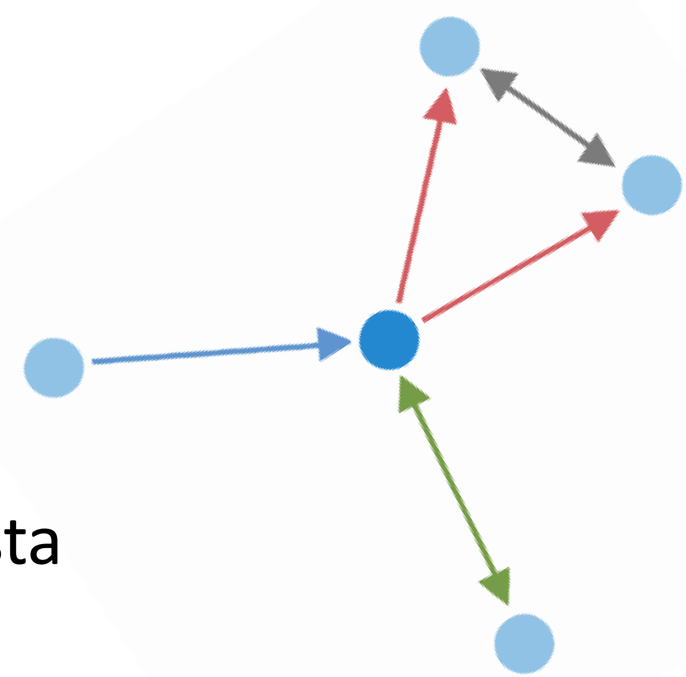
Marine connectivity: exploring the role of currents and turbulent processes in driving it.



by
Andrea Costa

Connectivité marine: explorer le rôle des courants et des processus turbulents.

Sous la présidence de :	Jean-Christophe POGGIALE
Comité :	Pascale BOURUET-AUBERTOT Sabrina SPEICH Patrick MARSALEIX
Encadrants :	Anne PETRENKO Andrea DOGLIOLI

Connectivité marine : transfert de larves et/ou individus entre habitats marins éloignés.

Il permet aux populations marines d'éviter l'isolement et de faire face à des menaces d'habitat et de persister.

Questions:

1) Est-ce que les courants prédominent sur la démographie?

2) Est-ce que la turbulence affecte la dispersion?

2a) Quel est l'effet des schémas de fermeture de la turbulence?

2b) Comment peut-on paramétriser la turbulence au fond?

Connectivité marine : transfert de larves et/ou individus entre habitats marins éloignés.

Il permet aux populations marines d'éviter l'isolement et de faire face à des menaces d'habitat et de persister.

Questions:

1) Est-ce que les courants prédominent sur la démographie?

2) Est-ce que la turbulence affecte la dispersion?

2a) Quel est l'effet des schémas de fermeture de la turbulence?

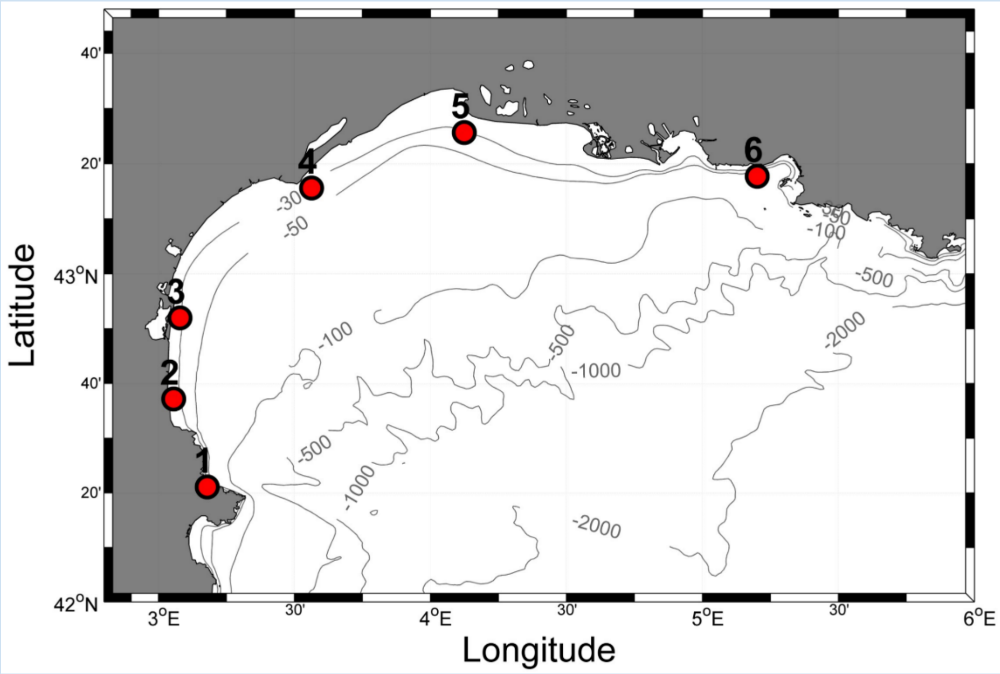
2b) Comment peut-on paramétriser la turbulence au fond?

Connectivité marine:

explorer le rôle des courants et des processus turbulents.

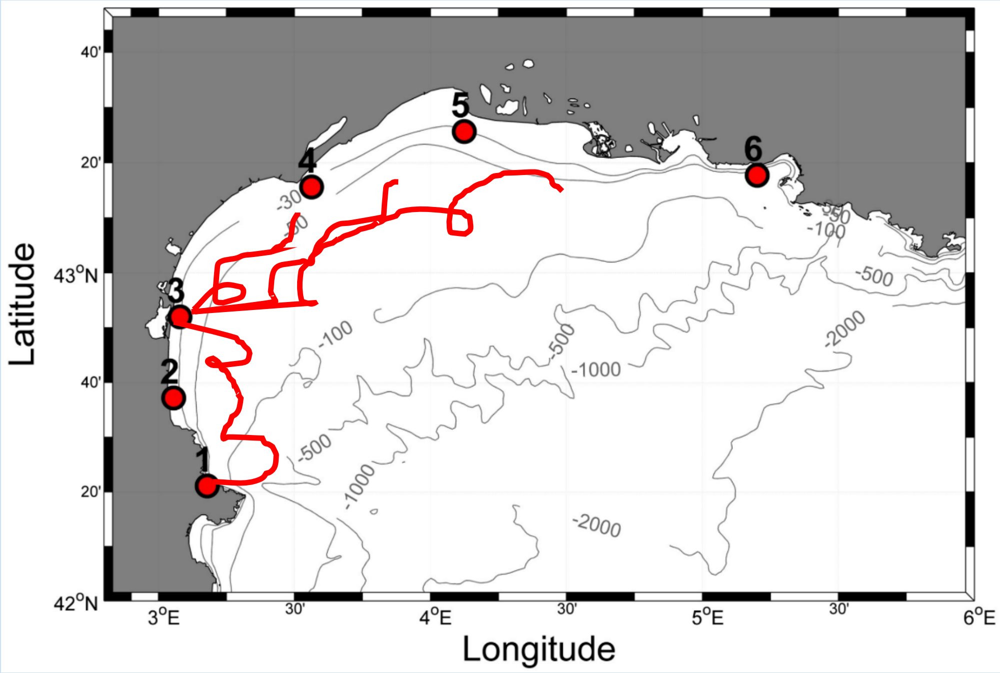
Courants et connectivité

Sites de reproduction



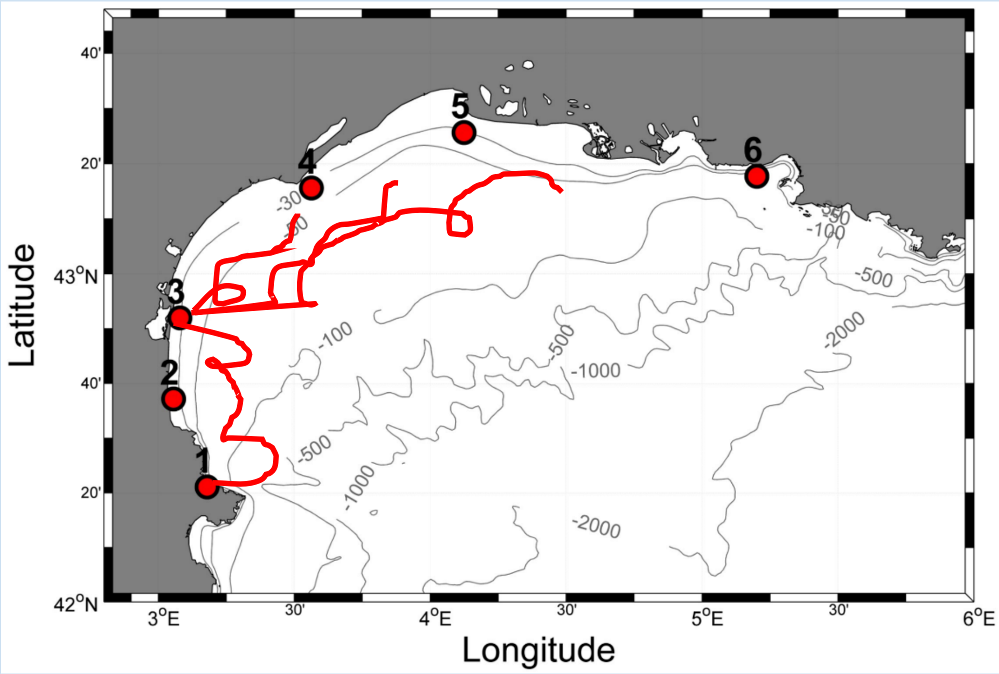
Courants et connectivité larvaire

Simulations Lagrangiennes

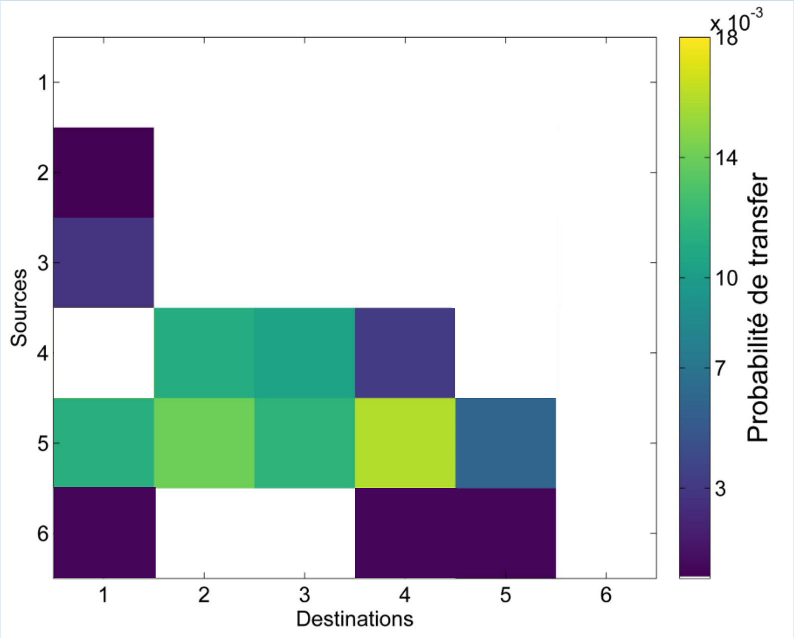


Courants et connectivité larvaire

Simulations Lagrangiennes

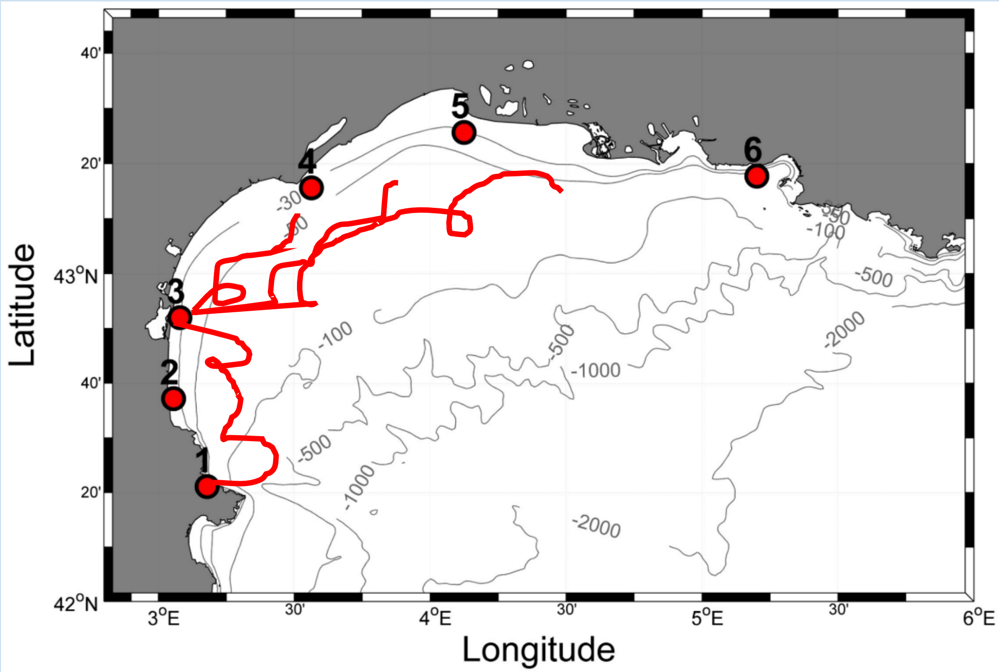


Matrice de connectivité

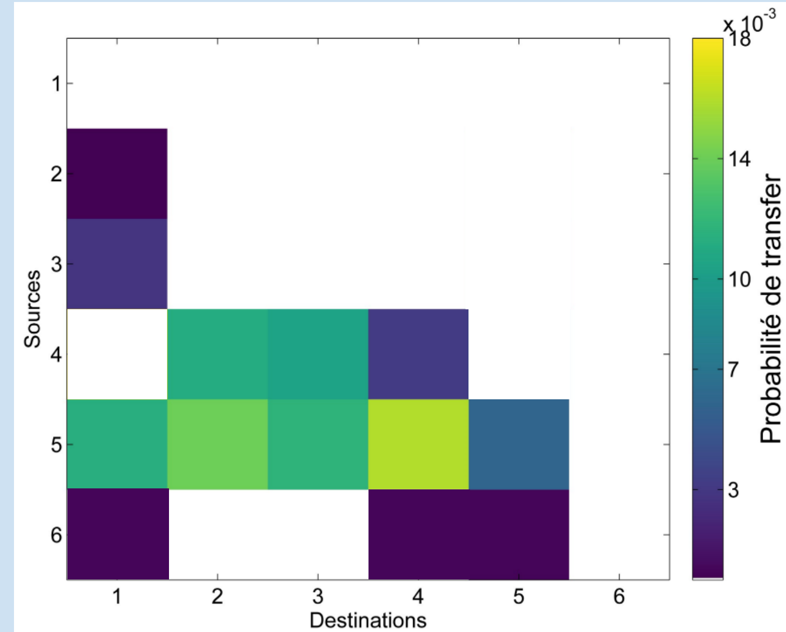


Courants et connectivité larvaire

Simulations Lagrangiennes



Matrice de connectivité



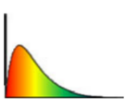
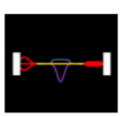
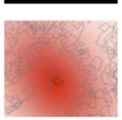
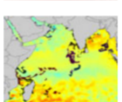
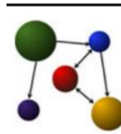
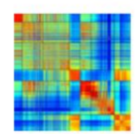
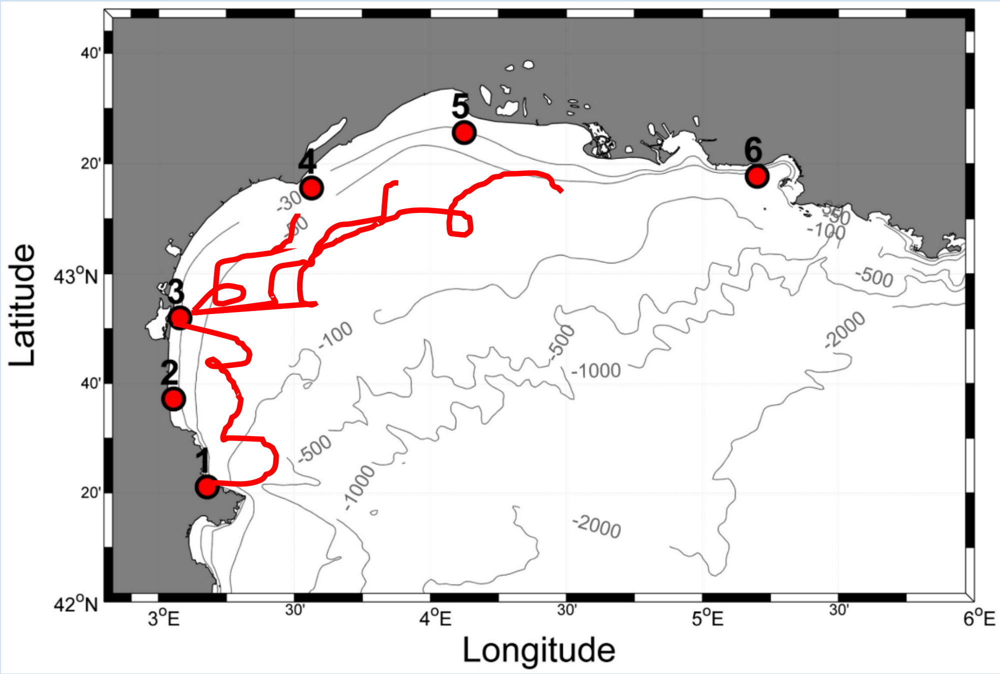
	Technique	Domain	Path Type	Derivation	Selected references
$G_i = \frac{\sum_{j=1,j\neq i}^{n} w_{ij} y_j}{\sum_{j=1,j\neq i}^{n} y_j}$	Neighbourhood statistics	Any	Typically aggregated	Analytical	Dale et al. (2002) and Kindlmann and Burel (2008)
	Dispersal kernels	Continuous	Integrated	Analytical	Fujiwara et al. (2006) and Slone (2011)
	Least cost path analysis	Semi-continuous	Single	Algorithmic	Douglas (1994)
	Circuit theory	Semi-continuous	Multiple, Integrated	Algorithmic	McRae et al. (2008)
	Spatially structured diffusion	Continuous (structured)	Integrated	Analytical	Ovaskainen (2004) and Ovaskainen et al. (2008a)
	Individual-based models	Any	Multiple	Algorithmic	Grimm and Railsback (2005)
	Graph theory	Discrete, semi-continuous	Multiple	Algorithmic	Minor and Urban (2008) and Urban et al. (2009)
	Matrix theory	Discrete, semi-continuous	Single*	Analytical	Caswell (2001)
	Differential equations	Continuous	Integrated	Analytical	Holmes et al. (1994) and Cantrell and Cosner (2003)

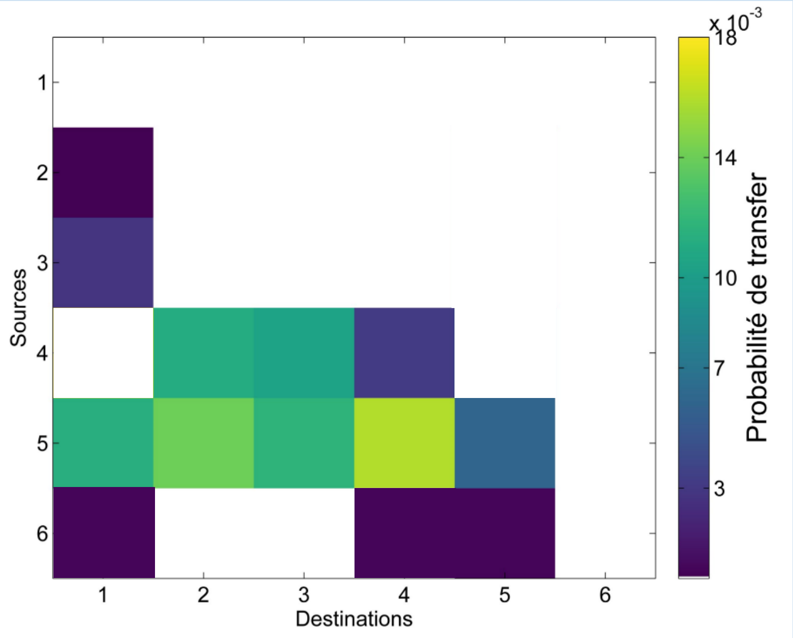
figure d'après Kool et al. (2013)

Courants et connectivité larvaire

Simulations Lagrangiennes



Matrice de connectivité

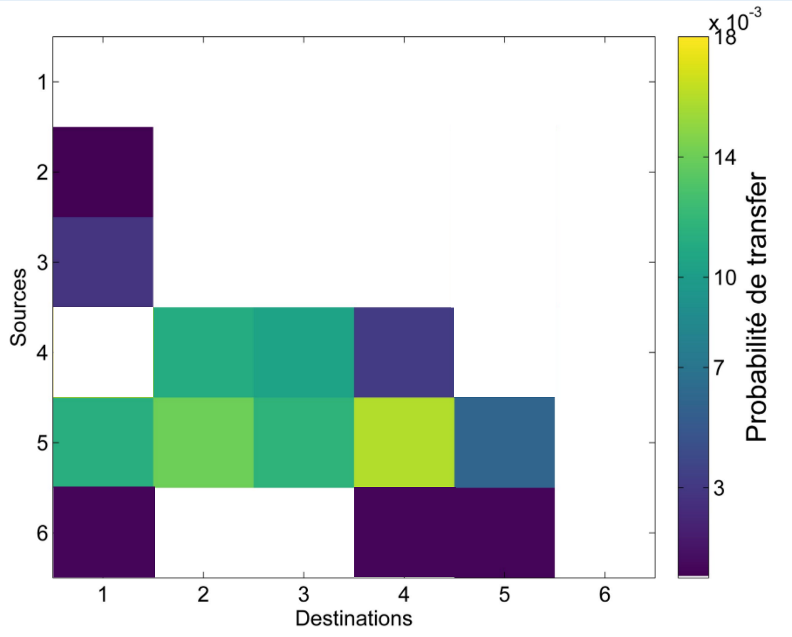


	Technique	Domain	Path Type	Derivation	Selected references
$G_i = \frac{\sum_{j=1, j\neq i}^{n} w_{ij} y_j}{\sum_{j=1, j\neq i}^{n} y_j}$	Neighbourhood statistics	Any	Typically aggregated	Analytical	Dale et al. (2002) and Kindlmann and Burel (2008)
	Dispersal kernels	Continuous	Integrated	Analytical	Fujiwara et al. (2006) and Slone (2011)
	Least cost path analysis	Semi-continuous	Single	Algorithmic	Douglas (1994)
	Circuit theory	Semi-continuous	Multiple, Integrated	Algorithmic	McRae et al. (2008)
	Spatially structured diffusion	Continuous (structured)	Integrated	Analytical	Ovaskainen (2004) and Ovaskainen et al. (2008a)
	Individual-based models	Any	Multiple	Algorithmic	Grimm and Railsback (2005)
	Graph theory	Discrete, semi-continuous	Multiple	Algorithmic	Minor and Urban (2008) and Urban et al. (2009)
	Matrix theory	Discrete, semi-continuous	Single*	Analytical	Caswell (2001)
	Differential equations	Continuous	Integrated	Analytical	Holmes et al. (1994) and Cantrell and Cosner (2003)

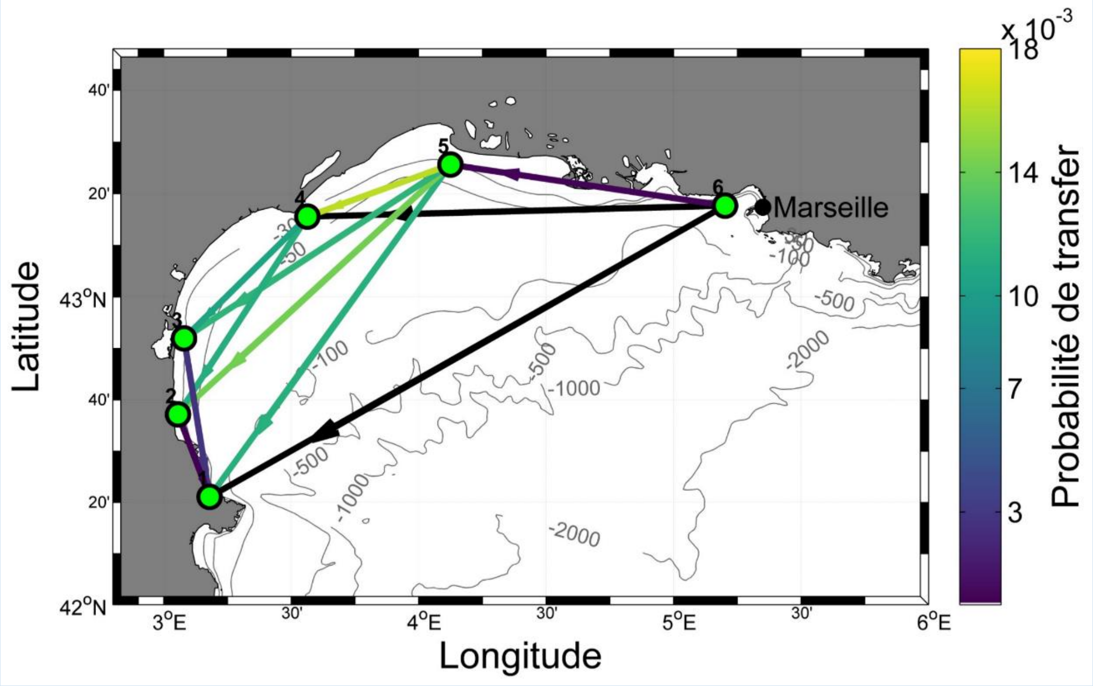
figure d'après Kool et al. (2013)

Théorie des graphes

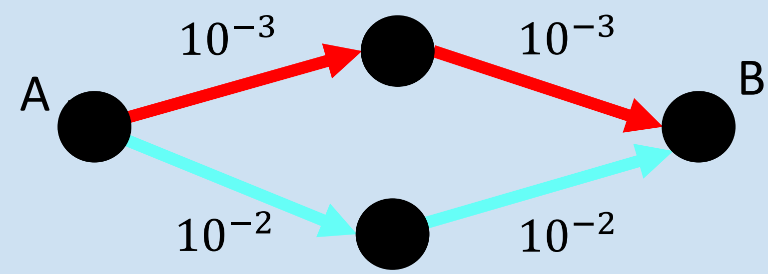
Matrice de connectivité



Graphe



Distance entre sites



Dans la literature:

$$d_{AB} = \sum C_{ij}$$

↓

Chemin plus court

=

Chemin moins probable

Andrello et al. (2013)
Kinnimonth et al. (2010)

Ma définition:

$$d_{AB} = \sum log\left(\frac{1}{C_{ij}}\right)$$

↓

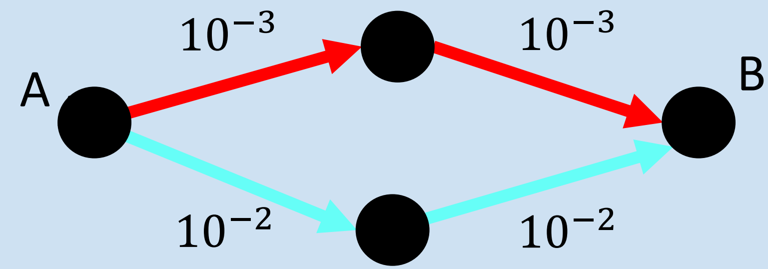
Chemin plus court

=

Chemin plus probable

Costa et al. (2017)

Distance entre sites



Dans la literature:

$$\cancel{d_{AB} = \sum C_{ij}}$$

~~**Chemin plus court**~~

~~**=**~~

~~**Chemin moins probable**~~

Andrello et al. (2013)
Kinnimonth et al. (2010)

Ma définition:

$$d_{AB} = \sum log\left(\frac{1}{C_{ij}}\right)$$

Chemin plus court

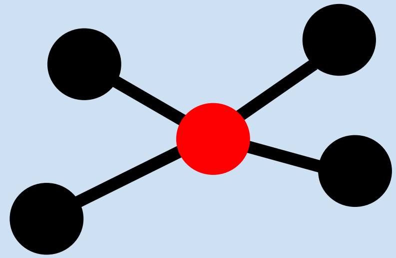
=

Chemin plus probable

Costa et al. (2017)

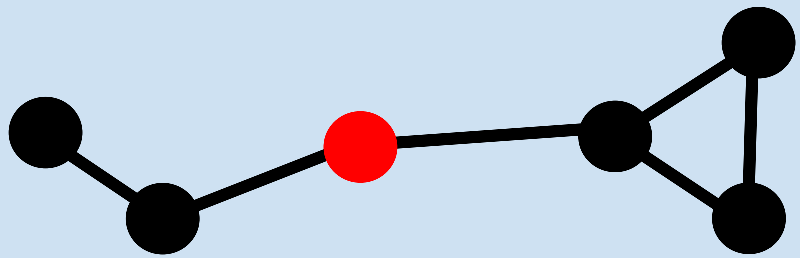
Outils de la théorie des graphes

Degré
Degree



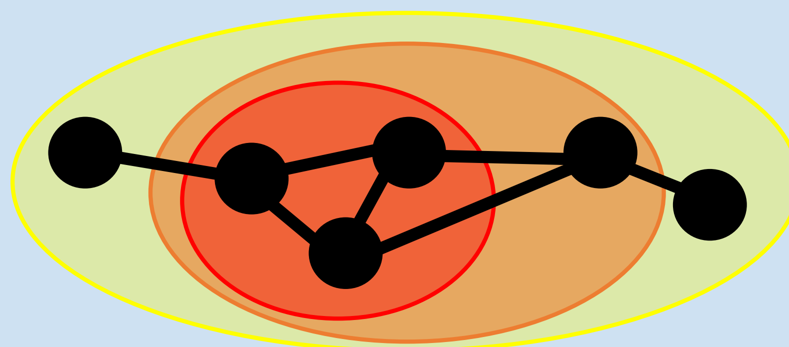
Intensité des liens.

Centralité intermediaire
Betweenness centrality



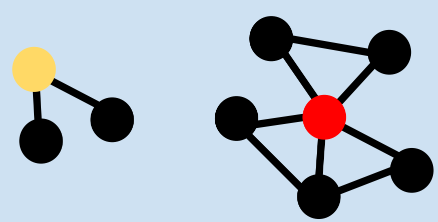
Efficacité de transfert des larvae dans le réseau.

Dégénérescence
Core number



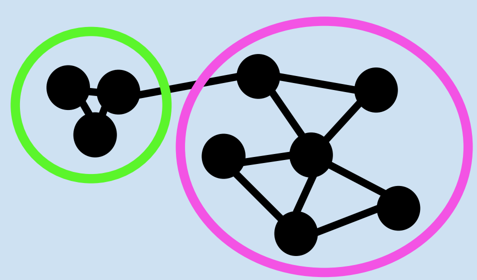
Mesure de la densité du graphe.

Coefficient de clustering
Clustering coefficient



Mesure du regroupement des nœuds dans un réseau.

Modularité
Modularity



Degré de division d'un réseau en modules.

