

# GROUPE DE TRAVAIL HYPERSPÉCTRAL EN COULEUR DE L'EAU

---

Audrey Minghelli – Université de Toulon – Laboratoire LIS



Vendredi 16 décembre 2022

# OBJECTIFS DU GROUPE DE TRAVAIL

---

## Objectifs généraux

- Fédérer la communauté hyperspectrale française pour des applications liées au milieu aquatique
- Faire connaître les travaux de cette communauté
- Proposer des méthodes de traitement pour les données hyperspectrales satellitaires
- Lister les besoins de la communauté sur les spécifications que devrait avoir un futur capteur hyperspectral

## Objectifs de cette réunion

- Présenter et faire connaître au sein de notre communauté les thématiques étudiées, les méthodes et les données utilisées (in situ et satellite)
- Présenter capteurs hyperspectraux en vol (DEGIS, PRISMA et EnMap) et futurs (PACE, AquaWatch et Galène)
- Réfléchir sur les moyens de faciliter l'utilisations des données hyperspectrales au sein de la communauté française

# PROGRAMME DE LA JOURNÉE

---

- 9h30 A. Minghelli (LIS), Introduction sur l'utilisation de l'hyperspectral pour des applications en **zones aquatiques**
- 9h55 Touria Bajjouk (Ifremer) - Distribution et évaluation de l'état écologique des **habitats benthiques** en zone côtière.
- 10h20 Vona Meleder (Université de Nantes) - Utilisation de l'imagerie hyperspectrale de la méso- à la macro-échelle pour la quantification de la biodiversité, de la biomasse et de la production primaire des **vasières littorales**
- 10h45 Sophie Loyer (SHOM) – Exploitation de l'imagerie optique au SHOM et **besoins hydrographiques** pour l'utilisation de l'imagerie hyperspectrale
- 11h10 Audrey Minghelli (LIS) - Evaluation de la contribution d'un futur capteur satellitaire hyperspectral (BIODIVERSITY) pour la cartographie de la composition de l'eau, l'estimation de la **bathymétrie et la composition des fonds** en milieu **littoral et lacustre**
- 11h35 Jean-Michel Martinez (GET) – Apport de l'hyperspectral pour le suivi des flux sédimentaires en **milieu fluvial** par télédétection.

Pause déjeuner

- 14h00 David Doxaran (LOV) - Mesures radiométriques hyperspectrales autonomes dans les **estuaires et lagunes côtières** pour la calibration/validation des produits satellitaires
- 14h25 Malik Chami (Sorbonne Université) – GALENE : un **projet de mission spatiale** dédiée à la télédétection des eaux côtières et intérieures
- 14h50 Camille Desjardins (CNES)- Présentation des activités **hyperspectrales au CNES**
- 15h15 Discussion sur les moyens de faciliter **l'utilisation de données hyperspectrales** satellitaires
- 16h30 Fin de la réunion

# INTRODUCTION

Utilisation de l'hyperspectral pour  
des applications en zones aquatiques  
(large, zones côtières, lacs et rivières)

