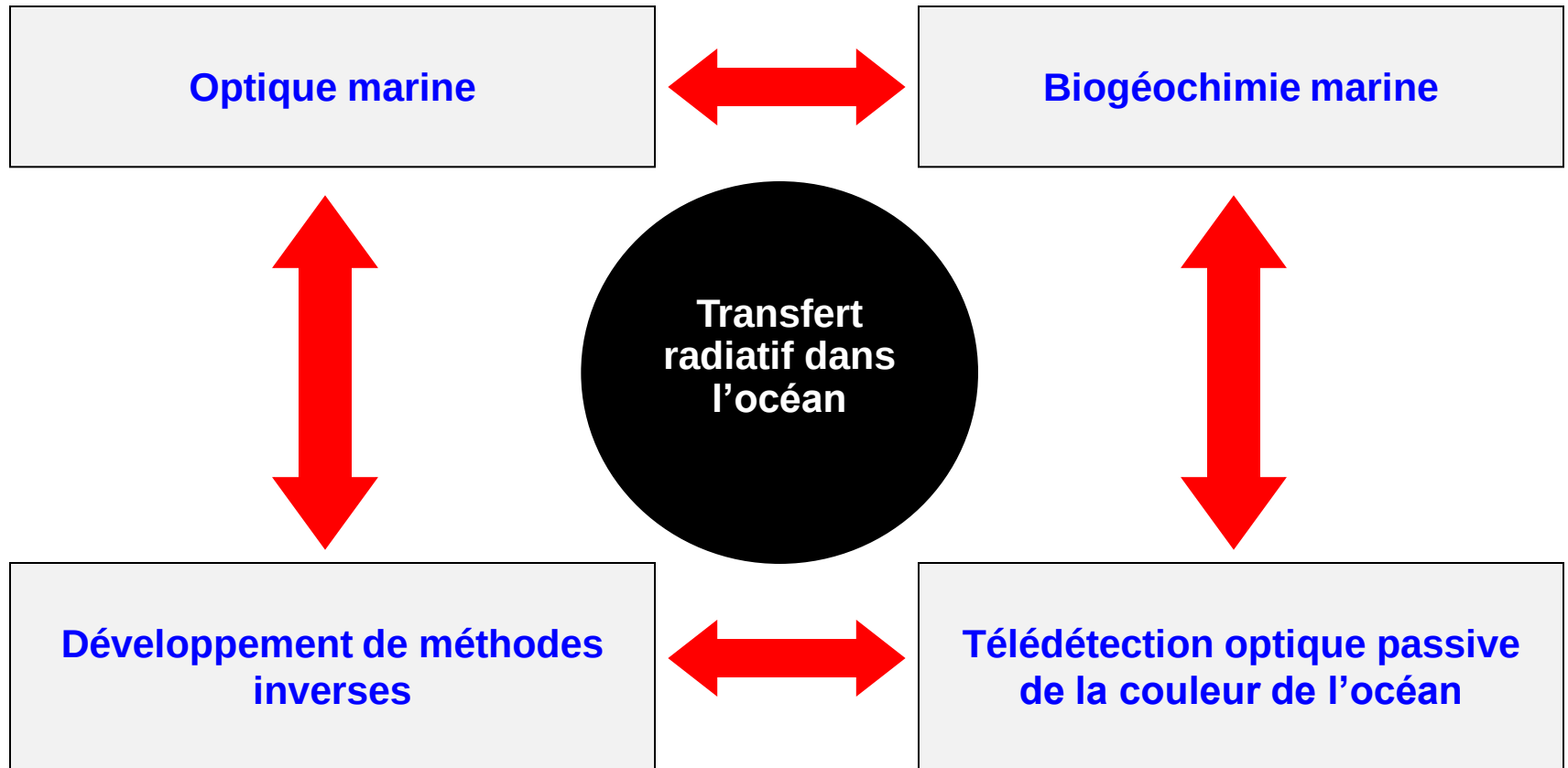


**Surveillance des environnements
littoraux et côtiers
par télédétection optique hyperspectrale**

Aurélie Dehouck, Virginie Lafon, Bertrand Lubac

**Colloque d'inauguration
Société Française de Télédétection Hyperspectrale
Paris, le 8 avril 2011**

Radiométrie de la « couleur de l'océan »



Principe de la mesure

Réflectance totale mesurée
hors atmosphère

Corrections Atmosphériques

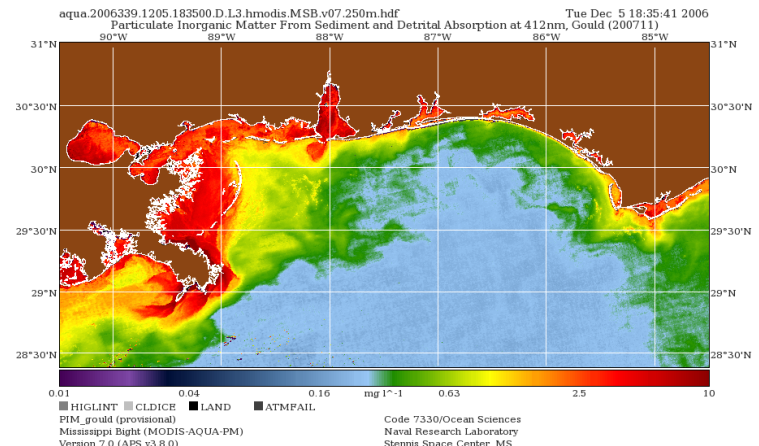
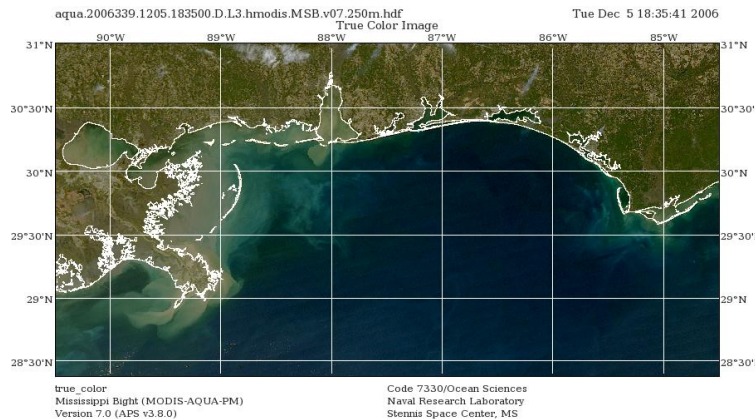
- ✓ Océan ouvert: difficulté faible en absence d'aérosols absorbants.
- ✓ Milieux côtiers: difficulté élevée (diffusion marine dans le PIR, problèmes d'environnement « adjacency effect », réflexion du fond dans les zones peu profondes ...)