Modèle de métapopulation

$$N_{t+1} = min\left(b_j C_{ij} a_i N_t + s_{jj} \delta_{ji} N_t, N_{max}\right)$$

Guizien et al. (2014)

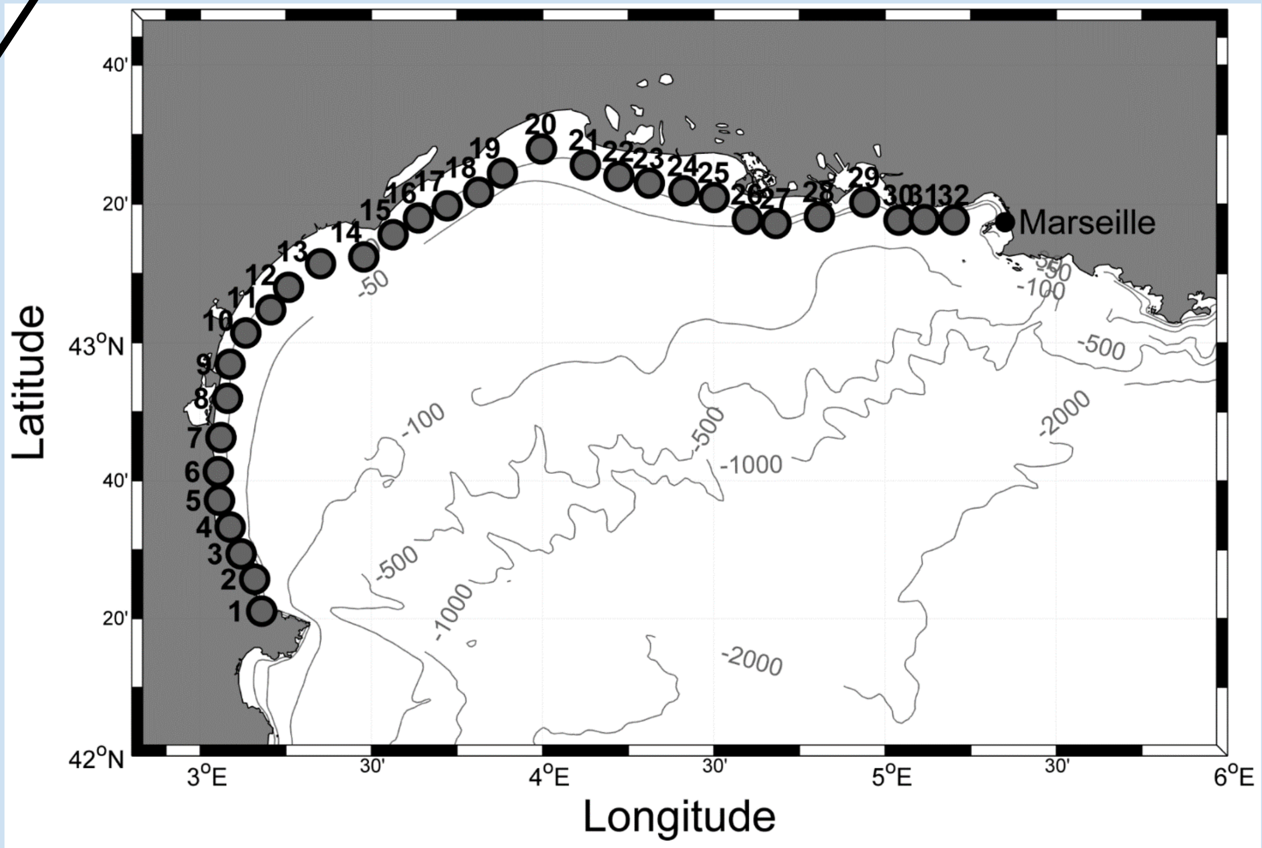
Nombre d'individus

Production de larves

Probabilité de transfer

Succès de recrutement

Taux de survie



Modèle de métapopulation

$$N_{t+1} = min\left(b_j C_{ij} a_i N_t + s_{jj} \delta_{ji} N_t, N_{max}\right)$$

Guizien et al. (2014)

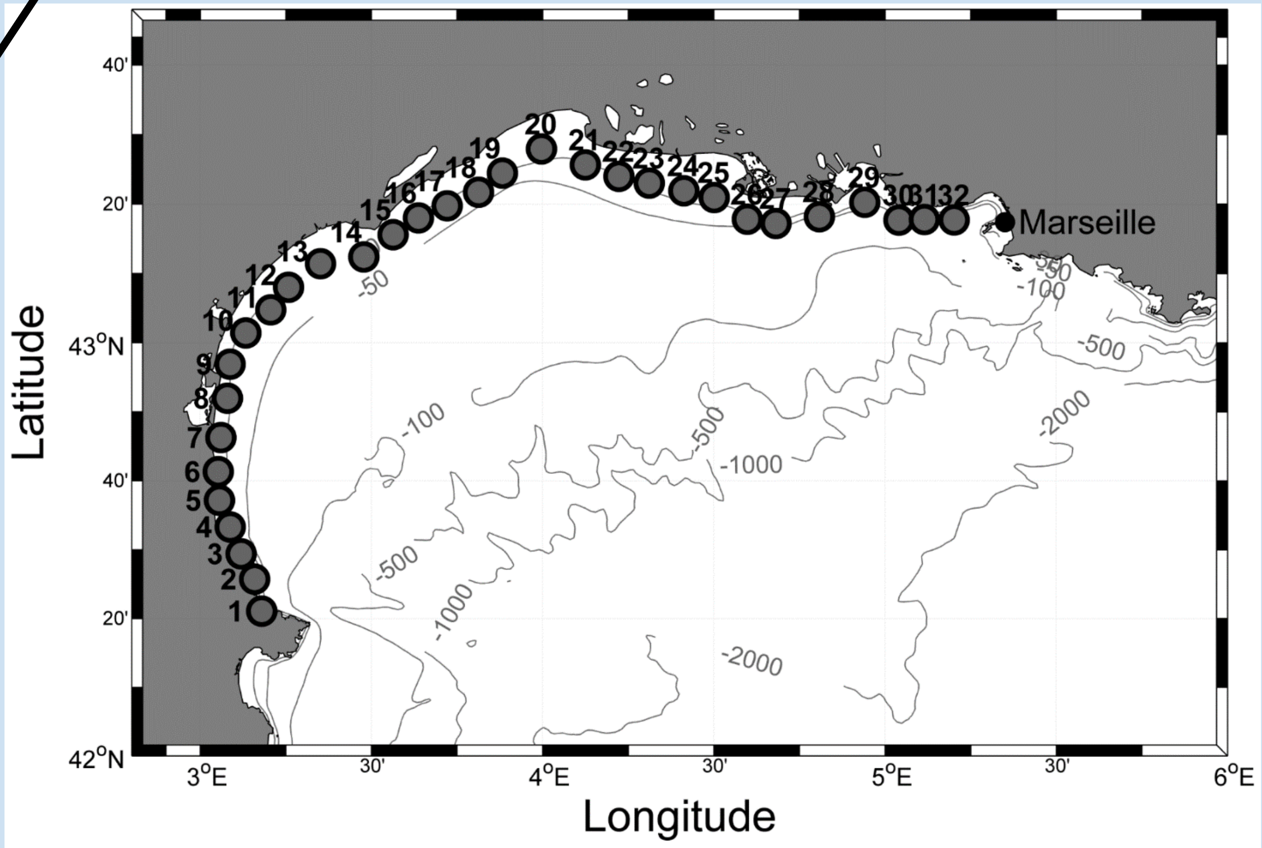
Nombre d'individus

Production de larves

Probabilité de transfer

Succès de recrutement

Taux de survie



Modèle de métapopulation

$$N_{t+1} = min(b_j C_{ij} a_i N_t + s_{jj} \delta_{ji} N_t, N_{max})$$

Nombre d'individus

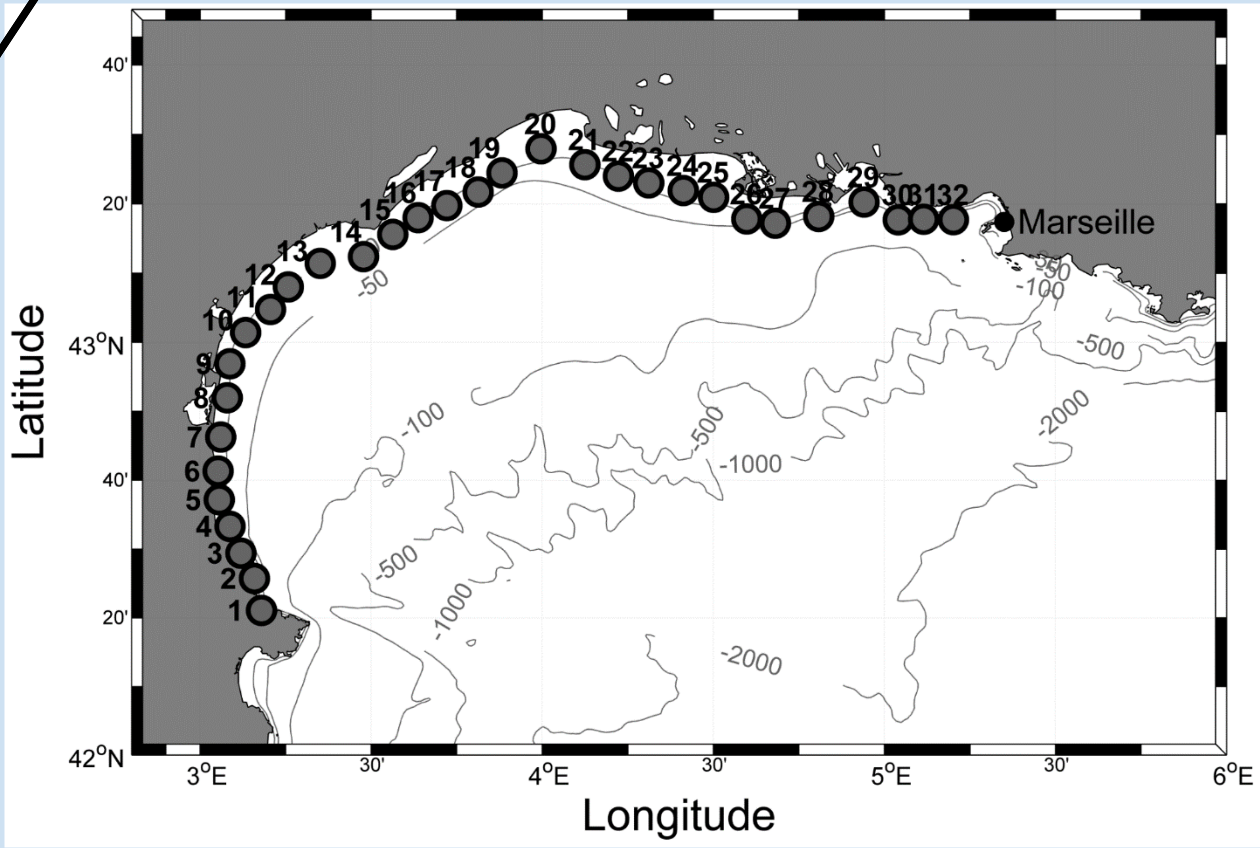
Production de larves

Probabilité de transfer

Succès de recrutement

Taux de survie

Ditrupa Arietina



Modèle de métapopulation et persistence

$$N_{t+1} = min\left(b_j C_{ij} a_i N_t + s_{jj} \delta_{ji} N_t, N_{max}\right)$$

Nombre d'individus

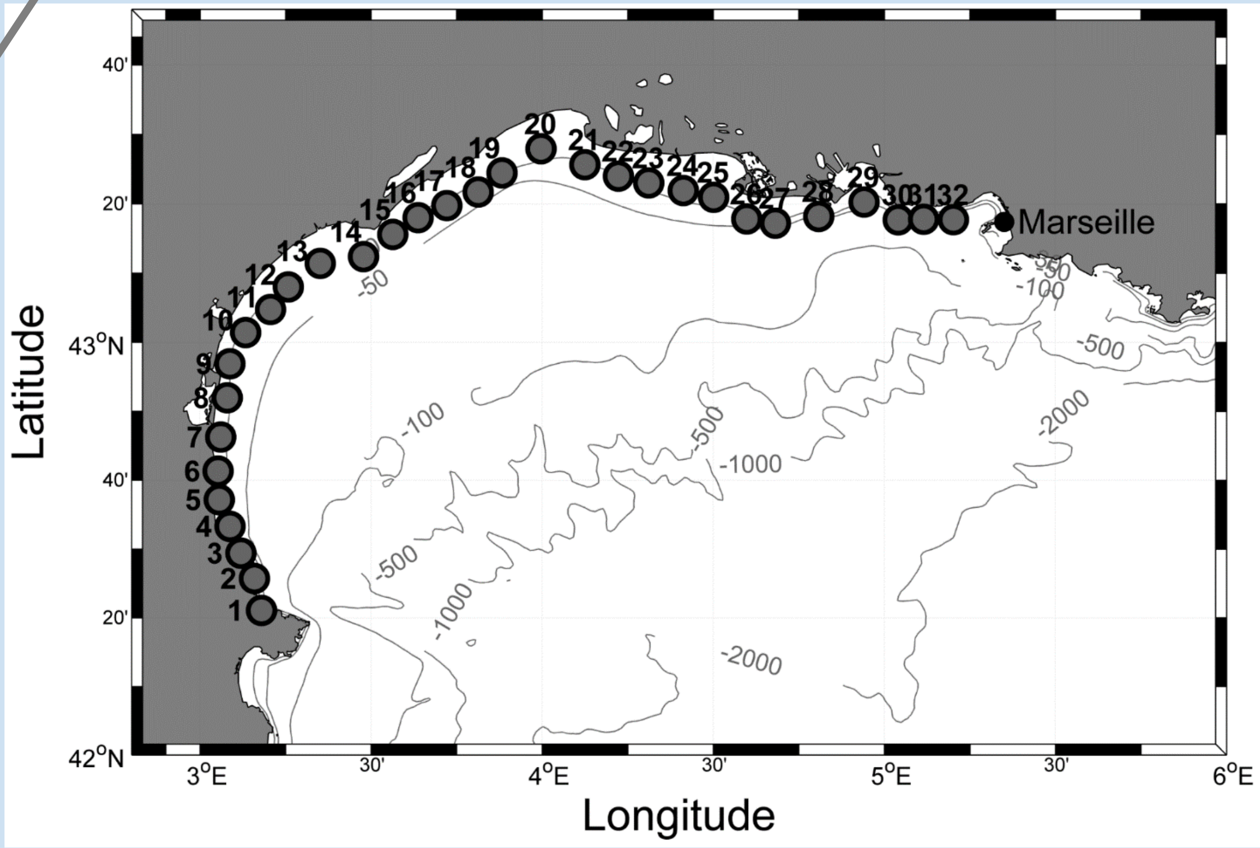
Production de larves

Probabilité de transfer

Succès de recrutement

Taux de survie

Ditrupa Arietina



Modèle de métapopulation et persistence

$$N_{t+1} = min\left(b_j C_{ij} a_i N_t + s_{jj} \delta_{ji} N_t, N_{max}\right)$$

a_i -

Nombre d'individus

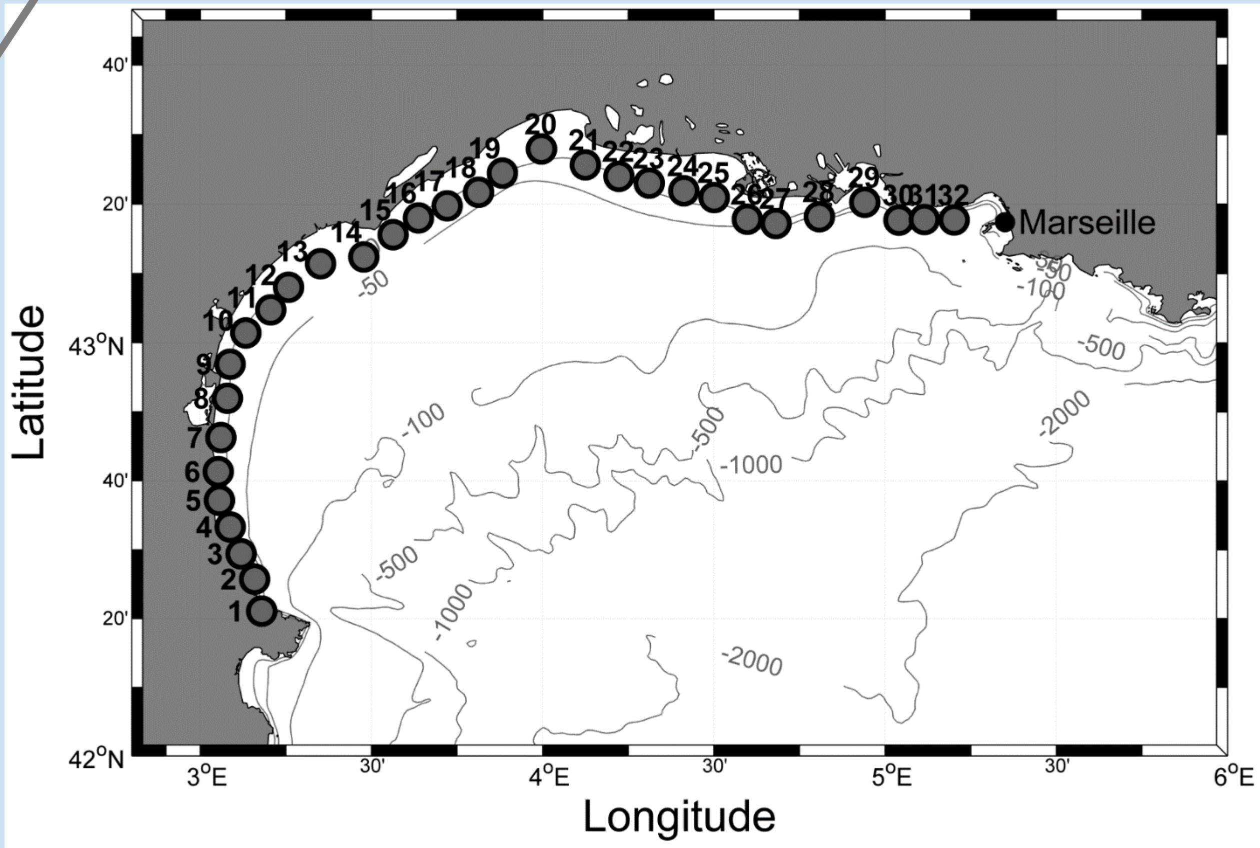
Production de larves

Probabilité de transfer

Succès de recrutement

Taux de survie

Ditrupa Arietina



Modèle de métapopulation et persistence

$$N_{t+1} = min(b_j C_{ij} a_i N_t + s_{jj} \delta_{ji} N_t, N_{max})$$

a_i - -

Nombre d'individus

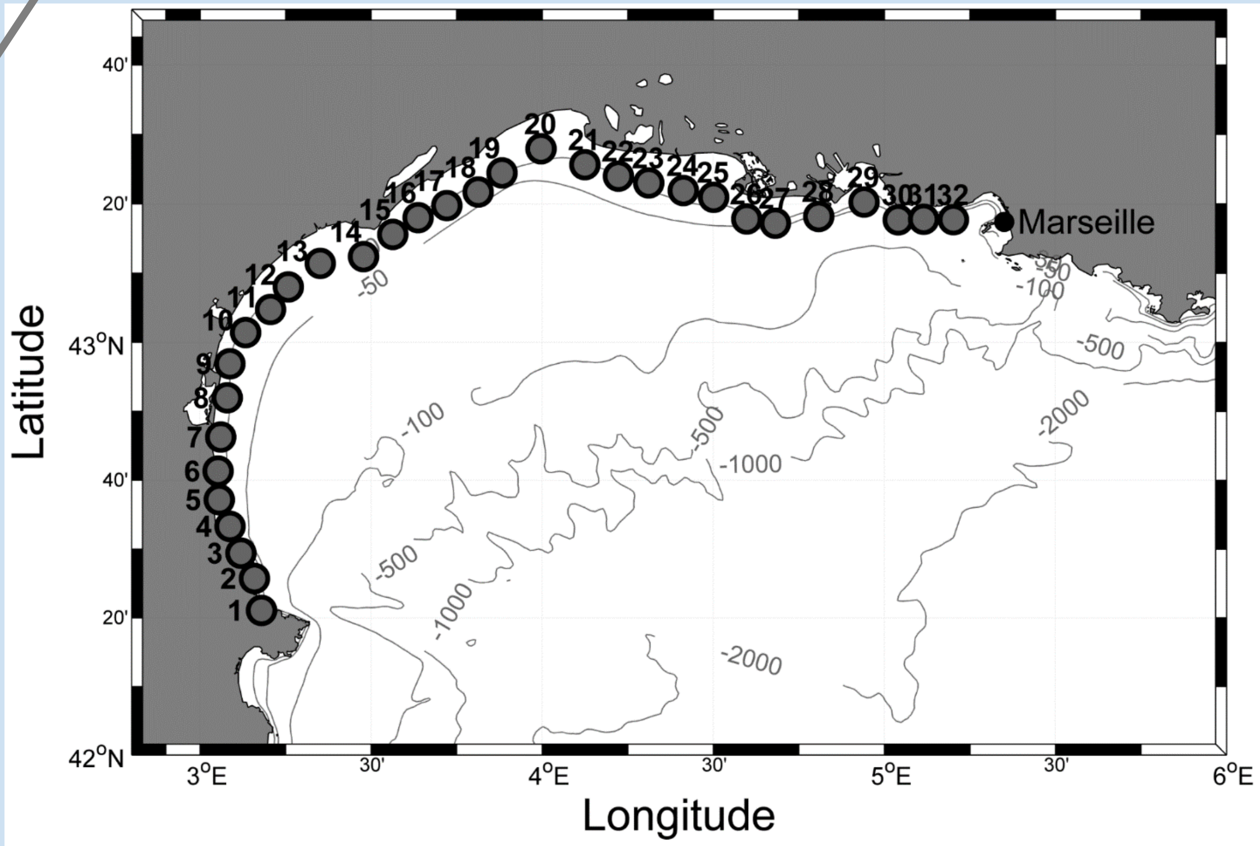
Production de larves

Probabilité de transfer

Succès de recrutement

Taux de survie

Ditrupa Arietina



Modèle de métapopulation et persistence

$$0 = min(b_j C_{ij} a_i N_t + s_{jj} \delta_{ji} N_t, N_{max})$$

a_i - - -

Nombre d'individus

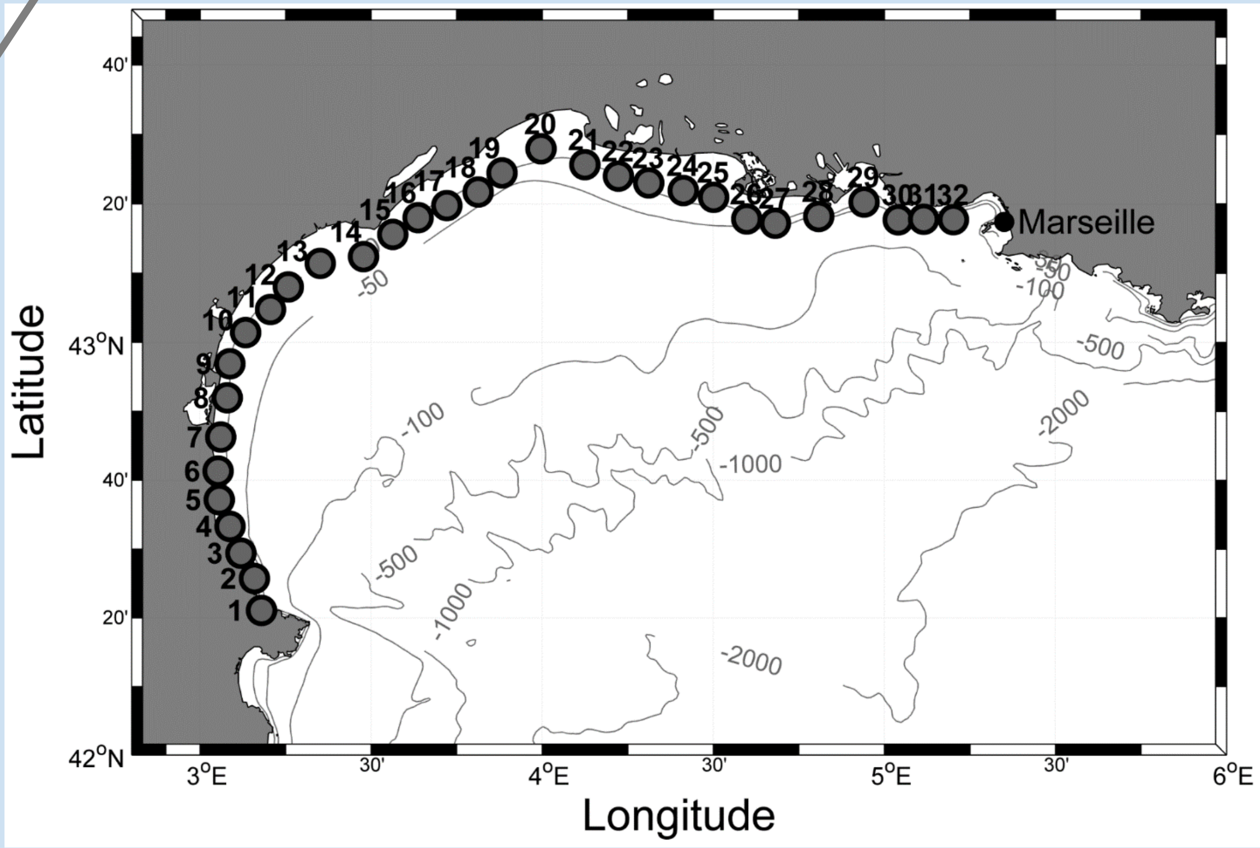
Production de larves

Probabilité de transfer

Succès de recrutement

Taux de survie

Ditrupa Arietina



Modèle de métapopulation et persistence

$$0 = min(b_j C_{ij} \mathbf{A}_i N_t + s_{jj}\delta_{ji} N_t, N_{max})$$

A_i = succès de recrutement minimal

Nombre d'individus

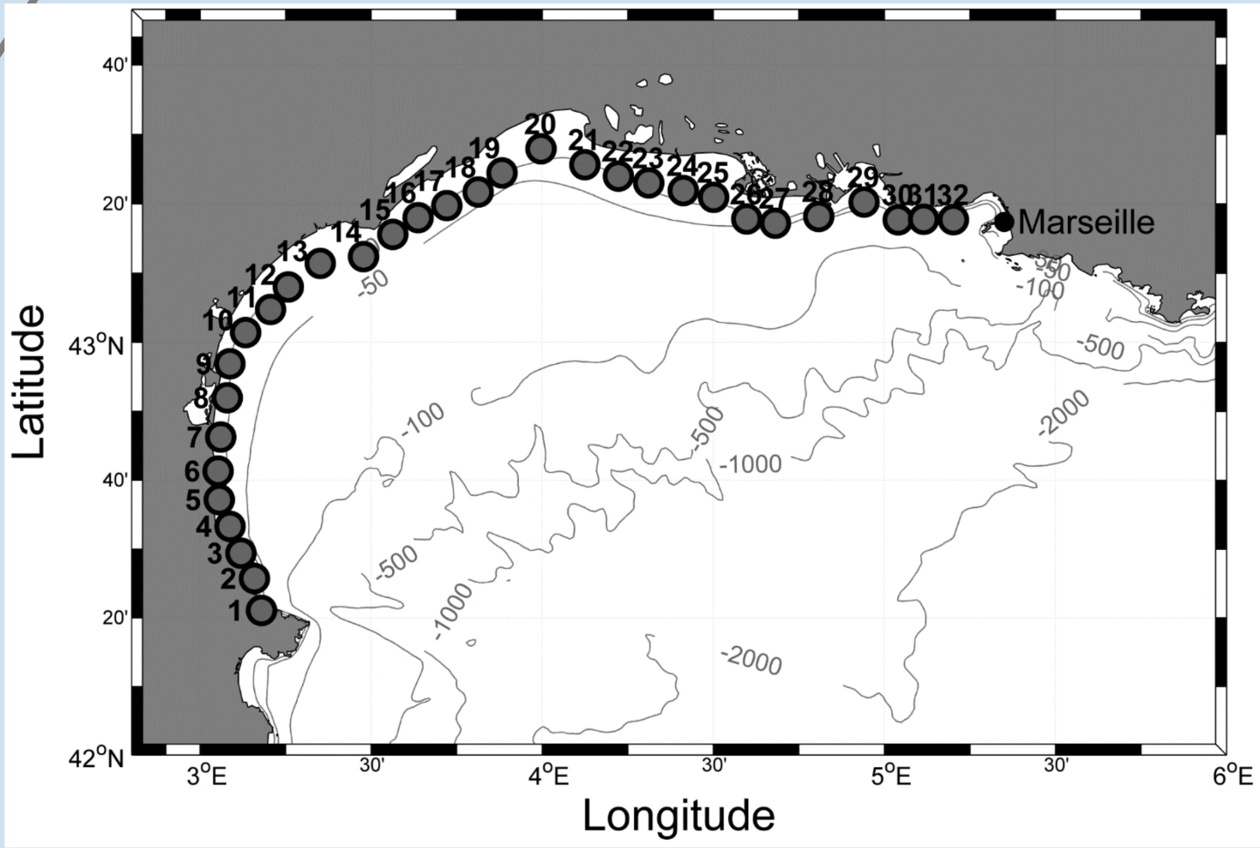
Production de larves

Probabilité de transfer

Succès de recrutement

Taux de survie

Ditrupa Arietina



Modèle de métapopulation et persistence

$$0 = min(b_j C_{ij} \mathbf{A}_i N_t + s_{jj} \delta_{ji} N_t, N_{max})$$

Haute A_i → site à protéger

Ditrupa Arietina

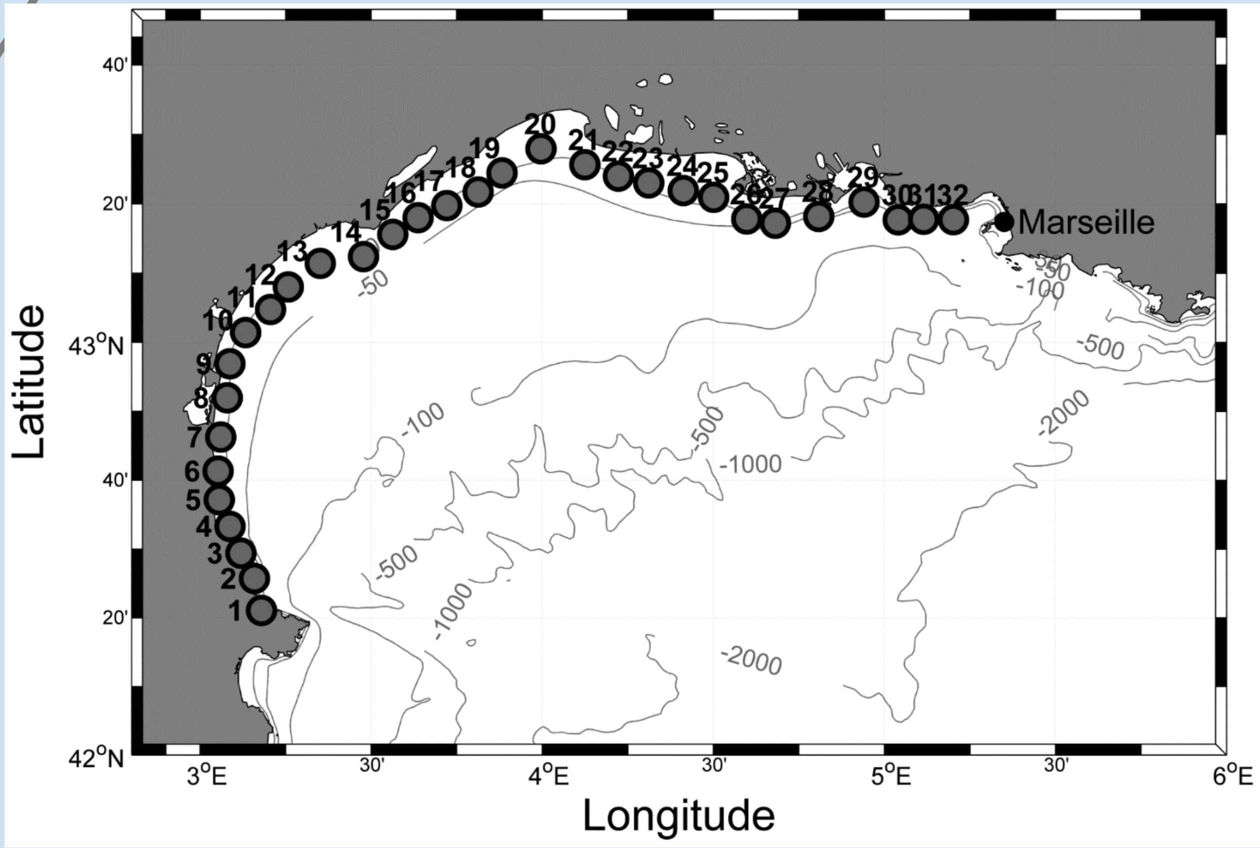
Nombre d'individus

Production de larves

Probabilité de transfer

Succès de recrutement

Taux de survie



Théorie des graphes et persistence

Analyse de corrélation entre les outils de la théorie des graphes et le succès de recrutement minimal A_i.

Théorie des graphes et persistence

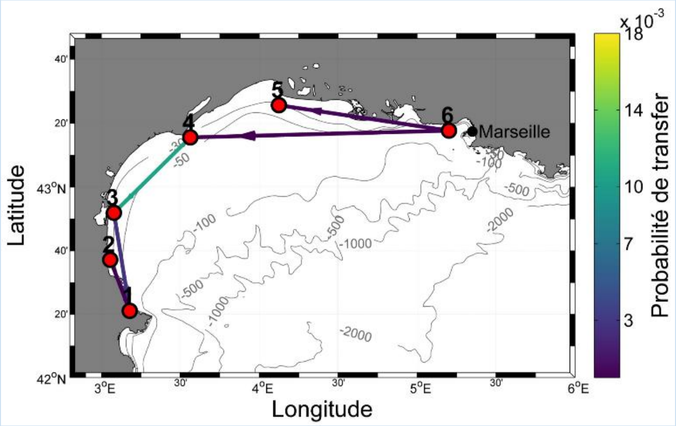
Analyse de corrélation entre les outils de la théorie des graphes et le succès de recrutement minimal A_i.

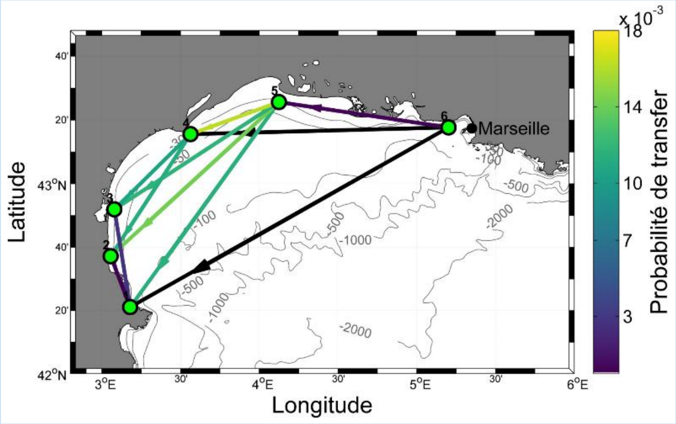
Courte durée de période larvaire		Longue durée de période larvaire		
1 semaine	2 semaines	3 semaines	4 semaines	5 semaines

Théorie des graphes et persistence

Analyse de corrélation entre les outils de la théorie des graphes et le succès de recrutement minimal A_i.

