



**Bilan de douze années  
(2002-2014) de limnologie satellitaire du  
Tanganyika.**

**Yves CORNET**  
**Unité de Géomatique**  
**ULg**

**Société Géographique de Liège,**  
**7 octobre 2015**

# Plan

1. Océanographie et limnologie satellitaires
2. Couleur de l'eau et concentration en chlorophylle
3. Température de surface des mers et lacs
4. Exploitation des produits satellitaires
5. Quels enseignements tirer ?

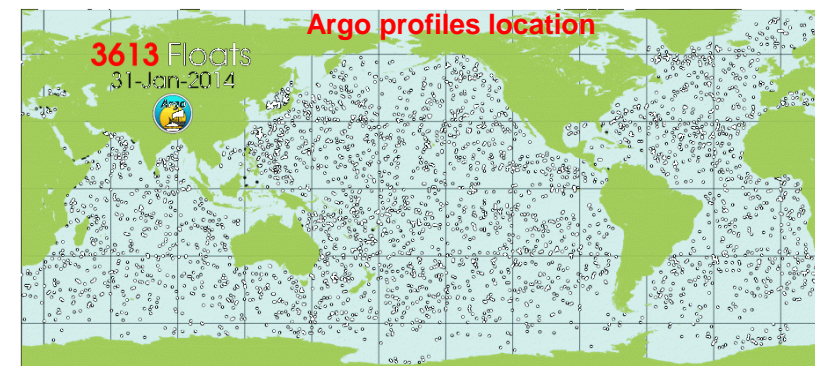
# Océanographie et limnologie satellitaire

## • Pourquoi ?

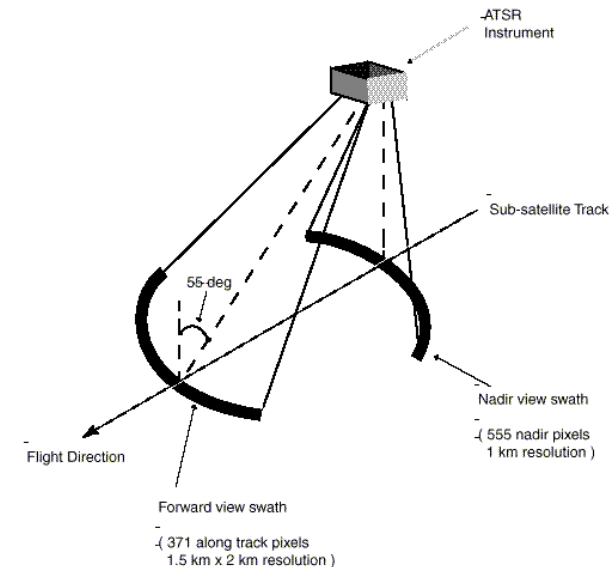
- Production primaire, hydrodynamique et écologie
  - *Ocean Color* (Concentration en **chl-a**)
  - *Lake Water* (ou *Sea*) *Surface Temperature* (**SST / LSWT**)
- **Représentativité** spatiale et temporelle

## • Comment ?

- Capteurs imageurs passifs
  - Basse **résolution spatiale** et résolution temporelle journalière (observation globale)
  - Très haute **résolution radiométrique**
  - Haute **résolution spectrale**
- Autres données
  - Données **auxiliaires** (*NCEP*,  $O_3$ , assiette et éphémérides du satellite)
  - Données collectées *in situ* et BD **ArcLAKE** (Cal-val)
- Analyse des séries temporelles



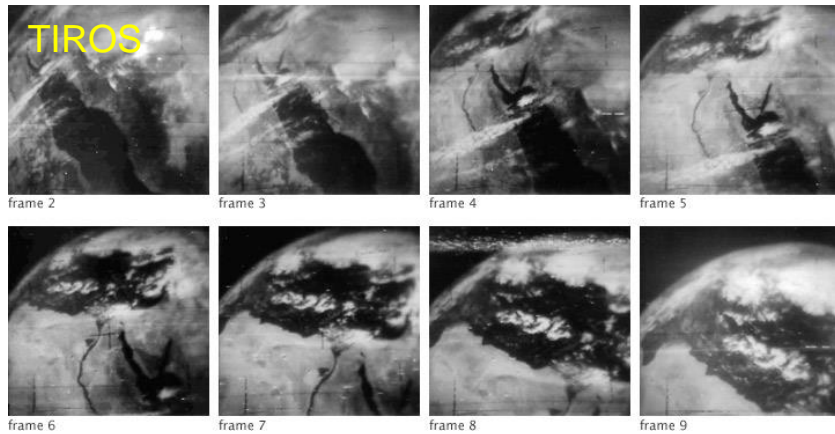
<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/argo-ocean-temperature-and-salinity-profiles>



# Océanographie et limnologie satellitaire

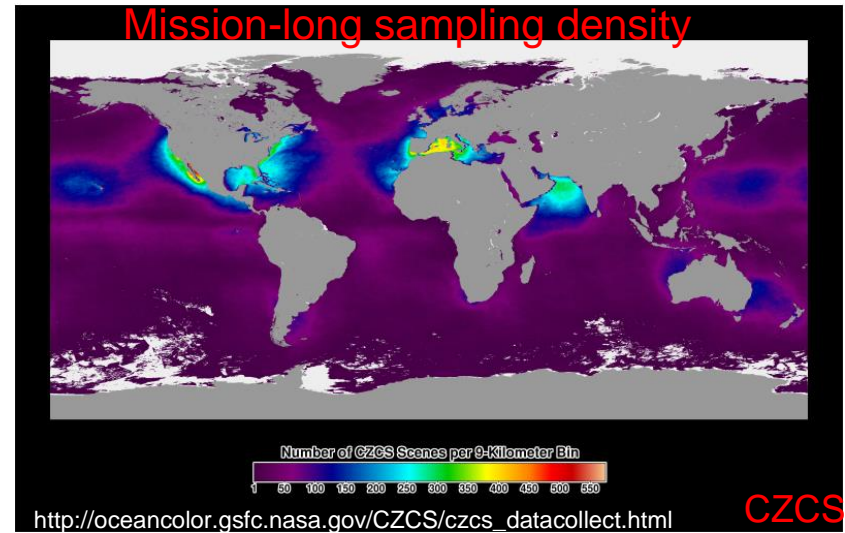
- **Capteurs historiques**
  - *Television Infrared Observation Satellite* (1960 ...) **TIROS**
  - Satellites *Nimbus 7* ... (1978-1986)
    - *Coastal Zone Color Scanner* **CZCS**
  - 2<sup>de</sup> génération des *TIROS* (NOAA - 1978...)
    - *Advanced Very High Resolution Radiometer* **AVHRR**
  - *Heat Capacity Mapping Mission* (1978)
    - *Heat Capacity Mapping Radiometer* **HCMR**
- **Nouvelle génération de capteurs** (fin des '90)
  - Satellite *SeaStar* (1997)
    - *Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor* **SeaWIFS**
  - Satellites *Terra* (AM-1999) et *Aqua* (PM-2002)
    - *Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer* **MODIS**
  - Satellite *ENVISAT* (succession *ERS1 et 2*)
    - *Medium Resolution Imaging Spectrometer* **MERIS**
- **Et demain ?**
  - *Joint Polar Satellite System* (succession NOAA - 2017)
    - *Visible and Infrared Imager/Radiometer Suite* (succession MODIS) **VIIRS**
  - Satellites *Sentinel-3A* (succession *ENVISAT* - 2017)
    - *Ocean and Land Color Instrument* (succession *MERIS*) **OLCI**

# Océanographie et limnologie satellitaire

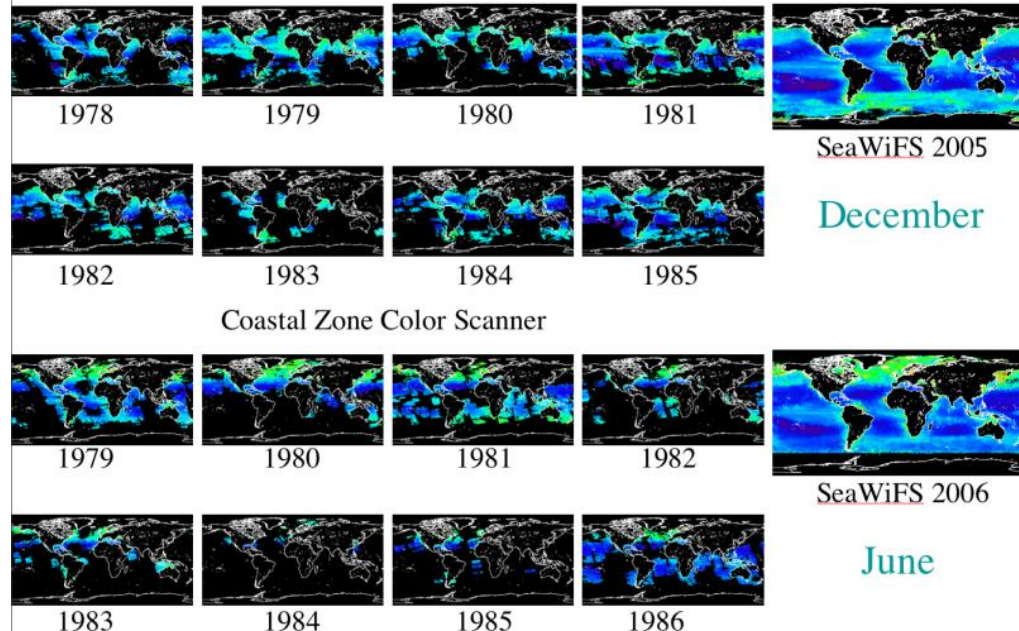


<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=43401>

NASA images from **Television InfraRed Observation Satellite** (TIROS 1) Meteorological Satellite Photographic Atlas: Photography from TIROS 1, Launched April 1, 1960. NASA Goddard Space Flight Center. Caption by Holli Riebeck.



## Monthly Coverage Comparisons for CZCS and SeaWiFS



# Océanographie et limnologie satellitaire

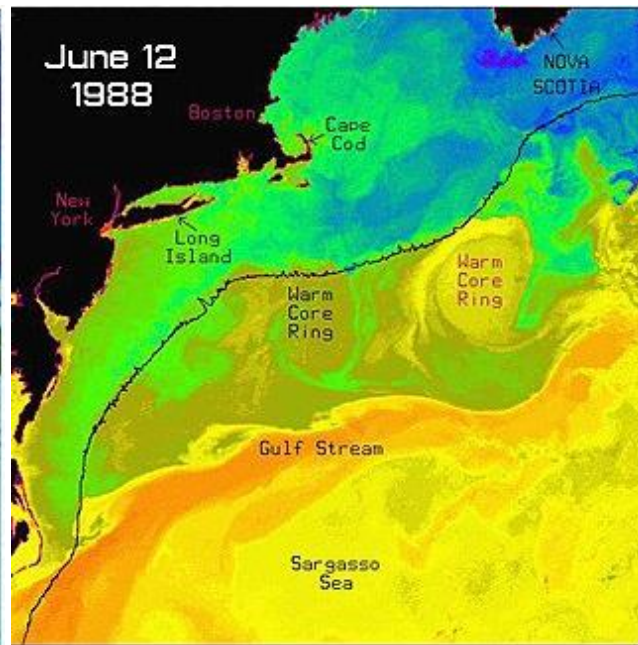
## Sea Surface Temperature

### Méandres et tourbillons de turbulence (*Eddies*) du Gulf Stream



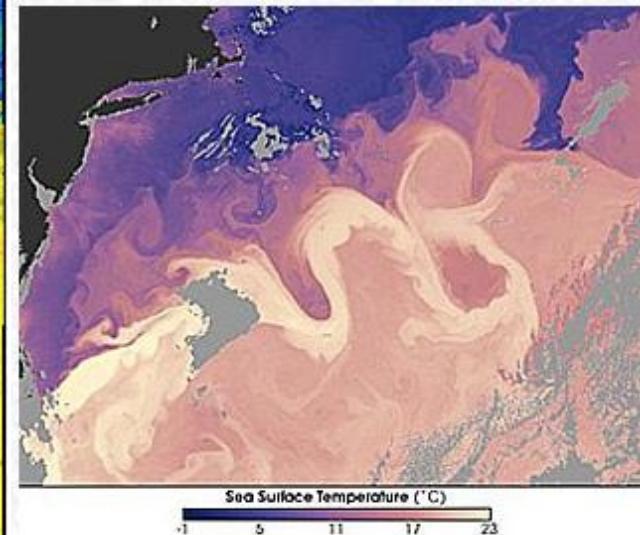
HCMR  
Seventies

Temperature color pallet :  
qualitative ...



AVHRR  
Eighties

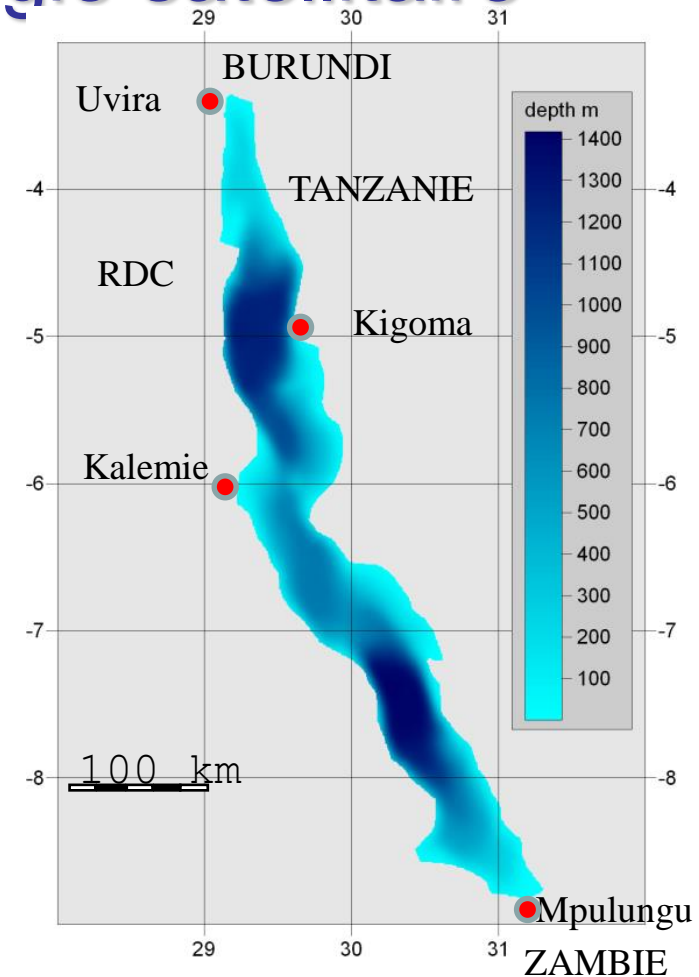
Temperature color pallet:  
orange = 25-28 ° C (77-82 °  
F);  
yellow = 23 ° C (72 ° F);  
green = 14 ° C (57 ° F);  
blue = 5 ° C (41 ° F).



MODIS  
2000 ...

# Océanographie et limnologie satellitaire

- Comment produire des **séries temporelles** cohérentes à **basse résolution spatiale** et très **haute résolution temporelle** de **température de surface** et de **concentration en chl-a** en **milieu lacustre** ?
  - Choix du **capteur**
  - Spécificité des Grands Lacs Africains (**Tanganyika**, Kivu)
- Comment les exploiter?



Superficie 32 600 km<sup>2</sup>  
 Profondeur max. 1 470 m  
 Profondeur moy. 570 m  
 Altitude 773 m  
 Lac oligotrophe 0.70 mg chl-a/m<sup>3</sup>

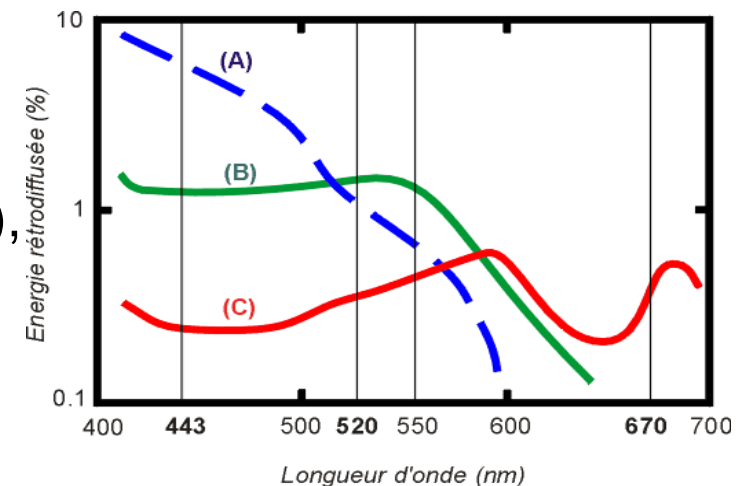
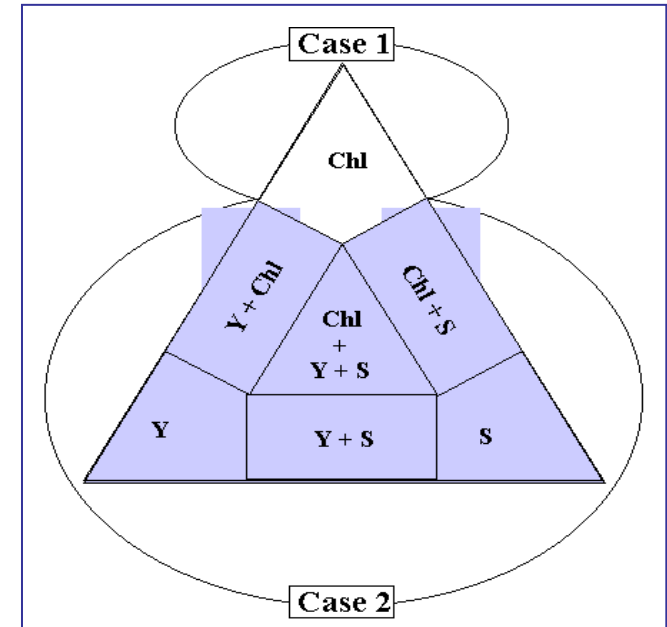
# Plan

1. Océanographie et limnologie satellitaires
2. Couleur de l'eau et concentration en chlorophylle
3. Température de surface des mers et lacs
4. Exploitation des produits satellitaires
5. Quels enseignements tirer ?



