



# Modèle optique du microphytobenthos (MPBOM) : indépendance d'échelle et traitement de l'information pigmentaire.

Patrick Launeau(1), Vona Méléder(2), Farzaneh Kazemipour(3), Bruno Jesus(2) et Laurent Barillé(2)

(1) LPG UMR 6112 (2) MMS EA 2160 Université de Nantes et (3) Terres Inovia, Bretenière







Modèle optique du microphytobenthos (MPBOM) : indépendance d'échelle et traitement de l'information pigmentaire.







RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Caméras HySpex CPER 2008 labo et 2009 terrain aéro



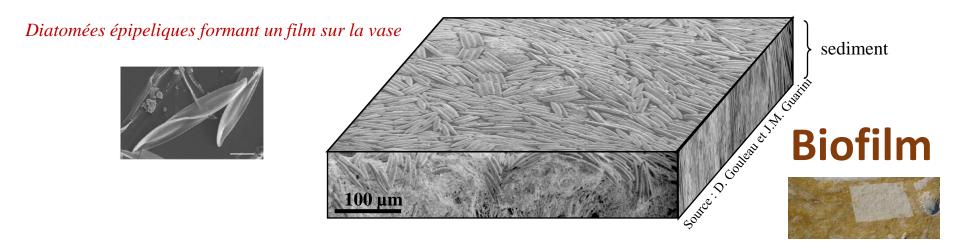
- Télédétection hyperspectrale expérimentale
- Propriétés optiques d'un biofilm semi-absorbant
- Calage sur des biomasses mesurées par HPLC
- Application aux images de toutes tailles et à toutes les échelles
- Analyse spectrale par combinaison d'indices en réflectance et coefficient d'absorption
- Exemples de changements d'échelle
- Conclusion





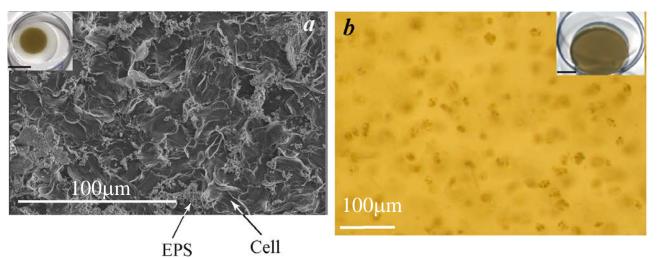


### Télédétection hyperspectrale expérimentale



Dépôt de cellules par filtration douce

En suspension dans gélatine (culture + agar)

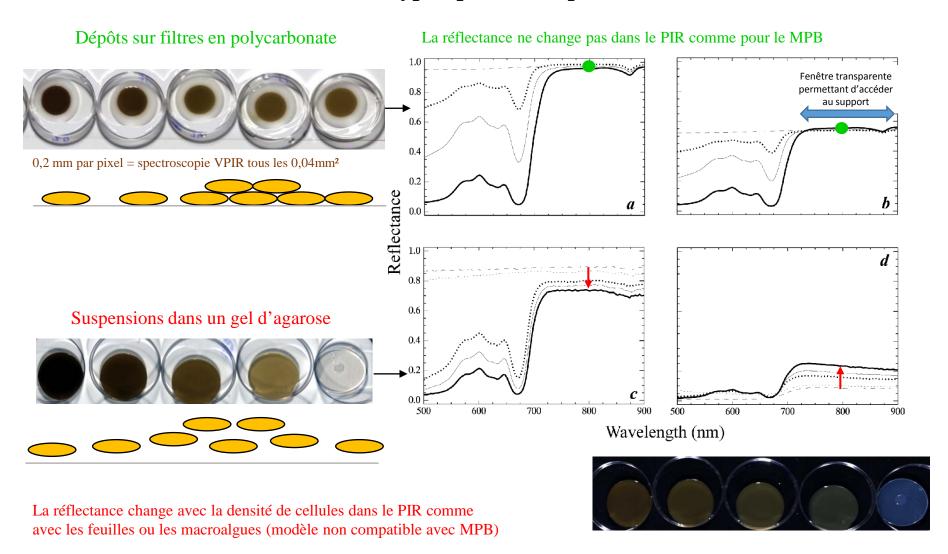


Extracellular Polymeric Substances (polysaccharides)





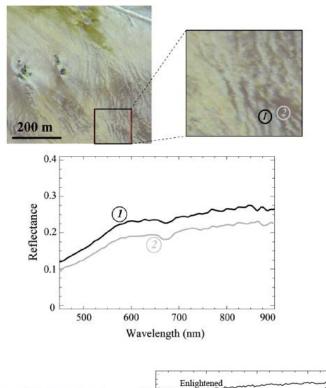
### Télédétection hyperspectrale expérimentale

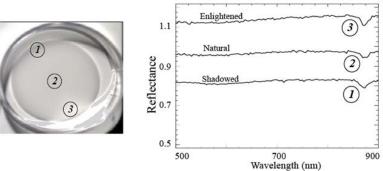


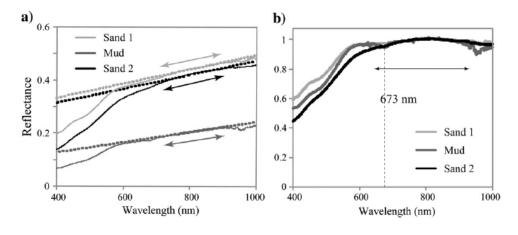




### Télédétection hyperspectrale expérimentale







Vases et sables dessinent une droite de 600 nm à 920 nm

La contribution du support des biofilms peut donc être estimée par l'observation de l'intervalle de 750 nm à 920 nm

De même les supports expérimentaux présentent un spectre plat

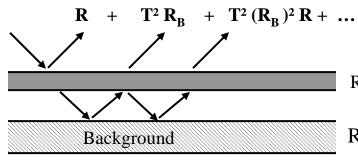


R,T

 $R_B$ 



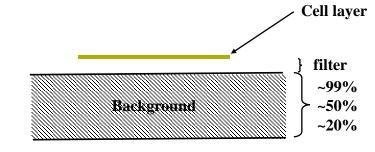
### Propriétés optiques d'un biofilm semi-absorbant

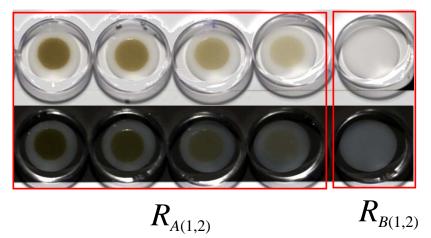


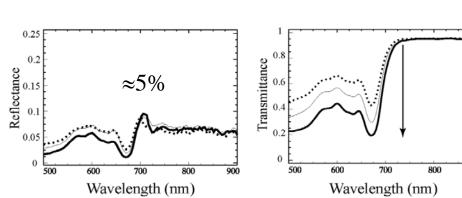
$$R_{A(1,2)} = R + \frac{R_{B(1,2)} T^2}{1 - R.R_{B(1,2)}}$$

