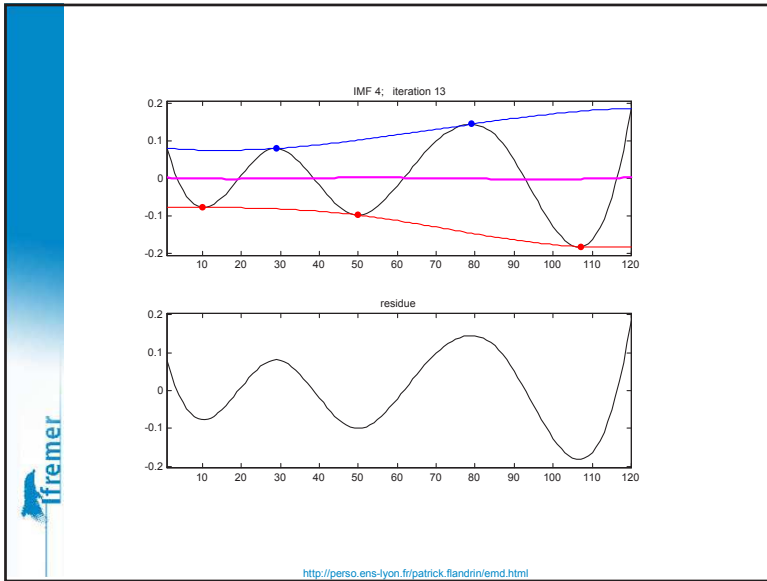




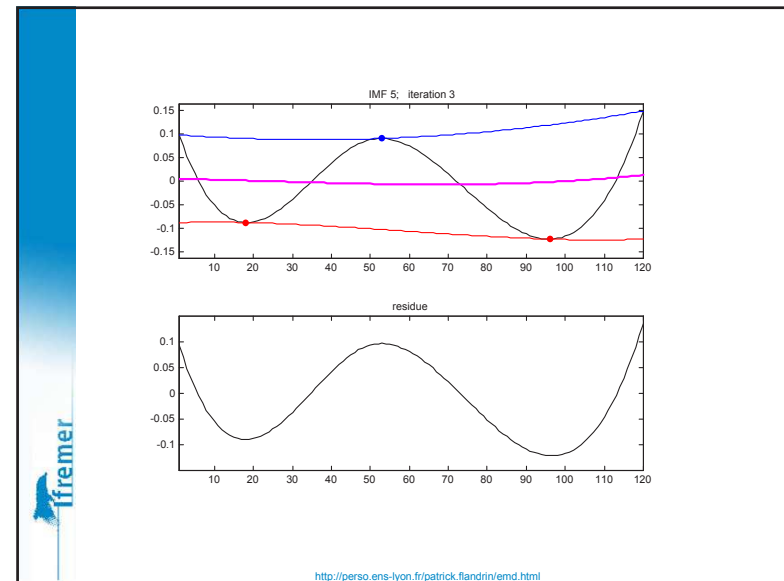
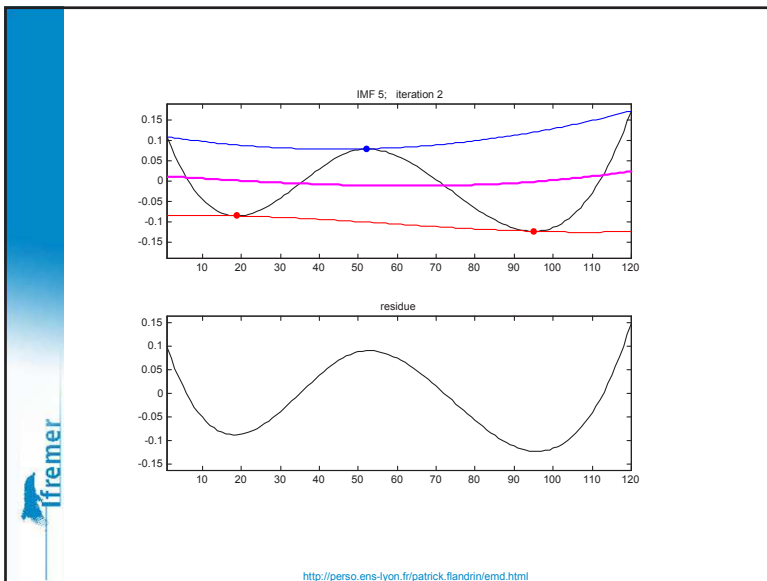
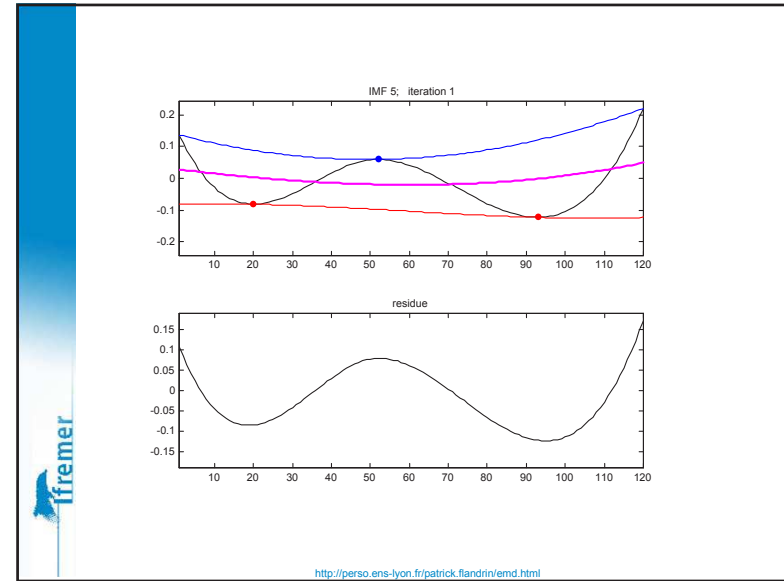
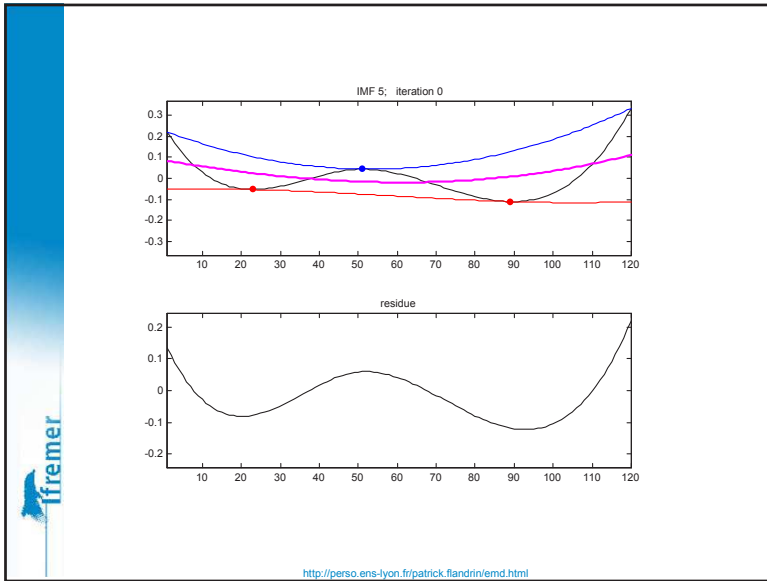


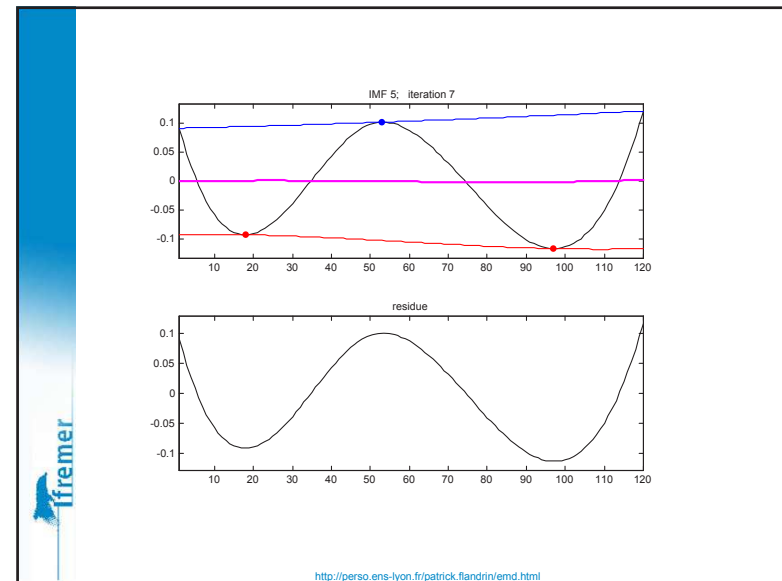
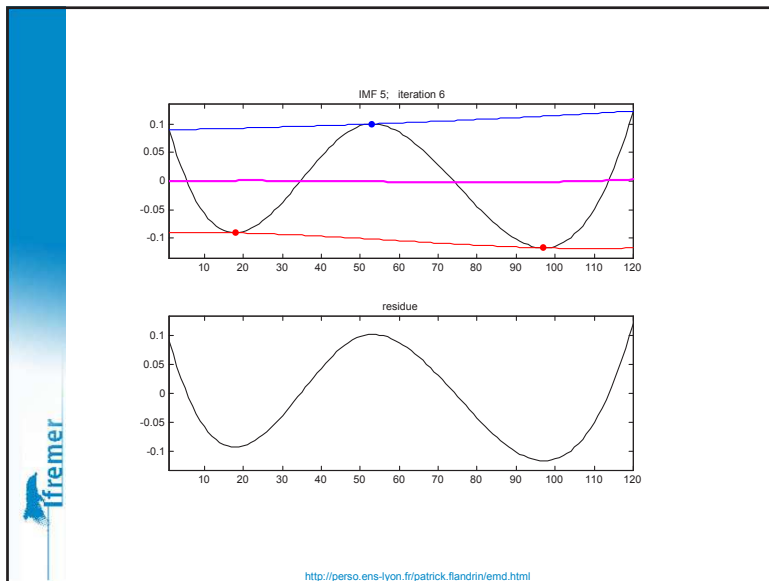
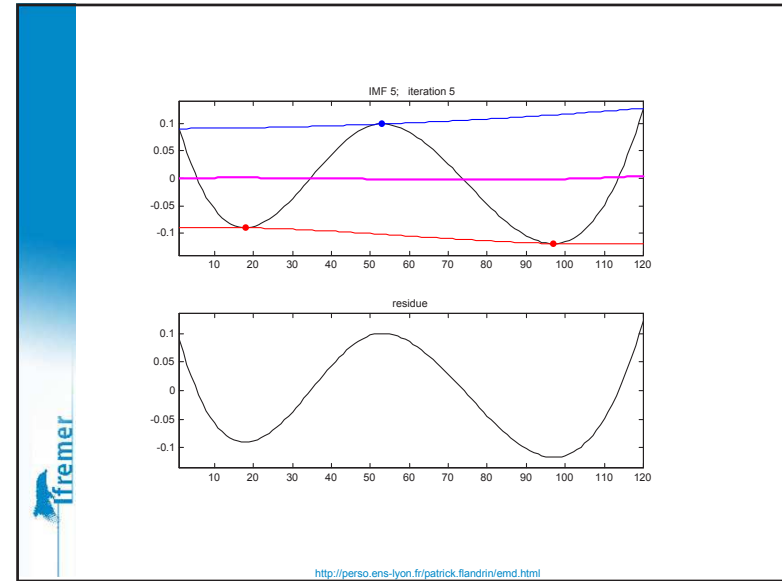
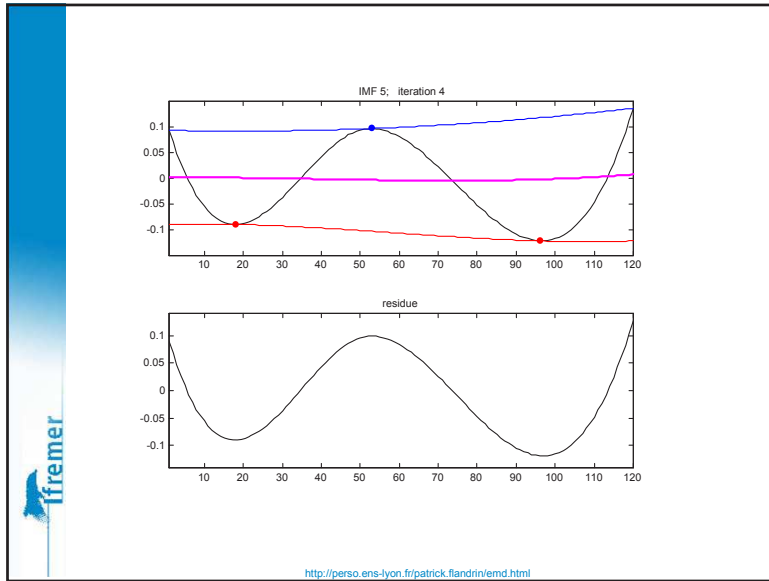


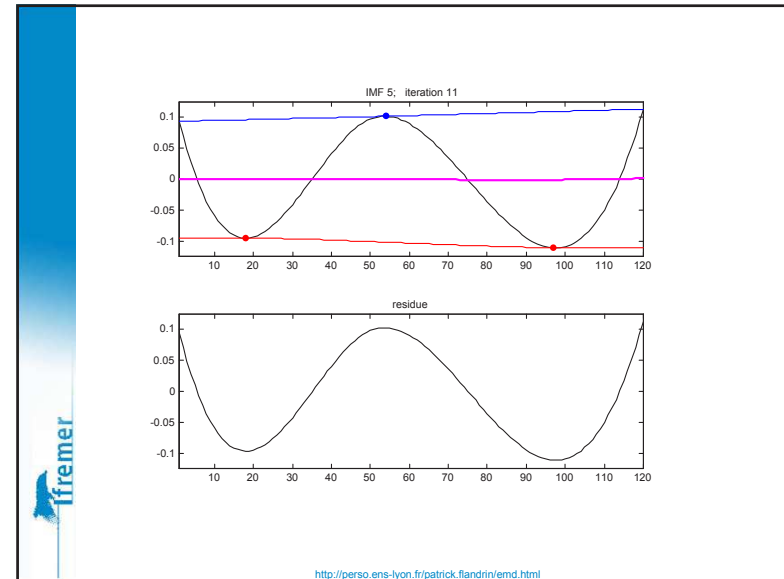
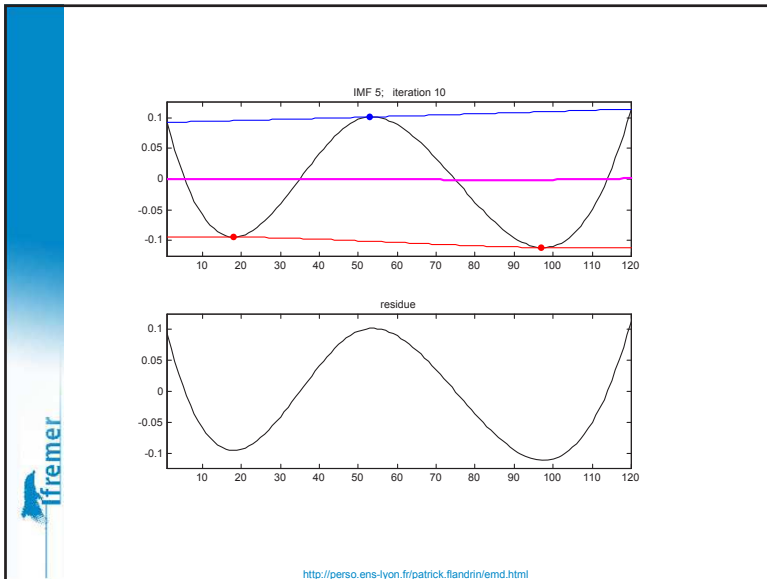
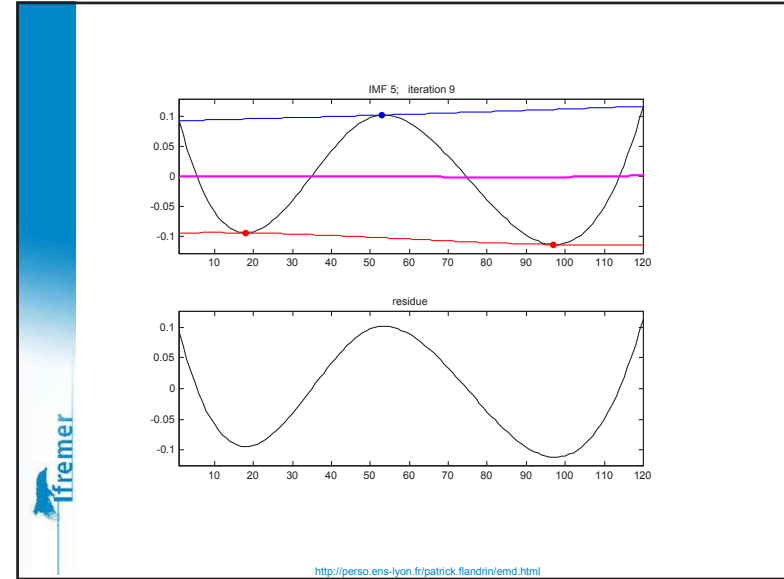
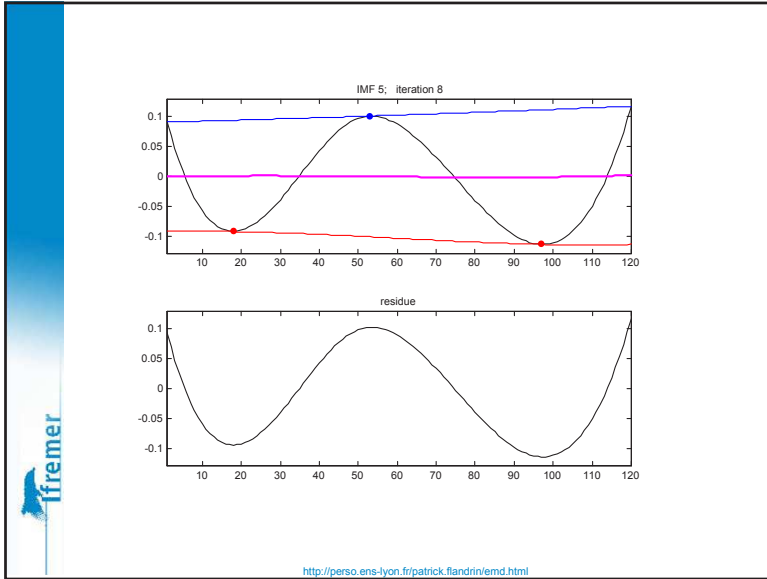


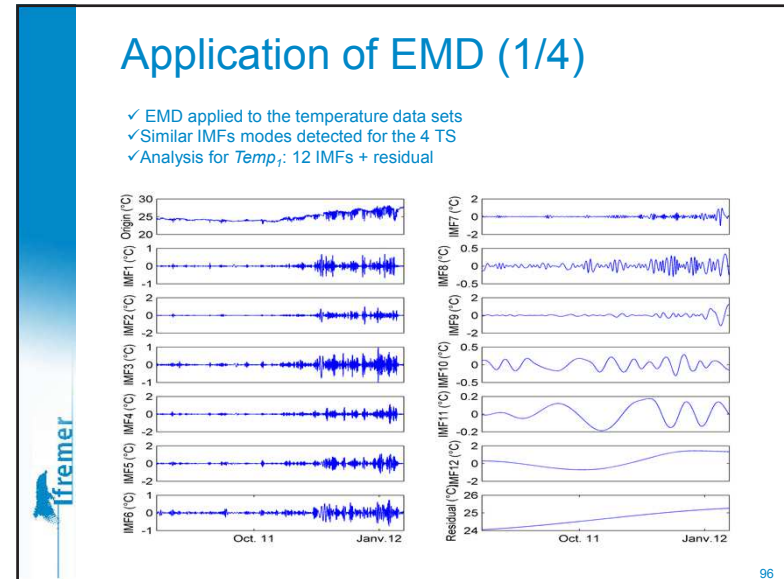
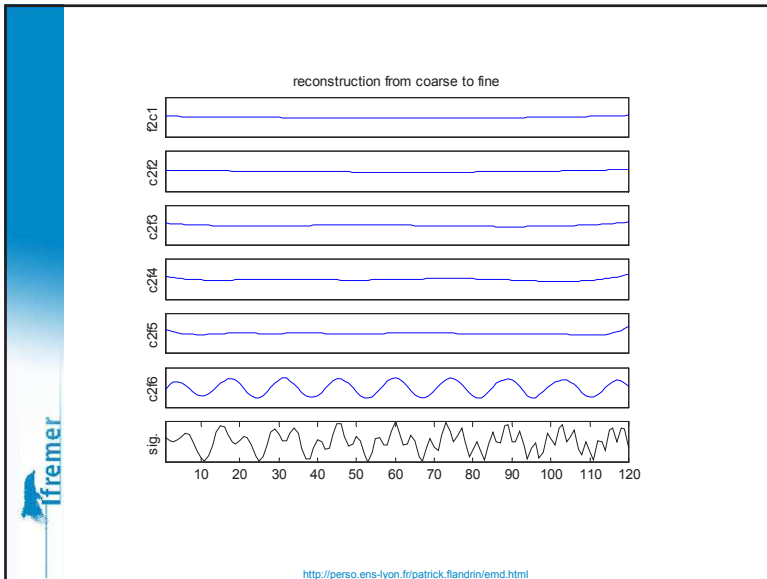
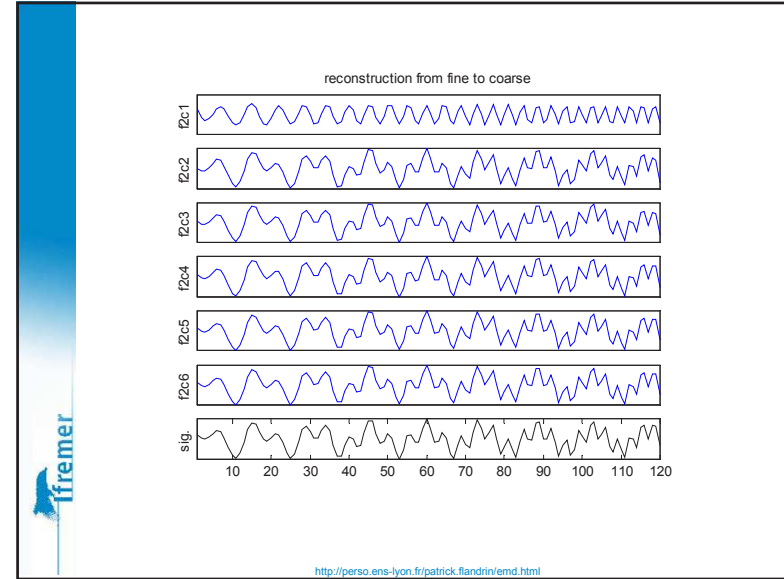
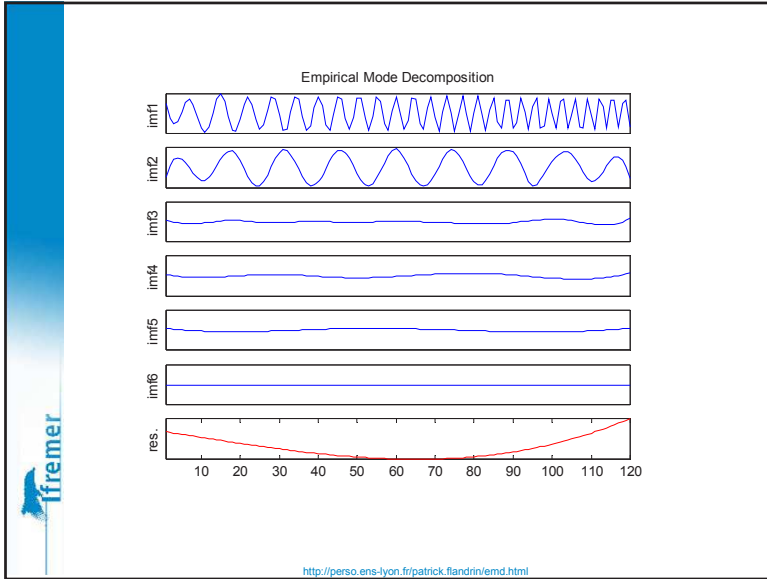


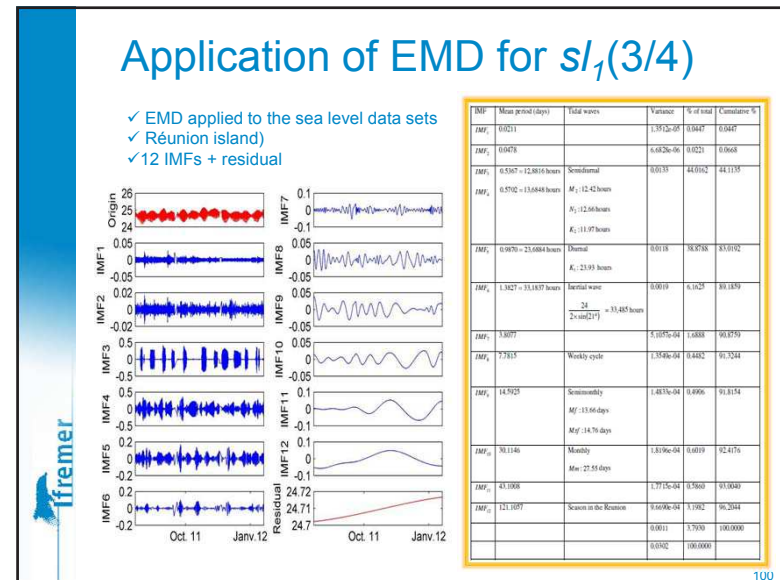
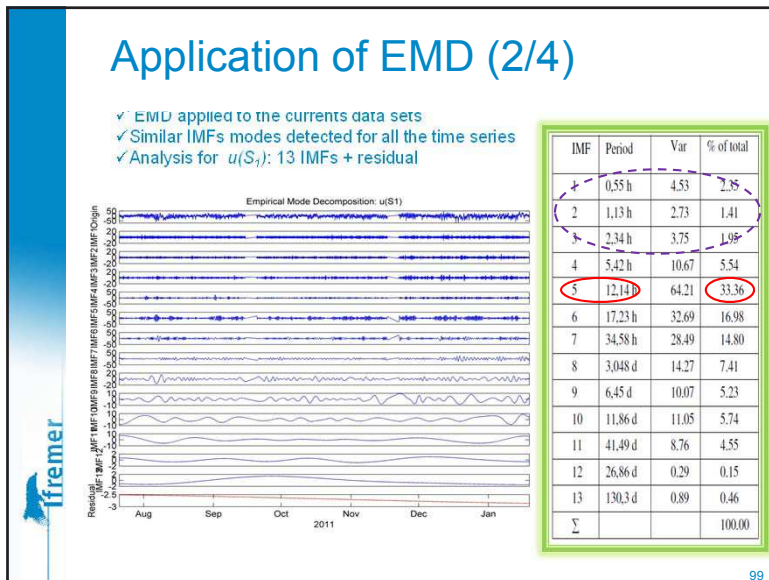
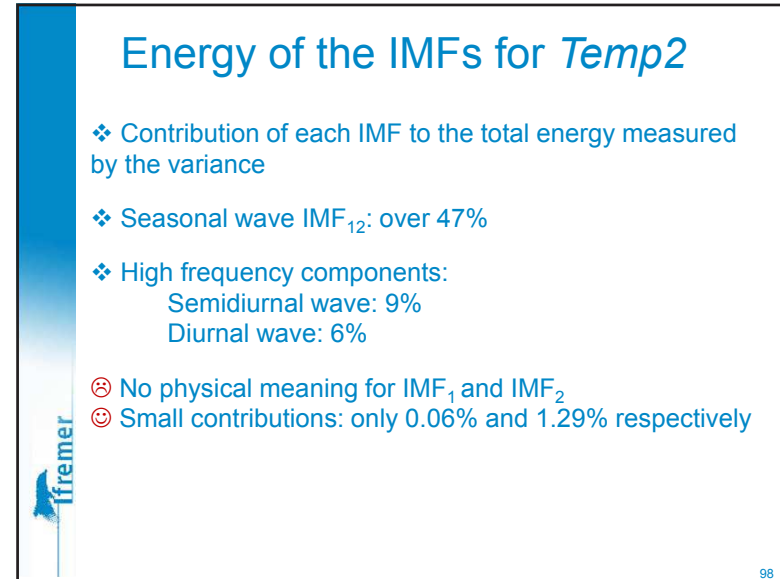
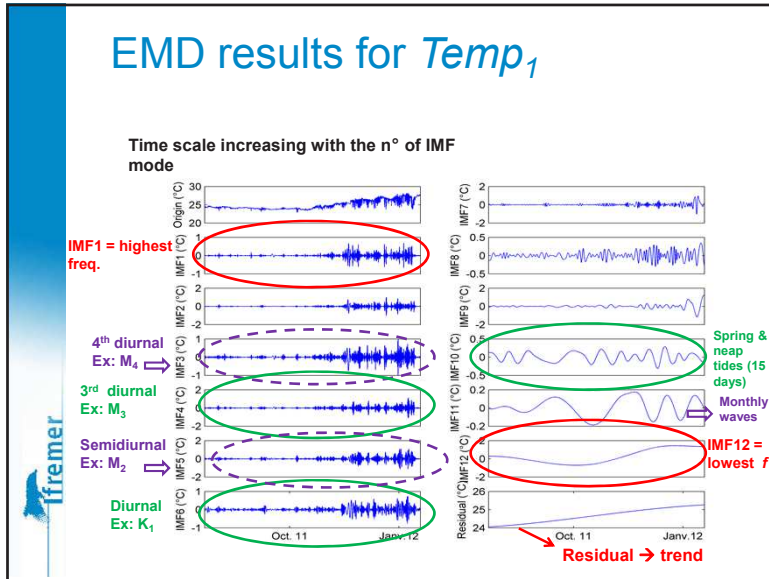












## Application of EMD (4/4)

- ✓ EMD applied to the salinity data sets
- ✓ 19 IMFs + residual
- ✓ The time scale is increasing with the mode index.

