



Comparaison des méthodes empiriques et semi-analytiques pour l'estimation de la composition de l'eau

Audrey Minghelli, Tristan Petit, Marc Lennon, Guillaume Sicot,
Manchun Lei, Cyril Chailloux, Adrien Deschamps



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

Colloque hyperspectral 2018 - Montpellier

Rappel de la problématique

Résolution	THR (R<5m)	HR (5m<R<60m)	MR (R>60m)
Hyper (> ~100 bandes contiguës)	Hypex (> 80 bandes)	Hypxim (10 m – 210 bandes)	
Super (~10 bandes non contiguës)	Worldview-2 (1.84m - 8 bandes)	Sentinel-2 (10 m - 13 bandes)	MODIS (1 km – 9 bandes) MERIS (300 m, OLCI (300 m) - 13 bandes)
Multi (<10 bandes)	Pléiades (2m - 4 bandes) GeoEye (1.84m – 4 bandes)	SPOT (6 m – 4 bandes) Landsat (30 m - 7 bandes)	

Q1 : Peut-on estimer la composition de l'eau avec tous ces capteurs ?

Q2 : quelles méthodes ? Inversion de MTR ou estimateur empirique ?

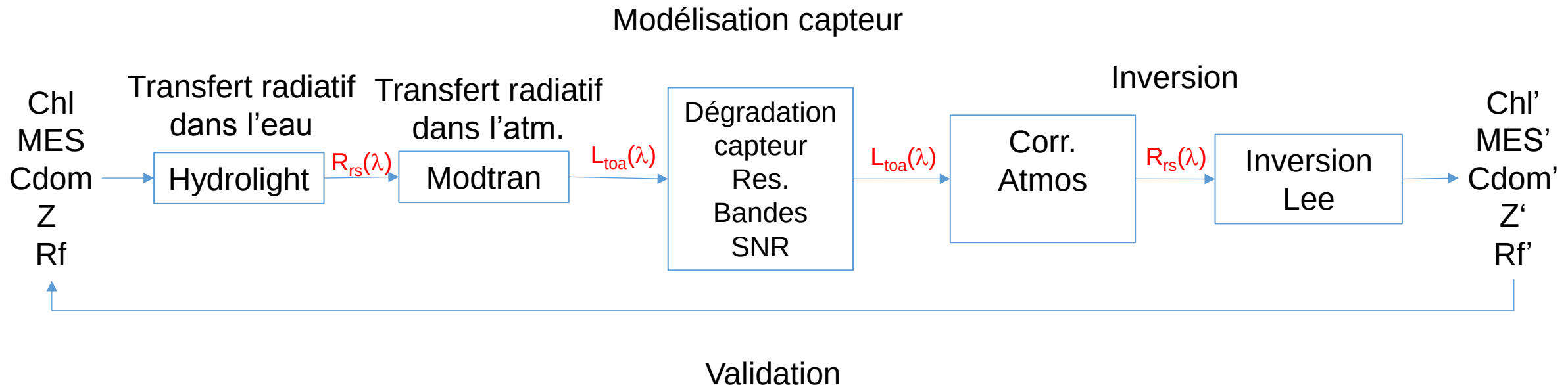
Projet en 3 parties

- **Lot 1 : Apport de la résolution spectrale et de l'information spatiale sur données synthétiques (uniquement inversion de MTR)**
- **Lot 2 : Validation sur des images satellites HR (HYPXIM, Sentinel-2, Pléiades) simulées à partir d'imagerie hyperspectrale, puis réelles**
- **Lot 3 : Validation sur des images satellites MR réelles (MERIS)**

Lot 1

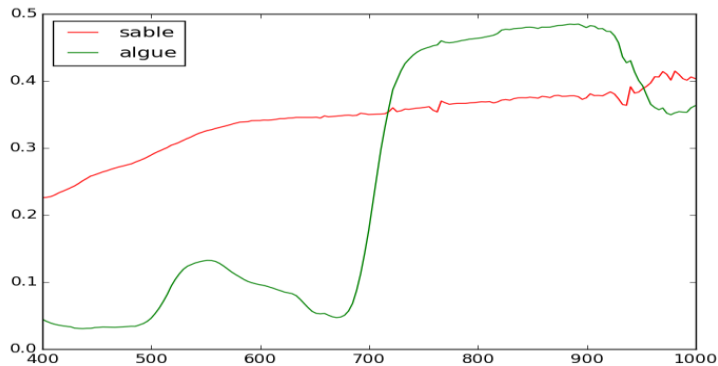
Evaluation d'un algorithme d'inversion de MTR
sur données synthétiques

- But : analyse sur cas tests (spectres synthétiques) avec
 1. Différentes propriétés optiques de l'eau (chl, CDOM, MES), hauteur d'eau (Z) et réflectance du fond marin (Rf)
 2. Différentes configurations de capteurs (HYSPEX, HYPXIM, Sentinel-2, Pléiades)
 3. Deux configurations algorithmiques (avec/sans régularisation spatiale)
- Synoptique étude :



Lot 1 – Evaluation d'un algorithme d'inversion de MTR sur données synthétiques

- Simulation de 2187 cas test
- Images 4*4 pixels



Paramètres	Nombre de cas envisagés	description des cas envisagés	Valeurs des paramètres
Concentration en chlorophylle	3	concentration faible	0.03 mg/m ³
		concentration moyenne	1 mg/m ³
		concentration élevée	5 mg/m ³
Absorption produite par la matière organique dissoute colorée	3	concentration faible	0.01 m ⁻¹
		concentration moyenne	0.1 m ⁻¹
		concentration élevée	1 m ⁻¹
Concentration de la matière en suspension	3	eau claire	0.01 g/m ³
		eau moyennement turbide	1 g/m ³
		eau turbide	10 g/m ³
Hauteur de la colonne d'eau	3	peu profond	2m
		moyennement profond	8m
		profond	15m
Nature du fond	3	plutôt sédimentaire	80% sable - 20% algue
		mixte	50% sable - 50% algue
		plutôt végétale	20% sable - 80% algue
Angle d'incidence du soleil	1	incidence moyenne	30°
Variabilité de la hauteur de la colonne d'eau	3	faibles variations	variations dans ± 5% de la hauteur de la colonne d'eau
		variations moyennes	variations dans ± 10% de la hauteur de la colonne d'eau
		fortes variations	variation dans ± 15% de la hauteur de la colonne d'eau
Variabilité de la nature du fond	3	faibles variations	variations des concentrations de ± 5%
		variations moyennes	variations des concentrations de ± 10%
		fortes variations	variations des concentrations de ± 15%

Conclusion générale du lot 1 (données synthétiques)

- Capteurs

- Hypsrex, Hypxim et S2 : ok pour colonne d'eau en général (Hypsrex et Hypxim plus performants que S2)
- Pléiades : fortes erreurs d'estimation
- Résolution < 10 nm ne semble pas apporter d'information supplémentaire
- Hypxim (53 bandes) répond à la plupart des attentes (faible sensibilité au bruit, erreurs d'estimations faibles)

- Paramètres à estimer

- Chl-a : paramètre le plus compliqué
- MES : Difficultés en très petit fonds
- Hauteur d'eau : Difficile si forte turbidité
- Fortes valeurs de CDOM et chl-a rendent difficile l'estimation des autres paramètres

- Algorithme

- Amélioration sensible des performances avec régularisation spatiale
- Amélioration possible des performances en restreignant le domaine d'estimation des paramètres

Lot 2

Validation sur des images HYPXIM, Sentinel-2,
Pléiades simulées (partie 1) et réelles (partie 2)

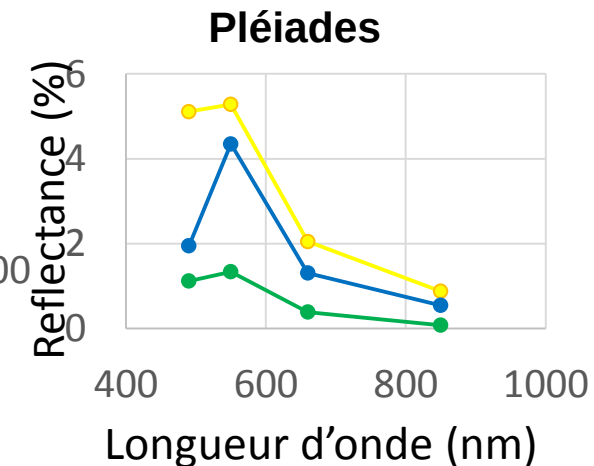
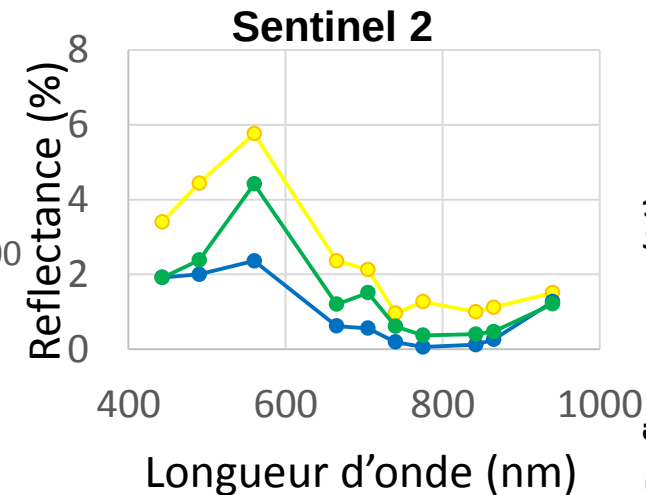
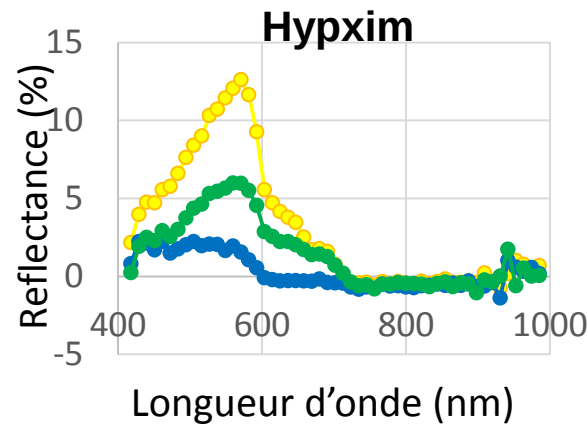
Déroulement