Courte durée de période larvaire		Longue durée de période larvaire		
1 semaine	2 semaines	3 semaines	4 semaines	5 semaines

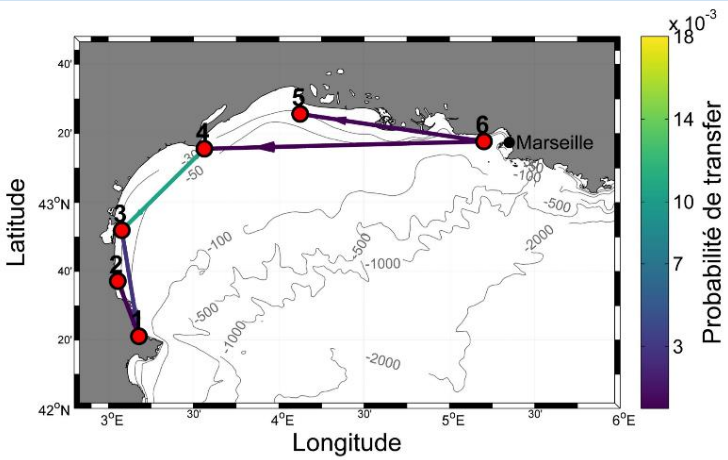




Théorie des graphes et persistence

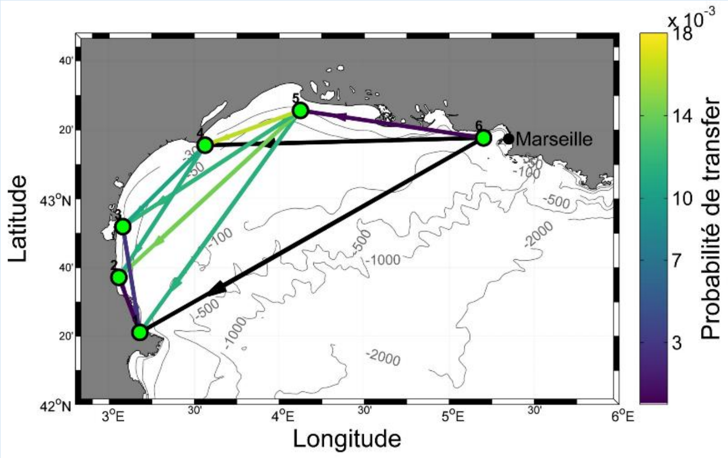
Courte durée de période larvaire

1 semaine



Longue durée de période larvaire

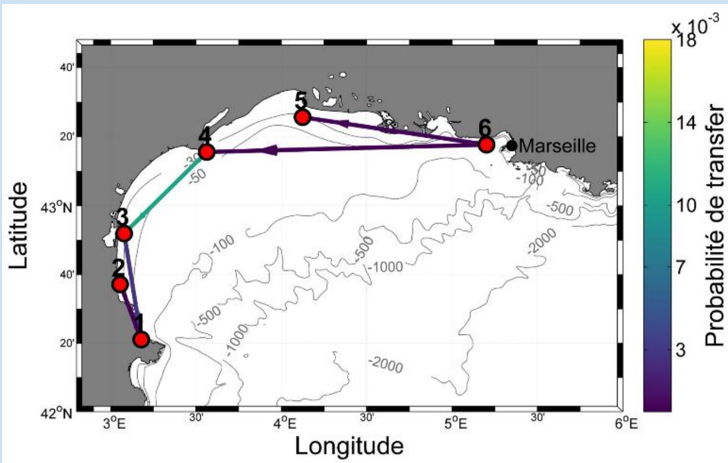
5 semaines



Théorie des graphes et persistence

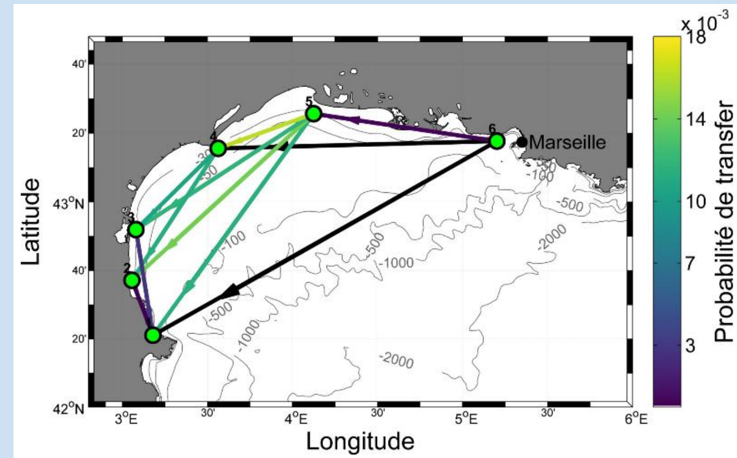
Courte durée de période larvaire

1 semaine



Longue durée de période larvaire

5 semaines



Correlation avec A_i

Coefficient de clustering
51%

Degré
45%

Centralité intermédiaire
45%

Correlation avec A_i

Degré
77%

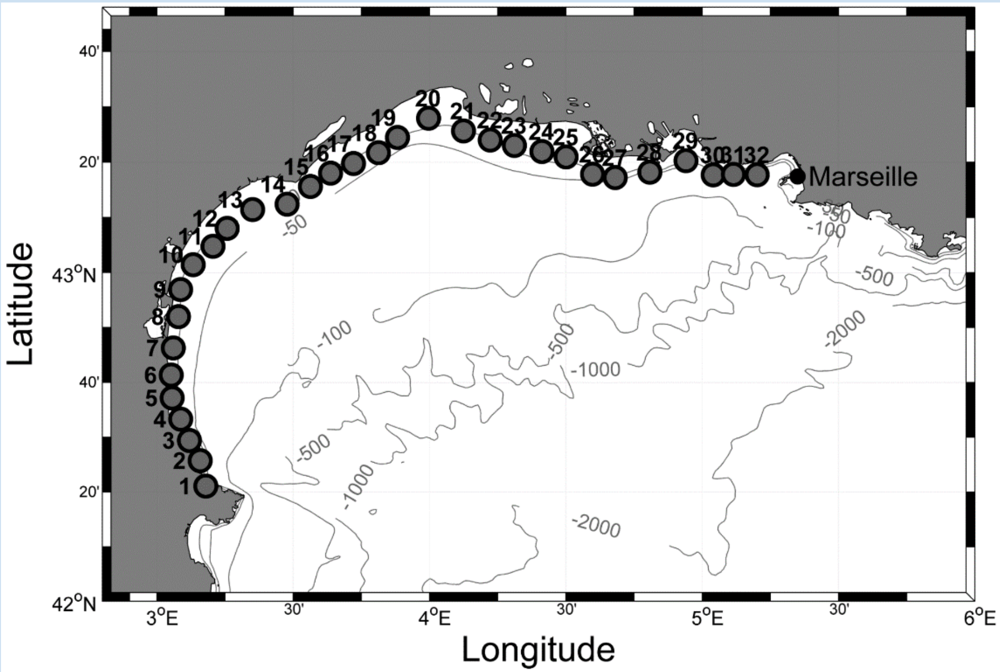
Dégénérescence
70%

Centralité intermédiaire
62%

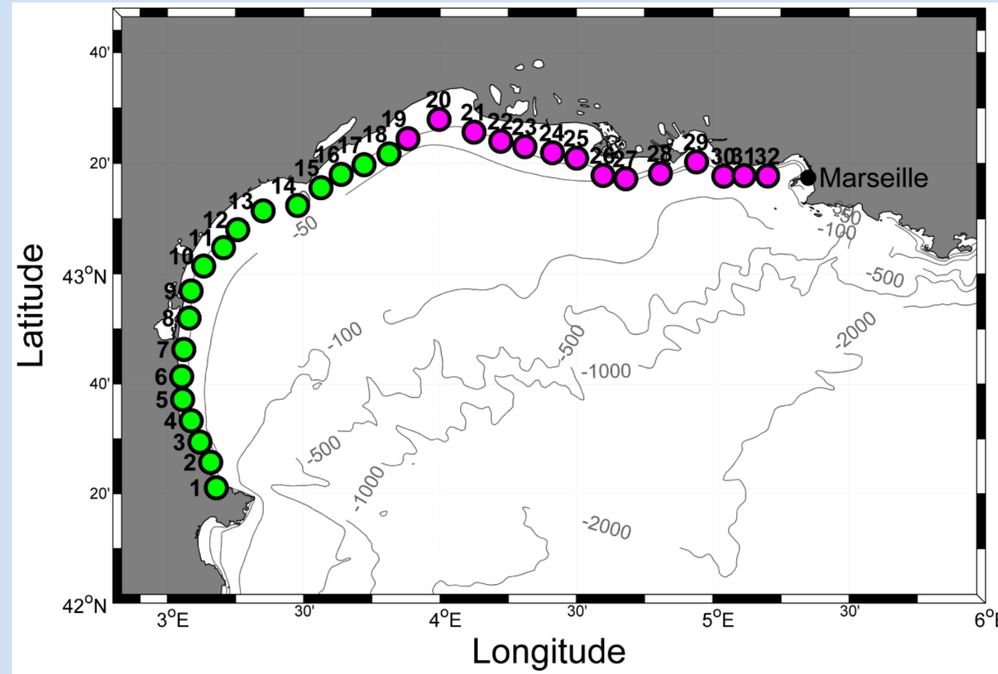
Costa et al (*in prep.*)

Théorie des graphes et sous-populations

Modèle de metapopulation



Théorie des graphes



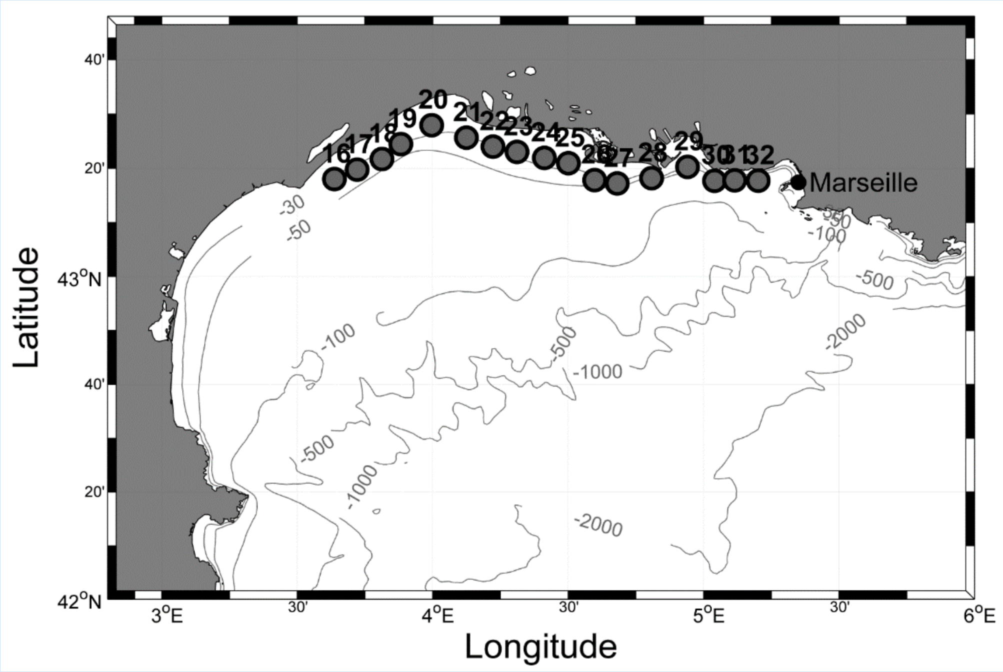
Mécanisme de sauvetage

Katell Guizien com. pers.

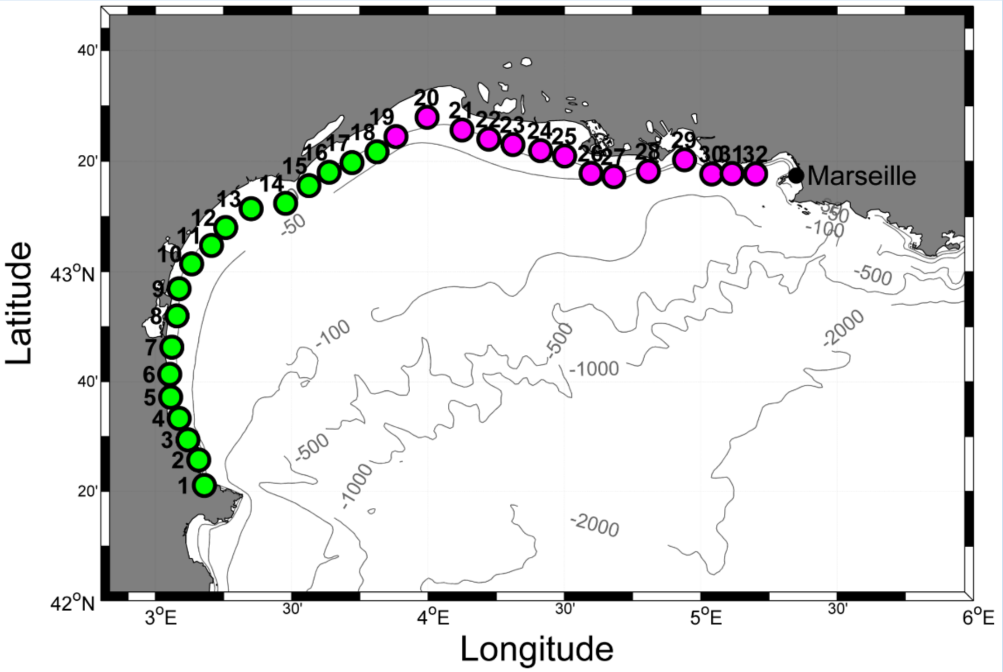
Modularité: degré de division d’un réseau en modules

Théorie des graphes et sous-populations

Modèle de metapopulation



Théorie des graphes



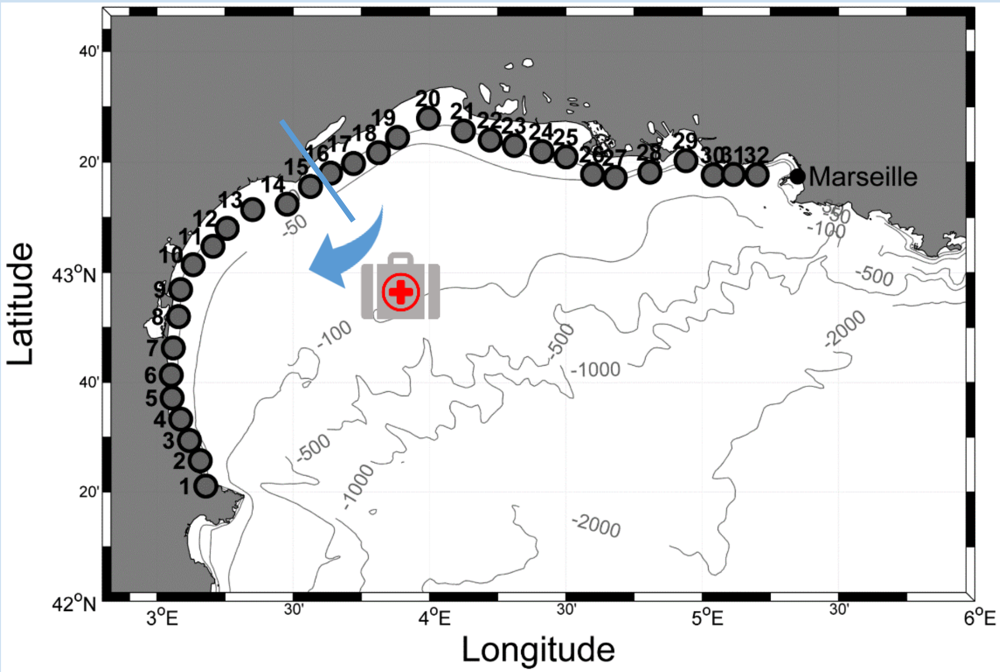
Mécanisme de sauvetage

Katell Guizien com. pers.

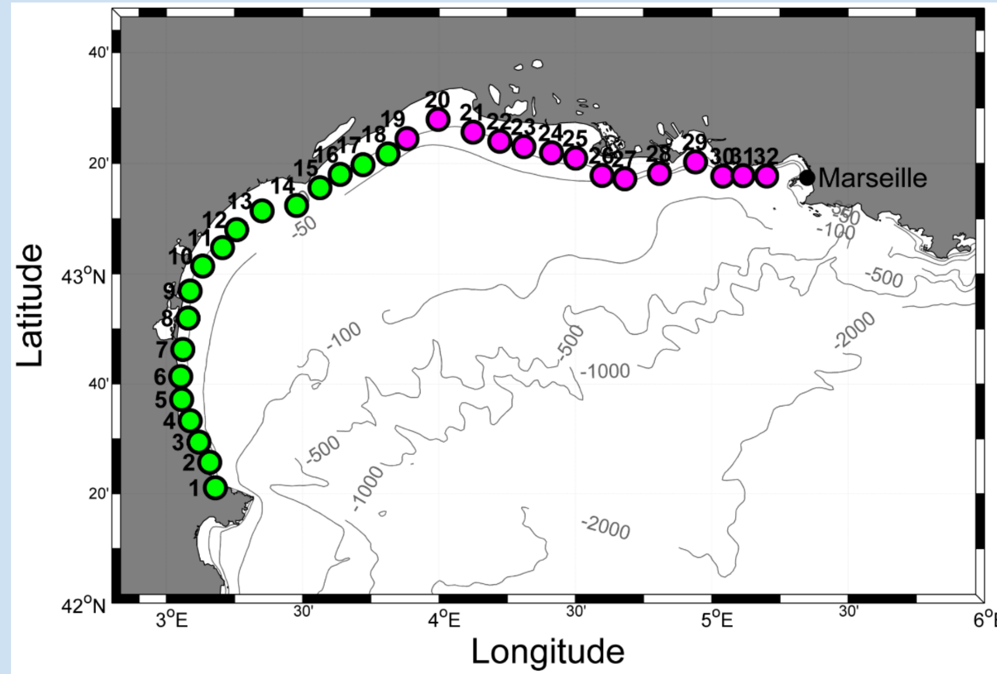
Modularité: degré de division d’un réseau en modules

Théorie des graphes et sous-populations

Modèle de metapopulation



Théorie des graphes



Mécanisme de sauvetage

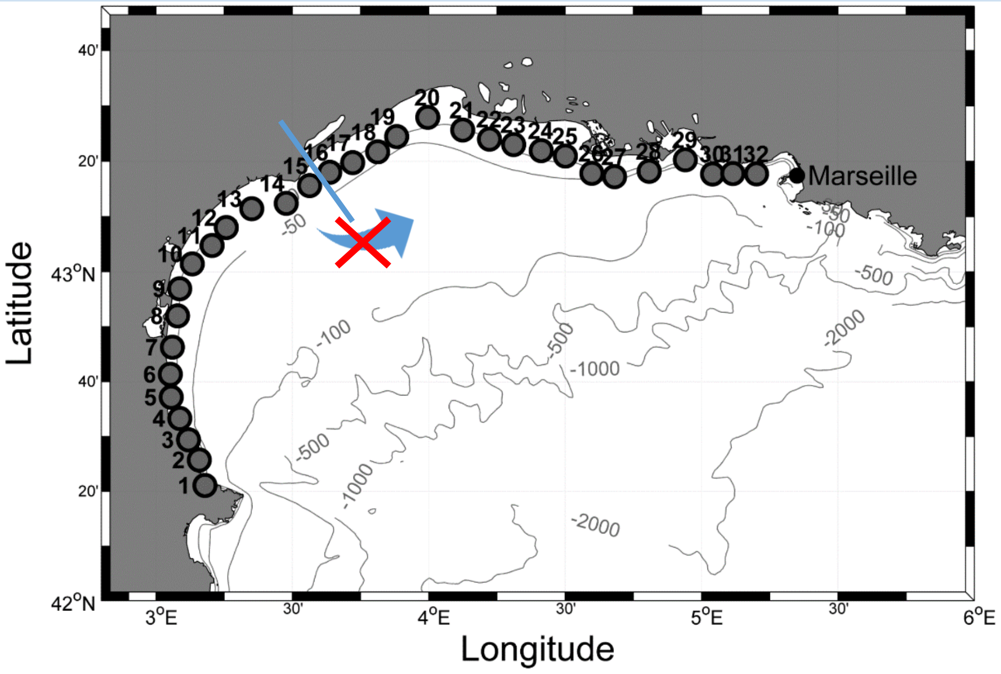
Katell Guizien com. pers.

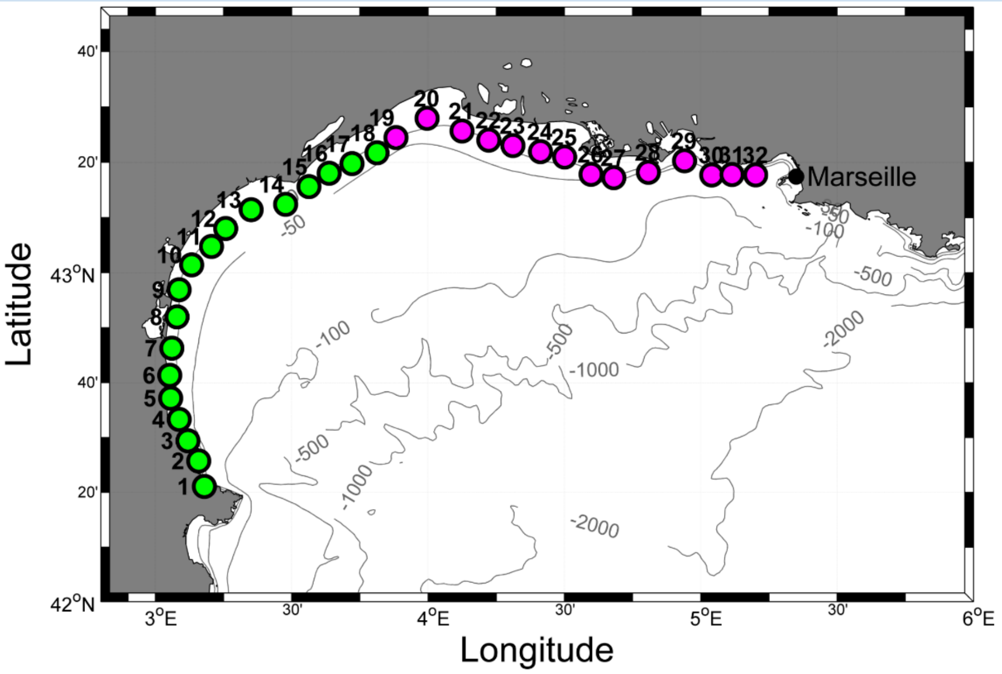
Modularité: degré de division d’un réseau en modules

Théorie des graphes et sous-populations

Modèle de metapopulation

Théorie des graphes





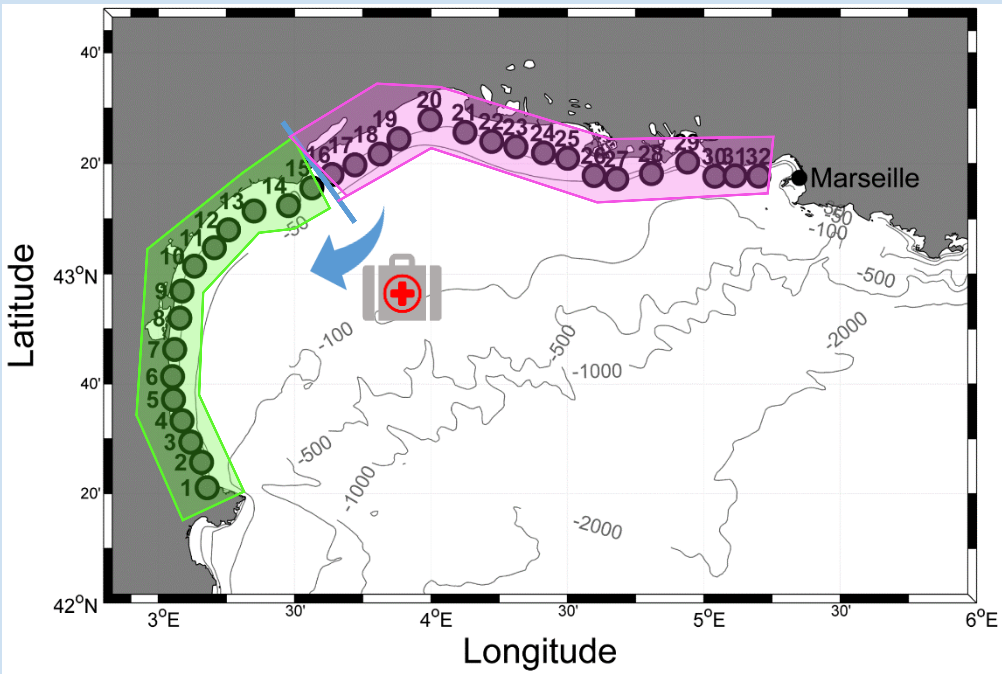
Mécanisme de sauvetage

Katell Guizien com. pers.

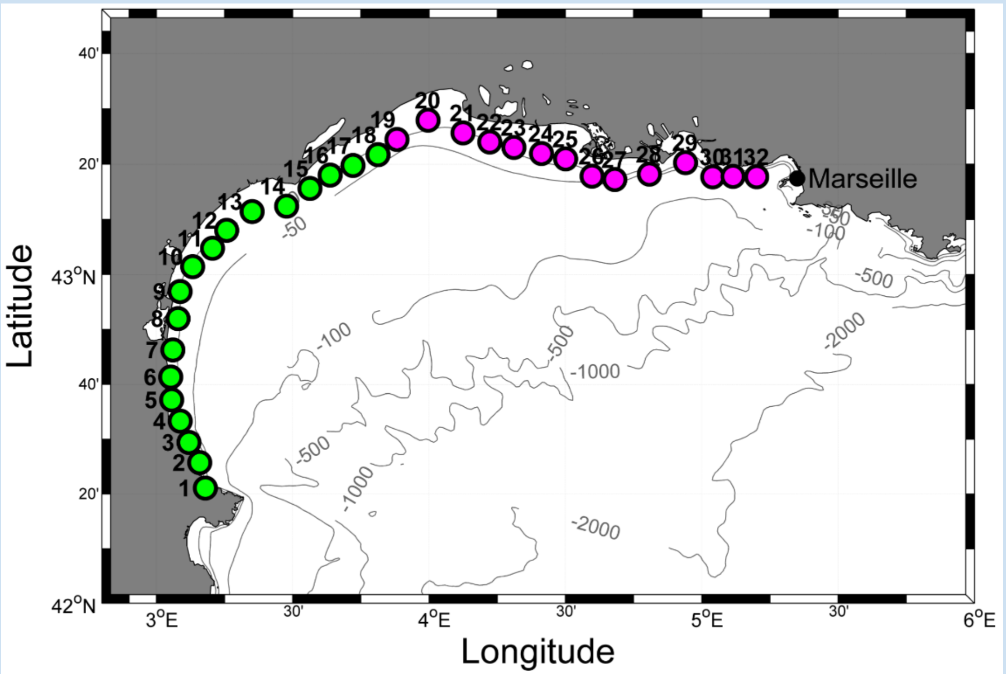
Modularité: degré de division d'un réseau en modules

Théorie des graphes et sous-populations

Modèle de metapopulation



Théorie des graphes



Mécanisme de sauvetage

Katell Guizien com. pers.

Modularité: degré de division d'un réseau en modules

Modularité identifie les sub-populations

Costa et al (*in prep.*)

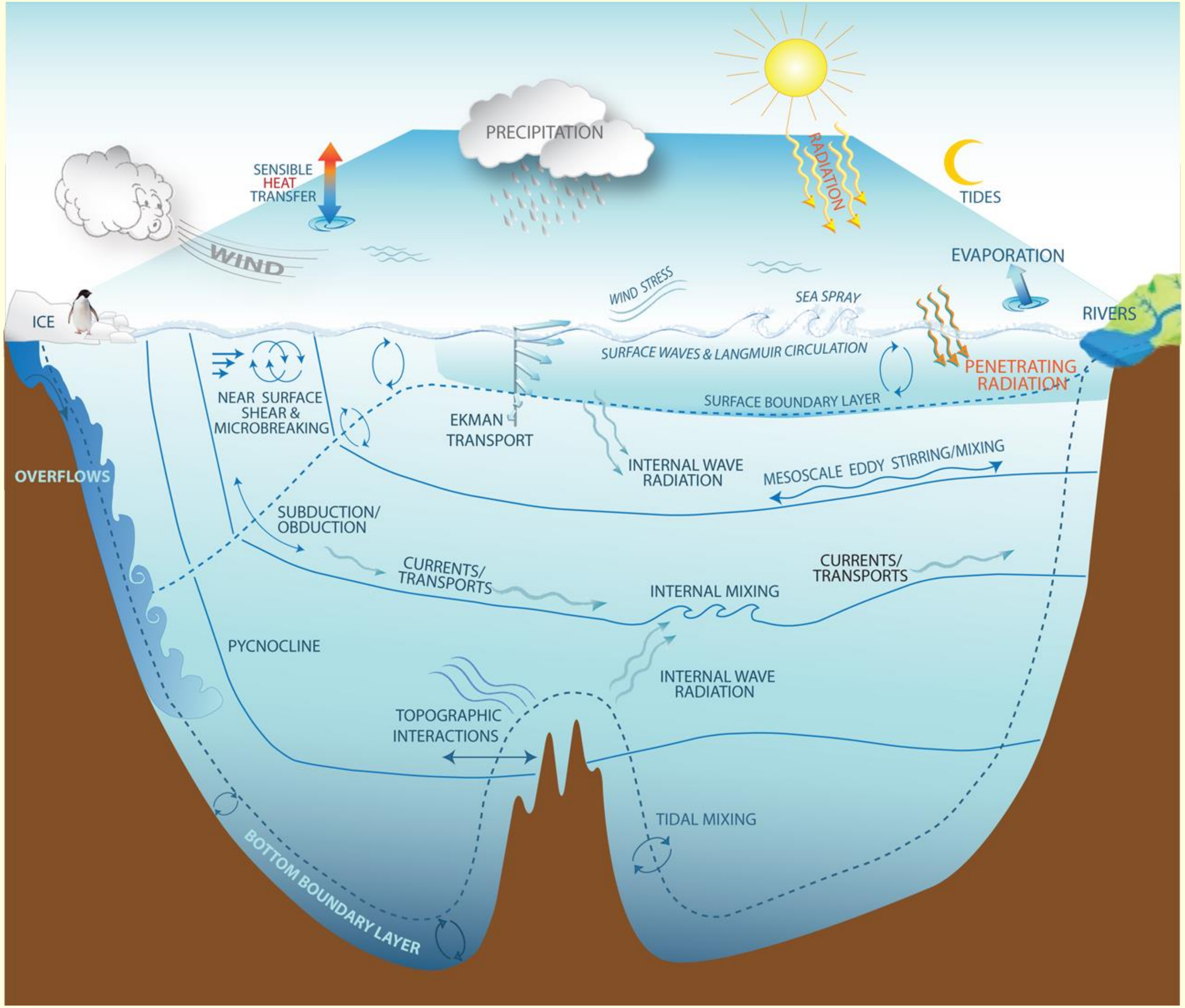
Conclusions premier chapitre

- Développement d'une nouvelle métrique pour utiliser la théorie des graphes en s'appuyant sur des probabilités de transfer.
- Le degré d'un site contient jusqu'à **77% de l'information sur la persistence**.
- La théorie des graphes identifie les sous-populations dans le réseau biologique étudié.
- Une partie considérable de la persistence est expliquée par les courants marins.

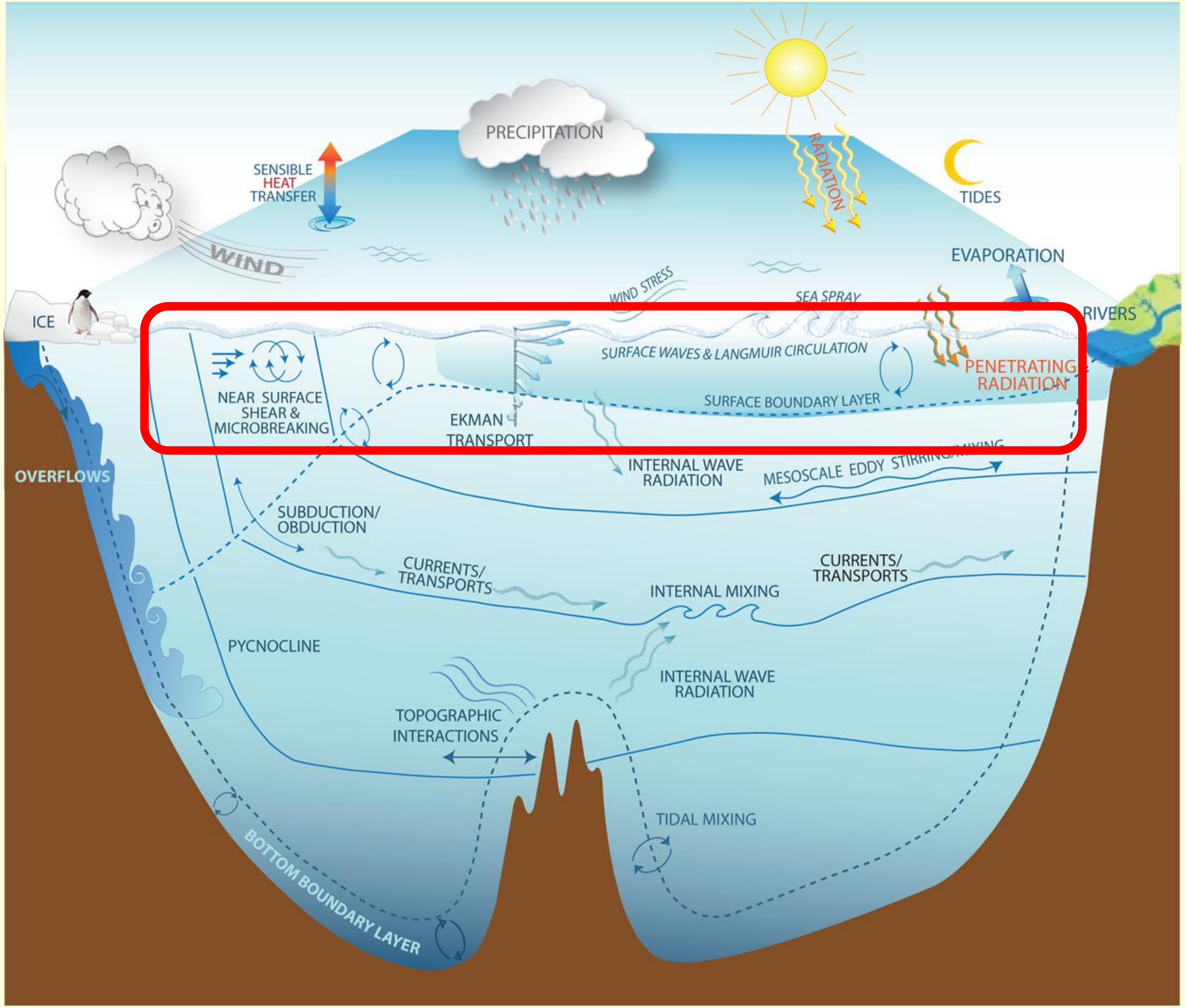
Connectivité marine:

explorer le rôle des courants
et
des processus turbulents.