The first-tenth IMF modes for salinity

The last-nineth IMF modes

101

## Mean period of IMFs for salinity

- ✓ EMD applied to the salinity data sets
- ✓ 19 IMFs + residual

Contribution of each IMF to the total variance of the salinity time series:

IMFs	Mean period (days)	Tidal waves	Variance	% of total	Cumulative %
IMF1	0,05948 =1,4275 hours		0,0292	3,0423	3,0423
IMF2	0,1107 =2,6574 hours		0,0247	2,5732	5,6155
IMF3	0,1851 = 4,4417 hours		0,0359	3,7367	9,3522
IMF4	0,2584 =6,2022 hours	M4	0,0423	4,4064	13,7586
IMF5	0,3935 =9,4441 hours		0,0508	5,2902	19,0488
IMF6	0,5245 =12,5883 hours	Semidiurnal M2	0,0377	3,9280	22,9769
IMF7	0,7565 =18,1571 hours		0,0179	1,8663	24,8432
IMF8	1,2985 =31,1651 hours	Inertial	0,0179	1,8623	26,7055
IMF9	1,9928 days		0,0155	1,6101	28,3156
IMF10	3,4815 days		0,0316	3,2912	31,6067
IMF11	6,05825 days		0,0367	3,8266	35,4334
IMF12	8,9748 days		0,0316	3,2959	38,7293
IMF13	17,6845 days	Semimonthly	0,0921	9,5883	48,3176
IMF14	31,9725 days	Monthly	0,0562	5,8522	54,1698
IMF15	63,3553 days	Season (3 months)	0,0457	4,7574	58,9272
IMF16	170,11379 days	Semiannual (6 months)	0,1553	16,1818	75,1090
IMF17	318,7635 days	Annual	0,2049	21,3394	96,4484
IMF18	433,0686 days		0,0102	1,0607	97,5091
IMF19	1011,0535 days	~18 months	0,0218	2,2680	99,7770
Sum					100,0000

102

## How to compute mean period of IMFs?

$$MeanPeriod = 4 \times \frac{data\ length}{Nbr_{max} + Nbr_{min} + Nbr_0}$$

$$MeanPeriod = \frac{\int |X(f)|^2 df}{\int f |X(f)|^2 df}$$

X(f): Fourier power spectrum of each IMF mode

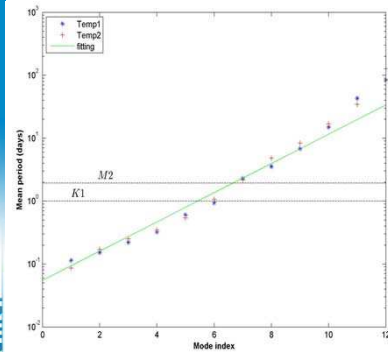
103

## Dyadic filter bank property

- ✚ Dyadic filter bank property of the EMD algorithm  
Flandrin et al., 2004; Huang et al., 2008; Wu and Huang, 2004
- ✚ Usually in practice, the number of IMFs modes  $< \log_2(N)$
- ✚ Unlike Fourier based methodologies  $\rightarrow$  no basis a priori for EMD
- ✚ IMFs = adaptive basis
- ✚ Very suitable for nonstationary and nonlinear time series analysis
- ✚ How to express nonstationarity?  
Find instantaneous frequency and instantaneous amplitude  
This was the reason why HSA was included as a part of HHT

104

## Dyadic filter bank for temperature



- Exponential law for mean period:

$$\bar{T}(n) = \alpha \times \gamma^n$$

- $\alpha = 0.037$  and  $\gamma = 1.84$  obtained by least square fitting

- $\gamma = 1.84$  :
  - > Close to 2, which indicates
  - > Quasi dyadic filter bank property of the EMD algorithm
  - > Mean scale of each mode series is 1.84 times the mean scale of the previous one

Same mean period for nearly all the IMF modes of  $Temp_1$  &  $Temp_2$

105

## Outline

I. Background & objectives

II. Experimental database

III. Hilbert-Huang Transform (HHT)

IV. Time Dependent Intrinsic Correlation (TDIC)

V. Discussion

VI. Conclusions & perspectives

106

## What is HHT?

- Hilbert-Huang Transform
- Perhaps the most notable development during the last decade
- HHT consists of the following steps:
  1. **sifting**, that is, empirical adoption of the Principal Component Analysis (PCA) for multi-components in the signal to rearrange the signal in terms of local bases that are nearly orthogonal each other;
  2. **physically based construction of instantaneous frequency** whose concept is applicable to nonstationary and nonlinear signals;
  3. **complexification of the signal via the Hilbert Transform** to characterize the signal in terms of the modulated amplitude and the associated instantaneous frequencies that appear to represent both interwaves and intrawaves;
  4. **reconstruction** of the signal and the Hilbert spectrum (energy-frequency) and the multi-component frequency-time relations.

HHT = EMD + HSA

107

## Some applications of HHT in marine sciences

- Huang and Wu, 2008
- Dätig and Schlurmann (2004) applied HHT to show excellent correspondence between simulated and recorded nonlinear waves.
- Schmitt et al. (2009) applied the HHT method to characterize the scale invariance of velocity fluctuations in the surf zone.
- The EMD scheme was used in studying sea level rise (Ezer et al., 2013).
- Yin et al. (2014) also applied the method and identified three kinds of low-frequency waves using some observations in the coastal water of the East China Sea.

108

## Hilbert spectrum

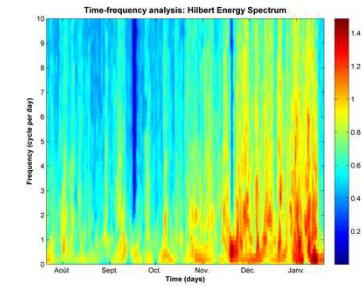
- ❖ Variability analysis
- ❖ Application of HHT to the temperature TS at the 4 sites
- ❖ TS divided into a series of mode
  - ❖ Fourier transform: constant frequency for each component
  - ❖ IMF mode: time-dependent frequency & amplitude
- ❖ Reconstructing all the modes together
  - Distribution of variability as  $f(\text{freq}, \text{time})$
- ❖ Hilbert-Huang spectrum = 3D plot
  - Amplitude = height in the time-frequency plane

ifremer

109

## Hilbert spectrum for $Temp_1$

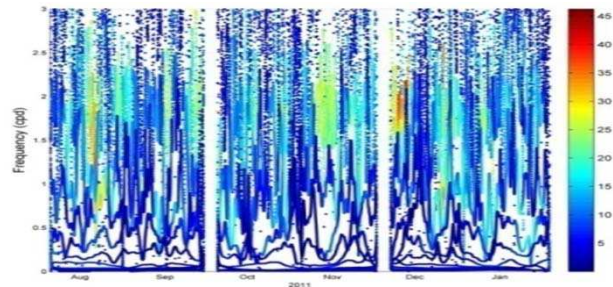
- ❖ Hilbert Spectrum of the EMD
  - Variability of Temp, as  $f(\text{time}, \text{freq})$
  - Red/Blue colors indicate high/low variability
- ❖ Wintry period in July-October → color blue dominant
- ❖ Summer in end November-January
  - Red color = higher energy
  - Vertical stratification of the water column
- ❖ Linear interpolation of missing
  - Loss of all the high frequency
  - 2 long blue lines



ifremer

110

## Hilbert spectrum for current $U_3$

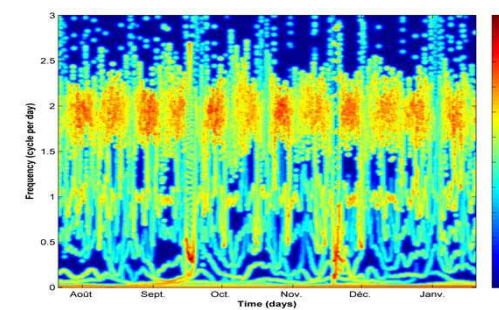


- ❖ Red/Blue colors indicate high/low variability
- ❖ Two long white lines in mid-September and mid-November
  - ← → missing data at the corresponding dates
- ❖ Discontinuous, filamentary aspect of the Hilbert spectrum indicates a number of phase dropouts which shows that the data are nonstationary.

ifremer

111

## Hilbert spectrum for sea level $sl_1$



- ❖ Red/Blue colors indicate high/low variability
- ❖ Most energetic frequencies: semidiurnal and the diurnal waves
- ❖ Discontinuous, filamentary aspect of the Hilbert spectrum indicates a number of phase dropouts which shows that the data are nonstationary.

ifremer

112



## Outline

- I. Background & objectives
- II. Experimental database
- III. Hilbert-Huang Transform (HHT)
- IV. Time Dependent Intrinsic Correlation (TDIC)
- V. Discussion
- VI. Conclusions & perspectives

## Why Time-Dependent Intrinsic Correlation (TDIC)?

- The classical global expression for the correlation
  - Defined as the covariance of two variables divided by the product of the standard deviation of the two variables
  - Assumes that the variables should be stationary and linear
- Applied to nonstationary time series, the cross correlation information may be altered and distorted
- Many scientists tried to address the problem of nonsense correlations:
  1. The wavelet transform:
    - Deal with nonstationary signals
    - Mother wavelet usually dependent on the type of data
    - HHT: no convolution with a predefined basis function
  2. An alternative : estimate the correlation by a time-dependent structure
    - Ex: Papadimitriou et al. (2006), Rodo and Rodriguez-Aria (2006)
    - Main problem: determine the size of this window
  3. Recently, Chen et al. (2010) introduced an approach based on EMD
    - Huang and Schmitt (2014) used TDIC to analyze temperature and dissolved oxygen time series obtained from automatic measurements in a moored buoy station in coastal waters of Boulogne-Sur-Mer.

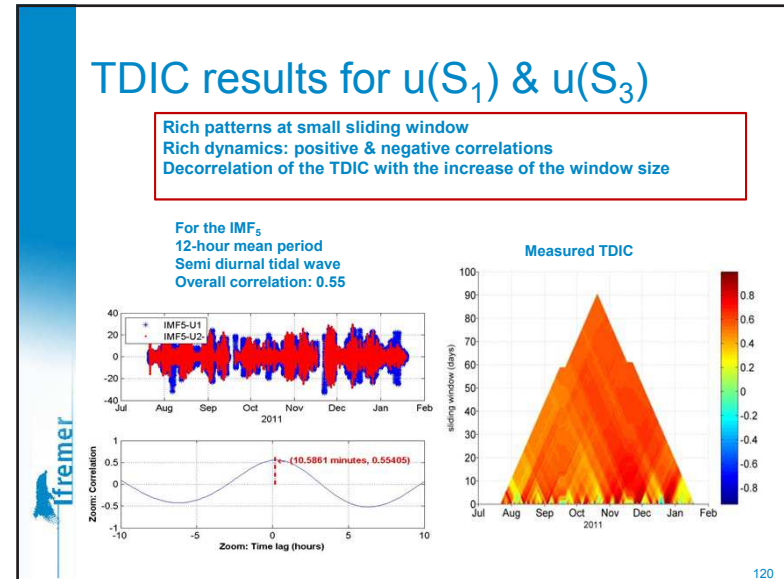
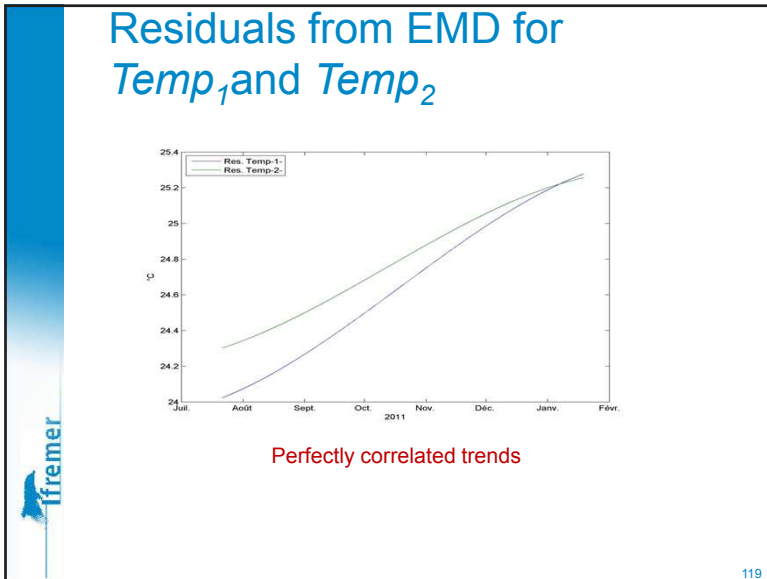
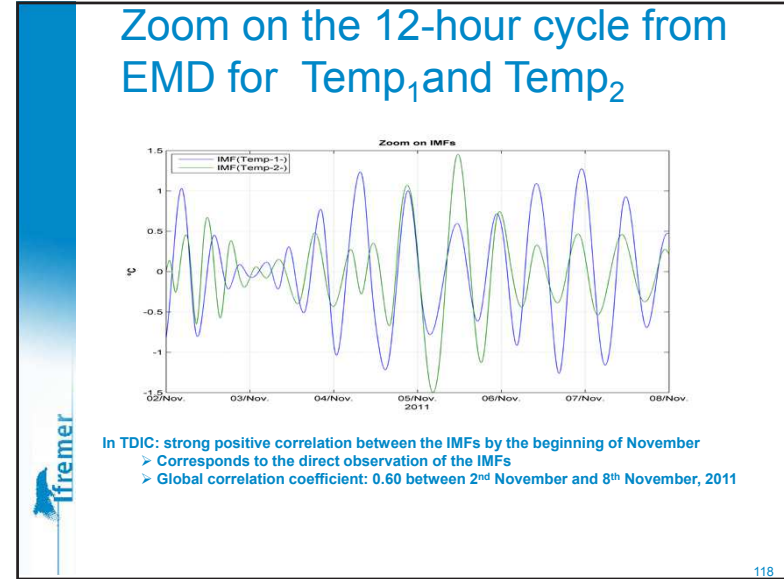
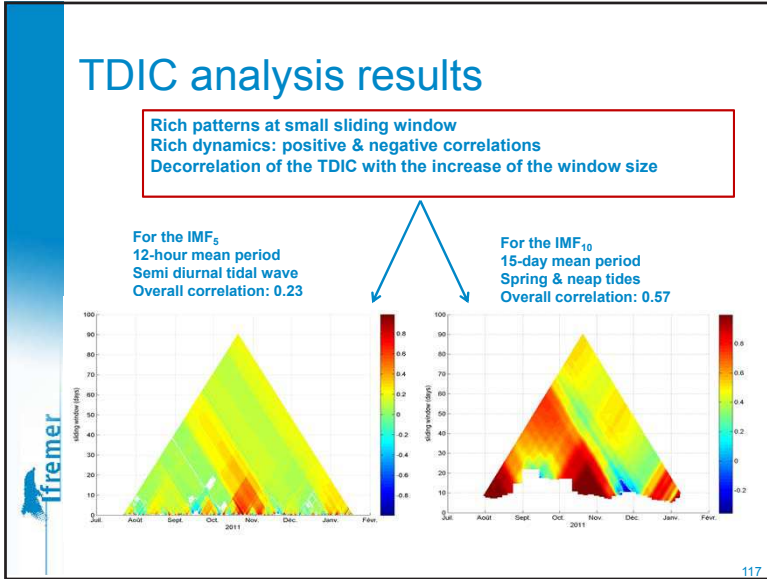
## Application of TDIC

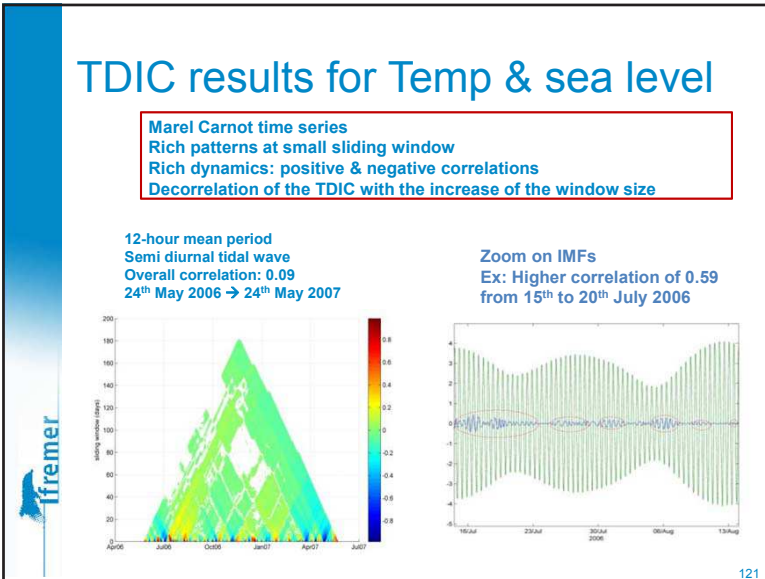
- Cross correlations between  $Temp_1$  and  $Temp_2$
- $Temp_1$  and  $Temp_2$  highly correlated
  - Global in-phase relation
  - Global cross correlation coefficient = 0.93
  - Phase difference of 40 min
  - Time lag  $\leftrightarrow$  phase velocity of  $1\text{ms}^{-1}$  between  $S_1$  and  $S_2$
- TDIC approach:
  1. Application of EMD algorithm to  $Temp_1$  and  $Temp_2$  (same time period)
  2. 12 IMF's modes with one residual
  3. Representation of data sets in a multiscale way
  4. Use of IMF's for multiscale correlation

## Sliding window for TDIC

- At time  $t_{inst}$ 

$$t_{win} = \left[ t_{inst} - a \frac{\max(T_j^1(t), T_j^2(t))}{2}, t_{inst} + a \frac{\max(T_j^1(t), T_j^2(t))}{2} \right]$$
- $a$  is any positive number
- Window  $t_{win}$ 
  - Different from classical sliding windows
  - Based on the max of 2 instantaneous periods  $\max(T_j^1(t), T_j^2(t))$
  - Adaptive





- ## Outline
- I. Background & objectives
  - I. Experimental database
  - I. Hilbert-Huang Transform (HHT)
  - I. Time Dependent Intrinsic Correlation (TDIC)
  - I. Discussion
  - I. Conclusions & perspectives
- 122

## What are wavelets?

Continuous Wavelet Transform (CWT)

$\psi(t)$  is a normalized window called « wavelet » with zero mean

$$\int \psi(t) dt = 0 \quad \int |\psi(t)|^2 dt = 1$$

New transformation over dilated and translated wavelets

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad b \in \mathbb{R}, a > 0$$

$$C_{a,b} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{a,b}^*(t) dt$$

a: scale factor  
 b: translation factor

123

## Different wavelets

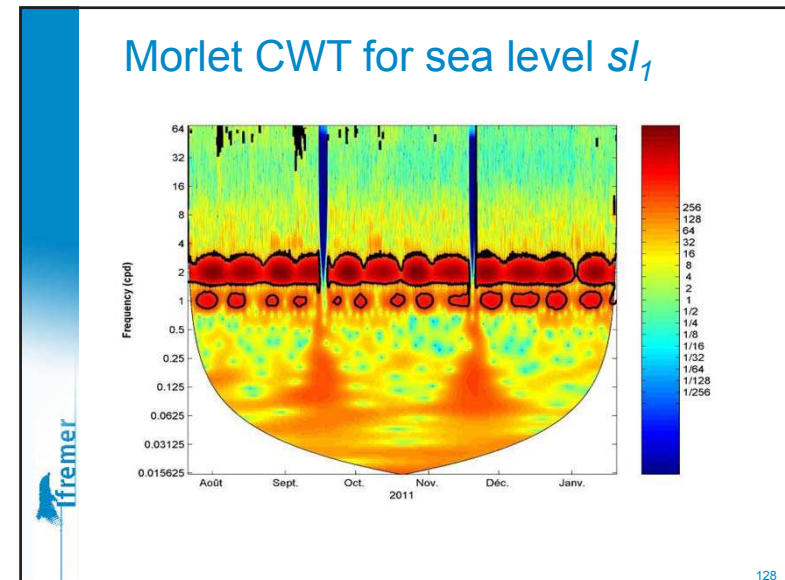
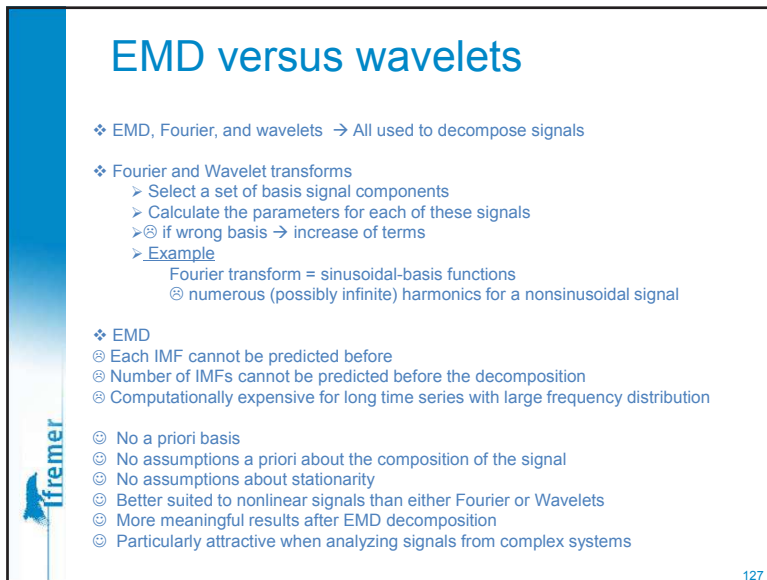
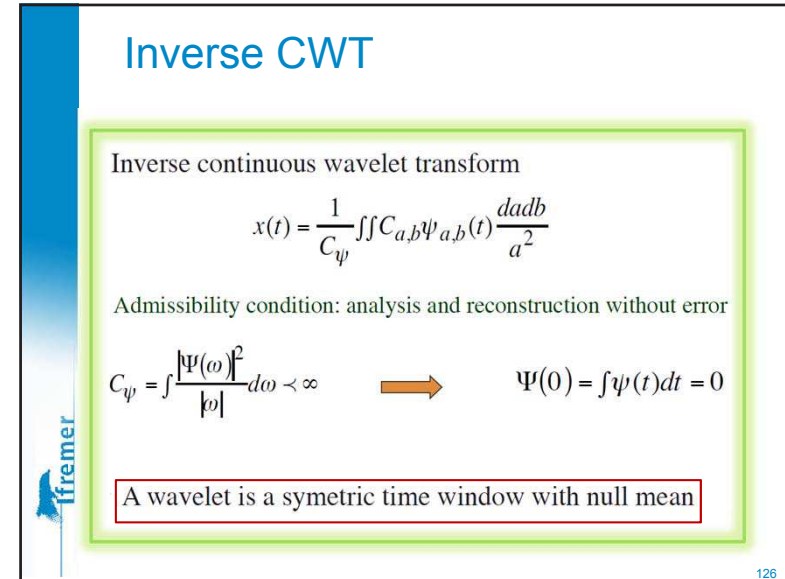
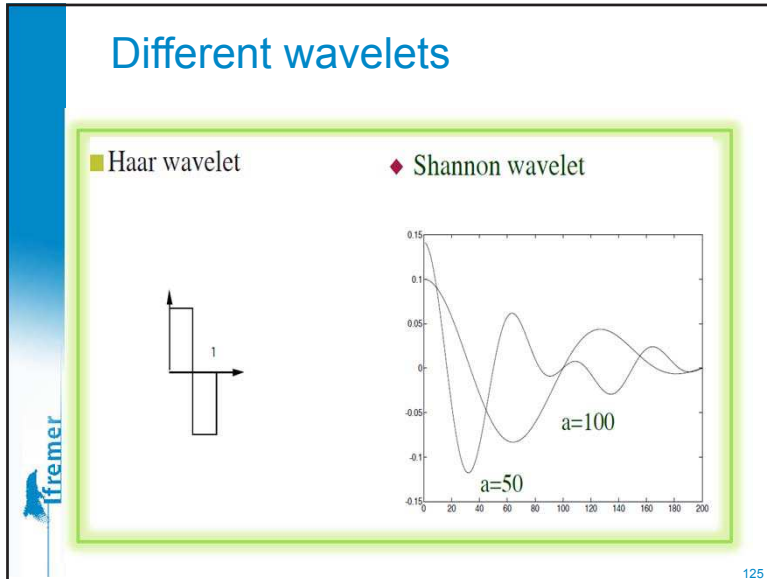
■ Morlet wavelet

$$\psi(t) = e^{-t^2/2} \cos(5t)$$

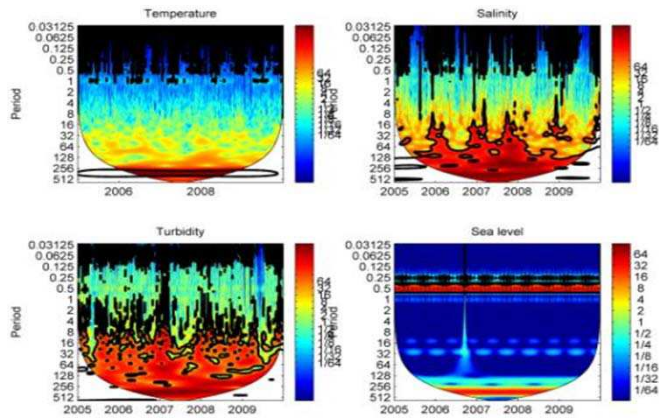
◆ Mexican hat

◆ a=0.1    ◆ Second derivative of gaussian  
 ◆ a=0.01    ◆  $\psi(t) = \left(\frac{2}{\sqrt{3}\sqrt{\pi}}\right) (1-t^2) e^{-t^2/2}$   
 ◆ a=0.001

124

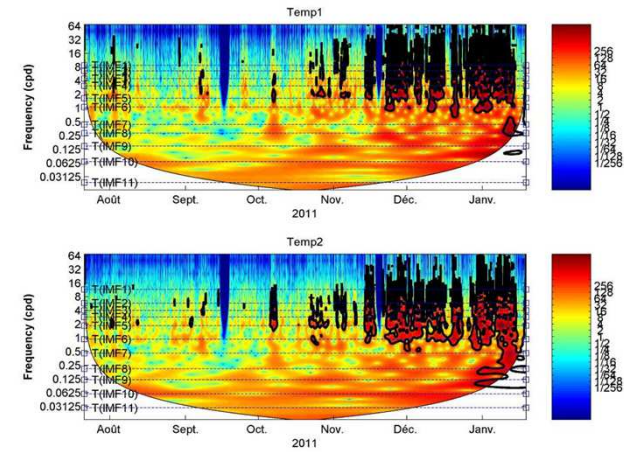


### CWT for Marel Carnot time series



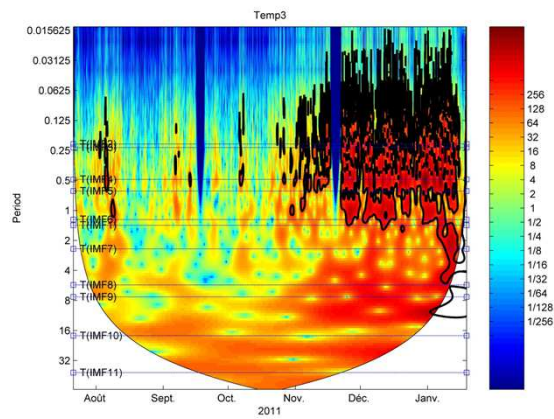
129

### CWT versus IMFs for $Temp_1$ & $Temp_2$



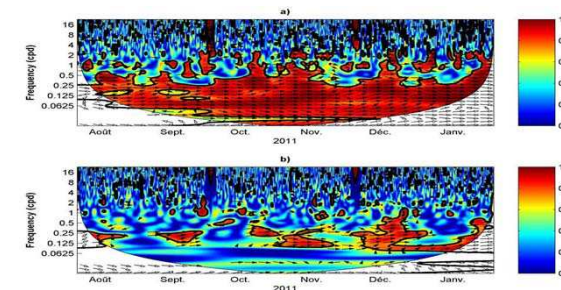
130

### Wavelet powerspectrum versus IMFs for $Temp_3$



131

### Wavelet coherence (WTC)



WTC for a) Temp 1&2 b) Temp 1&4

Color-scale → value for the coherence from 0 to 1 (blue to red)

Black arrows → phase delay (arrows to the right mean no phase delay)

Loss of coherence of internal tide over a limited distance of less than 20 km

132

## Why such analysis?

Surface tides are the heartbeat of the ocean and are deterministic since they are controlled by the relative movement of earth, moon and sun.

In addition, **internal tides** are created in a stratified ocean by the interaction of the surface tide currents with the bathymetry. They are ubiquitous in the ocean and can lead to strong vertical oscillations of isotherms. They can propagate over hundreds of km and since their propagation condition is related to the **stratification of the ocean**, they are distorted by the circulation which modifies the 3D density field. As a result, in the coastal area, they often appear as **highly non linear oscillations with wide spectral content which are usually not predictable, even on short time scale** (Nash et al. 2012) [1].

In situ time series of temperature and currents are then necessary to understand their characteristics and the way they propagate and modify their shape to the coast.

## Keywords

Augmented Dickey-Fuller tests  
 Auto correlation function  
 Autoregressive process  
 Correlogram  
**Cross correlation**  
 Empirical mode decomposition  
 Harmonic analysis  
 Hilbert-Huang transform  
 Hilbert spectral analysis  
 Lomb-Scargle powerspectrum  
 Modified periodogram  
**Seasonality**  
 Skewness  
 Stationarity  
 Tidal waves  
 Time dependent intrinsic correlation  
 Time series  
 Trend  
 Unit root  
 Wavelets  
 Wavelet coherence  
 Welch periodogram

## Acknowledgments

The authors would like to thank the Région Bretagne for financial support of the post-doctoral fellowship (SAD MASTOC n°8296). They also thank the Région Réunion for financial support brought to the NortekMed group for the acquisition of the data, provided to IFREMER within the framework of the HydroRun project.