1. Sélection de deux images réelles Hypspx (baie de Quiberon et Pornichet)
2. Simulation des images Hypxim, S2 et Pléiades correspondantes
3. Estimation des MES, CDOM et chl-a par empirique & inversion de MTR
4. Comparaison résultats Hypspx & image HR simulées

Ex. Baie de Quiberon – Simulation images HR



Compo RGB image Hypspx



Ex. Baie de Quiberon – Estimation Chl-a

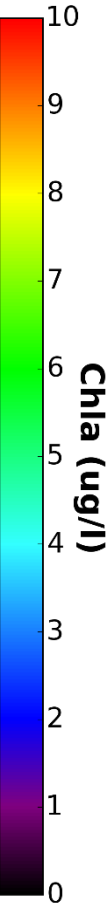
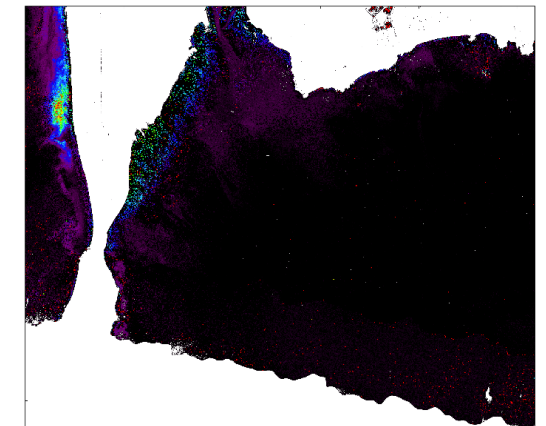
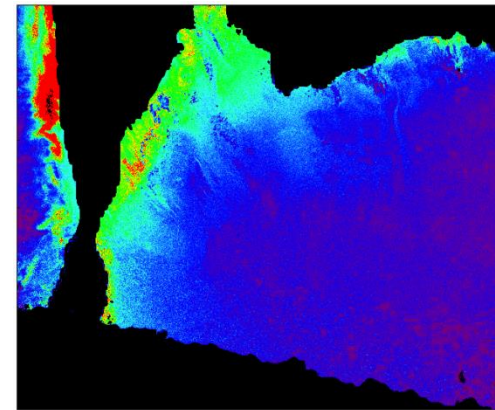
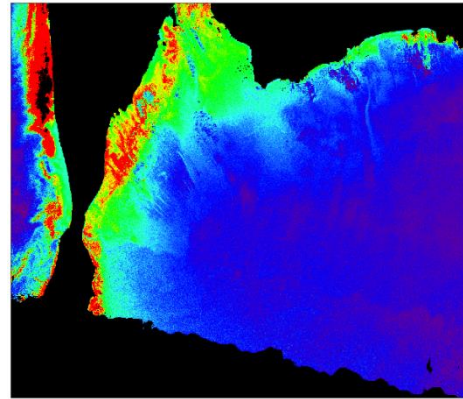
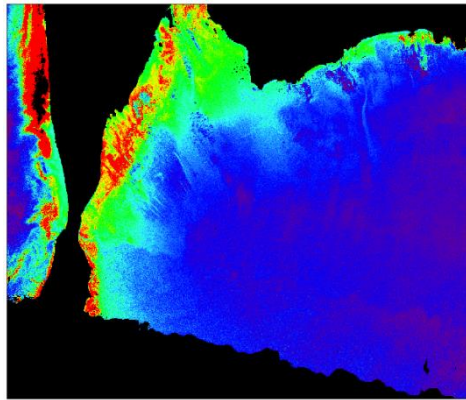
Hypex

Hypxim

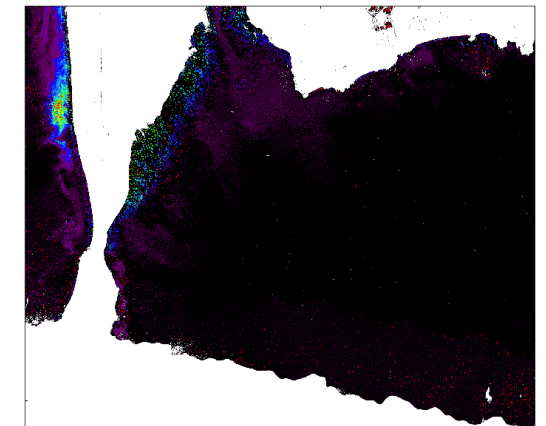
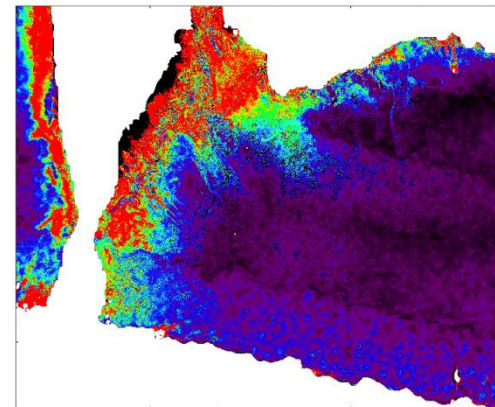
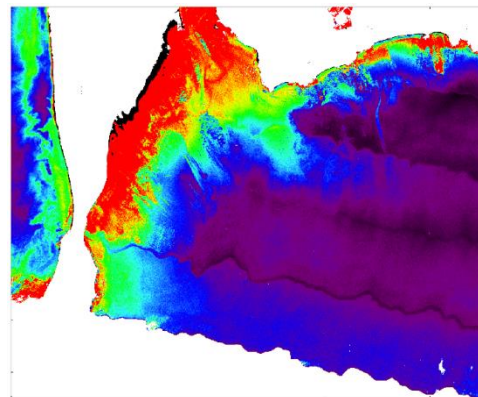
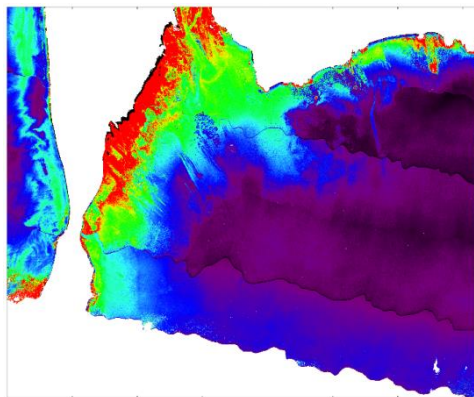
Sentinel 2

Pléiades

Empirique
(OC3)



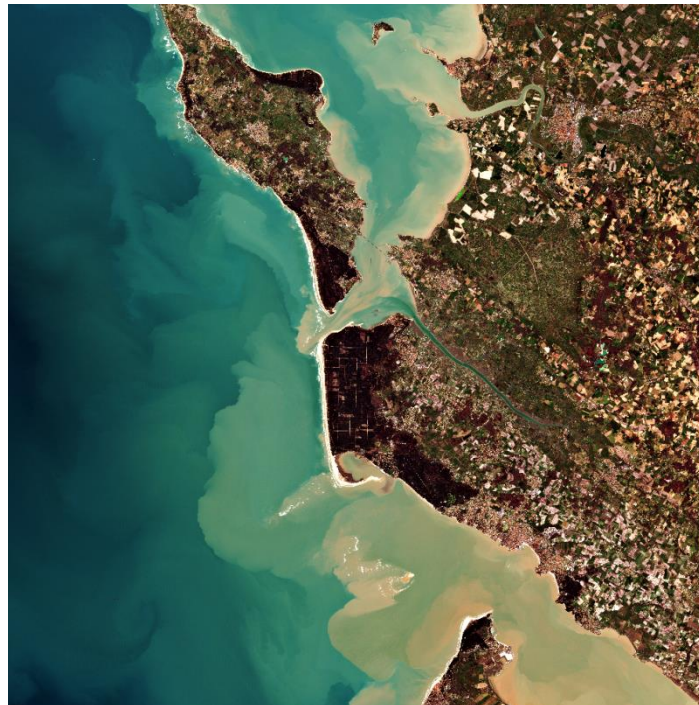
Inversion
MTR
(Lee)



Déroulement

1. Sélection d'images S2 et Pléiades TOA
2. Passage BOA (correction des effets de l'atmosphère)
3. Estimation des MES, CDOM et chl-a par empirique & inversion de MTR
4. Validation avec mesures in-situ (Rephy)

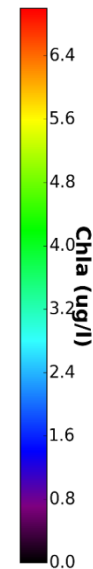
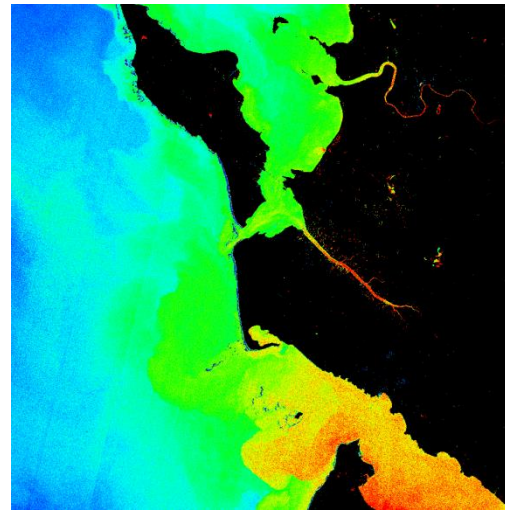
Ex. Image Sentinel 2 Gironde (15/03/2016) – Image BOA