# Chl-a : Signature spectrale de l'eau

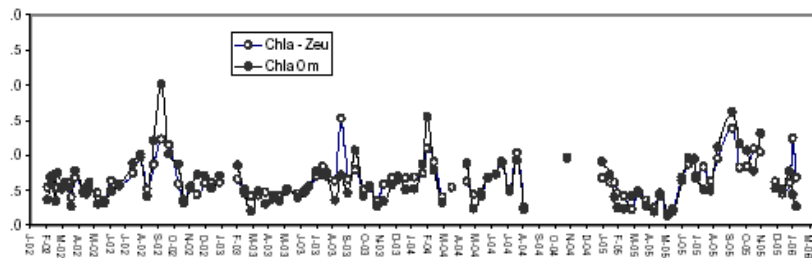
- **Turbidité** : Caractéristique d'un liquide contenant des matières en suspension et/ou des composés chimiques colorés qui en atténuent sa transparence
  - (Chl) **phytoplancton**,
  - (S) **particules minérales en suspension**,
  - (Y) **matière organique dissoute** (*Yellow Matter – Gelb Stoff*)
- Classification des types d'eau
  - Cas 1 (**Clear water**)
  - Cas 2 (**Turbid water**)
- Signature spectrale de l'eau de mer
  - (A) **Océan clair**  
(faible concentration de phytoplancton),
  - (B) **En pleine mer**  
(concentration modérée de phytoplancton),
  - (C) **Zone côtière**  
(contenant des particules minérales en suspension et du phytoplancton)



# Chl-a : Quel type d'eau au Tanganyika ? (1)

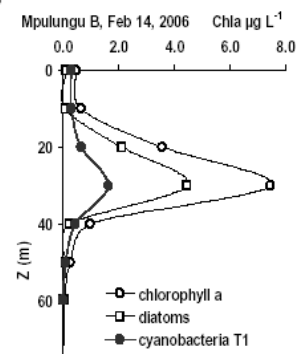
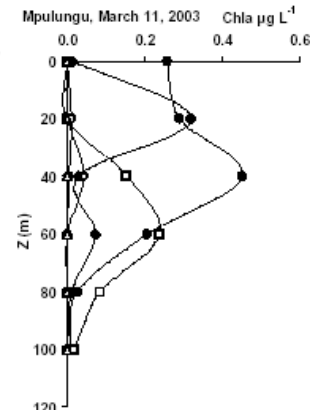
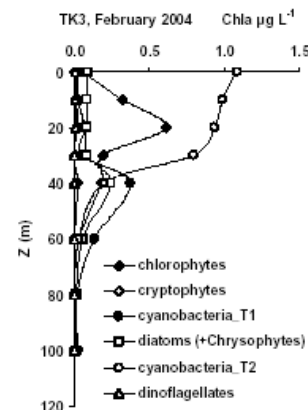
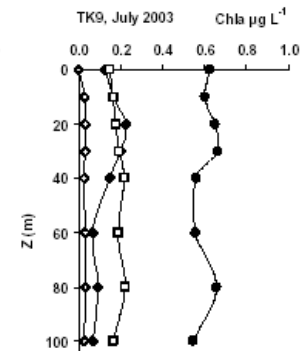
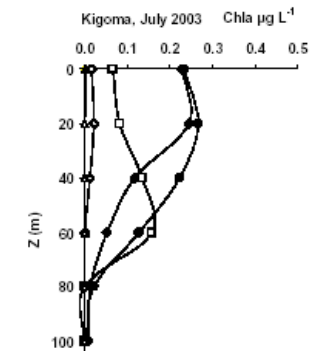
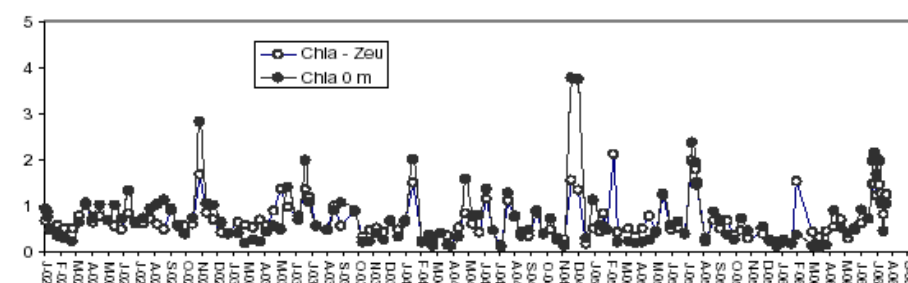
- Analyse visuelle d'images en **vraie couleur** et test d'indice (absence du **pic de réflectance dans le PIR**)
- **Transparence** moyenne (Secchi) de 6 à 12 m
- **Turbidité** < 5 NTU (turbidité de l'eau potable)
- **Concentration en chl-a in situ**

Chlorophylle a - Kigoma



Zone euphotique  
 $Z_{eu} : 0-40\text{m}$   
 $Z_{eu} \sim 4.6/k$   
 avec  $k = 1.57/SD$

Chlorophylle a - Mpulungu



# Chl-a : Quel type d'eau au Tanganyika ? (2)

## • Analyses **bio-optiques**

**Table 1**

Partial attenuation coefficients ( $m^{-1}$ ) and contribution of different components to PAR attenuation, expressed in percentage. Sampling period: August 2006.  $K_d$  is the PAR attenuation coefficient.  $K_{PH}$ ,  $K_{CDOM}$ ,  $K_W$  and  $K_T$  are the partial attenuation coefficients due to phytoplankton, CDOM, water and tripton.

Sampling	Partial attenuation coefficient ( $m^{-1}$ )					Contribution to PAR attenuation			
	$K_d$	$K_{PH}$	$K_{CDOM}$	$K_W$	$K_T$	$K_{PH} \%$	$K_{CDOM} \%$	$K_W \%$	$K_T \%$
A	0.159	0.106	0.026	0.027	0.00	67	16	17	0
B	0.220	0.125	0.016	0.027	0.051	57	7	12	23
C	0.189	0.079	0.021	0.027	0.062	42	11	14	33
D	0.197	0.101	0.020	0.027	0.050	51	10	14	25

Mpulungu (sud)

## • Conclusion

– Cas 1: **eau claire**

– **Sauf très localement**, près des côtes

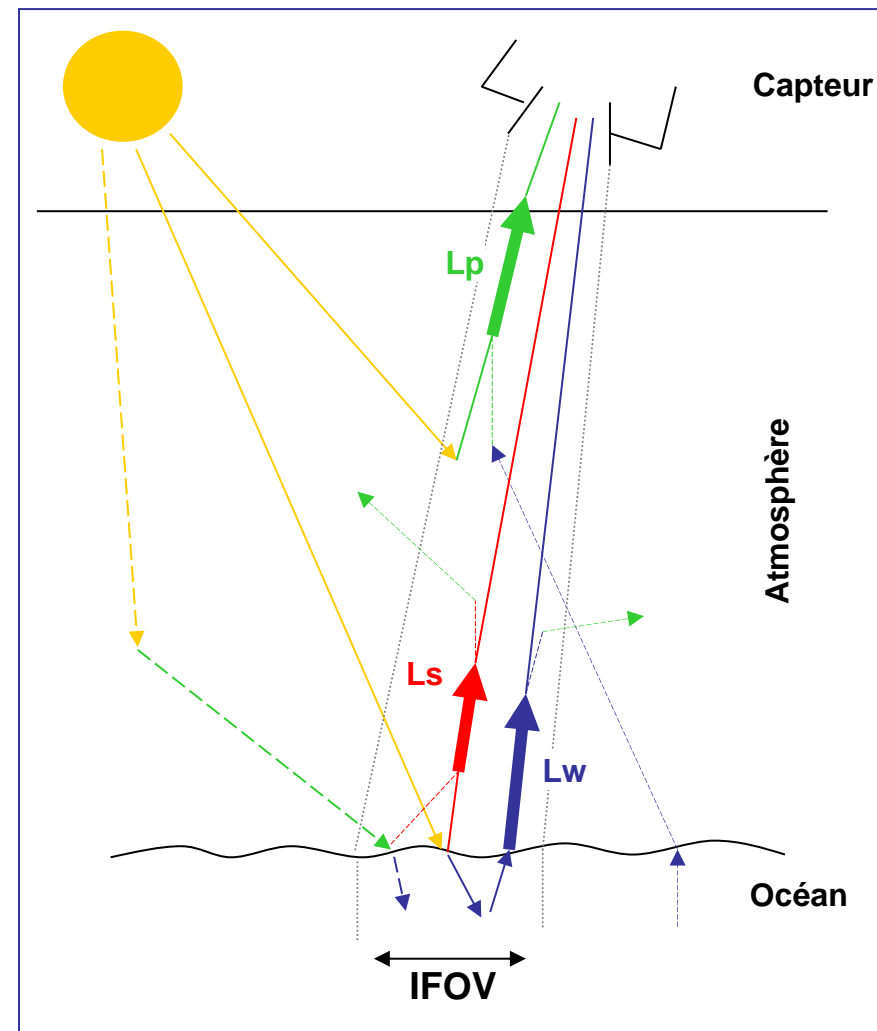
- Tributaires (Rusizi, Malagarasi)
- Eau peu profonde très localement

# Chl-a : Water Leaving radiance (1)

- **Water leaving radiance** : contribution de la colonne d'eau et ses composants à la luminance totale

– Luminance totale au capteur

- $L_w$  = luminance de l'eau
- $L_s$  = interface air-mer
- $L_p$  = atmosphère (*path radiance*)



# Chl-a : Water Leaving radiance (2)

- Décomposition de la réflectance totale mesurée par le capteur

$$\rho_t(\lambda_i) = \rho_{path}(\lambda_i) + T(\lambda_i) \rho_g(\lambda_i) + t(\lambda_i) \rho_{wc}(\lambda_i) + t(\lambda_i) \rho_w(\lambda_i)$$

$\lambda$  = longueur d'onde

$\rho_t$  = réflectance totale

$T$  = transmittance directe de l'atmosphère

$t$  = transmittance diffuse de l'atmosphère

$\rho_g$  = *sunlint*

$\rho_{wc}$  = *whitecap*

$\rho_w$  = *water leaving reflectance*

$$\rho_{path} = \rho_r + \rho_a + \rho_{ra}$$

$\rho_r$  = contribution de la diffusion de Rayleigh

$\rho_a$  = contribution de la diffusion de Mie

$\rho_{ra}$  = terme d'interaction



# Chl-a : Algorithme bio-optique

- Estimation de paramètres bio-optiques
  - k, coefficient d'atténuation; concentration en Chl-a,
- Pour la concentration en Chl-a
  - Rapport de réflectances dans le visible (*Clear water*)

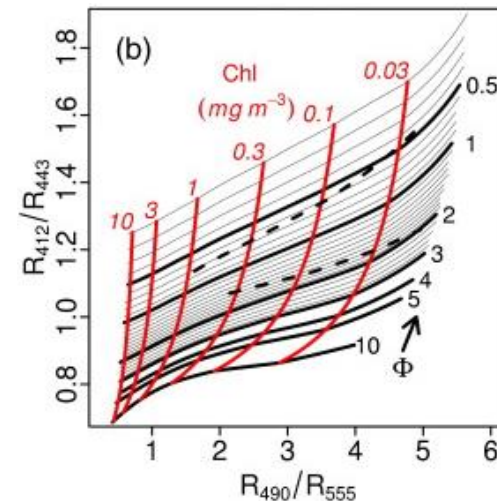
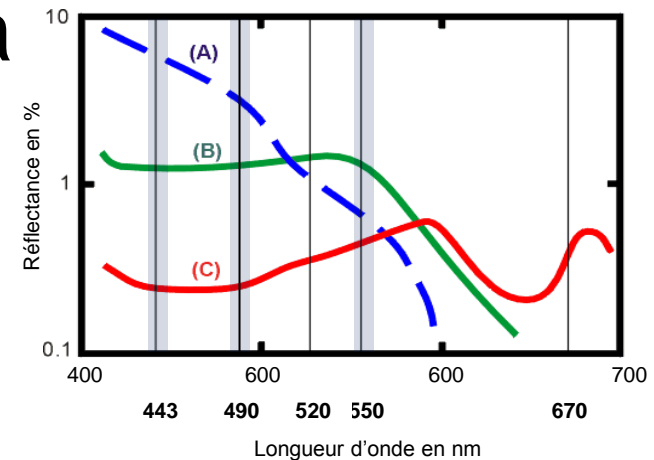
Clark, OC3 ...

$$\log \text{Chl}_{\text{Clark}} = -1.4(\log R_{550}^{443}) + 0.07$$

$$\text{Chl}_{\text{OC3}} = 10^{(0.2830 - 2.753R_{SM} + 1.457R_{SM}^2 + 0.659R_{SM}^3 - 1.403R_{SM}^4)}$$

$$\text{With } R_{SM} = \log_{10}(R_{550}^{443} > R_{550}^{490})$$

... Morel

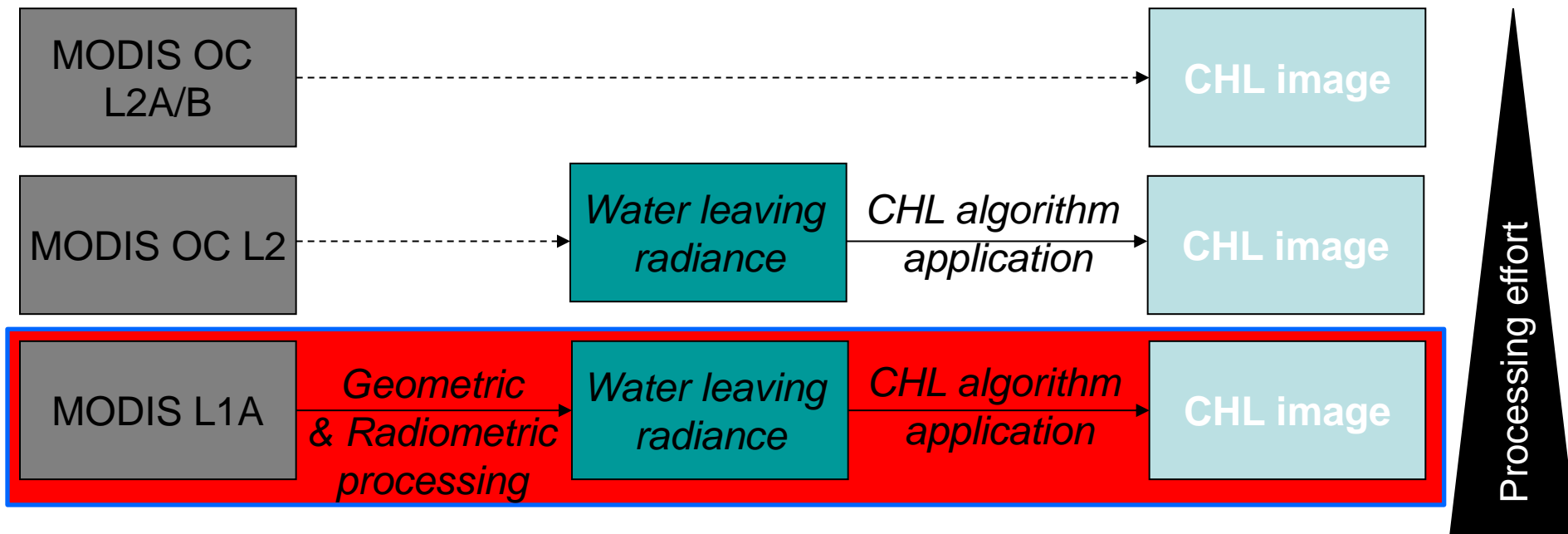


# Chl-a : Capteurs - prétraitement (1)

<b>Sensor</b>	<b>SeaWIFS</b> <i>Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor</i>	<b>MODIS</b> <i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>	<b>MERIS</b> <i>MEdium Resolution Imaging Spectrometer Instrument</i>
Onboard	SeaStar (OrbView-2)	Terra and Aqua	ENVISAT
Launch	August 1997	1999 (Terra) May 2002 (Aqua)	March 2002
Orbit Type	sun-synchronous at 705 km	sun-synchronous at 705 Km, near-polar, circular	sun-synchronous at 800 Km, polar
Equator Crossing	12:00 a.m. (+/- 20 min) descending	10:30 a.m. descending node (Terra) 1:30 p.m. ascending node (Aqua)	10:00 a.m. descending node
Revisit Time	1 day	+/- 1 day	3 days
Bands number	8	36	15 (programmables en largeur et position)
Wavelength range	from 402 nm to 885 nm	from 620 nm to 14385 nm	from 390 nm to 1040 nm
Resolution at Nadir	1.1 km LAC 4.5 km GAC	250 m (bands 1-2) 500 m (bands 3-7) 1000 m (bands 8-36)	260m (résolution d'origine) ~1km (résolution réduite)

## Chl-a : Capteurs - prétraitement (2)

- Produits *MODIS Ocean Color* distribués par l'*Ocean Biology Processing Group*
  - MODIS OCEAN L2A/B (*bio-optical/physical parameters*)
  - MODIS OCEAN L2 (*Water leaving radiance*)
  - MODIS L1B (*Calibrated and geocoded TOA radiance*)
  - **MODIS L1A (*Raw radiance*)** MYD01 + External Cloud mask





# Chl-a : Optimisation du calcul (1)

- 5 modèles d'**aérosols** testés
  - 12 **algorithmes bio-optiques** testés
- } 60 combinaisons
- Appariement des mesures de chl-a *in situ* et des images MODIS
    - **Décalage temporelle** < 6 heures
    - **Ciel** clair ou probablement clair
    - Distance (pixel, **côte**) > 1 km
    - Distance (pixel, **station de mesure**) < 4 km
    - **Valeur au pixel** ou **médiane** dans un voisinage (5x5)