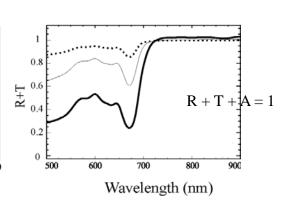
$$R = \frac{R_{A1}R_{B2} - R_{A2}R_{B1}}{R_{B2} - R_{B1} - R_{B1}R_{B2}(R_{A2} - R_{A1})}$$

$$T^{2} = \frac{(R_{A1} - R)(1 - R.R_{B1})}{R_{B1}} = \frac{(R_{A2} - R)(1 - R.R_{B2})}{R_{B2}}$$











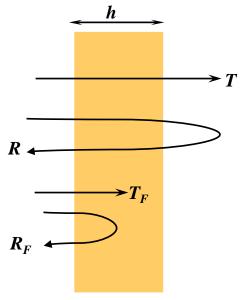




### Propriétés optiques d'un biofilm semi-absorbant

À face parallèles (en négligeant les variation d'épaisseur)

Khashan and El-Naggar, 2000; Nichelatti, 2002



 $R_F$ : réflectance à l'interface F

n : indice de réfraction

k : coefficient d'extinction

α : coefficient d'absorption

 $\theta$ : angle incident

 $T_{\rm F}$ : transmittance à l'interface F

 $\alpha = \frac{4.\pi \cdot k}{2}$ 

 $\eta$ : facteur d'atténuation

Les formules de Fresnel donnent :

$$R_F = \frac{(\sqrt{n^2 - \sin^2(\theta) - \cos(\theta))^2 + k^2}}{(\sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)} + \cos(\theta))^2 + k^2}$$

$$R_F = \frac{(\sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)} - \cos(\theta))^2 + k^2}{(\sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)} + \cos(\theta))^2 + k^2} \qquad T_F = \frac{4\sqrt{n^2 - \sin^2(\theta) + k^2}}{(\sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)} + \cos(\theta))^2 + k^2}$$

En considérant que interface F du biofilm est infinie on peut écrire :

$$R = R_F + \frac{R_F T_F^2 \exp(-2\alpha.h)}{1 - R_F^2 \exp(-2\alpha.h)}$$

$$T = \frac{T_F^2 \exp(-\alpha . h)}{1 - R_F^2 \exp(-2\alpha . h)}$$

D'après la loi de Lambert  $\eta$  s'écrit :

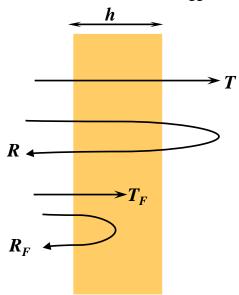
$$\eta = \exp(-\alpha . h)$$





### Propriétés optiques d'un biofilm semi-absorbant

Khashan and El-Naggar, 2000; Nichelatti, 2002



Par recombinaison des R et T precedent on peut écrire :

$$R_{F} = \frac{R}{1 + \eta . T}$$
  $T_{F} = \left[\frac{(1 - \eta^{2} . R_{F}^{2}) . T}{\eta}\right]^{0.5}$   $\eta = R_{F} + T_{F}$ 

Et une méthode itérative de Khashan and El-Naggar, 2000 peut estimer  $\eta$  en fonction de R et T.  $\eta$  est initialisé à 1 comme première estimation de  $R_F$  et  $T_F$ . Comme la somme de  $R_F$  et  $T_F$  donne une nouvelle estimation de  $\eta$ , la boucle de calcul continue jusqu'à ce que la différence entre 2 itérations consécutives de  $\eta$  devienne plus petite que 0.001.

Comme l'épaisseur, h, est proportionnelle à la concentration, h peut être confondu avec  $\alpha$ .

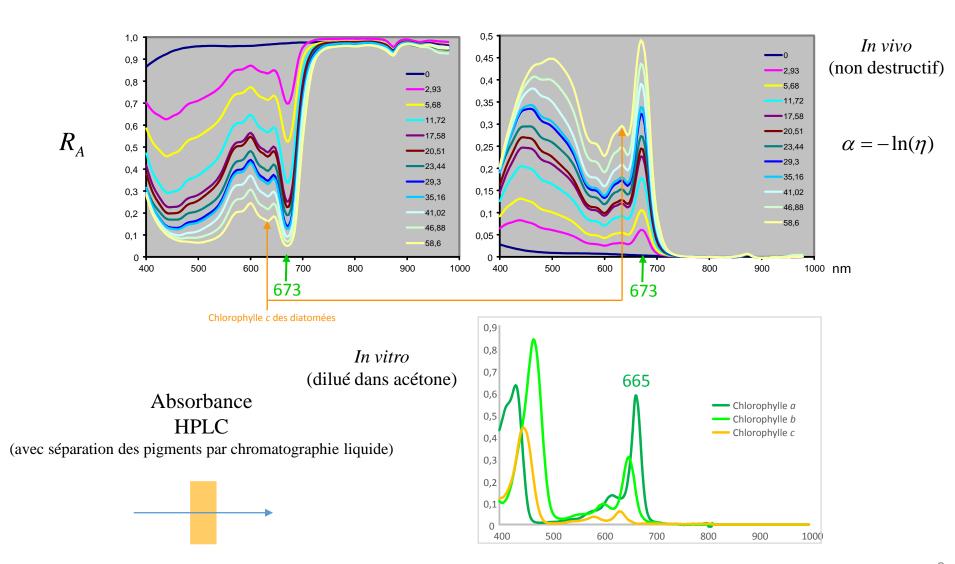
$$\eta = \exp(-\alpha \cdot h) \Rightarrow \alpha = -\ln(\eta)$$







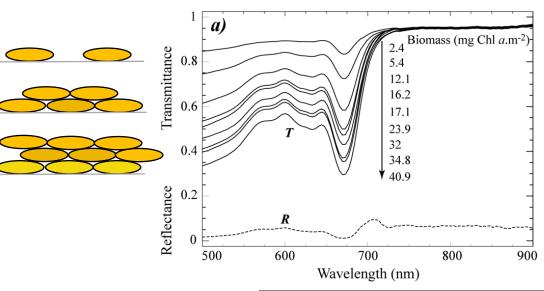
### Calage sur des biomasses mesurées par HPLC

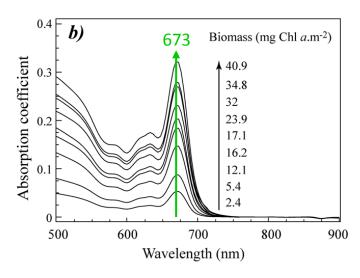




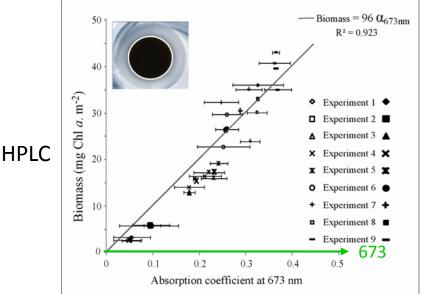


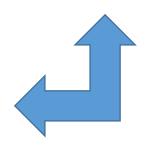
### Calage sur des biomasses mesurées par HPLC