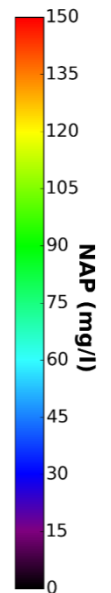
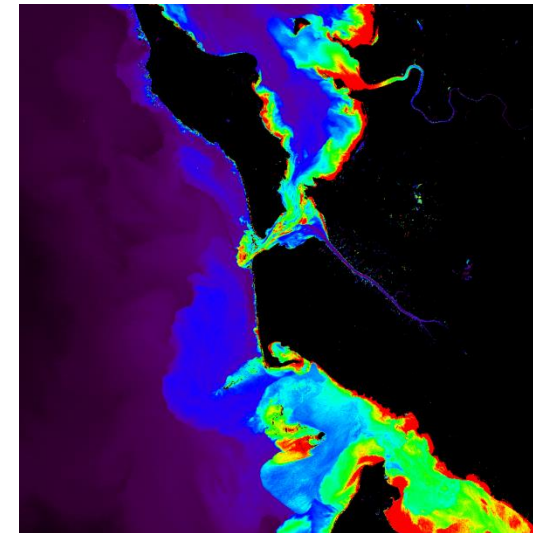
Ex. Image Sentinel 2 Gironde (15/03/2016) – Estimations Chl-a et MES

Empirique

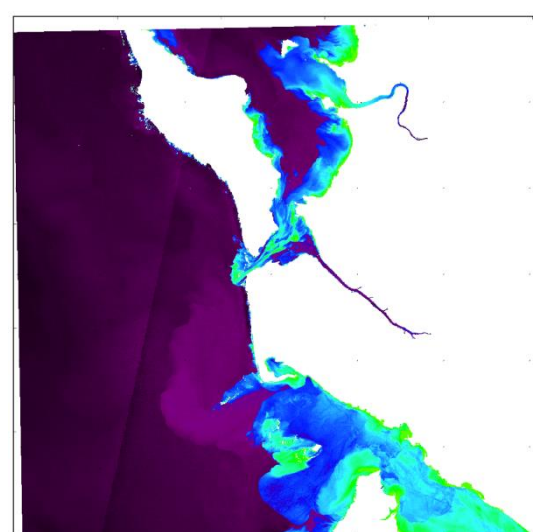
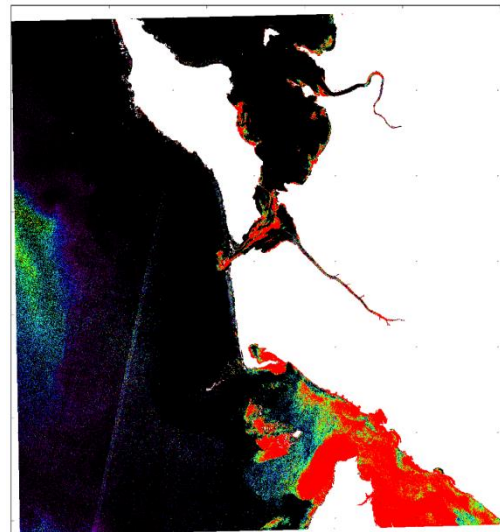
Chl-a



MES



Inversion MTR



Lot 2 – Conclusion générale

- Surestimations quand fond marin visible (faible hauteur d'eau)
- Estimations semblent possibles pour :
 - chl-a et MES avec Hypxim
 - MES avec Sentinel-2 et Pléiades
- Inversion de MTR difficile si bloom phytoplanctonique (fluorescence ?)
- MES par estimation empirique convenable pour Sentinel-2 et Pléiades
- MES par inversion de MTR peuvent donner de très bonnes performances mais forte instabilité constatée avec Pléiades

Lot 3

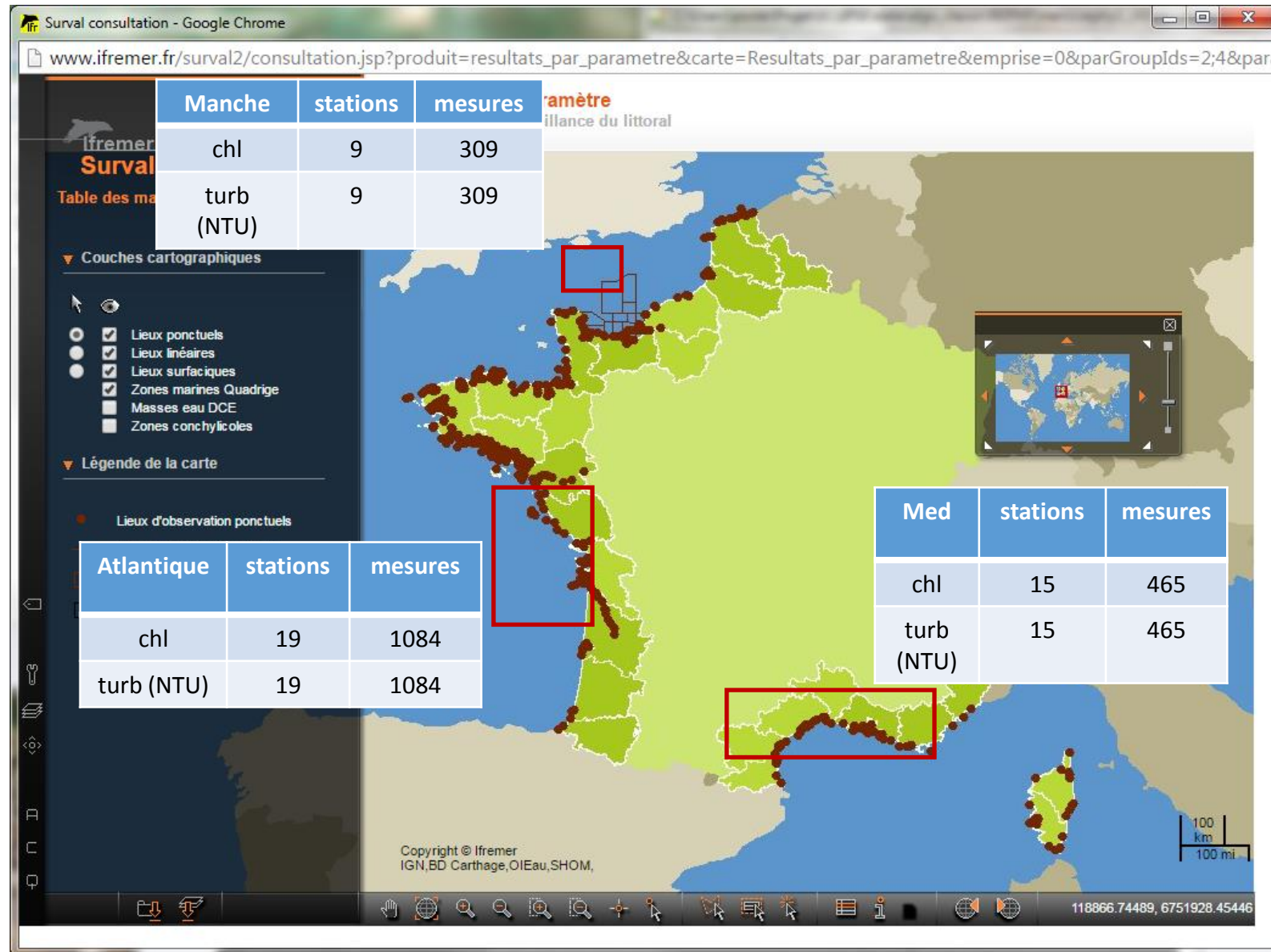
Validation sur des images MR réelles

Déroulement

1. Recherche d'images MERIS
2. Recherche de données In situ (Rephy)
3. Estimation des chl-a, MES et CDOM par empirique (chl1 , chl_{OC5} , $\text{MES}_{\text{Nechad}}$, $\text{CDOM}_{\text{Kutser}}$) & inversion de MTR
4. Validation avec mesures in-situ (Rephy)

 Résultats CDOM non présentés ici car pas de donnée de validation disponible

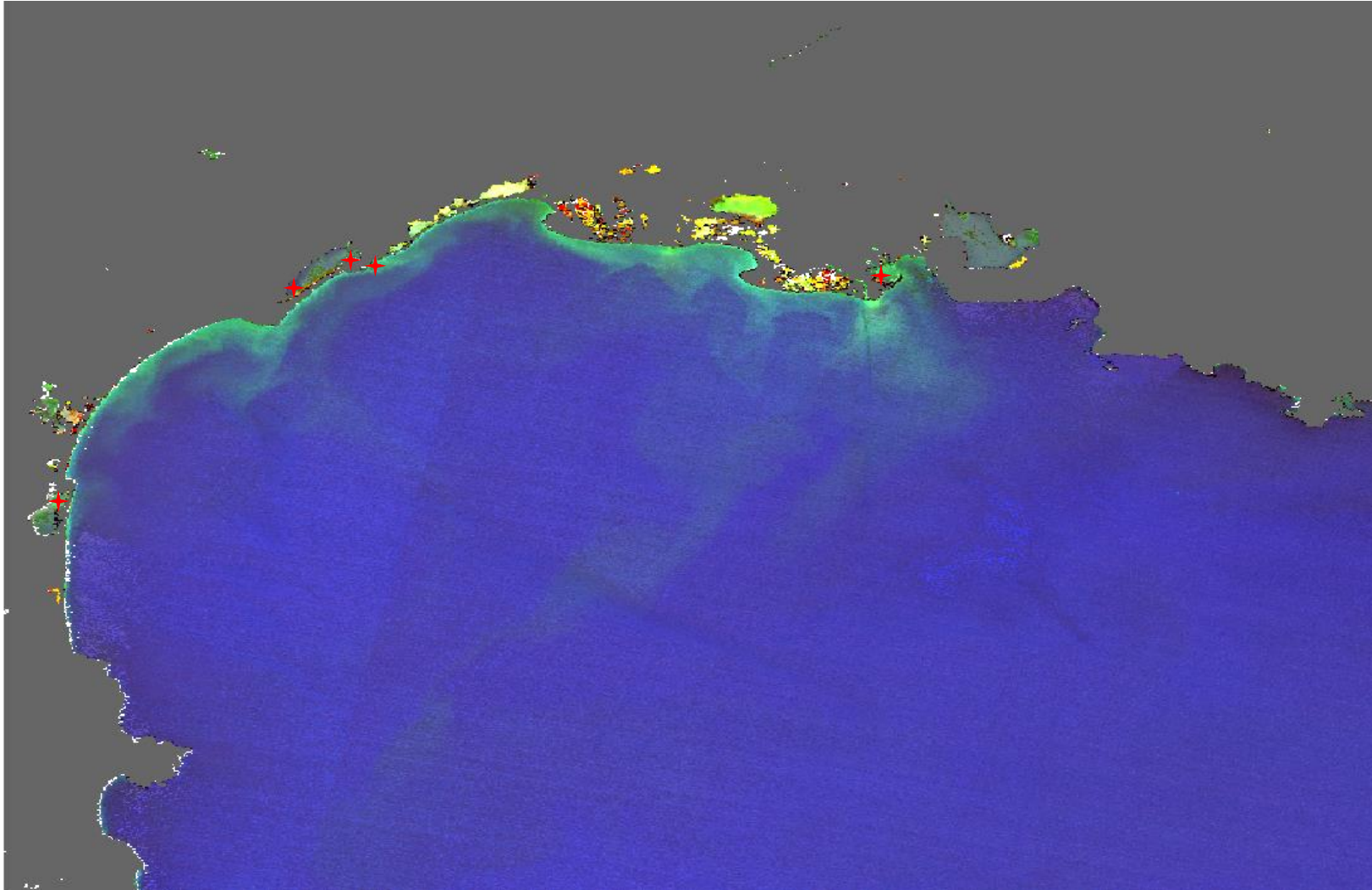
Données in-situ de validation (Rephy)