## Thank you for your attention



## **Programmes MATLAB développés pour la formation « Analyse de séries temporelles »**

**Contactez Dhouha Kbaier Ben Ismail pour toute question sur les packages à utiliser**

[dhouha.kbaier@ifremer.fr](mailto:dhouha.kbaier@ifremer.fr) ou [dhouha.kbaier@gmail.com](mailto:dhouha.kbaier@gmail.com)

**N'oubliez pas de mettre des remerciements et citer la formation dès que vous faites bon usage que ce soit des slides ou des programmes :**

- *KBAIER BEN ISMAIL DHOUHA, 2015. Training in time series analysis, session 1: 27-28 May 2015, Ifremer Brest, France, 10 attendees.*
- *KBAIER BEN ISMAIL DHOUHA, 2015. Training in time series analysis, session 2: 3-4 June 2015, Ifremer Brest, France, 14 attendees.*

## 1. Formation\_1\_TS\_Statistics.m

```
%% Formation analyse de series organisee par Ingrid Puillat et Dhouha
Kbaier
% Lieu: Ifremer, Brest, France
% Dates: Mercredi 27 et Jeudi 28 Mai 2015 (Session1); puis Mercredi 3 et
Jeudi 4 Juin 2015 (Session 2)
% Auteur: Dhouha Kbaier Ben Ismail
% e-mail: dhouha.kbaier@ifremer.fr
%%
clear all;
close all;

global x_data;
global y_data;
global ts;
global msg;
global titre;
global yLabel;
global xLabel;

%% Télécharger vos donnes ici (remplacer le code pour les 6 lignes
suivantes)
% load ('Pascal_TS.mat');
% x_data=date;
% y_data=ti(:,1);
% xLabel='Time (year, month, day, hour)';
% yLabel='Temperature (°C)';
% titre='Temperature in the Reunion island from 21/07/2011 12h00 to
19/01/2012 00h00';
%
%
% load('resume_ADCP_total_rotation.mat')
% x_data=ADCP(4).date;
% y_data=ADCP(4).u(:,2);
% xLabel='Time (year, month, day, hour)';
% yLabel='cm/s';
% titre='Along-shore currents in the Reunion island at station S4';

load('load_donnes_Marel.mat')
time1=timeTemp;time2=timeSali;time3=timeSeaLevel;time4=timeTurbi;
data1=Temp;data2=Sali;data3=SeaLevel;data4=Turbi;
x_data=time4;
y_data=data4;
xLabel='Time (year, month, day, hour)';
yLabel='Turbidity (NTU)';
titre='Turbidity (Marel Carnot) over 5 years from 2005 to 2009';

%% plot time series
ts=timeseries(y_data,x_data);
msg='';

%% On peut utiliser Time series tool
% tstool(ts);

%% Plot time series
figure
s(1) = subplot(2,1,1);
```



```

plot(ts, '+:r');
tlabel;
xlim([x_data(1) x_data(end)]);
xlabel(xLabel);
ylabel(yLabel);
title(titre, 'FontWeight', 'bold');

%% plot histogram
s(2) = subplot(2,1,2);
% figure
partitions = ceil(sqrt(length(y_data))/2);
hist(y_data,partitions, 'bar');
title('Histogram', 'FontWeight', 'bold')

%Change histogram color properties:
%Get the handle to the patch object that creates the histogram bar plot.
h = findobj(gca, 'Type', 'patch');
%Use the handle to change the face color and the edge color of the bars
plotted.
set(h, 'FaceColor', 'w', 'EdgeColor', 'b');

%Statistics
mean_y=mean(y_data(~isnan(y_data))); % c'est l'equivalent de
mean_y=nanmean(y_data)
mode_y=mode(y_data(~isnan(y_data)));
median_y=median(y_data(~isnan(y_data)));
skew=skewness(y_data(~isnan(y_data)));
if(skew >0)
    msg=['Positive skew (= ' num2str(skew) ')'];
    msg=char(msg, 'we check that mean > median > mode ');
    if(mean_y>median_y && median_y >mode_y)
        msg=char(msg, '--> succesfull check');
    else
        msg=char(msg, '--> check failure');
    end
else %skew <0
    msg=char(msg, ['Negative skew (= ' num2str(skew) ')']);
    msg=char(msg, 'we check that mean < median < mode');
    if(mean_y<median_y && median_y <mode_y)
        msg=char(msg, '--> succesfull check');
    else
        msg=char(msg, '--> check failure');
    end
end

%% Tests whether the values are monotonically increasing
% all(diff(y)>0)

%% Tests for equally spaced elements (x axis)
hms=datevec(x_data);% year month day hour minute second conversion
dateDiff=datevec(diff(diff(date)));
vectDiff=datenum(dateDiff);
if (all(vectDiff==0)==1)
    msg=char(msg, 'Equally spaced data');
else
    msg=char(msg, 'Unequally spaced data');
end

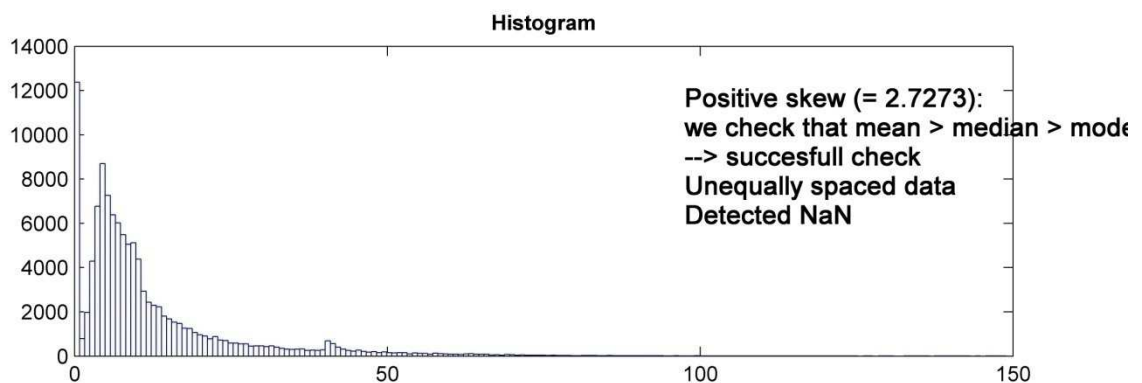
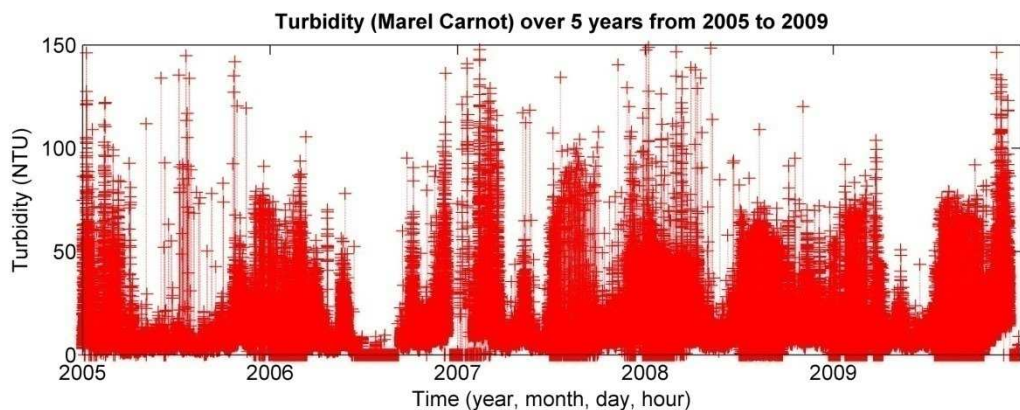
```

```

%% Search gap in the time series (y axis)
search=find(isnan(y_data)); %a list of NaN element indices
if (isempty(search))
%   disp('No gap (NaN) in the time series');
  msg=char(msg,'No gap (NaN) in the time series');
else
%   disp('Detected NaN for',search);
%   msg=char(msg,'Detected NaN for',search);
  msg=char(msg,'Detected NaN');
end

% Afficher le message sur l'histogramme?
a = axis;
width = a(2)-a(1);
ht = a(4)-a(3);
% Please change the parameters 0.65 & 0.4 to your convenience
pos = [a(1)+0.65*width a(4)-0.4*ht];
text(pos(1),pos(2),msg,'FontSize',12,'FontName','arial','FontWeight','demi',
'color','k');

```



## 2. Formation\_2\_TS\_ACF.m

```
% Formation analyse de series organisee par Ingrid Puillat et Dhouha
Kbaier
% Lieu: Ifremer, Brest, France
% Dates: Mercredi 27 et Jeudi 28 Mai 2015 (Session1); puis Mercredi 3 et
Jeudi 4 Juin 2015 (Session 2)
% Auteur: Dhouha Kbaier Ben Ismail
% e-mail: dhouha.kbaier@ifremer.fr

%%
clear all;
close all;
global x_data;
global y_data;
global yLabel;
global xLabel;

% Télécharger vos donnes ici (remplacer le code pour les 5 lignes
suivantes)
load ('Pascal_TS.mat');
x_data=date;
y_data=ti(:,1);
xLabel='{ \bf Time (year, month, day, hour)}';
yLabel='{ \bf Temperature (°C)}';

% Compute and plot autocorrelation (see MATLAB Recipes for Earth Sciences
p.124)

yc= y_data;
% yc= y_data-mean(y_data);
for i = 1 : length(yc) - 2
    r = corrcoef(yc(1:end-i),yc(1+i:end));
    C(i) = r(1,2);
end
figure
plot(C)
xlabel('Delay'), ylabel('Autocorrelation')
grid on

% To eliminate the long-term trend, we use the function detrend
ydt = detrend(y_data);
figure
plot(x_data,y_data,'b-',x_data,ydt,'r-');
tlabel;
title('Time series before and after detrending')
legend('Before','After');

%What was eliminated ? --> plot the trend
ydt = detrend(y_data);
figure
plotTrend=plot(x_data,y_data-ydt,'--m');
set(plotTrend(1),'LineWidth',2)
grid on;
xlabel(xLabel);
```

```

ylabel(yLabel);
title('The trend of the time series','FontWeight','bold');
xlabel;

%% Autocorrelation using xcorr function(Signal Processing Toolbox)
maxlag = length(y_data); % set a max lag value here
[c,lags] = xcorr(detrend(y_data), maxlag, 'biased');
figure;
plot(lags,c), xlabel('lags'), ylabel('autocorrelation')
grid on

% Test if the autocorrelation function is symmetric or not
i=1;
symmetric=1;
clength=length(c);
while (symmetric ==1 && i<=(clength-1)/2)
    %pour comparer deux reels A et B avec une precision de n
chiffres significatifs : abs(A-B) < 10^-n;
    if( abs(c(i)-c(clength-i+1)) > 10^-10)
        symmetric =0;
        % display(['c(' num2str(i) ')=' num2str(c(i)) '
Different from ' 'c(' num2str(clength-i+1) ')=' num2str(c(clength-i+1))]);
    end
    i=i+1;
end
if(symmetric==1)
    display('the autocorrelation function of the detrended time
series is symmetric');
else
    display('the autocorrelation function of the detrended
time series is NOT symmetric');
end

% Is the maximum amplitude of the detrended time series
autocorrelation function in zero?
max_c=max(c);
testmax=0;
if(abs(max_c-c((clength+1)/2) )< 10^-10)
    testmax=1;
    display(['Maximum amplitude for \tau = 0 --> '
num2str(c((clength+1)/2))]);
end

%% Another method to plot autocorrelation function using
% acf(Spatial Econometrics Toolbox) --> package jplv7.zip to download from
% http://www.spatial-econometrics.com/
r3=acf(detrend(y_data),length(detrend(y_data))-2,1);
figure
plot(r3.ac);
legend ('R(\tau)');
title('Autocorrelation Function after detrend (using acf)');
xlabel('time delay, \tau in seconds');
grid on

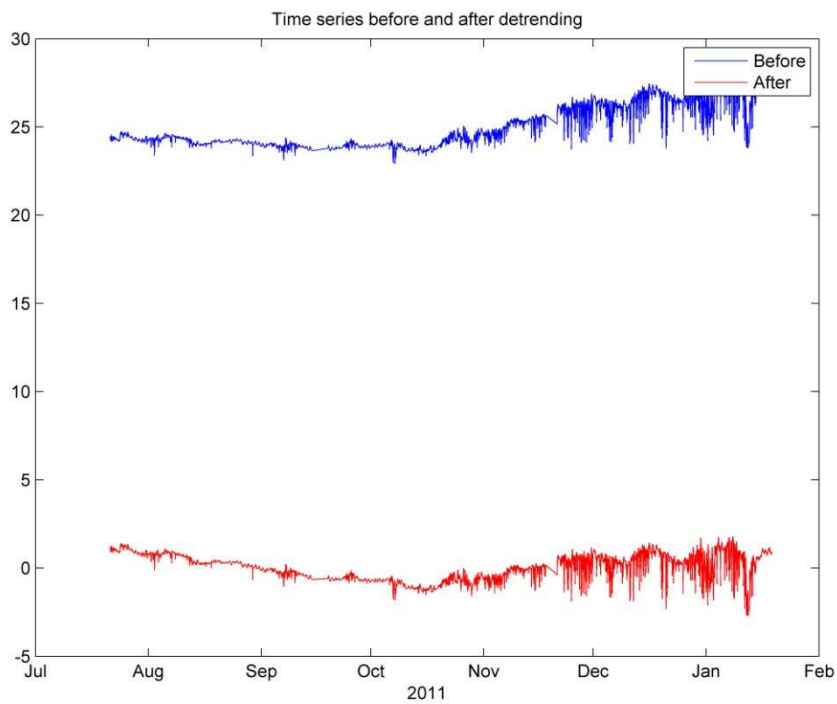
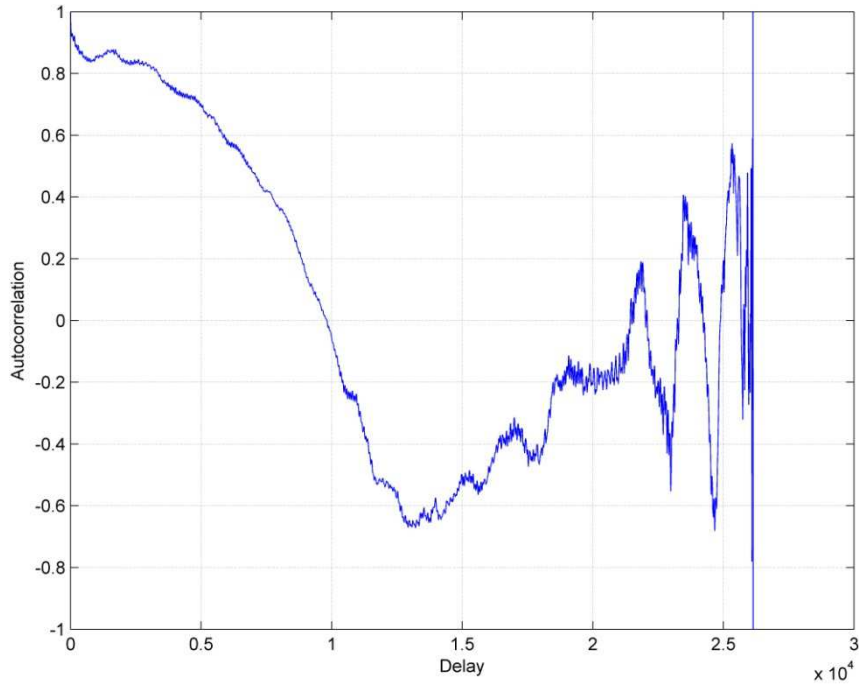
%% Differentiate the time series
yDiff=detrend(diff(y_data));
% Compute and plot autocorrelation after differentiation (see MATLAB
Recipes for Earth Sciences p.124)
yDiffc= yDiff;

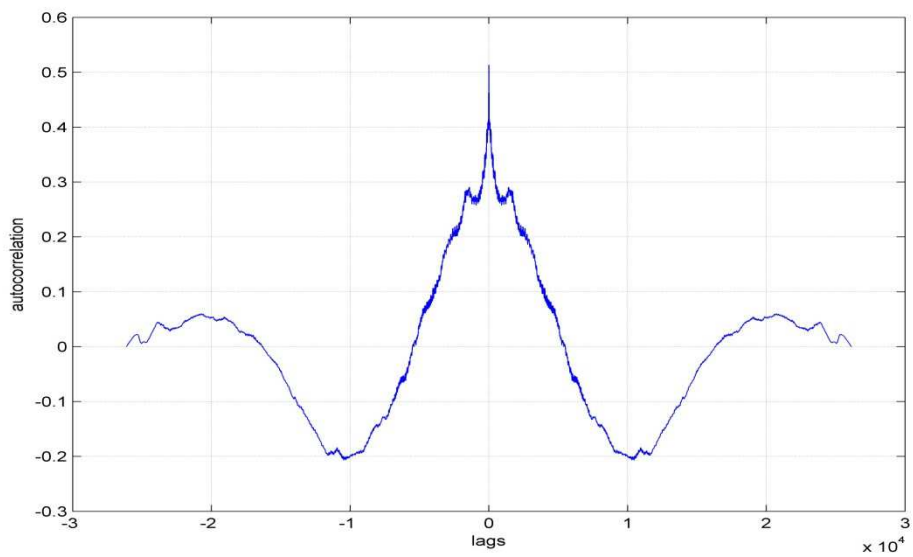
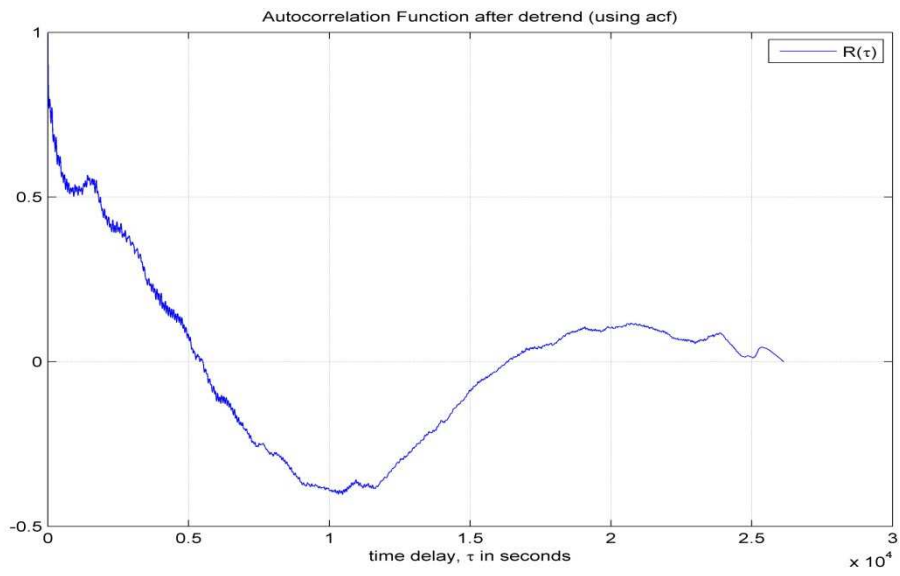
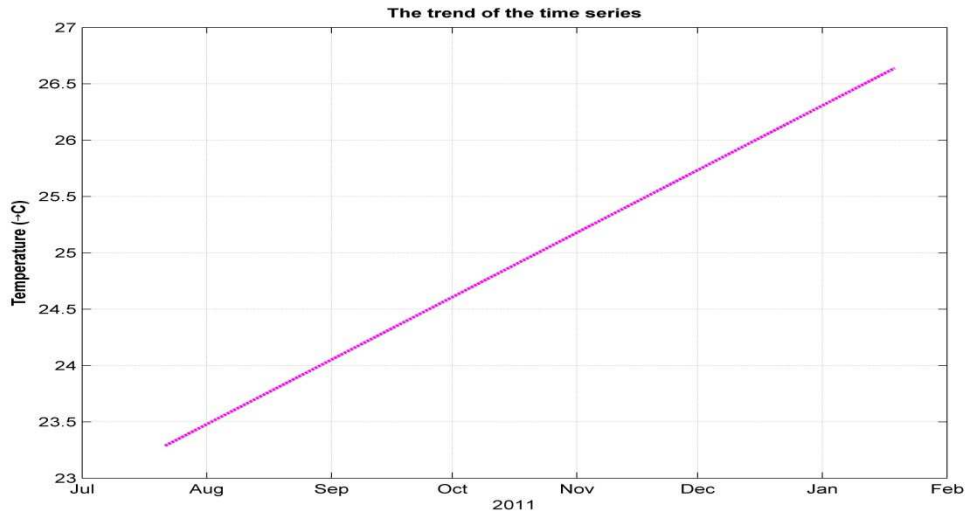
```

```

for i = 1 : length(yDiff) - 2
    rDiff = corrcoef(yDiff(1:end-i),yDiff(1+i:end));
    CDiff(i) = rDiff(1,2);
end
figure
plot(CDiff)
xlabel('Delay');
title('Autocorrelation after differenciation');
grid on

```





### 3. Formation\_3\_TS\_Stationarity.m

```
%% Formation analyse de series organisee par Ingrid Puillat et Dhouha
Kbaier
% Lieu: Ifremer, Brest, France
% Dates: Mercredi 27 et Jeudi 28 Mai 2015 (Session1); puis Mercredi 3 et
Jeudi 4 Juin 2015 (Session 2)
% Auteur: Dhouha Kbaier Ben Ismail
% e-mail: dhouha.kbaier@ifremer.fr
% Stationnarity tests

%% Stationnarity Augmented Dickey-Fuller test adftest()--> Econometrics
% Toolbox et adf --> Spatial Econometrics

clear all;
close all;
global x_data;
global y_data;

%% Télécharger vos donnes ici (remplacer le code pour les 3 lignes
suivantes)

% load('resume_ADCP_total_rotation.mat')
% x_data=ADCP(4).date;
% y_data=ADCP(4).u(:,2);

% load('Pascal_TS.mat');
% x_data=date;
% y_data=ti(:,1);

load('load_donnes_Marel.mat')
time1=timeTemp;time2=timeSali;time3=timeSeaLevel;time4=timeTurbi;
data1=Temp;data2=Sali;data3=SeaLevel;data4=Turbi;
x_data=time3(~isnan(data3));
y_data=data3(~isnan(data3));

%% Determiner nlag-max
% Schwert (1989): "Test for Unit Roots: A Monte Carlo Investigation"
T=length(y_data);
nlagmin=floor(4*((T/100)^(1/4)));
nlagmax=floor(12*((T/100)^(1/4)));
count=nlagmax-nlagmin+1;

%% Test de la tendance
[h,pValue,stat,cValue,reg] =
adftest(y_data,'model','TS','lags',nlagmin:nlagmax) ;% alpha=0.05
(default value)
% initialisation
minAIC=reg(1).AIC;
minBIC=reg(1).BIC;
lag_AIC=nlagmin;
lag_BIC=nlagmin;
% recherche du minimum AIC et BIC pour le modele TS
for i=2:count
    if(reg(i).AIC<minAIC)
        minAIC=reg(i).AIC;
        lag_AIC=nlagmin+i-1;
    end
end
```

```

        if(reg(i).BIC<minBIC)
            minBIC=reg(i).BIC;
            lag_BIC=nlagmin+i-1;
        end
    end

figure
x_axis=nlagmin:nlagmax;
y_axis_aic=ones(1,nlagmax-nlagmin+1);
y_axis_bic=ones(1,nlagmax-nlagmin+1);
for i=1:length(y_axis_aic)
    y_axis_aic(i)=reg(i).AIC;
    y_axis_bic(i)=reg(i).BIC;
end

plot(x_axis,y_axis_aic,'--b*',x_axis,y_axis_bic,'--r*');
% set(gca, 'xtick',nlagmin:nlagmax);
title('{\bf AIC and BIC for Model: Trend Stationary}')
xlabel ('{\bf model order}')
ylabel ('{\bf model selection criterions}')
legend('AIC', 'BIC', 'location', 'northEast')

%% Tests des racines unitaires
[h,pValue,stat,cValue,reg] =
adftest(y_data, 'model', 'ARD', 'lags', nlagmin:nlagmax) ;
% recherche du minimum AIC et BIC pour le modele ARD
for i=1:count
    if(reg(i).AIC<minAIC)
        minAIC=reg(i).AIC;
        lag_AIC=nlagmin+i-1;
    end
    if(reg(i).BIC<minBIC)
        minBIC=reg(i).BIC;
        lag_BIC=nlagmin+i-1;
    end
end
figure
x_axis=nlagmin:nlagmax;
y_axis_aic=ones(1,nlagmax-nlagmin+1);
y_axis_bic=ones(1,nlagmax-nlagmin+1);
for i=1:length(y_axis_aic)
    y_axis_aic(i)=reg(i).AIC;
    y_axis_bic(i)=reg(i).BIC;
end

plot(x_axis,y_axis_aic,'--b*',x_axis,y_axis_bic,'--r*');
%set(gca, 'xtick',nlagmin:nlagmax);
title('{\bf AIC and BIC for Model: AutoRegressive with Drift}')
xlabel ('{\bf model order}')
ylabel ('{\bf model selection criterions}')
legend('AIC', 'BIC', 'location', 'northEast')

[h,pValue,stat,cValue,reg] =
adftest(y_data, 'model', 'AR', 'lags', nlagmin:nlagmax) ;
% recherche du minimum AIC et BIC pour le modele AR
for i=1:count
    if(reg(i).AIC<minAIC)
        minAIC=reg(i).AIC;
        lag_AIC=nlagmin+i-1;
    end
end

```



```

        if(reg(i).BIC<minBIC)
            minBIC=reg(i).BIC;
            lag_BIC=nlagmin+i-1;
        end
    end

    if( lag_BIC<lag_AIC)
        lag_optimal=lag_BIC;
    else
        lag_optimal=lag_AIC;
    end

    figure
    x_axis=nlagmin:nlagmax;
    y_axis_aic=ones(1,nlagmax-nlagmin+1);
    y_axis_bic=ones(1,nlagmax-nlagmin+1);
    for i=1:length(y_axis_aic)
        y_axis_aic(i)=reg(i).AIC;
        y_axis_bic(i)=reg(i).BIC;
    end

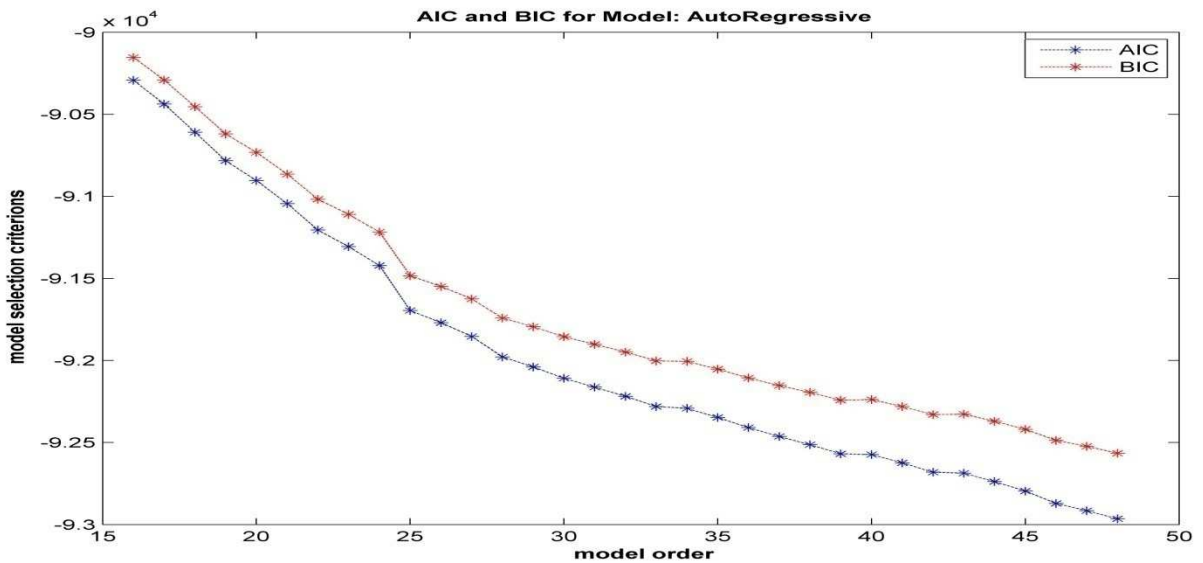
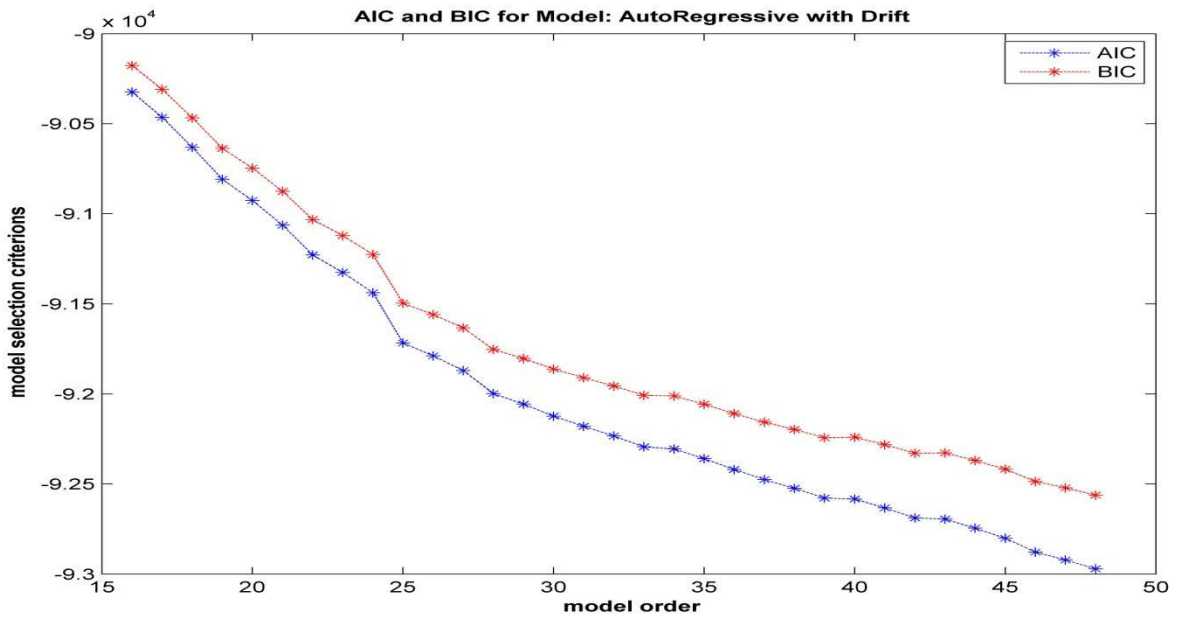
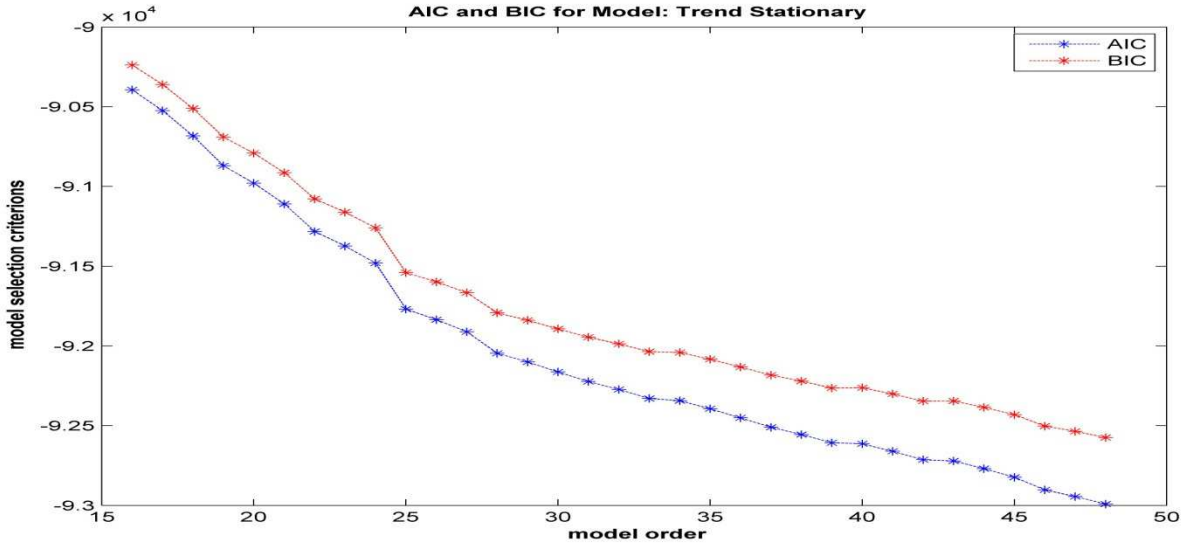
    plot(x_axis,y_axis_aic,'--b*',x_axis,y_axis_bic,'--r*');
    %set(gca, 'xtick',nlagmin:nlagmax);
    title('\bf AIC and BIC for Model: Autoregressive')
    xlabel ('\bf model order')
    ylabel ('\bf model selection criterions')
    legend('AIC','BIC','location','northEast')

    display(['min AIC = ' num2str(minAIC) ' for lag = ' num2str(lag_AIC)]);
    display(['min BIC = ' num2str(minBIC) ' for lag = ' num2str(lag_BIC)]);
    if(lag_optimal>1)
        display(['Please run ADF tests with the optimal lag = '
num2str(lag_optimal)]);
    else
        display(['Please run simple DF tests with the optimal lag = '
num2str(lag_optimal)]);
    end

    display('adfctest() function: ADF tests with for model TS');
    [h,pValue,stat,cValue,reg] =
    adfctest(y_data,'model','TS','lags',lag_optimal)
    display(['adfctest() function: ADF tests with for model ARD']);
    [h,pValue,stat,cValue,reg] =
    adfctest(y_data,'model','ARD','lags',lag_optimal)
    display(['adfctest() function: ADF tests with for model AR']);
    [h,pValue,stat,cValue,reg] =
    adfctest(y_data,'model','AR','lags',lag_optimal)

    display('adf() function (Spatial Econometrics) : ADF tests for the three
models');
    for p=-1:1
        res = adf(y_data,p,lag_optimal);
        display(['***** p= '
num2str(p) '*****']);
        prt(res);
    end;