---

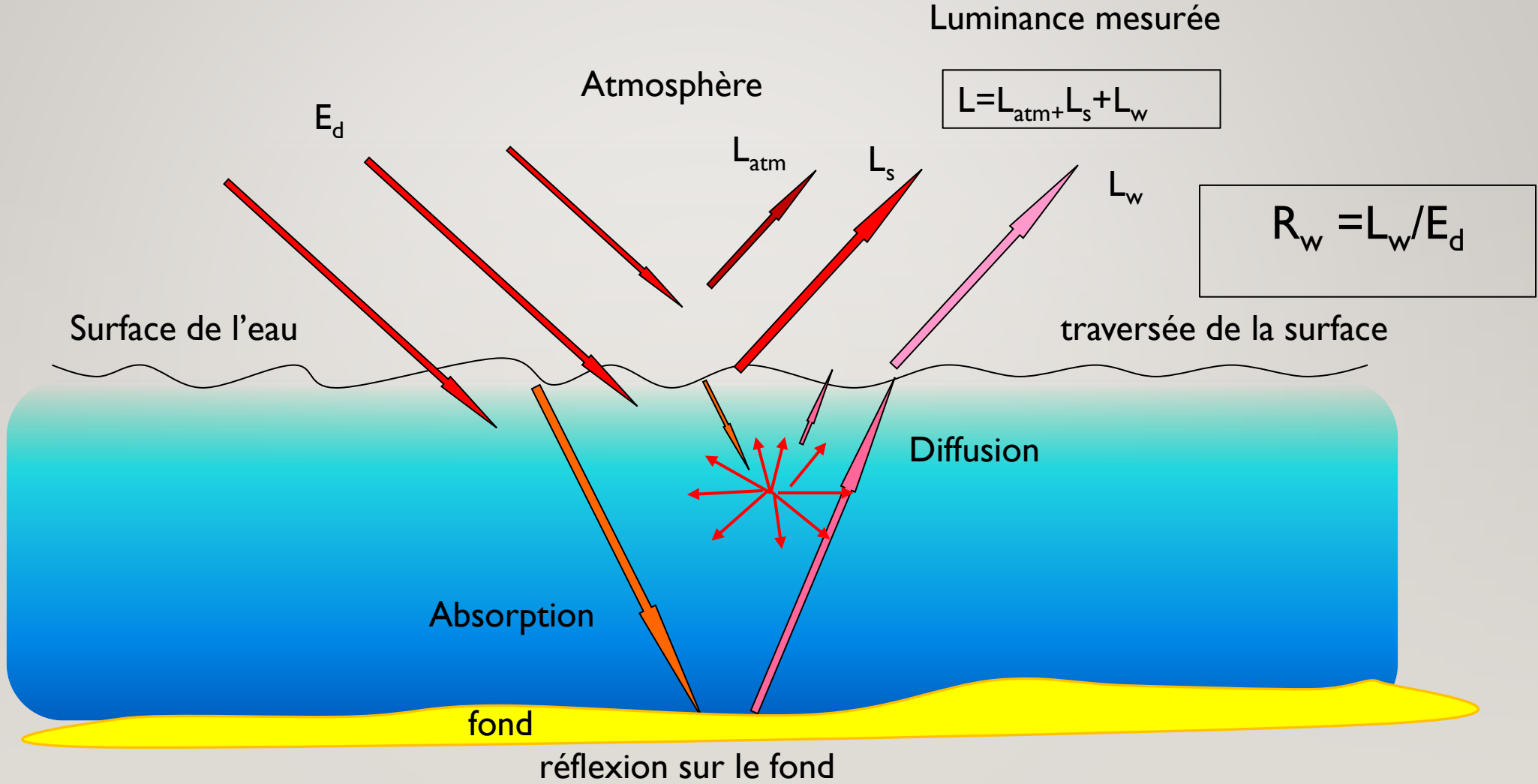


# PLAN

---

- Problématique des zones aquatiques
- Eventail des applications
- Les capteurs multispectraux, leurs méthodes et leurs incertitudes
- Les capteur hyperspectraux, leurs méthodes et leurs incertitudes
- Les capteurs hyperspectraux en vol et en projet
- Conclusion

# PROBLÉMATIQUE EN ZONE AQUATIQUE



# Interactions lumière / eau

- La réflectance de surface dépend :

$$R_w(\lambda) = R_\infty(\lambda)(1 - e^{-2k(\lambda)z}) + R_B(\lambda)e^{-2k(\lambda)z}$$

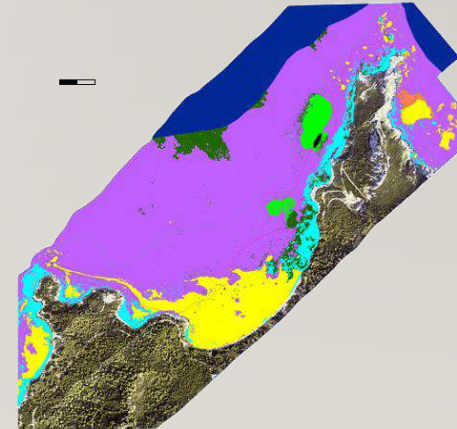
$R_\infty(\lambda)$  : réflectance d'une colonne d'eau infinie,  $k(\lambda)$  : coefficient d'atténuation diffuse,  
 $z$  : profondeur,  $R_B(\lambda)$  : réflectance du fond.