Réflectance Marine

Algorithmes bio-optiques

Très forte variabilité
naturelle entre $R_{rs}(\lambda)$
et les paramètres
Bio-optiques.

Paramètres biogéochimiques
et optiques



Complexité bio-optique du milieu côtier

Zone privilégiée d'échange entre l'océan ouvert et le continent :

- ✓ Floraisons phytoplanctoniques intenses.
- ✓ Remises en suspension (marée, vent ...).
- ✓ Apport fluviaux.
- ✓ Lessivage des côtes.
- ✓ Forts gradients de densité, influence de la marée ...

La forte variabilité de l'environnement côtier induit une forte variabilité au niveau du signal télédétecté.

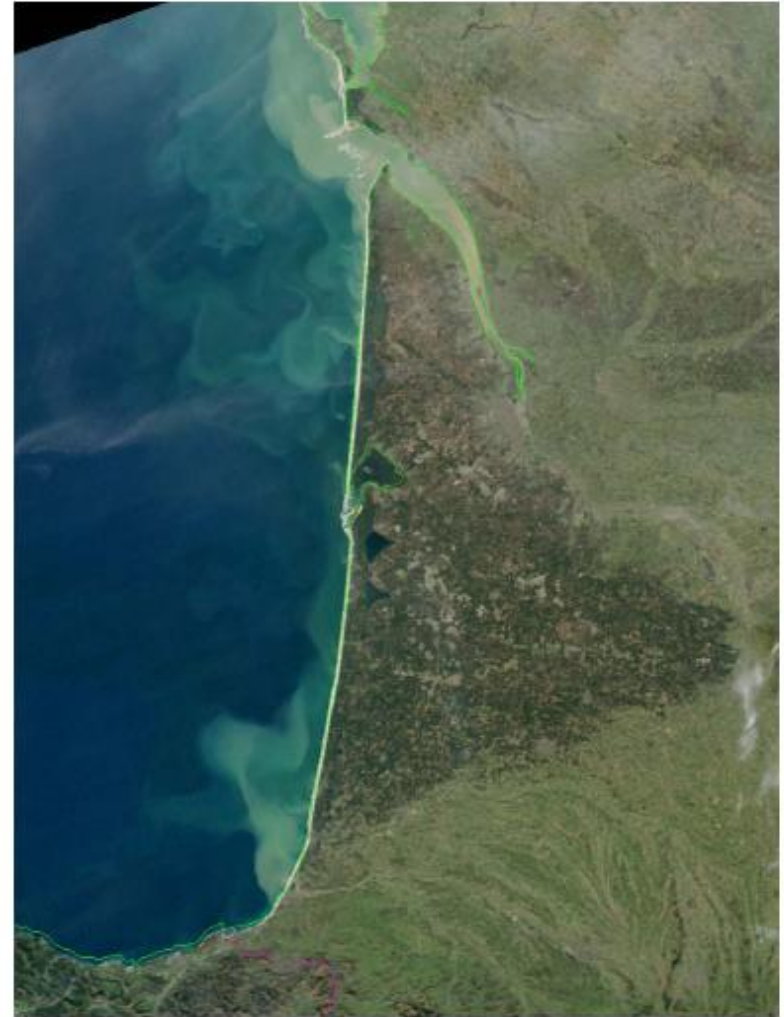
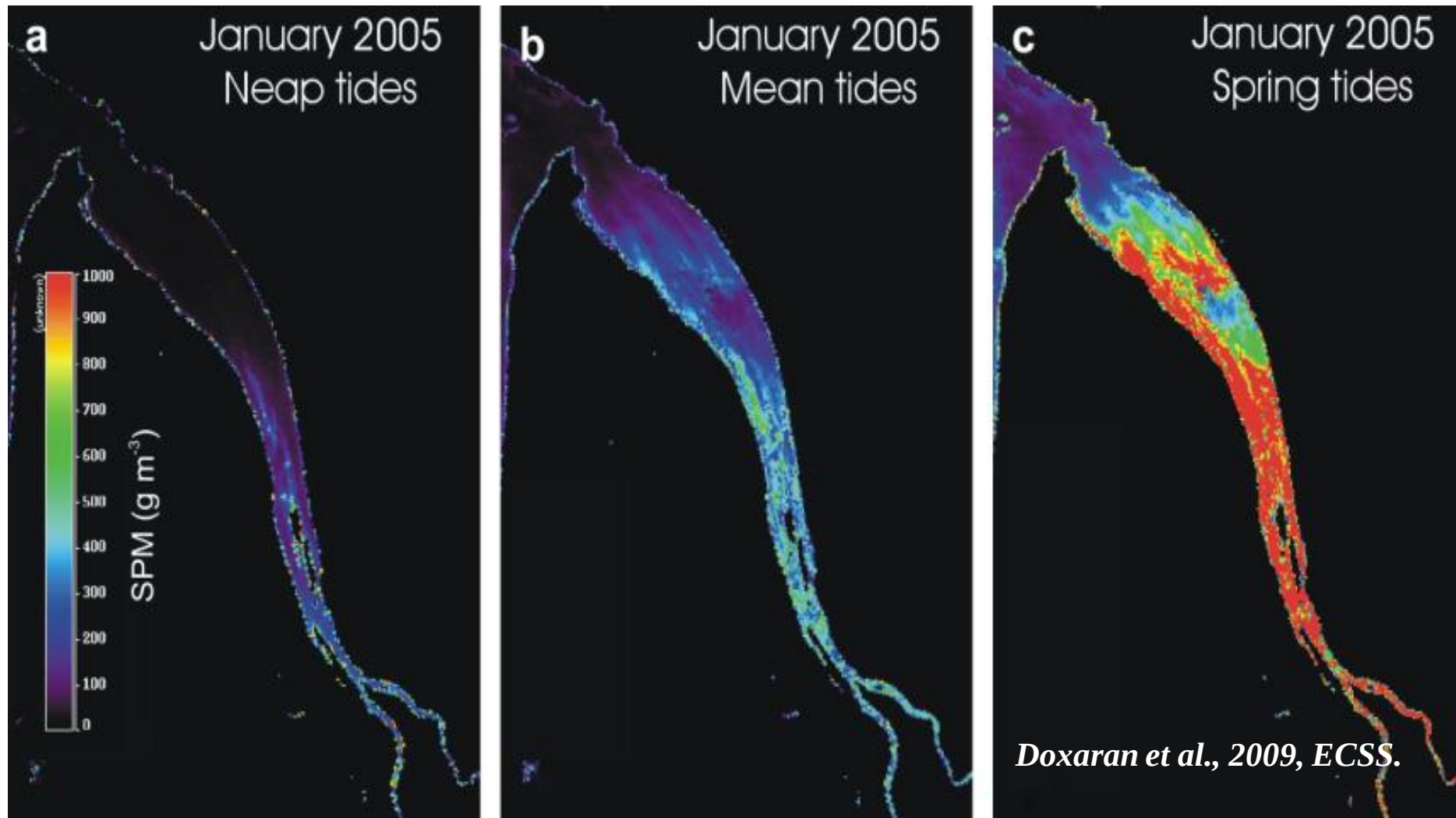
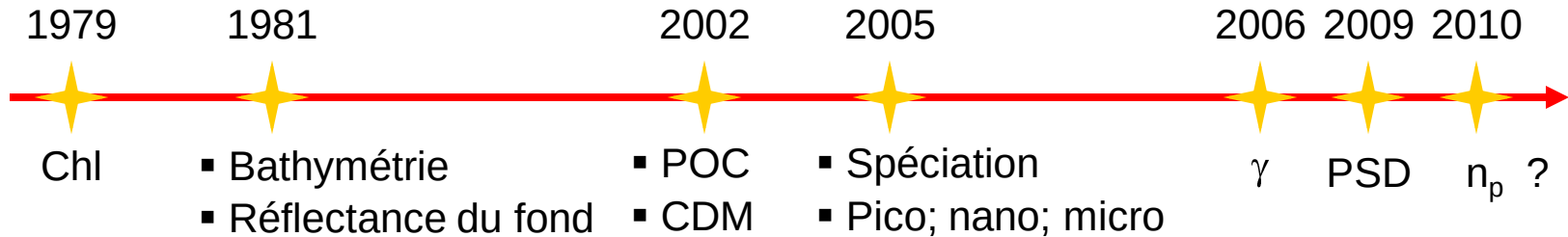