```



## 4. Formation\_4\_TS\_Spectrum.m

```
% Formation analyse de series organisee par Ingrid Puillat et Dhouha
Kbaier
% Lieu: Ifremer, Brest, France
% Dates: Mercredi 27 et Jeudi 28 Mai 2015 (Session1); puis Mercredi 3 et
Jeudi 4 Juin 2015 (Session 2)
% Auteur: Dhouha Kbaier Ben Ismail
% e-mail: dhouha.kbaier@ifremer.fr

%%
clear all;
close all;

global x_data;
global y_data;
global ts;
global Fs;% sampling frequency 10 minutes= 600 seconds
global L; % Length of signal
global phi; % angle to compute the inertial wave

%% Spectral analysis
% load ('Pascal_TS.mat');
% x_data=date;
% y_data=ti(:,1);

%% Télécharger vos données et modifier deltat !!!

load('load_donnes_Marel.mat')
time1=timeTemp;time2=timeSali;time3=timeSeaLevel;time4=timeTurbi;
data1=Temp;data2=Sali;data3=SeaLevel;data4=Turbi;
x_data=time3;
y_data=fixgaps(data3);

% load('resume_ADCP_total_rotation.mat')
% x_data=ADCP(1).date;
% y_data=ADCP(1).u(:,2);

% load maree_conquet;
% x_data=(date2(1): 1/(60*24):date2(end))';
% interpolation=interp1(date2,xe,x_data) ;
% y_data=interpolation-nanmean(xe) ;

ts=timeseries(y_data,x_data);
% deltat =mean(diff(x_data));
deltat =20/(24*60); % 10 min pour les donnes ile de la Runion et 20 min
pour Marel Carnot

Fs=1/deltat;
L = length(y_data);% Length of signal

%% Quelques donnees sur les ondes principales (periodes en cycle/jour)
pM2=12.42 ;cpdM2=24/pM2;
```

```

pS2=12. ;cpdS2=24/pS2;
pO1=25.82 ;cpdO1=24/pO1;
pK1=23.93 ;cpdK1=24/pK1;

% calcul de f
om=2*pi/86400;
phi=21; % ile de la Reunion
% phi=47; % Brest
w_rot=2*om*sind(phi);
freqInertie=w_rot/(2*pi);
pIn=2*pi/w_rot/3600; cpdIn=24/pIn;

%% Modified Periodogram using Hamming
freq = 0:L-1; %Numerators of frequency series
freq = freq.*Fs./L;
% Obtain the periodogram with 95%-confidence bounds.
% When a frequency vector is specified, a 'twosided' PSD is computed
% [Pxx,F,Pxxc] = periodogram(y_data,hamming(L),freq,Fs,'ConfidenceLevel',
0.95);

[Pxx,F,Pxxc] = periodogram(y_data,hamming(L),[],Fs,'ConfidenceLevel',
0.95);
% [Pxx,F] = periodogram(y_data,hamming(L),[],Fs);

% The average power can be computed by approximating the integral with the
following sum:
averPow = (Fs/length(Pxx)) * sum(Pxx);
%We can also compute the average power from the one-sided PSD estimate:
% averPow = (Fs/(2*length(Pxx))) * sum(Pxx);
figure;
plot(F,10*log10(Pxx));
% hold on;
% plot(F,10*log10(Pxxc),'r--','linewidth',2);

xlabel('Cycles/day'); ylabel('dB');
grid on;
title('Modified Periodogram','FontWeight','bold');

smin=-80;smax=120; % parametres a modifier en fonction du periodogramme

hold on;
plot([cpdM2 cpdM2],[smin smax],'-.k')
text( cpdM2,0.8*smax,'$$M2$$','interpreter','latex','fontsize',10)

hold on;
plot([cpdK1 cpdK1],[smin smax],'-.k')
text( cpdK1,0.5*smax,'$$K1$$','interpreter','latex','fontsize',10)
hold on;
plot([cpdIn cpdIn],[smin smax],'-.k')
text( cpdIn,0.8*smax,'$$In$$','interpreter','latex','fontsize',10)

%% Another method --> Periodogram Using FFT
ydft = fft(y_data);
ydft = ydft(1:fix(L./2)+1);
psdy = (1/(Fs*L)).*abs(ydft).^2;
psdy(2:end-1) = 2*psdy(2:end-1);
freq2 = 0:Fs/L:Fs/2;

```

```

figure;
plot(freq2,10*log10(psd)); grid on;
title('Periodogram Using FFT','FontWeight','bold');
xlabel('Frequency (cycles per day)'); ylabel('Power/Frequency (dB)');

%% smin=-80;smax=120; % parametres a modifier en fonction du periodogramme
%%
%% hold on;
%% plot([cpdM2 cpdM2],[smin smax],'-.r')
%% text(
cpdM2,0.8*smax,'$$M2$$','interpreter','latex','fontsize',10,'Color','r')
%%
%% hold on;
%% plot([cpdK1 cpdK1],[smin smax],'-.m')
%% text(
cpdK1,0.5*smax,'$$K1$$','interpreter','latex','fontsize',10,'Color','m')
%% hold on;
%% plot([cpdIn cpdIn],[smin smax],'-.k')
%% text( cpdIn,0.8*smax,'$$In$$','interpreter','latex','fontsize',10)

%% Another method --> using pwelch
na = 16;% Calculate an 16-times averaged spectrum with pwelch
w = hanning(floor(L/na));
[Pxx,F] = pwelch(X,WINDOW,NOVERLAP,F,Fs);
% [pxw,f,pxc] = pwelch(y_data,w,0,[],Fs,'ConfidenceLevel',0.95);
[pxw,f] = pwelch(y_data,w,0,[],Fs);
figure;
plot(f,10*log10(pxw));
% hold on;
% plot(f,10*log10(pxc),'r--','linewidth',2);
grid on;
title('Power spectrum generated with pwelch (with 95%-Confidence
Bounds)','FontWeight','bold');
xlabel('cycles per day'); ylabel('dB');
% Calculate the spectrum parameters
fbin = f(2)-f(1);
CG = sum(w)/(L/na);
NG = sum(w.^2)/(L/na);

%% Faire comme pwelch mais sans la commande pwelch
freedom=10;
N = length(y_data);
nfft = fix(N./freedom); % max number of Fourier components
if mod(nfft,2)==1 % if nfft is an odd number
    nfft=nfft-1;
end
overlap = 1/2; % fraction de la longueur du segment
pour l'overlap entre les segments
segment = freedom/overlap-1 ; % nombre de segment sur lequel on fera
la fft

% deltat = mean(diff(x_data));
% Fs = 1./deltat; % sampling frequency in seconds^-1
df = Fs/nfft; % Frequential resolution

% découpage de la série temporelle en segments
A = zeros(nfft,segment);

```

```

A(1:nfft,1:freedom) =
reshape(y_data(1:nfft*freedom),[nfft,freedom]);
A(1:nfft,freedom+1:segment) =
reshape(y_data(1+nfft*overlap:nfft*overlap+nfft*(freedom-1)),[nfft,freedom-
1]);

% fenetre pour la fft (supprime les effets de bords)
hanning = transpose(0.5 * (1-cos(2*pi* linspace(0,nfft-1,nfft)/(nfft-1))));
E=ones(1,segment);
H=hanning*E;
wc2=1/mean(hanning.^2); % window correction factor

A2=H.*detrend(A,'constant'); % anomalie du signal A2=A-mean(A)
pspec=mean(abs(fft(A2,nfft,1)).^2,2);
pspec=pspec./nfft^2/df;
spec=pspec*wc2; % spectrum where variance is sum(spec)*df

coef = (deltat*nfft); % durée d'un segment
freqPascal = [0:floor(nfft/2)-1 0 -floor(nfft/2)+1:-1]' / coef;

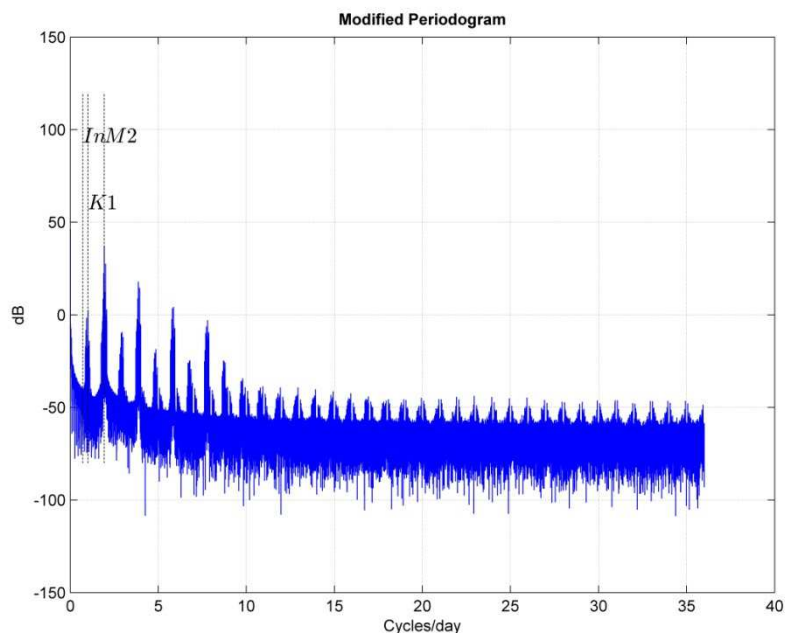
oneside=spec(1:nfft/2);
oneside(2:nfft/2)=2*spec(2:nfft/2);

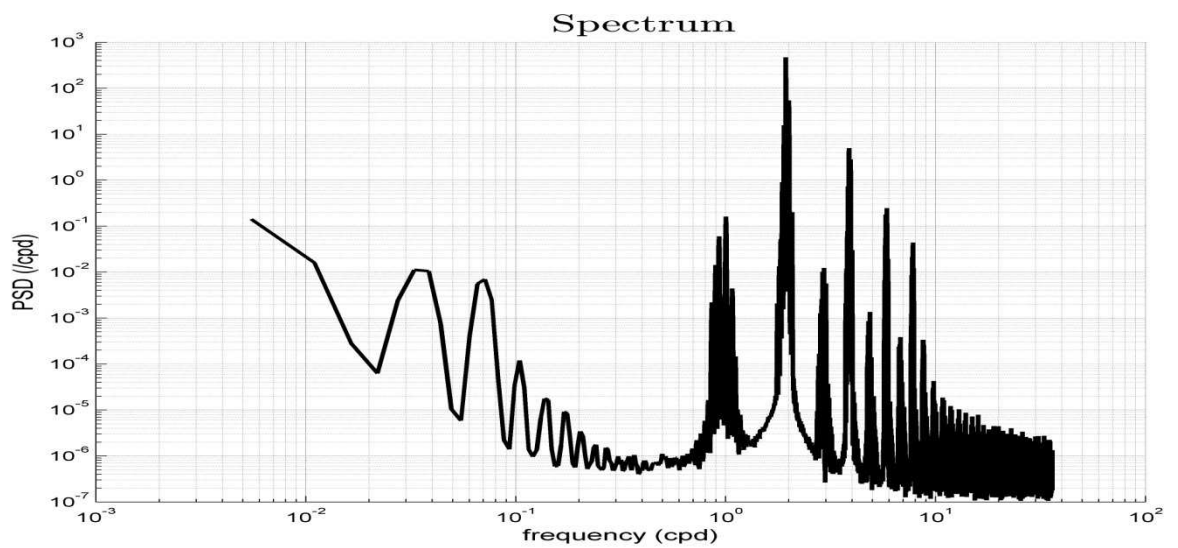
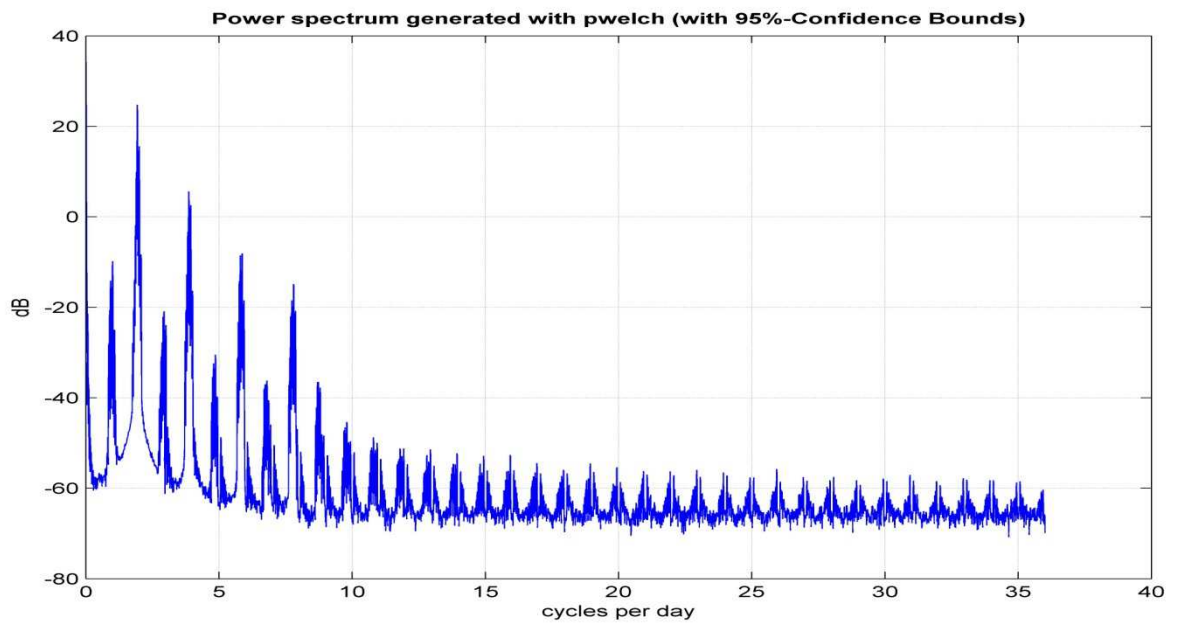
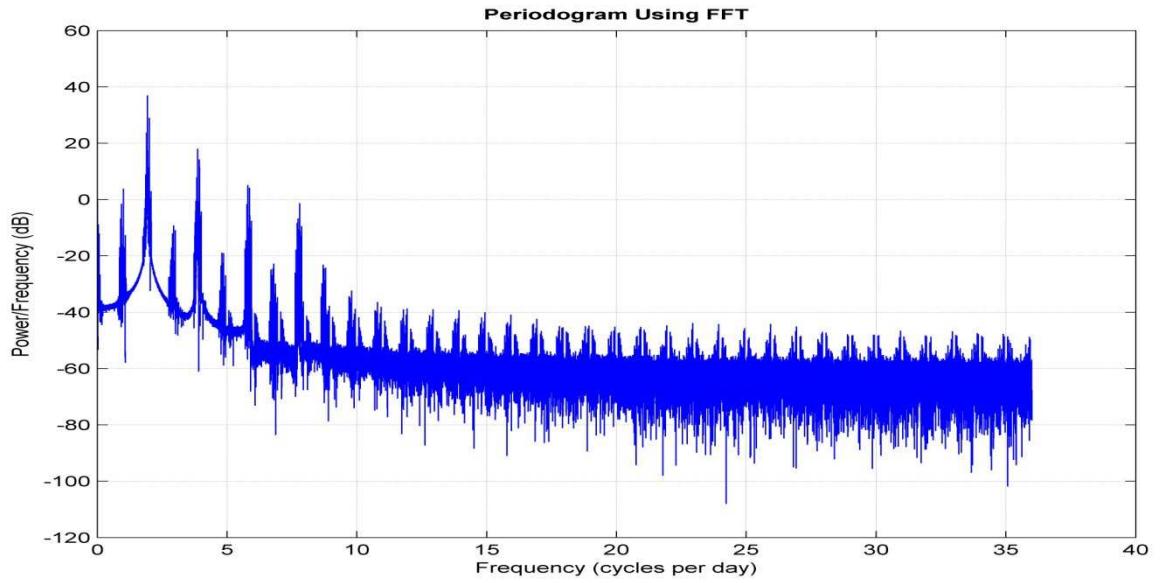
scrsz = get(0,'ScreenSize');
figure('Position',[10 50 500 300]);clf;hold on
set(0,'DefaultFigurePaperPositionMode','auto')

hh= plot(freqPascal(1:nfft/2),oneside,'color','k','linewidth',2);

set(gca,'Xscale','log','Yscale','log')
xlabel('frequency (cpd)','fontsize',12)
ylabel('PSD (/cpd)','fontsize',12)
title('Spectrum','interpreter','latex','fontsize',14)
grid on

```





## 5. Formation\_5\_TS\_LombScargle.m

```
%% Formation analyse de series organisee par Ingrid Puillat et Dhouha
Kbaier
% Lieu: Ifremer, Brest, France
% Dates: Mercredi 27 et Jeudi 28 Mai 2015 (Session1); puis Mercredi 3 et
Jeudi 4 Juin 2015 (Session 2)
% Auteur: Dhouha Kbaier Ben Ismail
% e-mail: dhouha.kbaier@ifremer.fr

%%
clear all;
close all;

global x_data;
global y_data;

%% Telecharger vos donnees

% load('resume_ADCP_total_rotation.mat')
% x_data=ADCP(4).date;
% y_data=ADCP(4).u(:,2);

load('Pascal_TS.mat');
x_data=date;
y_data=ti(:,1);

% load('load_donnes_Marel.mat')
% time1=timeTemp;time2=timeSali;time3=timeSeaLevel;time4=timeTurbi;
% data1=Temp;data2=Sali;data3=SeaLevel;data4=Turbi;
% x_data=time4(~isnan(data4));
% y_data=data4(~isnan(data4));

%% L algorithme est adapte à des donnees manquantes. On peut avoir un axe
de temps irregulier
x_data=x_data(~isnan(y_data));
y_data=y_data(~isnan(y_data));

%% Supprimer volontairement d autres donnees pour tester les limites de l
algorithme LombScargle

% % Keep random time points, discard the rest
% % Note: To increase the number of points retained, decrease the
multiplier (and vice versa)
% discpct = 49; %Percent of data points to discard: 2% (1 week) 8%(1
month) 25% (3 months) 33%(4 months) 50%( 6 months)
% ndiscards = floor((discpct/100)*length(x_data));
% keeps = randperm(length(x_data));
% keeps = sort(keeps(ndiscards+1:end)); %Discard 30% of the samples,
selected randomly
% x_data=x_data(keeps);
% y_data=y_data(keeps);

%% Lomb-Scargle Powerspectrum
inputdata=[x_data y_data];
tic
```



```

[freqsLombscargle, sigffreqs,expytable ,effm]=lombscargle(inputdata);
toc

figure
loglog(freqsLombscargle(:,1),freqsLombscargle(:,2),'color','b');
alph=0.05;
lineat=log(1./(1-(1-alph).^(1/effm)));
fhi=75;
line([freqsLombscargle(1,1),30],[lineat,lineat],'color','black','linewidth'
,4/5,'linestyle','-');
text(20,lineat,'95%','fontsize',10,'fontname','s');
xlim([log(freqsLombscargle(1,1)) 30]);

pSa=365.24; cpdSa=1/pSa; % annuelle
pSsa=182.62; cpdSsa=1/pSsa; %semi annuelle
pMm=27.55; cpdMm=1/pMm; %mensuelle
pMsf=14.76;cpdMsf=1/pMsf;% bi-mensuelle
pM2=12.42 ;cpdM2=24/pM2;
pS2=12. ;cpdS2=24/pS2;
pO1=25.82 ;cpdO1=24/pO1;
pK1=23.93 ;cpdK1=24/pK1;

% calcul de f
om=2*pi/86400;
phi=21; % ile de la Reunion
% phi=47; % Brest
w_rot=2*om*sind(phi);
freqInertie=w_rot/(2*pi);
pIn=2*pi/w_rot/3600; cpdIn=24/pIn;

smin=10^0;smax=3*10^3;
hold on;
plot([cpdSa cpdSa],[smin smax],'-r','linewidth',2)
text(cpdSa,smax,'$$Sa$$','interpreter','latex','fontsize',10)

hold on;
plot([cpdMm cpdMm],[smin smax],'-g','linewidth',2)
text(cpdMm,smax,'$$Mm$$','interpreter','latex','fontsize',10)

hold on;
plot([cpdMsf cpdMsf],[smin smax],'-k','linewidth',2)
text(cpdMsf,smax,'$$Msf$$','interpreter','latex','fontsize',10)

smin=10^-4;smax=10^3;
hold on;
plot([cpdM2 cpdM2],[smin smax],'-r','linewidth',2)
text(cpdM2,smax,'$$M2$$','interpreter','latex','fontsize',10)

hold on;
plot([cpdK1 cpdK1],[smin smax],'-k','linewidth',2)
text(cpdK1,smax,'$$K1$$','interpreter','latex','fontsize',10)

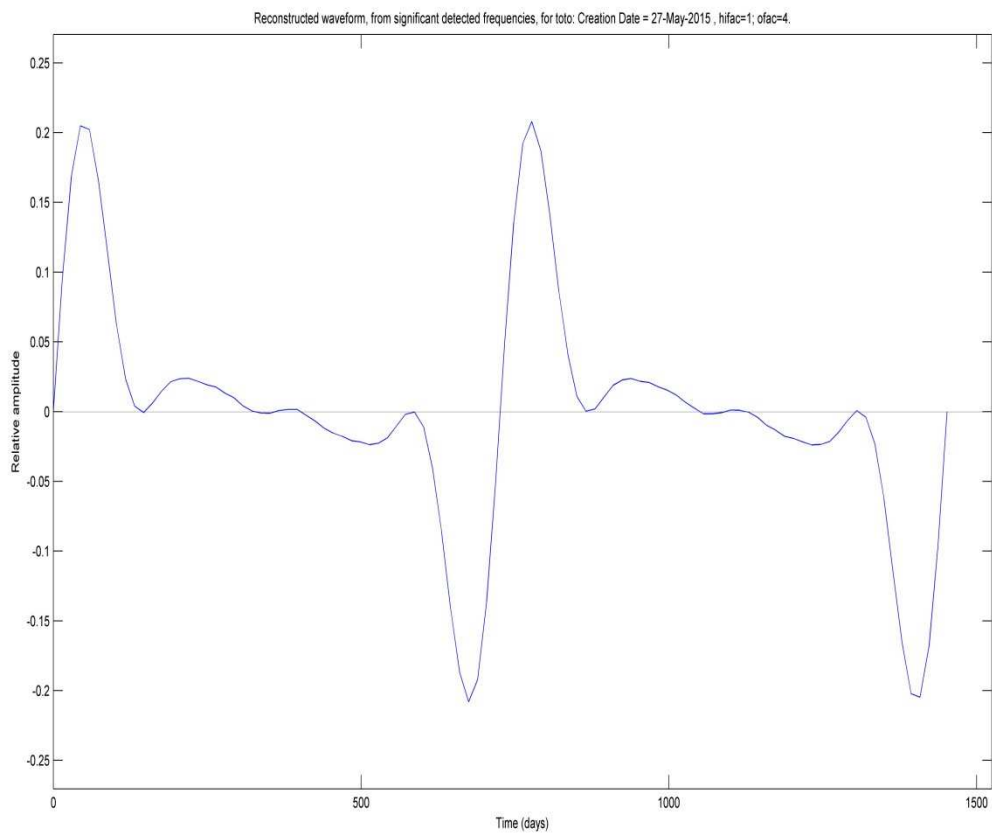
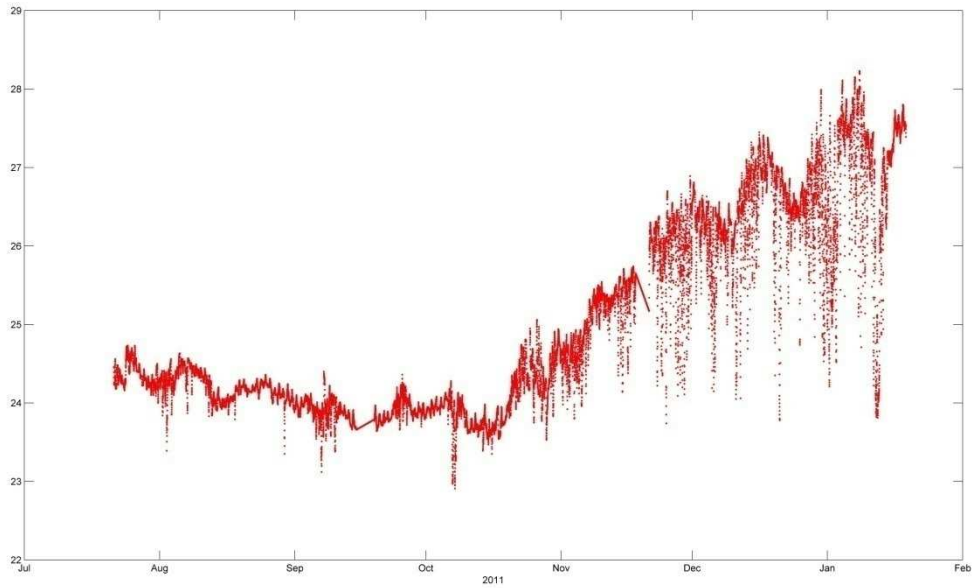
hold on;
plot([2*cpdM2 2*cpdM2],[smin smax],'-g','linewidth',2)
text(2*cpdM2,smax,'$$M4$$','interpreter','latex','fontsize',10)

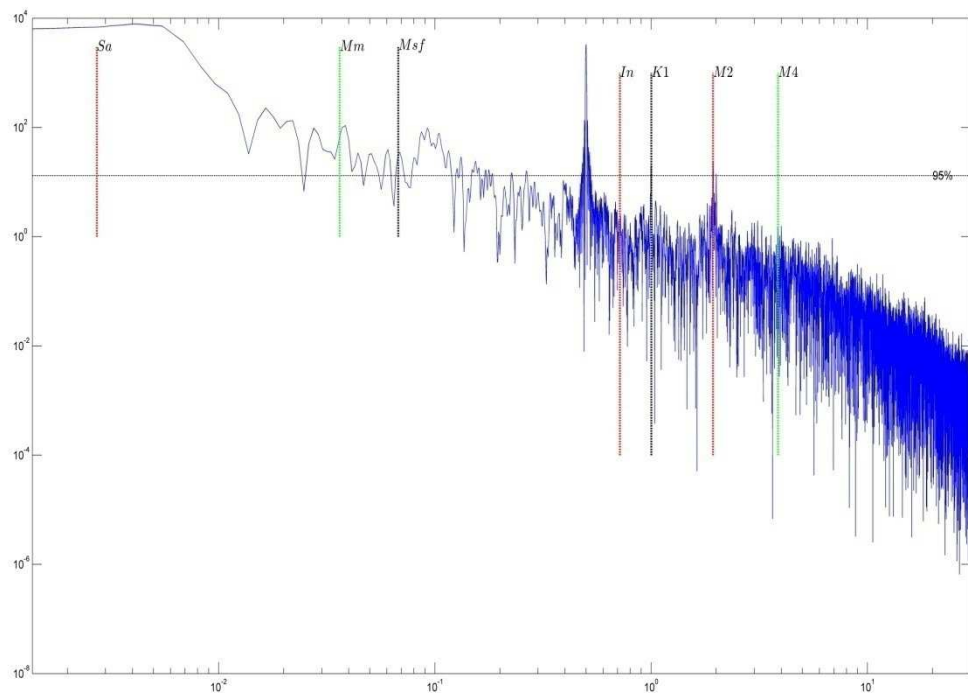
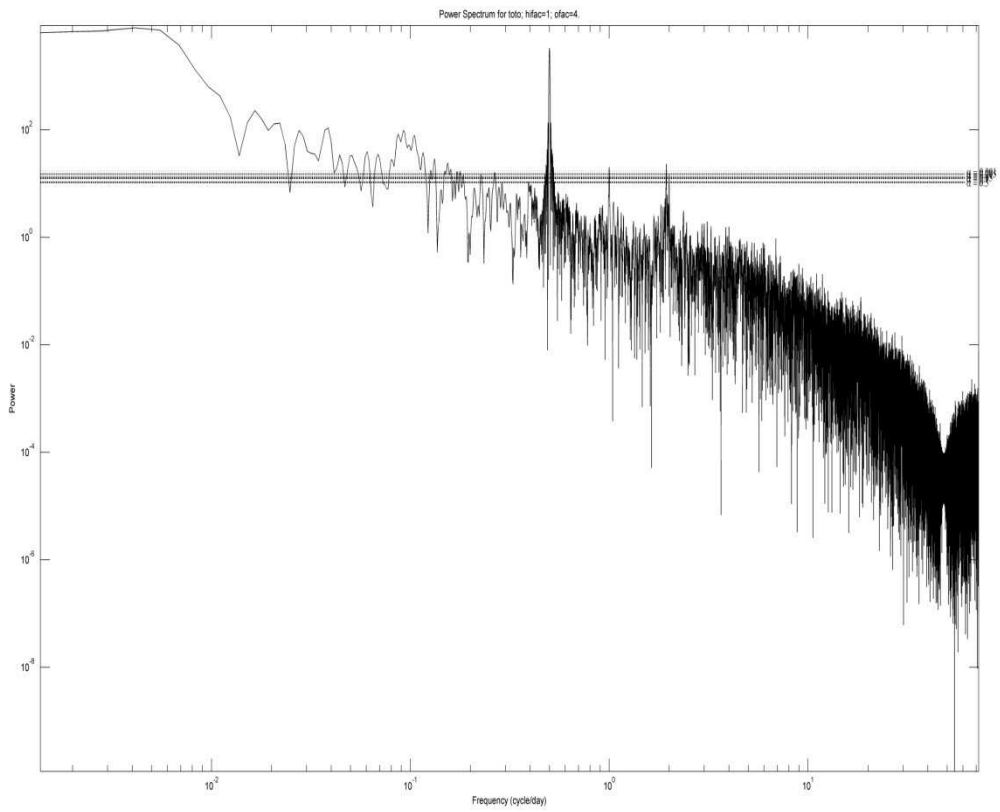
hold on;
plot([cpdIn cpdIn],[smin smax],'-r','linewidth',2)