## Trois types de paramètres « optiquement actifs »:

- Constituants de la colonne d'eau (phytoplancton, matières en suspension, matières organiques dissoutes)
- Composition du fond (sable, roches, algues, coraux, etc.)
- Bathymétrie (hauteur de la colonne d'eau)

# EVENTAIL DES APPLICATIONS

- Qualité de l'eau
  - Suivi de blooms algaux, turbidité, dispersion de matières organiques, détection de plastiques (macro et micro)
- Hydrographie
  - Bathymétrie, morphologie des fonds
- Cartographie et suivi des habitats
  - Peuplement, état de santé, biomasse de coraux, algues, herbiers, mangroves, biofilms





# Données multispectrales à moyenne résolution spatiale (>100 m)

	Nombre de bandes	Résolution spatiale (m)	SNR	Résolution temporelle
SeaWiFS	8	1000	~1000	1j
MODIS	9	1000	~1000	1j
MERIS	15	300	~1000	3j
OLCI	21	300	~1000	1j
VIIRS	16	750	~1000	1j

- Avantages:

- Fort SNR >700

- Résolution temporelle de 1 à 3 jours

- Limites:

- Résolution spatiale de 300 m à 1 km

- Nombre de bandes limité (méthodes empiriques)

- Produits dérivés:

- Concentration en chlorophylle

- Concentration en matières en suspension (MES)

- Matières dissoutes colorées (CDOM)

- Rétrodiffusion particulaire bbp et les produits dérivés (carbone organique particulaire POC)



# Données multispectrales à haute résolution (<100 m)

	Nombre de bandes	Résolution spatiale (m)	SNR	Résolution temporelle
SPOT	4	6	250	3 j
WorldView-2	8	1,84	160	1 j
Pléiades	4	2,8	30	1 j
Sentinel-2	12	<60	150	5 j
Landsat-8	7	30	300	16 j

- Avantages:

- Résolution spatiale métrique

- Limites:

- Résolution spectrale

- Bandes manquantes pour les corrections atmosphériques

- Résolution temporelle

- SNR

- Coût

- Produits dérivés:

- Matières en suspension

- Profondeur (faible)

- Cartographie de la composition des très petits fonds

# Données hyperspectrales

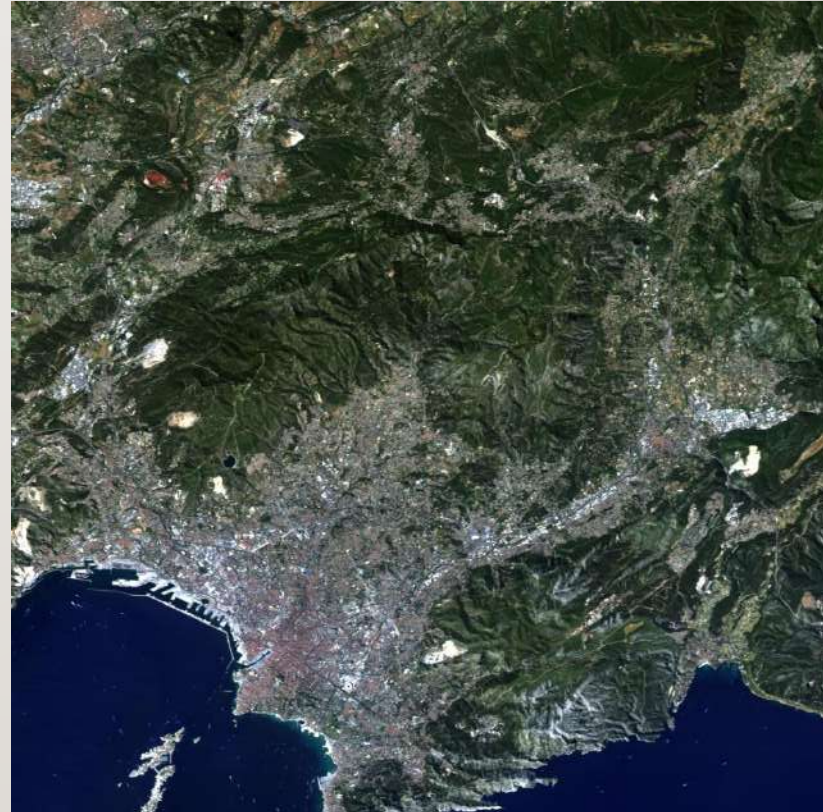
## Capteurs aéroportés (depuis 1990)