Image MODIS. 2 Février 2004. 10:50
2 scènes / jour

Mesure de la MES

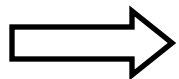


Historique des produits couleur de l'océan (observation satellite)



Cette récente multiplication des produits s'explique par :

- ✓ Meilleure connaissance du signal marin due au développement instrumental et à la disponibilité de codes de transfert radiatif.
- ✓ Développement des méthodes d'inversions.
- ✓ Développement accru de l'instrumentation optique in situ.
- ✓ Accessibilité des données satellites de la couleur de l'océan.
- ✓ Besoins de la communauté des modélisateurs.

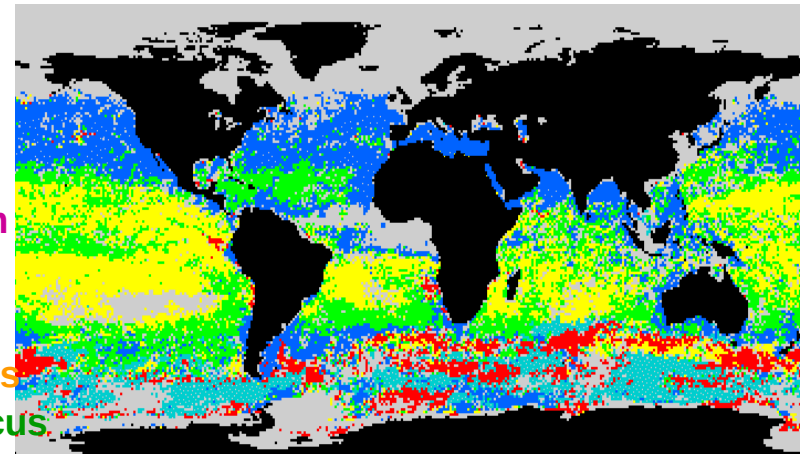
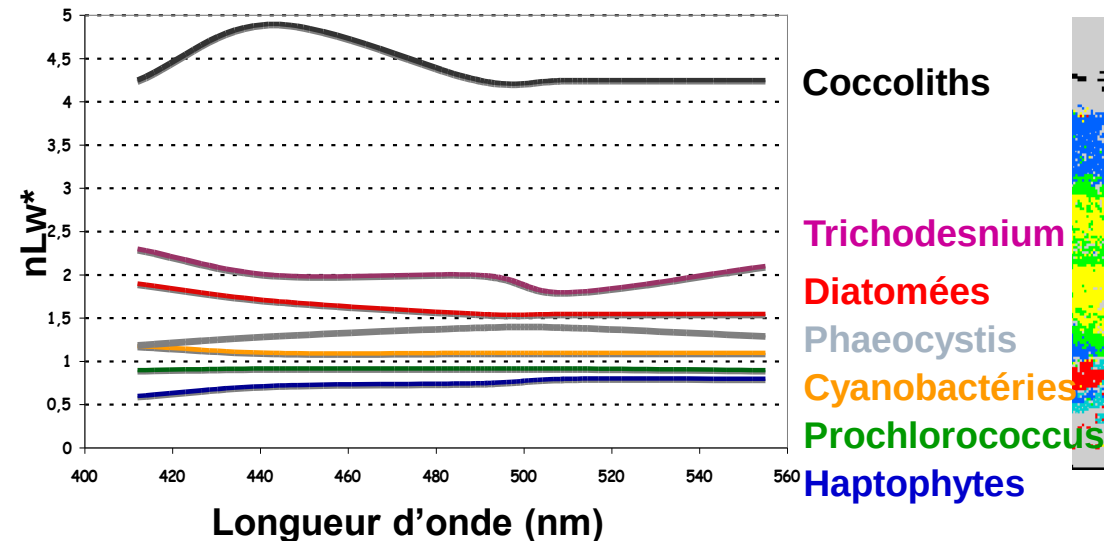


Prochaine étape : imagerie optique hyperspectrale.