Les diatomées des couches inférieures modifient leur cortège pigmentaire avec plus de chlorophylle *a* et moins de pigments protecteurs des rayons du soleil



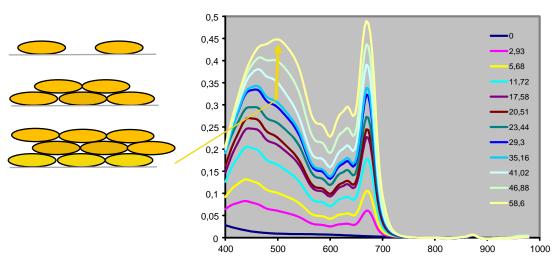






### Calage sur des biomasses mesurées par HPLC

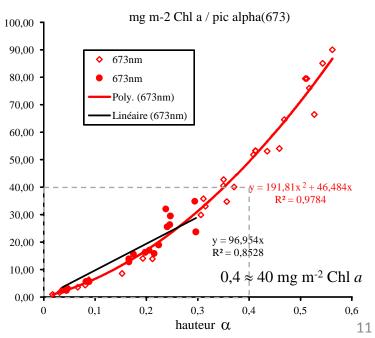
 $mg/m^2$ 



Prise en compte des fortes biomasses

# Les modifications de cortèges pigmentaires s'observent à fortes biomasses au-delà de 40 mg m-2 Chl a

51 analyses



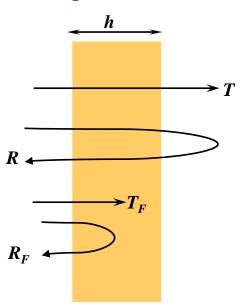
Les diatomées des couches inférieures modifient leur cortège pigmentaire avec plus de chlorophylle *a* et moins de pigments protecteurs des rayons du soleil





### Application aux images de toutes tailles et à toutes les échelles

### Simplifier les calculs :



Comme la réflectance propre d'un biofilm est négligeable:

$$R = R_F = 0$$

Le calcul de T à partir de l'observation de la réflectance apparente  $R_A$  et de celle du support  $R_B$  se simplifie en :

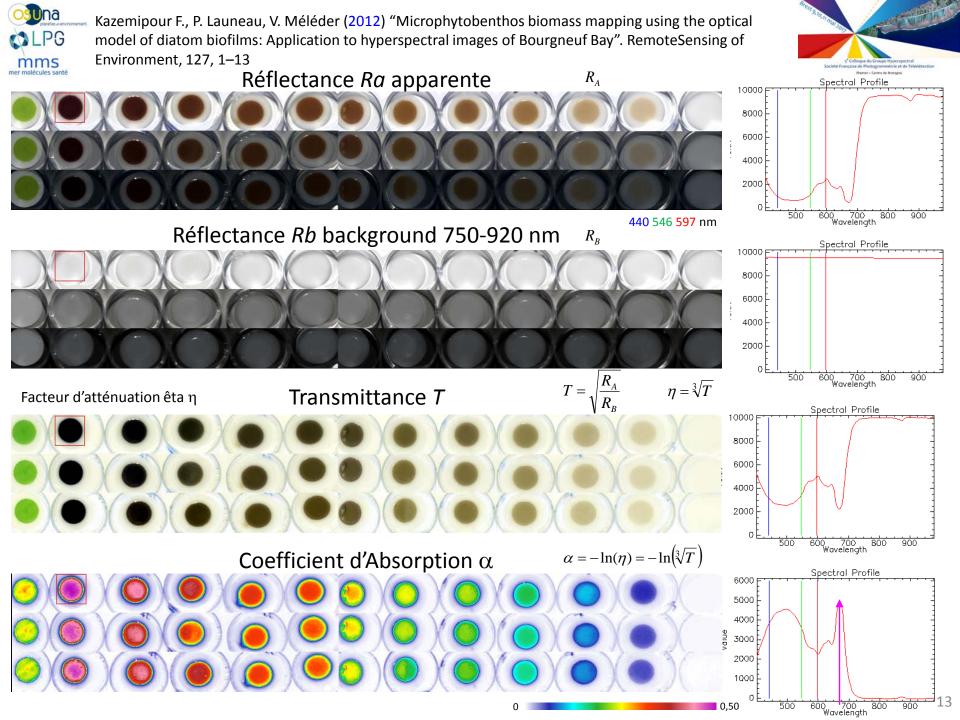
(diapo 6) 
$$T^2 = \frac{\left(R_A - R\right)\left(1 - R.R_B\right)}{R_B} \xrightarrow{R \approx 0} T = \sqrt{\frac{R_A}{R_B}}$$

Et

$$T_F = \left[\frac{(1-\eta^2.R_F^2).T}{\eta}\right]^{0.5} \xrightarrow{R\approx 0} T_F = \sqrt{\frac{T}{\eta}}$$
 
$$\eta = R_F + T_F \xrightarrow{R\approx 0} \eta = T_F$$
 
$$\eta = \sqrt{\frac{T}{\eta}} \qquad \eta^3 = T$$

D'où, sans méthode itérative, nous avons directement :

$$\alpha = -\ln(\eta) \xrightarrow{R \approx 0} \alpha = -\ln(\sqrt[3]{T})$$







Spectral Profile

### Analyse spectrale par combinaison d'indices en réflectance et coefficient d'absorption

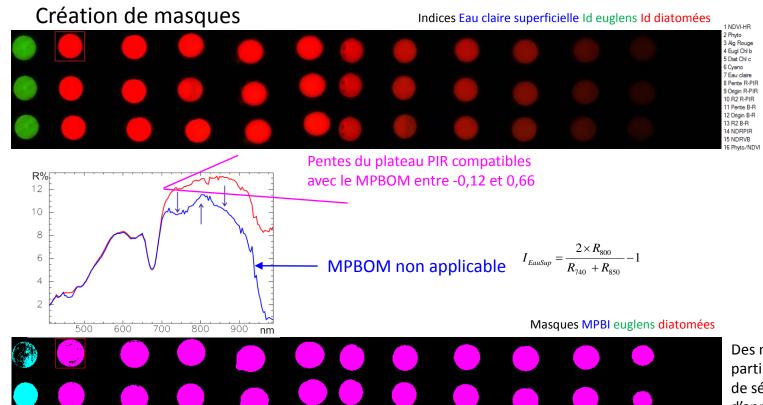
Sélection rapide des zones d'intérêt par une simple combinaison d'indices