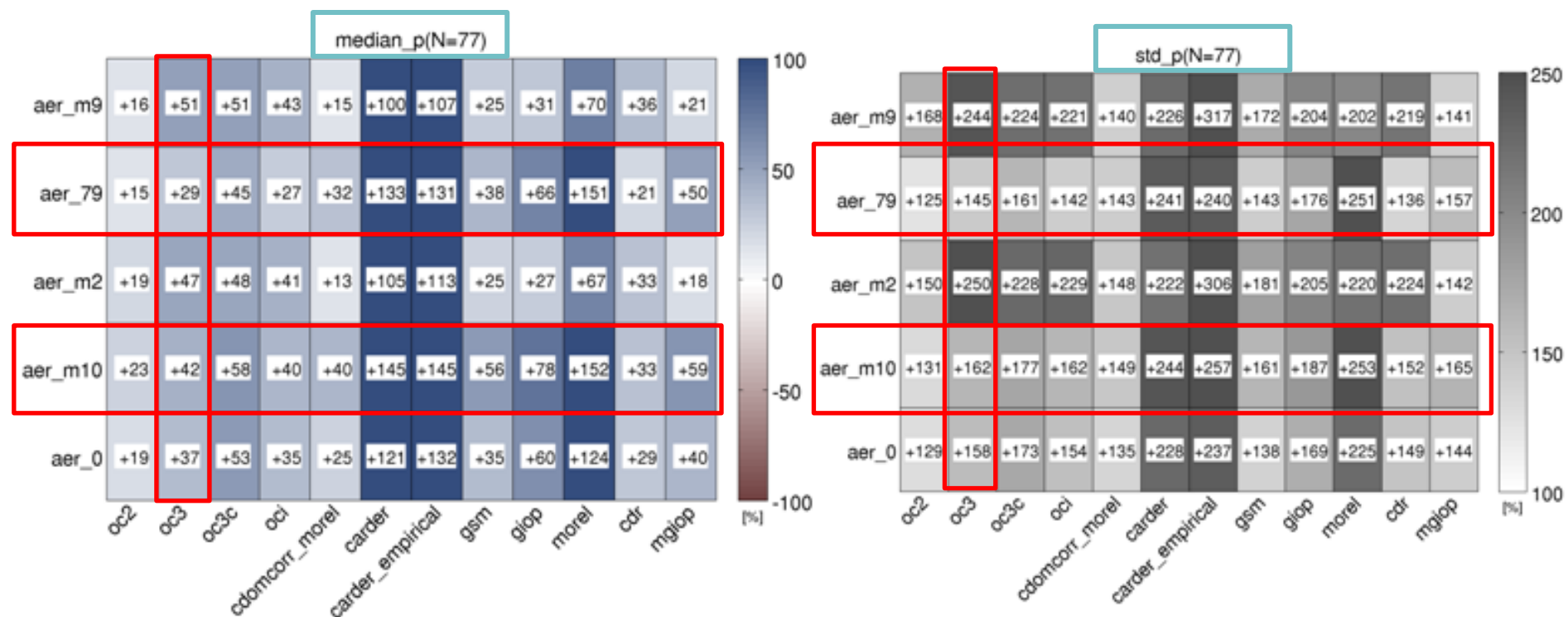
# Chl-a : Optimisation du calcul (2)

Estimation de la concentration en Chl-a

Inexactitude (ou biais) relative (%)

Imprecision relative (%)

600 observations de chl-a de surface (260 coastal + 324 pelagic + 18 cruise)



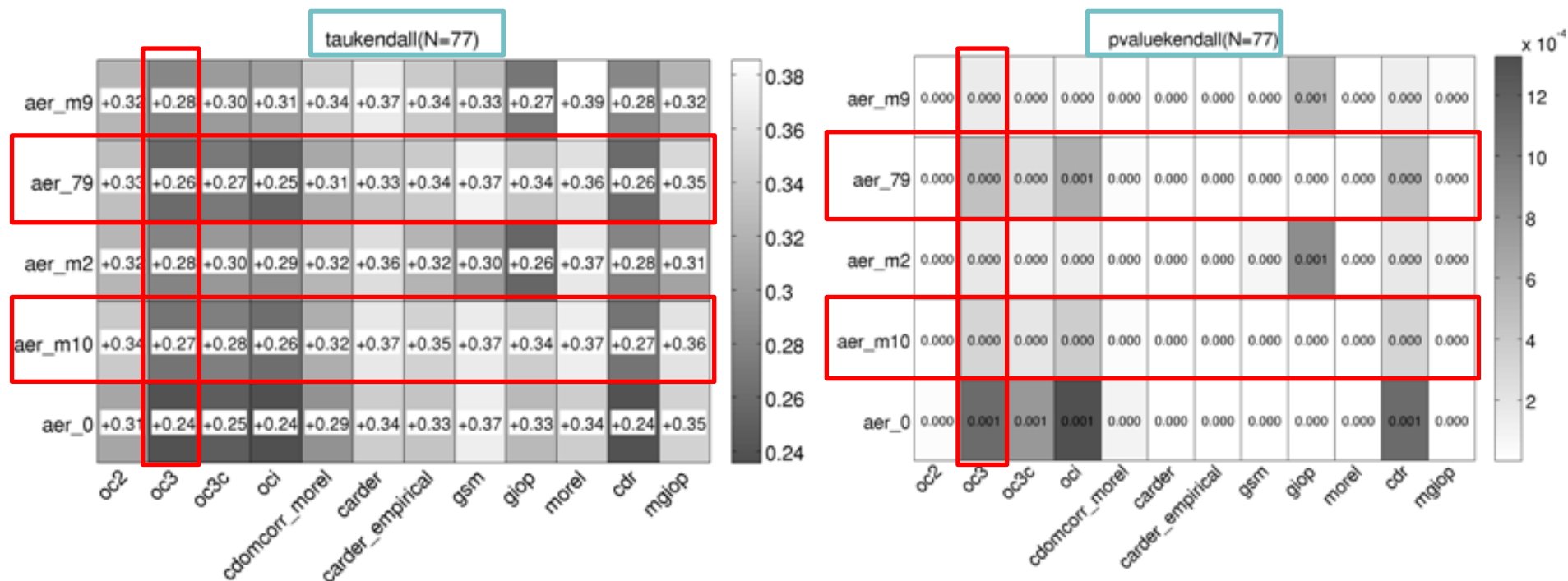
HPLC and valeur médiane dans un voisinage 5x5

# Chl-a : Optimisation du calcul (3)

Coefficient de corrélation de rang (Tau de Kendall) entre mesures in situ et estimation satellitaire de la chl-a

p-value associée au Tau de Kendall

600 observations de chl-a de surface (260 coastal + 324 pelagic + 18 cruise)

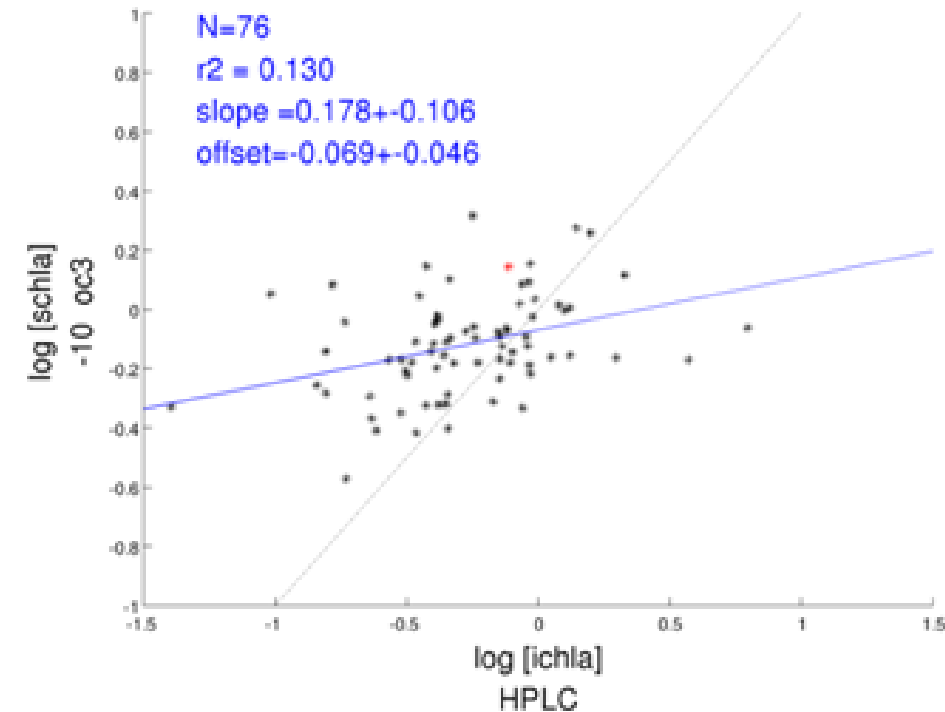


HPLC and valeur médiane dans un voisinage 5x5

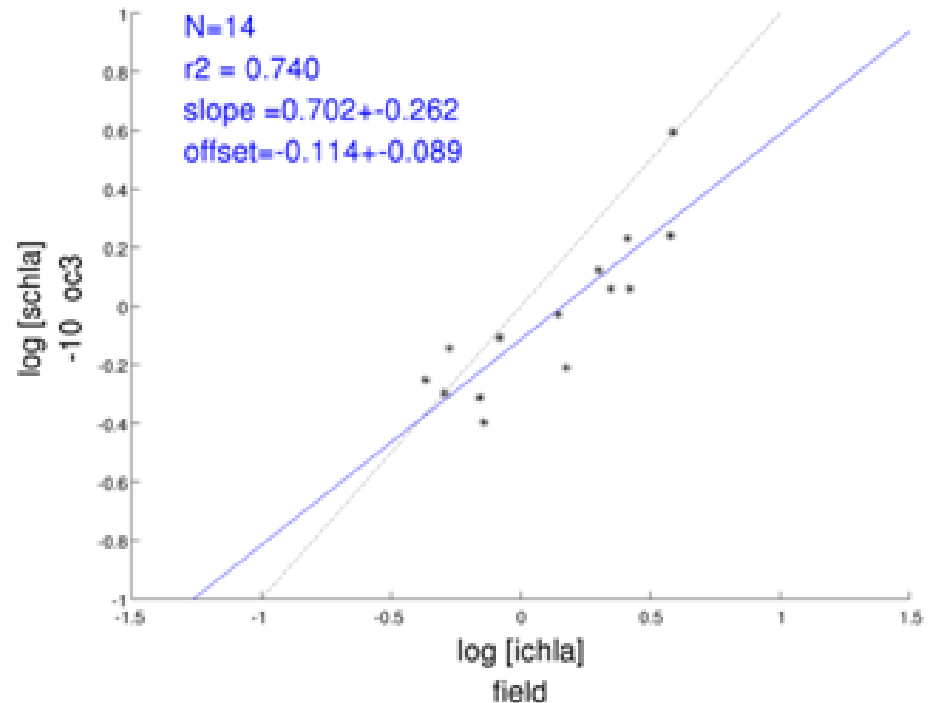
# Chl-a : Optimisation du calcul (4)

(Y) Chl-a  $\mu\text{g}/\text{m}$  satellitaire (MUMM -10 et OC3), médiane (5x5)

(X) Chl-a mesurée *in situ*

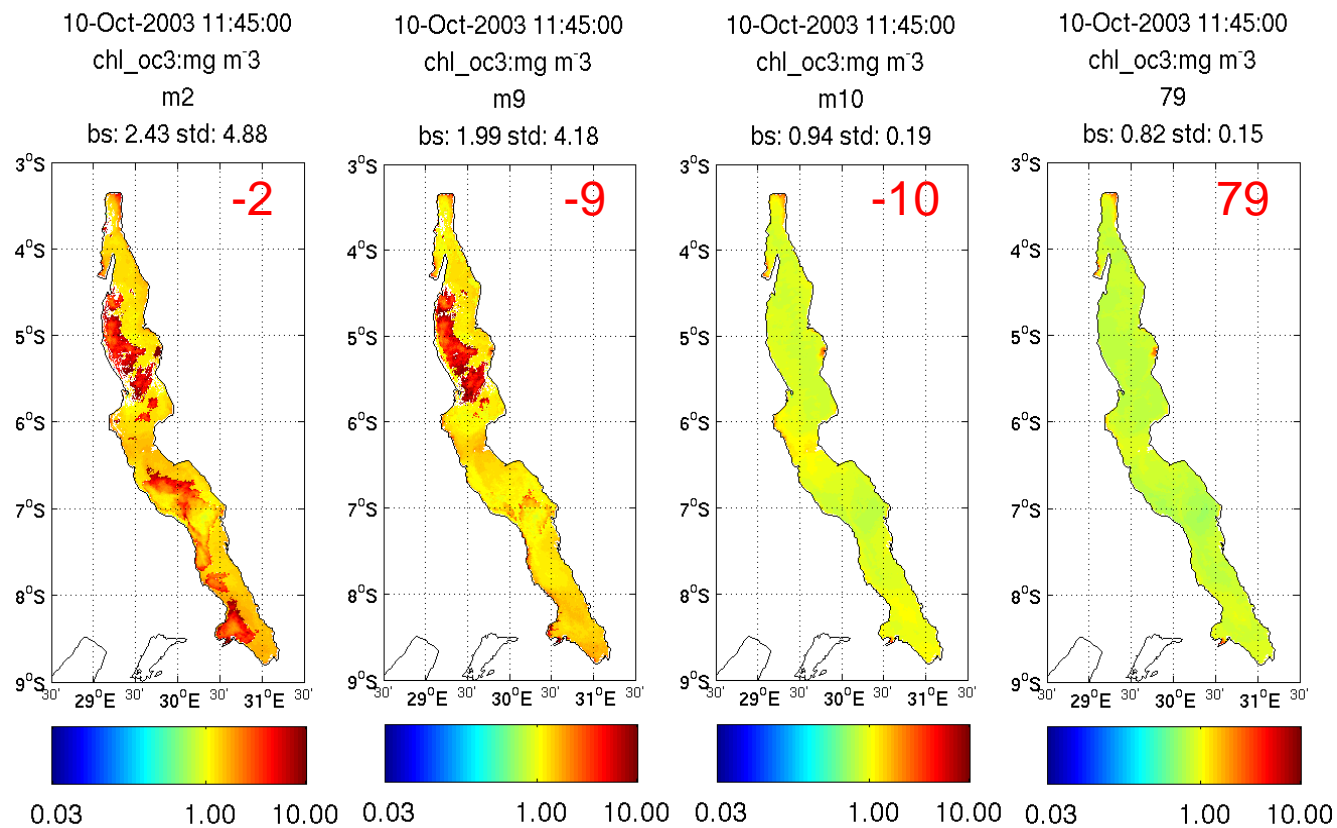


*High Performance  
 Liquid  
 Chromatography*



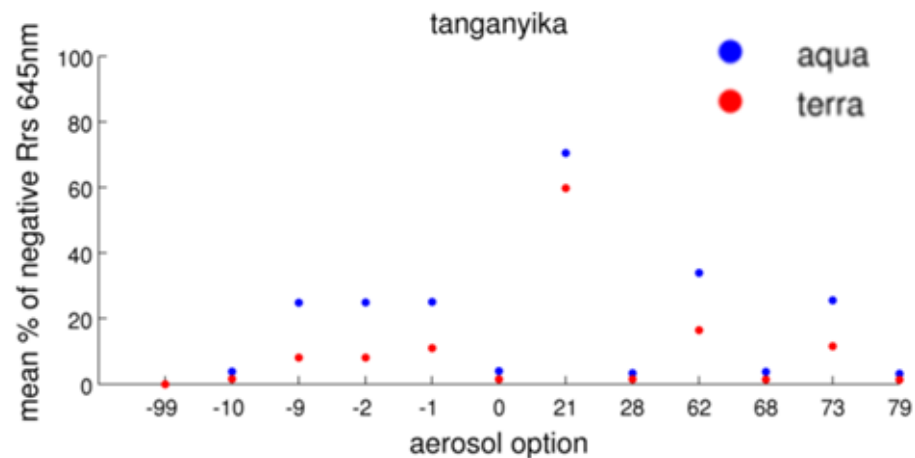
Fluorométrie  
 ou  
 Spectrophotométrie

# Chl-a : Optimisation du calcul (5)



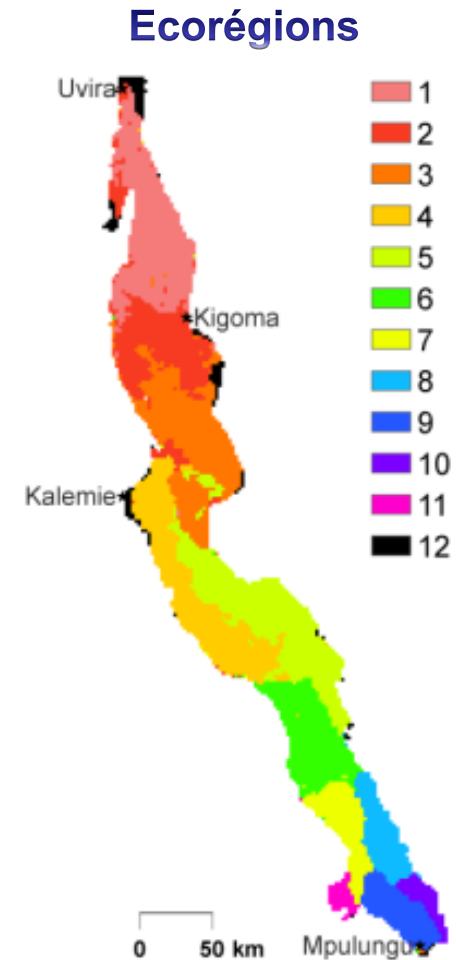
Cohérence spatiale

Proportion de réflectances négatives dans la bande 645 nm pour un échantillon très réduit d'images avec ciel clair (principalement de mai à septembre)



# Chl-a : Production des séries temporelles

- Méthodes sélectionnées
  - Algorithme bio-optique **OC3**
  - Modèles d'aérosols **79** et **-10**
- Confirmation
  - **Knox et al** (2014) sur le Kivu
  - **Horion et al** (2010) sur le Tanganyika
- Agrégation
  - **Filtrage** (albédo des nuages, lumière parasite, angle zénithal du capteur)
  - **Séries temporelles d'images**
    - R. Spatiale à 2x2 km
    - R. Temporelle journalière et hebdomadaire
    - Opérateur statistique: médiane
  - **Séries temporelles zonales**
    - Agrégation spatiale globale (lac) et zonale (écorégions)
    - Opérateurs statistiques: moy., var., médiane, quartiles, min. et max.



# Plan

1. Océanographie et limnologie satellitaires
2. Couleur de l'eau et concentration en chlorophylle
3. **Température de surface des mers et lacs**
4. Exploitation des produits satellitaires
5. Quels enseignements tirer ?