	Nombre de bandes	Domaine spectral (nm)	Résolution spectrale (nm)	Résolution radiométrique (bits)	Angle de champ (°)	Nombre de détecteurs	SNR
AVIRIS	224	280-2500	9.7	12	30	614	1000
CASI	288	400-1000	3	12	37.8	512	1000
HySPEX (NEO)	160	400 - 1000	4,5	12	17	1600	>200
AISA (Specim)	620	380 - 2500	3,5-12	12/16	32,3	384	>600
MicroHyperspec (Headwall)	536	400 - 2500	5/10	12	48	1600	High
HYMAP	128	450 - 2480	15	12	60	512	>500



# CAPTEUR DESIS (DLR)

- Résolution : 30 m
- 235 bandes spectrales (2.55 nm)
- 400-1000 nm
- Programmable
- <https://tcloudhost.com/>
- 2018-



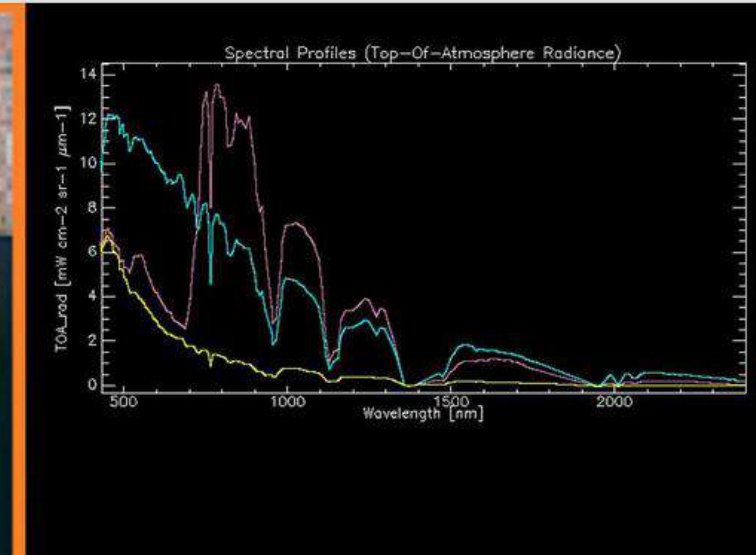
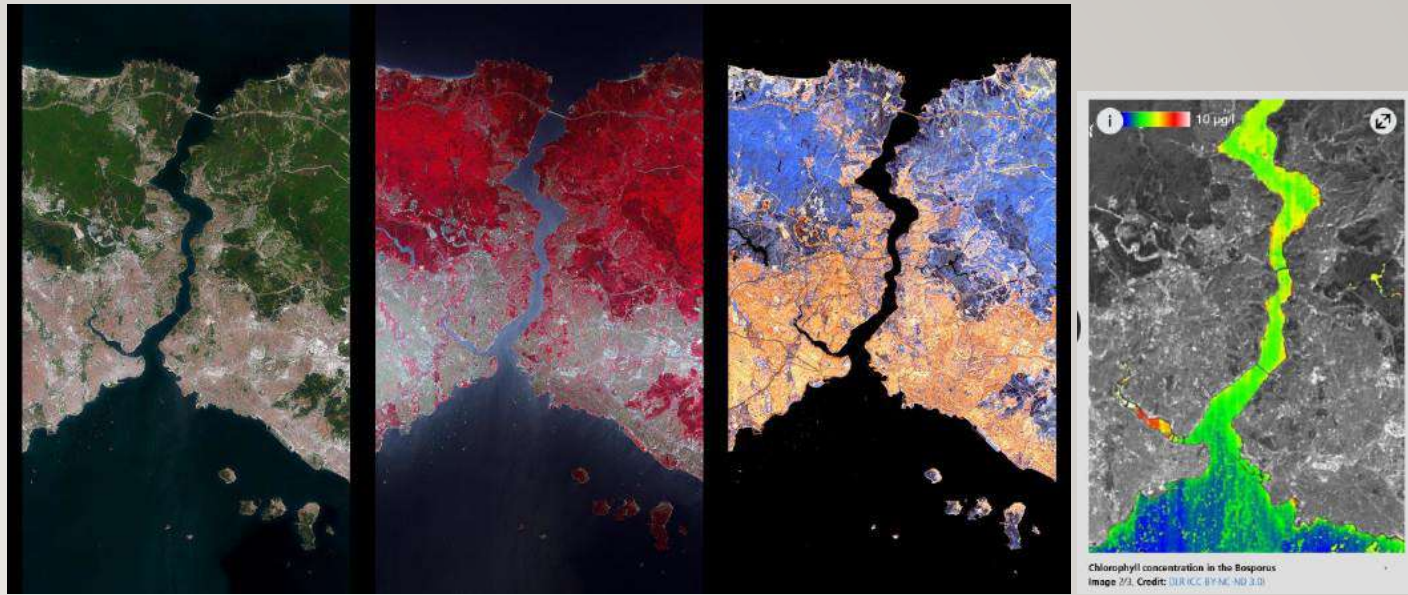
# CAPTEUR PRISMA (ASI)