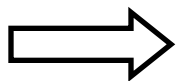
Exemple 1 : identification des espèces phytoplanctoniques

Exemple PHYSAT (Alvain et al., 2005, 2006, 2008). Méthode empirique reliant différents groupes fonctionnels phytoplanctoniques à la forme spectrale $nLw^*(\lambda)$.

$$nLw^*(\lambda) = nLw_{obs}(\lambda) / nLw_{sat}(Chl_a, \lambda)$$



MODIS - janvier 2001



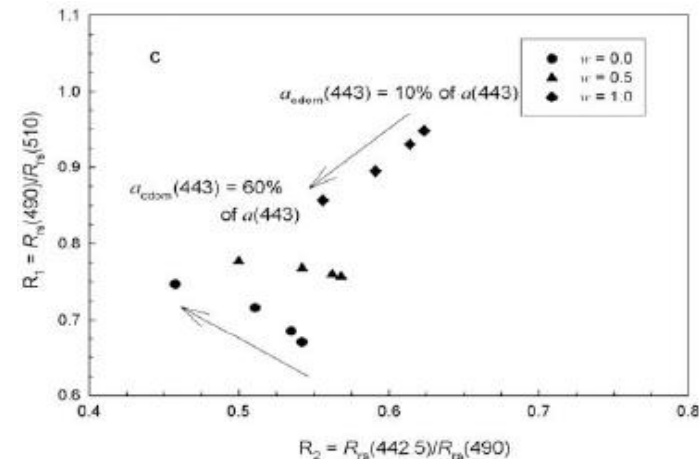
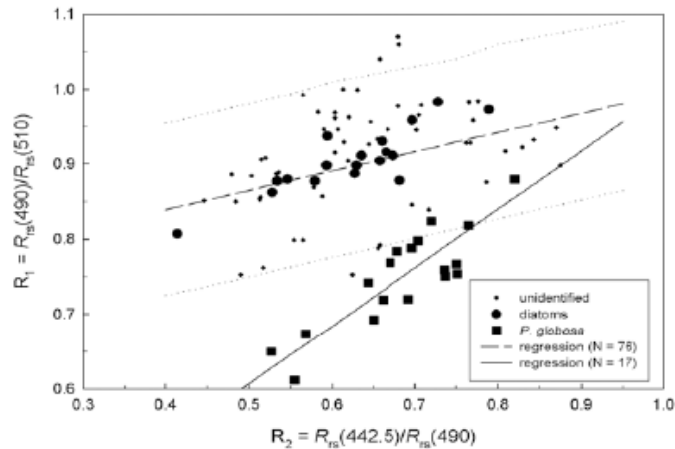
Dans le domaine côtier, sensibilité de la méthode à l'environnement bio-optique (CDOM, b_p^* ...)

Exemple 1 : identification des espèces phytoplanctoniques

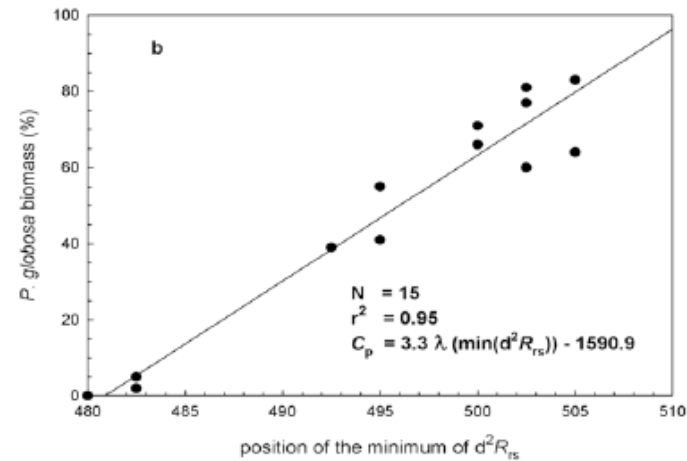
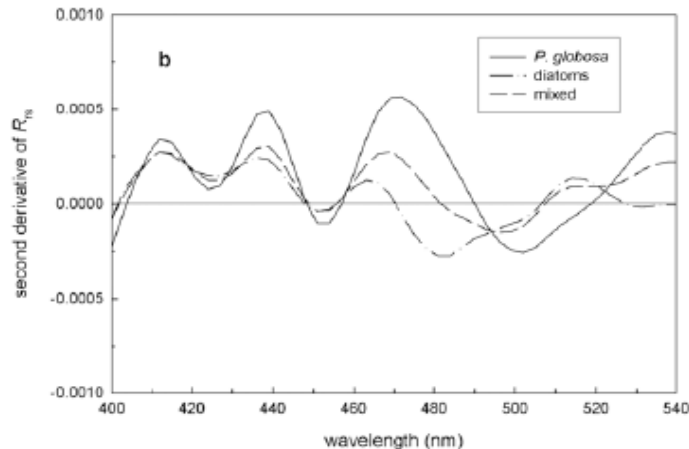
Approche multi-spectral vs hyperspectral : détection des floraisons de diatomées et de *Phaeocystis globosa* en Manche Orientale

Lubac et al., 2007

Multispectral : on peut distinguer les 2 groupes, mais difficile à quantifier, et surtout sensible à la présence de CDOM.