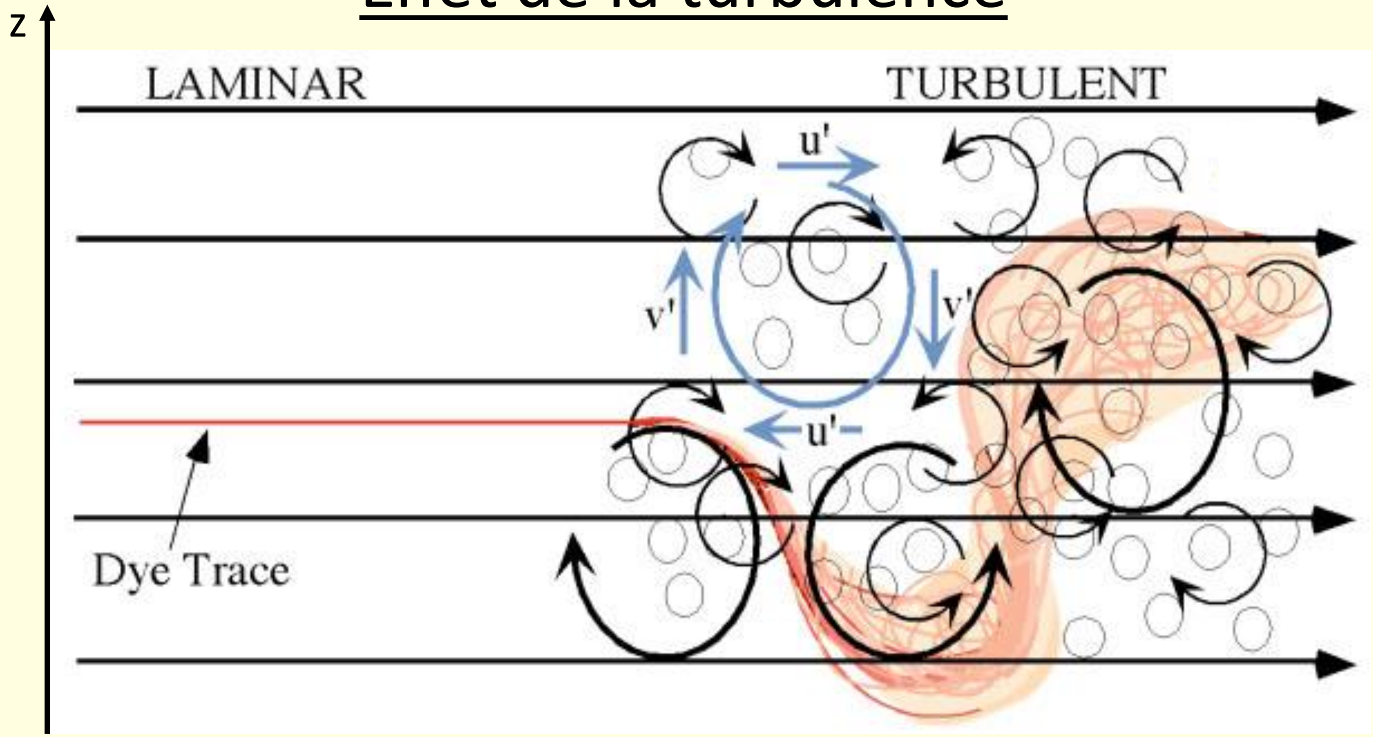
Processus turbulents



Processus turbulents



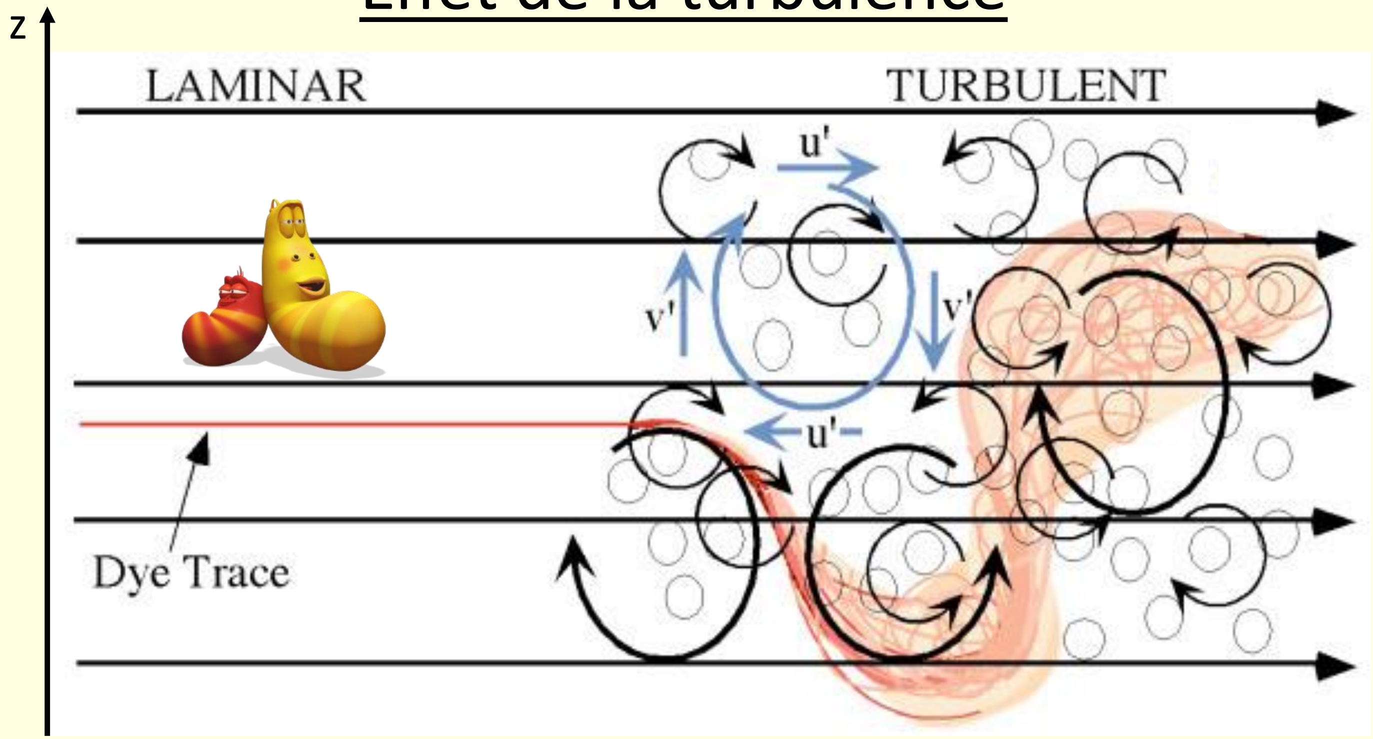
Effet de la turbulence



Pas de transport de masse entre couches

Transport de matière et de quantité de mouvement

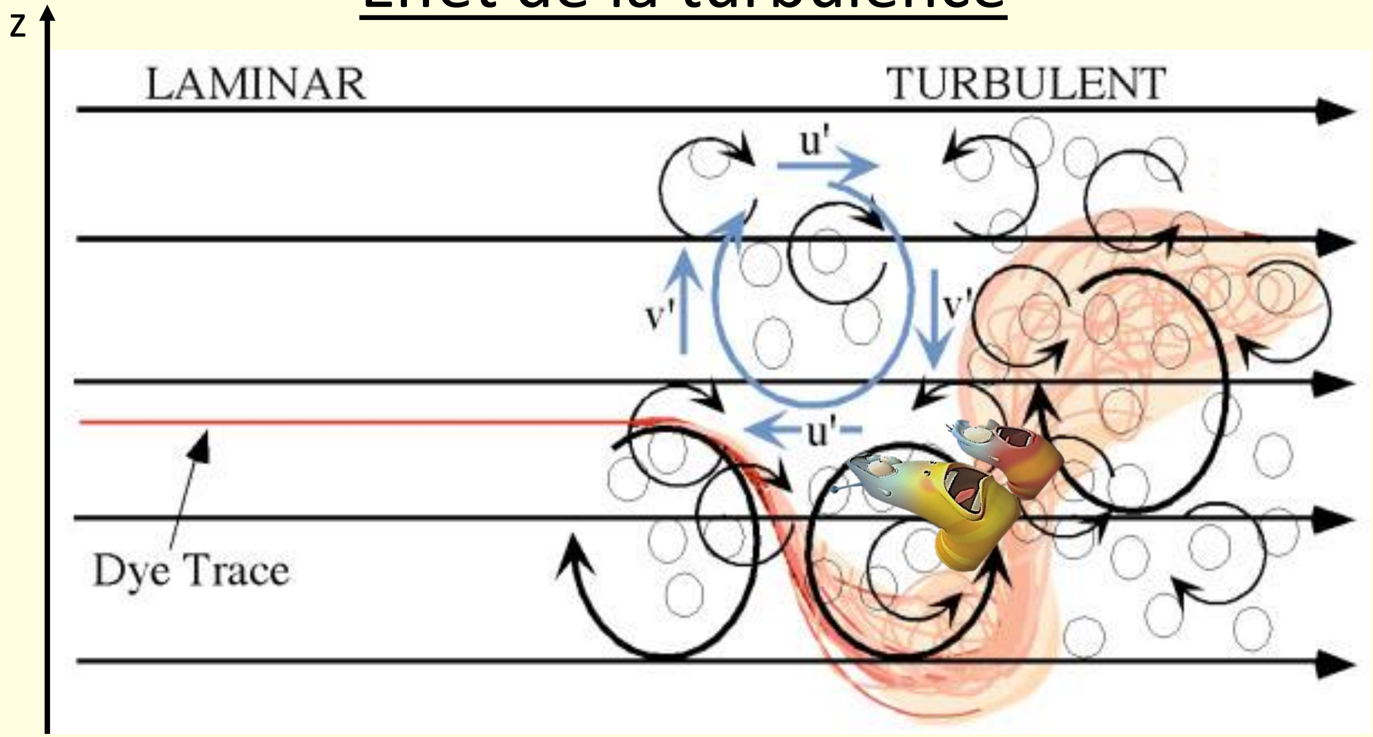
Effet de la turbulence



Pas de transport de masse entre couches

Transport de matière et de quantité de mouvement

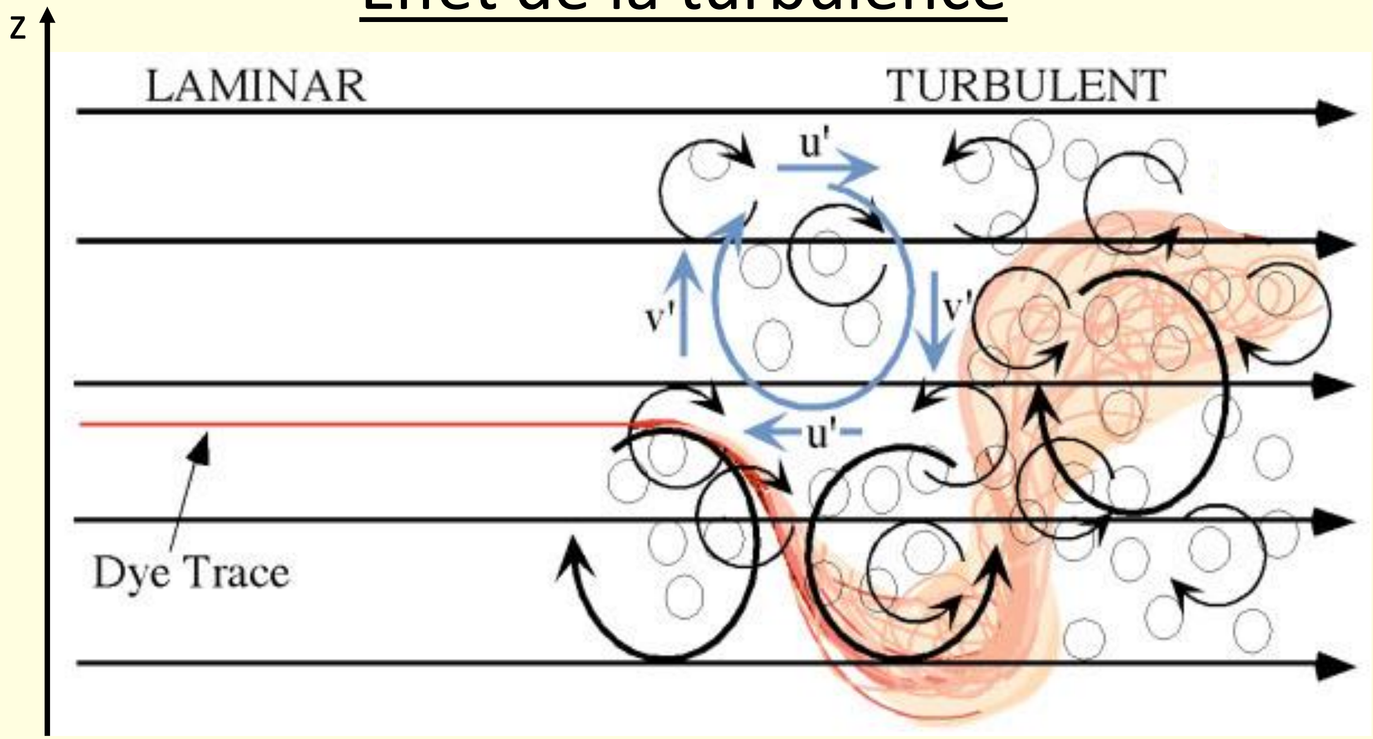
Effet de la turbulence



Pas de transport de masse entre couches

Transport de matière et de quantité de mouvement

Effet de la turbulence



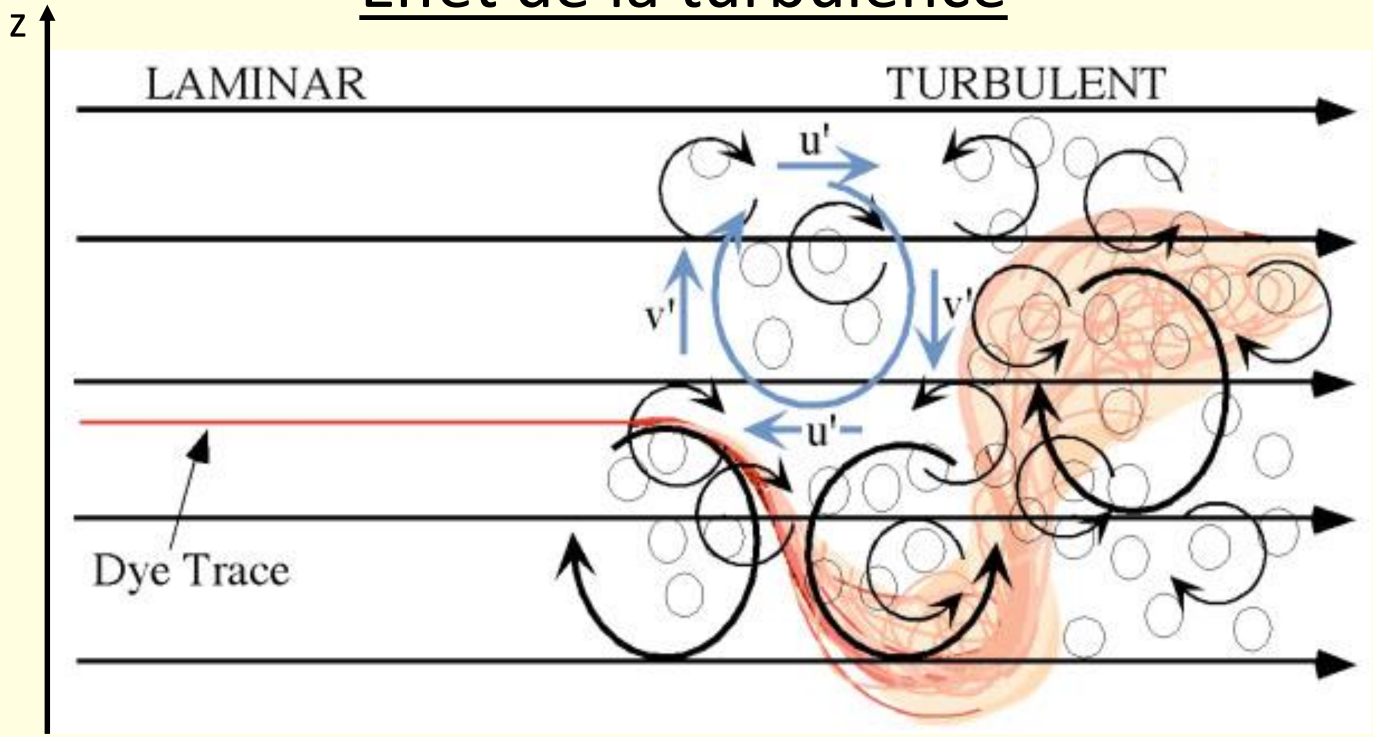
Pas de transport de masse entre couches

Transport de matière et de quantité de mouvement

$$\boldsymbol{u = \bar{u} + u', \quad T = \bar{T} + T'}$$

$$\overline{w'T'} = K_z \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}$$

Effet de la turbulence



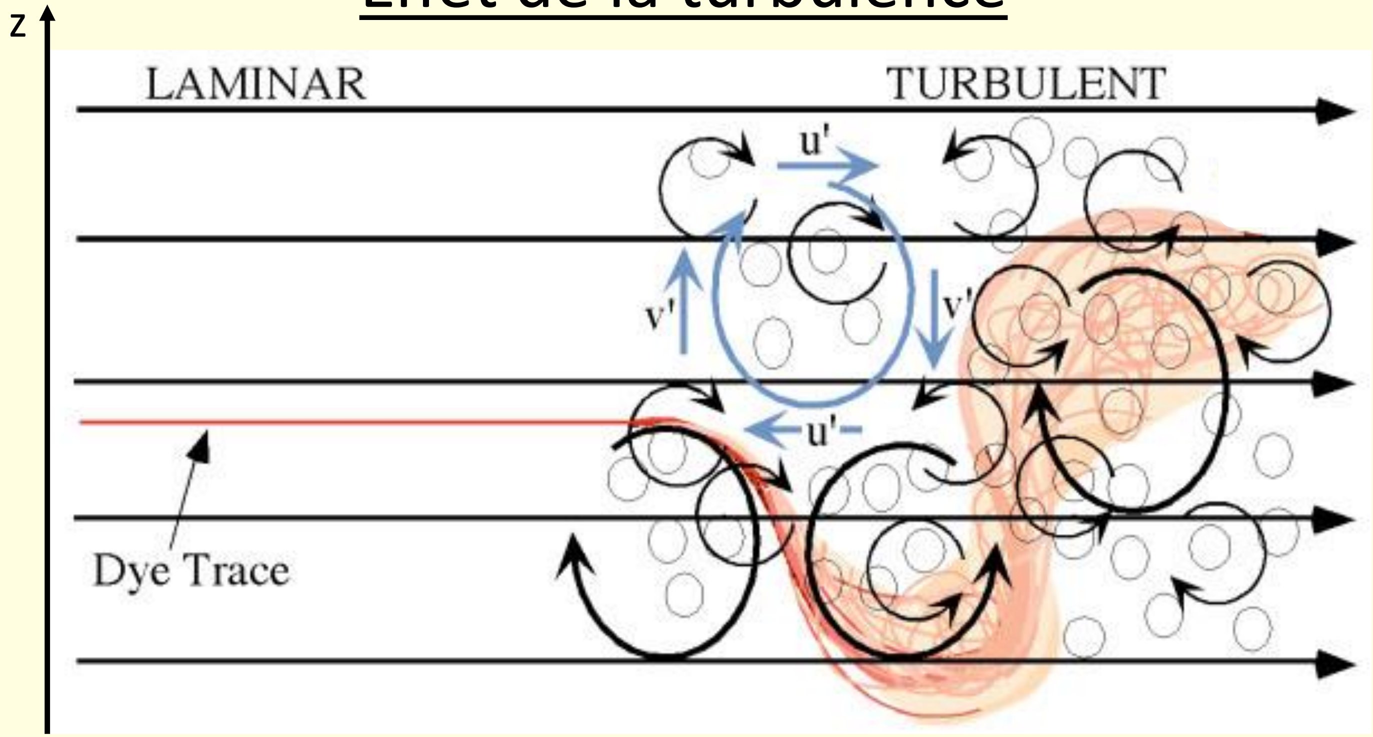
Pas de transport de masse entre couches

Transport de matière et de quantité de mouvement

$$u = \overline{u} + u', \quad T = \overline{T} + T'$$

$$\overline{w'T'} = K_z \frac{\partial \overline{T}}{\partial z}$$

Effet de la turbulence



Pas de transport de masse entre couches

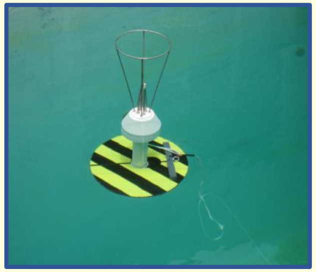
Transport de matière et de quantité de mouvement

$$u = \bar{u} + u', \quad T = \bar{T} + T'$$

$$\overline{w'T'} = K_z \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}$$

Effet sur la dispersion larvaire?

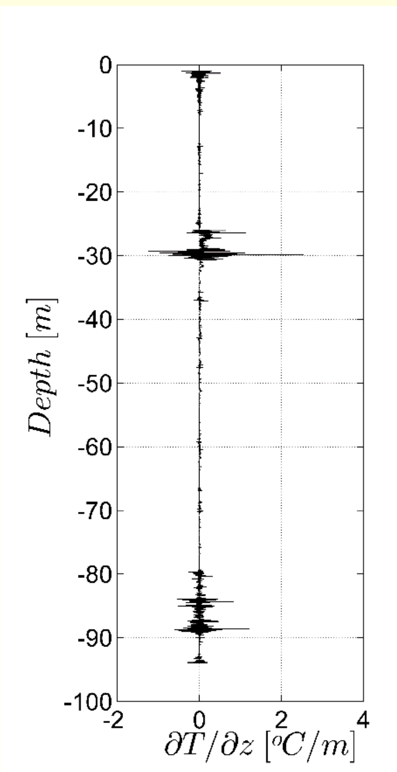
Comparaison avec mesures in situ: les mesures



SCAMP (Self Contained Autonomous Profiler)

Profileur à très haute résolution (~1*mm*) de température, conductivité et fluorescence.

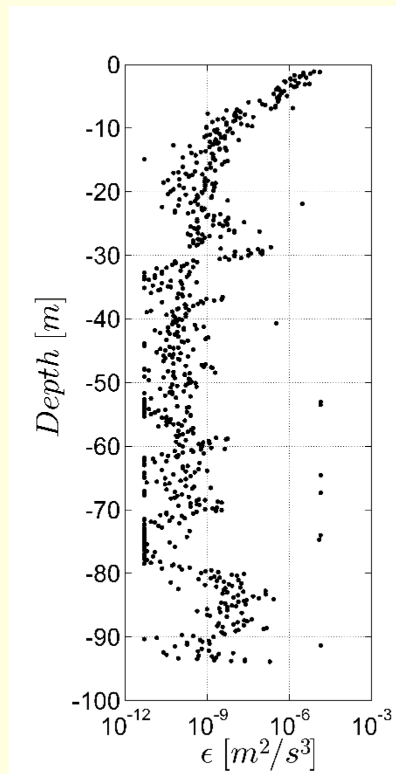
Campagnes: LATEX (PIs A. Petrenko, F. Diaz); RHOMA2 (PI I. Pairaud); SPECIMED (PI B. Quéguiner); SUNMEX (PI R. Sempéré); SUBCORAD (PI P. Fraunié); et sorties étudiantes PHYBIO.



$$S_B(k) = f(\chi_T, D_T, \epsilon)$$

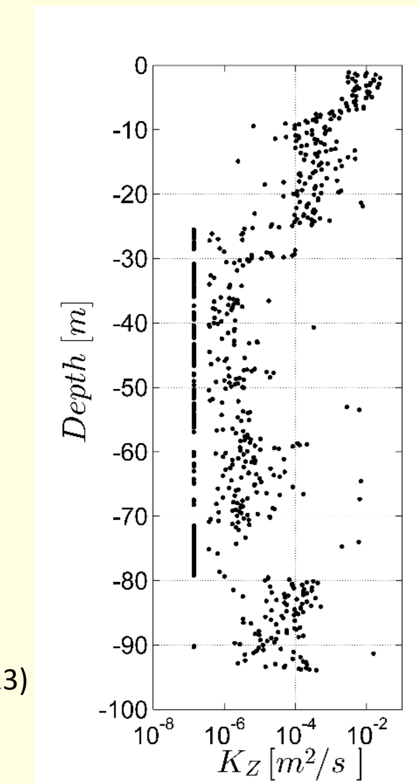
$$\epsilon = \frac{\nu D_T^2}{L_B^4}$$

Batchelor (1959)
Gibson and Schwartz (1963)



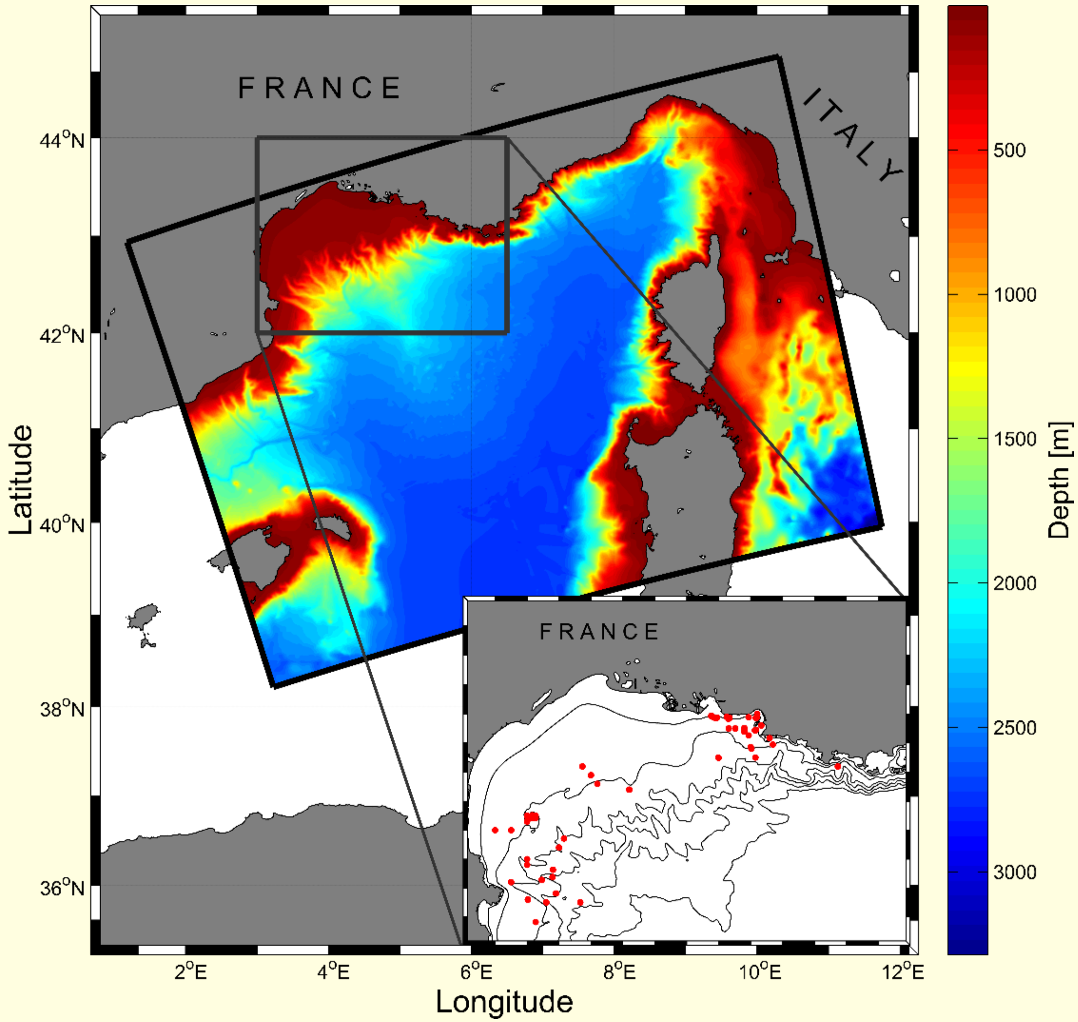
$$K_z \propto \frac{\varepsilon}{N^2}$$

Osborne (1980)
Shih et al. (2005)
Bouffard and Boegman(2013)



Comparaison avec mesures in situ: le modèle

Domaine de Symphonie



Modéle numérique **Symphonie**:

- 1km résolution horizontale
- 70cm – 2m résolution verticale
- Approximation hydrostatique
- Implémentation **3-D**

Marsaleix et al. (2008)

Comparaison avec mesures in situ: le modèle

Schéma de fermeture

Condition limite à la surface

Énergie cinétique minimale

Fonctions de stabilité

Schéma optique

Comparaison avec mesures in situ: le modèle

Schéma de fermeture

k-ε **ou** **k-l**

Condition limite à la surface

Énergie cinétique minimale

Fonctions de stabilité

Schéma optique

Comparaison avec mesures in situ: le modèle

Schéma de fermeture	**k-ε ou k-l**
Condition limite à la surface	**frottement du vent ou déferlement des vagues**
Énergie cinétique minimale	
Fonctions de stabilité	
Schéma optique	

Comparaison avec mesures in situ: le modèle

Schéma de fermeture	**k-ε**	**ou**	**k-l**
Condition limite à la surface	**frottement du vent**	**ou**	**déferlement des vagues**
Énergie cinétique minimale	**10^{-8} m²/s²**	**ou**	**10^{-7} m²/s²**
Fonctions de stabilité			
Schéma optique			

Comparaison avec mesures in situ: le modèle

Schéma de fermeture	**k-ε ou k-l**
Condition limite à la surface	**frottement du vent ou déferlement des vagues**
Énergie cinétique minimale	**10^{-8} m²/s² ou 10^{-7} m²/s²**
Fonctions de stabilité	**Deux paramétrisations des moments d'ordre 3 et corrélations de pression**
Schéma optique	

Comparaison avec mesures in situ: le modèle

Schéma de fermeture	**k-ε**	**ou**	**k-l**
Condition limite à la surface	**frottement du vent**	**ou**	**déferlement des vagues**
Énergie cinétique minimale	**10^{-8} m^2/s^2**	**ou**	**10^{-7} m^2/s^2**
Fonctions de stabilité	**Kantha-Claison** Kantha et Clayson (1994)	**ou**	**Canuto A** Canuto et al. (2001)
Schéma optique			

Comparaison avec mesures in situ: le modèle

Schéma de fermeture	**k-ε**	**ou**	**k-l**
Condition limite à la surface	**frottement du vent**	**ou**	**déferlement des vagues**
Énergie cinétique minimale	**10^{-8} m²/s²**	**ou**	**10^{-7} m²/s²**
Fonctions de stabilité	**Kantha-Claison** Kantha et Clayson (1994)	**ou**	**Canuto A** Canuto et al. (2001)
Schéma optique	**l_{PAR} = 11m**	**ou**	**l_{PAR} = 23m**

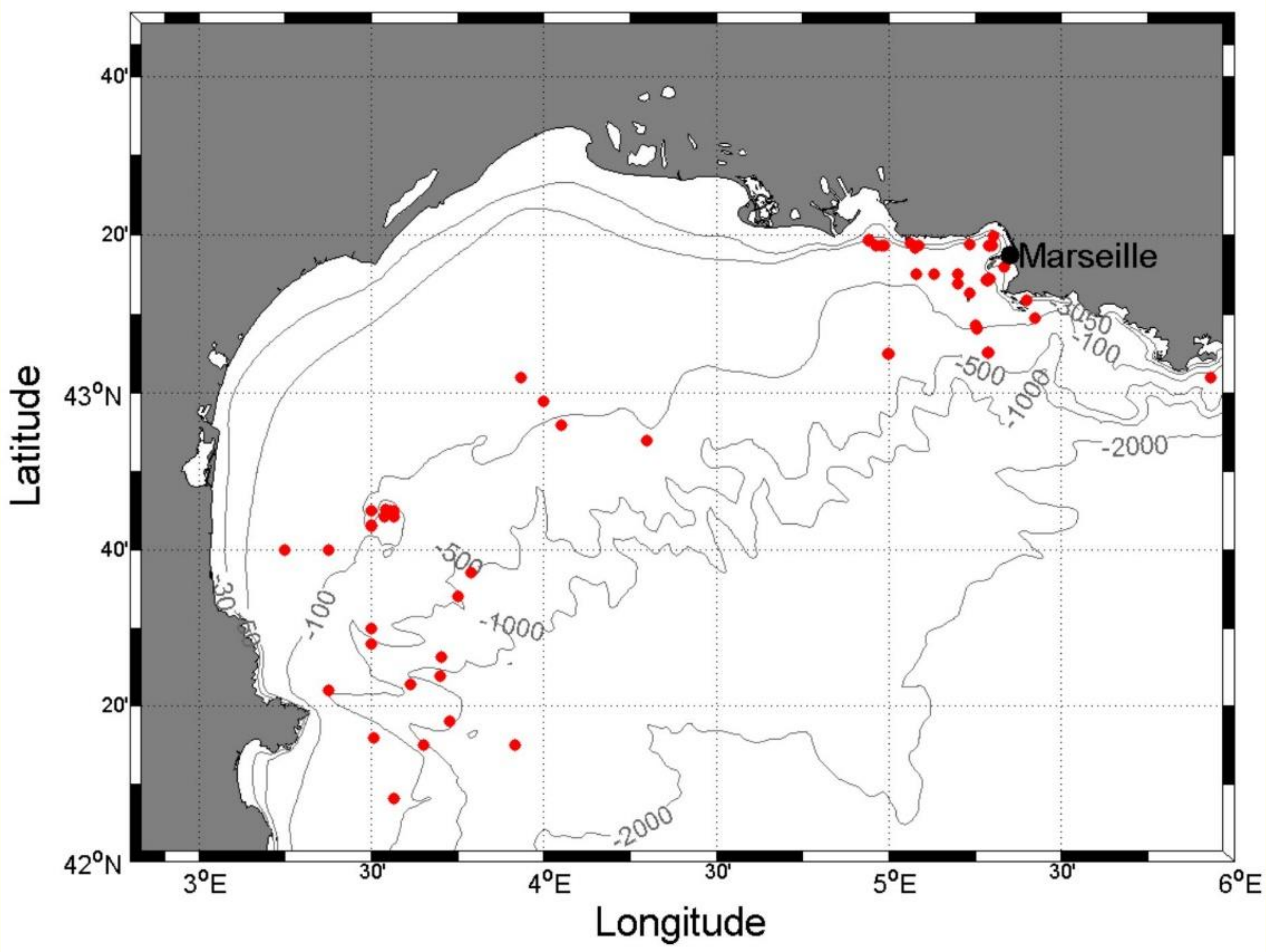
Simulations numériques

		SFT	Cond. lim. surf.	Én. cinétique min. [m^2/s^2]	Fonctions de stabilité	Schéma optique
1	**KEset**	k-ε	Frottement	10^{-8}	Kantha-Clayson	11m
2	**KEflu**	k-ε	Déferlement	10^{-8}	Kantha-Clayson	11m
3	**KEfluCAN**	k-ε	Déferlement	10^{-8}	Canuto A	11m
4	**KEfluCANMINk**	k-ε	Déferlement	10^{-7}	Canuto A	11m
5	**KEfluCANMINkOpt**	k-ε	Déferlement	10^{-7}	Canuto A	23m
6	**KLset**	k-l	Frottement	10^{-8}	-	11m
7	**KLflu**	k-l	Déferlement	10^{-8}	-	11m
8	**KLsetMINk**	k-l	Frottement	10^{-7}	-	11m
9	**KLfluMINk**	k-l	Déferlement	10^{-7}	-	11m

Simulations numériques

			SFT	Cond. lim. surf.	Én. cinétique min. [m^2/s^2]	Fonctions de stabilité	Schéma optique
k- ε	1	**KEset**	k-ε	Frottement	10^{-8}	Kantha-Clayson	11m
	2	**KEflu**	k-ε	Déferlement	10^{-8}	Kantha-Clayson	11m
	3	**KEfluCAN**	k-ε	Déferlement	10^{-8}	Canuto A	11m
	4	**KEfluCANMINk**	k-ε	Déferlement	10^{-7}	Canuto A	11m
	5	**KEfluCANMINkOpt**	k-ε	Déferlement	10^{-7}	Canuto A	23m
k-l	6	**KLset**	k-l	Frottement	10^{-8}	-	11m
	7	**KLflu**	k-l	Déferlement	10^{-8}	-	11m
	8	**KLsetMINk**	k-l	Frottement	10^{-7}	-	11m
	9	**KLfluMINk**	k-l	Déferlement	10^{-7}	-	11m