- Résolution : 30 m
- 239 bandes spectrales (10 nm)
- 400-2505 nm
- Programmable
- <http://www.prisma-i.it/index.php/en/>
- 2019-



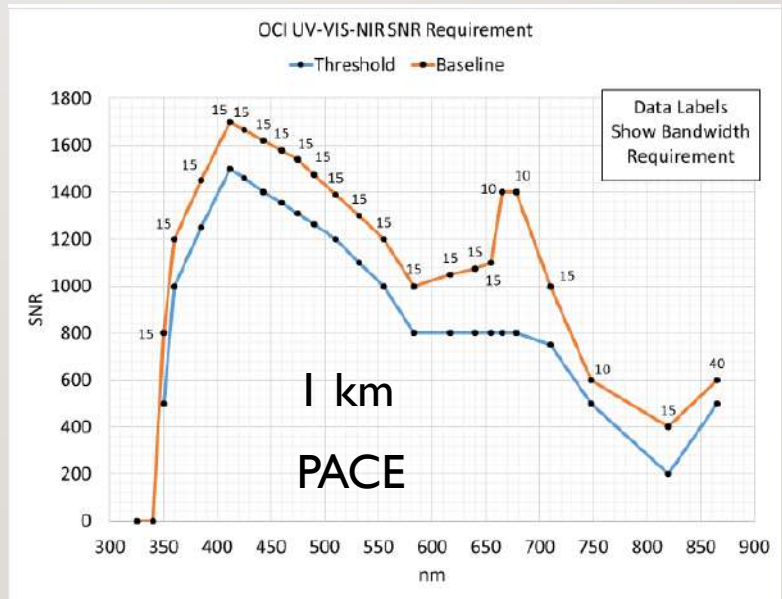