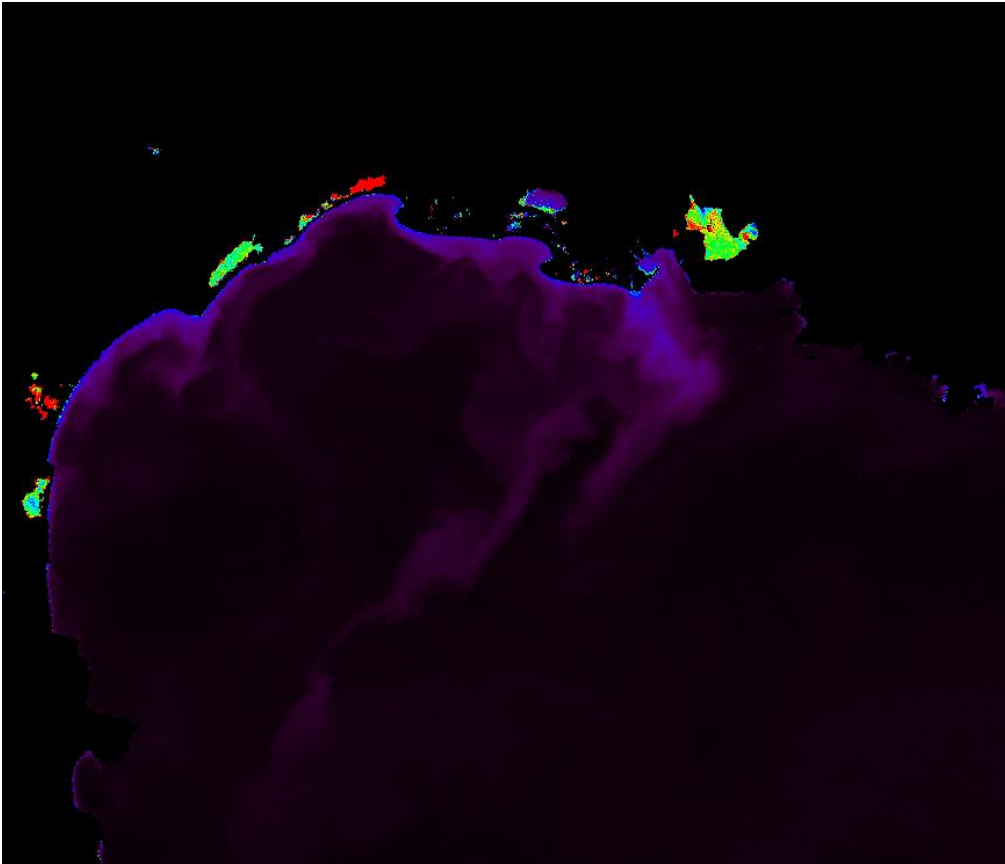
Choix des images MERIS

- Méditerranée
 - 17/8/2010 -> 5 points de mesure
- Atlantique
 - 14/2/2008 -> 12 points de mesure
- Manche
 - 24/03/2011->3 points de mesure

Image MERIS sur Méditerranée (17/08/2010)



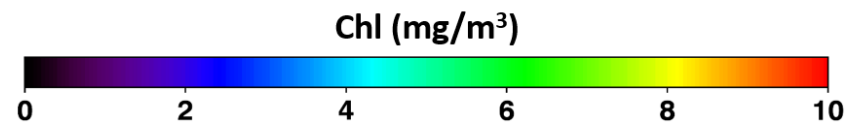
Résultats Méditerranée – **chl-a** estimées



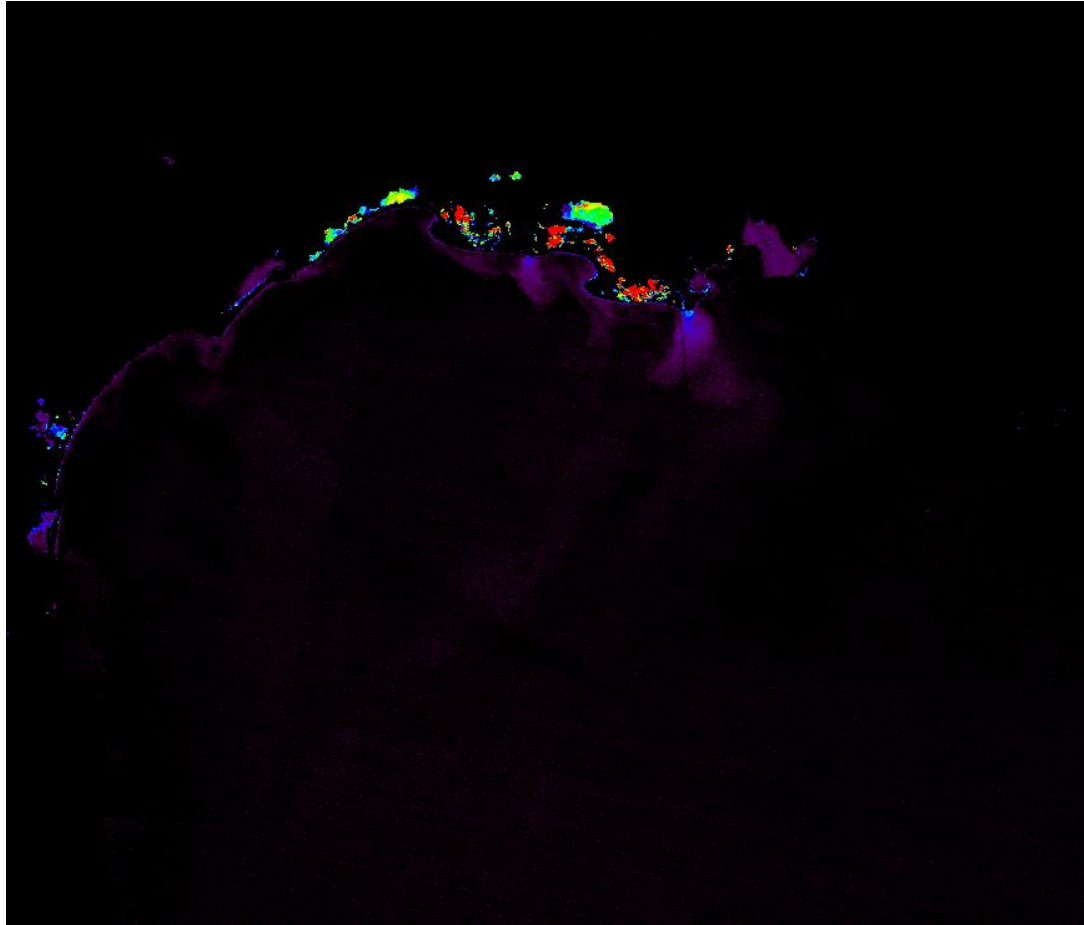
Empirique (OC5)



Inversion de MTR



Résultats Méditerranée – **MES** estimées



Empirique (Nechad)