```

```
text(cpdIn,smax,'$$In$$','interpreter','latex','fontsize',10)
```

```
xlim([log(freqsLombscargle(1,1)) 30]);
```





## 6. Formation\_6\_Tide\_Fit.m

```
% Formation analyse de series organisee par Ingrid Puillat et Dhouha
Kbaier
% Lieu: Ifremer, Brest, France
% Dates: Mercredi 27 et Jeudi 28 Mai 2015 (Session1); puis Mercredi 3 et
Jeudi 4 Juin 2015 (Session 2)
% Auteur: Dhouha Kbaier Ben Ismail
% e-mail: dhouha.kbaier@ifremer.fr

%%
close all;
clear all;
global time_data;
global series_data;
global periods;

%% Telecharger les donnees

load maree_conquet;
time_data=(date2(1): 1/(60*24):date2(end))';
interpolation=interp1(date2,xe,time_data) ;
series_data=interpolation-nanmean(xe) ;

% load ('pascal_TS.mat');
% time_data=date;
% series_data=ti(:,1);

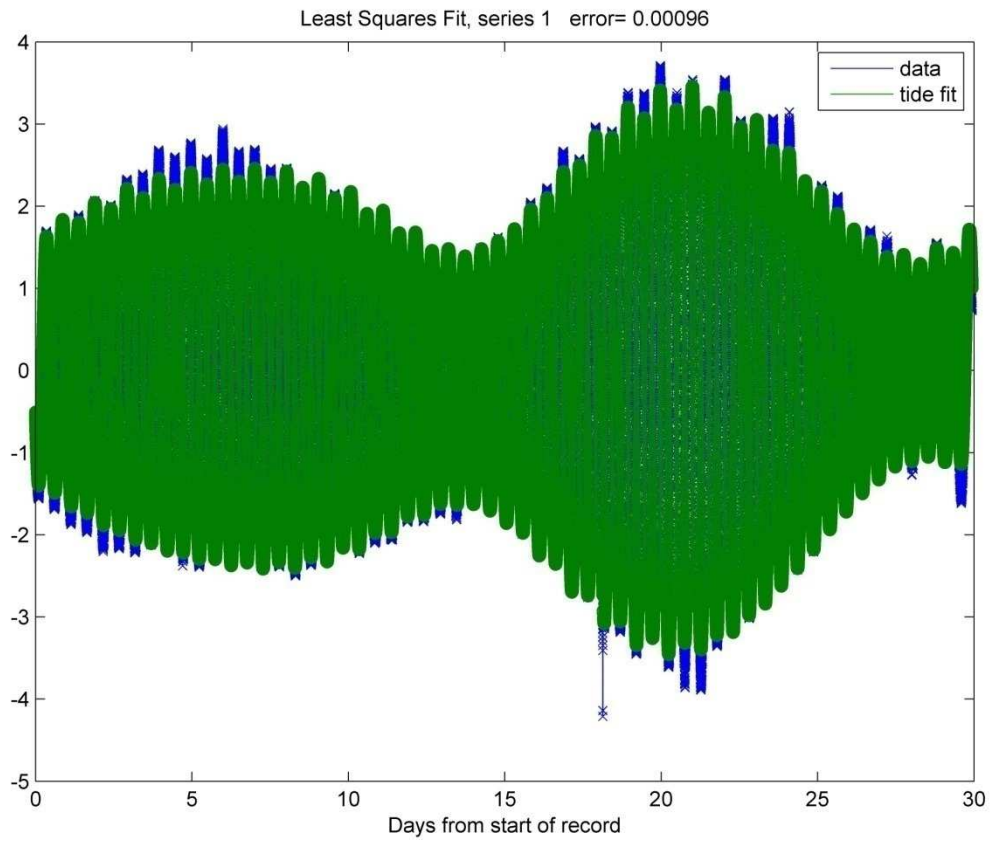
% load('load_donnes_Marel.mat')
% time1=timeTemp;time2=timeSali;time3=timeSeaLevel;time4=timeTurbi;
% data1=Temp;data2=Sali;data3=SeaLevel;data4=Turbi;
% time_data=time3;
% series_data=data3;

%%
time_data=time_data(~isnan(series_data));
series_data=series_data(~isnan(series_data));

% periods=[23.93 12.42 6.21]; % il faut que ce soit en heures
periods=[8780 26.86 25.81 23.92 12.65 12.42 12 6.27 6.2 6.1]; % SA, Q1, O1,
K1, N2 M2 S2 MN4 M4 MS4

% sigfreqs=[0.7952 0.3459];
% periods=1./(24.*sigfreqs);

[ucoef,unew]=tide_fit(time_data,series_data,periods,1);
```



## 7. Formation\_7\_start\_with\_t\_tide.m

```
%% Formation analyse de series organisee par Ingrid Puillat et Dhouha
Kbaier
% Lieu: Ifremer, Brest, France
% Dates: Mercredi 27 et Jeudi 28 Mai 2015 (Session1); puis Mercredi 3 et
Jeudi 4 Juin 2015 (Session 2)
% Auteur: Dhouha Kbaier Ben Ismail
% e-mail: dhouha.kbaier@ifremer.fr

%%
close all;
clear all;
global time_data;
global series_data;
global interval;
global xLabel;
global yLabel;
global titre;

%% Telecharger vos donnees ici
% load Seattle_tide;
%http://courses.washington.edu/ocean421/resources.shtml
% time_data=date;
% series_data=zeta;
% interval=0.1;

% load maree_conquet;
% interval=1/60; % toutes les minutes
% time_data=(date2(1): 1/(60*24):date2(end))';
% interpolation=interp1(date2,xe,time_data) ;
% series_data=interpolation-nanmean(xe) ;
% yLabel='Niveau de la mer';
% titre ='La maree au conquet';

% load Pascal_TS;
% interval=10/60;
% time_data=(date(1): 10/(60*24):date(end))';
% interpolation=interp1(date,ti(:,1),time_data) ;
% series_data=interpolation-nanmean(interpolation);
% xLabel='Time (year, month, day, hour)';
% yLabel='Temperature (°C)';
% titre ='Temperature in ile de la Reunion from 21/07/2011 12h00 to
19/01/2012 00h00';

load('load_donnes_Marel.mat')
interval=20/60; % toutes les 20 minutes
time1=timeTemp;time2=timeSali;time3=timeSeaLevel;time4=timeTurbi;
data1=Temp;data2=Sali;data3=SeaLevel;data4=Turbi;
time_data=time3;
series_data=data3-nanmean(data3);
yLabel='Niveau de la mer';
titre ='Donnes Marel Carnot';

%% Plot la serie temporelle

number=length(series_data(isnan(series_data)));
```

```

percentNaN=100*(number/length(series_data));

plot(time_data,series_data,'r. ');
tlabel;
xlabel(xLabel);
ylabel(yLabel);
title(titre, 'FontWeight', 'bold');

% % Passe bande entre permin=1 jour et
% y=passband_fastoche(time_data,series_data,1/24,3);
% figure;
% plot(time_data,y);
% tlabel;
% grid;
%
% % apres le filtrage
% series_data=y;

[tidestruc,pout]=t_tide(series_data,'interval',interval,'start
time',time_data(1)); % Latitude of obs);

% Look for amplitudes (third column):
% --> lunar (M2) and solar (S2)semi-diurnal tides
% --> lunisolar (K1) and lunar (O1) tides
amplitudes=tidestruc.tidecon(:,1);
names=tidestruc.name;
aO1=0; aK1=0; aM2=0; aS2=0;
for i=1:length(names)

    if(strcmp(names(i,:), 'O1  ')==1)
        display([names(i,:) '--> aO1 = ' num2str(amplitudes(i))]);
        aO1=amplitudes(i);
    end
    if(strcmp( names(i,:), 'K1  ')==1)
        display([names(i,:) '--> aK1 = ' num2str(amplitudes(i))]);
        aK1=amplitudes(i);
    end
    if(strcmp( names(i,:), 'M2  ')==1)
        display([names(i,:) '--> aM2 = ' num2str(amplitudes(i))]);
        aM2=amplitudes(i);
    end
    if(strcmp( names(i,:), 'S2  ')==1)
        display([names(i,:) '--> aS2 = ' num2str(amplitudes(i))]);
        aS2=amplitudes(i);
    end
end
end
% Calculate Form Factor: F=(aK1+aO1)/(aM2+aS2)
F=(aK1+aO1)/(aM2+aS2);
display(['Form factor F = (aK1+aO1)/(aM2+aS2)= ' num2str(F)]);
% Classify the tide according to the criteria
if(F > 3)
    display('F > 3 --> Diurnal 1 High, 1 Low per day');
end
if(F < 3 && F > 0.25)
    display('0.25 < F < 3 --> Mixed 2 Highs, 2 Lows per day');
end
if(F < 0.25)
    display('F < 0.25 --> Semidiurnal 2 Highs, 2 Lows per day');
end
end

```

```

deltat=mean(diff(time_data)); % For Marel Carnot = 20/(24*60);
Fs=1/deltat;
L=length(pout);

figure;
clf;orient tall;
subplot(411);
plot(time_data,[series_data pout]);
line(time_data,series_data-pout,'linewi',2,'color','r');
xlabel('time axis');
ylabel('Elevation (m)');
tlabel;
text(190,5.5,'Original Time series','color','b');
text(190,4.75,'Tidal prediction from Analysis','color',[0 .5 0]);
text(190,4.0,'Original time series minus Prediction','color','r');
title('Use of t\_tide toolbox');
legend('Original Time series','Tidal prediction from Analysis','Original
time series minus Prediction','location','northEast');

subplot(412);
fsig=tidestruc.tidecon(:,1)>tidestruc.tidecon(:,2); % Significant peaks
semilogy([tidestruc.freq(~fsig),tidestruc.freq(~fsig)], [.0005*ones(sum(~fsig),1),tidestruc.tidecon(~fsig,1)],'.-r');
line([tidestruc.freq(fsig),tidestruc.freq(fsig)], [.0005*ones(sum(fsig),1),tidestruc.tidecon(fsig,1)], 'marker','.', 'color','b');
line(tidestruc.freq,tidestruc.tidecon(:,2),'linestyle',':', 'color',[0 .5 0]);
set(gca,'ylim',[.0005 1],'xlim',[0 .5]);
xlabel('frequency (cph)');
text(tidestruc.freq,tidestruc.tidecon(:,1),tidestruc.name,'rotation',45,'vertical','base');
ylabel('Amplitude (m)');
text(.27,.4,'Analyzed lines with 95% significance level');
text(.35,.2,'Significant Constituents','color','b');
text(.35,.1,'Insignificant Constituents','color','r');
text(.35,.05,'95% Significance Level','color',[0 .5 0]);

subplot(413);
errorbar(tidestruc.freq(~fsig),tidestruc.tidecon(~fsig,3),tidestruc.tidecon(~fsig,4),'.r');
hold on;
errorbar(tidestruc.freq(fsig),tidestruc.tidecon(fsig,3),tidestruc.tidecon(fsig,4),'o');
hold off;
set(gca,'ylim',[-45 360+45],'xlim',[0 .5],'ytick',[0:90:360]);
xlabel('frequency (cph)');
ylabel('Greenwich Phase (deg)');
text(.27,330,'Analyzed Phase angles with 95% CI');
text(.35,290,'Significant Constituents','color','b');
text(.35,250,'Insignificant Constituents','color','r');

subplot(414);
ysig=series_data;
yerr=series_data-pout;
nfft=389;
bd=isnan(ysig);
gd=find(~bd);
bd([1:(min(gd)-1) (max(gd)+1):end])=0;

```



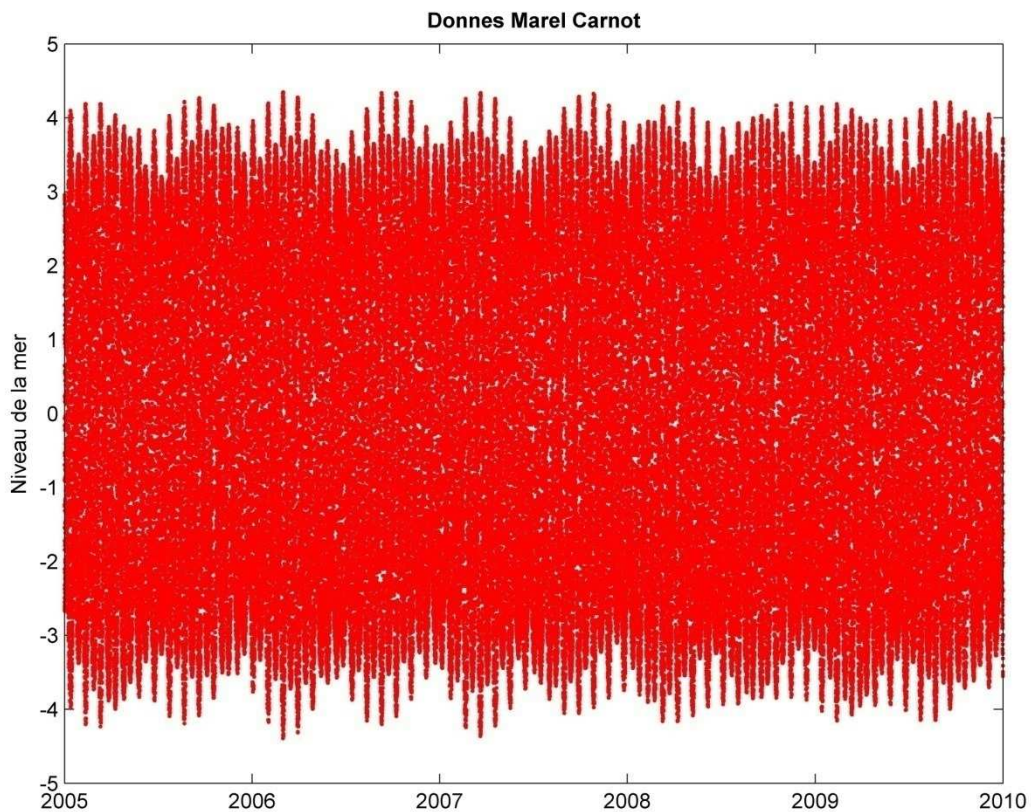
```

ysig(bd)=interp1(gd,ysig(gd),find(bd));
[Pxs,F]=pwelch(ysig(isfinite(ysig)),hanning(nfft),ceil(nfft/2),nfft,1);
Pxs=Pxs/2;

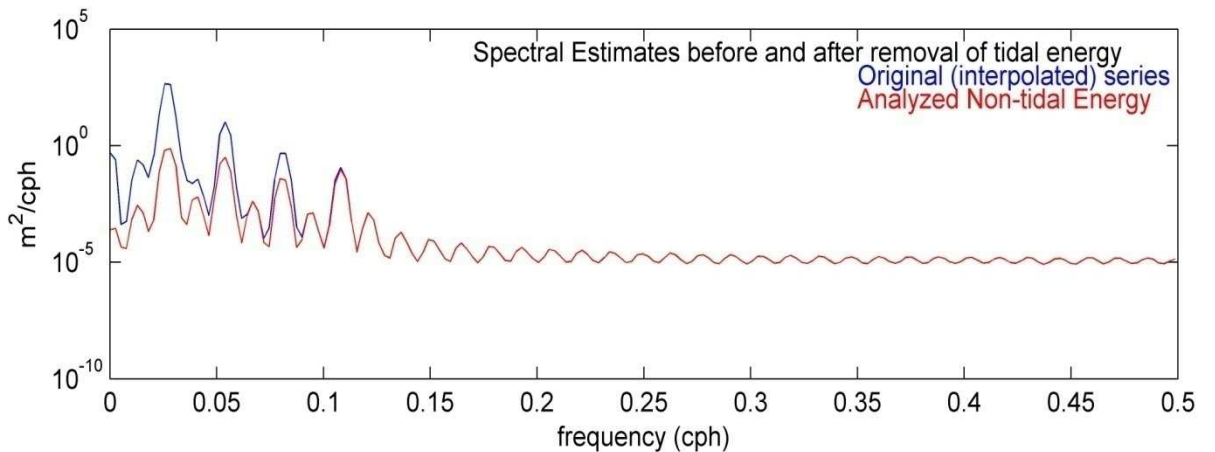
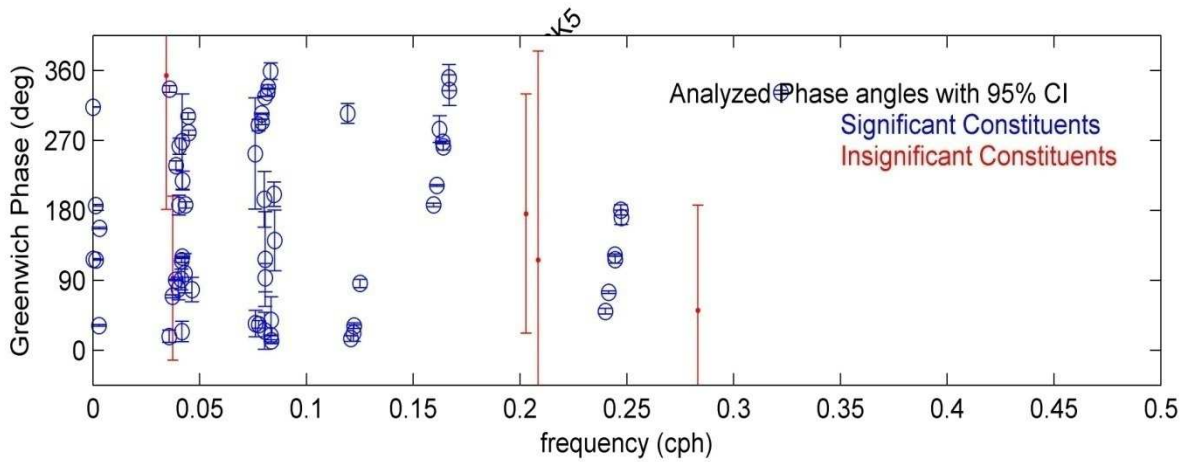
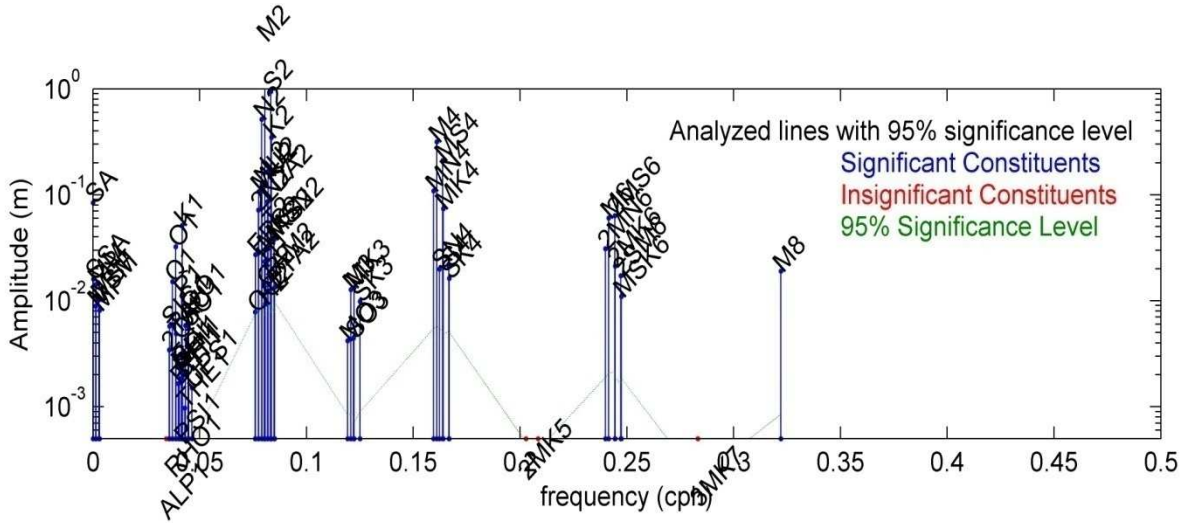
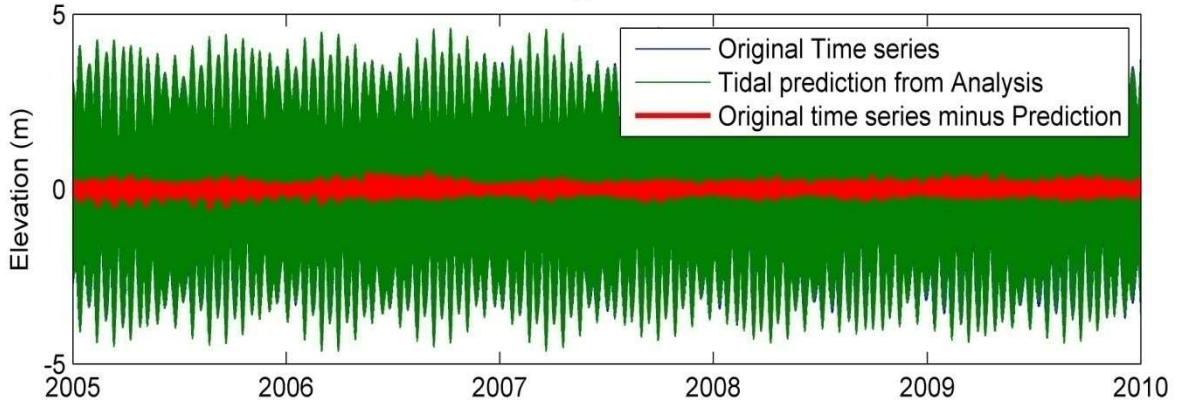
yerr(bd)=interp1(gd,yerr(gd),find(bd));
[Pxe,F]=pwelch(yerr(isfinite(ysig)),hanning(nfft),ceil(nfft/2),nfft,1);
Pxe=Pxe/2;

semilogy(F,Pxs);
line(F,Pxe,'color','r');
xlabel('frequency (cph)');
ylabel('m^2/cph');
text(.17,1e4,'Spectral Estimates before and after removal of tidal
energy');
text(.35,1e3,'Original (interpolated) series','color','b');
text(.35,1e2,'Analyzed Non-tidal Energy','color','r');

```



Use of t\_tide toolbox



## 8. Formation\_8\_EMD\_HSA.m

```
% Formation analyse de series organisee par Ingrid Puillat et Dhouha
Kbaier
% Lieu: Ifremer, Brest, France
% Dates: Mercredi 27 et Jeudi 28 Mai 2015 (Session1); puis Mercredi 3 et
Jeudi 4 Juin 2015 (Session 2)
% Auteur: Dhouha Kbaier Ben Ismail
% e-mail: dhouha.kbaier@ifremer.fr

%%
close all;
clear all;
global time_data;
global series_data;
global dt;

%% Telecharger vos donnes ici SANS INTERPOLATION et changer dt !!

% load('resume_ADCP_total_rotation.mat')
% for i=1:length(ADCP)
%     time_data(i,:)=ADCP(1).date;
%     series_data(i,:)=ADCP(i).u(:,2);
% end
%
% % dt=mean(diff(time_data)); % 10 min
% % dt=10/60;

load ('pascal_TS.mat');
for i=1:size(ti,2)
    time_data(i,:)=date;
    series_data(i,:)=ti(:,i);
end

dt=10/60; % toutes les 10 minutes

load('load_donnes_Marel.mat')

time1=timeTemp;time2=timeSali;time3=timeSeaLevel;time4=timeTurbi;
data1=Temp;data2=Sali;data3=SeaLevel;data4=Turbi;
time_data(1,:)=time1;time_data(2,:)=time2;time_data(3,:)=time3;time_data(4,
:)=time3;
series_data(1,:)=data1;series_data(2,:)=data2;series_data(3,:)=data3;series
_data(4,:)=data4;
%
% dt=20/60; % toutes les 20 minutes

%% Preparer les donnes: pas d interpolation et pas de NaN, juste les
instants auxquels les donnes ont bien ete mesurees

%% EMD
% for i=1:4
%     [imf,ort,nbits] =
emd(series_data(i,:)','T',time_data,'MAXITERATIONS',600);
```

```

%% [imf(i,:),ort(i,:),nbits(i,)] =
emd(series_data(i,:), 'T', time_data, 'STOP', [0.1,0.5,0.05], 'MAXITERATIONS', 2
000);
% end
[imf1,ort1,nbits1] =
emd(series_data(1,~isnan(series_data(1,:))), 'T', time_data(1,~isnan(series_
data(1,:))), 'MAXITERATIONS', 600);
[imf2,ort2,nbits2] =
emd(series_data(2,~isnan(series_data(2,:))), 'T', time_data(2,~isnan(series_
data(2,:))), 'MAXITERATIONS', 600);
[imf3,ort3,nbits3] =
emd(series_data(3,~isnan(series_data(3,:))), 'T', time_data(3,~isnan(series_
data(3,:))), 'MAXITERATIONS', 600);
[imf4,ort4,nbits4] =
emd(series_data(4,~isnan(series_data(4,:))), 'T', time_data(4,~isnan(series_
data(4,:))), 'MAXITERATIONS', 1200);

%% Visualisation des IMFs (Patrick Flandrin)
emd_visu(series_data(1,:), time_data(1,:), imf1);
% emd_visu(series_data(2,:), time_data(2,:), imf2);
% emd_visu(series_data(3,:), time_data(3,:), imf3);
% emd_visu(series_data(4,:), time_data(4,:), imf4);

%% Visualisation des IMFs (Dhouha Kbaier)
% Changer les 3 lignes suivantes pour imf, t et y
% imf=imf1;
% t=time_data(1,:);
% y=series_data(1,:);

imf=imf2(1:10,:);
t=time_data(2,:);
y=series_data(2,:);

n=size(imf,1);
Nbr= ceil(n/2);
if mod(n,2) == 0
    %on ne plot pas la serie d'origine
    origin=0;
else
    %on plot la serie d'origine
    origin=1;
end

figure
compteur=1;
if origin==1
    subplot(Nbr,2,compteur);
    compteur=compteur+1;
    plot(t,y);
%     ylabel('Temperature (°C)');
    ylabel('Salinity (PSU)');

    xlim([t(1) t(end)]);
    set(gca, 'xTick', [])
end

subplot(Nbr,2,2*Nbr); % le dernier plot doit toujours contenir le residu
plot(t,imf(n,:));
ylabel('Residual (PSU)');