# LSWT : Capteurs - prétraitement (1)

<b>Sensor</b>	<b>SeaWIFS</b> <i>Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor</i>	<b>MODIS</b> <i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>	<b>MERIS</b> <i>MEdium Resolution Imaging Spectrometer Instrument</i>
Onboard	SeaStar (OrbView-2)	Terra and Aqua	ENVISAT
Launch	August 1997	1999 (Terra) May 2002 (Aqua)	March 2002
Orbit Type	sun-synchronous at 705 km	sun-synchronous at 705 Km, near-polar, circular	sun-synchronous at 800 Km, polar
Equator Crossing	12:00 a.m. (+/- 20 min) descending	10:30 a.m. descending node (Terra) 1:30 p.m. ascending node (Aqua)	10:00 a.m. descending node
Revisit Time	1 day	+/- 1 day	3 days
Bands number	8	36	15 (programmables en largeur et position)
Wavelength range	from 402 nm to 885 nm	from 620 nm to 14385 nm	from 390 nm to 1040 nm
Resolution at Nadir	1.1 km LAC 4.5 km GAC	250 m (bands 1-2) 500 m (bands 3-7) 1000 m (bands 8-36)	260 m (résolution d'origine) ~1km (résolution réduite)



# LSWT : Prétraitements

**Input**

MODIS Level 1A

**Calculs préalables**

Level 2

**Température de brillance**  
dans les différents canaux  
de l'IR thermique  
(BT à 3.96, 11 et 12  $\mu\text{m}$ )

Autres calculs  
(e.g. **flags**)

**Angles zénithaux** du  
capteur et du soleil

# LSWT : Calcul de la LSWT (1)

**Input**                      Level 2 résultant du prétraitement                      LSWT  
    BT3.96, BT11, BT12 (X)                      ArcLAKE (Y)

**Méthode**                      Fusion de données

## Contraintes de sélection de l'échantillon de calibration (MODIS)

Temporel  $\leq 4$  h,  
 Spatial  $\leq 10$  km,  
 Côte  $\geq 2$  km,  
 Ciel clair ou probablement clair,  
 Albédo des nuages  $< 5.4$  %,  
 Ecart-type focal (3x3) des BT à 11 et 12  $\mu\text{m} < 0.05$  K  
 Contrainte sur l'angle zénithal du capteur  $< 40^\circ$

Modèle nuit       $MCSST\_TRIPLE = a T_{11} + b (T_{3.96} - T_{12}) + c (T_{3.96} - T_{12})(\sec \theta - 1) + d$

Modèle jour       $MCSST\_SPLIT = a T_{11} + b (T_{11} - T_{12}) + c (T_{11} - T_{12})(\sec \theta - 1) + d$

$NLSST\_SPLIT = a T_{11} + b MCSST (T_{11} - T_{12}) + c (T_{11} - T_{12})(\sec \theta - 1) + d$

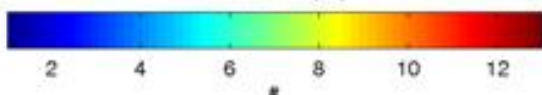
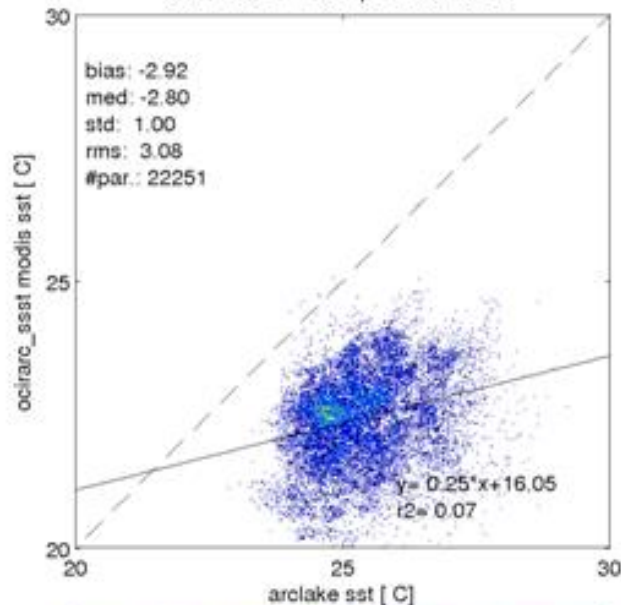
# LSWT : Calcul de la LSWT (2)

## Calibration pour le Jour / Aqua

221 images – 22251 points

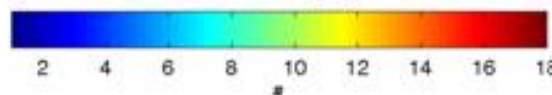
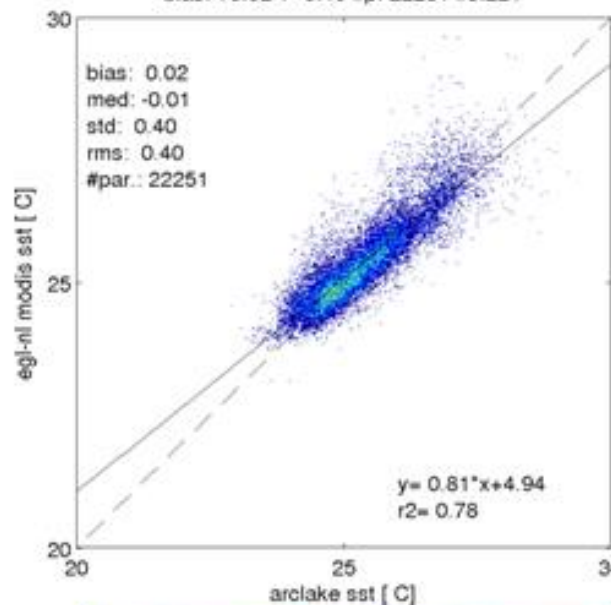
Axe Y: MODIS  
Axe X: ArcLAKE

#:020725\_120328\_Fsatid1\_id4\_q2\_cld0\_dn0\_cld20\_bt11sd005\_t  
bias: -2.92 +- 1.00 #p: 22251 #s:221



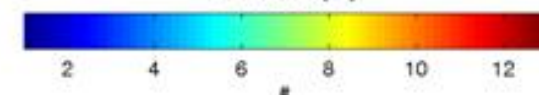
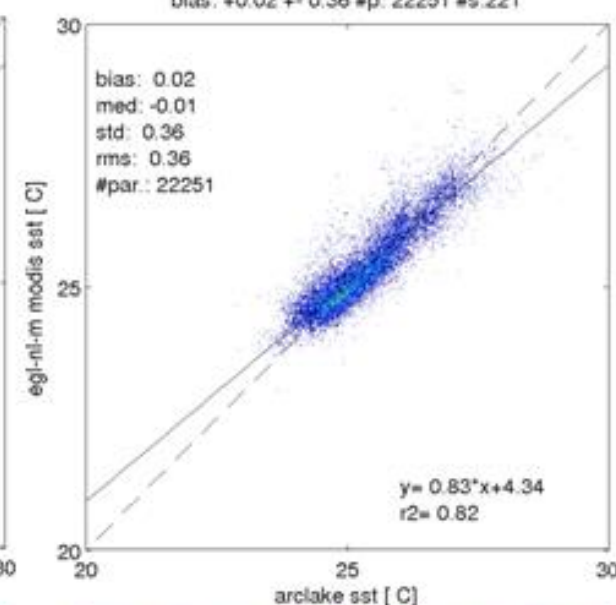
Algorithme SST par  
défaut (MODIS)

bias: +0.02 +- 0.40 #p: 22251 #s:221



Ajustement du  
modèle annuel  
moyen

bias: +0.02 +- 0.36 #p: 22251 #s:221



Ajustement d'un  
modèle pour  
chaque mois

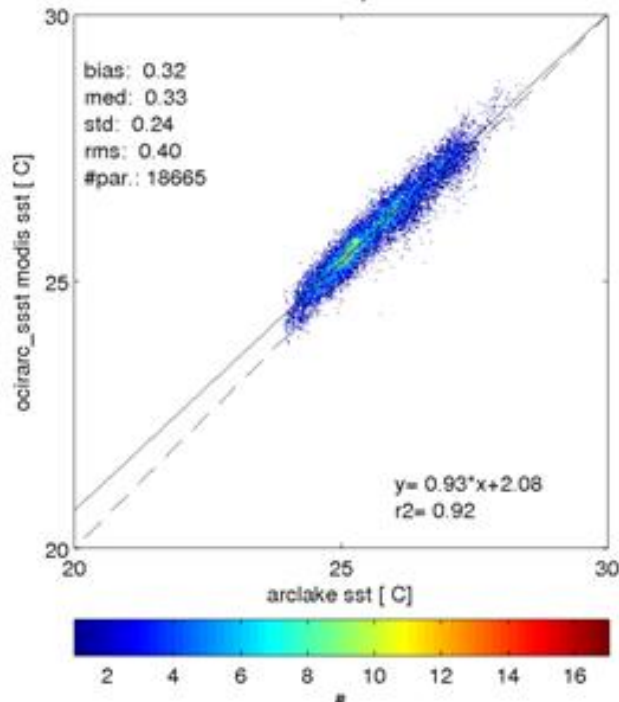
# LSWT : Calcul de la LSWT (3)

## Calibration pour la Nuit / Aqua

205 images – 18665 points

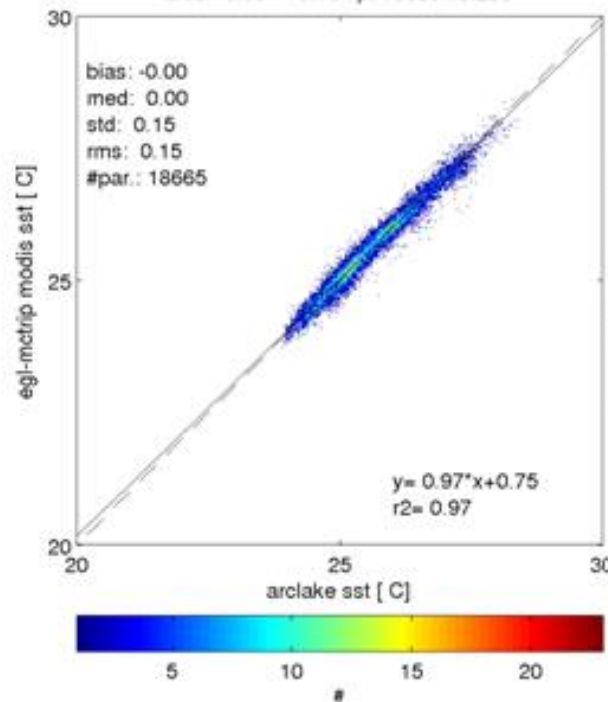
Axe Y: MODIS  
Axe X: ArcLAKE

t020725\_120328\_Fsatid1\_td4\_q2\_cld0\_dn1\_cld20\_bt11sd005\_b  
bias: +0.32 +- 0.24 #p: 18665 #s:205



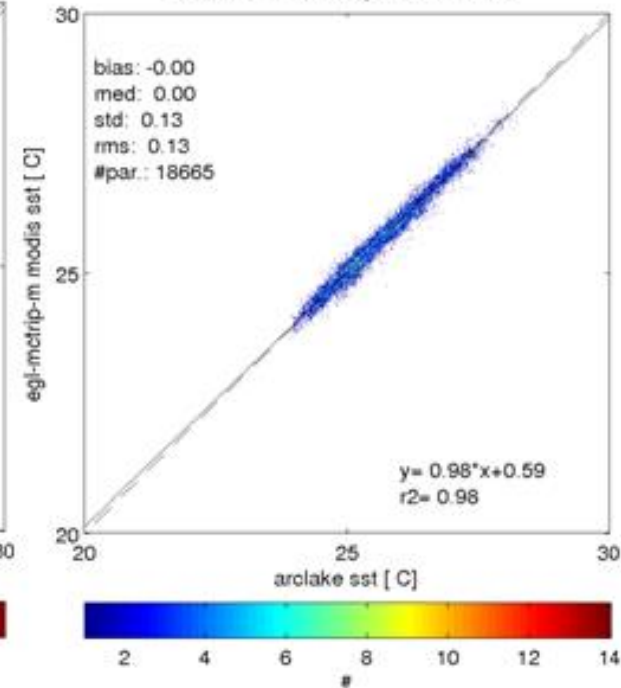
Algorithme SST par défaut (MODIS)

bias: -0.00 +- 0.15 #p: 18665 #s:205



Ajustement du modèle annuel moyen

bias: -0.00 +- 0.13 #p: 18665 #s:205



Ajustement d'un modèle pour chaque mois

# LSWT : Validation de la LSWT

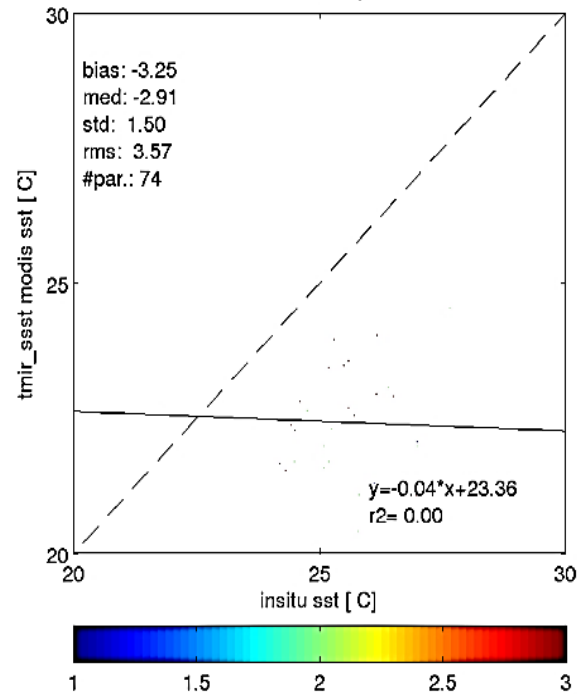
## Validation pour le Jour / Aqua

31 images – 74 points

Axe Y: MODIS

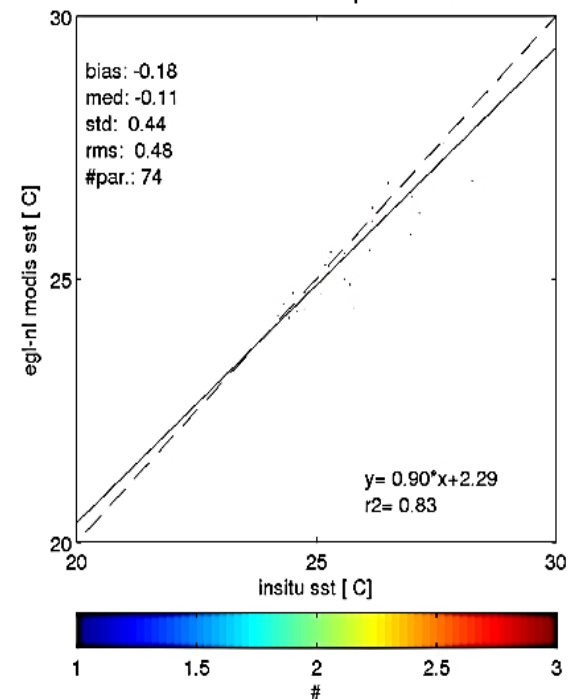
Axe X: ArcLAKE

ATTER plot - dt020702\_130101\_Fsatid1\_td4\_q2\_lk2\_cld0\_dn0  
bias: -3.25 +- 1.50 #p: 74 #s:31



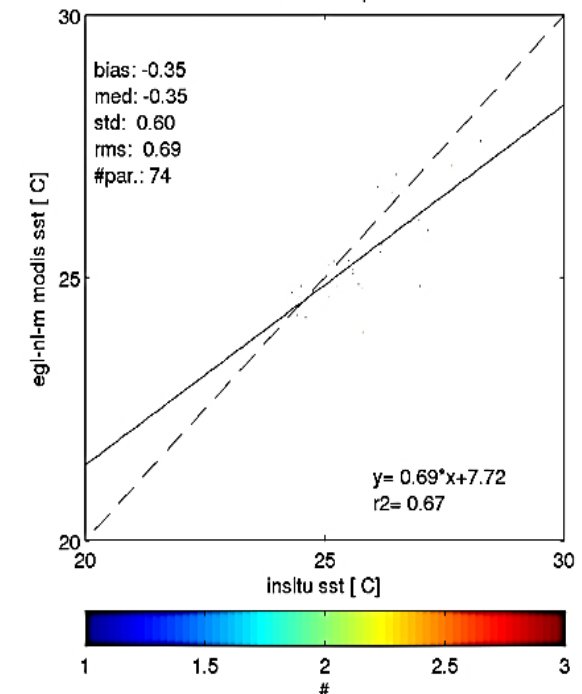
Algorithme SST par  
défaut (MODIS)

TER plot - dt020702\_130101\_Fsatid1\_td4\_q2\_lk2\_cld0\_dn0\_cld2  
bias: -0.18 +- 0.44 #p: 74 #s:31



Ajustement du  
modèle annuel  
moyen

ER plot - dt020702\_130101\_Fsatid1\_td4\_q2\_lk2\_cld0\_dn0\_cld2  
bias: -0.35 +- 0.60 #p: 74 #s:31

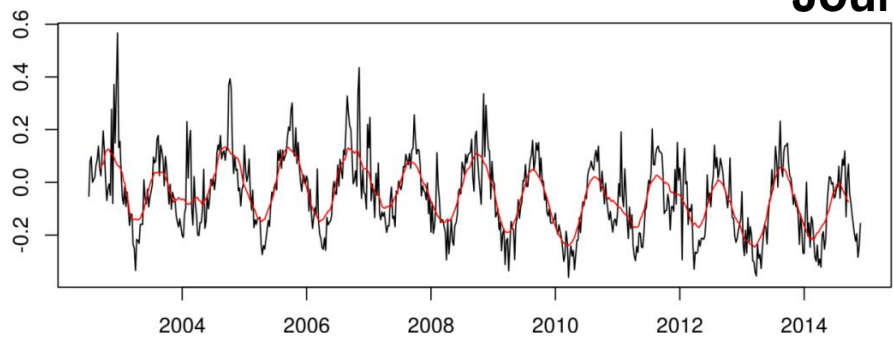


Ajustement d'un  
modèle pour  
chaque mois

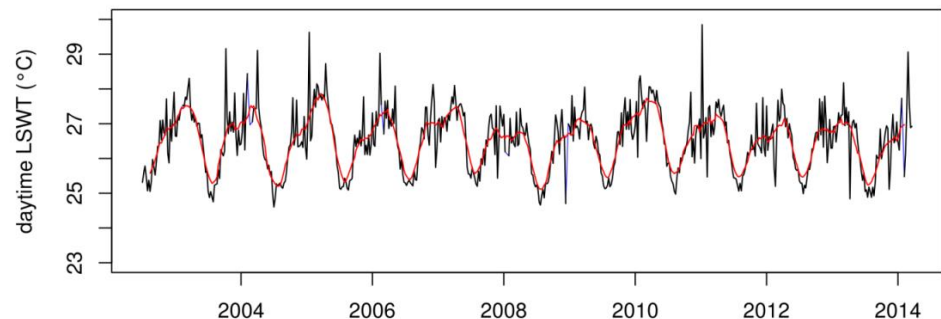
# Synthèse des produits satellitaires exploitables

- **Série temporelle d'images** de LSWT (jour et nuit) et Chl-a (journalières – hebdomadaire)
- **Séries temporelles produites par agrégation spatiale** [globale (lac) et zonale (écorégions)]