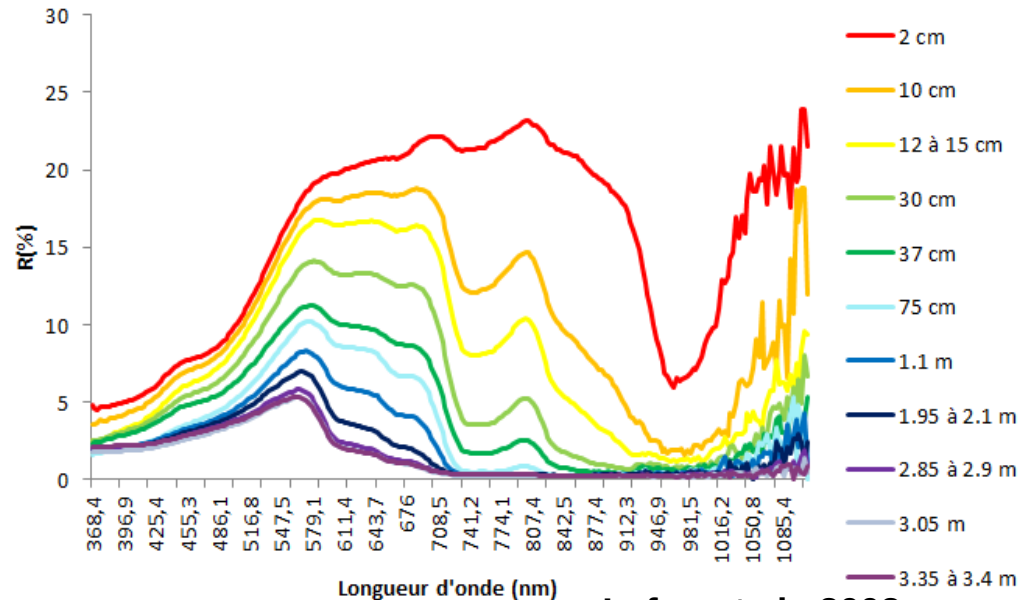


Hyperspectral : en certaines régions du spectre $\delta^2 R_{rs}$, en accord avec $\delta^2 a_{phy}$, permet de distinguer les 2 groupes et de les quantifier.



Exemple 2 : estimation de la bathymétrie et cartographie du fond marin

Fonds Sableux

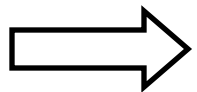


Lafon et al., 2002

$$r_{rs}^{théorique} = r_{rs}^D \left[-e^{-(K_d + K_u^D)z} \right] + \frac{1}{\pi} R_{rs}^B e^{-(K_d + K_u^B)z} \quad z = -K_{B1} r_{rs}^D \left[\ln(r_{rs} - r_{rs}^D) - \ln\left(\frac{1}{\pi} R_{rs}^B - r_{rs}^D\right) \right]$$

Lee et al, 1998

Birwirth et al., 1995

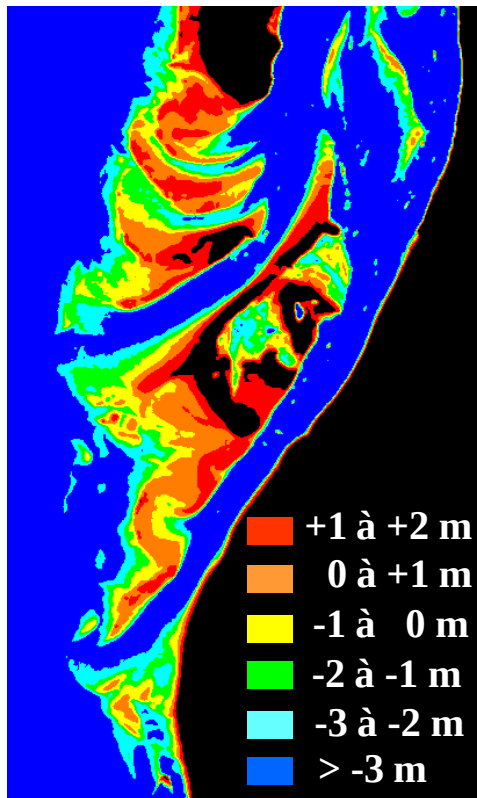


Pour inversion de Z, B... besoin de modéliser r_{rs} .

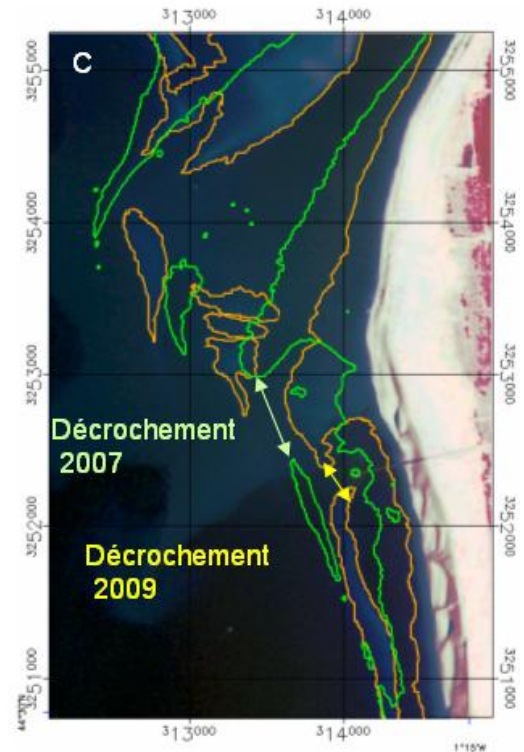
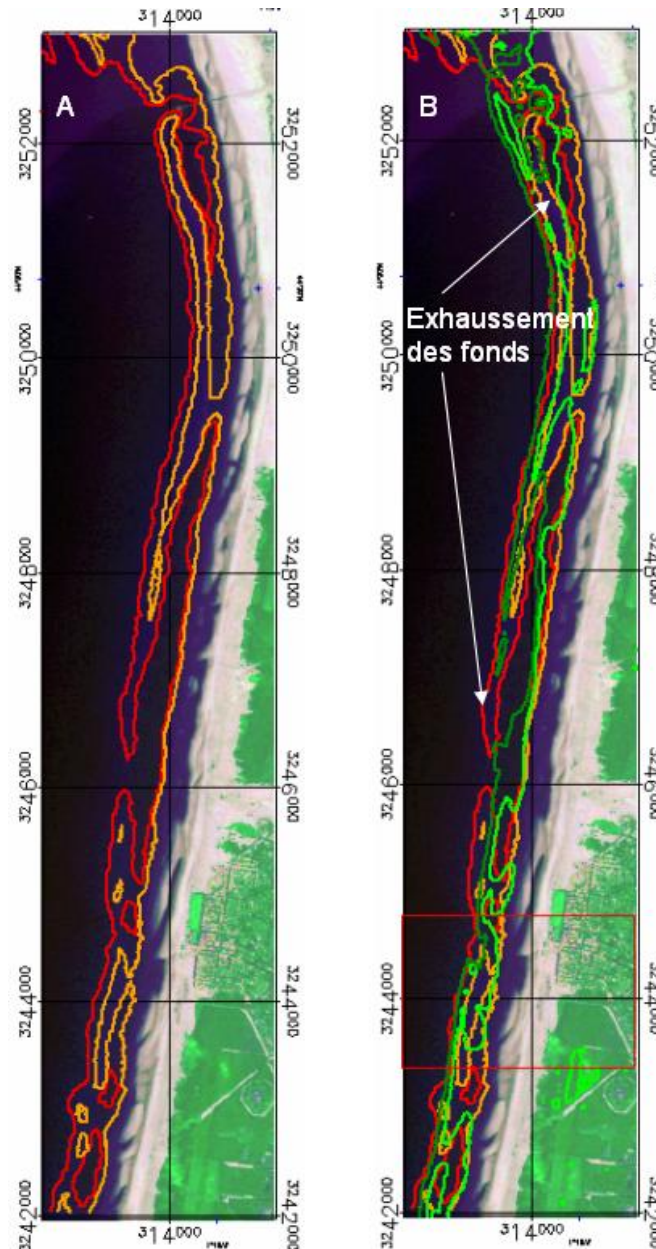
Exemple : $r_{rs}^{modèle} = f(P, G, X, B, Z, \Delta)$ (5 inconnues)