```

```

% ylabel('Residual (°C)');
tlabel;xlim([t(1) t(end)]);

for i=1:n-1
    if (compteur<=Nbr)
        if origin ==0
            subplot(Nbr,2,2*i-1);
        else
            subplot(Nbr,2,2*i+1);
        end
        compteur=compteur+1;
    else % compteur > Nbr
        if origin ==0
            subplot(Nbr,2,2*i-n);
        else
            subplot(Nbr,2,2*i-(n-1));
        end
        compteur=compteur+1;
    end
    plot(t,imf(i,:));
    ylabel(['IMF',num2str(i),' (°C)']);tlabel;xlim([t(1) t(end)]);
    set(gca,'xTick',[])
end

for i=1:2*Nbr
    subplot(Nbr,2,i);
    tlabel;xlim([t(1) t(end)]);
end

print -djpeg -r600 Visual_IMF_Dhouha.jpeg
%% Calculation of mean instantaneous period of each IMF
meanPeriod(1,1:size(imf1,1)-1)=dt*(1./meanf(imf1));
meanPeriod(2,1:size(imf2,1)-1)=dt*(1./meanf(imf2));
meanPeriod(3,1:size(imf3,1)-1)=dt*(1./meanf(imf3));
meanPeriod(4,1:size(imf4,1)-1)=dt*(1./meanf(imf4));

%% Plot les residus pour pouvoir changer le parametre MAXITERATIONS
figure
plot(time_data(1,~isnan(series_data(1,:))),
imf1(end,:),time_data(2,~isnan(series_data(2,:))),
imf2(end,:),time_data(3,~isnan(series_data(3,:))),
imf3(end,:),time_data(4,~isnan(series_data(4,:))), imf4(end,:))
% plot(time_data(1,~isnan(series_data(1,:))), imf1(end,:));
tlabel
legend('Res. -1-', 'Res. -2-', 'Res. -3-', 'Res. -4-', 'location', 'northWest')

%% Significance des IMF's : les IMF's c'est vraiment du signal ou du bruit ?

% Significance properties of IMF:
% Combine White-Noise confidence Curve and IMF significance.
% 2 confidence limit 90% and 95% curves are plot as default value.

imf=imf1; % changer cette ligne
saveplot=0;
figure;
signiplotIMF( imf(:,2:end-1), saveplot);

%% Hilbert Spectral Analysis (HSA)

```

```

imf=imf1;           % changer cette ligne
time=time_data(1,:); % changer cette ligne

% Utilisation de la fonction 'hhspectrum' de Patrick Flandrin

Nmodes = size(imf(1:end-1,:),1);
[A,ff,tt] = hhspectrum(imf(1:end-1,:));
% outputs:
% - A   : instantaneous amplitudes
% - ff  : instantaneous frequencies
% - tt  : truncated time instants

%Calculation of mean instantaneous frequency of each IMF
mnf=ones(1,Nmodes);
f_inst=ff./dt;
for i=1:Nmodes
    mnf(i)=sum(f_inst(i,:).*(A(i,:)).^2)/norm(A(i,:))^2;
end

%Finding mean frequency
for z=1:size(imf,1)-1
    meanf=sum(norm(A(z,:).*mnf(z)))/sum(norm(A(z,:)));
end

% Set time-frequency plots.
figure
for i=1: Nmodes
    scatter(time(2:end-1),f_inst(i,:),5,A(i,:),'fill'); % a²: Hilbert
    Aplitude / Energy Spectrum replace A(i,:) by A(i,:).^2
    tlabel;
    set(gca,'FontSize',8,'XLim',[time(2) time(end)],'YLim',[0
max(max(f_inst))]);
    colorbar;
    grid on;
    hold on
    % xlabel('Time');
    ylabel('Frequency (cpd)','FontSize',10);
    zlabel('Amplitude');
    % zlabel('Energy');
    % title('Hilbert Amplitude Spectrum','FontSize',12);
    title('Hilbert Energy Spectrum','FontSize',12);
ylim([0 3]) % changer cette ligne
end
% print -djpeg -r600 HilbertEnergySpectrum.jpeg

%% Spectre marginal de Hilbert versus spectre de Fourier

imf=imf1;           % Changer cette ligne si besoin
time=time_data(1,:); % Changer cette ligne si besoin
data=series_data(1,:); % Changer cette ligne si besoin

samplerate=1/dt;
hsp_fre1=3;
freqsol=400;
timesol=800;

% Hilbert-Spectrum

```

```

[nt,tscale,fscale]=nnspe(imf', time(1),time(end), freqsol, timesol,
0.00001, hsp_fre1,time(1),time(end),'hilbtm','spline',5);

% marginal spectrum
ms=sum(nt,2);
% Fourier spectrum
[Pxx,w] =pwelch(data,[],[],[],samplerate,'onesided');

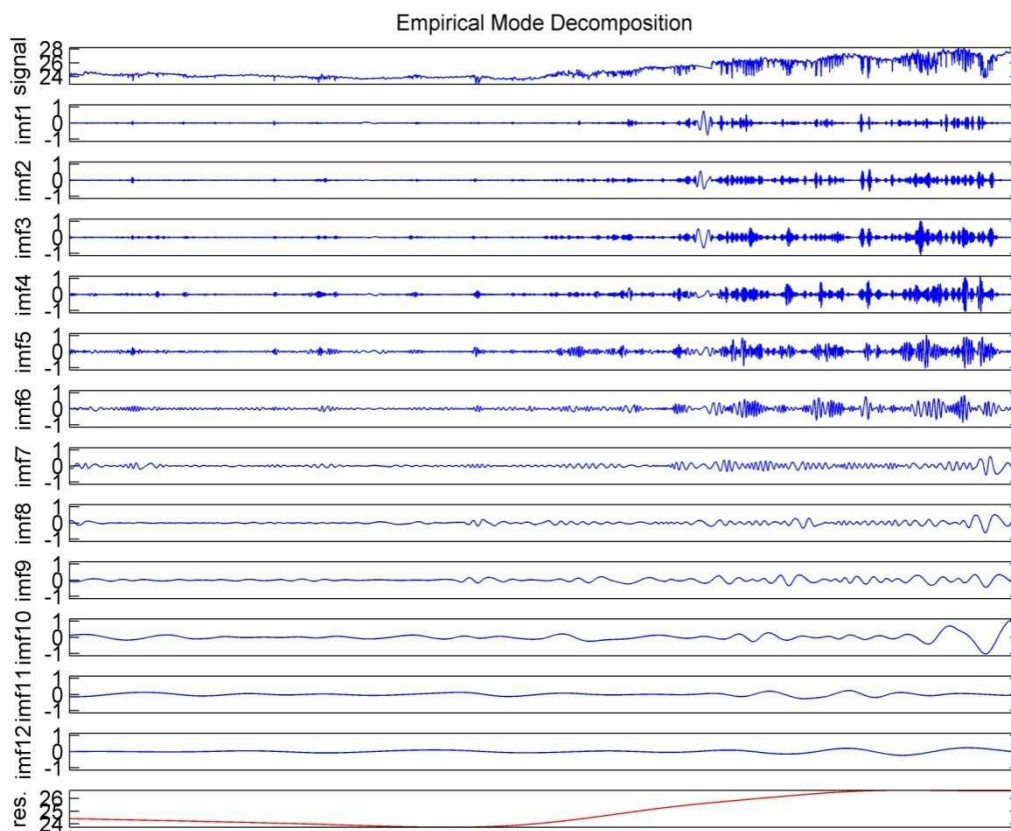
% Calculate comparison coefficients ,and multiply to those spectrums
% comparison coefficients
hco=samplerate/2/hsp_fre1;
fco=2*samplerate*(length(imf))/2/freqsol;

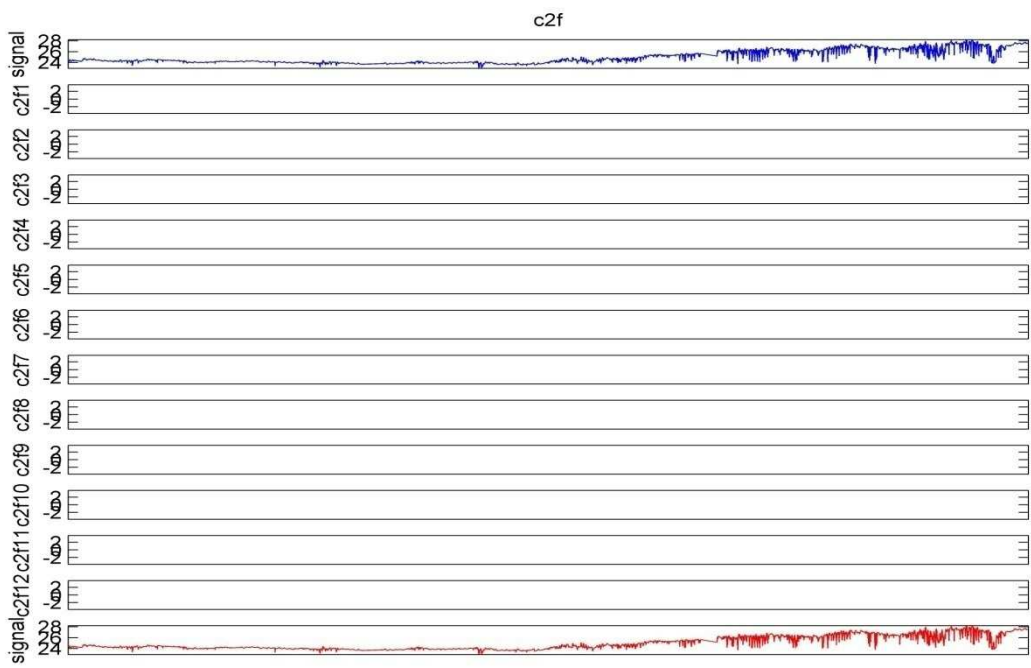
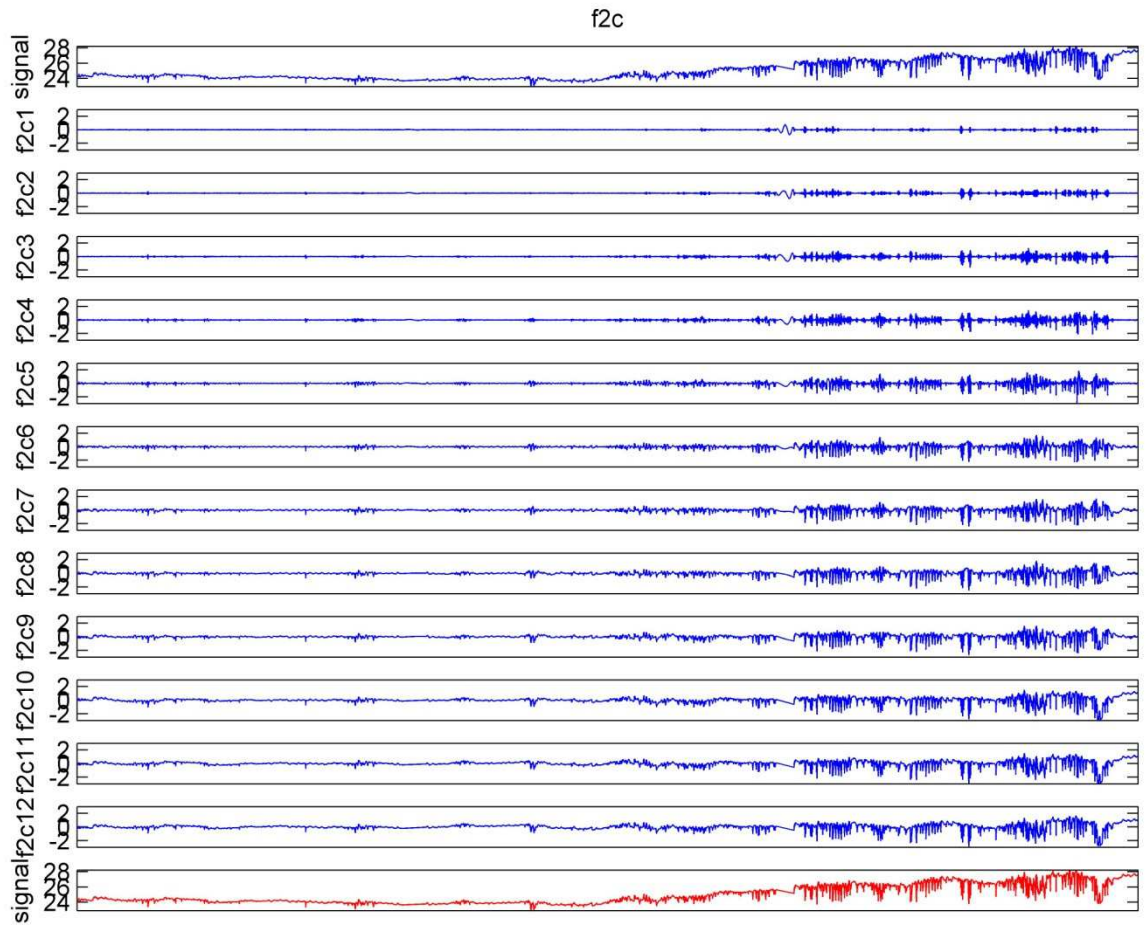
% plot two different kind of spectrum together
figure
loglog(w(1:end),fco*Pxx(1:end),'r',fscale(1:end),hco*ms(1:end),'b');

xlabel('Frequency (cycle per
day) ','fontsize',10,'FontWeight','bold','VerticalAlignment','middle')
ylabel('C^2_n(Marginal Spectrum) ','fontsize',10,'FontWeight','bold');
legend('Fourier Power Spectrum','Marginal Hilbert Spectrum');
title('Marginal Hilbert Energy Spectrum versus Fourier Power
Spectrum','fontsize',10,'FontWeight','bold')
grid on

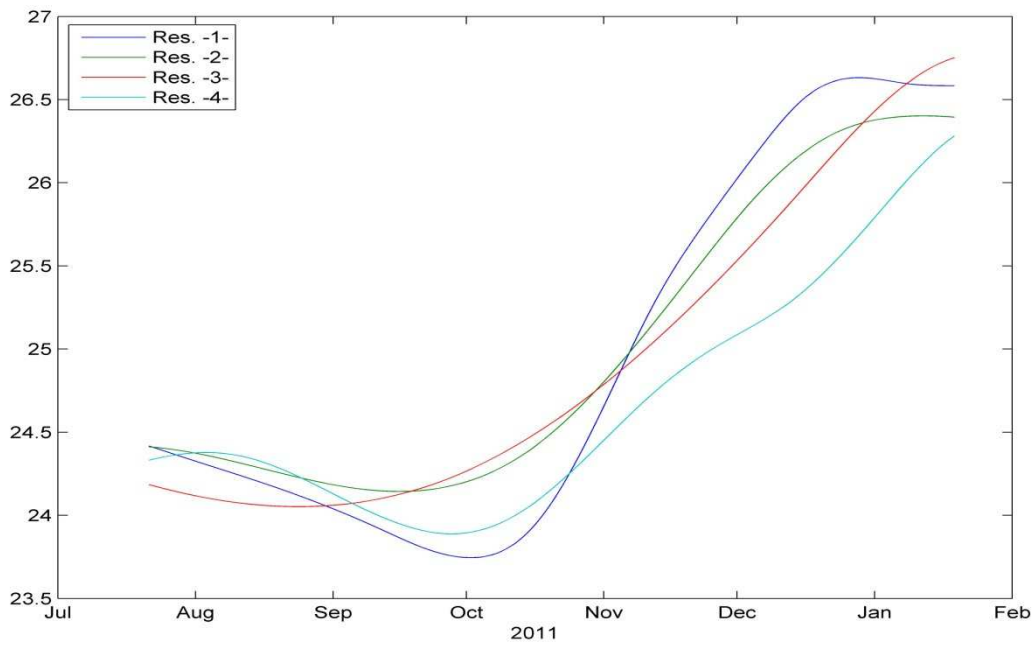
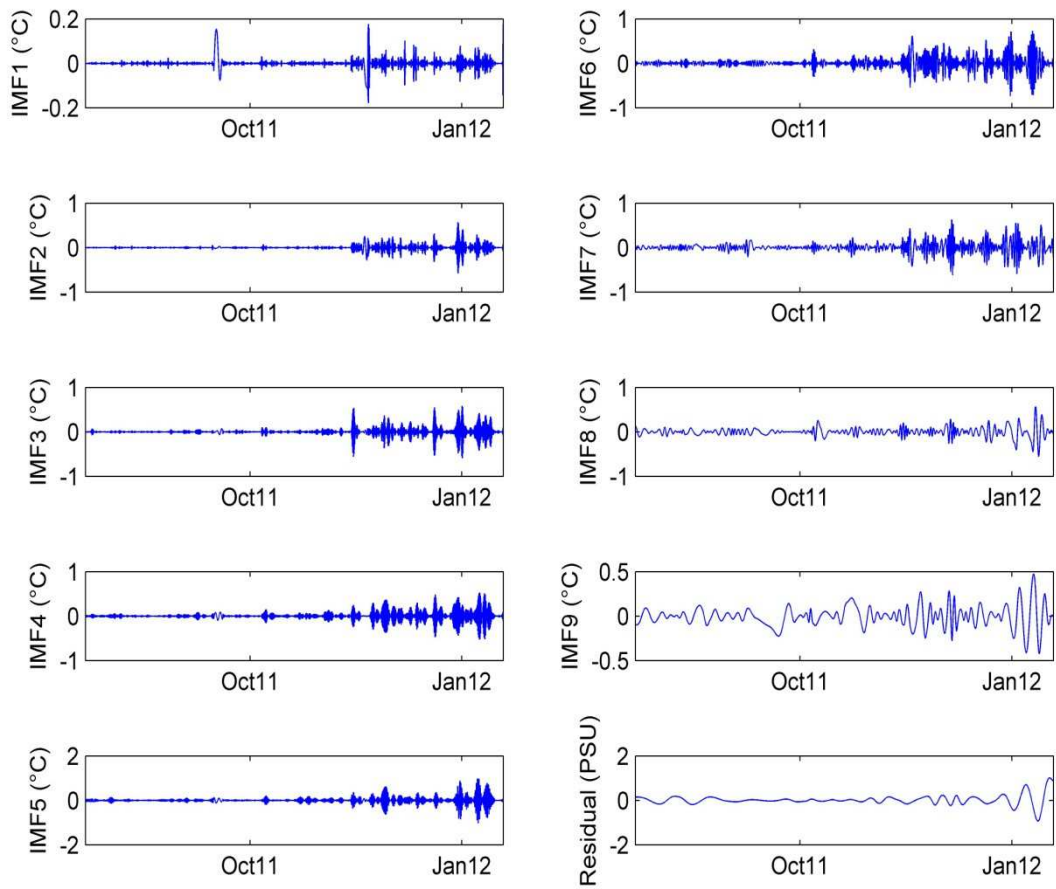
% print -dbmp -r600 marginal_hilbert_spectrum.bmp

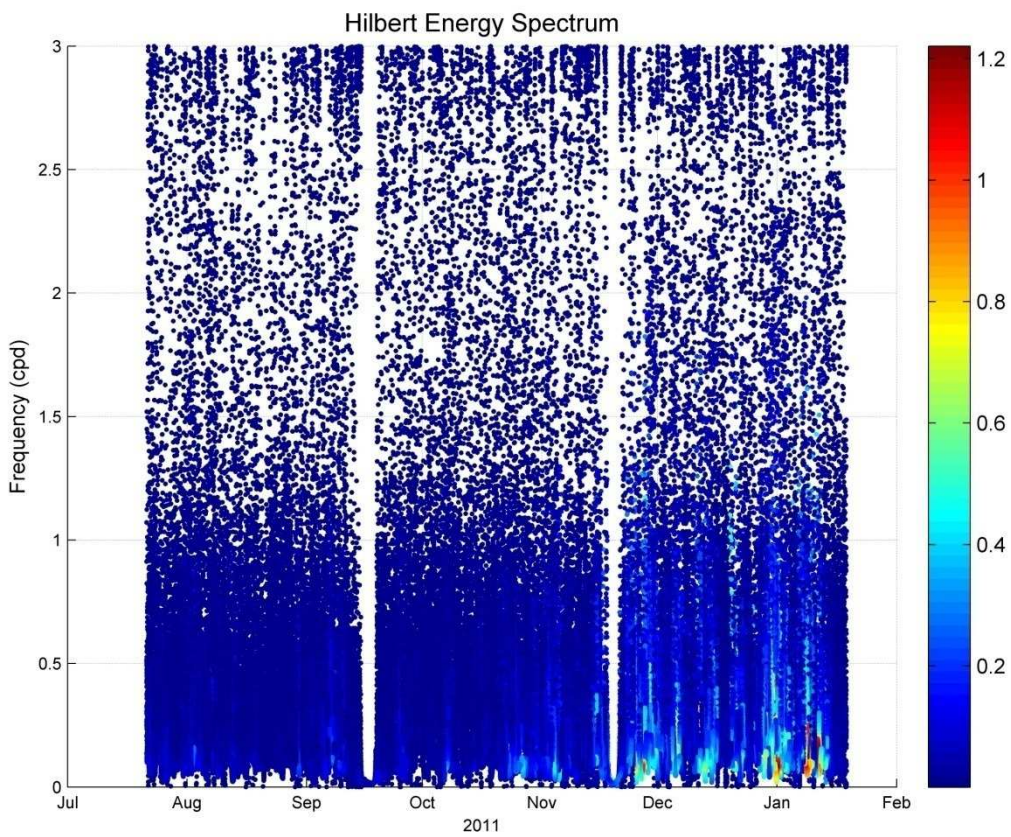
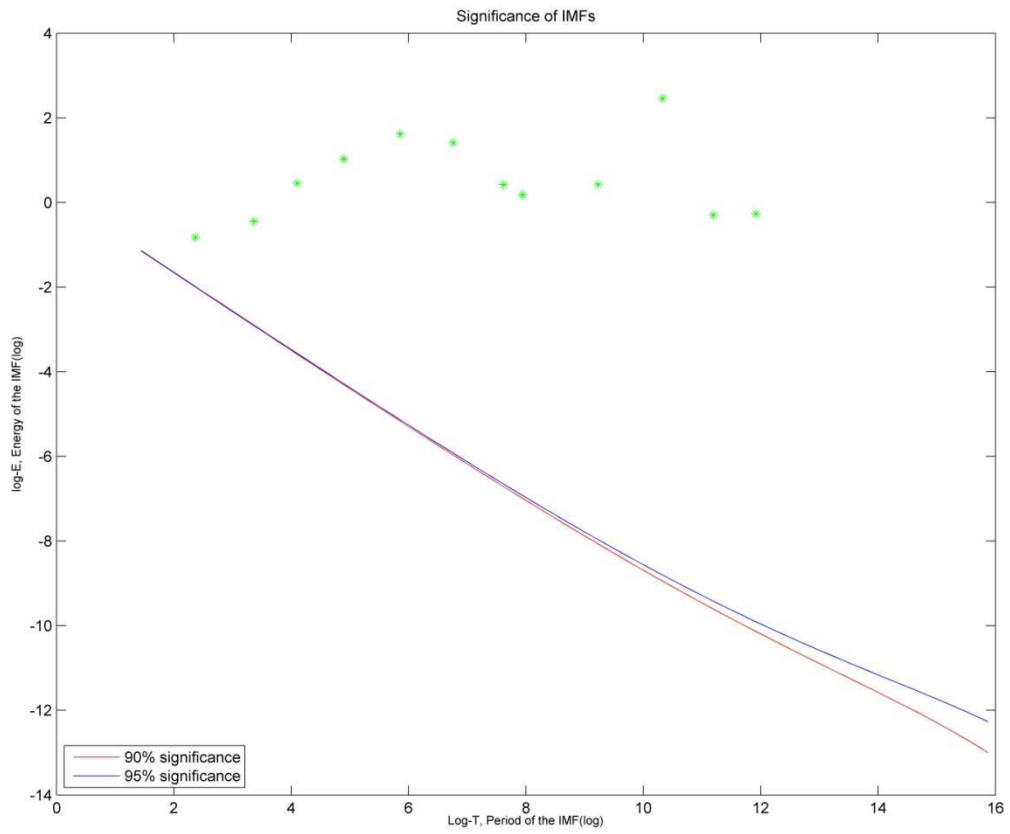
```











## 9. Formation\_9\_Correlations\_IMFs.m

```
% Formation analyse de series organisee par Ingrid Puillat et Dhouha
Kbaier
% Lieu: Ifremer, Brest, France
% Dates: Mercredi 27 et Jeudi 28 Mai 2015 (Session1); puis Mercredi 3 et
Jeudi 4 Juin 2015 (Session 2)
% Auteur: Dhouha Kbaier Ben Ismail
% e-mail: dhouha.kbaier@ifremer.fr

%%
close all;
clear all;
global time_data;
global series_data;
global dt;

%% Telecharger vos donnes ici SANS INTERPOLATION et changer dt

% load('resume_ADCP_total_rotation.mat')
% for i=1:length(ADCP)
%     time_data(i,:)=ADCP(1).date;
%     series_data(i,:)=ADCP(i).u(:,2);
% end
%
% % dt=mean(diff(time_data)); % 10 min
% % dt=10/60;

load ('pascal_TS.mat');
for i=1:size(ti,2)
    time_data(i,:)=date;
    series_data(i,:)=ti(:,i);
end

dt=10/60; % toutes les 10 minutes

% load('load_donnes_Marel.mat')
%
% time1=timeTemp;time2=timeSali;time3=timeSeaLevel;time4=timeTurbi;
% data1=Temp;data2=Sali;data3=SeaLevel;data4=Turbi;
%
time_data(1,:)=time1;time_data(2,:)=time2;time_data(3,:)=time3;time_data(4,
:)=time3;
%
series_data(1,:)=data1;series_data(2,:)=data2;series_data(3,:)=data3;series
_data(4,:)=data4;
%
% dt=20/60; % toutes les 20 minutes

%% Preparer les donnes: pas d interpolation et pas de NaN, juste les
instants auxquels les donnes ont bien ete mesurees

%% EMD
[imf1,ort1,nbits1] =
emd(series_data(1,~isnan(series_data(1,:))), 'T',time_data(1,~isnan(series_
data(1,:))), 'MAXITERATIONS',600);
```

```

[imf2,ort2,nbits2] =
emd(series_data(2,~isnan(series_data(2,:))), 'T',time_data(2,~isnan(series_
data(2,:))), 'MAXITERATIONS',600);
[imf3,ort3,nbits3] =
emd(series_data(3,~isnan(series_data(3,:))), 'T',time_data(3,~isnan(series_
data(3,:))), 'MAXITERATIONS',600);
[imf4,ort4,nbits4] =
emd(series_data(4,~isnan(series_data(4,:))), 'T',time_data(4,~isnan(series_
data(4,:))), 'MAXITERATIONS',2000);

%% Calculation of mean instantaneous period of each IMF

meanPeriod(1,1:size(imf1,1)-1)=mean(diff(time_data(1,:))*(1./meanf(imf1)));
meanPeriod(2,1:size(imf2,1)-1)=mean(diff(time_data(2,:))*(1./meanf(imf2)));
meanPeriod(3,1:size(imf3,1)-1)=mean(diff(time_data(3,:))*(1./meanf(imf3)));
meanPeriod(4,1:size(imf4,1)-1)=mean(diff(time_data(4,:))*(1./meanf(imf4)));

%% Cross correlation globale entre les deux series d origine
time1=time_data(1,:); % changer cette ligne
time2=time_data(2,:); % changer cette ligne
data1=series_data(1,:); % changer cette ligne
data2=series_data(2,:); % changer cette ligne
% seriesname={'u(S1)' 'u(S2)' 'u(S3)' 'u(S4)'};
seriesname={'Temp1' 'Temp2'}; % changer cette ligne

% s'il y a des NaN, ne pas les considerer et interpoler les donnees sur le
% meme axe de temps

% Normalising the data
data1=(data1-mean(data1))/std(data1);
data2=(data2-mean(data2))/std(data2);
[acor,lags] = xcorr(data1,data2,'coeff');
[maxCorr,I] = max(abs(acor));
tau = lags(I); % data 2 leads data 1 by tau samples

figure,

subplot(411); plot(time1, data1); tlabel; xlim([time1(1) time1(end)]);
title(seriesname(1),'fontweight', 'bold');

subplot(412); plot(time2, data2); tlabel; xlim([time2(1) time2(end)]);
title(seriesname(2),'fontweight', 'bold');

subplot(413); plot(lags,acor);
xlabel('lag index','fontweight', 'bold');
title(['Cross-correlation between ' seriesname(1) ' and '
seriesname(2)],'fontweight', 'bold')

subplot(414);
dt=10/60; % 10 min à transformer en heures
plot(lags*dt,acor);
grid on;
xlabel('Time lag (hours)','FontSize',10,'fontweight', 'bold')
title('Zoom (Cross-correlation)','fontweight', 'bold')

smin=min(abs(acor));
smax=maxCorr+0.01;