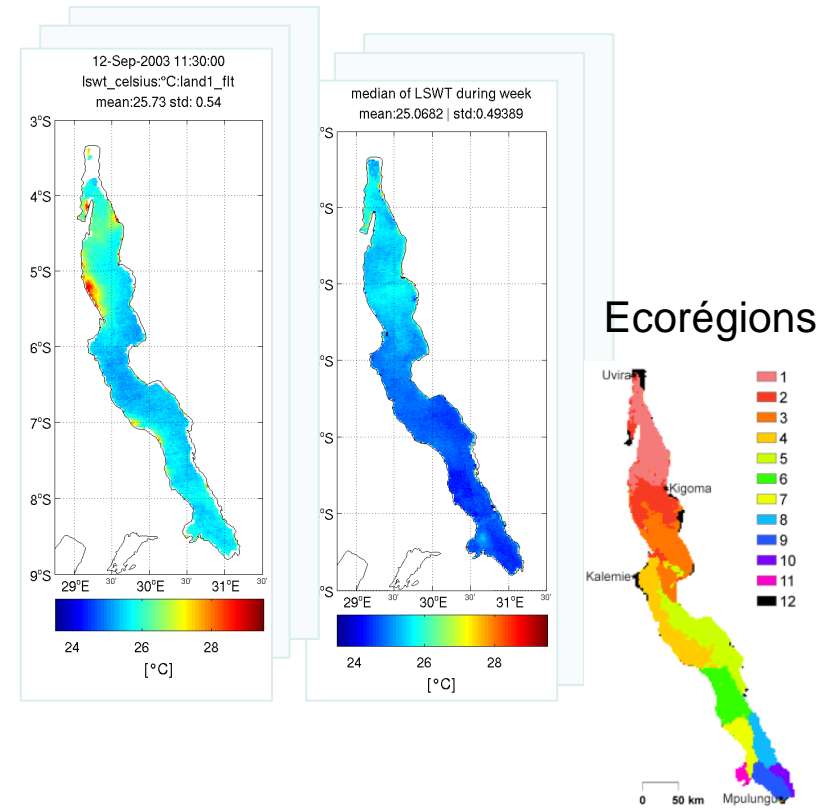
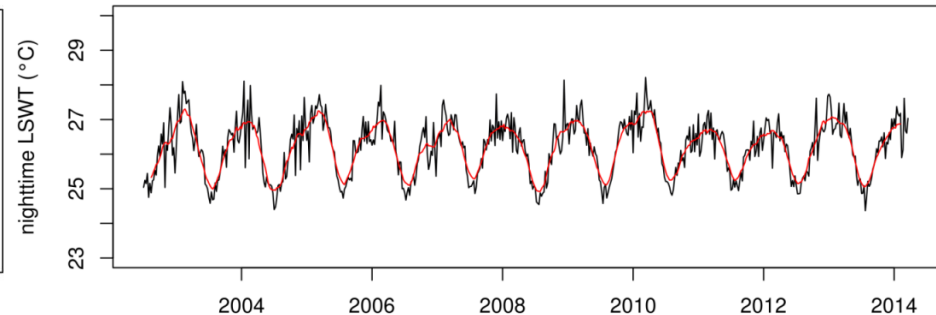
LOGCHLA - p75\_lake



median of LSWT - Lake Tanganyika



median of LSWT - Lake Tanganyika

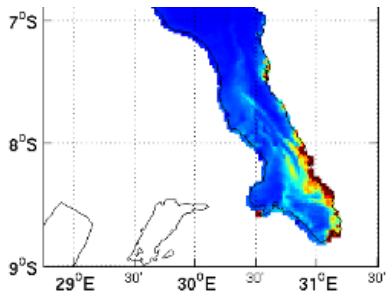


# Plan

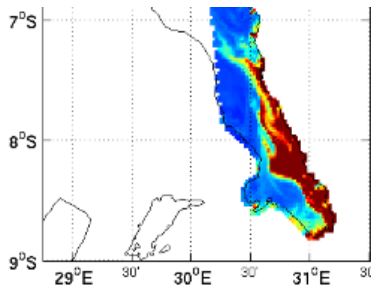
1. Océanographie et limnologie satellitaires
2. Couleur de l'eau et concentration en chlorophylle
3. Température de surface des mers et lacs
4. Exploitation des produits satellitaires
5. Quels enseignements tirer ?

# Exploitation : Hydrodynamique (1)

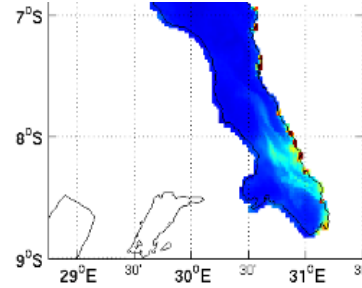
25-5-2003



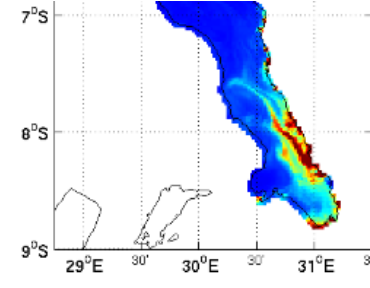
7-5-2004



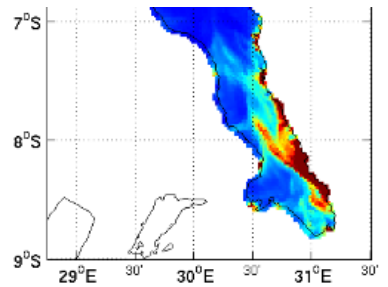
24-5-2005



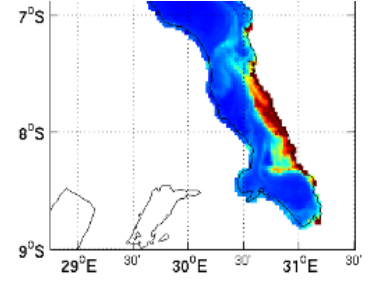
4-5-2006



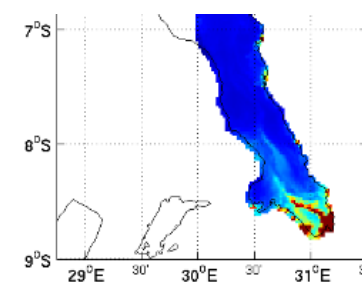
14-5-2007



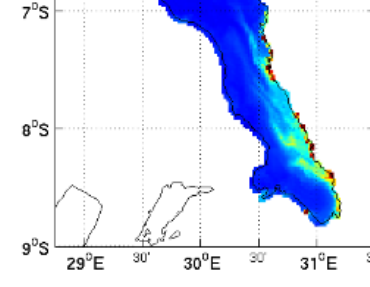
17-6-2008



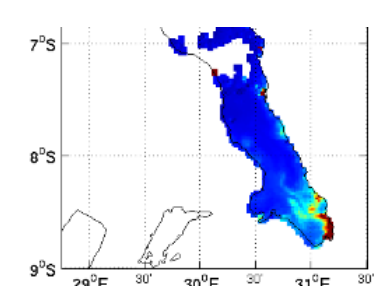
26-4-2009



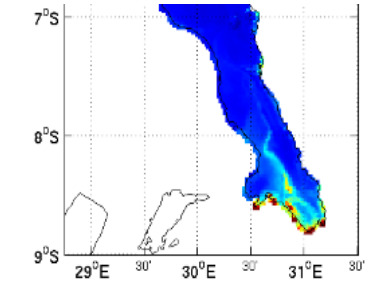
22-5-2010



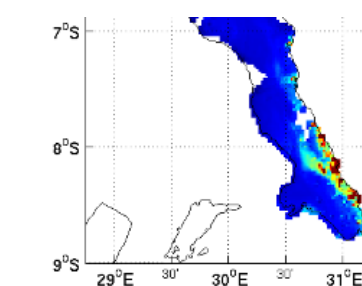
7-5-2011



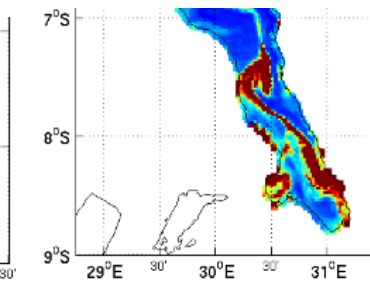
2-5-2012



5-5-2013



2-6-2014



Onde de Kelvin  
Rotation cyclonique

Concentration journalière en chl-a montrant des blooms phytoplanctoniques au sud du Tanganyika au moment (Avril/Mai à Juin) de l'inversion de la direction du vent de (nord-est → sud-est)



# Exploitation : Hydrodynamique (2)

- Zone de Convergence Intertropicale

- Alizés

- Précipitations

- Nébulosité

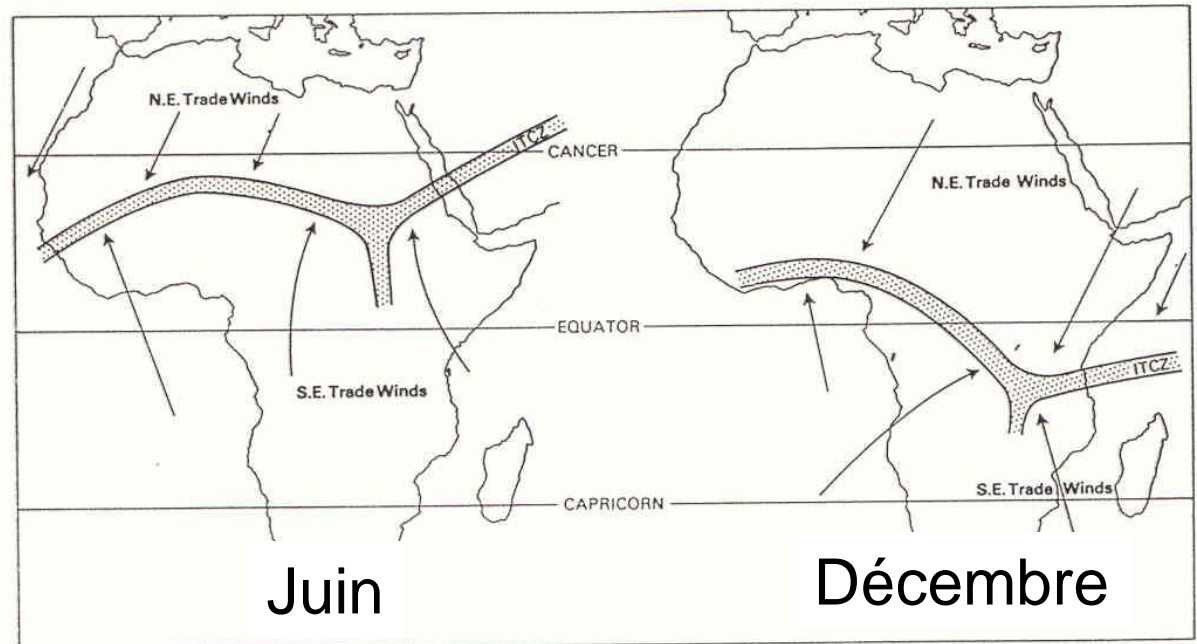


Fig. 40 The position of the I.T.C.Z.

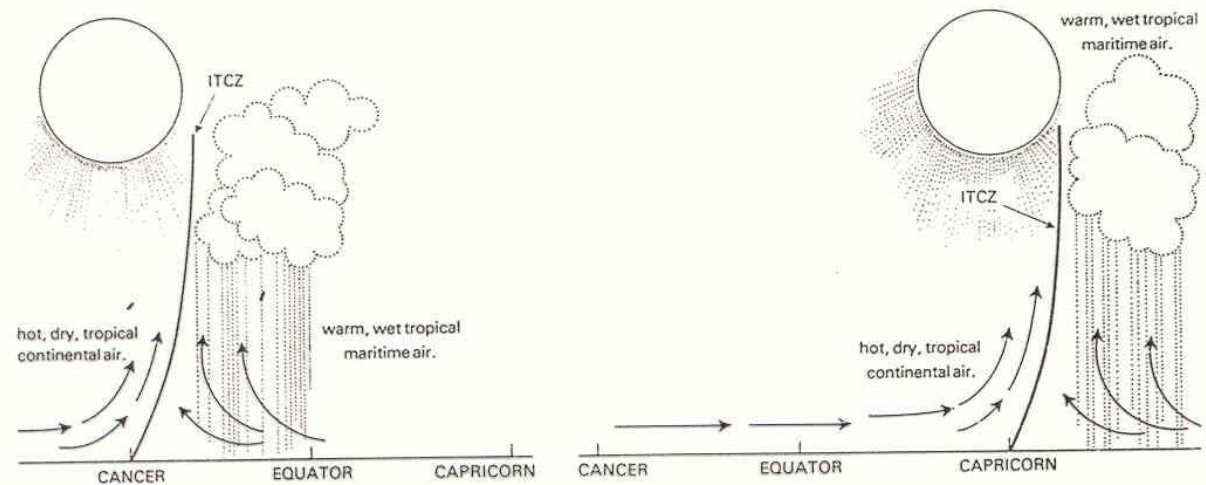
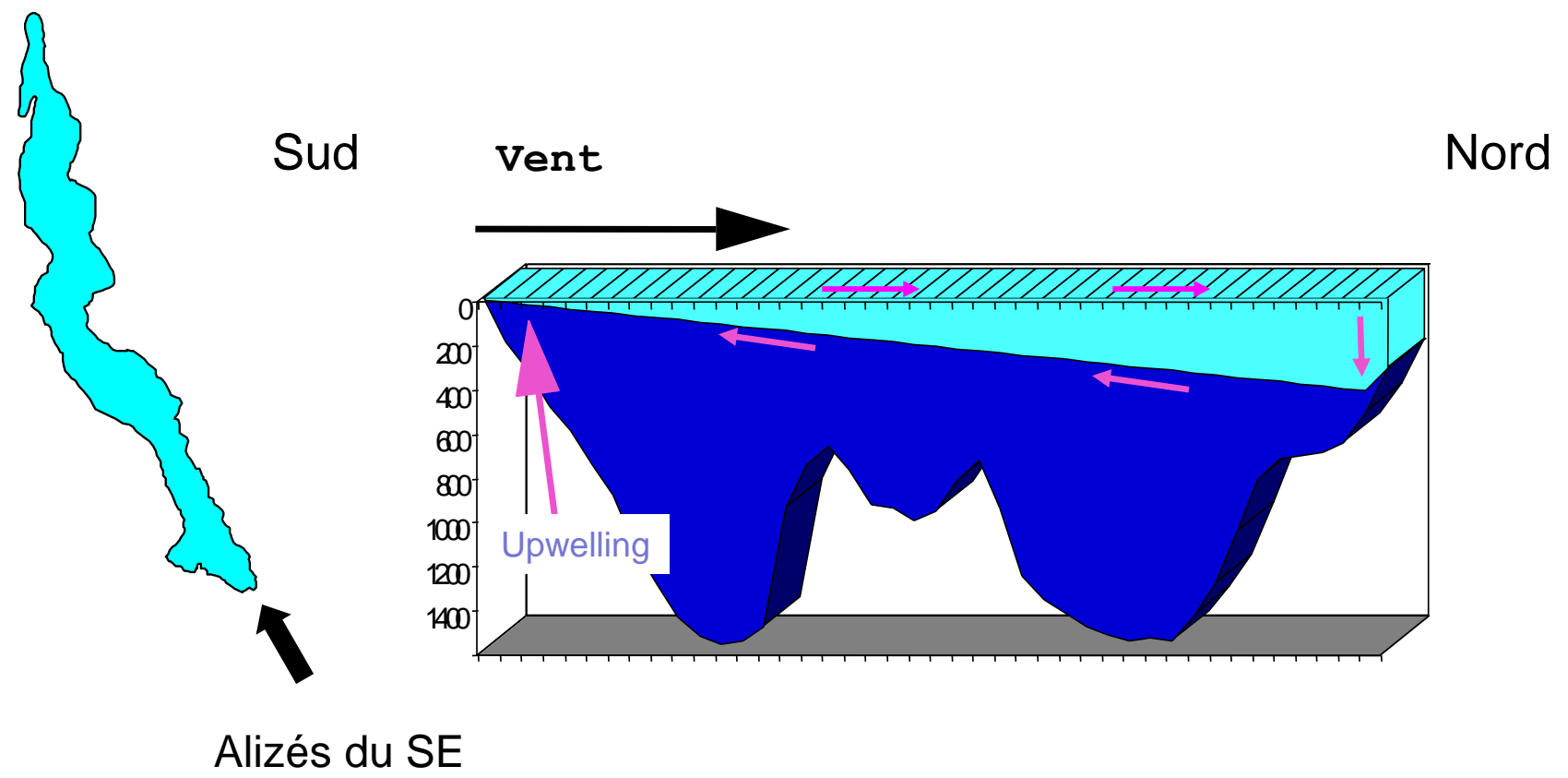


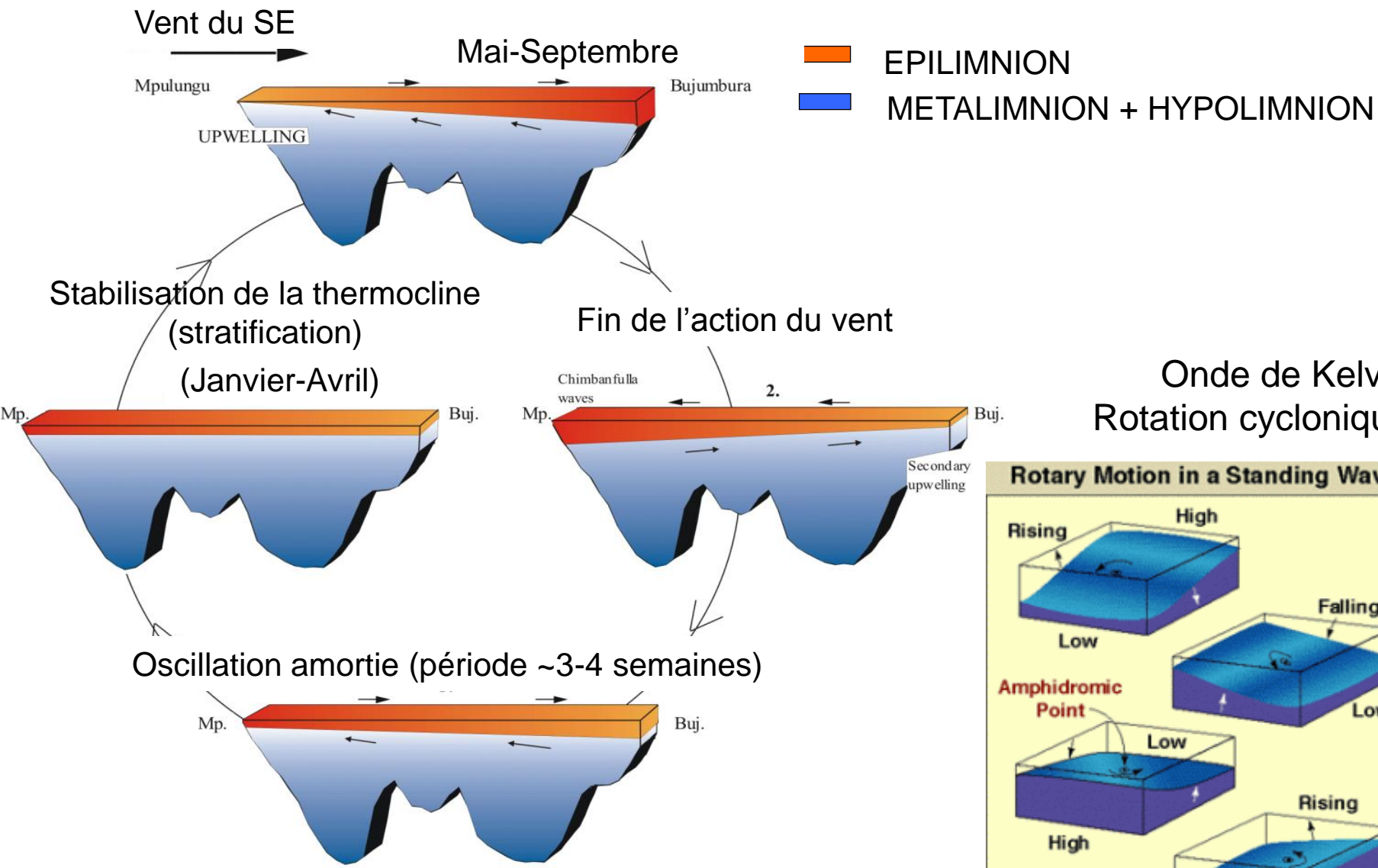
Fig. 41 Rainfall and the I.T.C.Z.