$$(HR)NDVI = \frac{R_{800} - R_{673}}{R_{800} + R_{673}} - I$$

$$MPBI = \frac{2 \times R_{586}}{R_{495} + R_{673}} - 1$$

$$I_{Diatom} = \frac{2 \times R_{600}}{R_{549} + R_{673}} - 1$$

$$I_{Euglena} = \frac{2 \times R_{553}}{R_{600} + R_{495}} - 1$$



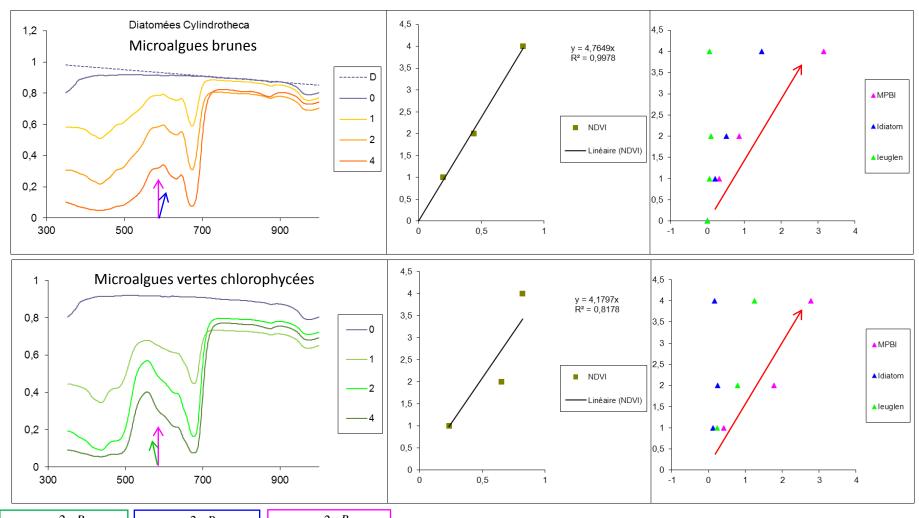
Des masques construits à partir d'indices permettent de sélectionner les zones d'application du modèle





# Analyse spectrale par combinaison d'indices en réflectance et coefficient d'absorption

Un indice I calculé en réflectance est proportionnel à la biomasse et au NDVI



$$I_{Euglena} = \frac{2 \times R_{553}}{R_{600} + R_{495}} -$$

 $I_{Diatom} = \frac{2 \times R_{600}}{R_{549} + R_{673}} - 1$ 

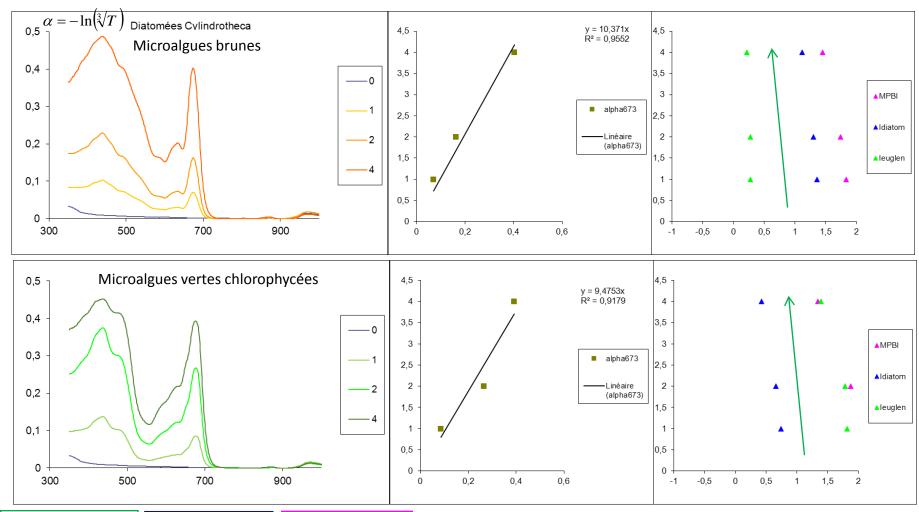
 $MPBI = \frac{2 \times R_{586}}{R_{495} + R_{673}} - 1$ 





### Analyse spectrale par combinaison d'indices en réflectance et coefficient d'absorption

Un indices  $I\alpha$  calculé en coefficient d'absorption est indépendant de la biomasse et du NDVI



 $I\alpha_{Euglena} = \frac{\alpha_{600} + \alpha_{495}}{2 \times \alpha_{553}} - 1 \qquad I\alpha_{Diatom} = \frac{\alpha_{549} + \alpha_{673}}{2 \times \alpha_{600}} - 1 \qquad MPBI\alpha = \frac{\alpha_{495} + \alpha_{673}}{2 \times \alpha_{586}}$ 

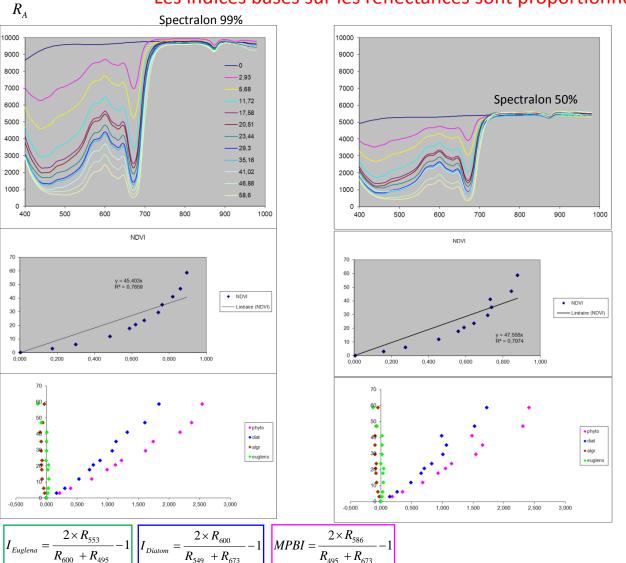
Si la décorrélation entre signature de cortège pigmentaire et biomasse est vraie c'est que cette signature est bien caractéristique du biofilm

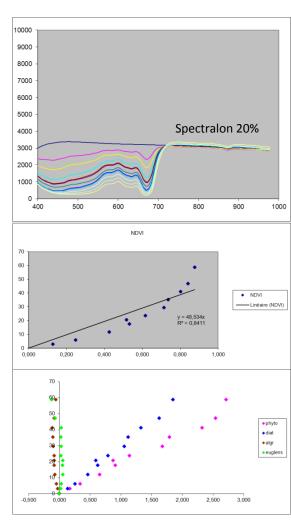




# Analyse spectrale par combinaison d'indices en réflectance et coefficient d'absorption

Les indices basés sur les réflectances sont proportionnels à la biomasse



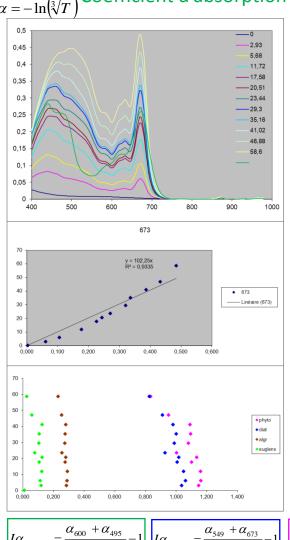


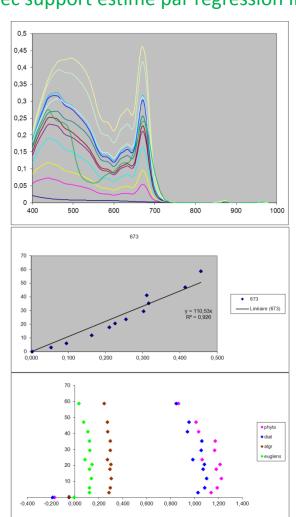


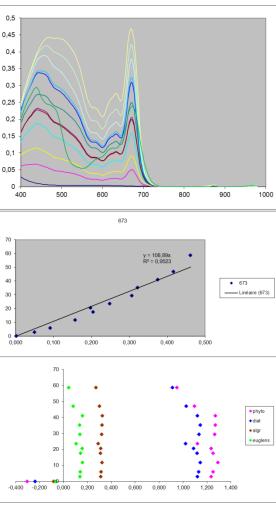


### Analyse spectrale par combinaison d'indices en réflectance et coefficient d'absorption

Coefficient d'absorption  $\alpha$  avec support estimé par régression linéaire entre 750nm et 920nm