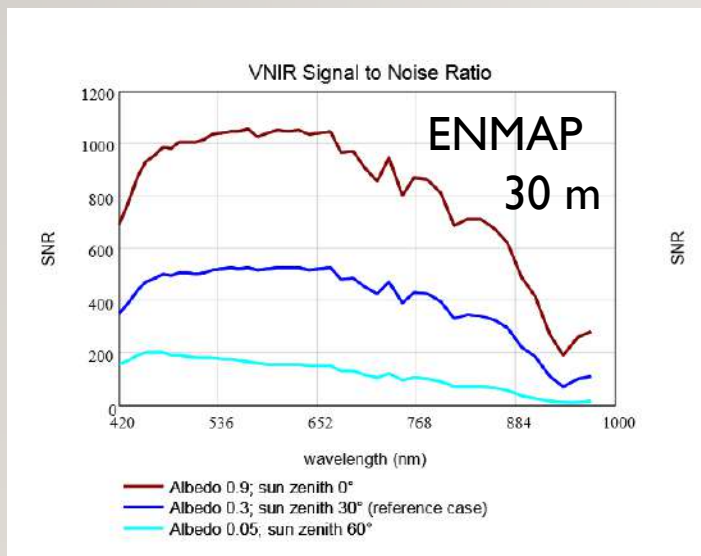
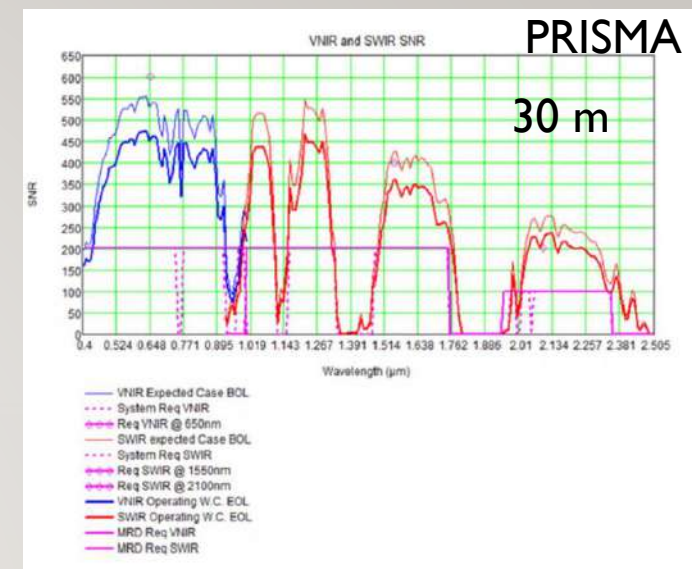
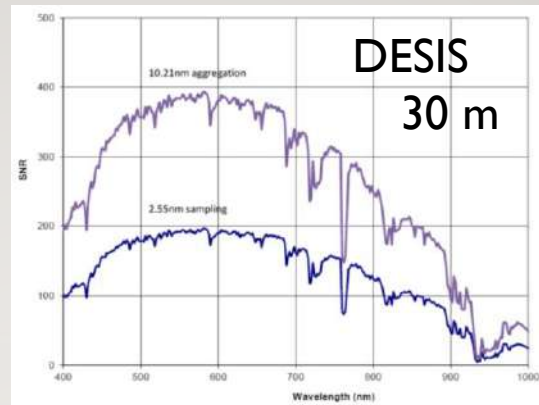
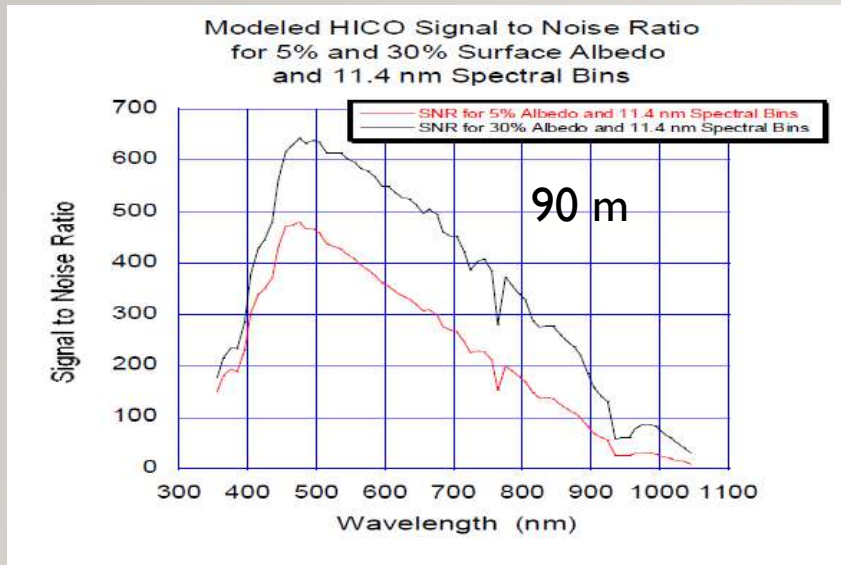
# CAPTEUR ENMAP (DLR)