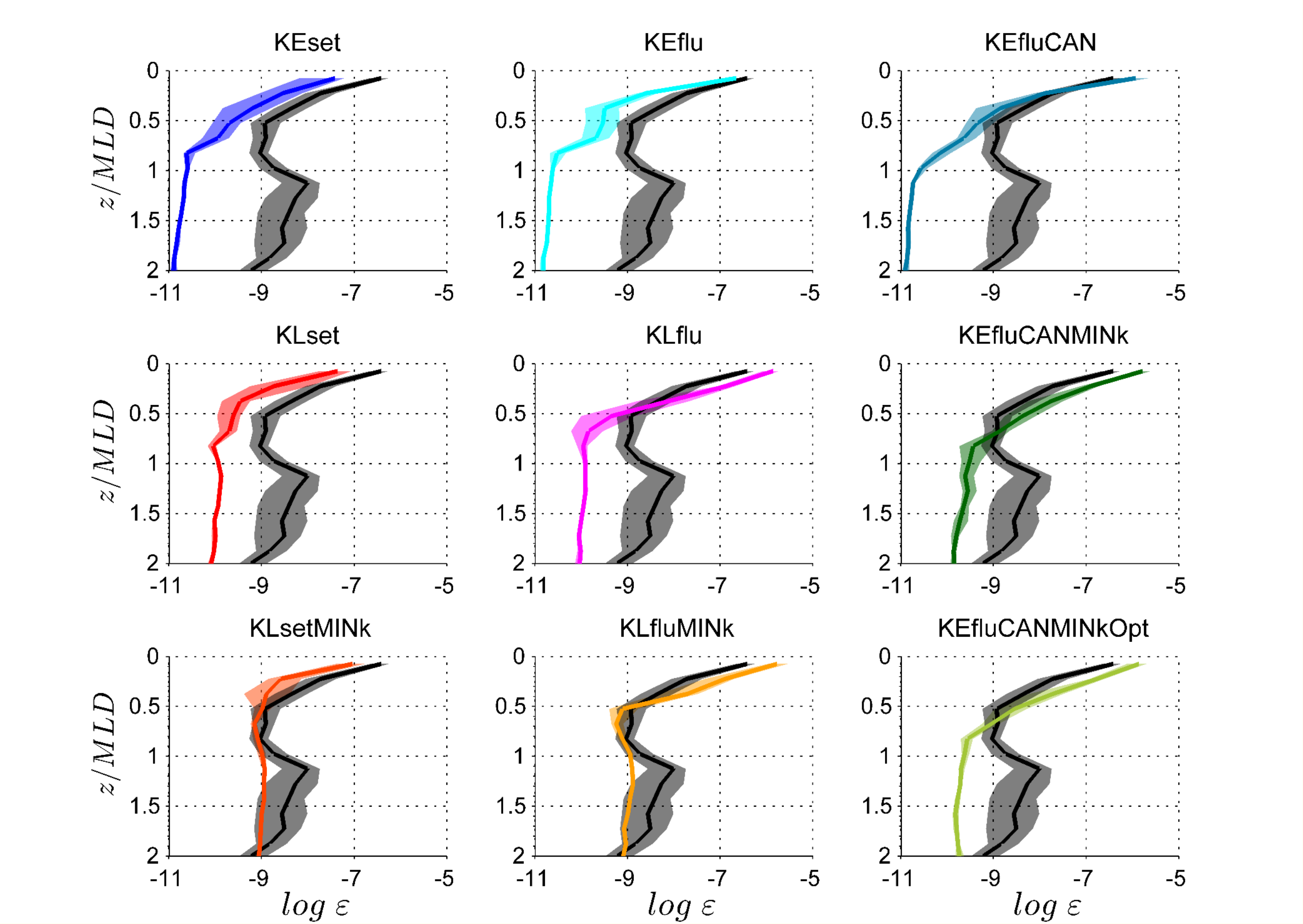
Set de données



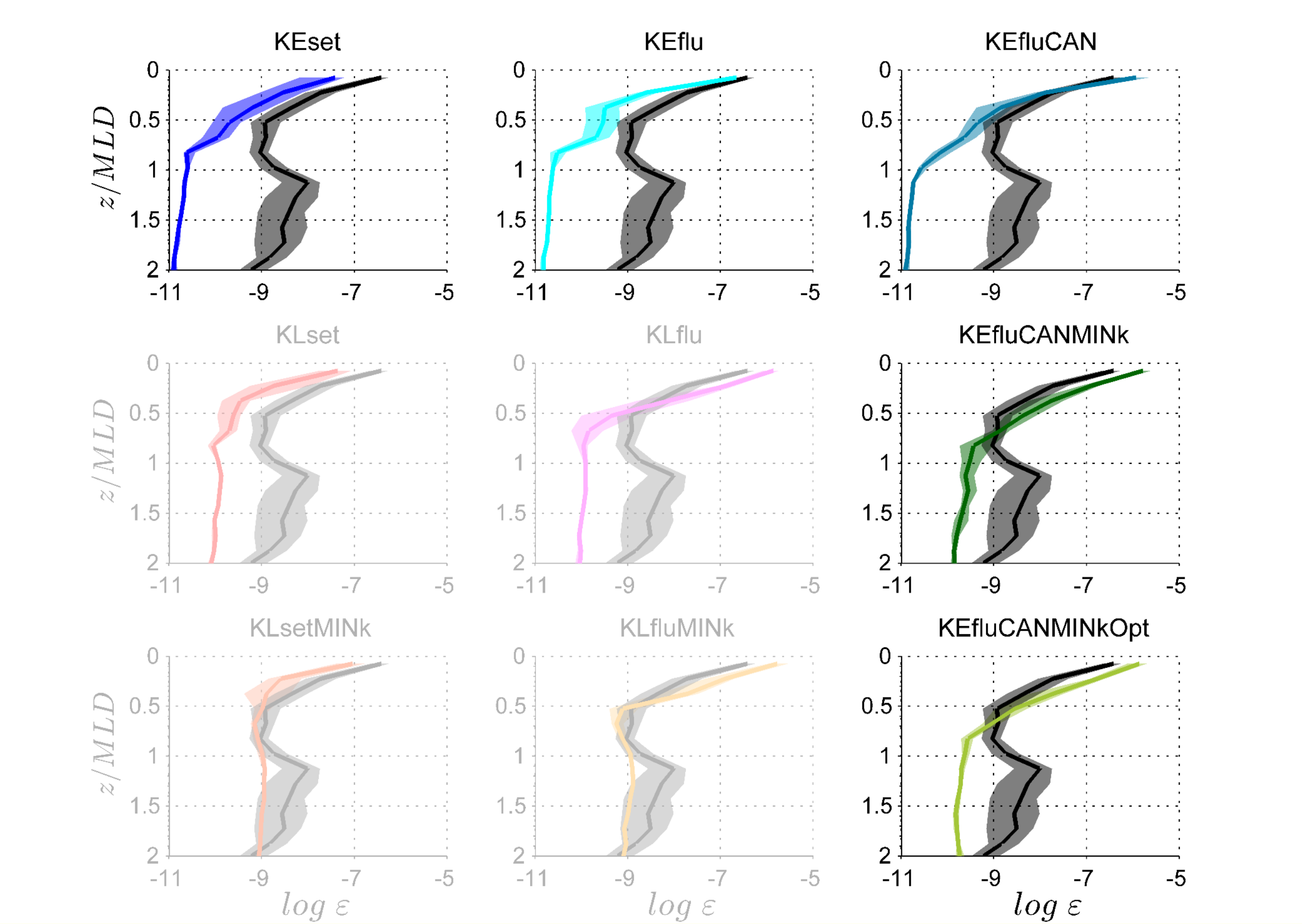
126 profils verticaux

Petits vagues; flux de flottabilité positif;
pas de précipitations; majorité en septembre

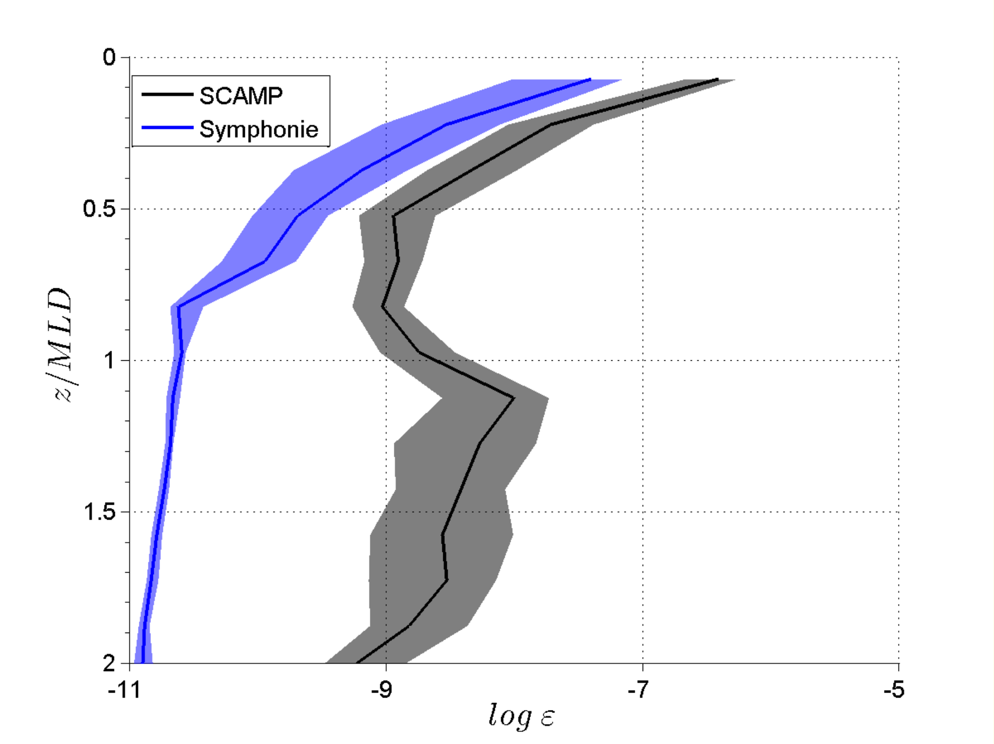
Simulations numériques vs données in situ: ε



Simulations numériques vs données in situ: ε



Un exemple

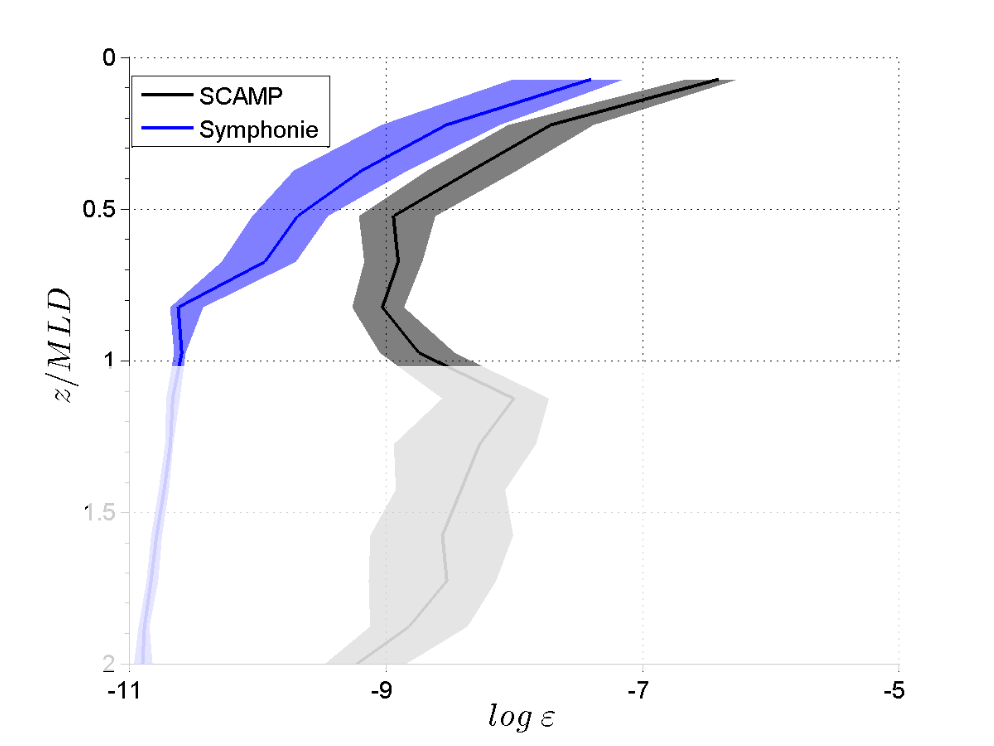


Couche de mélange défini avec ΔT>0.5°C

Profils médians

Erreur : technique du *bootstrap*

Un exemple

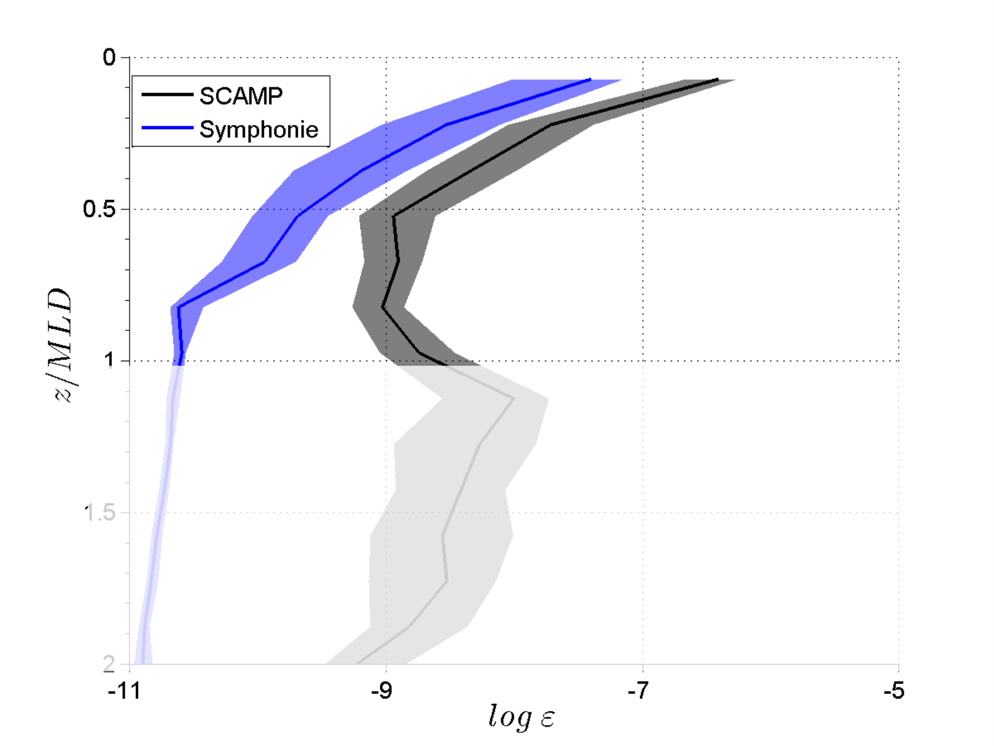


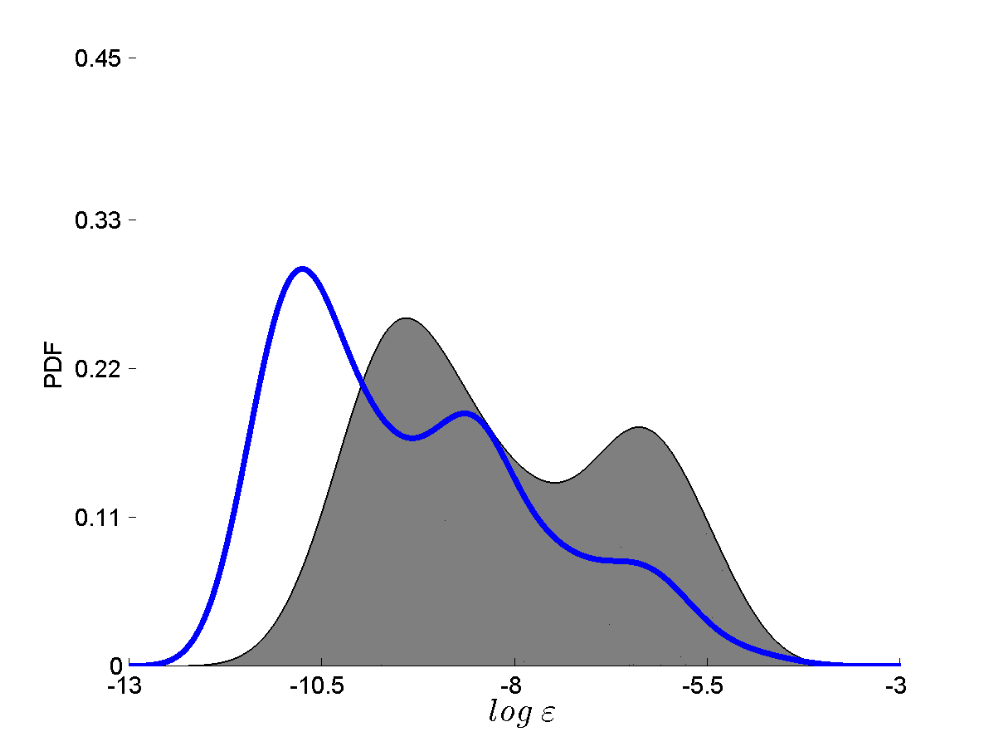
Couche de mélange défini avec ΔT>0.5°C

Profils médians

Erreur : technique du *bootstrap*

Un exemple





Couche de mélange défini avec ΔT>0.5°C

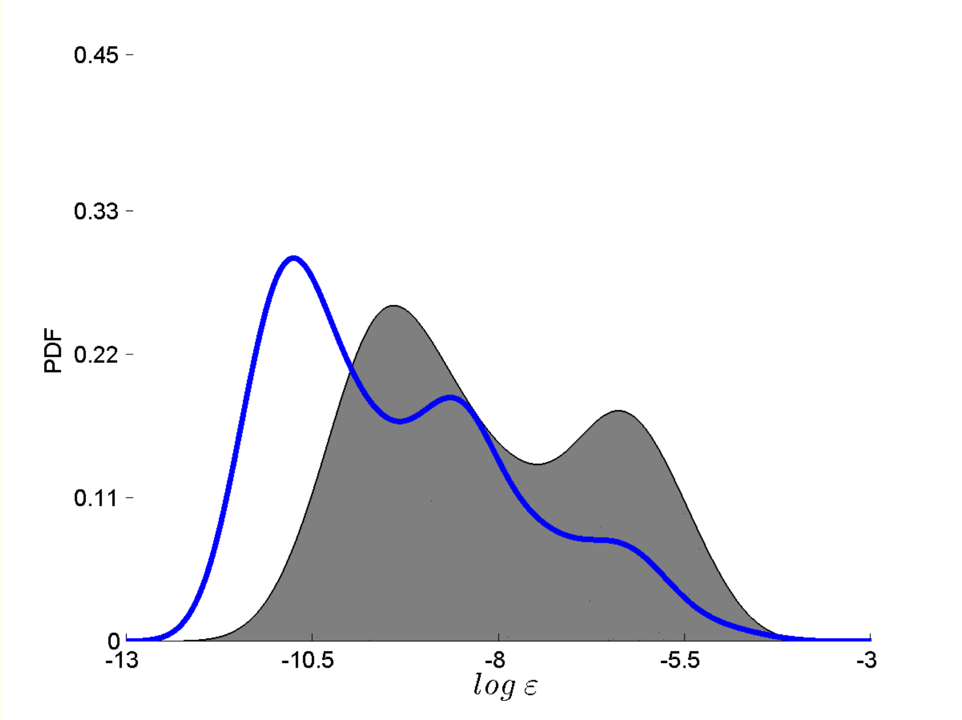
Fonctions de densité de probabilité

Profils médians

Erreur : technique du *bootstrap*

Conditions limite à la surface

Frottement



Déferlement

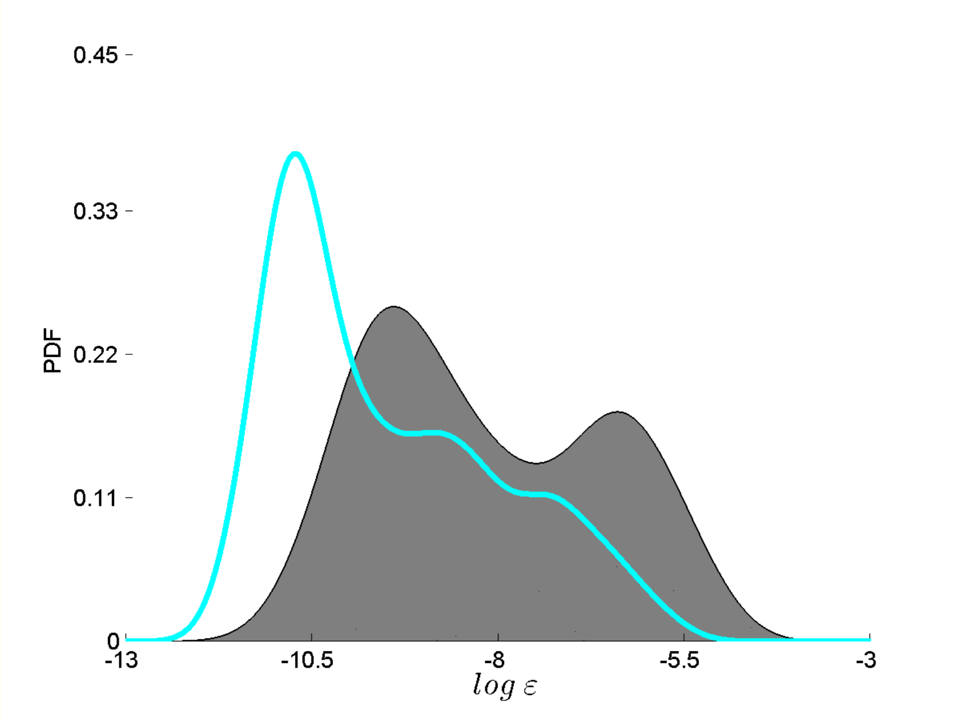


Schéma fermeture: k-ϵ

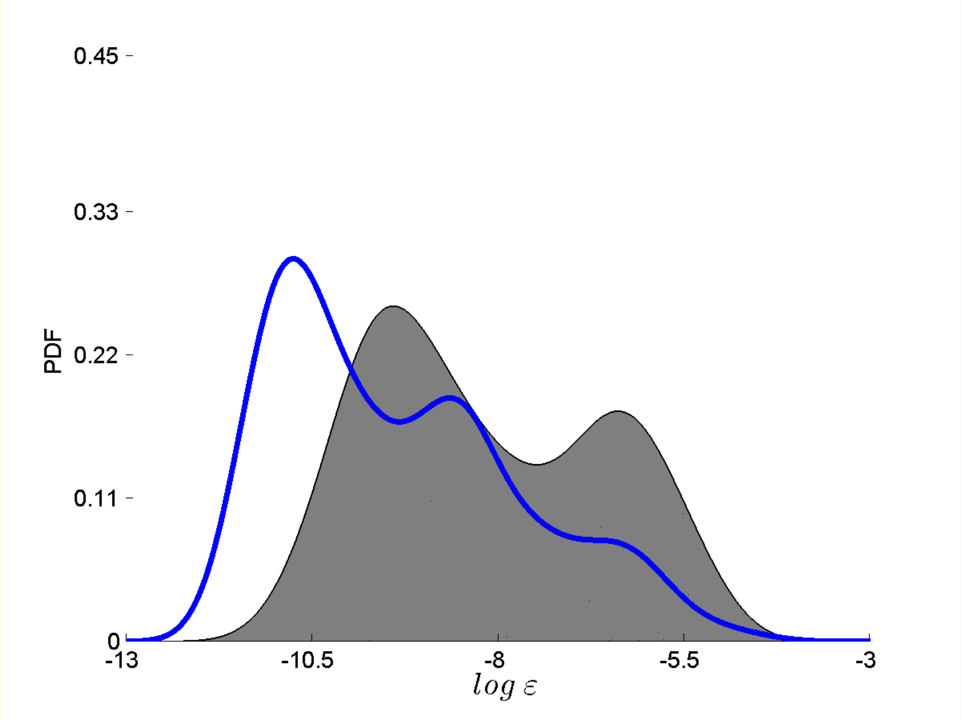
Cond. limite surf.: frottement

Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Conditions limite à la surface

Frottement



Déferlement

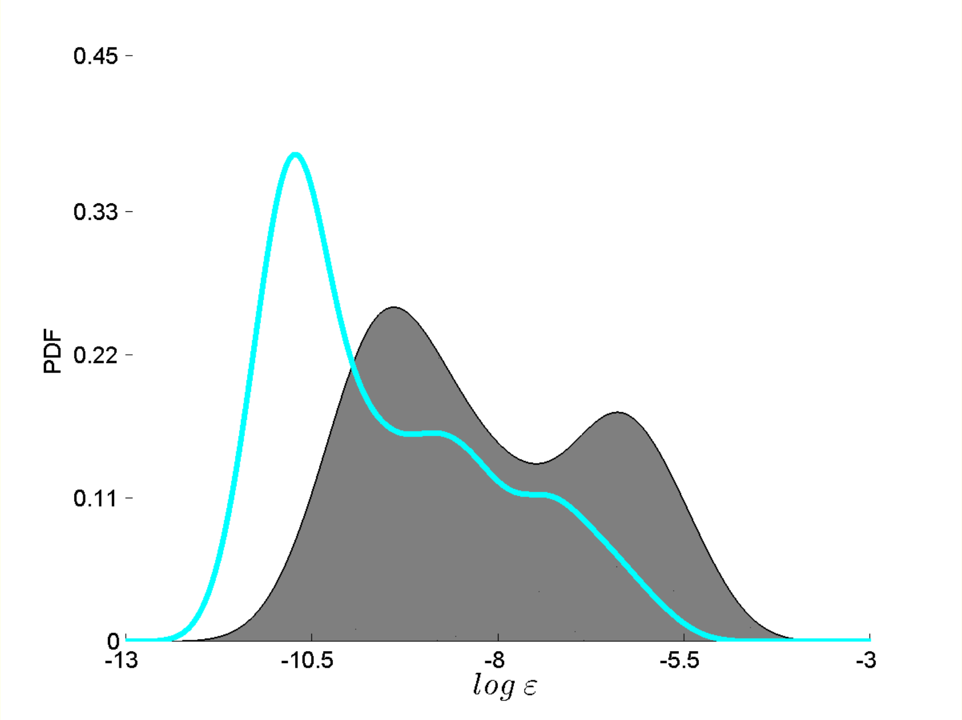


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: frottement

Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Δ_{ε}^{2}=0.010

Critère de
Cramér-von Mises

Δ_{ε}^{2}=0.008

Conditions limite à la surface

Frottement

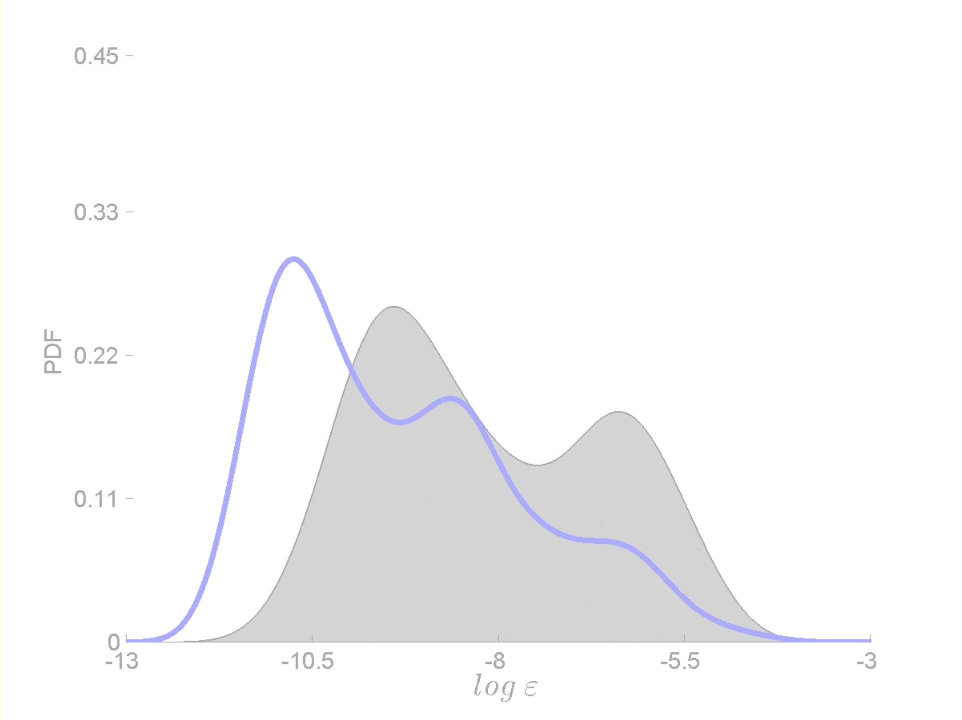


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: frottement

$\Delta_\varepsilon^2 = 0.010$

Déferlement

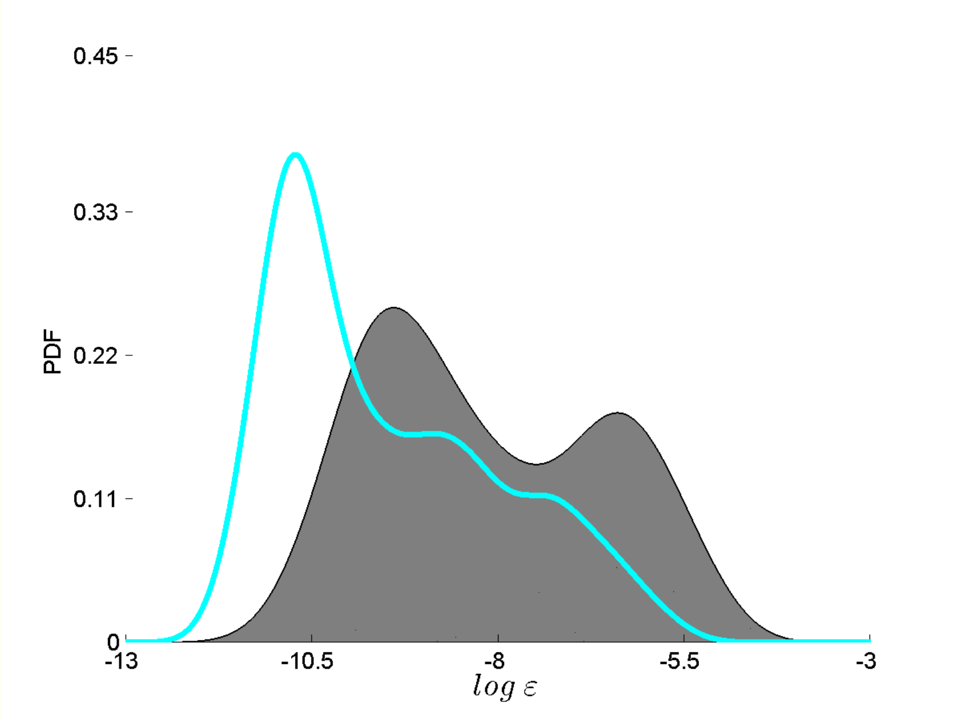


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

$\Delta_\varepsilon^2 = 0.008$

Critère de
Cramér-von Mises

Fonctions de stabilité

Fermature premiere ordre

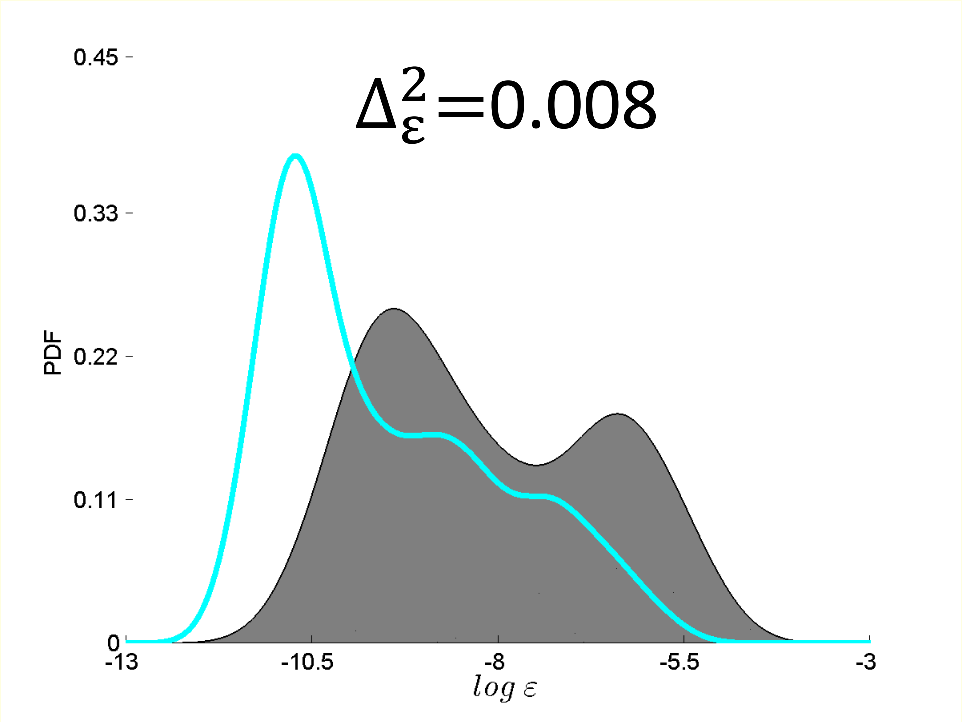


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Fonct. stabilité: Kantha-Claison