Exemple 2 : estimation de la bathymétrie et cartographie du fond marin

Fonds Sableux et turbidité homogène



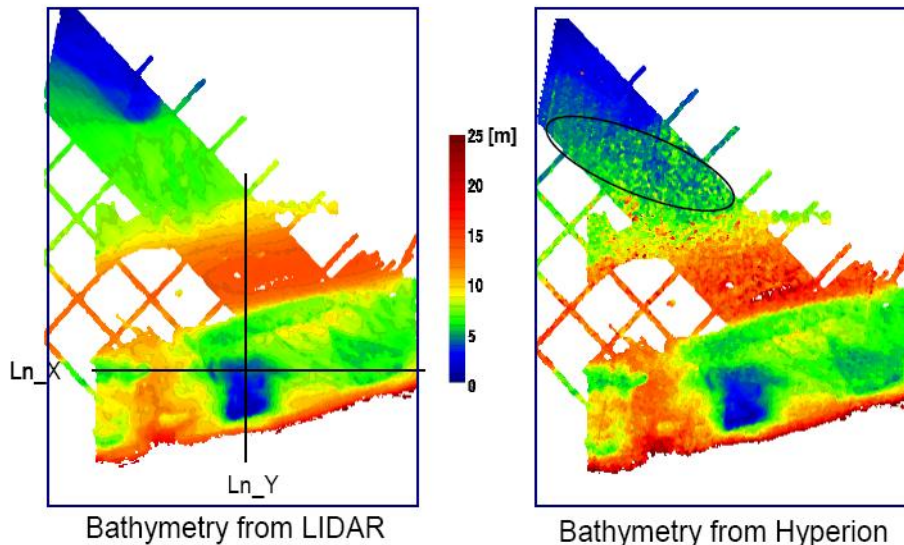
Lafon et al., 2002



Dehouck et al., 2009

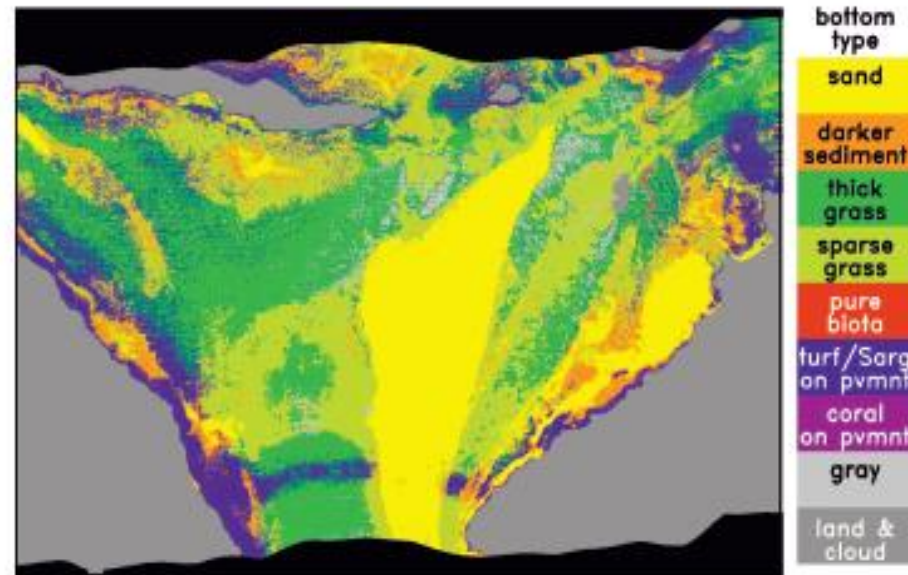
Exemple 2 : estimation de la bathymétrie et cartographie du fond marin

- ✓ Approche **multispectrale** : pour résoudre un problème à plusieurs inconnus, besoin d'approximations contraignantes. Applications locales.
- ✓ Approche **hyperspectrale** : pas d'approximation. Permet des applications « globales » (exemples de méthodes : semi-analytique + optimisation; tables de correspondances « look up table »;...).