# Exploitation : Hydrodynamique (3)

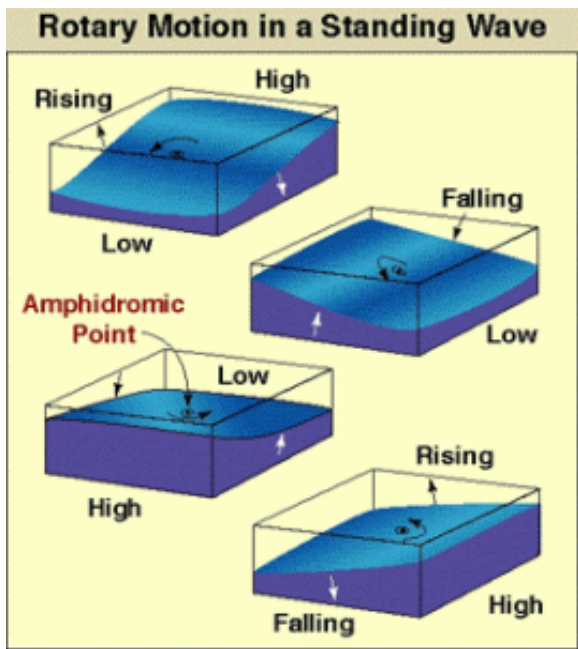


 EPI-LIMNION       METALIMNION & HYPOLIMNION

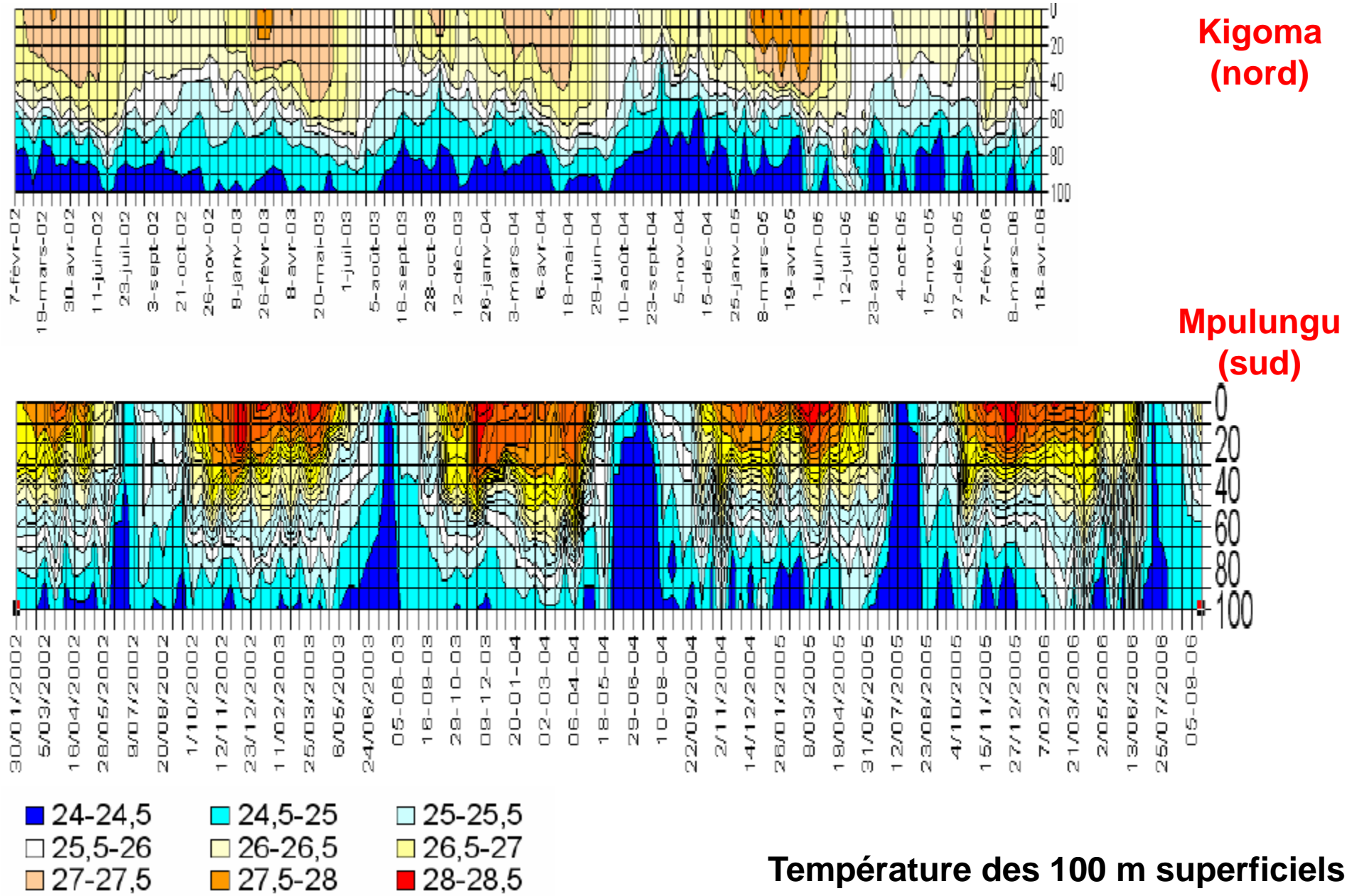
# Exploitation : Hydrodynamique (4)



Onde de Kelvin  
Rotation cyclonique

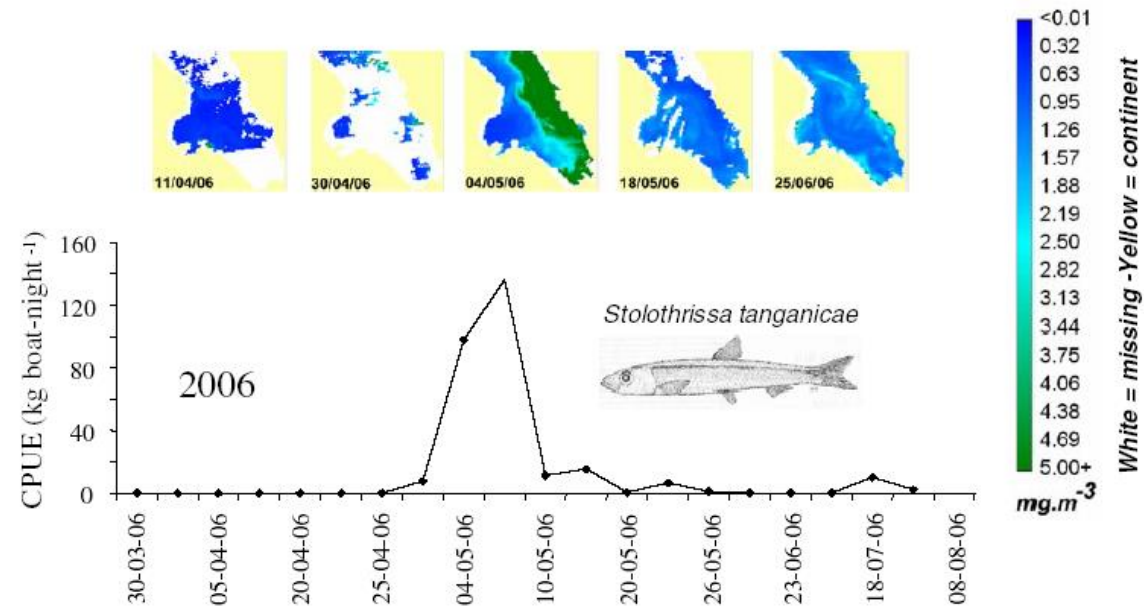
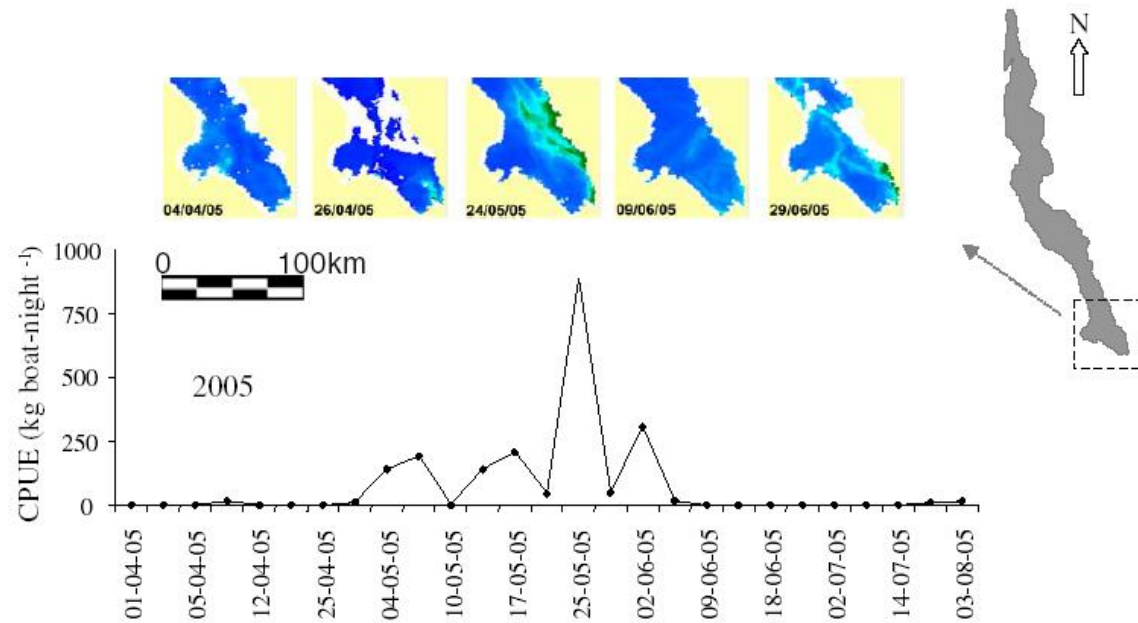


# Exploitation : Hydrodynamique (5)



# Exploitation : Eco-hydrodynamique (1)

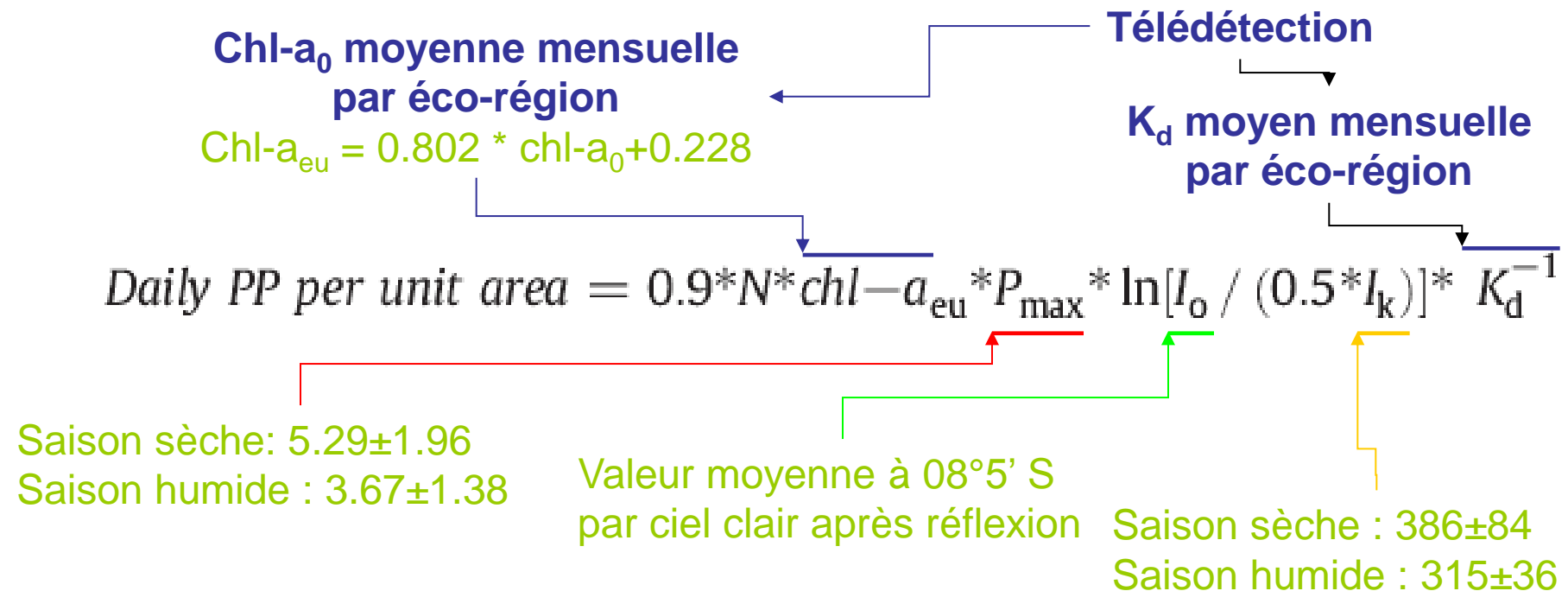
## Pêche



# Exploitation : Eco-hydrodynamique (2)

## Production primaire

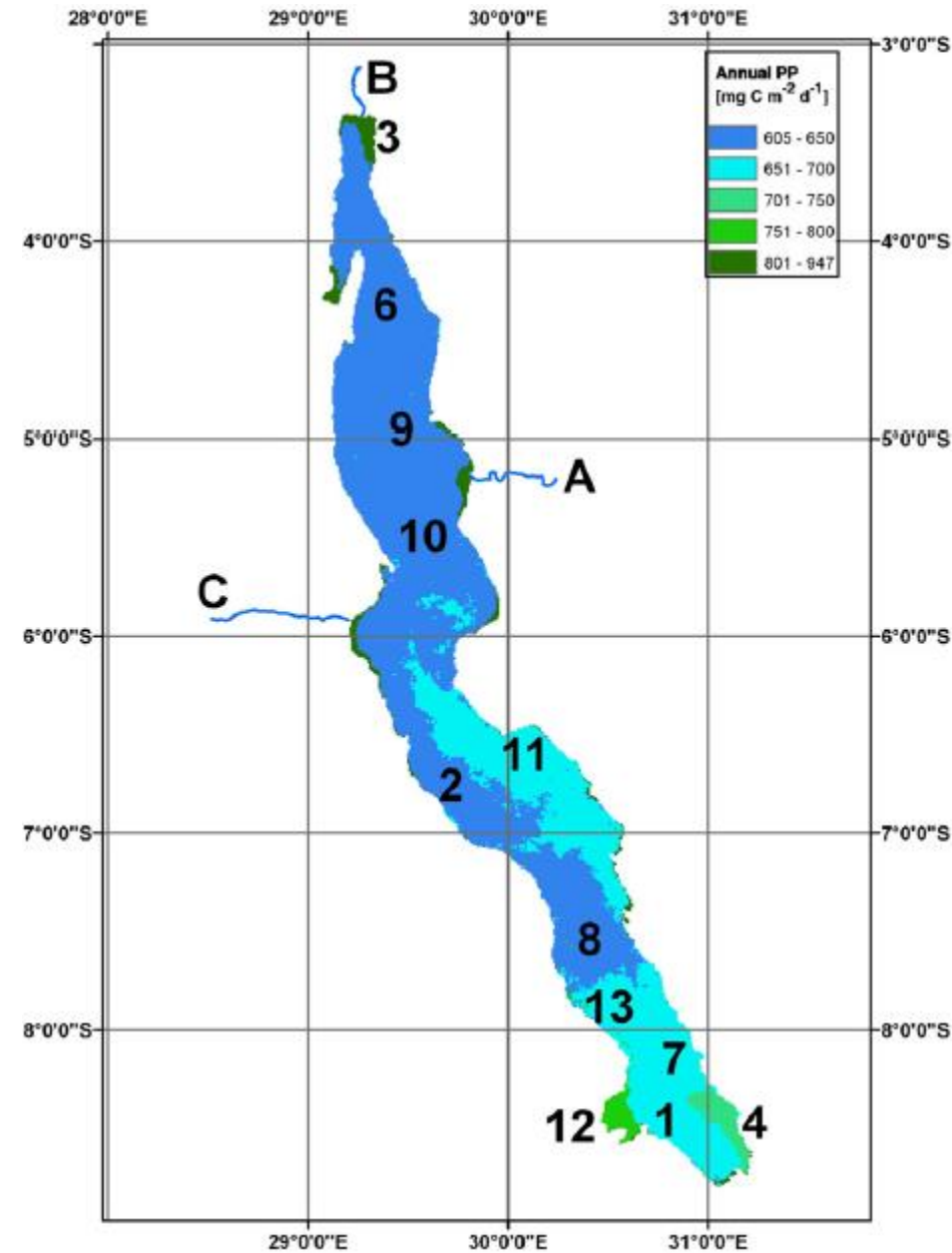
- Modèle de Tailling (1957) appliqué à l'année 2003