Fermature deuxieme ordre

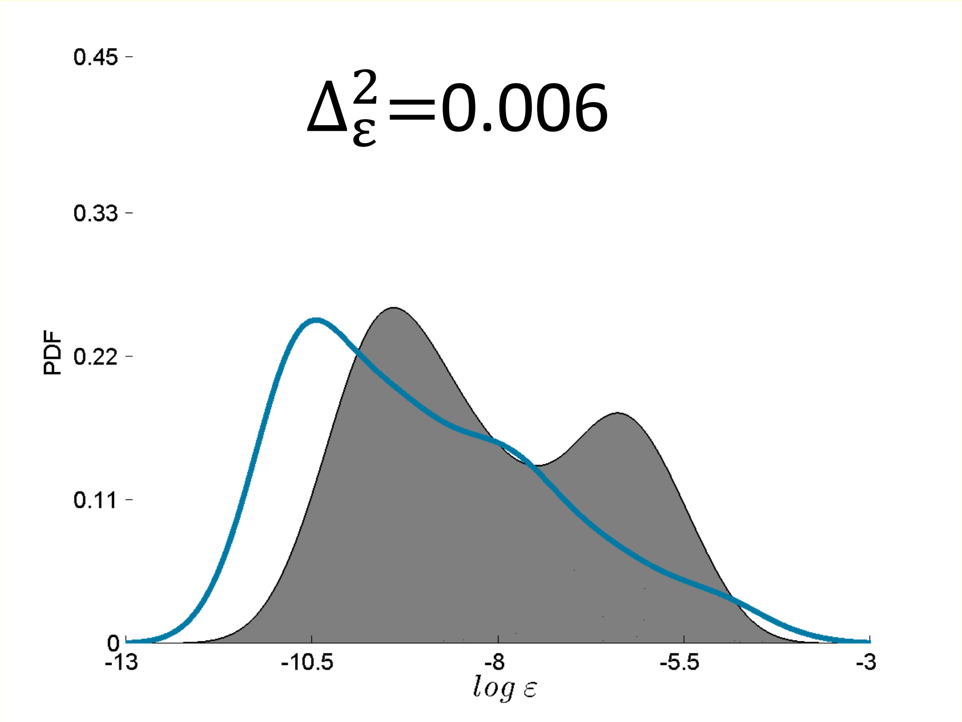


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Fonct. stabilité: Canuto A

Fonctions de stabilité

Fermature premiére ordre

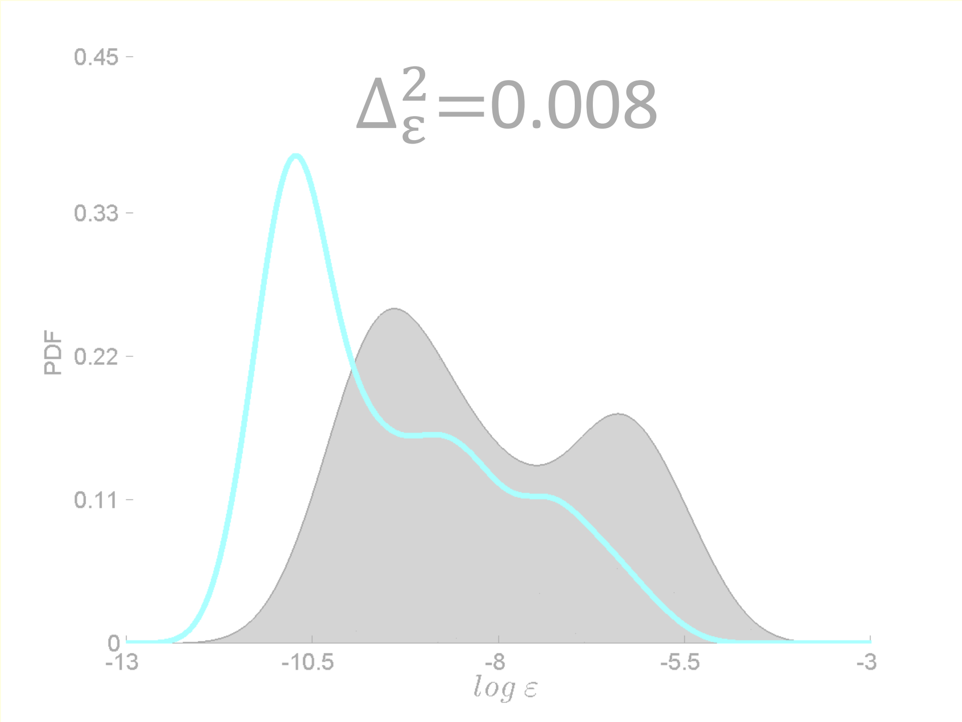


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Fonct. stabilité: Kantha-Claison

Fermature deuxieme ordre

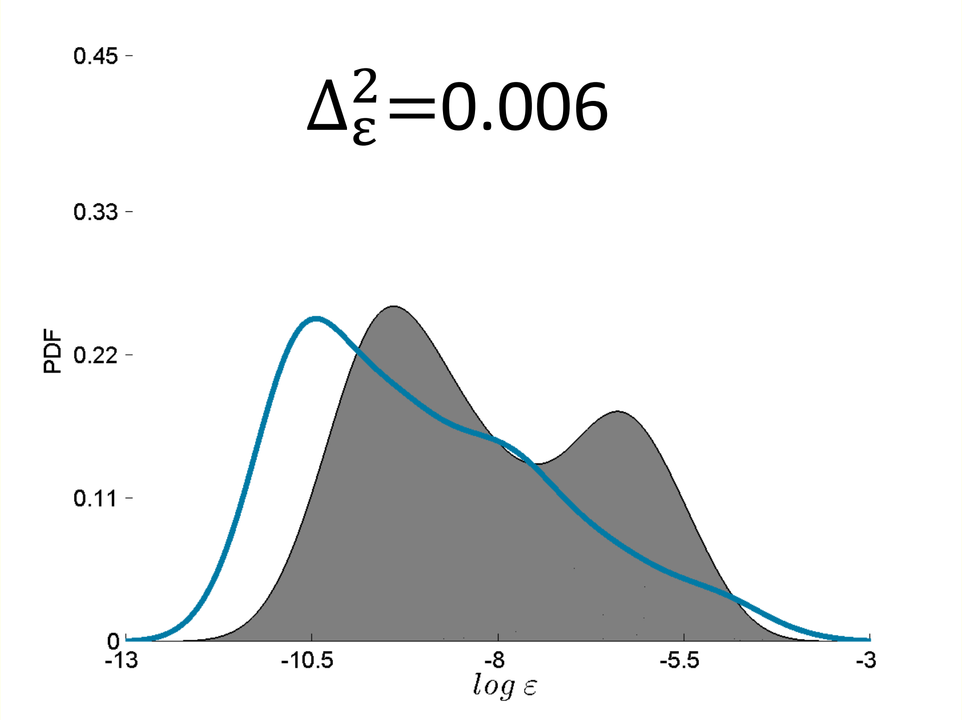


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Fonct. stabilité: Canuto A

Énergie cinétique minimale

$k_{min}= 10^{-8} m^2/s^2$

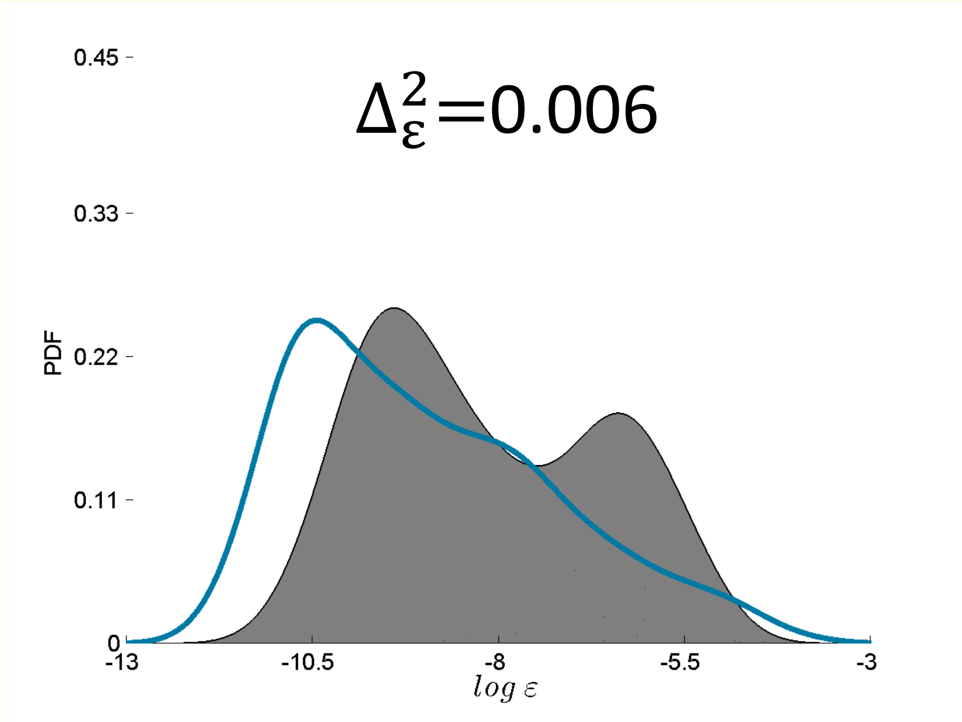


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Fonct. stabilité: Canuto A

$k_{min} = 10^{-8} m^2/s^2$

$k_{min}= 10^{-7} m^2/s^2$

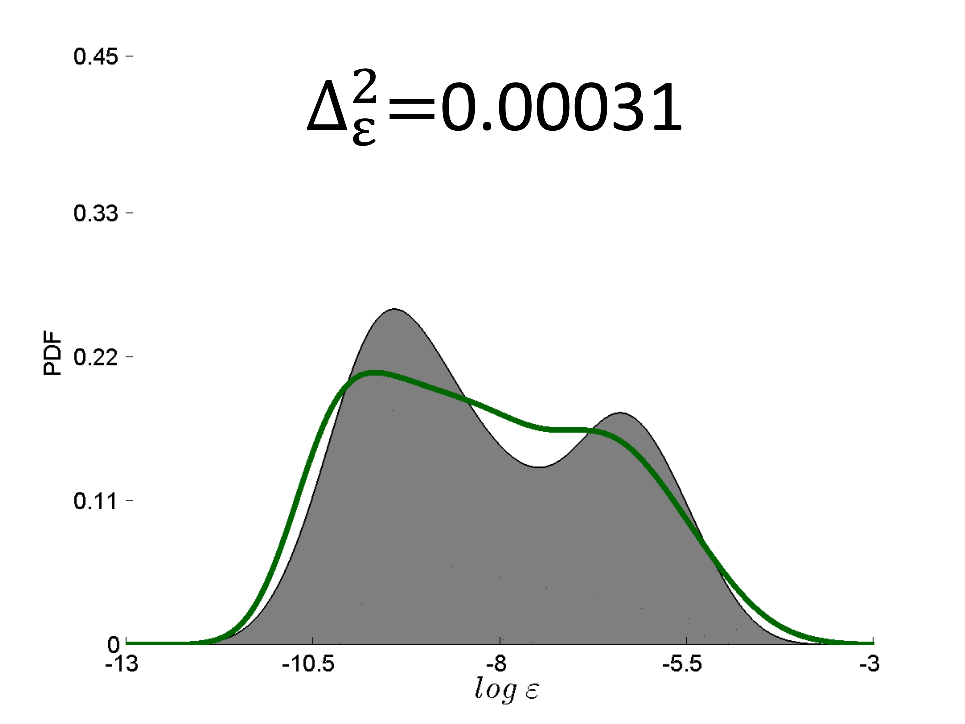


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Fonct. stabilité: Canuto A

$k_{min} = 10^{-7} m^2/s^2$

Énergie cinétique minimale

k_{min}= 10^{-8}m^2/s^2

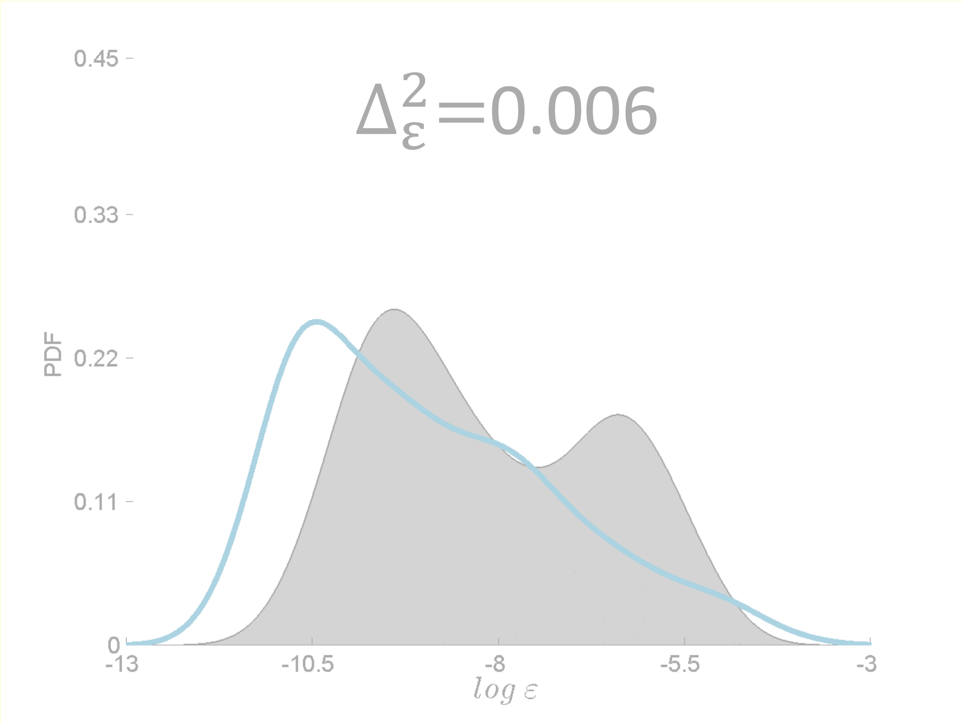


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Fonct. stabilité: Canuto A

k_{min} = 10^{-8}m^2/s^2

k_{min}= 10^{-7}m^2/s^2

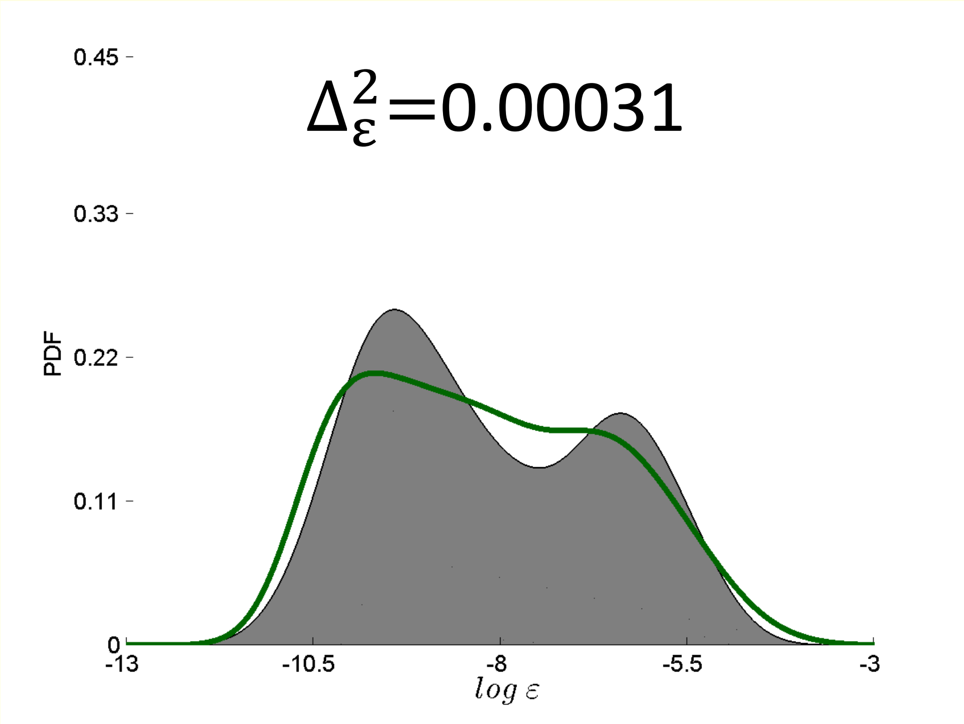


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Fonct. stabilité: Canuto A

k_{min} = 10^{-7}m^2/s^2

Schéma optique

l_{PAR} = 11m

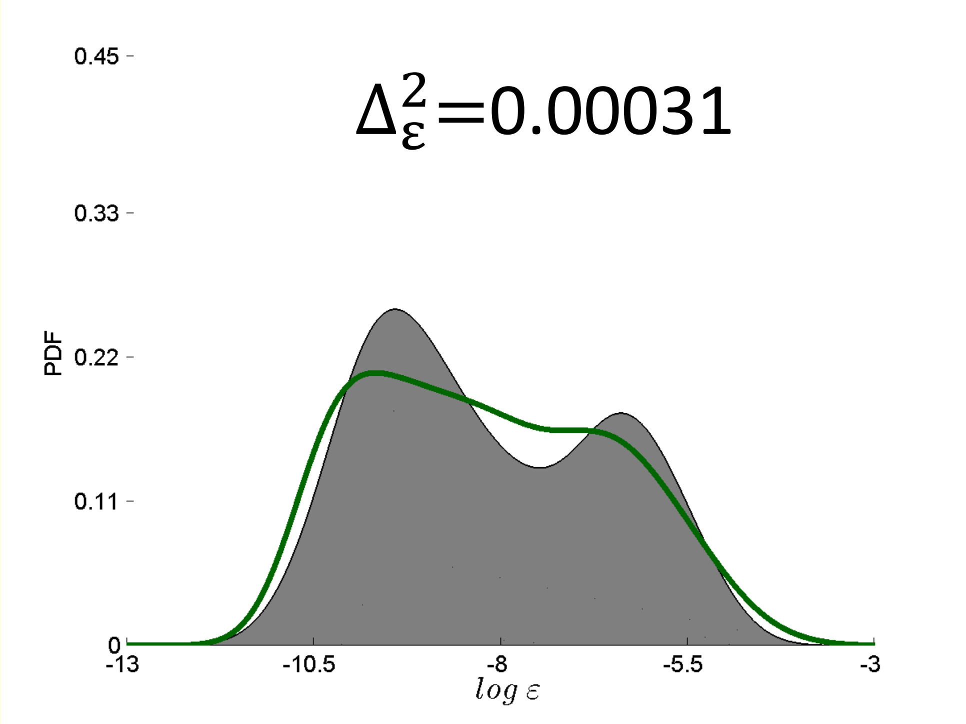


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Fonct. stabilité: Canuto A

k_{min} = $10^{-7}m^2/s^2$

Schéma optique: l_{PAR}=11m

l_{PAR} = 23m

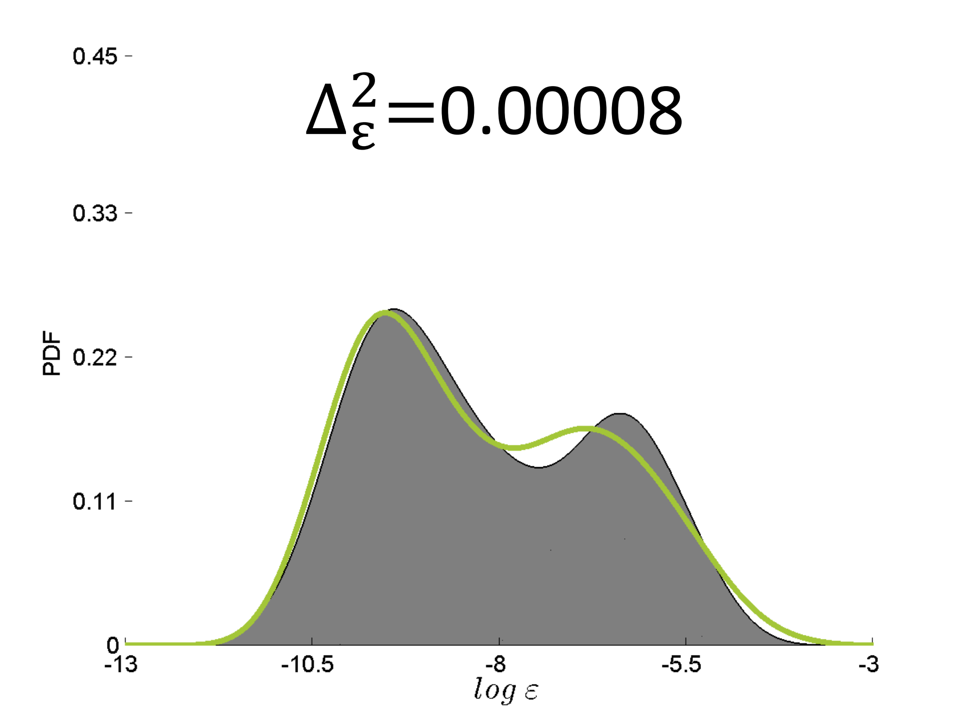


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

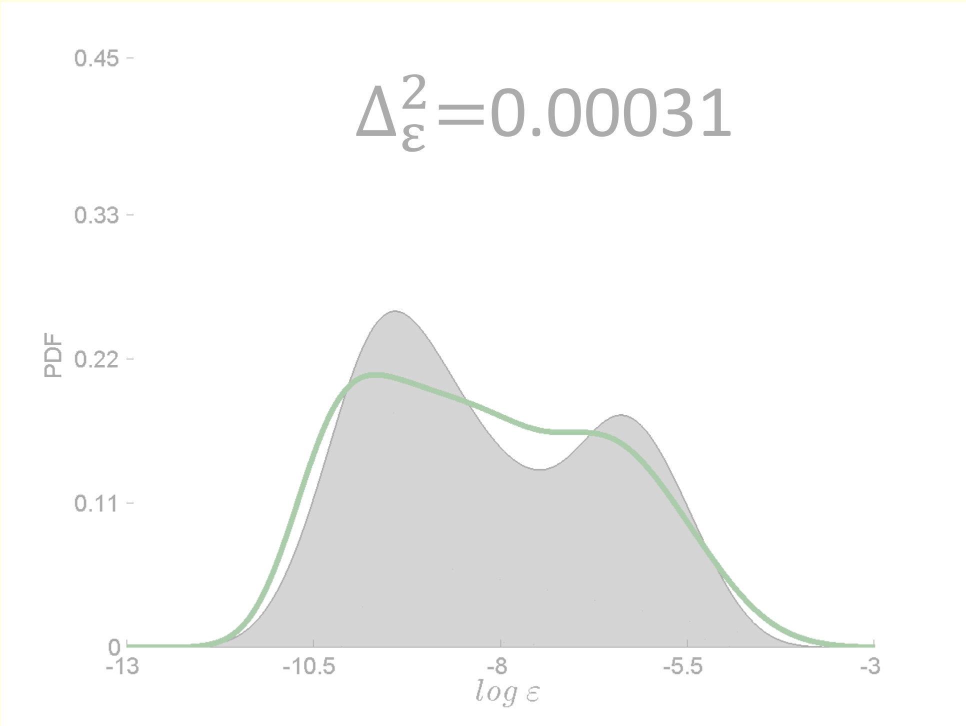
Fonct. stabilité: Canuto A

k_{min} = $10^{-7}m^2/s^2$

Schéma optique: l_{PAR}=23m

Schéma optique

l_{PAR} = 11m



l_{PAR} = 23m

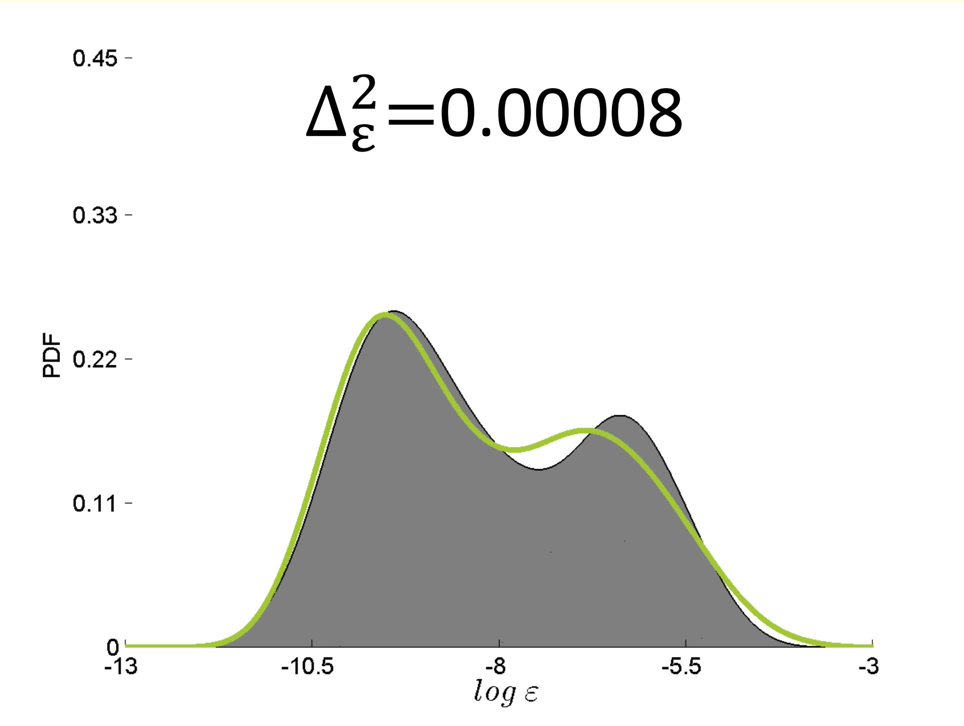


Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Fonct. stabilité: Canuto A

$k_{min} = 10^{-7} m^2/s^2$

Schéma optique: l_{PAR}=11m

Schéma fermeture: k-ϵ

Cond. limite surf.: déferlement

Fonct. stabilité: Canuto A

$k_{min} = 10^{-7} m^2/s^2$

Schéma optique: l_{PAR}=23m

Champion!