Inversion de MTR

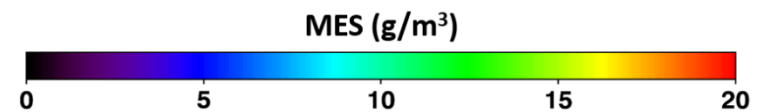
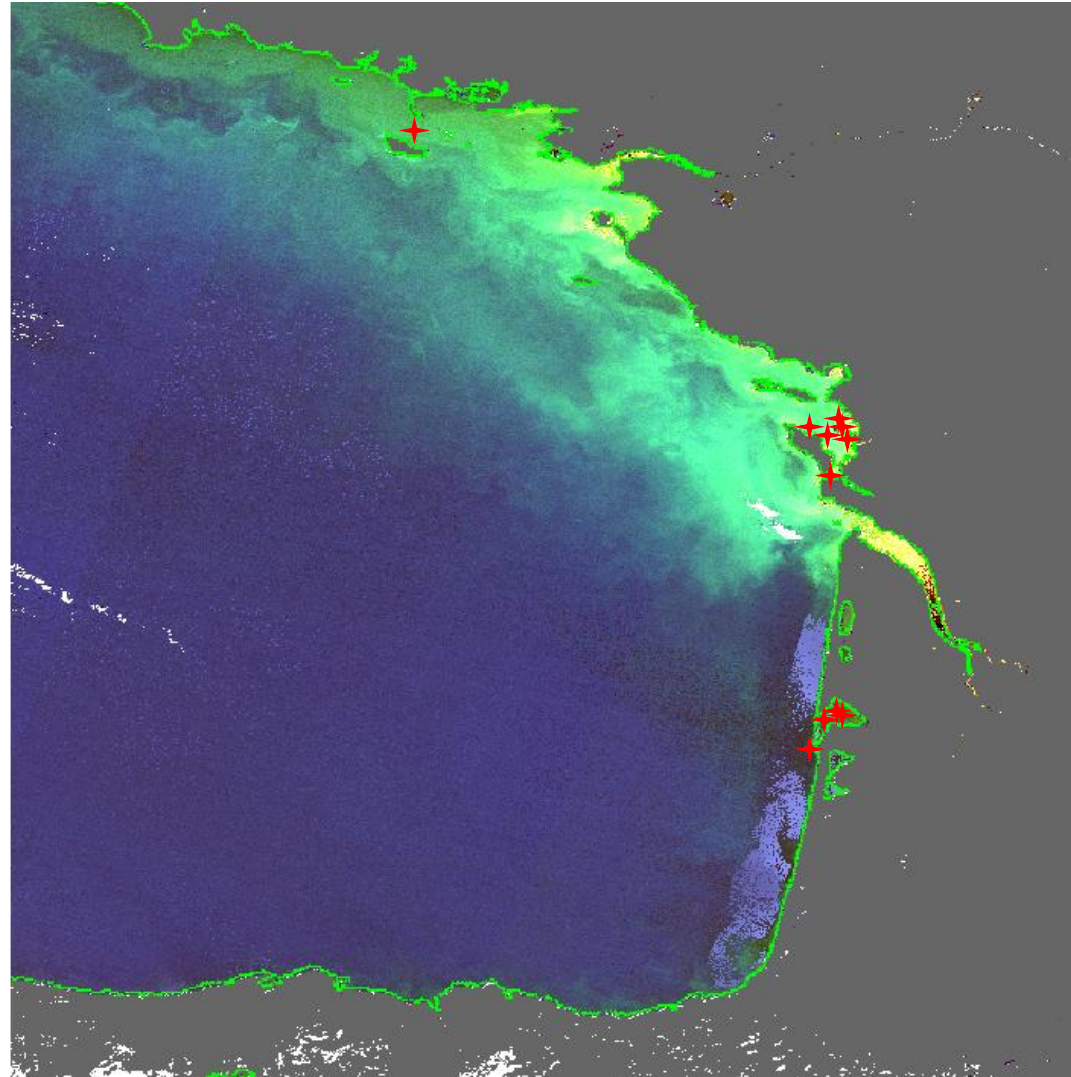
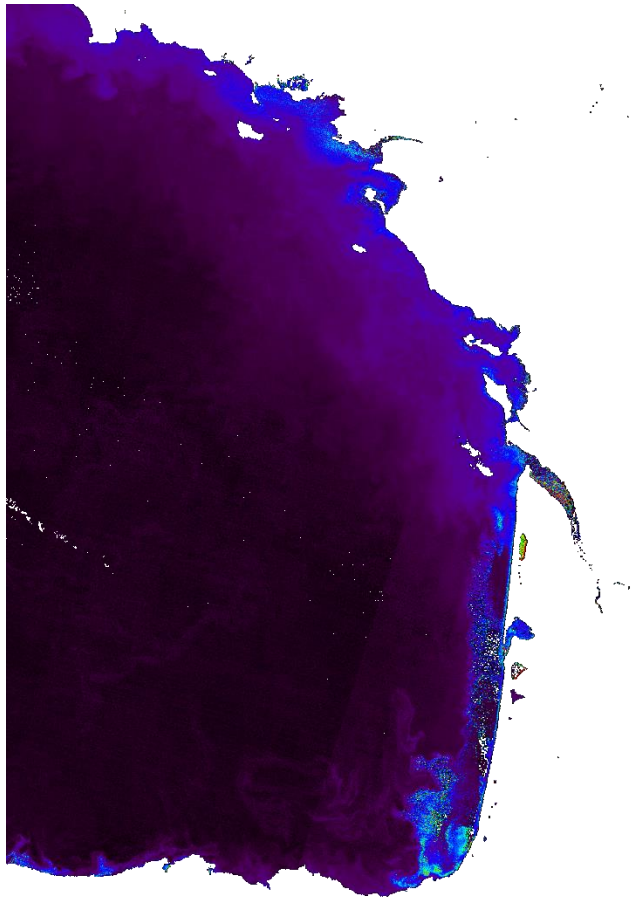


Image MERIS sur façade Atlantique (14/02/2008)



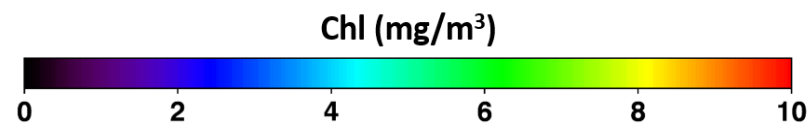
Résultats Atlantique – **chl-a** estimées



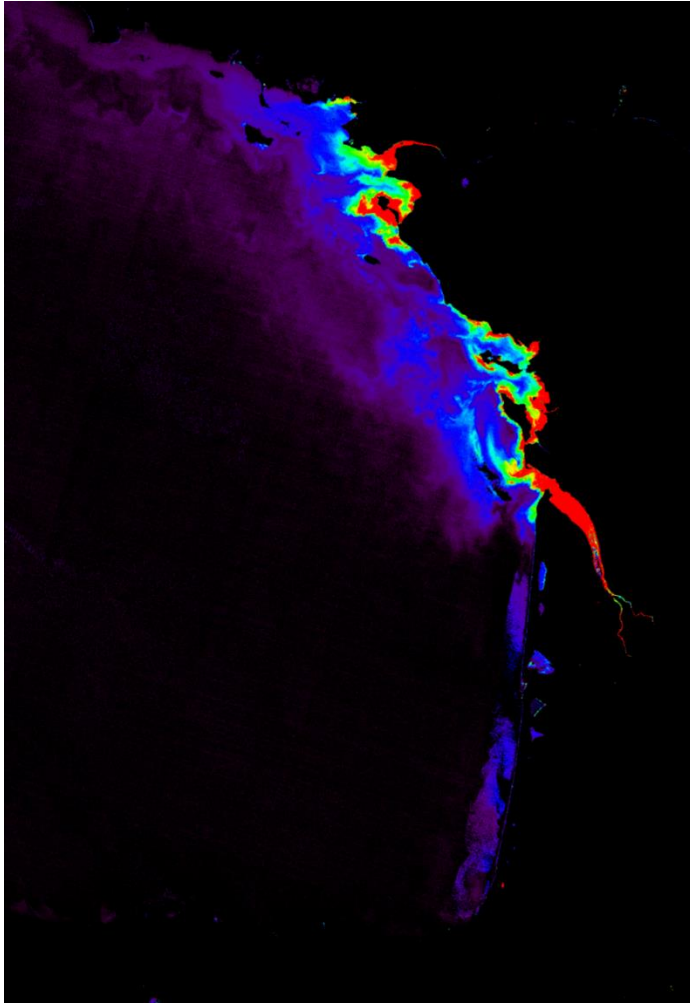
Empirique (OC5)



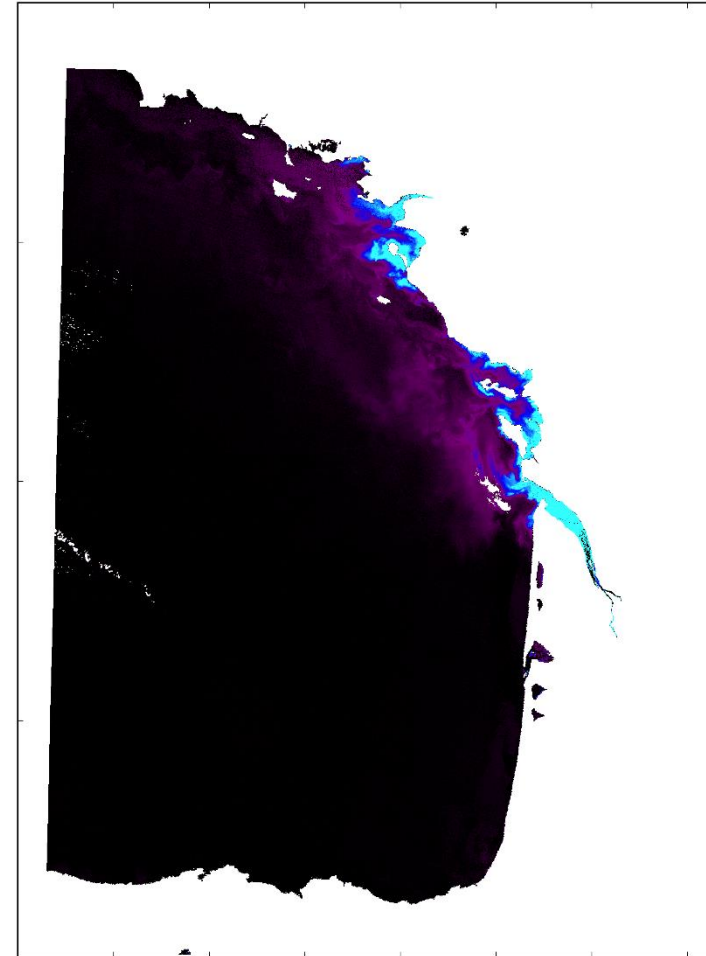
Inversion de MTR



Résultats Atlantique – **MES** estimées



Empirique (Neckad)