 $2 \times \alpha_{600}$ 

Les indices construits à partir de  $\alpha$  sont bien caractéristiques des types de biofilms

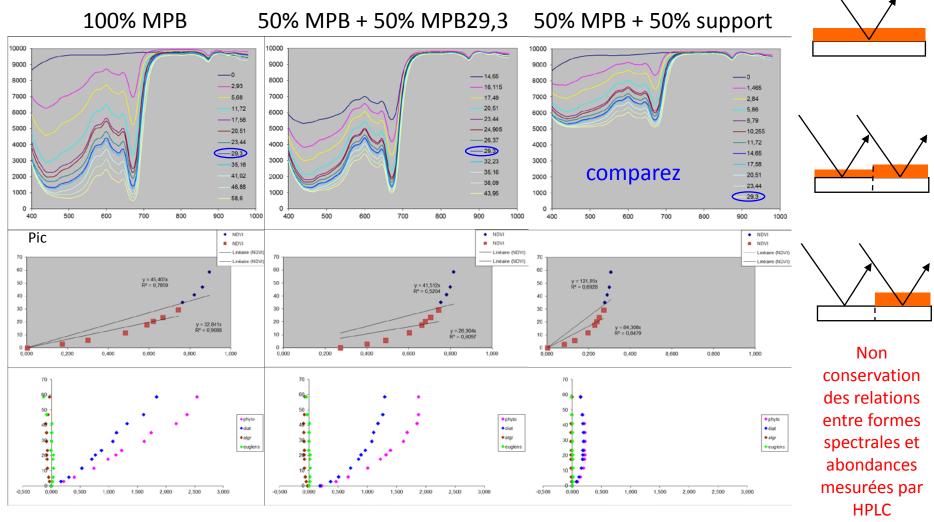
18





Analyse spectrale par combinaison d'indices en réflectance et coefficient d'absorption

Combinaisons linéaires R



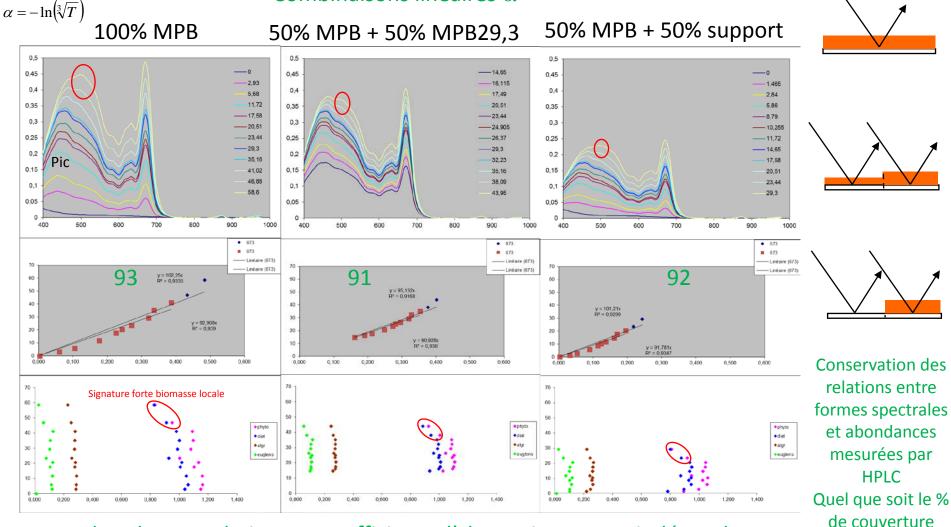
Combe, J., Launeau, P., Carrere, V., Despan, D., Meleder, V., Barille, L., Sotin, C., (2005), Mapping microphytobenthos biomass by non-linear inversion of visible-infrared hyperspectral images, *Remote Sensing of Environment*, 98, (4), 371-387



Combinaisons linéaires  $\alpha$ 



Analyse spectrale par combinaison d'indices en réflectance et coefficient d'absorption



Les abondances relatives en coefficients d'absorption  $\alpha$  sont indépendantes de la répartition spatiale et donc de l'échelle d'observation