- Résolution : 30 m
- 262 bandes spectrales (10 nm)
- 420-2450 nm
- <https://www.enmap.org/>
- Oct 2022-





- SNR de spectro-imageurs satellitaires



# Les méthodes

- En théorie :
  - + de bandes-> + d'équations-> + d'inconnues à estimer-> + de paramètres  
Exemple: concentration en chl, MES, CDOM, bathymétrie, composition du fond
- Plusieurs approches :
  - Inversion de modèles semi-analytiques (ex: GSM (cas 1) ou Modèle de Lee (cas 2))
  - Utilisation de bibliothèques spectrales de spectres simulés (Hydrolight, OSOAA)
  - Classifications
  - Apprentissages profonds...

# Sources d'incertitudes

- Liées au capteur
  - Faibles SNR (dus à l'augmentation du nombre de bandes) : 100 à 200, pour  $L_{ref}$  d'eau claire
  - Calibration absolues et inter-bandes
  - > De faibles incertitudes sur  $L_{TOA}$  peuvent conduire à des erreurs importantes sur la réflectance de surface  $R_w$
- Liées aux corrections atmosphériques
  - Hypothèses sur les modèles d'atmosphère, d'aérosols, données annexes sur l'ozone, la pression, la vitesse du vent, la vapeur d'eau
  - > erreur sur  $L_{atm}$  et sur  $T_{atm}$
  - Algorithmes de correction atmosphériques dédiés à l'hyperspectral
    - ATREM /TAFKAA (USNR) FLAASH (USA), ACORN (NASA), ATCOR(DLR), HATCH (CA), Gao et al. (RSE, 2009)
    - Mais aussi COCHISE (Onera), MODTRAN (USA), 6S (FR)

# Sources d'incertitudes

- Liées aux modèles :
  - Hypothèses sur les spectres d'absorption et de rétro-diffusion spécifiques des hydrosols
  - Hypothèse sur homogénéité verticale de la colonne d'eau
  - La fluorescence non modélisée
  - Glint, écume, vitesse du vent non modélisés
  - Nécessite souvent la connaissance *a priori* des réflectances des fonds
- Problèmes d'optimisation
  - Minima locaux et solutions multiples
  - Temps de calculs (en diminution avec les architectures en //, GPU et intelligence artificielle...)

# Erreurs relatives sur z dans la bibliographie (images aériennes)

- Erreurs relatives sur z avec des résolutions < 4 m
  - Hope (Lee, 1999) : entre 5 et 10% de 2 à 25 m (simulation)
  - BRUCE (Klonowski, 2007) : entre 3 et 7 % de 5 à 12m (Hymap, Ningaloo Reef)
  - Dekker et al. (2011) a comparé les méthodes HOPE, BRUCE, SAMBUCA (Brando 2009), CRISTAL (Mobley 2005), ALUT (Edley et al. 2009): entre 10 et 30% de 2 à 15 m
  - Jay et al. (2017) erreur relative sur z : entre 5 et 20% de 5 à 12 m (presqu'île de Quiberon, Bretagne)
  - Philpot (1989) : 10 à 34 % de 0,5 à 20 m
  - ALLUT : erreur relative sur z : 1% sur le sédiment et 12% sur les algues

### Discrimination des fonds en fonction :

- des capteurs
- de la profondeur

(Botha et al, 2013)