```

```

hold on; plot([tau*dt tau*dt],[smin smax], '-.r', 'Linewidth', 2)
xlim([-10 10]);
text(tau *dt, maxCorr, [' \leftarrow (', num2str(tau*dt*60), ' min, ',
num2str(maxCorr), ')'], 'FontSize', 10, 'fontweight', 'bold', 'Color', 'r')

%% Maintenant on va choisir des IMFs pour faire la cross correlation
% Pour cela, on choisit des IMFs ayant des periodes moyennes proches
% On fait une figure qui nous permet de mieux les visualiser

figure
semilogy(1:1:size(imf1,1)-1, meanPeriod(1, 1:size(imf1,1)-1), '*b')
hold on
semilogy(1:1:size(imf2,1)-1, meanPeriod(2, 1:size(imf2,1)-1), '+r')

tttttt=0:1:size(imf1,1)-1;
% alpha et gamma --> Parametres a modifier
alpha=exp(-3.3); % Parametres a modifier
gamma=exp(0.61); % Parametres a modifier
% Pour trouver ces parametres, il faut faire les deux plot suivants et
% faire un linear fitting
% plot(1:1:size(imf1,1)-1, log(meanPeriod1(1, 1:size(imf1,1)-1)), '*b');
% plot(1:1:size(imf2,1)-1, log(meanPeriod1(1, 1:size(imf2,1)-1)), '+r');

hold on
plot(tttttt, alpha*(gamma.^tttttt), 'g')

pM2=12.42 ;cpdM2=24/pM2;
pK1=23.93 ;cpdK1=24/pK1;
plot([tttttt(1) tttttt(end)], [1/cpdK1 1/cpdK1], '--k')
text( 1/cpdK1, 1.3*(1/cpdK1), '$K1$', 'interpreter', 'latex', 'fontsize', 10)
plot([tttttt(1) tttttt(end)], [1/cpdM2 1/cpdM2], '--k')
text( 1/cpdM2, 1.3*(1/cpdM2), '$M2$', 'interpreter', 'latex', 'fontsize', 10)

xlabel('Mode index', 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
ylabel('Mean period (days)', 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Temp1', 'Temp2', 'fitting', 'location', 'northWest')
% legend(seriesname(1), seriesname(2), 'fitting')

print -djpeg -r600 IMFs_mean_periods_Comparisons.jpeg

%% Maintenant on choisit les IMFs par pairs pour faire les correlations

numberMode=1; % changer cette ligne
numberModel=5; % changer cette ligne
numberMode2=5; % changer cette ligne
for numberMode=1:min(size(imf1,1), size(imf2,1))
% Normalising the data
NormIMF1=(imf1(numberMode, :)-
mean(imf1(numberMode, :)))/std(imf1(numberMode, :));
NormIMF2=(imf2(numberMode, :)-
mean(imf2(numberMode, :)))/std(imf2(numberMode, :));
[acor, lags] = xcorr( NormIMF1, NormIMF2, 'coeff');
[maxCorr , I] = max(abs(acor));
tau = lags(I);
dt=mean(diff(time_data(1, :)))*24*60;
leLagMinutes(numberMode)=tau *dt;

```

```

        leLagDays(numberMode)=tau*mean(diff(time_data(1,:)));
        laCorrelation(numberMode)=maxCorr;
end

%% Calcul de la contribution des IMFs à l energie totale --> Quelles sont
les IMFs les plus energetiques ?

for i=1:size(imf1,1)-1
    variance_IMFs(i,1)=var(imf1(i,:));
end
for i=1:size(imf2,1)
    variance_IMFs(i,2)=var(imf2(i,:));
end

somme_variance(1)=0;
somme_variance(2)=0;
for i=1:size(variance_IMFs,1)
    somme_variance(1)= somme_variance(1)+variance_IMFs(i,1);
    somme_variance(2)= somme_variance(2)+variance_IMFs(i,2);
end

for i=1:size(imf1,1)-1
    percentage_Of_Total(i,1)=100*variance_IMFs(i,1)/somme_variance(1);
end
for i=1:size(imf2,1)-1
    percentage_Of_Total(i,2)=100*variance_IMFs(i,2)/somme_variance(2);
end

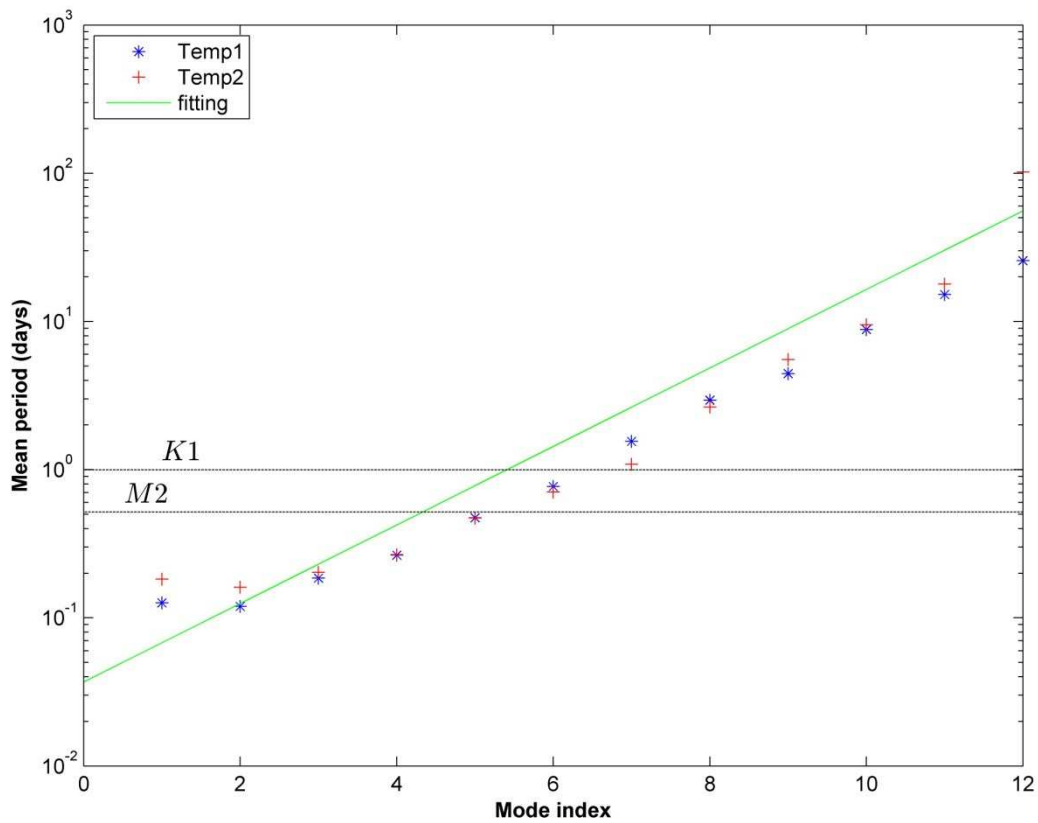
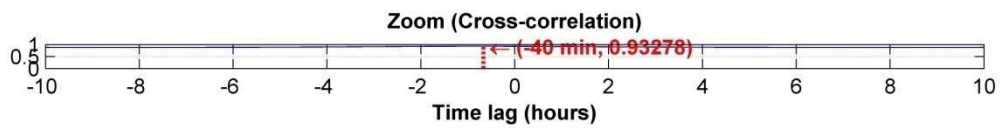
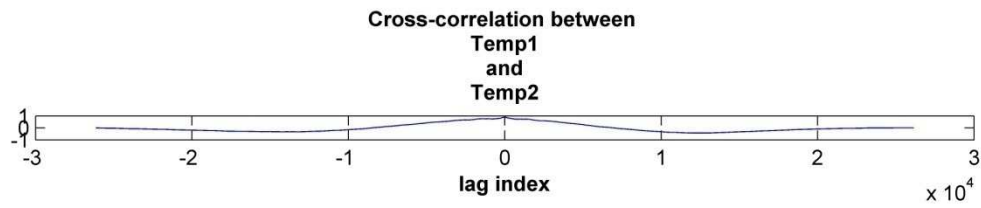
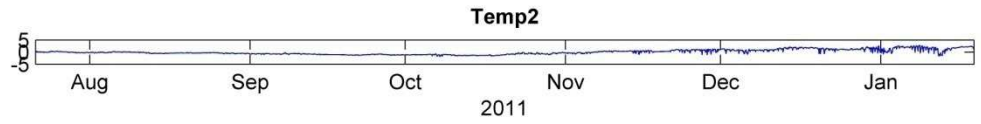
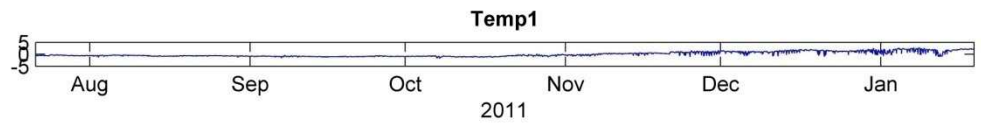
somme_percentage(1)=0;
somme_percentage(2)=0;
for i=1:size(percentage_Of_Total,1)
    somme_percentage(1)= somme_percentage(1)+ percentage_Of_Total(i,1);
    somme_percentage(2)= somme_percentage(2)+ percentage_Of_Total(i,2);
end

cumul_variance_IMFs(1,1)=var(imf1(1,:));
cumul_variance_IMFs(1,2)=var(imf2(1,:));
for i=2:size(imf1,1)
    cumul_variance_IMFs(i,1)=cumul_variance_IMFs(i-1,1)+var(imf1(i,:));
    cumul_variance_IMFs(i,2)=cumul_variance_IMFs(i-1,2)+var(imf2(i,:));
end

cumul_percentage(1)=percentage_Of_Total(1,1);
for i=2:size(percentage_Of_Total,1)
    cumul_percentage(i)=cumul_percentage(i-1)+percentage_Of_Total(i,1);
end

affichage=[meanPeriod(1:2,:) ' percentage_Of_Total'];
display('Mean periods of the IMFs (2 columns) & their contributions to the
total energy (2 columns)');
disp(affichage);

```



## 10. Formation\_10\_TDIC.m

```
%% Formation analyse de series organisee par Ingrid Puillat et Dhouha
Kbaier
% Lieu: Ifremer, Brest, France
% Dates: Mercredi 27 et Jeudi 28 Mai 2015 (Session1); puis Mercredi 3 et
Jeudi 4 Juin 2015 (Session 2)
% Auteur: Dhouha Kbaier Ben Ismail
% e-mail: dhouha.kbaier@ifremer.fr

%%
% close all;
% clear all;
global time_data;
global series_data;

%% Telecharger vos donnes ici SANS INTERPOLATION

% load('resume_ADCP_total_rotation.mat')
% for i=1:length(ADCP)
%     time_data(i,:)=ADCP(1).date;
%     series_data(i,:)=ADCP(i).u(:,2);
% end
%
% % dt=mean(diff(time_data)); % 10 min
% % dt=10/60;

load ('pascal_TS.mat');
for i=1:size(ti,2)
    time_data(i,:)=date;
    series_data(i,:)=ti(:,i);
end

% load('load_donnes_Marel.mat')
%
% time1=timeTemp;time2=timeSali;time3=timeSeaLevel;time4=timeTurbi;
% data1=Temp;data2=Sali;data3=SeaLevel;data4=Turbi;
%
time_data(1,:)=time1;time_data(2,:)=time2;time_data(3,:)=time3;time_data(4,
:)=time3;
%
series_data(1,:)=data1;series_data(2,:)=data2;series_data(3,:)=data3;series
_data(4,:)=data4;
%
% dt=20/60; % toutes les 20 minutes

%% Preparer les donnes: pas d interpolation et pas de NaN, juste les
instants auxquels les donnes ont bien ete mesurees

%% EMD
[imf1,ort1,nbits1] =
emd(series_data(1,~isnan(series_data(1,:))), 'T',time_data(1,~isnan(series_
data(1,:))), 'MAXITERATIONS',600);
[imf2,ort2,nbits2] =
emd(series_data(2,~isnan(series_data(2,:))), 'T',time_data(2,~isnan(series_
data(2,:))), 'MAXITERATIONS',600);
```



```

[imf3,ort3,nbits3] =
emd(series_data(3,~isnan(series_data(3,:))), 'T',time_data(3,~isnan(series_
data(3,:))), 'MAXITERATIONS',600);
[imf4,ort4,nbits4] =
emd(series_data(4,~isnan(series_data(4,:))), 'T',time_data(4,~isnan(series_
data(4,:))), 'MAXITERATIONS',2000);

%% Calculation of mean instantaneous period of each IMF

meanPeriod(1,1:size(imf1,1)-1)=mean(diff(time_data(1,:))*(1./meanf(imf1)));
meanPeriod(2,1:size(imf2,1)-1)=mean(diff(time_data(2,:))*(1./meanf(imf2)));
meanPeriod(3,1:size(imf3,1)-1)=mean(diff(time_data(3,:))*(1./meanf(imf3)));
meanPeriod(4,1:size(imf4,1)-1)=mean(diff(time_data(4,:))*(1./meanf(imf4)));

%% Choisir les IMFs pour faire la cross-correlation avec TDIC

numberMode=8;% changer cette ligne
if mod(size(imf1,2),2) ==0
    x1=imf1(numberMode,1:end);
    y1=imf2(numberMode,1:end);
else
    x1=imf1(numberMode,1:end-1);
    y1=imf2(numberMode,1:end-1);
end

% il vaut mieux faire l echantillonnage a ce niveau
% x=x1;
% y=y1;
x=x1(1:10:end);
y=y1(1:10:end);
axeTemps= time_data(1,1:10:end);
%% Methode TDIC
pp=maxlocalperiod(x,y); % local time period provided by the zero?crossing
method
ntime=floor(length(x)/1) ; % ntime is the maximum window size
nct=fix(ntime/2); % nct is the maximum size of moving time window
tic
[c,p,tx,scale]=tdic(x,y,pp,ntime,nct);
% [c,p,tx,scale]=tdic(x,y,pp);
toc
% les outputs :
% c is the correlation matrix
% p is the indicator for student-test
% tx is the time axis
% scale is the time scale

MatrixPlot=c.*p;
% dlmwrite('resultat_TDIC.txt',MatrixPlot,'delimiter','
','precision','% .4f','newline','pc');
% On recupere 10% de la matrice pour faire le plot
% % % % j=1;
% % % % for i=1:size(MatrixPlot,1)
% % % %     if mod(i,10)==0
% % % %         B(j,:)=MatrixPlot(i,:);
% % % %         j=j+1;
% % % %     end
% % % % end
% % % % dlmwrite('B_submatrix_resultat_TDIC.txt',B,'delimiter','
','precision','% .4f','newline','pc');
% % % %

```

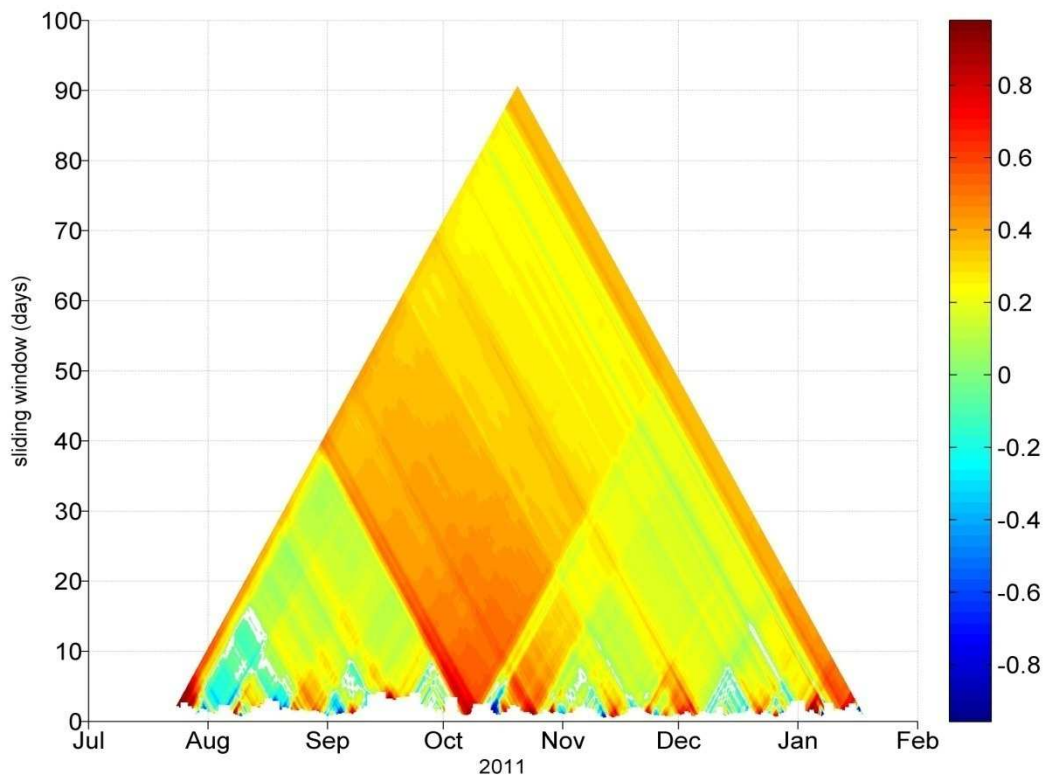
```

% % % % L=length(B);

% Si necessaire, on peut encore reduire les echantillons de la matrice
% % % % j=1;
% % % % for i=1:size(B,1)
% % % %     if mod(i,3)==0
% % % %         B2(j,:)=B(i,:);
% % % %         j=j+1;
% % % %     end
% % % % end

% clear MatrixPlot;clear B;
epsilon =30; % changer ce parametre
scale_=1:30:size(scale,2)-epsilon;
h=figure
set(gcf, 'Visible', 'off')
%
surf(time_data(1:length(MatrixPlot)),scale*mean(diff(time_data(1,:))),Matrix
Plot, 'edgecolor', 'none')
%
surf(time_data(1:L),scale_*mean(diff(time_data(1,:))),B, 'edgecolor', 'none')
surf(axeTemps,scale*mean(diff(time_data(1,:))),MatrixPlot, 'edgecolor', 'none
')
xlabel
axis xy
view(0,90)
colorbar
ylabel ('sliding window (days)')
set(gca, 'ticklength', [-0.01,0.025])
set(gca, 'FontSize',12)
print -djpeg -zbuffer -r600 TDIC.jpeg

```



## 11. Formation\_11\_wavelets.m

```
% Formation analyse de series organisee par Ingrid Puillat et Dhouha
Kbaier
% Lieu: Ifremer, Brest, France
% Dates: Mercredi 27 et Jeudi 28 Mai 2015 (Session1); puis Mercredi 3 et
Jeudi 4 Juin 2015 (Session 2)
% Auteur: Dhouha Kbaier Ben Ismail
% e-mail: dhouha.kbaier@ifremer.fr

%%
clear all;
close all;
global time1;
global time2;
global time3;
global time4;

global data1;
global data2;
global data3;
global data4;

% Telecharger vos donnees ici AVEC INTERPOLATION car on va faire des
ondelettes

load ('Pascal_TS.mat');
time1=date;
data1=ti(:,1);
time2=date;
data2=ti(:,2);
time3=date;
data3=ti(:,3);
time4=date;
data4=ti(:,4);
seriesname={'Temp1' 'Temp2' 'Temp3' 'Temp4'};

% load('load_donnes_Marel.mat')
% time1=timeTemp;time2=timeSali;time3=timeSeaLevel;time4=timeTurbi;
% data1=Temp;data2=Sali;data3=SeaLevel;data4=Turbi;
%
% seriesname={'Temperature' 'Salinity','Sea level','Turbidity'};

% load('resume_ADCP_total_rotation.mat')
% time_data=ADCP(1).date;
% data1=ADCP(1).u(:,2);
% data2=ADCP(2).u(:,2);
% data3=ADCP(3).u(:,2);
% data4=ADCP(4).u(:,2);
% seriesname={'U(S1)' 'U(S2)' 'U(S3)' 'U(S4)'};

% deltat =mean(diff(x_data));
deltat =20/(24*60); % 10 min pour les donnees ile de la Runion et 20 min
pour Marel Carnot

% Preparer les donnees pour CWT, XWT et CWT --> il faut interpoler et avoir
un meme axe de temps qui servira pour la cross correlation
```

```

time=(time1(1): 10/(60*24):time1(end))'; % meme axe de temps qui servira
pour la cross correlation
data1=interp1(time1,data1,time) ;
data2=interp1(time2,data2,time) ;
data3=interp1(time3,data3,time) ;
data4=interp1(time4,data4,time) ;

data1(isnan(data1))=interp1(find(~isnan(data1)), data1(~isnan(data1)),
find(isnan(data1)));
data2(isnan(data2))=interp1(find(~isnan(data2)), data2(~isnan(data2)),
find(isnan(data2)));
data3(isnan(data3))=interp1(find(~isnan(data3)), data2(~isnan(data3)),
find(isnan(data3)));
data4(isnan(data4))=interp1(find(~isnan(data4)), data2(~isnan(data4)),
find(isnan(data4)));

%% Preparer pour le calcul des ondelettes
d1=[time,data1];
d2=[time,data2];
d3=[time,data3];
d4=[time,data4];

%% Continuous wavelet transform (CWT)
tlim=[min(d1(1,1),d2(1,1)) max(d1(end,1),d2(end,1))];
superposition =1;
if superposition ==1
    [imf1,ort1,nbits1] =
emd(data1(~isnan(data1))', 'T', time1(~isnan(time1)), 'MAXITERATIONS', 600);
    meanPeriod1=mean(diff(time1))*(1./meanf(imf1));
end
figure(1)
% subplot(2,2,1);
wt(d1);
title(seriesname{1});
set(gca, 'xlim', tlim);
tlabel
xlim([time(1) time(end)])
% Choisir si on superpose les IMFs ou pas
for i=1:length(meanPeriod1)
    hold on
    plot([time(1) time(end)], [log2(meanPeriod1(i)) log2(meanPeriod1(i))], '-
-bs')
    text(min(time)+10, log2(meanPeriod1(i)), ['T(IMF', num2str(i), ')'])
end
tlabel
xlim([time(1) time(end)])
% subplot(2,2,2)
% wt(d2)
% title(seriesname{2})
% set(gca, 'xlim', tlim)
% tlabel
% xlim([time(1) time(end)])
%
% subplot(2,2,3);
% wt(d3);
% title(seriesname{3});
% set(gca, 'xlim', tlim);
% tlabel
% xlim([time(1) time(end)])
%

```

```

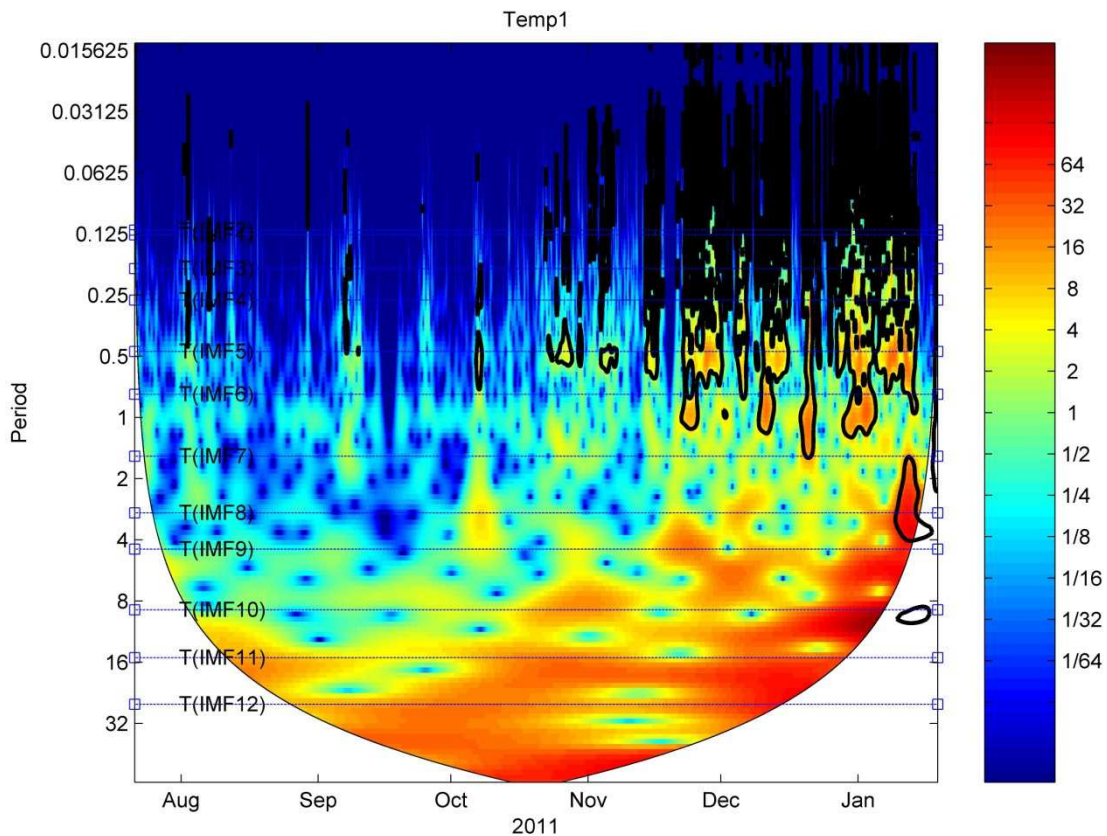
% subplot(2,2,4)
% wt(d4)
% title(seriesname{4})
% set(gca,'xlim',tlim)
% tlabel
% xlim([time(1) time(end)])

% set(gcf,'renderer','zbuffer');
% print -djpeg -r600 CWT.jpeg

%% Wavelet Coherence (WTC)
% % % % figure
% % % % wtc(d1,d2,'mcc',0) % choisir les series qu on veut
% % % % wtc(d1,d2)
% % % % title(['WTC: ' seriesname{1} '-' seriesname{2} ] )
% % % % tlabel
% % % % xlim([time(1) time(end)])
% % % % % set(gcf,'renderer','zbuffer');
% % % % % print -djpeg -r600 WTC.jpeg

%% Cross wavelet (XWT)
% % % % figure
% % % % xwt(d3,d4)
% % % % title(['XWT: ' seriesname{3} '-' seriesname{4} ] )
% % % % tlabel
% % % % xlim([time(1) time(end)])
% % % % % set(gcf,'renderer','zbuffer');
% % % % % print -djpeg -r600 XWT.jpeg

```



## Fiche d'évaluation de la formation « Analyse de Séries Temporelles »

Formation proposée par : Dhouha Kbaier (IFREMER, REM/RDT/LSCM)  
Co-organisée avec Ingrid Puillat (IFREMER, ODE/DYNECO/PHYSED)

Dates de la formation : 3 et 4 Juin 2015 (2<sup>ème</sup> Session)  
Lieu de la formation : Salle de formation, Ifremer, Brest

### Informations sur le participant :

Nom (facultatif) : Floc'h Prénom (facultatif) : France  
Fonction/Profil : Maître de conférence  
Laboratoire/Département : Domaines Océaniques IUEM

L'organisation de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
<b>Avant</b>				
- la formation (contenus, objectifs...) est clairement définie	X			
- la gestion des invitations est satisfaisante	X			
<b>Pendant</b>				
- les locaux sont adaptés à la réalisation de la formation	X			
- l'équipement de la salle est adapté	X			
- les conditions de restauration sont satisfaisantes	X			
- les horaires sont respectés		X		
Etes-vous satisfait des conditions d'organisation ?	X			

### Vos remarques et vos propositions d'amélioration :

-  
-

Le déroulement pédagogique de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique utilisée favorise la dynamique du groupe	X			
- le rythme de la formation est satisfaisant		X		
- la durée totale de la formation est satisfaisante		X		
- les objectifs annoncés sont atteints	X			
- le contenu de la formation répond aux objectifs annoncés	X			
- le lien entre les différents moments est assuré	X			
- la documentation fournie est pertinente	X			
- clarté du contenu	X			
- qualité des outils utilisés par l'enseignant (Diapo, transparent, schéma, polycop.)	X			
- qualité de la présentation	X			
- qualité de l'animation de la formation	X			
- compréhension du cours (degré de satisfaction)	X			
- qualité pédagogique de la formatrice (manière d'expliquer, de faire parvenir le message...)	XXX			
- interactivité avec les participants	X			
- bénéfice global de la formation	X			
- pensez-vous que les objectifs de la formation sont atteints ?	X			
- avis général sur la formation	X			

**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

- Très satisfaite, Dhouha a une grande qualité pédagogique et est très enthousiaste.

-

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail	X			
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences	X			
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle	X			
- je souhaite donner une suite à cette formation	?			

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

- Je vais utiliser dans quasi toutes mes recherches les techniques de travail acquises au cours de cette formation.

- J'aimerais avoir une liste des papiers à citer (notamment ceux de Dhouha) quand j'utilise telle ou telle techniques (déjà donnée en partie dans la présentation pdf)

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

1. Citez 2 points forts de la formation

- qualité pédagogique de la formatrice/petit groupe adapté/gâteaux !
- application directe sur nos propres données

2. Citez 2 points faibles de la formation

- besoin de travailler sur des postes fixes disposant tous de la même version de matlab et ayant plus de mémoire vive (adaptés aux outils qu'on utilise)
- ??

Que faudrait-il changer dans cette formation ?

- utiliser une salle de l'IUEM disposant d'une vingtaine de postes fixes avec matlab et les toolbox nécessaires

Que vous a-t-elle apportée ?

- les arguments pour pouvoir discriminer certaines techniques statistiques au profit d'autres plus justifiées et performantes et optimale
- de nouvelles techniques de traitement de séries temporelles.





**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

- Bien vérifier que le package de modules nécessaires soit chargé (ex. modules de calcul statistique)

-

<b>Le participant</b>	<b>Tout à fait</b>	<b>Plutôt oui</b>	<b>Plutôt non</b>	<b>Pas du tout</b>
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	+			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	+			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail	+			
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences	+			
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle	+			
- je souhaite donner une suite à cette formation	+			

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

- La formation est dense aussi je pense qu'il est important, après cette formation, de pratiquer tranquillement de son côté en notant les difficultés rencontrées puis de refaire un point ensemble, plus tard et dans la mesure du possible. Je rappelle que j'utilise des signaux issus de l'analyse de carottes sédimentaires et exprimés en (prof, paramètre mesuré) ; je pense qu'il serait possible d'améliorer des programmes pour faciliter la lecture des résultats (par ex. transformer la période métrique obtenue en temps après saisie d'un taux de sédimentation x m/ka)

-

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

1. Citez 2 points forts de la formation

- Pédagogie
- Contenu

2. Citez 2 points faibles de la formation

- formation un peu trop courte
- Prévenir les personnes qu'elles doivent maîtriser un minimum du logiciel Matlab

Que faudrait-il changer dans cette formation ?

- Prévoir une journée de plus pour la pratique complète et l'adaptation des programmes à ses propres cas d'étude

-



Que vous a-t-elle apportée ?