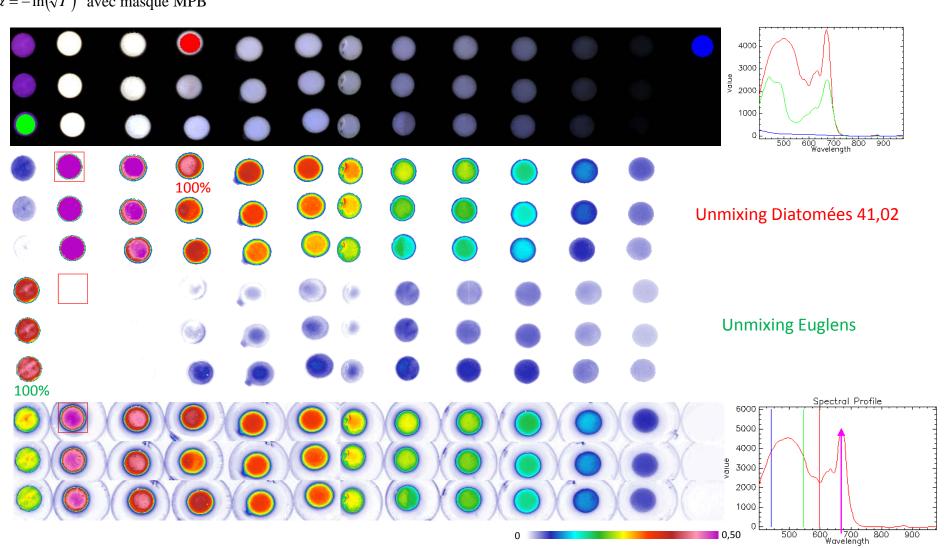
**HPLC** 





## Analyse spectrale par combinaison d'indices en réflectance et coefficient d'absorption

 $\alpha = -\ln(\sqrt[3]{T})$  avec masque MPB







Exemples de changements d'échelle

Spectral Profile

1400

1200

1000

800

700

800

900

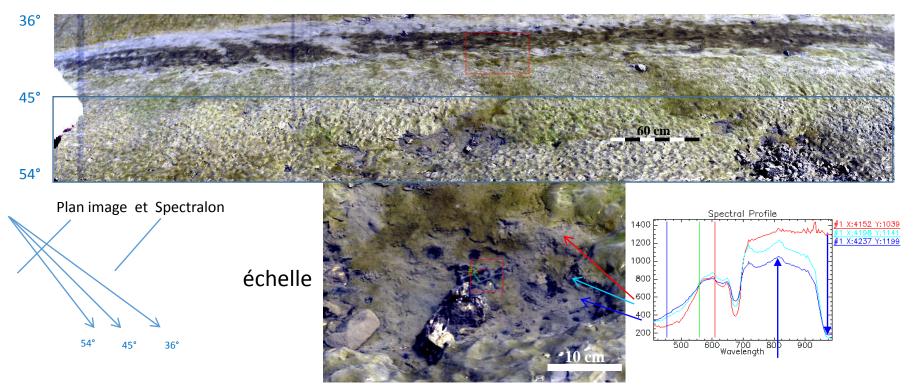
EauSup = 2×R<sub>800</sub>

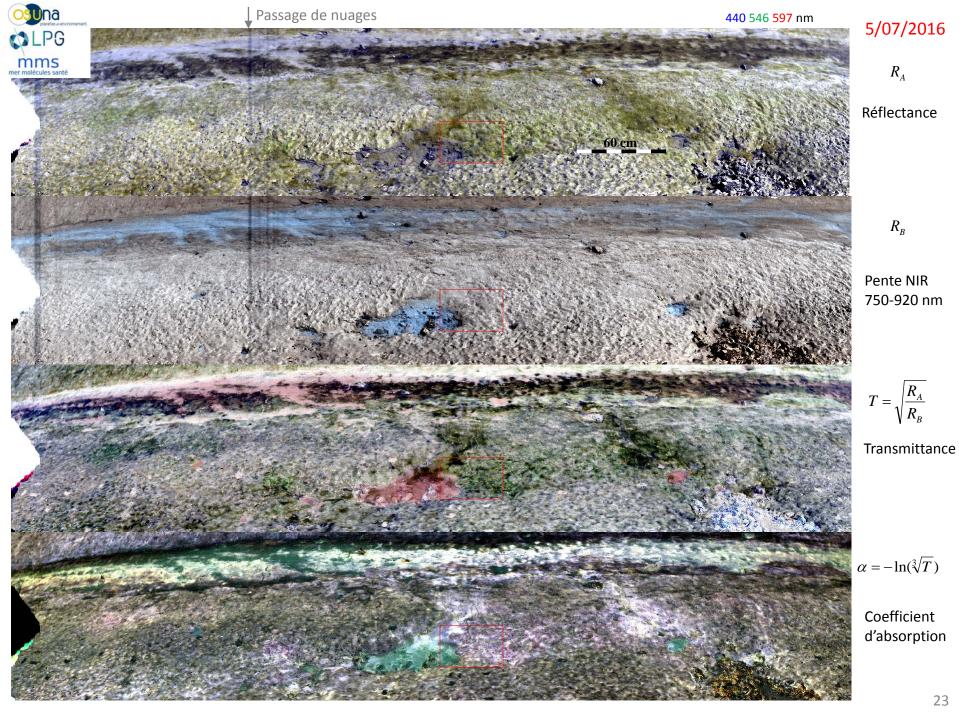
-1

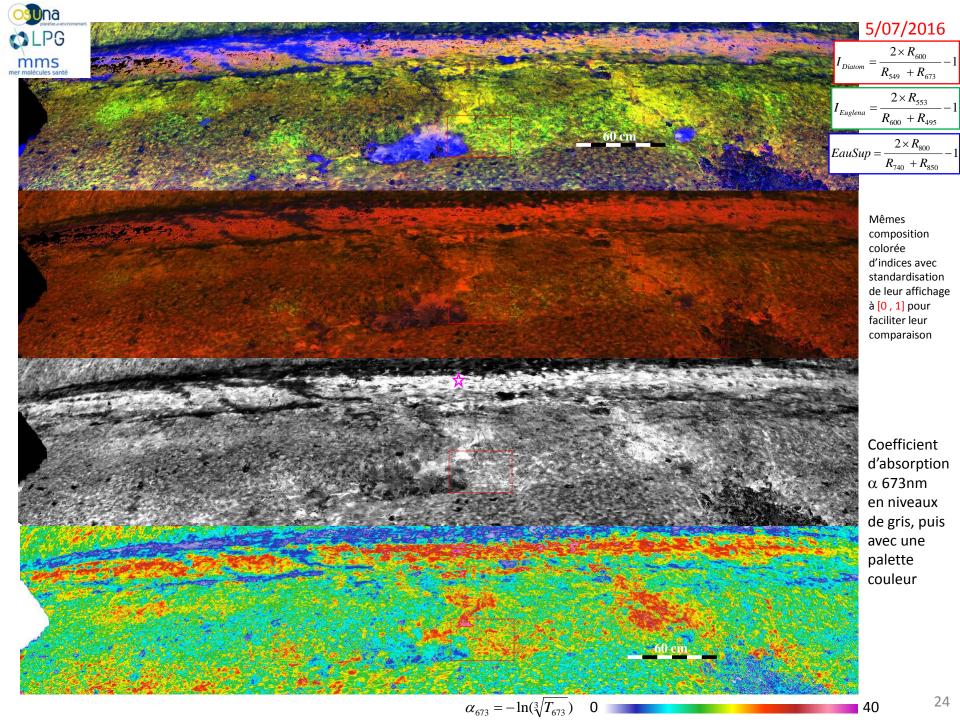
5/07/2016

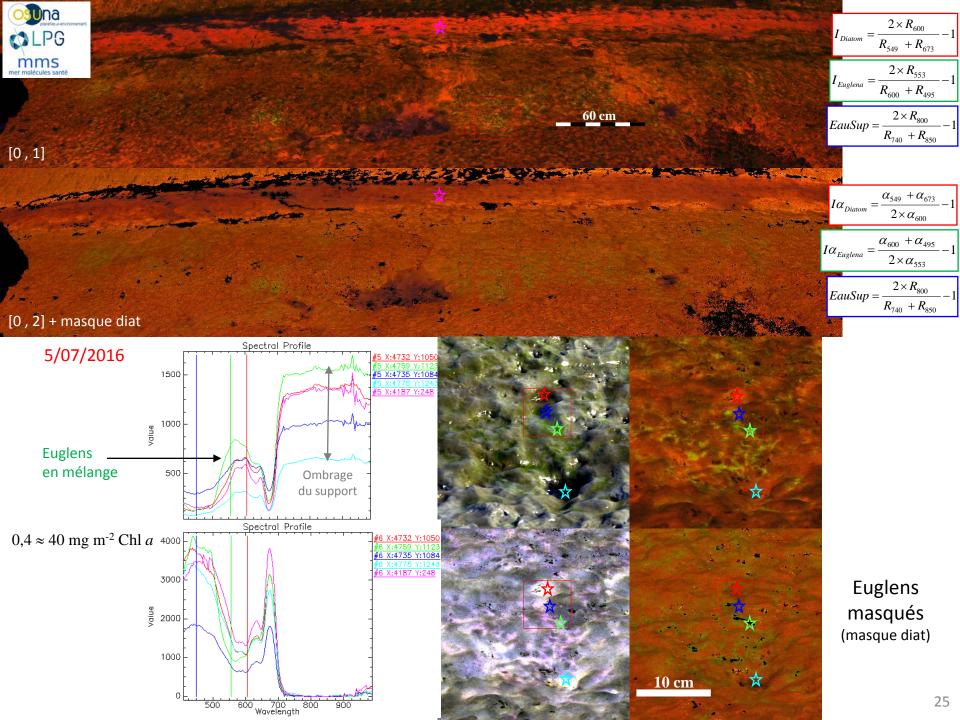