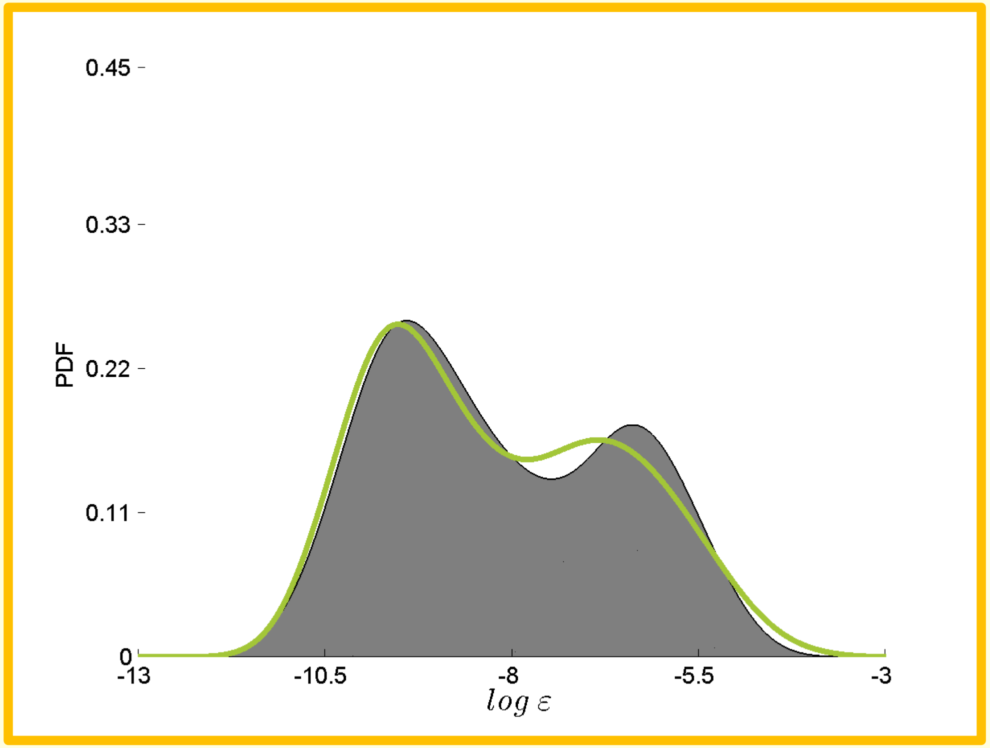


Schéma fermeture: k-ϵ

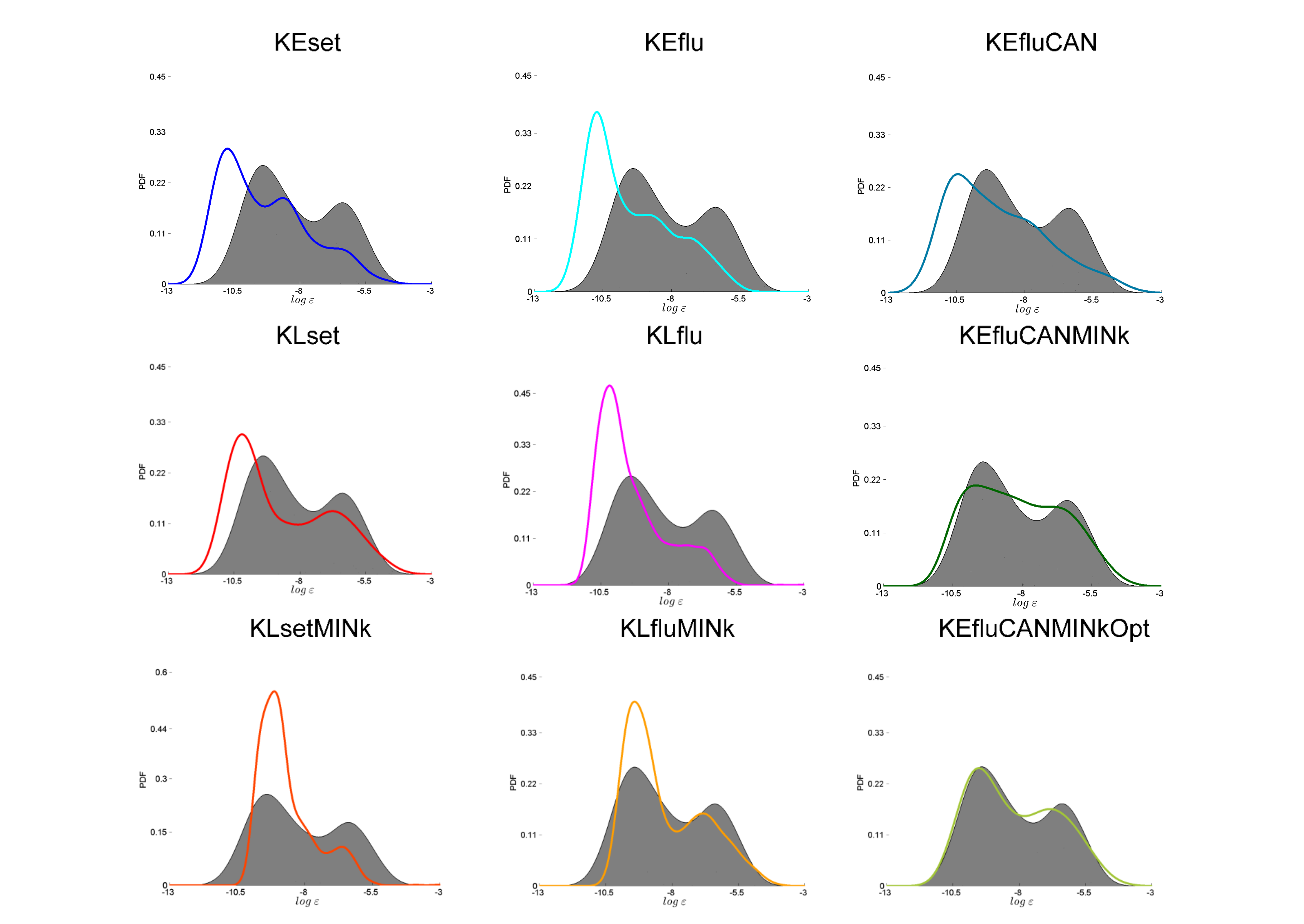
Cond. limite surf.: déferlement

k_{min} = $10^{-7}m^2/s^2$

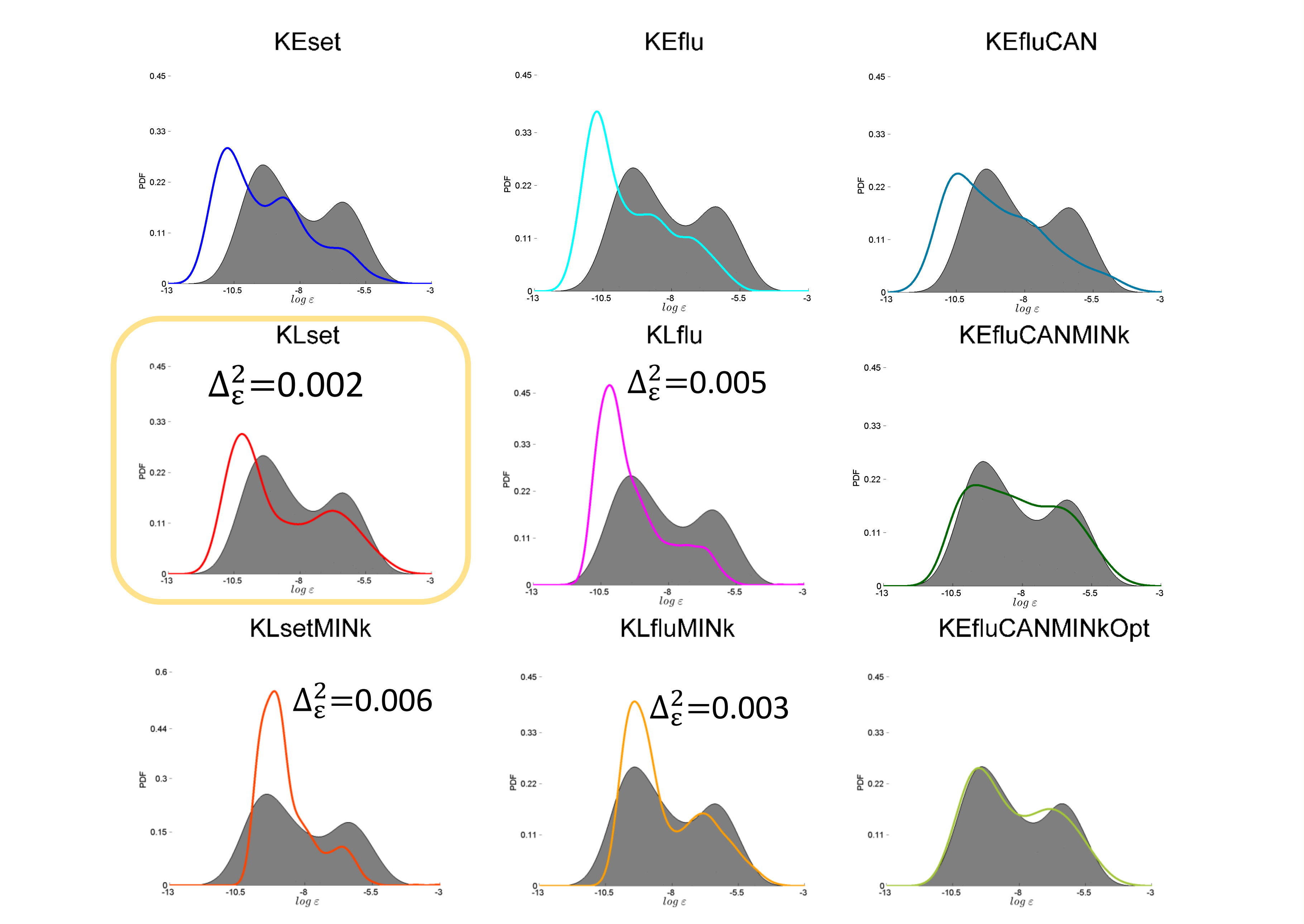
Fonct. stabilité: Canuto A

Schéma optique: l_{PAR}=23m

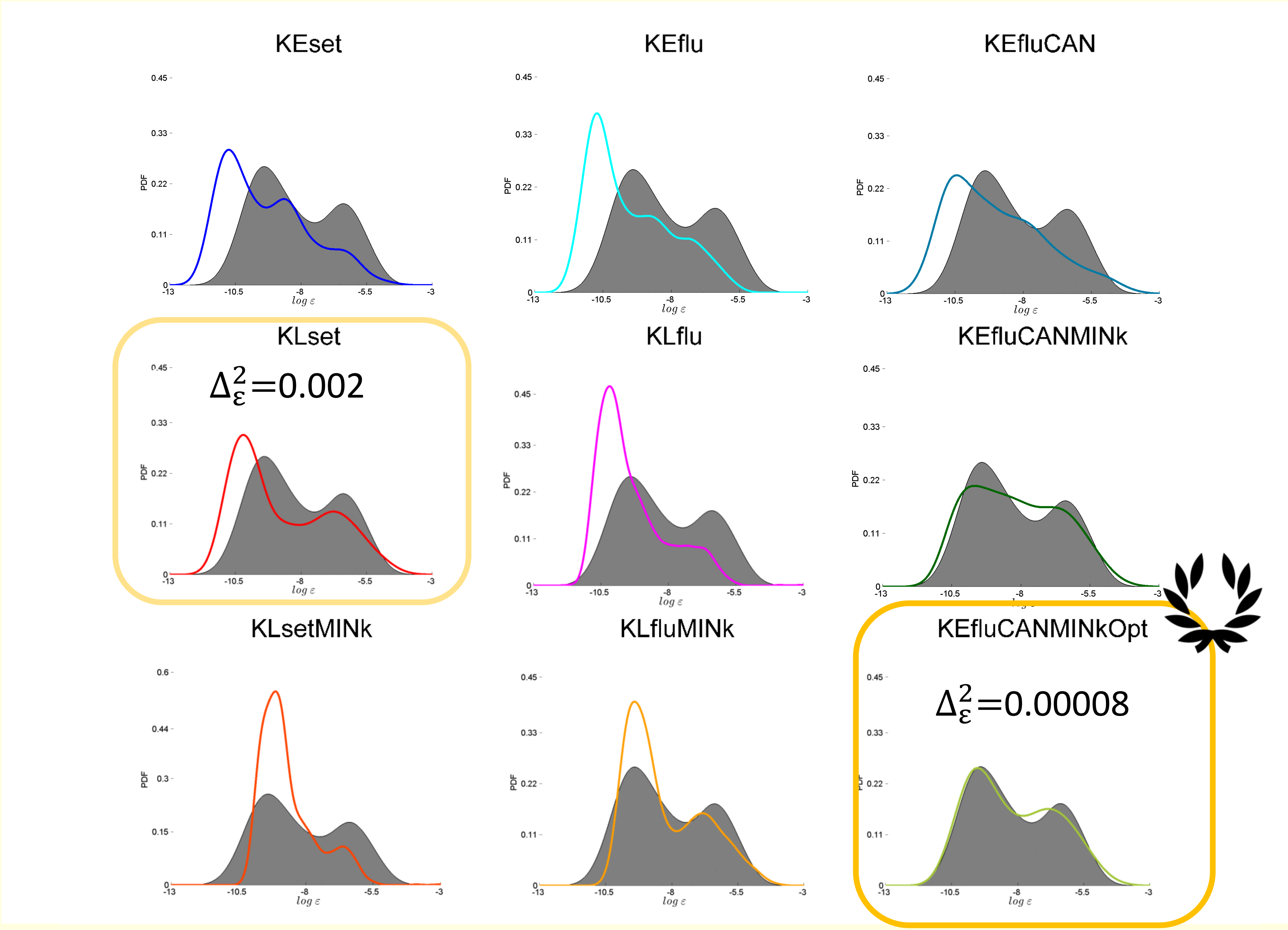
Meilleure configuration du modèle



Meilleure configuration du modèle



Meilleure configuration du modèle



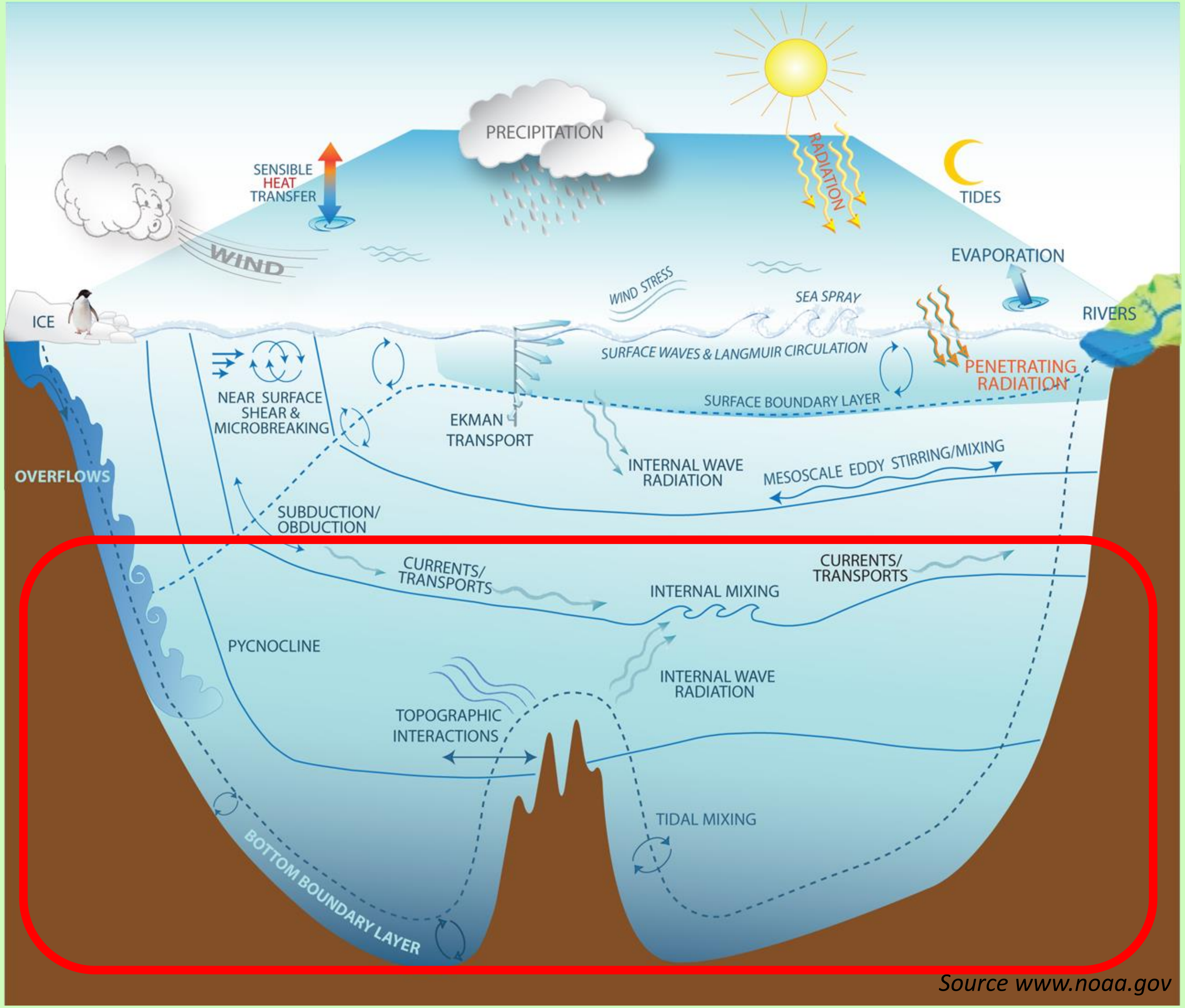
Conclusions deuxième chapitre

- Schéma k-ε meilleur que k-l.
- Conditions limites à la surface qui paramétrisent le déferlement des vagues augmentent la performance du modèle.
- Fermer les équations à un ordre supérieur améliore les prédictions du modèle.
- **Il est essentiel de correctement paramétriser la pénétration de la chaleur, modulée par la composante biologique**.

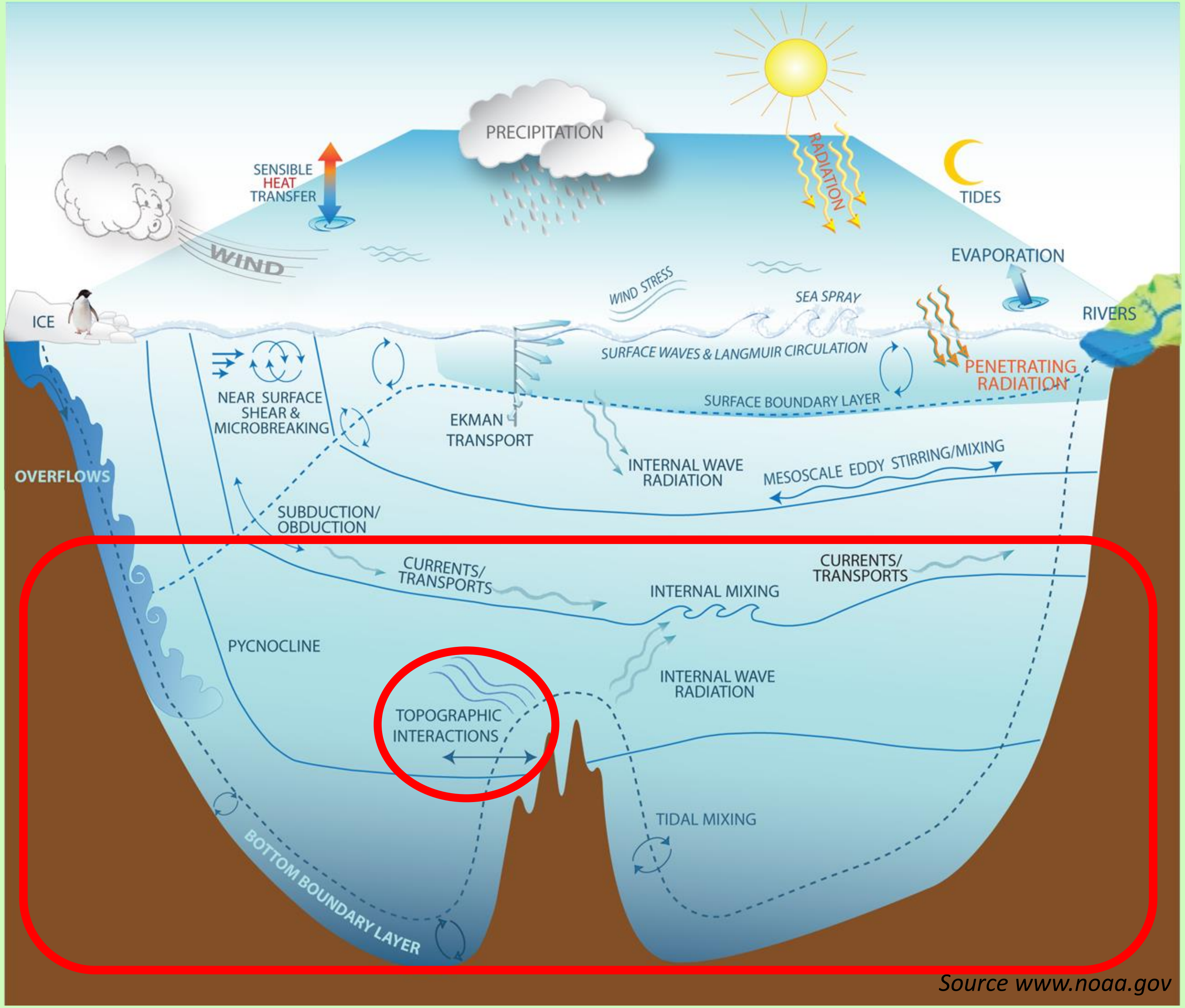
- 3^{eme} chapitre -

Connectivité marine:
explorer le rôle des courants
et
des processus turbulents.

Turbulence au fond



Turbulence au fond



Turbulence au fond et connectivité

Comment peut-elle influencer la fixation des larves?

Le transport vertical qu'elle induit peut influencer les interactions des communautés de l'océan profond avec celles côtières.

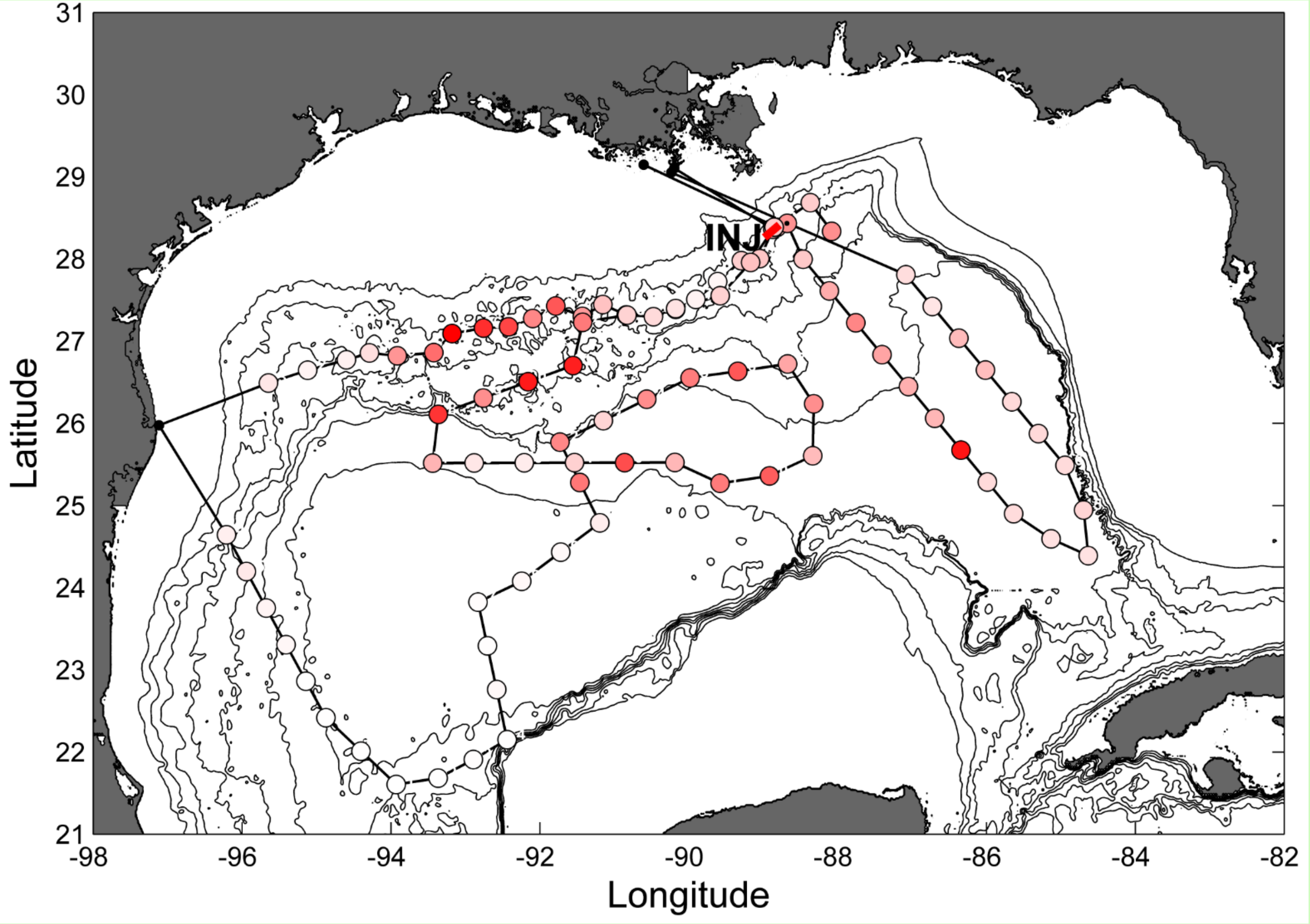
Turbulence au fond et connectivité

Comment peut-elle influencer la fixation des larves?

Le transport vertical qu'elle induit peut influencer les interactions des communautés de l'océan profond avec celles côtières.

On doit comprendre la turbulence au fond!

Stage WHOI (Mai - Août 2015)



Campagne GISR (PI J. Ledwell)

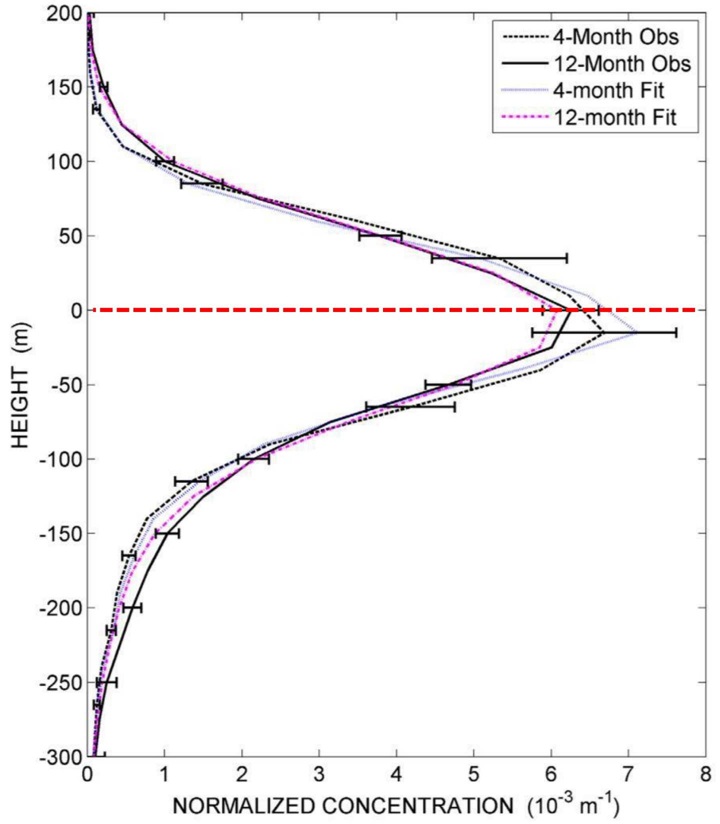
28 Juillet 2012 – 28 Juillet 2013

Données in situ

Traceur passif

Mesures VMP de turbulence

Concentration vertical moyenne de CF_3SF_5



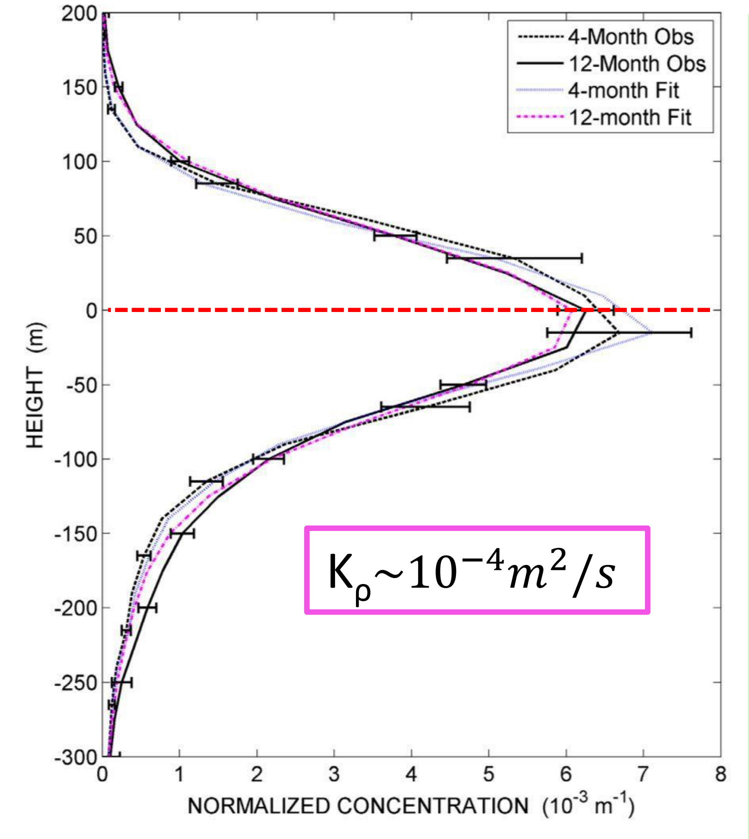
Données de la campagne GISR; figures d'après Ledwell et al. (2016)

Données in situ

Traceur passif

Mesures VMP de turbulence

Concentration vertical moyenne de CF_3SF_5

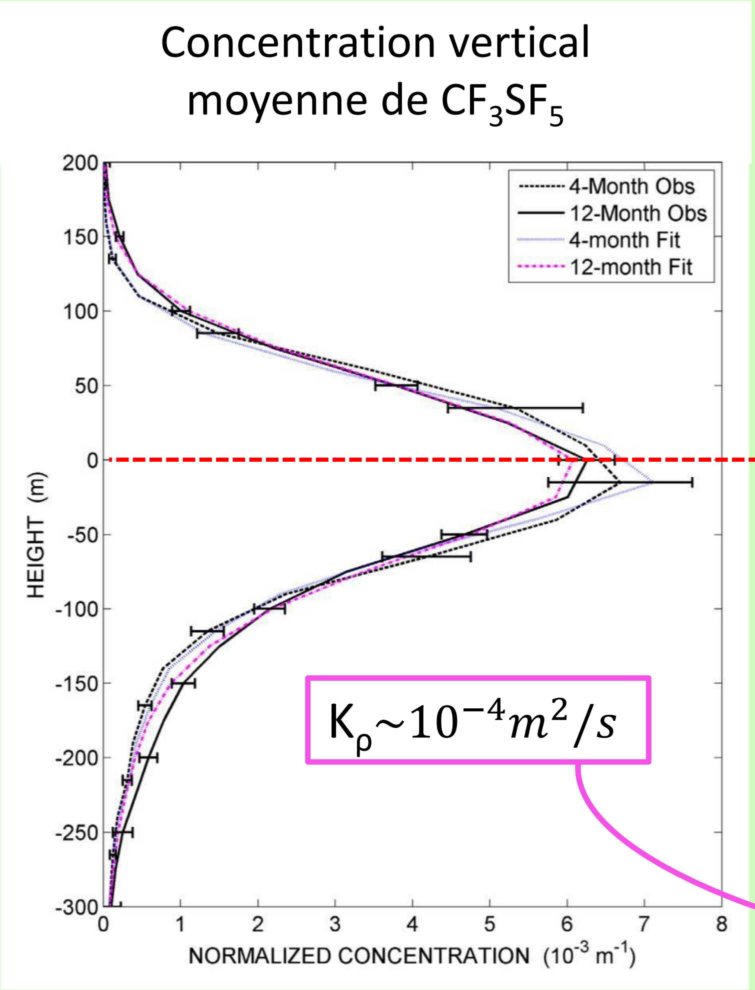


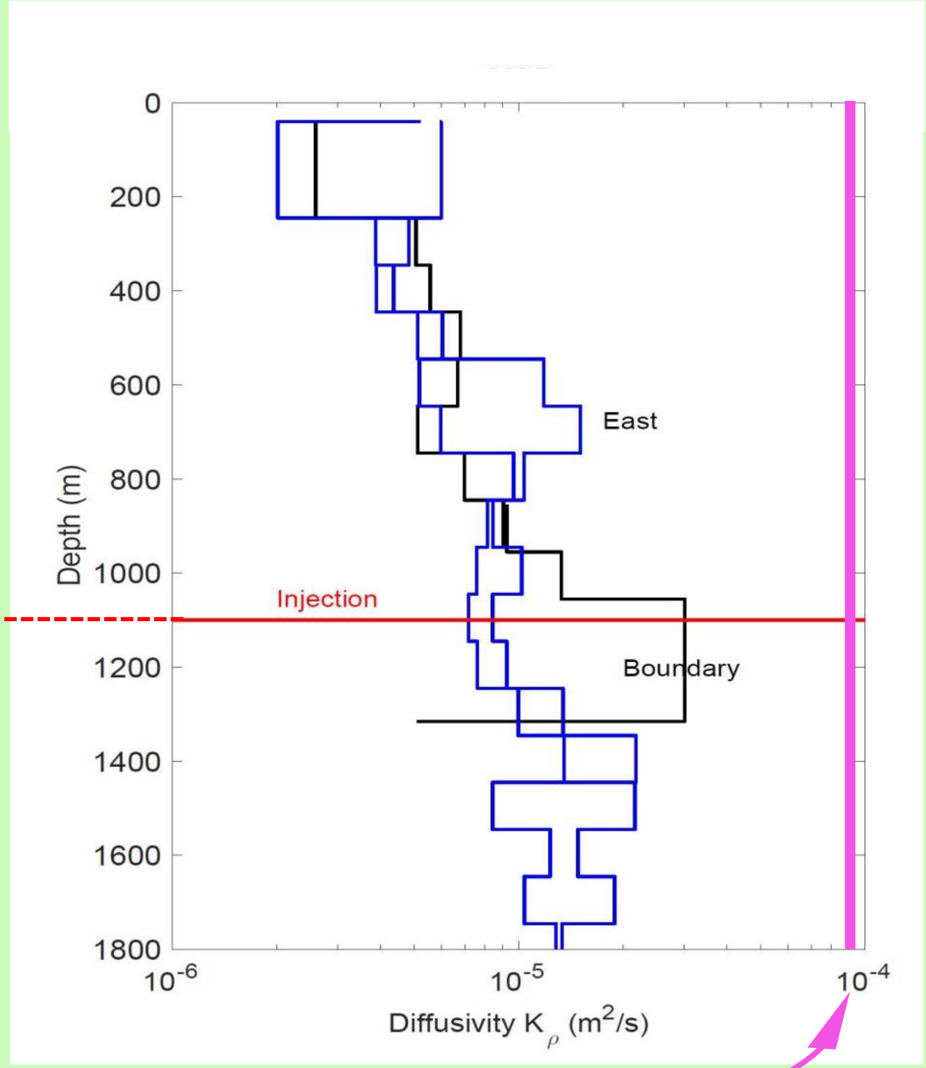
Données de la campagne GISR; figures d'après Ledwell et al. (2016)

Données in situ

Traceur passif

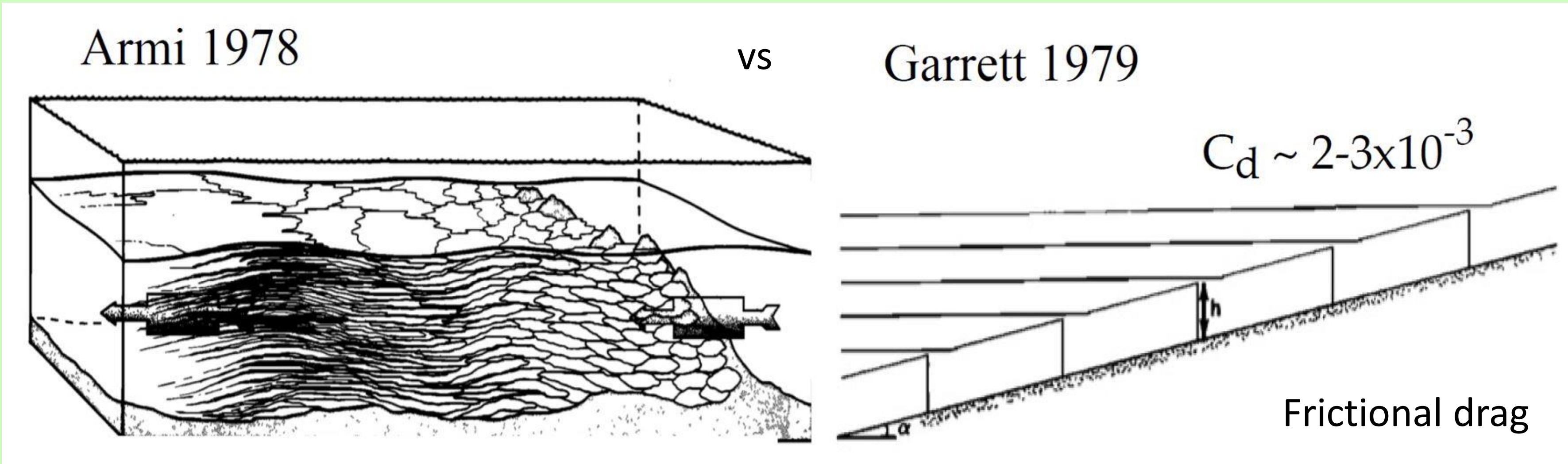
Mesures VMP de turbulence



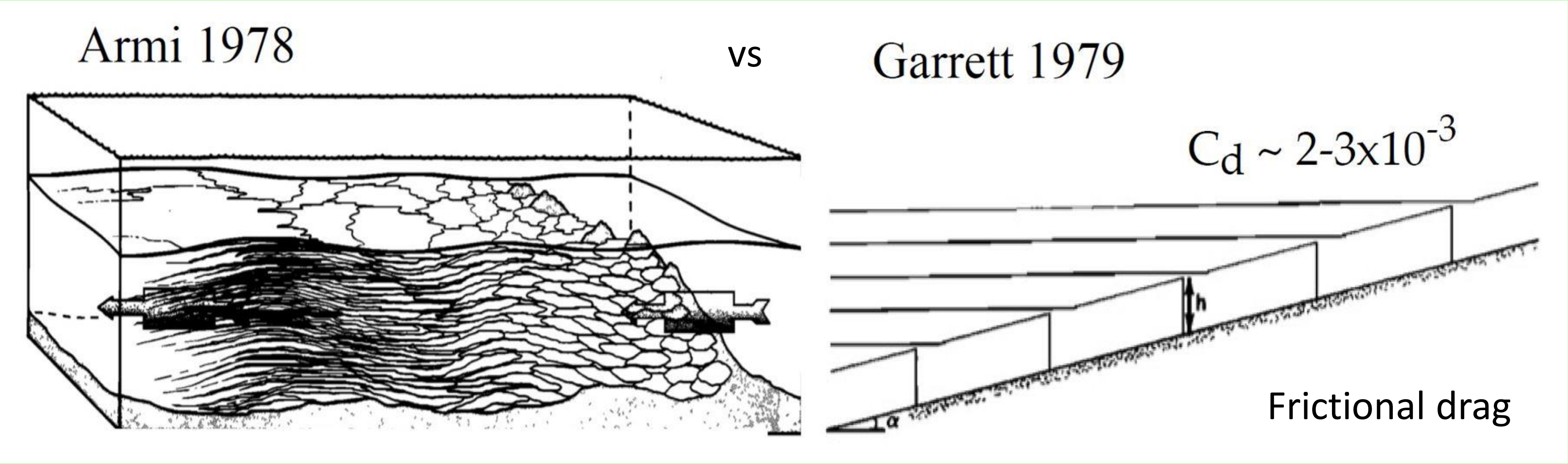


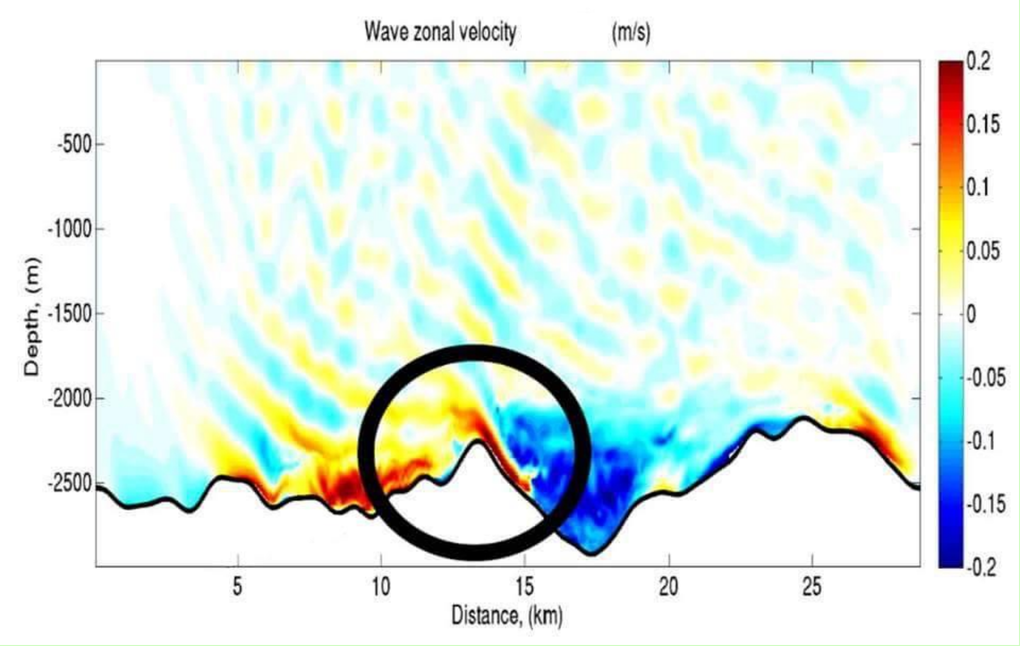
Données de la campagne GISR; figures d'après Ledwell et al. (2016)

Différents points de vue sur la turbulence au fond



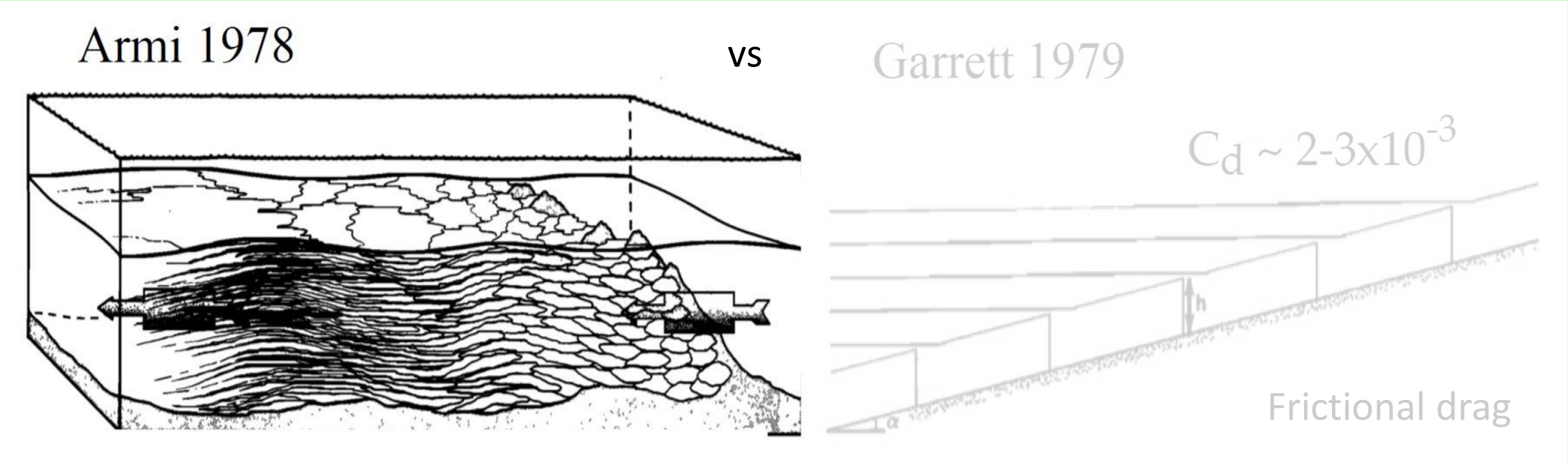
Différents points de vue sur la turbulence au fond