- un rappel de l'importance de l'analyse statistique dans l'étude des séries temporelles ;
- la connaissance d'autres méthodes d'Analyse spectrale

## Fiche d'évaluation de la formation « Analyse de Séries Temporelles »

Formation proposée par : Dhouha Kbaier (IFREMER, REM/RDT/LSCM)  
Co-organisée avec Ingrid Puillat (IFREMER, ODE/DYNECO/PHYSED)

Dates de la formation : 3 et 4 Juin 2015 (2<sup>ème</sup> Session)  
Lieu de la formation : Salle de formation, Ifremer, Brest

### Informations sur le participant :

Nom (facultatif) : Rimmelin-Maury Prénom (facultatif) : Peggy  
Fonction/Profil : IE-CNRS caractérisation de milieux naturels  
Laboratoire/Département : UMS 3113- IUEM

L'organisation de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
<b>Avant</b>	X			
- la formation (contenus, objectifs...) est clairement définie	X			
- la gestion des invitations est satisfaisante	X			
<b>Pendant</b>				
- les locaux sont adaptés à la réalisation de la formation	X			
- l'équipement de la salle est adapté	X			
- les conditions de restauration sont satisfaisantes	X			
- les horaires sont respectés	X			
Etes-vous satisfait des conditions d'organisation ?	X			

### Vos remarques et vos propositions d'amélioration :

-  
-

Le déroulement pédagogique de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique utilisée favorise la dynamique du groupe	X			
- le rythme de la formation est satisfaisant	X			
- la durée totale de la formation est satisfaisante	X			
- les objectifs annoncés sont atteints	X			
- le contenu de la formation répond aux objectifs annoncés	X			
- le lien entre les différents moments est assuré	X			
- la documentation fournie est pertinente	X			
- clarté du contenu	X			
- qualité des outils utilisés par l'enseignant (Diapo, transparent, schéma, polycop.)	X			
- qualité de la présentation	X			
- qualité de l'animation de la formation	X			
- compréhension du cours (degré de satisfaction)		X		
- qualité pédagogique de la formatrice (manière d'expliquer, de faire parvenir le message...)	X			
- interactivité avec les participants	X			
- bénéfice global de la formation		X		
- pensez-vous que les objectifs de la formation sont atteints ?	X			
- avis général sur la formation	X			

**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

- Prévoir des PC équipés de façon sûre des outils ( j'ai eu une toolbox manquante ;.. soucis d'accès à licence flottante, ça m'a un peu privée d'une partie de la pratique)

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation		X		
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail	X			
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences	X			
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle	X			
- je souhaite donner une suite à cette formation	X			

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

- 
- 

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

**1. Citez 2 points forts de la formation**

- les synthèses faites en fin de journée
- l'expertise de la formatrice

**2. Citez 2 points faibles de la formation**

- niveau théorique difficile d'accès pour les non-initiés à la physique du signal
- du coup mise en œuvre de concepts nouveaux un peu rapide : pas eu le temps de bien intégrer les notions...
  - Côté analyse en ondelettes... reste un point à aborder lors d'une autre formation peut-être !

**Que faudrait-il changer dans cette formation ?**

- faire une pré-formation sur les théories de base pour les non initiés
  - Du coup deux sessions de formation : mise à niveau puis la formation telle qu'elle est



Que vous a-t-elle apportée ?

- Hiérarchisation (salutaire !) de méthodes et outils d'exploration glanés sur le net : donc mille mercis pour le ménage dans ces concept !
- C'est un domaine pointu, la mise en œuvre de ces outils pour les néophytes doit s'opérer avec précaution voire accompagnement par expert.



**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

- 
- 

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	x			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	x			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail		x		
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences		x		
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle		x		
- je souhaite donner une suite à cette formation		x		

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

- 
- 

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

1. Citez 2 points forts de la formation

- Dynamisme de l'intervenante
- Valeur ajoutée transmise pendant la formation

2. Citez 2 points faibles de la formation

- 
- 

Que faudrait-il changer dans cette formation ?

-La formation pourrait se dérouler en 3 temps au lieu de 2 actuellement : partie cours, partie exemples et partie application aux données perso. Le 2<sup>ème</sup> de ces 3 temps est maintenant absorbé dans le troisième. Ce 2<sup>ème</sup> temps permettrait de commenter pour tout le groupe la mise en œuvre des méthodes par le code fourni et d'interpréter les résultats produits à partir des cas tests avant de passer aux données individuelles dont la mise en forme pour leur appliquer les codes mobilise l'attention de l'intervenante change et forcément l'interaction de groupe et en une interaction bilatérale et coupe la continuité de la formation. Plusieurs 'experts' pourraient seconder la formatrice pendant la partie TP.

-



Que vous a-t-elle apportée ?

-

-



## Fiche d'évaluation de la formation « Analyse de Séries Temporelles »

Formation proposée par : Dhouha Kbaier (IFREMER, REM/RDT/LSCM)  
Co-organisée avec Ingrid Puillat (IFREMER, ODE/DYNECO/PHYSED)

Dates de la formation : 3 et 4 Juin 2015 (2<sup>ème</sup> Session)  
Lieu de la formation : Salle de formation, Ifremer, Brest

### Informations sur le participant :

Nom (facultatif) : payo payo Prénom (facultatif) : marta  
Fonction/Profil : Doctorante  
Laboratoire/Département : les-gm

L'organisation de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
<b>Avant</b>				
- la formation (contenus, objectifs...) est clairement définie	X			
- la gestion des invitations est satisfaisante	X			
<b>Pendant</b>				
- les locaux sont adaptés à la réalisation de la formation	X			
- l'équipement de la salle est adapté	X			
- les conditions de restauration sont satisfaisantes	X			
- les horaires sont respectés		X		
Etes-vous satisfait des conditions d'organisation ?	X			

### Vos remarques et vos propositions d'amélioration :

-  
-

Le déroulement pédagogique de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique utilisée favorise la dynamique du groupe	X			
- le rythme de la formation est satisfaisant	X			
- la durée totale de la formation est satisfaisante		X		
- les objectifs annoncés sont atteints	X			
- le contenu de la formation répond aux objectifs annoncés	X			
- le lien entre les différents moments est assuré	X			
- la documentation fournie est pertinente	X			
- clarté du contenu		X		
- qualité des outils utilisés par l'enseignant (Diapo, transparent, schéma, polycop.)	X			
- qualité de la présentation	X			
- qualité de l'animation de la formation	X			
- compréhension du cours (degré de satisfaction)	X			
- qualité pédagogique de la formatrice (manière d'expliquer, de faire parvenir le message...)	X			
- interactivité avec les participants	X			
- bénéfice global de la formation	X			
- pensez-vous que les objectifs de la formation sont atteints ?	X			
- avis général sur la formation	X			

**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

- 
- 

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail	X			
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences	X			
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle		X		
- je souhaite donner une suite à cette formation	X			

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

- 
- 

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

**1. Citez 2 points forts de la formation**

- Animation de la formation et dynamisme et souplesse pour s'adapter aux besoins de chacun des participants
- Méthode pédagogique y compris l'application à nos propres données

**2. Citez 2 points faibles de la formation**

- La durée de la formation j'estime que c'est un peu courte
- 

**Que faudrait-il changer dans cette formation ?**

- Prévoir des créneaux plus larges pour chacune des parties
- La formation est assez intense, peut-être étaler sur une autre journée en plus les contenus

**Que vous a-t-elle apportée ?**

- J'ai pu remettre à jour mes connaissances sur des méthodes d'analyse de séries temporelles.

 Ifremer



**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

- 
- 

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail	X			
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences	X			
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle	X			
- je souhaite donner une suite à cette formation		X		

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

-Excellente formation

-

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

1. Citez 2 points forts de la formation

-Introduction de la notion d'EMD

-Utilisation des outils EMD sur matlab

2. Citez 2 points faibles de la formation

-accès internet pas toujours facile via wifi

-

Que faudrait-il changer dans cette formation ?

-Apport des MEMD pour des systèmes complexes multi signaux

-Ajout d'un dossier bibliographie avec les articles clé présentant les méthodes

Que vous a-t-elle apportée ?

-Connaissance sur les méthodes avancées de traitement du signal et sur les bonnes pratiques

-Amélioration de compétence en matlab

## Fiche d'évaluation de la formation « Analyse de Séries Temporelles »

Formation proposée par : Dhouha Kbaier (IFREMER, REM/RDT/LSCM)  
Co-organisée avec Ingrid Puillat (IFREMER, ODE/DYNECO/PHYSED)

Dates de la formation : 3 et 4 Juin 2015 (2<sup>ème</sup> Session)  
Lieu de la formation : Salle de formation, Ifremer, Brest

### Informations sur le participant :

Nom (facultatif) : Charria Prénom (facultatif) : Guillaume  
Fonction/Profil : Chercheur en océanographie physique côtière  
Laboratoire/Département : IFREMER - DYNECO/PHYSED

L'organisation de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
<b>Avant</b>				
- la formation (contenus, objectifs...) est clairement définie	X			
- la gestion des invitations est satisfaisante		X		
<b>Pendant</b>				
- les locaux sont adaptés à la réalisation de la formation	X			
- l'équipement de la salle est adapté	X			
- les conditions de restauration sont satisfaisantes	X			
- les horaires sont respectés	X			
Etes-vous satisfait des conditions d'organisation ?	X			

### Vos remarques et vos propositions d'amélioration :

- Définir le public visé par la formation afin d'assurer une diffusion adaptée et homogène (en terme de labo destinataires par exemple au sein de l'Ifremer)

Le déroulement pédagogique de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique utilisée favorise la dynamique du groupe	X			
- le rythme de la formation est satisfaisant	X			
- la durée totale de la formation est satisfaisante	X			
- les objectifs annoncés sont atteints	X			
- le contenu de la formation répond aux objectifs annoncés	X			
- le lien entre les différents moments est assuré	X			
- la documentation fournie est pertinente	X			
- clarté du contenu	X			
- qualité des outils utilisés par l'enseignant (Diapo, transparent, schéma, polycop.)	X			
- qualité de la présentation	X			
- qualité de l'animation de la formation	X			
- compréhension du cours (degré de satisfaction)	X			
- qualité pédagogique de la formatrice (manière d'expliquer, de faire parvenir le message...)	X			
- interactivité avec les participants	X			
- bénéfice global de la formation	X			
- pensez-vous que les objectifs de la formation sont atteints ?	X			

- avis général sur la formation	X			
---------------------------------	---	--	--	--

**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

- "Tout à fait" pour un avis général, c'est bizarre donc en clair, je dirais "Très satisfait"

-

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail	X			
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences	X			
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle			X	
- je souhaite donner une suite à cette formation		X		

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

- La formation a répondu à mes attentes. Je ne pense pas cependant utiliser l'intégralité des méthodes présentées. Par contre, j'espère pouvoir approfondir certaines méthodes.

-

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

1. Citez 2 points forts de la formation

- dynamique de la formation (rythme, interaction, ...)
- applications pratiques

2. Citez 2 points faibles de la formation

- choix du langage (Matlab) limitant l'accès aux participants
- c'est toujours trop court ce type de formation car on souhaiterait aller toujours plus loin

Que faudrait-il changer dans cette formation ?

- mettre en place un système (machine virtuelle ou autre) pour que tout le monde puisse travailler sur le même environnement et qu'on ne perde pas de temps avec des problèmes d'accès aux outils

-

Que vous a-t-elle apportée ?



- Connaissance de nouvelles méthodes et possibilité de les mettre en oeuvre simplement

-





**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

- 
- 

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail		X		
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences		X		
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle		X		
- je souhaite donner une suite à cette formation		X		

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

- 
- 

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

1. Citez 2 points forts de la formation

- Bon équilibre entre théorie et exercices pratiques
- On voit les applications rapidement les applications pratiques sur les séries temporelles de l'enseignante

2. Citez 2 points faibles de la formation

- Grande quantité d'information pas facile à assimiler sur 2 jours pour un néophyte
- 

Que faudrait-il changer dans cette formation ?

- 
- 

Que vous a-t-elle apportée ?

- Découvertes de méthodes d'analyse des séries temporelles
- Découvertes d'outils d'analyse des séries temporelles



**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

-Je suis parti de très loin (connaissance en traitement du signal de base) et j'ai le sentiment d'avoir beaucoup progressé. Un travail supplémentaire non négligeable sera néanmoins nécessaire pour bien assimiler les nouvelles compétences. Ça reste une formation très dense !

-La deuxième journée avec une alternance cours / TD sur les deux demi-journées est à mon avis préférable plutôt que de faire tout le cours le matin et les TD l'après.

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	x			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	x			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail		x		
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences		x		
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle	x			
- je souhaite donner une suite à cette formation	x			

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

-Bien ancrer les compétences acquises et dans quelques temps se former sur la MEMD

-

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

**1. Citez 2 points forts de la formation**

- Formation très orienté « pratique ». Modifier les programmes matlab donnés sur place pour les adapter et traiter ses propres signaux avec une explication du formateur est très appréciable.

-Vue d'ensemble des différentes techniques pour extraire des informations des signaux traités avec les avantages et inconvénients des méthodes testées.

**2. Citez 2 points faibles de la formation**

-Ca va très vite !

-J'ai toujours une petite frustration pour le traitement de mes signaux à pas de temps non constant qui nécessitent souvent une phase d'interpolation (sauf pour l'EMD). Et cette étape d'interpolation et ses conséquences sur le traitement n'ont pas vraiment été abordées dans cette formation.

Que faudrait-il changer dans cette formation ?

## Ifremer

-Peut être étaler les 4 demi-journées sur 4 jours pour avoir un temps de travail personnel entre 2 séances pour mieux assimiler le cours et revenir à la séance suivante avec les questions et avoir ainsi les réponses à toutes nos interrogations.

-Traiter des signaux à pas de temps non constant

Que vous a-t-elle apportée ?

-Une connaissance approfondie des traitements possible (et leur validité) sur les signaux

-

## Fiche d'évaluation de la formation « Analyse de Séries Temporelles »

Formation proposée par : Dhouha Kbaier (IFREMER, REM/RDT/LSCM)  
Co-organisée avec Ingrid Puillat (IFREMER, ODE/DYNECO/PHYSED)

Dates de la formation : 3 et 4 Juin 2015 (2<sup>ème</sup> Session)  
Lieu de la formation : Salle de formation, Ifremer, Brest

### Informations sur le participant :

Nom (facultatif) : DAVID-BEAUSIRE Prénom (facultatif) : Christine  
Fonction/Profil : Coord. Observatoire Marin IUEM  
Laboratoire/Département : IUEM / LPO

L'organisation de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
<b>Avant</b>				
- la formation (contenus, objectifs...) est clairement définie	X			
- la gestion des invitations est satisfaisante	X			
<b>Pendant</b>				
- les locaux sont adaptés à la réalisation de la formation	X			
- l'équipement de la salle est adapté	X			
- les conditions de restauration sont satisfaisantes	X			
- les horaires sont respectés	X			
Etes-vous satisfait des conditions d'organisation ?	X			

### Vos remarques et vos propositions d'amélioration :

-  
-

Le déroulement pédagogique de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique utilisée favorise la dynamique du groupe	X			
- le rythme de la formation est satisfaisant	X			
- la durée totale de la formation est satisfaisante	X			
- les objectifs annoncés sont atteints	X			
- le contenu de la formation répond aux objectifs annoncés	X			
- le lien entre les différents moments est assuré	X			
- la documentation fournie est pertinente	X			
- clarté du contenu	X			
- qualité des outils utilisés par l'enseignant (Diapo, transparent, schéma, polycop.)	X			
- qualité de la présentation	X			
- qualité de l'animation de la formation	X			
- compréhension du cours (degré de satisfaction)	X			
- qualité pédagogique de la formatrice (manière d'expliquer, de faire parvenir le message...)	X			
- interactivité avec les participants	X			
- bénéfice global de la formation	X			
- pensez-vous que les objectifs de la formation sont atteints ?	X			
- avis général sur la formation	X			

**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

- 
- 

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail		X		
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences		X		
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle	X			
- je souhaite donner une suite à cette formation	X			

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

- 
- 

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

1. Citez 2 points forts de la formation

- La grande maîtrise du sujet de l'enseignante
- Ses qualités pédagogiques

2. Citez 2 points faibles de la formation

- Beaucoup de notions à intégrer dans un temps court, mais c'est plus lié au sujet qu'à la formation elle-même

-

Que faudrait-il changer dans cette formation ?

- Avoir un peu de café à la pause ;-)

-

Que vous a-t-elle apportée ?

- Des connaissances nouvelles pour aborder le traitement de séries temporelles et mieux exploiter les données sur lesquelles je travaille.
- Elle suscite également une réflexion sur les méthodes et la mutualisation du traitement des données au sein des Observatoires.

## Fiche d'évaluation de la formation « Analyse de Séries Temporelles »

Formation proposée par : Dhouha Kbaier (IFREMER, REM/RDT/LSCM)

Co-organisée avec Ingrid Puillat (IFREMER, ODE/DYNECO/PHYSED)

Dates de la formation : 3 et 4 Juin 2015 (2<sup>ème</sup> Session)

Lieu de la formation : Salle de formation, Ifremer, Brest

### Informations sur le participant :

Nom (facultatif) : KERSALE

Prénom (facultatif) : MARION

Fonction/Profil : Post-doc

Laboratoire/Département : LPO/UBO

L'organisation de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
<b>Avant</b>				
- la formation (contenus, objectifs...) est clairement définie		x		
- la gestion des invitations est satisfaisante	x			
<b>Pendant</b>				
- les locaux sont adaptés à la réalisation de la formation	x			
- l'équipement de la salle est adapté		x		
- les conditions de restauration sont satisfaisantes		x		
- les horaires sont respectés	x			
Êtes-vous satisfait des conditions d'organisation ?	x			

### Vos remarques et vos propositions d'amélioration :

- Prevoir des périodes plus grandes.
- Agréable de travailler sur ses données. Prevoir 4 tranches de 3 heures

Le déroulement pédagogique de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique utilisée favorise la dynamique du groupe	x			
- le rythme de la formation est satisfaisant	x			
- la durée totale de la formation est satisfaisante		x		
- les objectifs annoncés sont atteints	x			
- le contenu de la formation répond aux objectifs annoncés	x			
- le lien entre les différents moments est assuré	x			
- la documentation fournie est pertinente	x			
- clarté du contenu		x		
- qualité des outils utilisés par l'enseignant (Diapo, transparent, schéma, polycop.)	x			
- qualité de la présentation	x			
- qualité de l'animation de la formation	x			
- compréhension du cours (degré de satisfaction)		x		
- qualité pédagogique de la formatrice (manière d'expliquer, de faire parvenir le message...)	x			
- interactivité avec les participants	x			
- bénéfice global de la formation		x		
- pensez-vous que les objectifs de la formation sont atteints ?	x			
- avis général sur la formation	x			

### Vos remarques et vos propositions d'amélioration :



Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	x			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	x			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail	x			
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences	x			
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle		x		
- je souhaite donner une suite à cette formation		x		

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

- 
- 

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

1. Citez 2 points forts de la formation

- Prise en main de nombreuses techniques
- Application aux données perso

1. Citez 2 points faibles de la formation

- Plage horaire un peu courte
- 

Que faudrait-il changer dans cette formation ?

- 
- 

Que vous a-t-elle apportée ?

- Nombreuses techniques traitement
- Points positifs/ négatifs de chaque méthode

## Fiche d'évaluation de la formation « Analyse de Séries Temporelles »

Formation proposée par : Dhouha Kbaier (IFREMER, REM/RDT/LSCM)  
 Co-organisée avec Ingrid Puillat (IFREMER, ODE/DYNECO/PHYSED)

Dates de la formation : 3 et 4 Juin 2015 (2<sup>ème</sup> Session)

Lieu de la formation : Salle de formation, Ifremer, Brest

### Informations sur le participant :

Nom (facultatif) : MENGVAL

Prénom (facultatif) : Baptiste

Fonction/Profil : Docteur / Modélisateur Pêche-sédimentaire

Laboratoire/Département : ODE/DYNECO/PHYSED

L'organisation de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
<b>Avant</b>				
- la formation (contenus, objectifs...) est clairement définie	X			
- la gestion des invitations est satisfaisante	X			
<b>Pendant</b>				
- les locaux sont adaptés à la réalisation de la formation	X			
- l'équipement de la salle est adapté	X			
- les conditions de restauration sont satisfaisantes	X			
- les horaires sont respectés		X		
Êtes-vous satisfait des conditions d'organisation ?	X			

### Vos remarques et vos propositions d'amélioration :

-  
-

Le déroulement pédagogique de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique utilisée favorise la dynamique du groupe	X			
- le rythme de la formation est satisfaisant				
- la durée totale de la formation est satisfaisante				
- les objectifs annoncés sont atteints				
- le contenu de la formation répond aux objectifs annoncés				
- le lien entre les différents moments est assuré				
- la documentation fournie est pertinente				
- clarté du contenu				
- qualité des outils utilisés par l'enseignant (Diapo, transparent, schéma, polycop.)				
- qualité de la présentation				
- qualité de l'animation de la formation				
- compréhension du cours (degré de satisfaction)				
- qualité pédagogique de la formatrice (manière d'expliquer, de faire parvenir le message...)				
- interactivité avec les participants				
- bénéfice global de la formation				
- pensez-vous que les objectifs de la formation sont atteints ?				
- avis général sur la formation				

## Vos remarques et vos propositions d'amélioration :

- 
- 

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	$\alpha$			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	$\alpha$			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail	$\alpha$			
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences	$\alpha$			
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle	$\alpha$			
- je souhaite donner une suite à cette formation	$\alpha$			

## Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :

- 
- 

## APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS

### 1. Citez 2 points forts de la formation

- Outils / programmes déjà adaptés à l'utilisation de mes propres données
- Nombreuses notions abordées

### 2. Citez 2 points faibles de la formation

- Un peu trop court et donc quelques notions vues peut-être trop rapidement

### Que faudrait-il changer dans cette formation ?

- Une journée de plus dédiée exclusivement à mes données
- pour permettre de finaliser une analyse.

### Que vous a-t-elle apportée ?

- \* D'autres outils de comparaison que ceux classiquement utilisés
- pour qualifier / quantifier la corrélation entre 2 séries
- \* Choisir les outils adaptés pour une série temporelle donnée

## Fiche d'évaluation de la formation Analyse de Séquences Temporelles

Formation proposée par : Dhouha Kbaier (IFREMER, REM/RDT/LSCM)  
Co-organisée avec Ingrid Puillat (IFREMER, ODE/DYNECO/PHYSED)

Dates de la formation : 27 et 28 Mai 2015 (1<sup>ère</sup> Session)  
Lieu de la formation : Salle de formation, Ifremer, Brest

### Informations sur le participant :

Nom (facultatif) : Talandier  
Fonction/Profil : Ingénieur  
Laboratoire/Département : LPO/DRO

Prénom (facultatif) : Claude

L'organisation de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
<b>Avant</b>				
- la formation (contenus, objectifs...) est clairement définie	X			
- la gestion des invitations est satisfaisante	X			
<b>Pendant</b>				
- les locaux sont adaptés à la réalisation de la formation	X			
- l'équipement de la salle est adapté	X			
- les conditions de restauration sont satisfaisantes	X			
- les horaires sont respectés	X			
Êtes-vous satisfait des conditions d'organisation ?	X			

### Vos remarques et vos propositions d'amélioration :

-  
-

Le déroulement pédagogique de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique utilisée favorise la dynamique du groupe		X		
- le rythme de la formation est satisfaisant		X		
- la durée totale de la formation est satisfaisante		X		
- les objectifs annoncés sont atteints		X		
- le contenu de la formation répond aux objectifs annoncés				
- le lien entre les différents moments est assuré		X		
- la documentation fournie est pertinente		X		
- clarté du contenu		X		
- qualité des outils utilisés par l'enseignant (Diapo, transparent, schéma, polycop.)	X			
- qualité de la présentation	X			
- qualité de l'animation de la formation	X			
- compréhension du cours (degré de satisfaction)		X		
- qualité pédagogique de la formatrice (manière d'expliquer, de faire parvenir le message...)	X			
- interactivité avec les participants	X			
- bénéfice global de la formation		X		
- pensez-vous que les objectifs de la formation sont atteints ?		X		
- avis général sur la formation	X			

**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

- associer la mise en pratique juste après la présentation théorique (comme le 2<sup>nd</sup> jour)
- pour la mise en pratique : introduire les exemples en les détaillant un peu juste avant que les participants commencent la pratique

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation		X		
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	X			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail		X		
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences			X	
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle			X	
- je souhaite donner une suite à cette formation			X	

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

- 
- 

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

**1. Citez 2 points forts de la formation**

- dynamisme de l'intervenante
- adaptation aux cas propres aux participants
- les cas pratiques très pédagogiques (codes lisibles avec des commentaires)
- la petite audience ce qui facilite l'interaction, les questions

**1. Citez 2 points faibles de la formation**

- temps court pour bien assimiler les méthodes présenter
- 

Que faudrait-il changer dans cette formation ?

- rallonger la formation d'une ½ journée
- 

Que vous a-t-elle apportée ?

- de nouvelles connaissances
-



**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

- 
- 

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	oui			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	oui			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail	oui			
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences			oui	
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle		oui		
- je souhaite donner une suite à cette formation		oui		

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

- 
- 

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

**1. Citez 2 points forts de la formation**

- Acquisition de nouvelles méthodes avec un nouveau logiciel
- Présentation/explication claires bien qu'avec mes lacunes en statistiques ce n'était pas simple

**2. Citez 2 points faibles de la formation**

- J'ai dans l'ensemble bien compris mais je pense qu'à l'utilisation (seule) je vais avoir des problèmes pour une bonne compréhension/interprétation de mes graphes
- A l'utilisation j'aurais bien aimé finalement voir des publications (où avoir des références) qui auraient utilisé cette méthode EMD dans le milieu marin

**Que faudrait-il changer dans cette formation ?**

- Peut être aurait il fallut faire un travail pratique commun (tous ensemble) point (graphe) par point (graphe) et que tu les interprètes devant nous avant de travailler directement sur nos données. Pour qu'ensuite en travaillant sur nos données on soit vraiment plus à même d'interpréter nos propres résultats.

-

Que vous a-t-elle apportée ?

- Grâce à cette formation je vais essayer de traiter mes données d'une autre manière (même si je ne me sens pas encore vraiment à l'aise avec).

-

Merci beaucoup pour cette formation, elle était très agréable et très intéressante. Merci d'avoir pris le temps de m'expliquer le logiciel et de me permettre de travailler sur mes données grâce à tes programmes. Il n'y a plus qu'à approfondir le tout maintenant. Aurais-tu quelques publications dans le domaine du milieu marin qui ont utilisé cette méthode pour que je vois comment ils s'en servent et ce qu'ils mettent en avant ?

Bonne continuation pour la prochaine session,  
Cécile



## Fiche d'évaluation de la formation « Analyse de Séries Temporelles »

Formation proposée par : Dhouha Kbaier (IFREMER, REM/RDT/LSCM)  
Co-organisée avec Ingrid Puillat (IFREMER, ODE/DYNECO/PHYSED)

Dates de la formation : 3 et 4 Juin 2015 (2<sup>ème</sup> Session)  
Lieu de la formation : Salle de formation, Ifremer, Brest

### Informations sur le participant :

Nom (facultatif) : Roy  
Fonction/Profil : chercheur  
Laboratoire/Département : LPO

Prénom (facultatif) : Claude

L'organisation de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
<b>Avant</b>				
- la formation (contenus, objectifs...) est clairement définie	x			
- la gestion des invitations est satisfaisante		x		
<b>Pendant</b>				
- les locaux sont adaptés à la réalisation de la formation	x			
- l'équipement de la salle est adapté		x		
- les conditions de restauration sont satisfaisantes				
- les horaires sont respectés	x			
Etes-vous satisfait des conditions d'organisation ?	x			

### Vos remarques et vos propositions d'amélioration :

-Diffusion plus large de l'annonce de la formation sur les listes du site brestois (IUEM, ...)

Le déroulement pédagogique de la formation	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique utilisée favorise la dynamique du groupe	x			
- le rythme de la formation est satisfaisant		x		
- la durée totale de la formation est satisfaisante		x		
- les objectifs annoncés sont atteints		x		
- le contenu de la formation répond aux objectifs annoncés	x			
- le lien entre les différents moments est assuré				
- la documentation fournie est pertinente		x		
- clarté du contenu		x		
- qualité des outils utilisés par l'enseignant (Diapo, transparent, schéma, polycop.)		x		
- qualité de la présentation	x			
- qualité de l'animation de la formation	x			
- compréhension du cours (degré de satisfaction)		x		
- qualité pédagogique de la formatrice (manière d'expliquer, de faire parvenir le message...)	x			
- interactivité avec les participants	x			
- bénéfice global de la formation	x			
- pensez-vous que les objectifs de la formation sont atteints ?		x		
- avis général sur la formation		x		

**Vos remarques et vos propositions d'amélioration :**

- 
- 

Le participant	Tout à fait	Plutôt oui	Plutôt non	Pas du tout
- la méthode pédagogique adoptée m'a permis de me sentir acteur de la formation	x			
- cette formation m'a permis d'acquérir des connaissances	x			
- cette formation m'a permis d'acquérir des méthodes et/ou des techniques de travail	x			
- les échanges et la vie du groupe m'ont aidé à construire des compétences		x		
- cette formation va modifier ma pratique professionnelle				
- je souhaite donner une suite à cette formation		x		

**Vos remarques et vos souhaits éventuels de formation :**

- Les supports de cours pourraient être plus développés
- Rythme soutenu

**APPRÉCIATION GLOBALE EN 2 TEMPS**

1. Citez 2 points forts de la formation

- Enthousiasme, disponibilité et compétence de la formatrice
- Intérêt de la technique enseignée (EMD) pour le traitement de données
- qualité des gâteaux !

2. Citez 2 points faibles de la formation

- supports trop succincts
- rythme parfois trop soutenu

Que faudrait-il changer dans cette formation ?

- durée étendue à 5 demi-journées sur une semaine
- 

Que vous a-t-elle apportée ?

- Bonne révision des concepts et limitations de l'analyse spectrale classique
- Introduction à EMD