440 546 597 nm

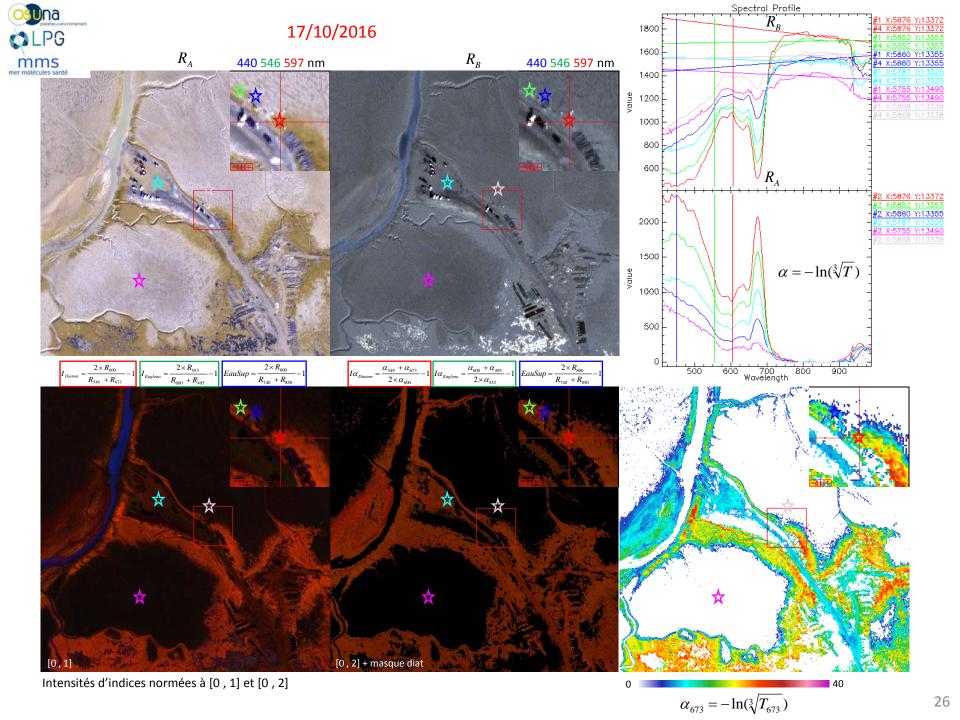
Diatomées en filaments bruns au fond du chenal







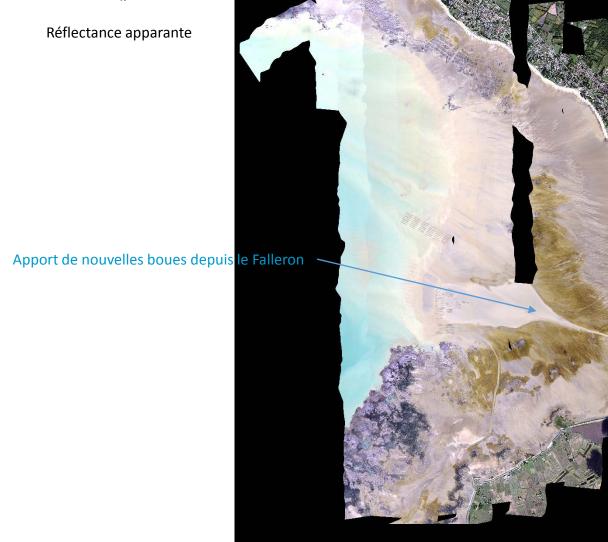






440 546 597 nm

 $R_A$ 





17/10/2016



440 546 597 nm

 $R_{\scriptscriptstyle B}$ 

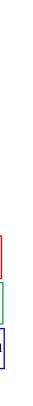
Réflectance du support Pente NIR 750-920 nm







Calculs d'indices à partir de  $R_{\scriptscriptstyle A}$ 



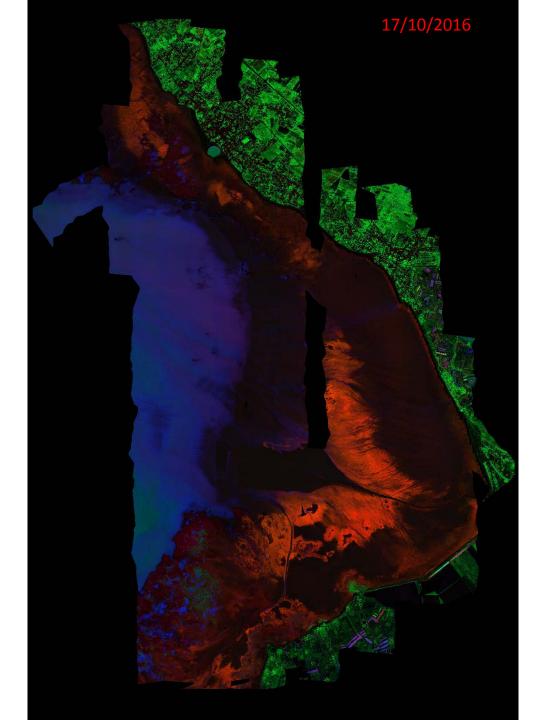
 $_{1} = \frac{2 \times R_{600}}{R_{549} + R_{673}}$ 