- N durée du jour (h)
- **K<sub>d</sub> Coefficient d'atténuation verticale (m<sup>-1</sup>)**
- P<sub>max</sub> production spécifique à saturation lumineuse (mg C μg(chl-a)<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)
- **Chl-a<sub>eu</sub> concentration en chl-a dans la couche euphotique (μg l<sup>-1</sup>)**
- I<sub>0</sub> éclaircissement moyen (PAR) (μE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)
- I<sub>k</sub> éclaircissement (PAR) (μE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)
- 0.9 facteur correctif empirique

# Exploitation : Eco-hydrodynamique (3)

## Production primaire



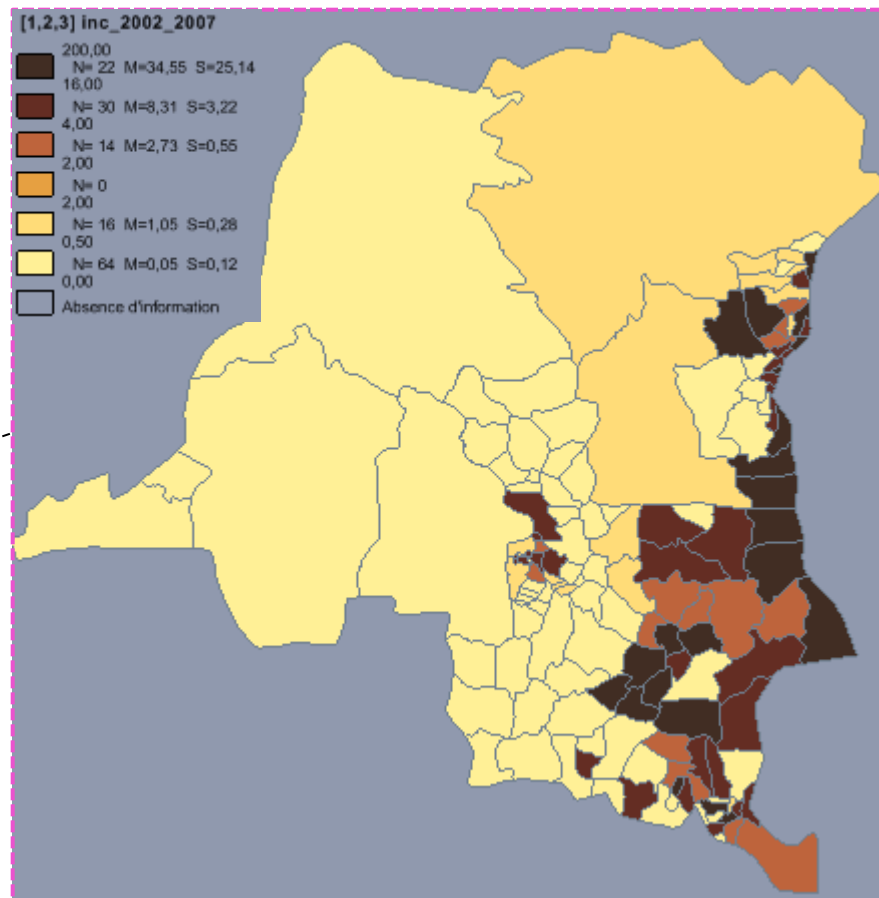
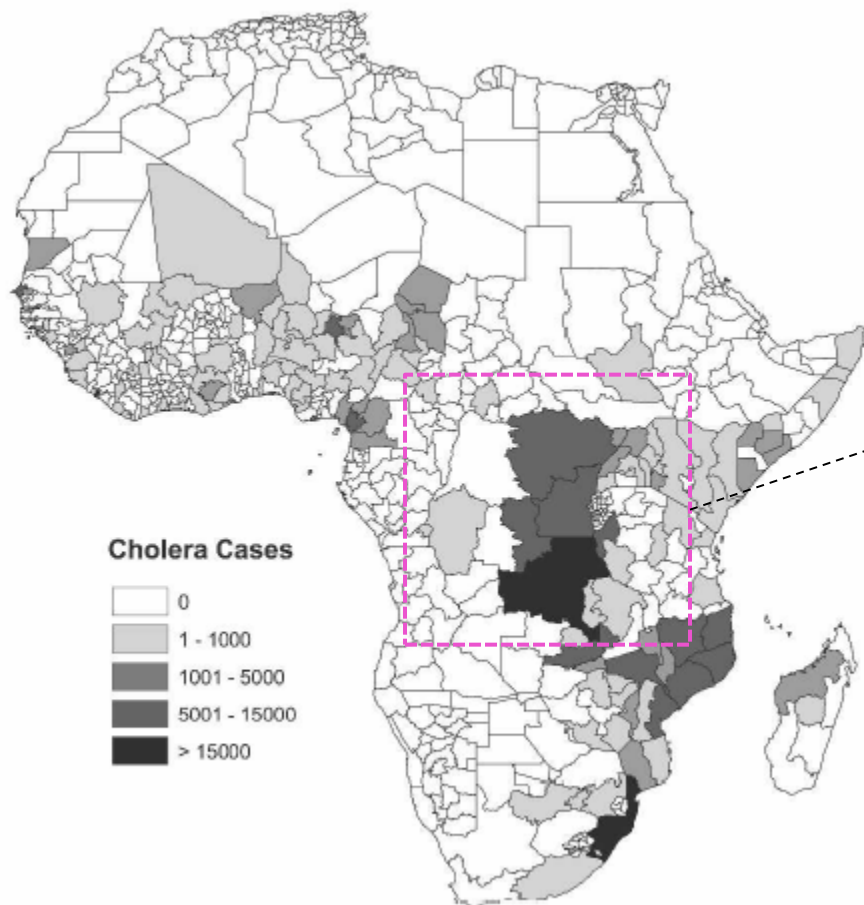
**Table 3**  
Phytoplankton production in Lake Tanganyika: comparison of four research results.

References	PP range (year) $\text{mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$	Annual average $\text{g C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$
Hecky and Fee (1981)	300–3000 (1975)	0.8
Sarvala et al. (1999)	1167–1814 (1993–1996)	1.2–1.8
Stenuite et al. (2007)	110–1410 (2002–2006)	0.36–0.56 (2003)
Naithani et al. (2007)	110–1780 (1970–2006)	0.75 (2003)
Present study	494–1348 (2003)	0.646 (2003)

# Exploitation : Epidémiologie (1)

**Cholera en Afrique : 82 % des cas mondiaux**

**RDC**



**Réapparition en 1977**

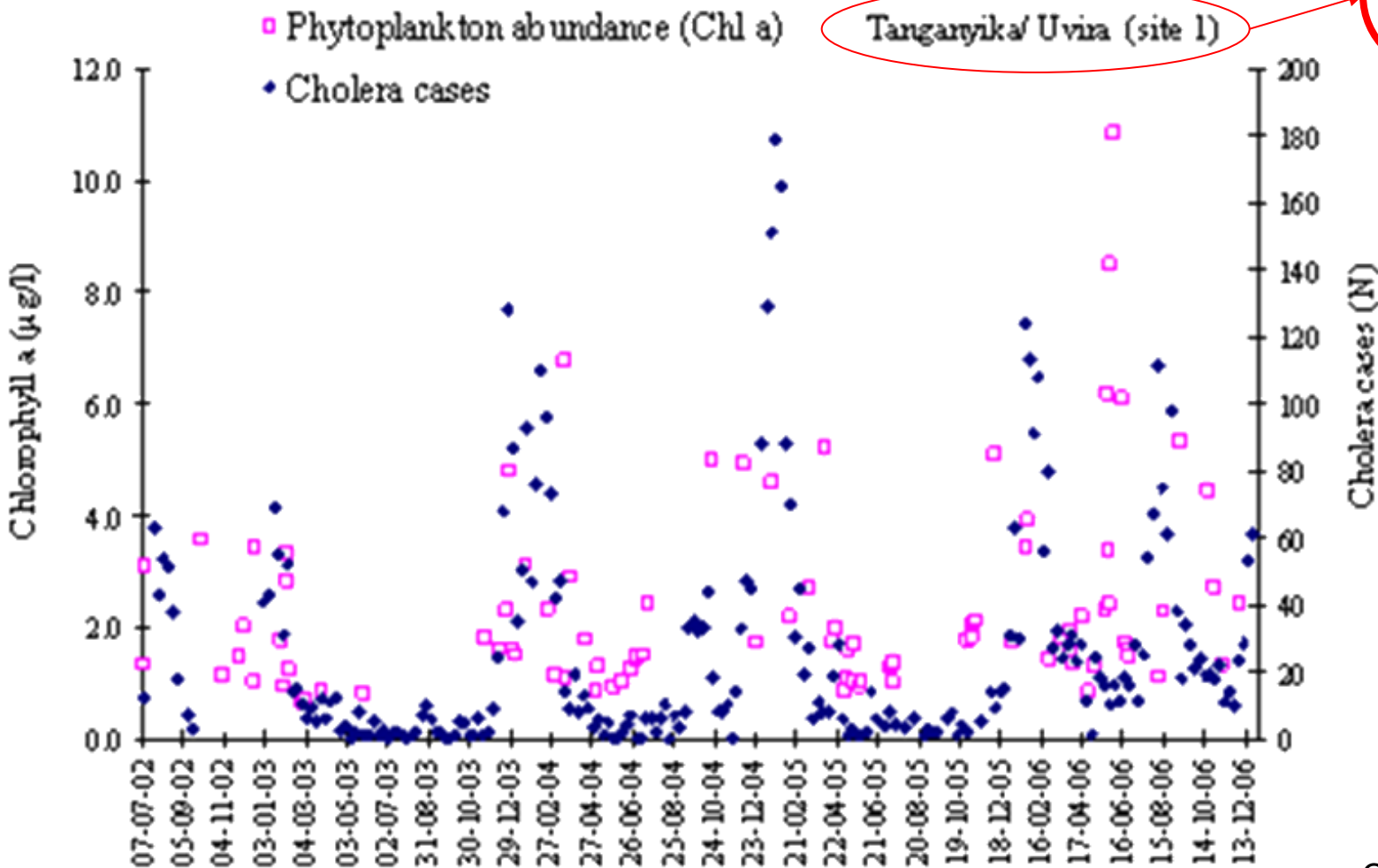
Distribution des cas de *Cholera* en Afrique  
(1995-2005)  
(Griffith *et al.*, 2006)

Taux de contamination de la population par le  
*Cholera* (pour 10000 hab.) dans les districts  
sanitaires du Katanga, du Kasai oriental, des  
Nord & Sud Kivu, 2002-2007  
(Bompangue *et al.*, 2008)



# Exploitation : Epidémiologie (3)

[chl-a] télédétectée / nombre de cas de *Cholera*



Cas de cholera : DLM

[chl-a] télédétectée : CLIMFISH

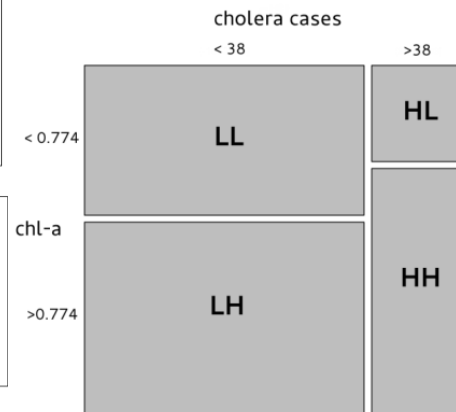
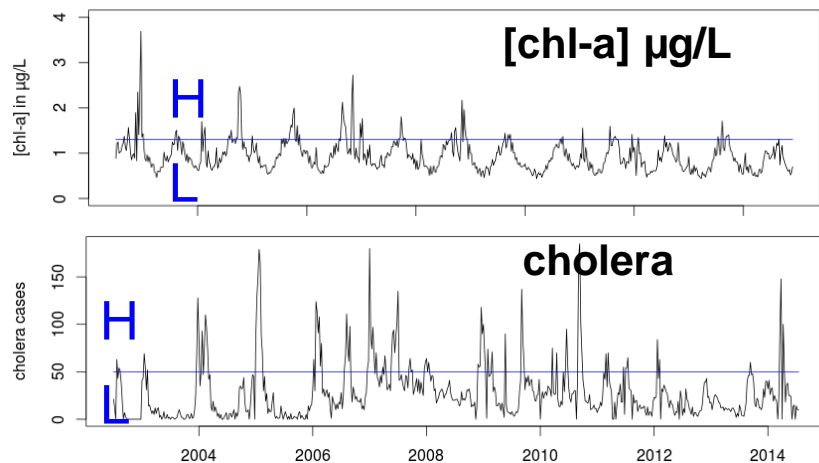
Bompangue et al, 2008 , Plisnier et al, 2007

## Exploitation : Epidémiologie (4)

- Spécificité des données
  - Evènements **rare**s (Cas de choléra)
  - **Autocorrélation temporelle** (non indépendance)
  - Séries **non stationnaires** (moyenne et écart-type varient dans le temps)
  - Possibilité de **décalage temporel (lag)** de la réponse du cholera aux variations de l'association
  - **Interactions spatio-temporelles**
- Traitements statistiques adaptés
  - Seuillage et conversion en **variables binomiales (sans lag)**
  - Modélisation des séries (**ARIMA**) et analyse des relations entre résidus (**sans et avec lag**)

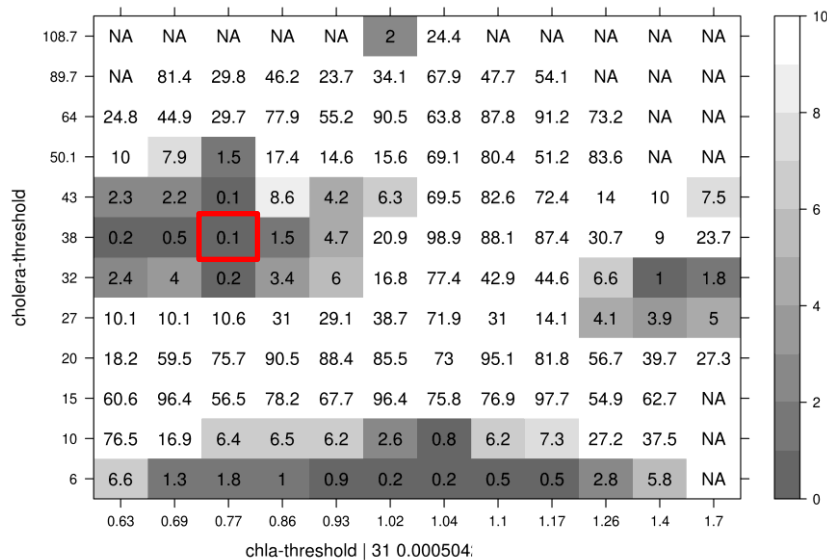
# Exploitation : Epidémiologie (5)

- Relation cholera / [chl-a] satellitaire (binomiale)

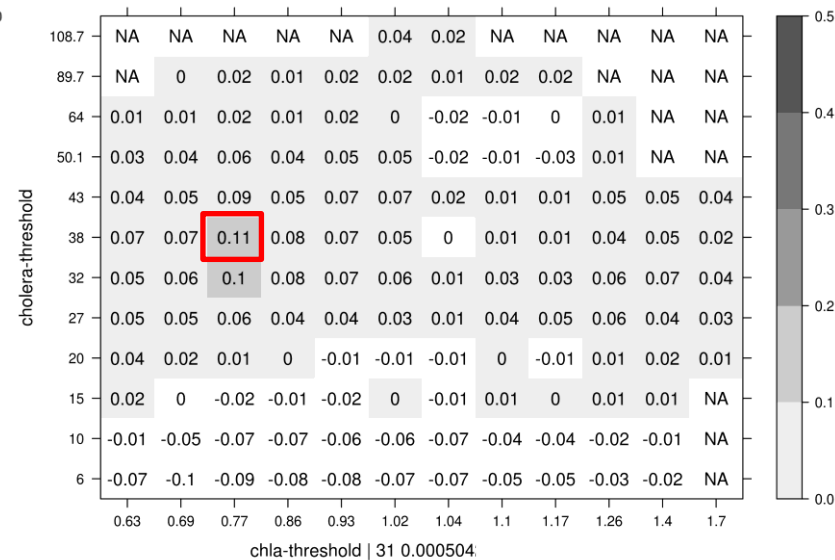


- Chi-2 statistic
- Chi-2 pvalue
- ratio LL/HH
- ratio [HH+LL]/[LH+HL]
- Kappa Index of Agreement (KIA)
- KIA confidence interval

chi2pvalue\_pc p75\_region01 | Cases ZS Uvira ( BaseCholera xls )



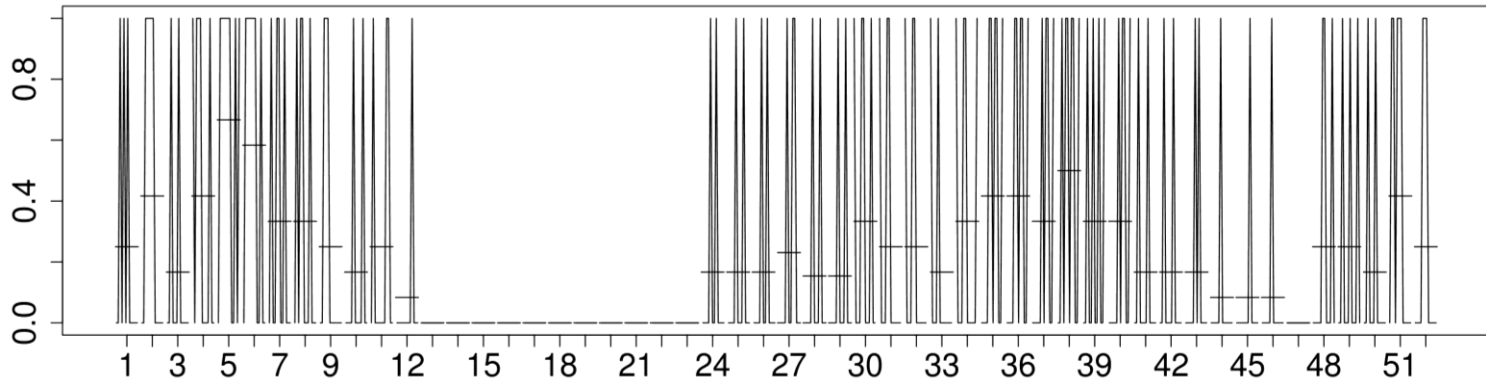
kappa p75\_region01 | Cases ZS Uvira ( BaseCholera xls )