Inversion de MTR

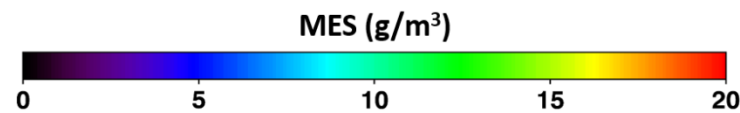
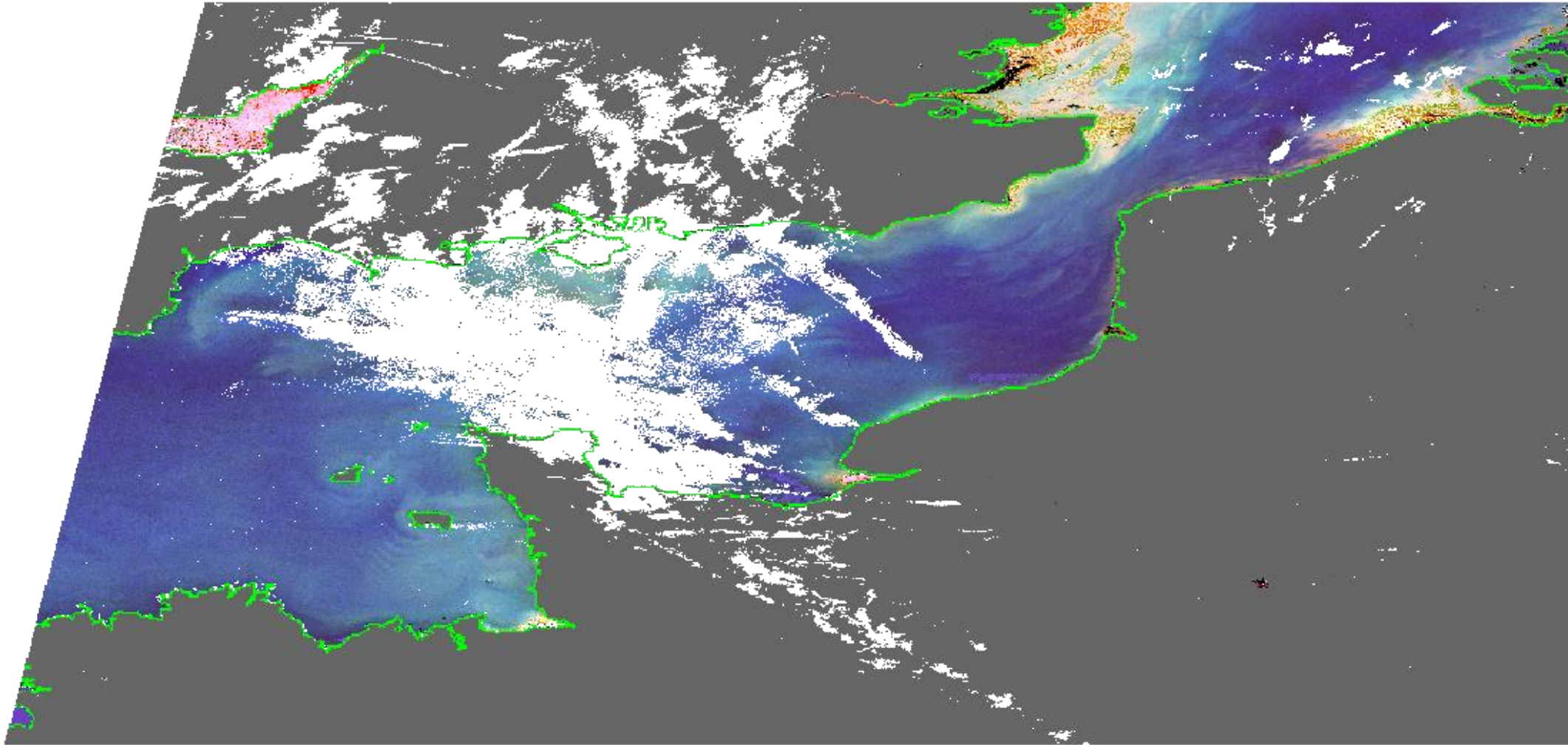
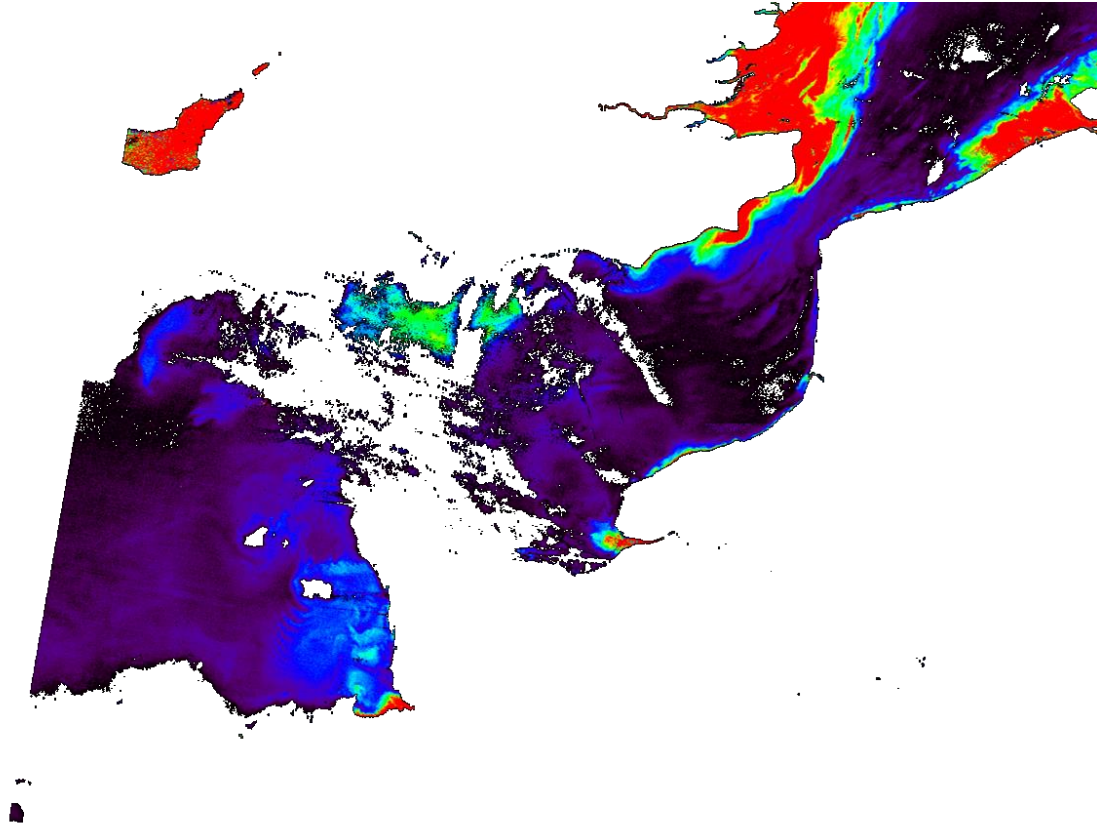


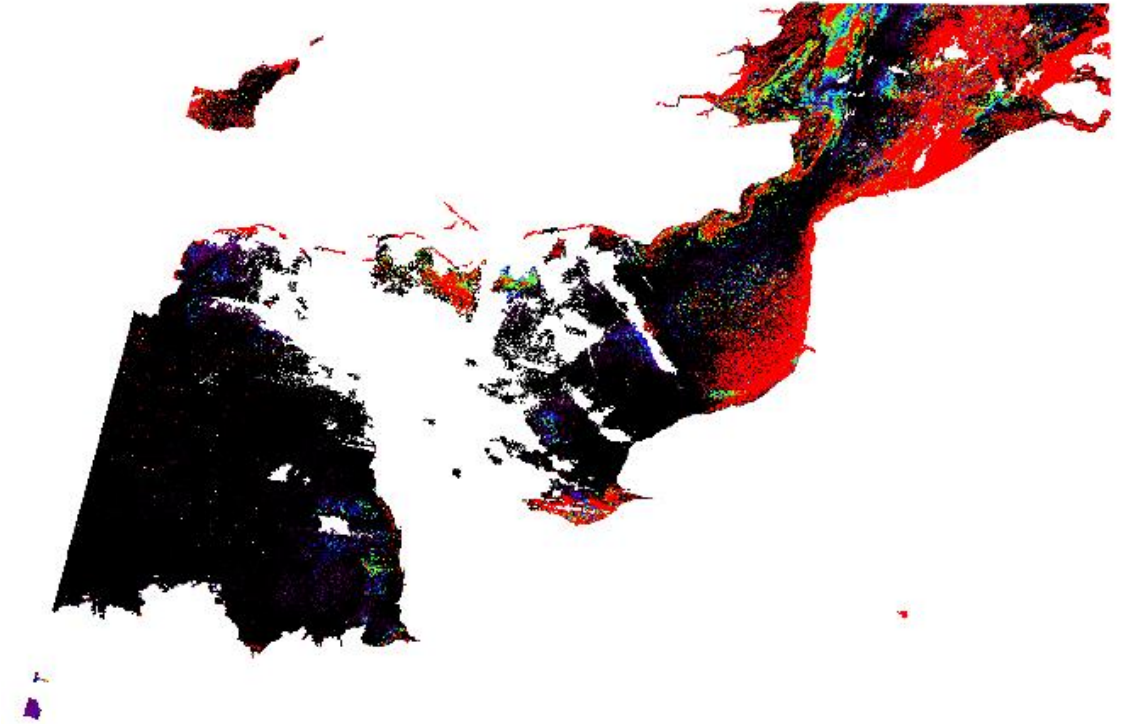
Image MERIS sur Manche (24/03/2011)



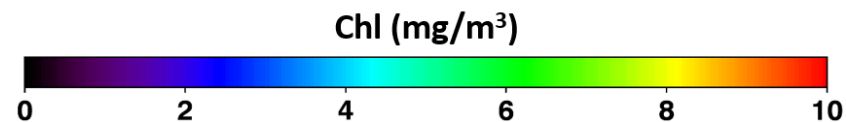
Résultats Manche – **chl-a** estimées par **méthodes empiriques** (chl1 et OC5)