Lee et al., 2007

Méthode semi-analytique + optimisation
(Florida, Keys)



Mobley et al., 2005

Tables de correspondances
(Bahamas – Ocean PHILLS airborne hyperspectral imager)

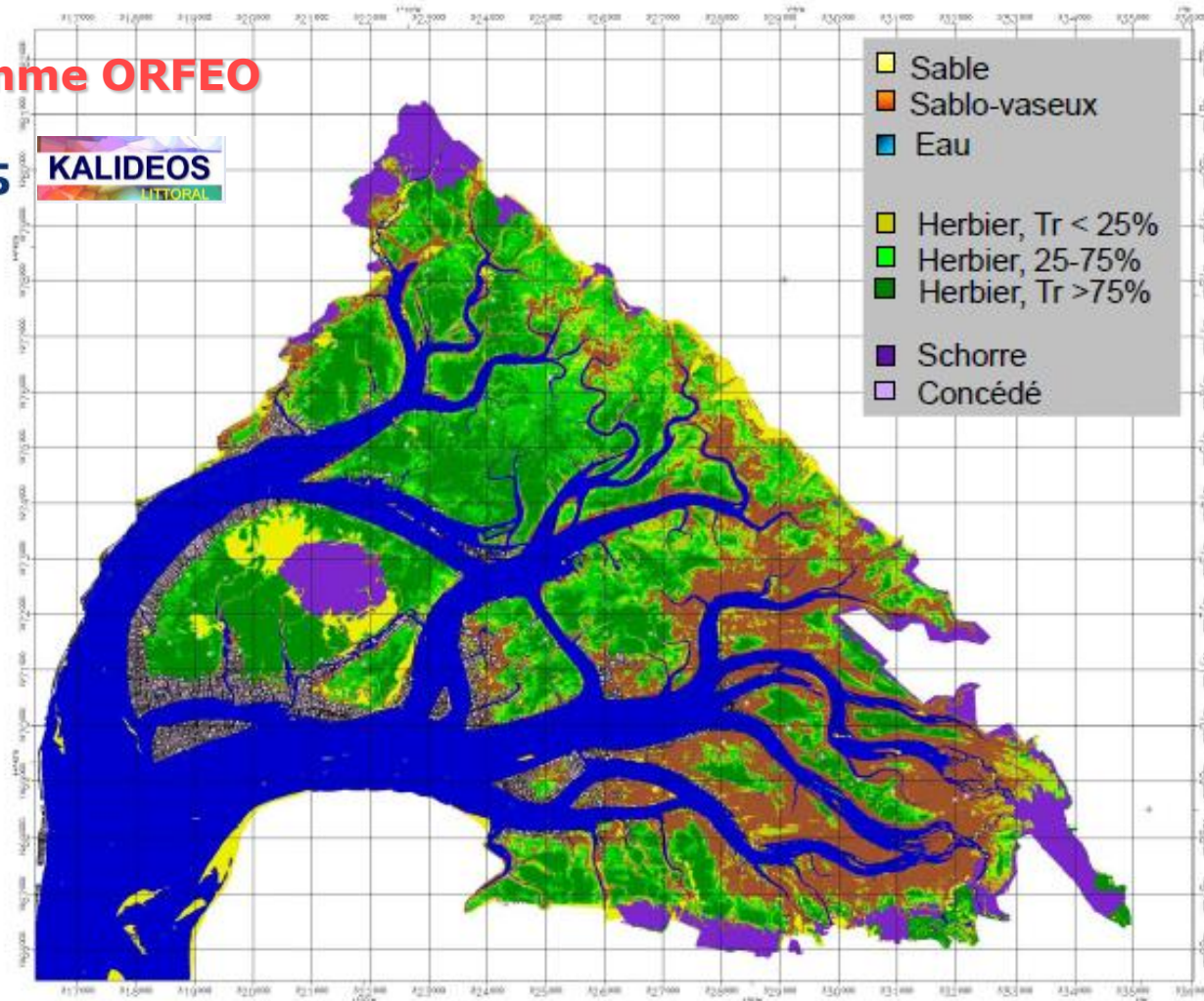
Exemple 2 : estimation de la bathymétrie et cartographie du fond marin