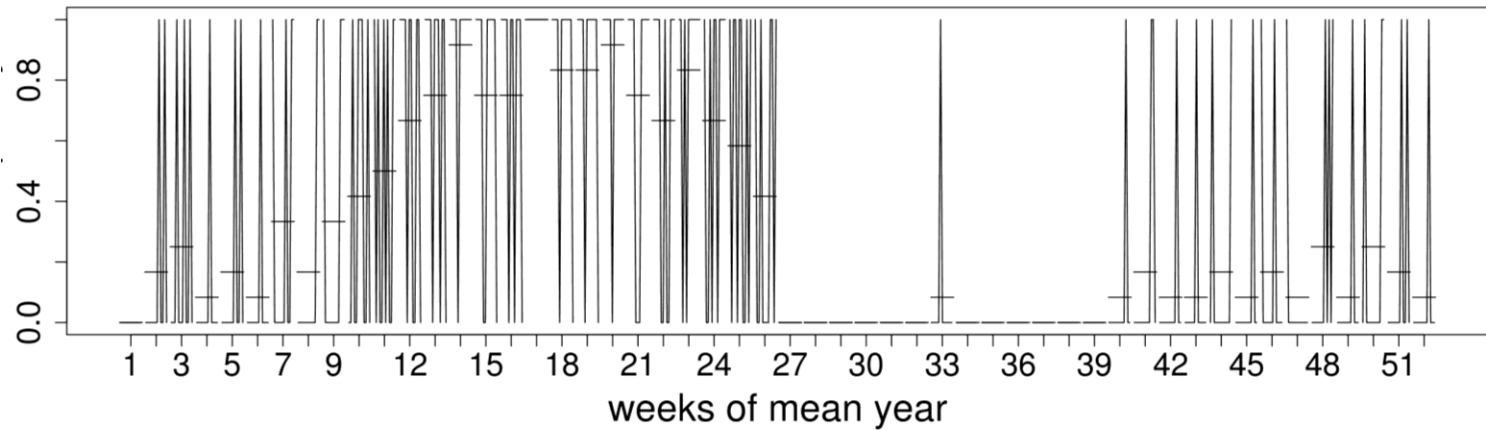
# Exploitation : Epidémiologie (6)

- Saisonnalité de la co-occurrences HH / LL

## HH



## LL



WET



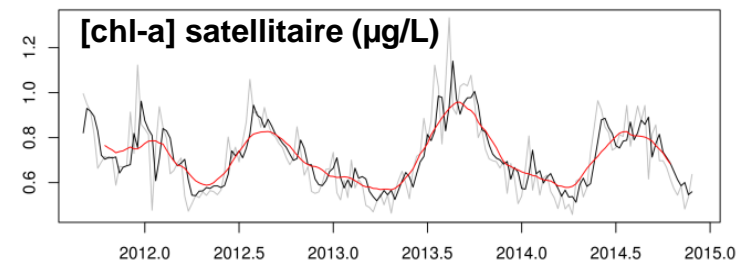
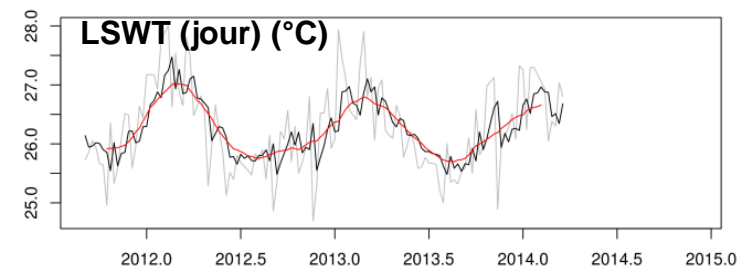
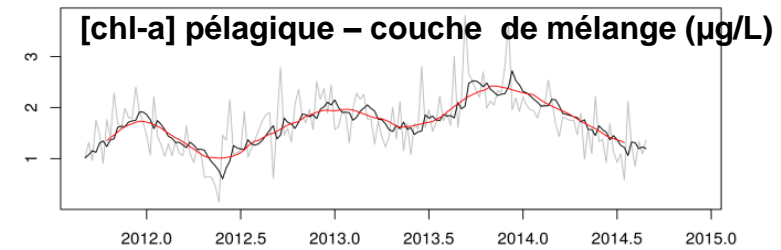
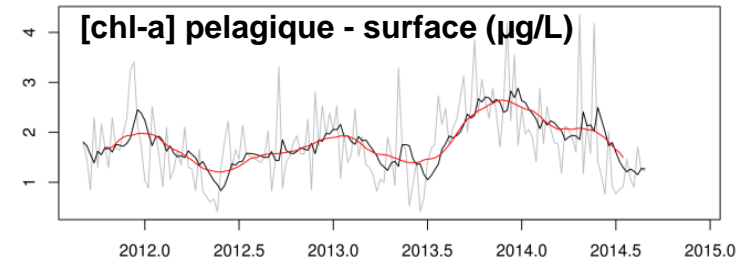
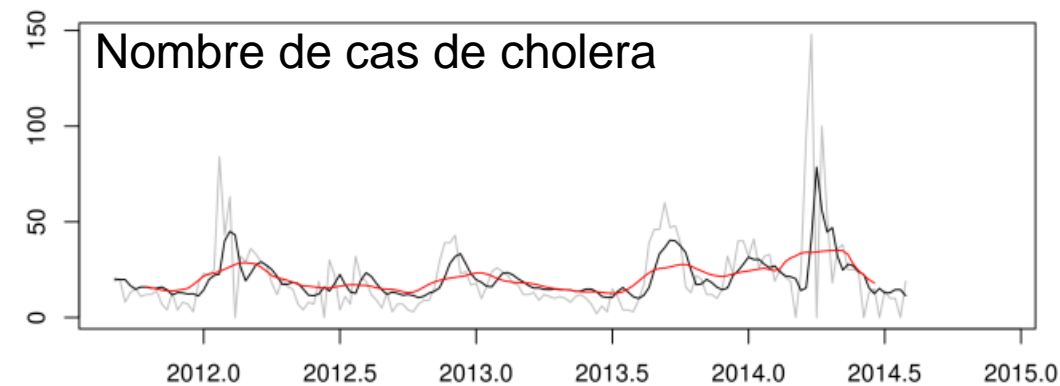
DRY



WET

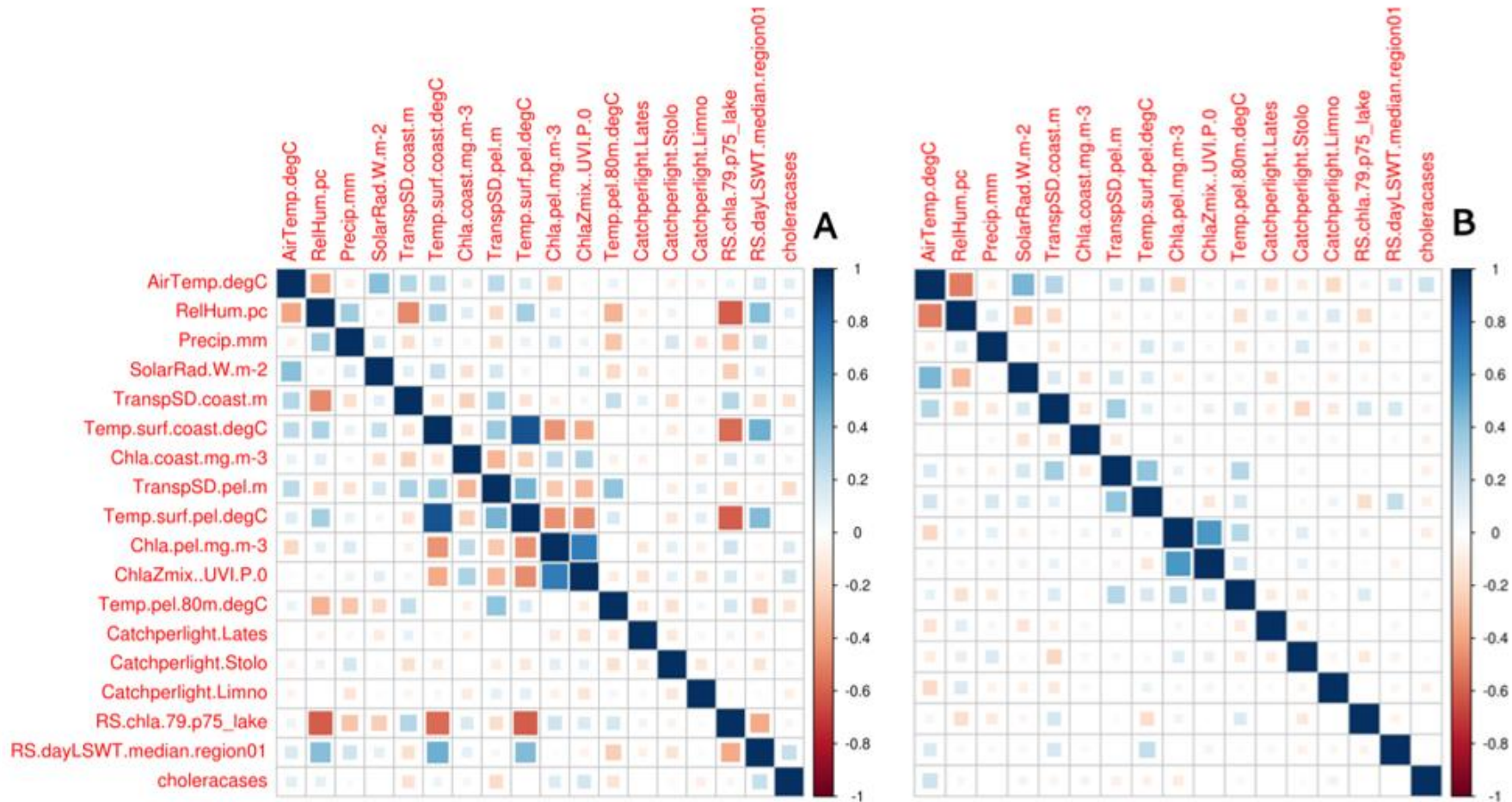
# Exploitation : Epidémiologie (7)

- ARIMA



# Exploitation : Épidémiologie (8)

- Corrélations entre séries brutes et entre résidus

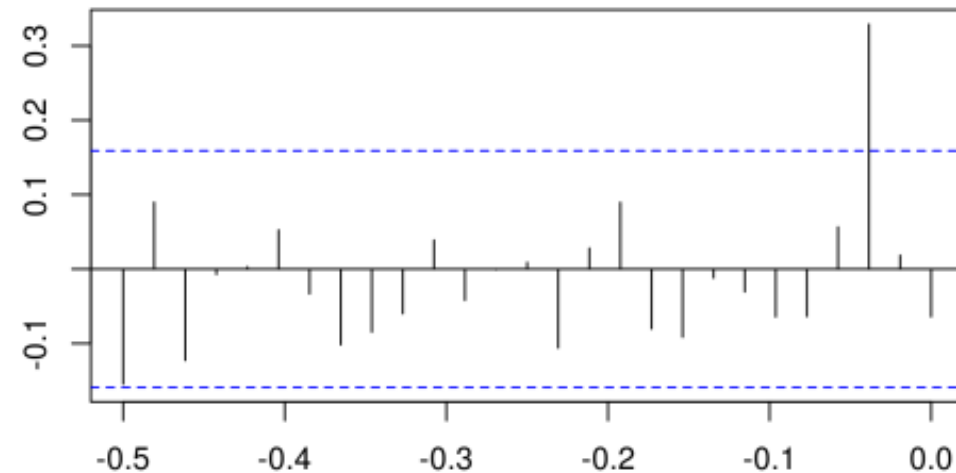


- Réponse décalée du choléra (lag) ?

## Exploitation : Epidémiologie (8)

- Corrélations entre  
entre résidus décalés
  - Forte corrélation ( $\Delta t = 2$  semaines) entre choléra et Temp. pélagique de surface

ccf\_resid\_08\_Temp.surf.pel.degC\_Uvira



Variables remainders	dt (weeks)	Prediction delay	Sign of r
Surface temperature in pelagic zone (Temp.surf.pel)	2	Very short term	+
Surface lake temperature (RS.dayLSWT)	6	Short term	-
Air temperature (AirTemp)	7	Short term	-

## Exploitation : Epidémiologie (9)

- Hypothèse de départ (**Lac = réservoir du *V. Cholerae* (Copépode)**) ne peut être rejetée mais les arguments en sa faveur ne sont pas très probants non plus
  - Association **spatio-temporelle** (Uvira)
  - **Saisonnalité** (alcalinité pendant les blooms favorables à la prolifération du *V. Cholerae*, mais les pluies ne semblent pas déterminantes)
  - Pas de conclusion vraiment favorable à cette hypothèse concernant l'analyse de résidus (ARIMA) sauf pour la **température pélagique de surface**
  - **Pas de confirmation bactériologique et génétique** d'un réservoir environnemental lacustre (trop peu d'échantillons)  
!!!
- Facteurs humains (**pêche + commerce + hygiène**) expliquent aussi certainement les épidémies et la diffusion du cholera depuis les zones de concentrations de pêcheurs à certains moments de l'année



# Plan

1. Océanographie et limnologie satellitaires
2. Couleur de l'eau et concentration en chlorophylle
3. Température de surface des mers et lacs
4. Exploitation des produits satellitaires
5. Quels enseignements tirer ?

# « Je ne crois que ce que je vois »

- Représentativités spatiale et temporelle
  - 1/7/2002-31/12/2006 : 1645 jours
  - 652 images (chl-a)

} 40 %

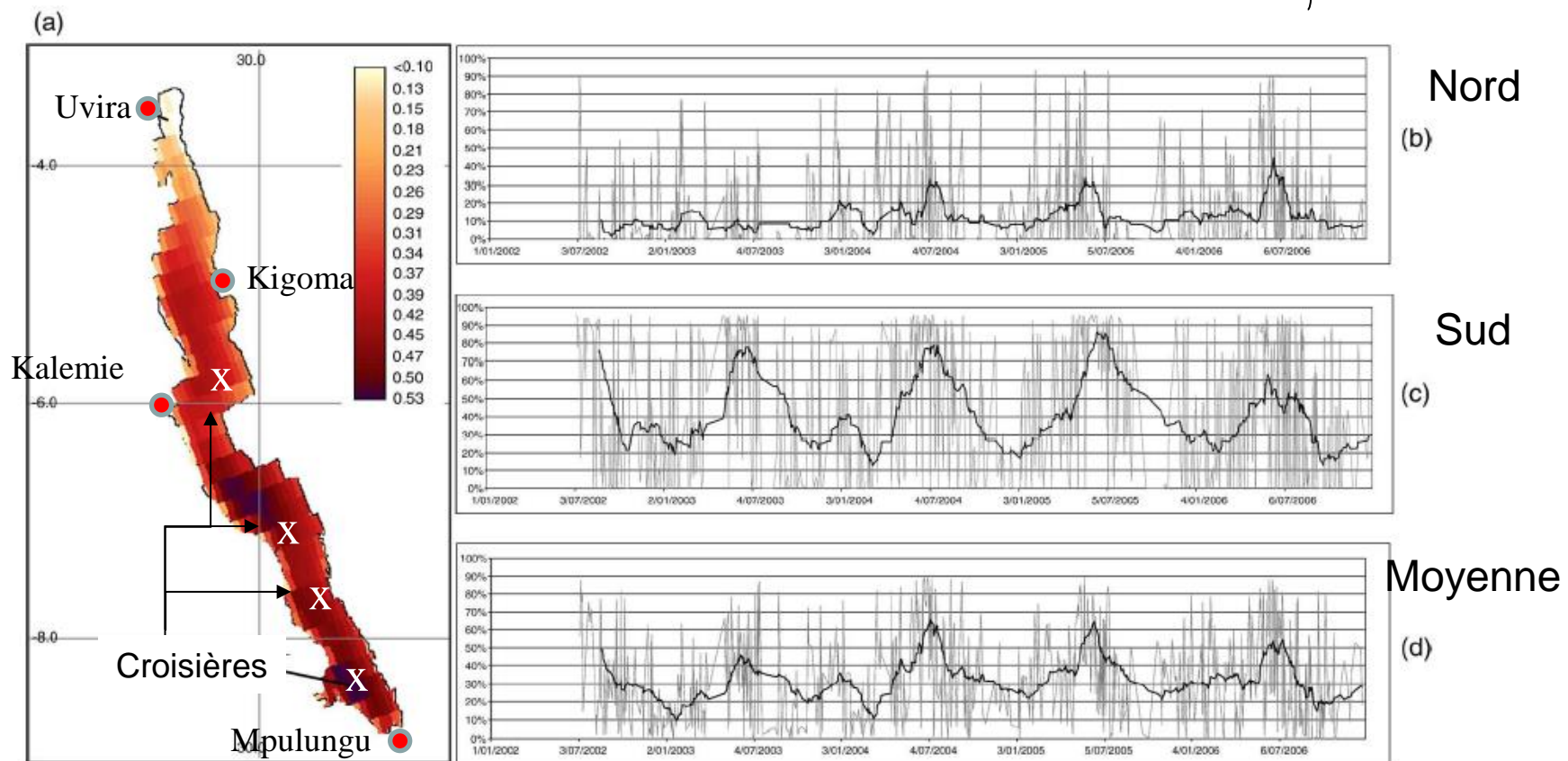


Fig. 7. (a) Spatio-temporal completeness of the MODIS CHL dataset computed for Lake Tanganyika for the period June 2002–December 2006; spatial completeness during the period June 2002–December 2006, respectively for (b) northern part of the lake, (c) the Southern part of the lake and (d) the entire Lake. Black lines are 21-days moving averaged values.

# « Je ne crois que ce que je vois »

- ....

- Mais le danger est grand de finir par

- « voir ce que je crois ... »

- Danger de se convaincre du bien fondé de ses hypothèses en attachant trop peu d'importance aux observations et constatations qui vont à l'encontre de l'hypothèse que l'on veut démontrer ...

# Collaborateurs



**N. Poncelet, S. Horion, I Tomasic (ULg),  
P.-D. Plisnier (MRAC),**

Chr. Coquyt (Jardin Botanique National de  
Belgique),

E. Deleersnijder (UCL),

J. Jacob (IMT),

D. Bompangue et P. Giraudoux  
(Université de Franche-Comté),

R. Piarroux (CHU La Timone, Marseille),

**J.P. Descy (UNamur).**



Remerciements:  
S. Nicolay, Y. Swan, M. Ernst  
(Dépt. de Mathématique, Ulg)