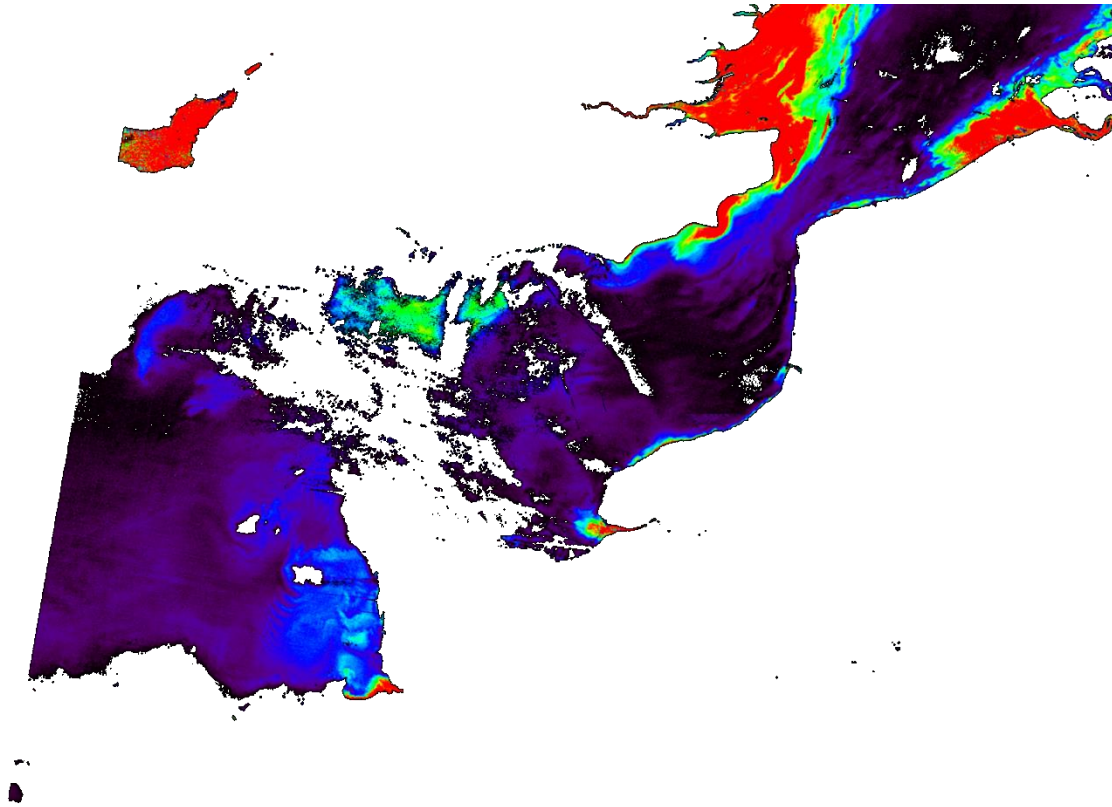
Empirique (OC5)



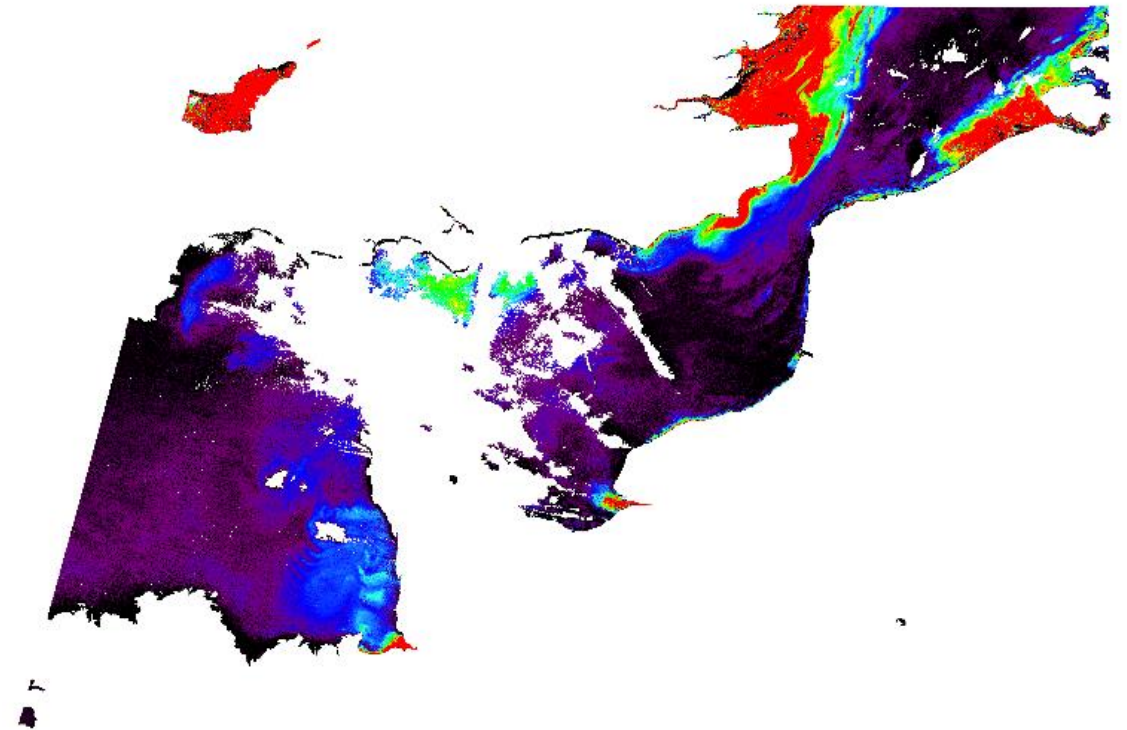
Inversion de MTR



Résultats Manche – **MES** estimées

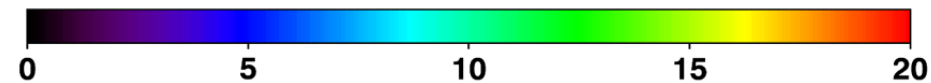


Empirique (Nechad)

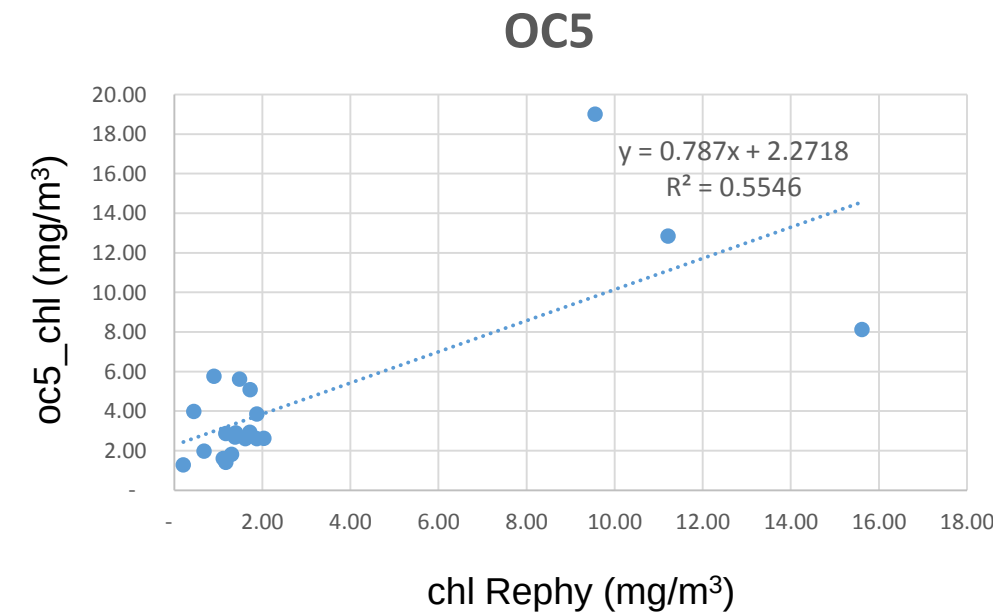
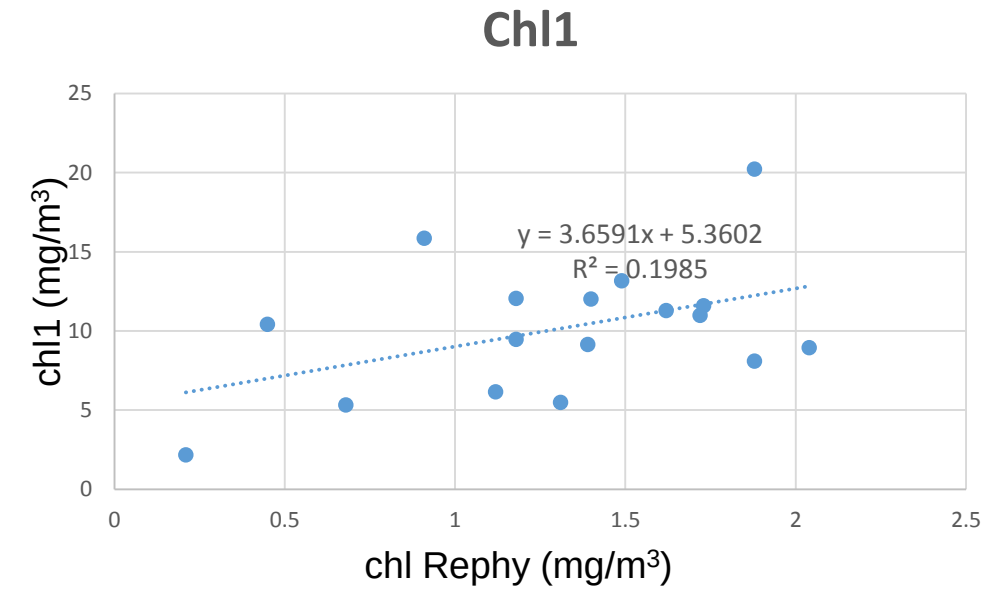
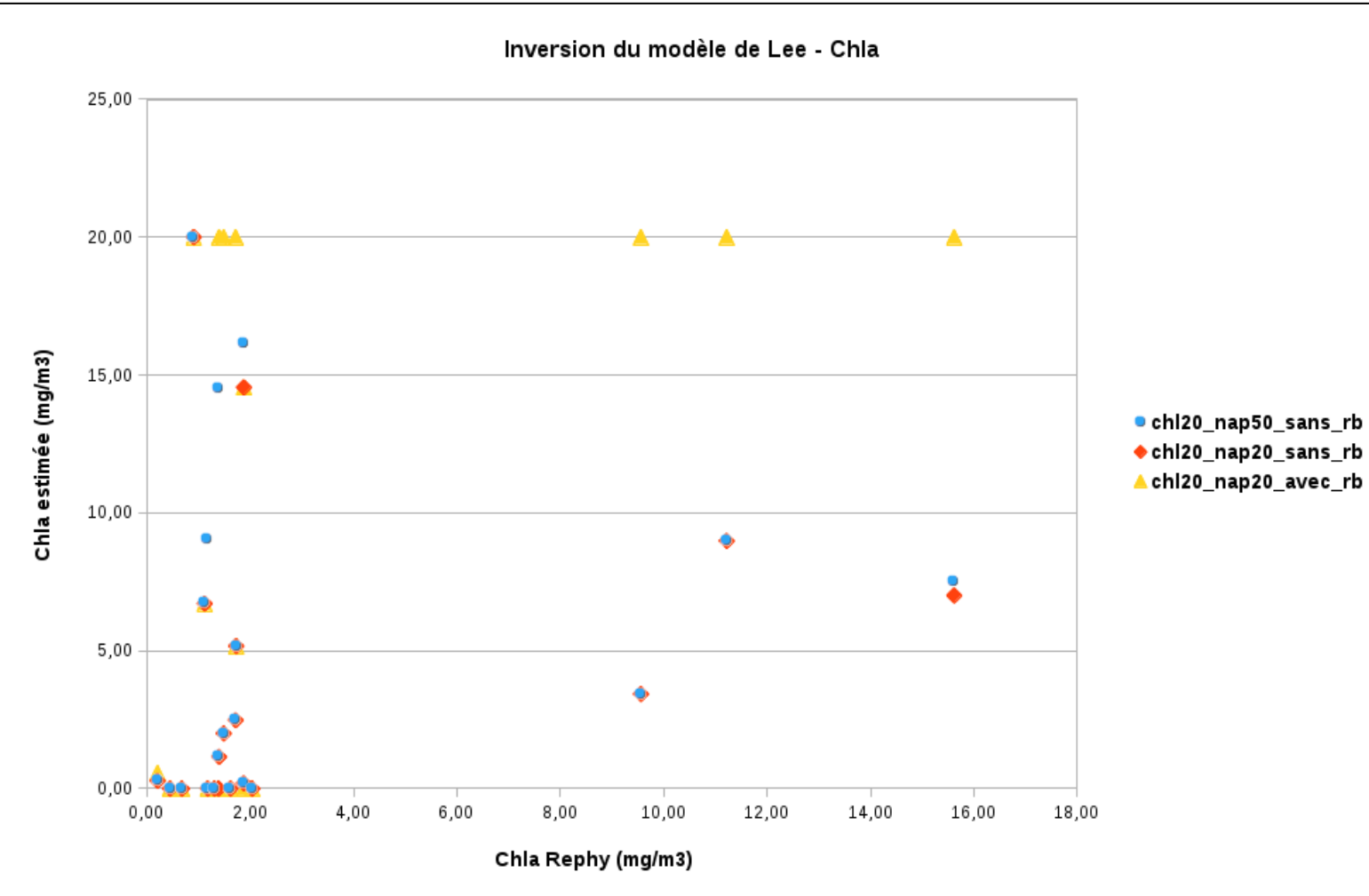