Types de fond variés

Programme ORFEO

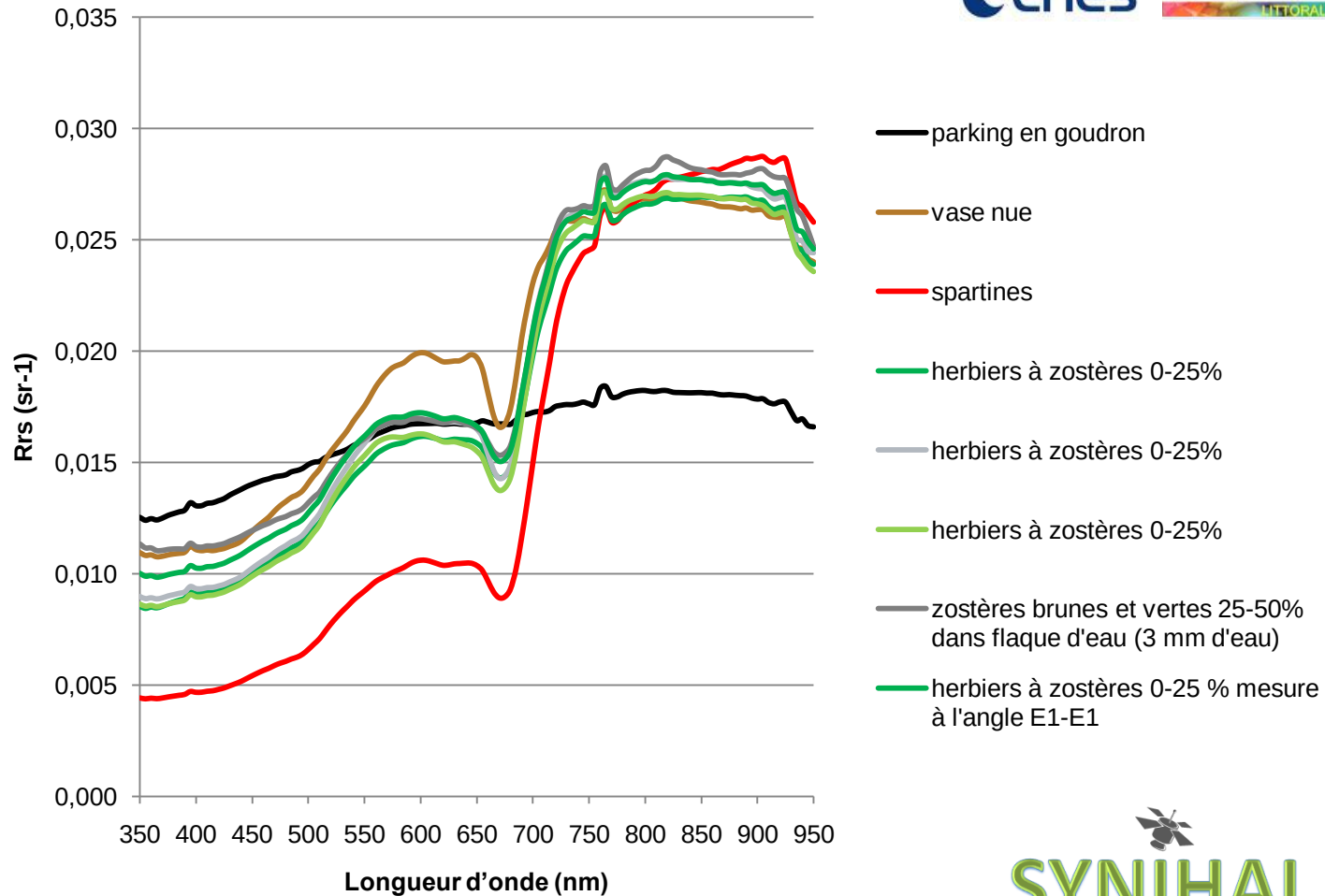


KALIDEOS
LITTORAL



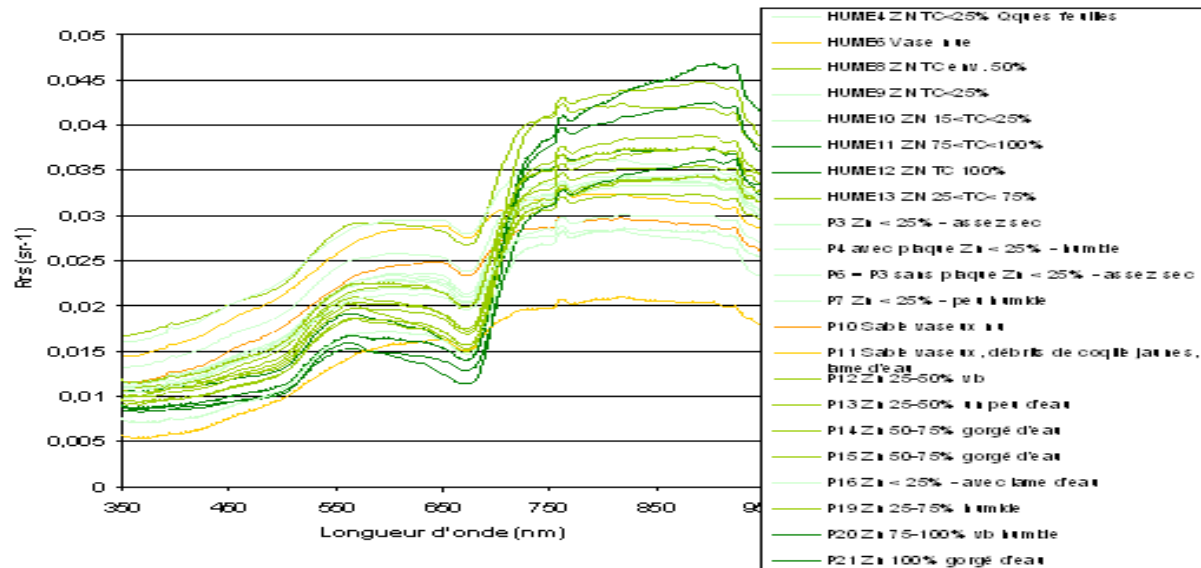
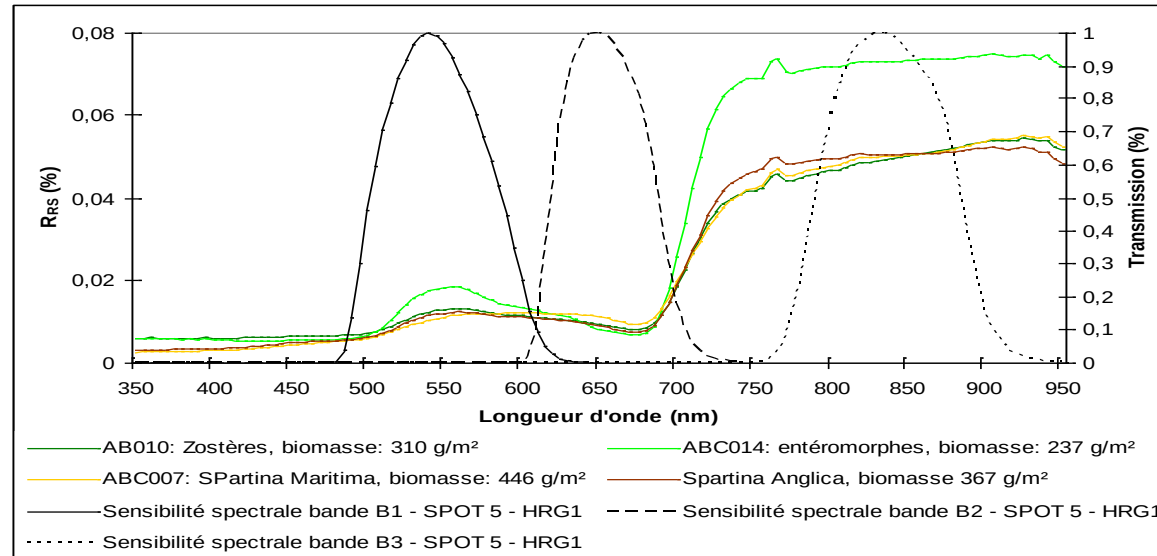
Exemple 3 : cartographie des habitats lagunaires

Programme TOSCA



Exemple 3 : cartographie des habitats lagunaires

Discrimination habitats lagunaires vs paramètres biogéophysiques



Conclusions

- ☐ Culture de la mesure hyperspectrale
- ☐ Simulation et utilisation de capteurs multispectraux
- ☐ Limitations:
 - Couleur de l'eau et inversion des paramètres de la qualité de l'eau
 - Bathymétrie sur des fonds de nature varié
 - Cartographie des environnements littoraux émergés et caractéristiques biogéophysiques des couverts végétaux et sédimentaires
 - Limitation liée aux hypothèses très contraignantes émise pour permettre l'inversion des modèles optiques et bio-optiques
- ☐ Solution : approche & capteurs hyperspectraux
- ☐ Réseau d'experts multidisciplinaire