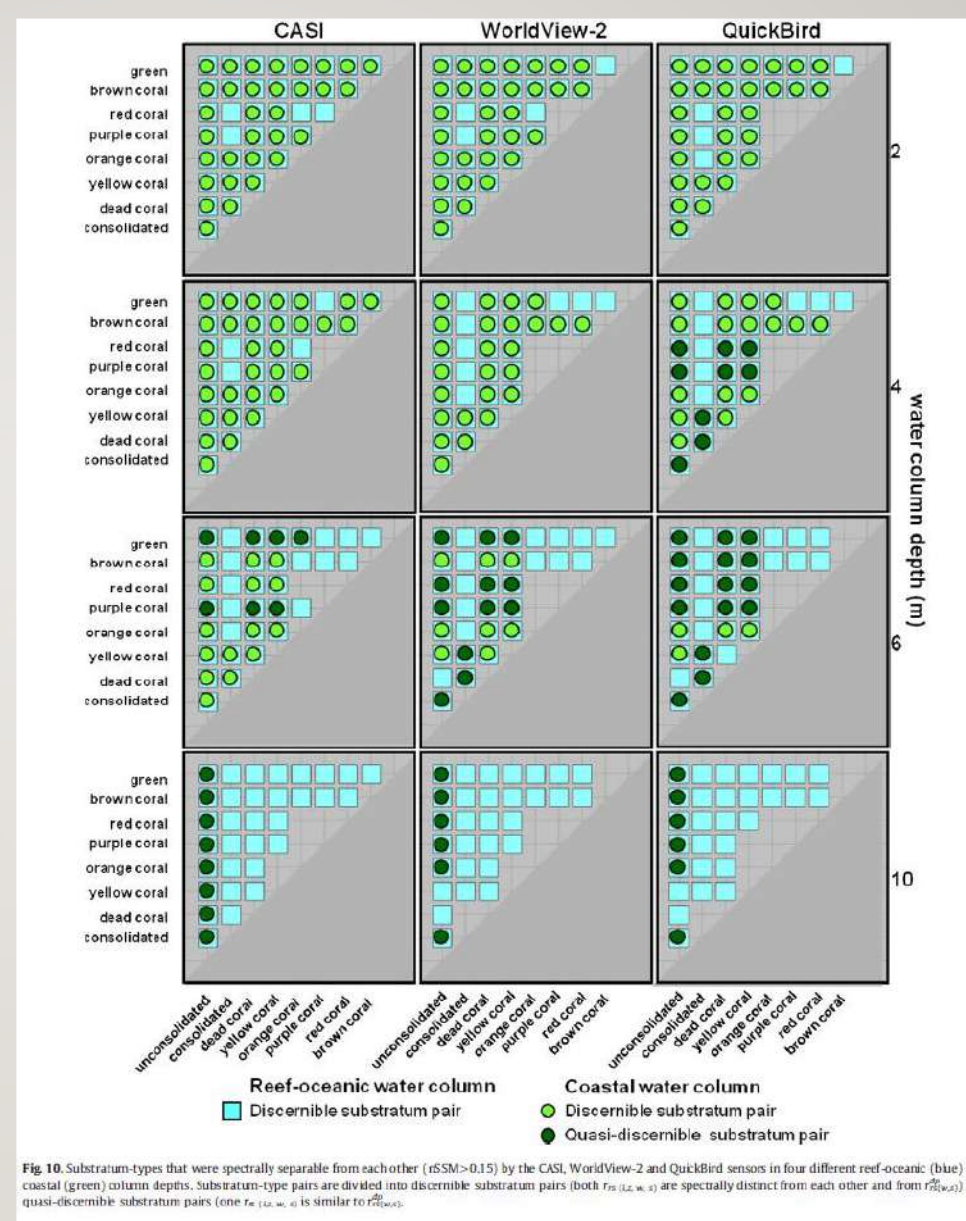


Fig. 10. Substratum-types that were spectrally separable from each other ( $r_{SM} > 0.15$ ) by the CASI, WorldView-2 and QuickBird sensors in four different reef-oceanic (blue) and coastal (green) column depths. Substratum-type pairs are divided into discernible substratum pairs (both  $r_{SM}(i,j,w,s)$  are spectrally distinct from each other and from  $r_{SM}(w,s)$ ) and quasi-discernible substratum pairs (one  $r_{SM}(i,j,w,s)$  is similar to  $r_{SM}(w,s)$ ).

# CONCLUSION

- Intérêt croissant pour l'hyperspectral et de fortes attentes
- Points durs en hyperspectral couleur de l'eau : faible résolution spatiale et/ou faible SNR
- Les performances d'estimation dépendent des capteurs, des corrections atmosphériques, des modèles et des algorithmes, toutes les sources d'erreur sont à minimiser
- Plusieurs capteurs satellitaires hyperspectraux sont (PRISMA, DESIS, ENMAP) ou seront (PACE) bientôt à notre disposition.
- Soutien de nombreux organismes à la recherche : projets financés par ANR, CNES, DGA, INSU-PNTS...