Inversion de MTR

MES (g/m^3)

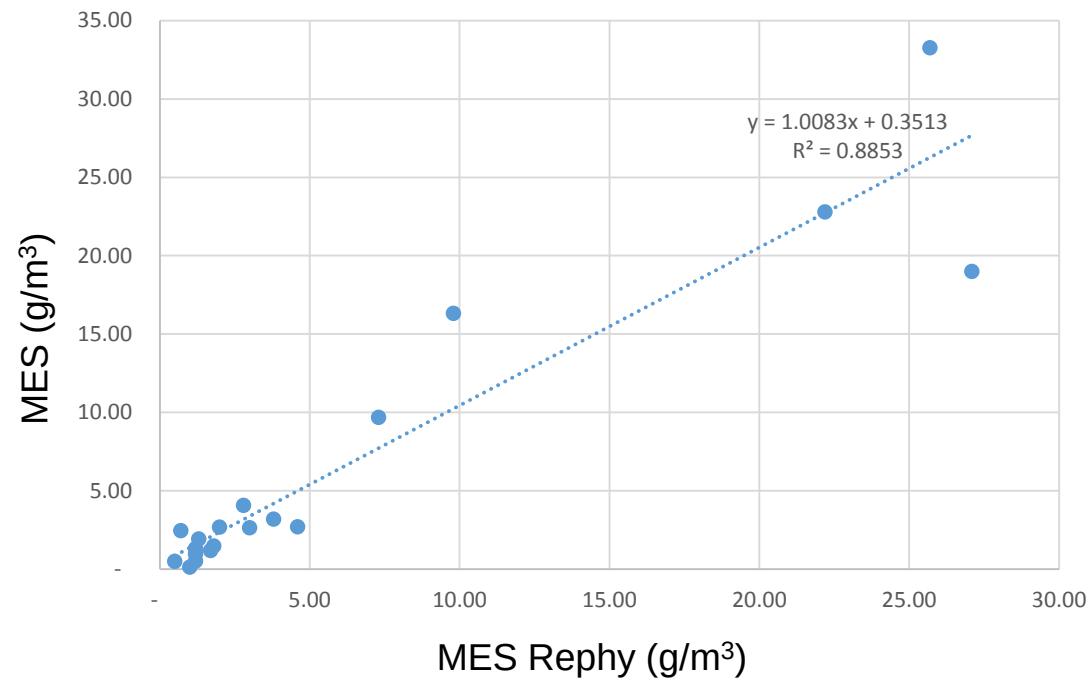


Validation de la chlorophylle-a

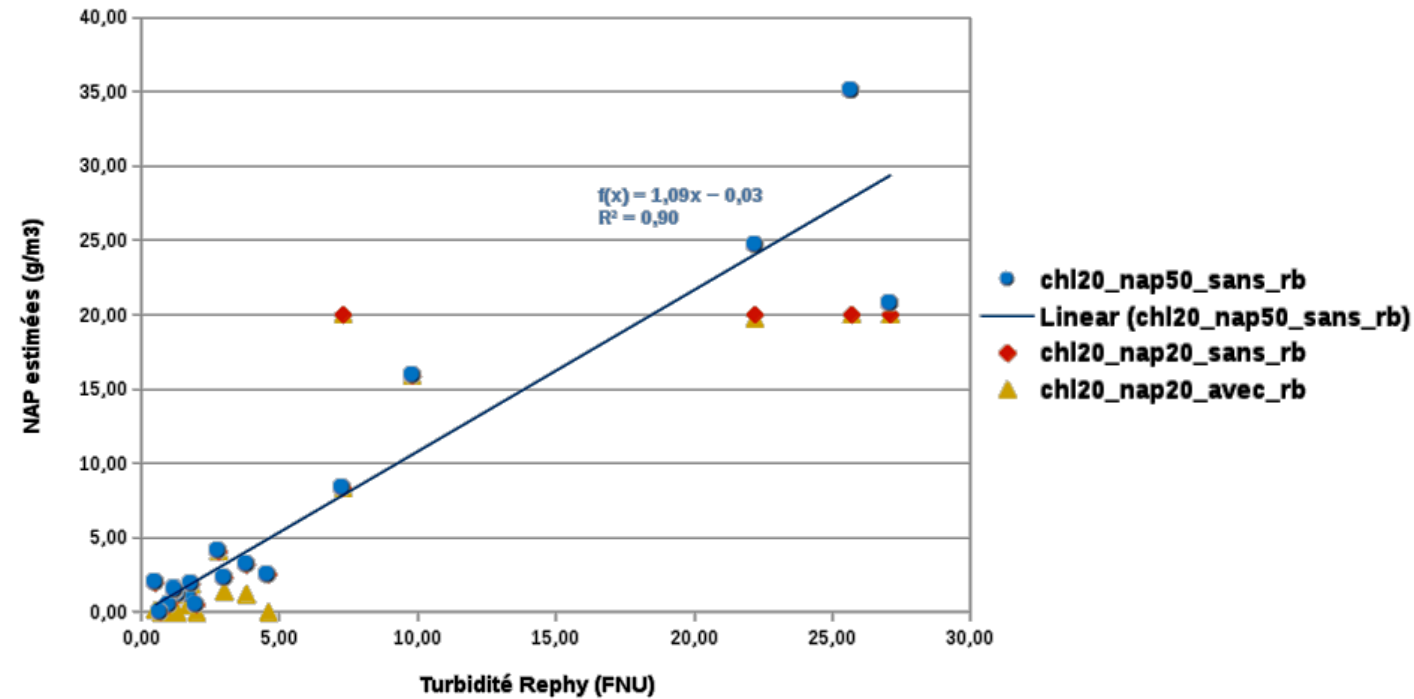


Validation des MES

Méthode empirique (Nechad)



Inversion du MTR de Lee



Conclusions du lot 3 (données multispectrales MR)

- MES globalement satisfaisante ($R^2=0.89$ pour Nechad et $R^2=0.90$ pour Lee)
- Chla empiriques cohérentes spatialement mais peu précises
- Cartes de chla par inversion de MTR fortement instables et sans corrélation avec l'in-situ
- Prise en compte du fond marin dans le MTR diminue performances en MES sur MERIS

CONCLUSION GENERALE DU PROJET « ECLIPSE »

- Potentiel d'utilisation des capteurs actuels en milieu côtier

	Chl-a	MES
Meris	--	+
Sentinel 2	-	+
Pléiades	--	+

- Inversion de MTR aussi performante que méthode empirique pour MES sur Meris et Sentinel 2
- Apport d'une augmentation de la richesse spectrale sur les capteurs optiques satellitaires
 - ++ pour concentration en Chl-a avec inversion MTR
 - + pour concentration en MES non par inversion de MTR en eaux optiquement complexes
 - ++ MES & Chl-a dans le cas des petits fonds

➡ Potentiel de l'inversion de MTR > Potentiel d'amélioration des méthodes empiriques



Qualité radiométrique des données (SNR, calibration et correction atmo.) à ne pas négliger