 $I_{\it Euglena} =$ 

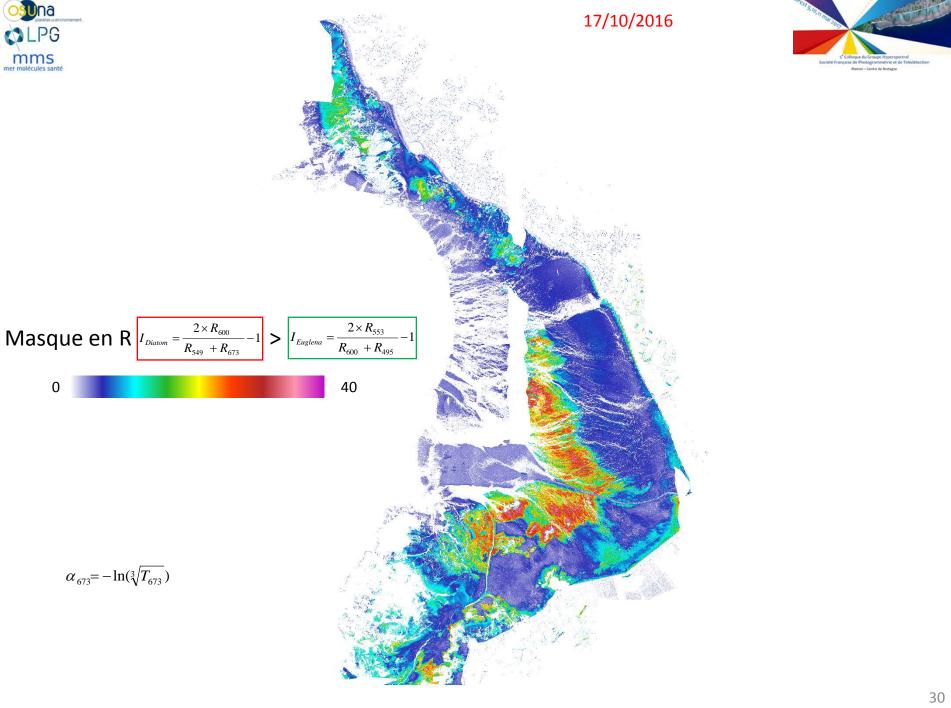
 $2 \times R_{553}$ 

 $\frac{R_{600} + R_{495}}{2 \times R_{800}}$ 

 $EauSup = \frac{-}{R_{740} + R_{850}}$ 



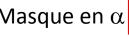












Masque en 
$$\alpha^{I\alpha_{Diatom}} = \frac{\alpha_{549} + \alpha_{673}}{2 \times \alpha_{600}} - 1$$

$$I\alpha_{Euglena} = \frac{\alpha_{600} + \alpha_{495}}{2 \times \alpha_{553}} - 1$$

$$\alpha_{673} = -\ln(\sqrt[3]{T_{673}})$$







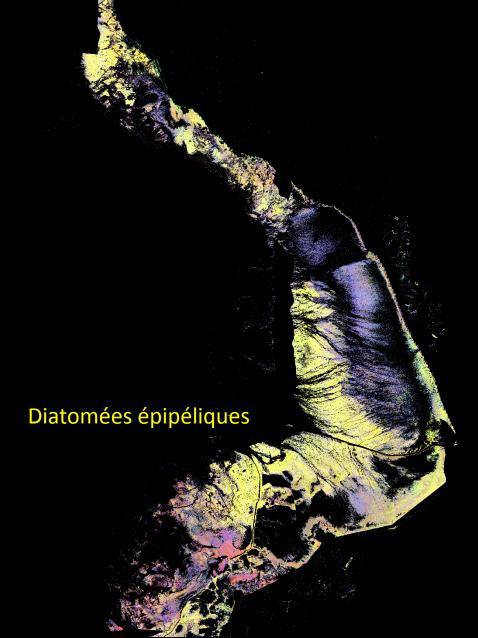


$$I\alpha_{Diatom} = \frac{\alpha_{549} + \alpha_{673}}{2 \times \alpha_{600}} - 1$$

$$I\alpha_{Euglena} = \frac{\alpha_{600} + \alpha_{495}}{2 \times \alpha_{553}} - 1$$

$$EauSup = \frac{2 \times R_{800}}{R_{740} + R_{850}} - 1$$

Affichage complet



Diatomées épipsammiques

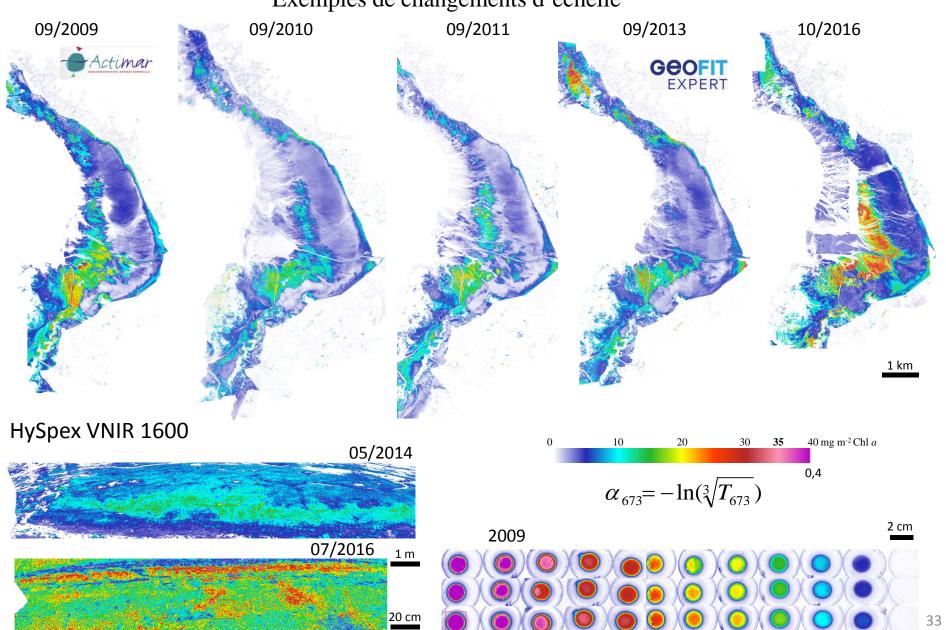
Autres
Diatomées
épipsammiques?

LPG

P. Launeau, V. Méléder, Kazemipour F., B. Jesus, L. Barillé (in prep) "Microphytobenthos biomass mapping using the optical model of diatom biofilms: Scale independence implications".











#### Conclusion

• L'absence de réflectance propre des biofilms de MPB permet d'accéder à leur support à travers une fenêtre de transparence dans le PIR et au calcul simple du coefficient d'absorption α du MPB

$$\alpha_{673} = -\ln(\sqrt[3]{T_{673}})$$

- Le pic  $\alpha$  de la Chlorophylle a est proportionnel à la biomasse établie par HPLC
- Les coefficients d'absorption de ce type de MPB sont indépendants de l'échelle d'observation ce qui autorise toutes les combinaisons en dehors des effets physiologiques modifiant les abondances relatives en pigments
- Si la biomasse est donnée par la hauteur de  $\alpha$  les indices construits avec  $\alpha$  sont indépendants des biomasses, aux effets physiologiques près sensibles à l'épaisseur des biofilms
- Cette méthode est particulièrement bien adaptée à l'étude des grandes vasières intertidales et nous proposons de soutenir un groupe de recherche sur ce thème en facilitant l'accès à ces données hyperspectrales





**CPER 2019** 

Journées Scientifique de l'Université de Nantes : Colloque 13 - Interactions producteur primaire, biogéochimie et socio-écosystème des vasières intertidales (inscription avec résumé jusqu'au 10 mai)