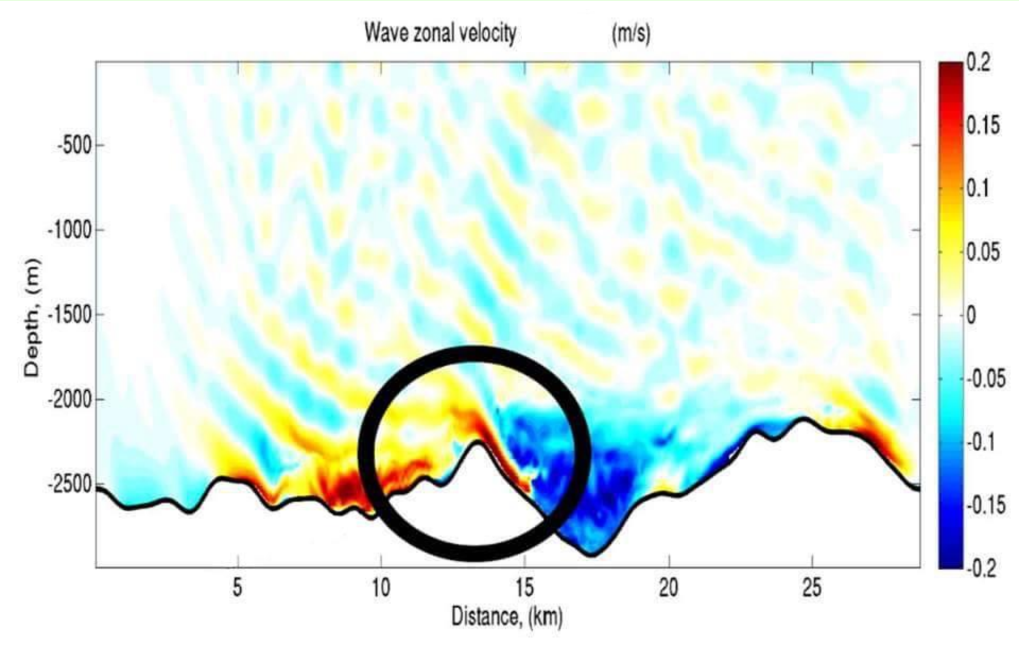




Remerciements à Max Nikurashin

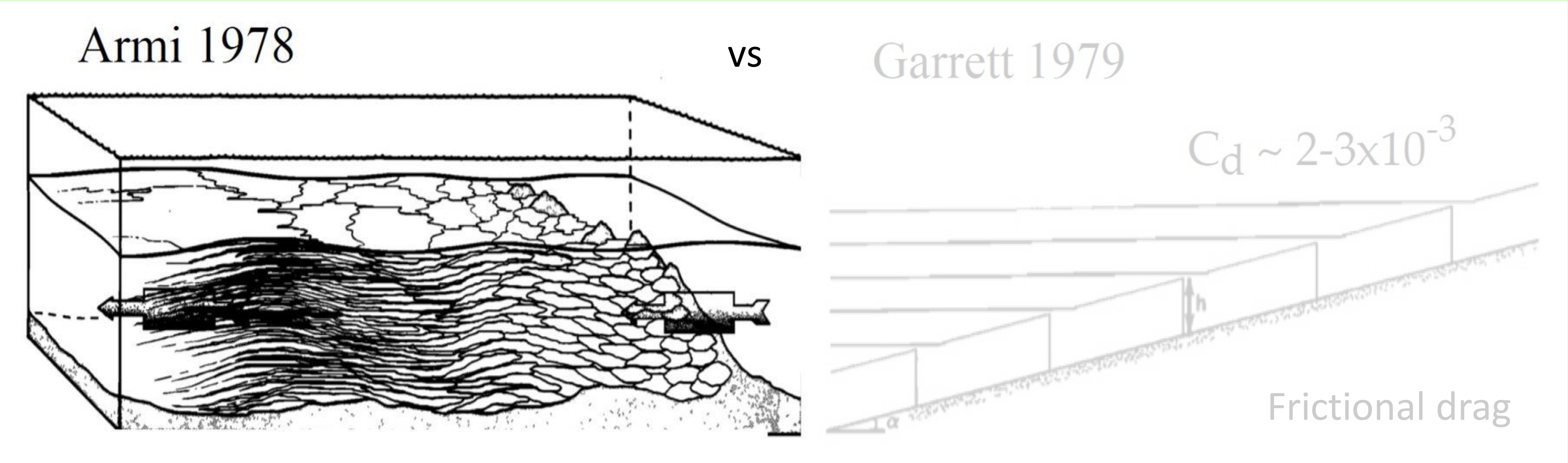
Différents points de vue sur la turbulence au fond

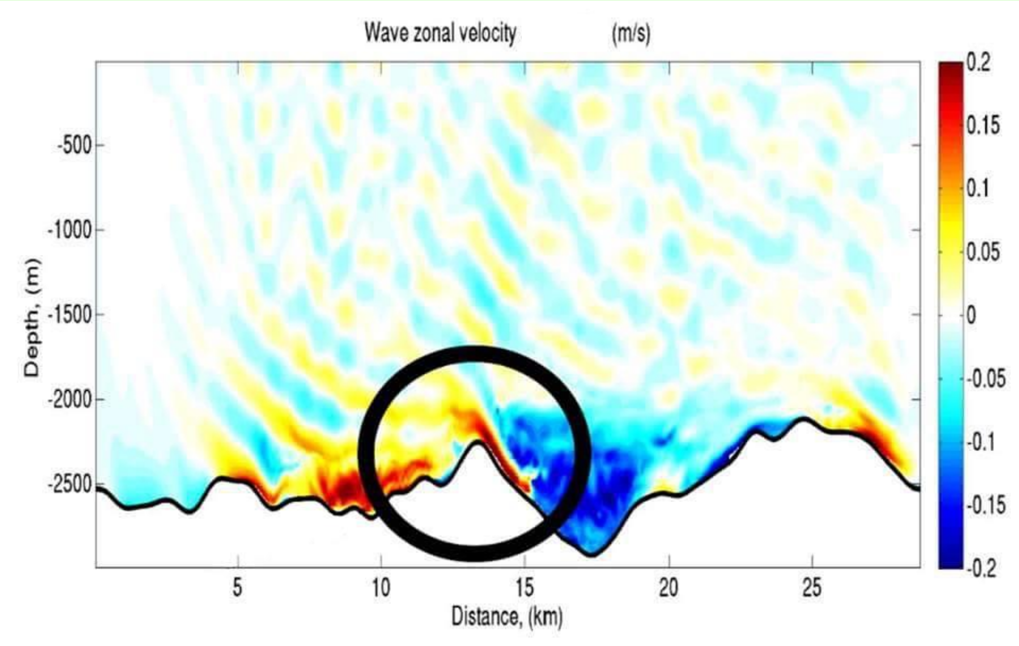




Remerciements à Max Nikurashin

Différents points de vue sur la turbulence au fond





Remerciements à Max Nikurashin

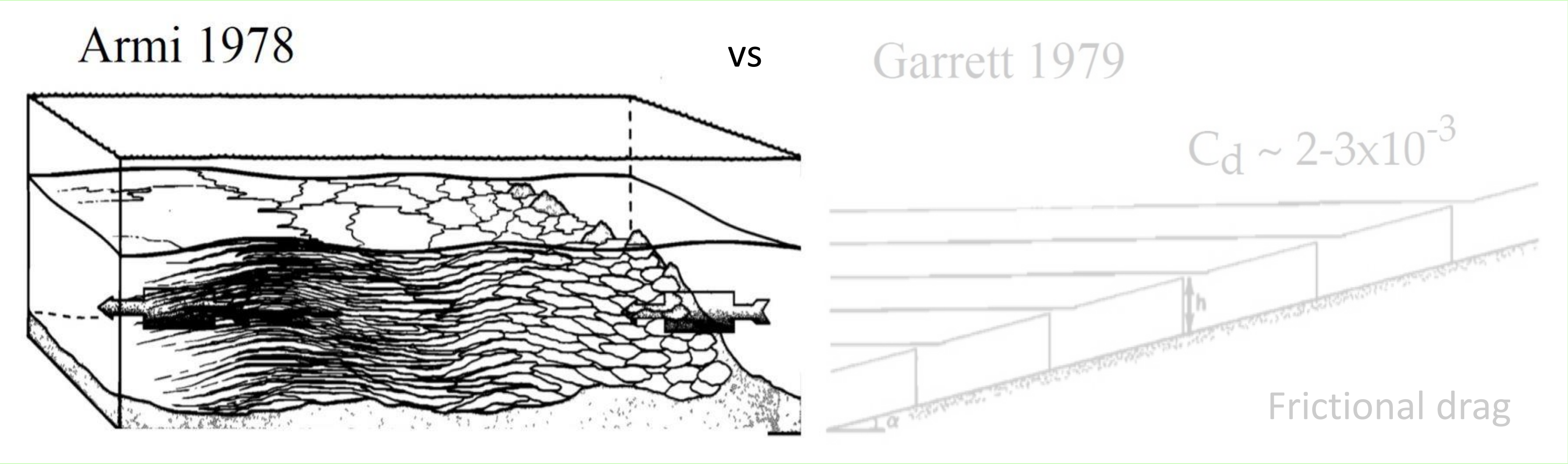
Traînée de forme?

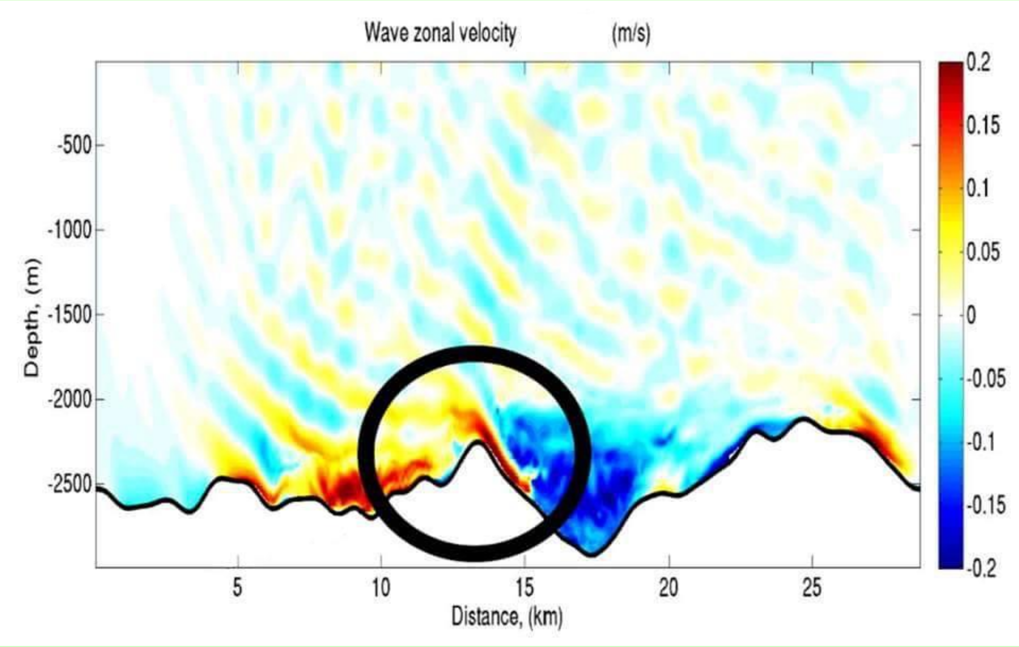
$$D = -\int p\nabla H \, dx \text{ [N/m]}$$

$$s = \frac{Nh_{rms}}{U}$$

Baines (1995)

Différents points de vue sur la turbulence au fond





Remerciements à Max Nikurashin

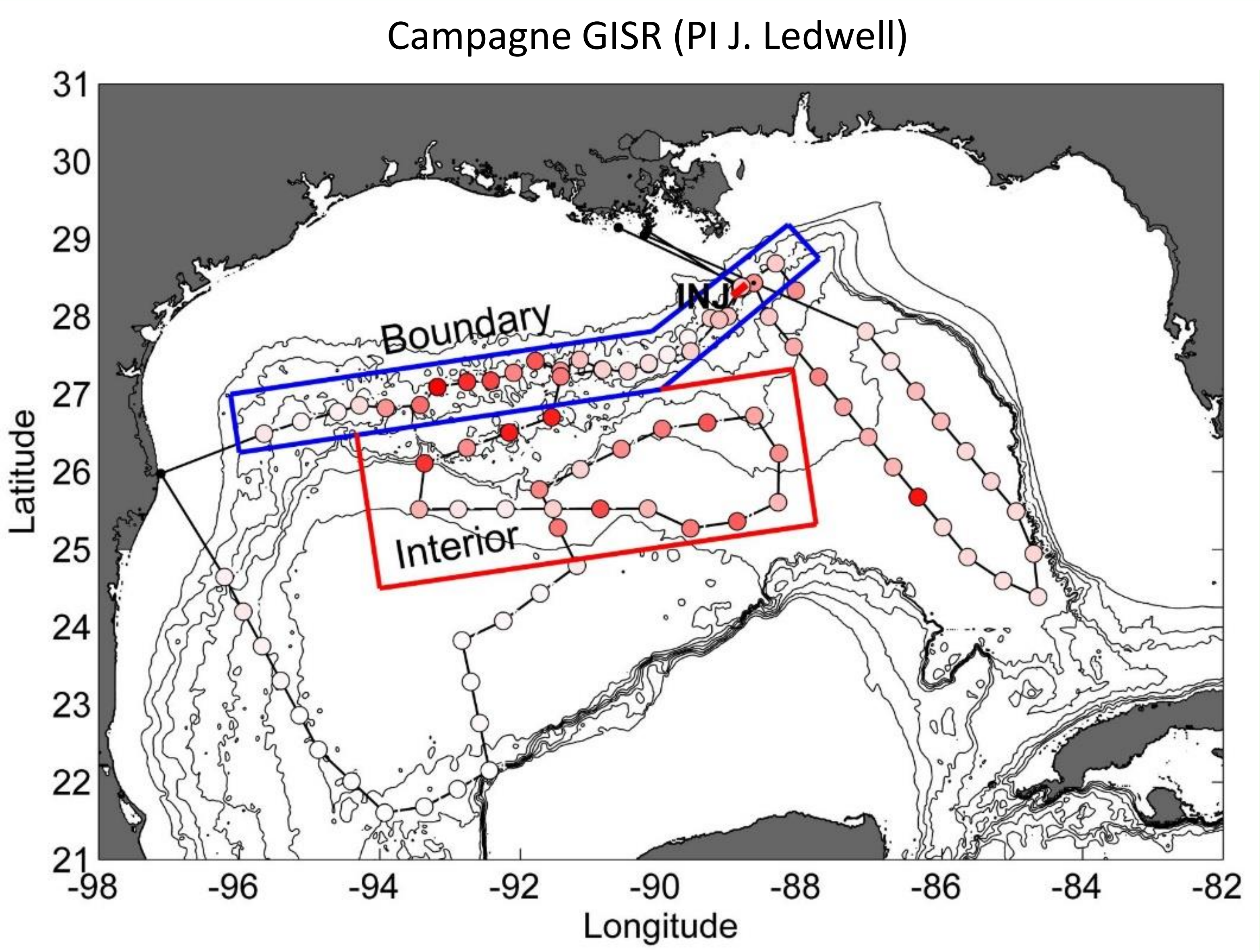
Traînée de forme?

$$D = -\int p\nabla H \, dx \text{ [N/m]}$$

$$s = \frac{N h_{rms}}{U} \sim O(1)$$

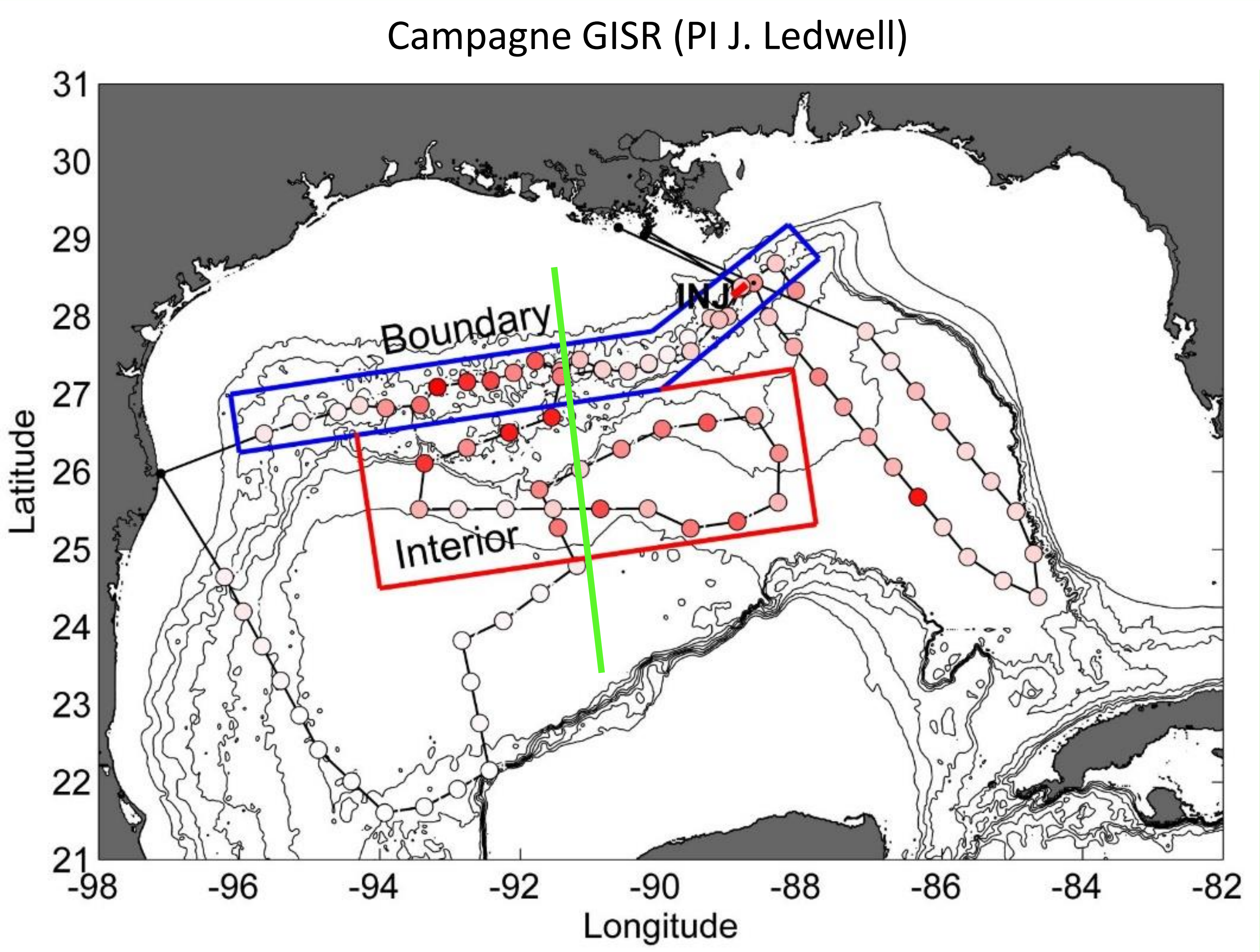
Baines (1995)

Modèle numérique d'advection-diffusion



Traceur injecté à 1250m de profondeur (150m au-dessus du fond).
Échantillonnage 4 mois après injection.

Modèle numérique d'advection-diffusion



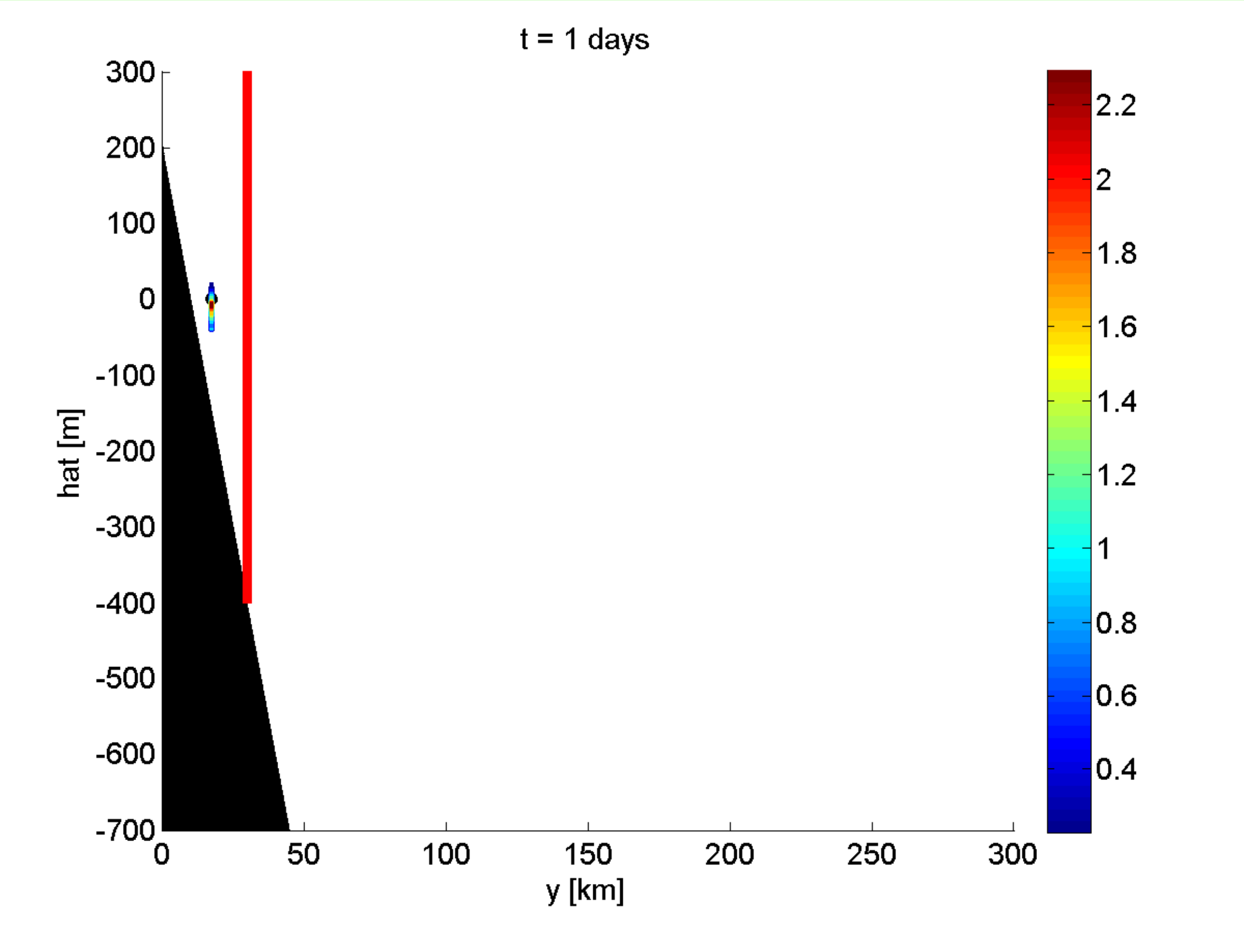
Traceur injecté à 1250m de profondeur (150m au-dessus du fond).
Échantillonnage 4 mois après injection.

Modèle numérique d'advection-diffusion

$$K_{\perp}(y,z) = K_0 \exp\left(-\frac{z - z_0}{h}\right), \qquad h = \beta \frac{U(t)}{N(z)} \sim 50m$$

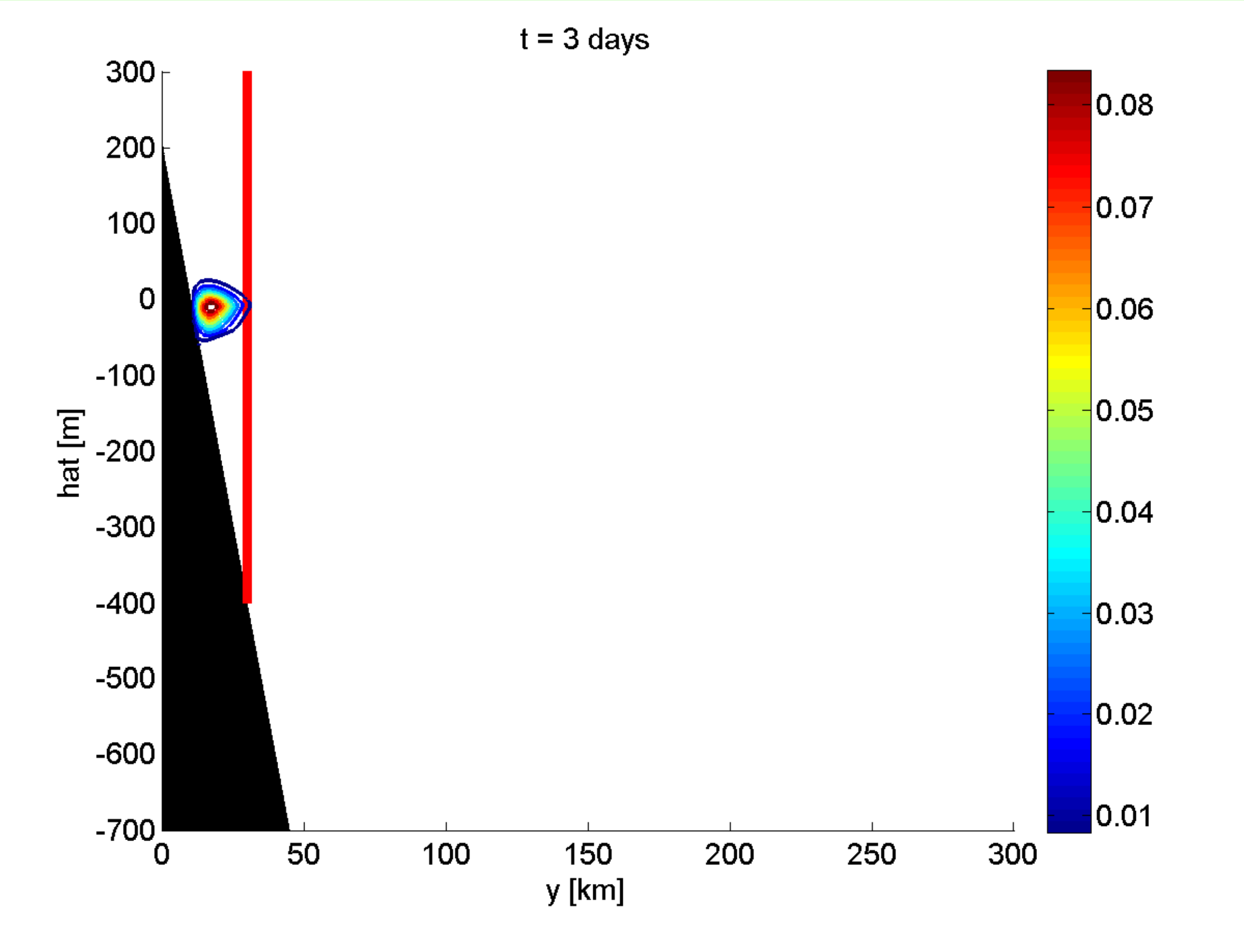
Modèle numérique d’advection-diffusion

$$K_{\perp}(y,z) = K_0 \exp\left(-\frac{z - z_0}{h}\right), \qquad h = \beta \frac{U(t)}{N(z)} \sim 50m$$



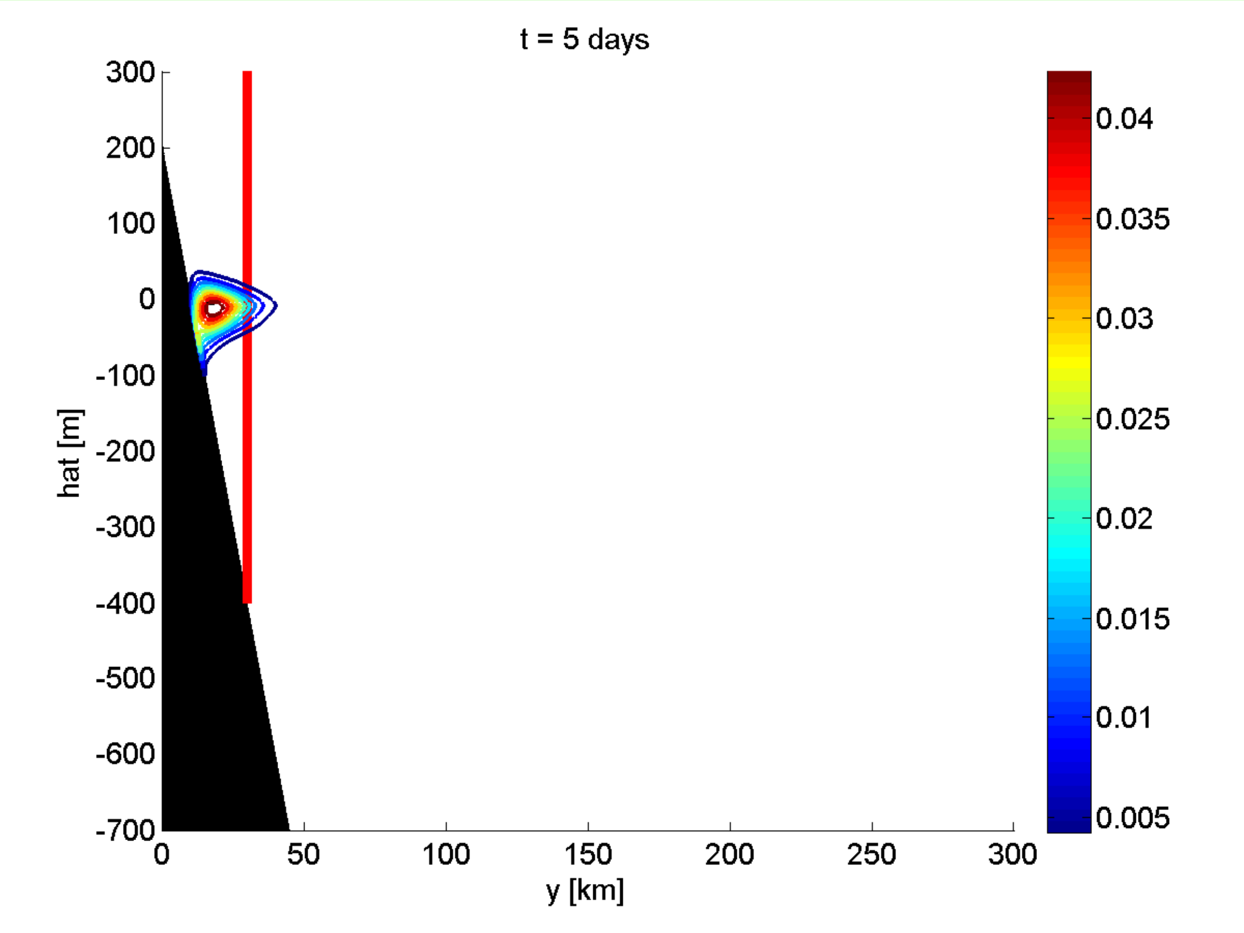
Modèle numérique d'advection-diffusion

$$K_{\perp}(y,z) = K_0 \exp\left(-\frac{z-z_0}{h}\right), \qquad h = \beta \frac{U(t)}{N(z)} \sim 50m$$



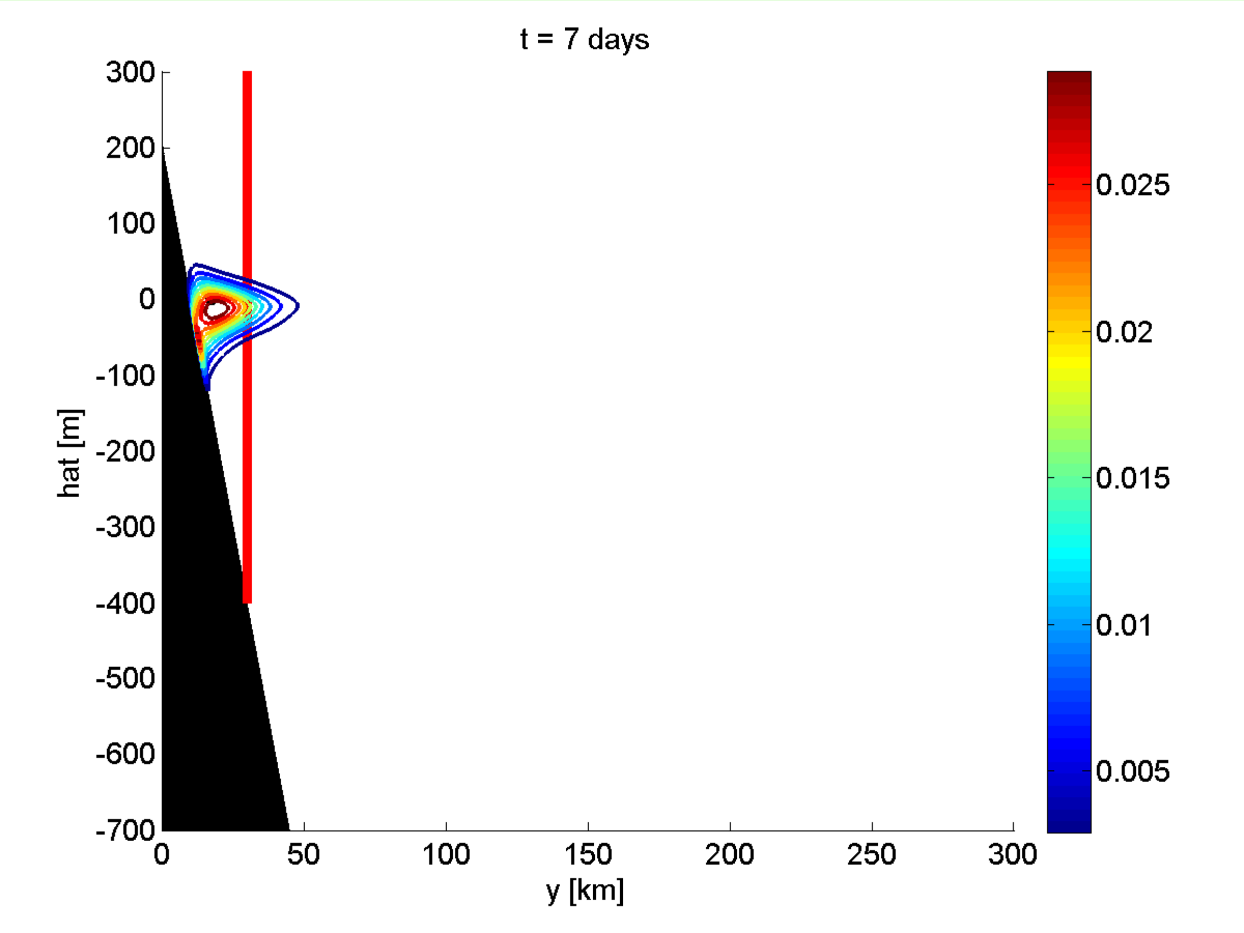
Modèle numérique d'advection-diffusion

$$K_{\perp}(y,z) = K_0 \exp\left(-\frac{z-z_0}{h}\right), \qquad h = \beta \frac{U(t)}{N(z)} \sim 50m$$



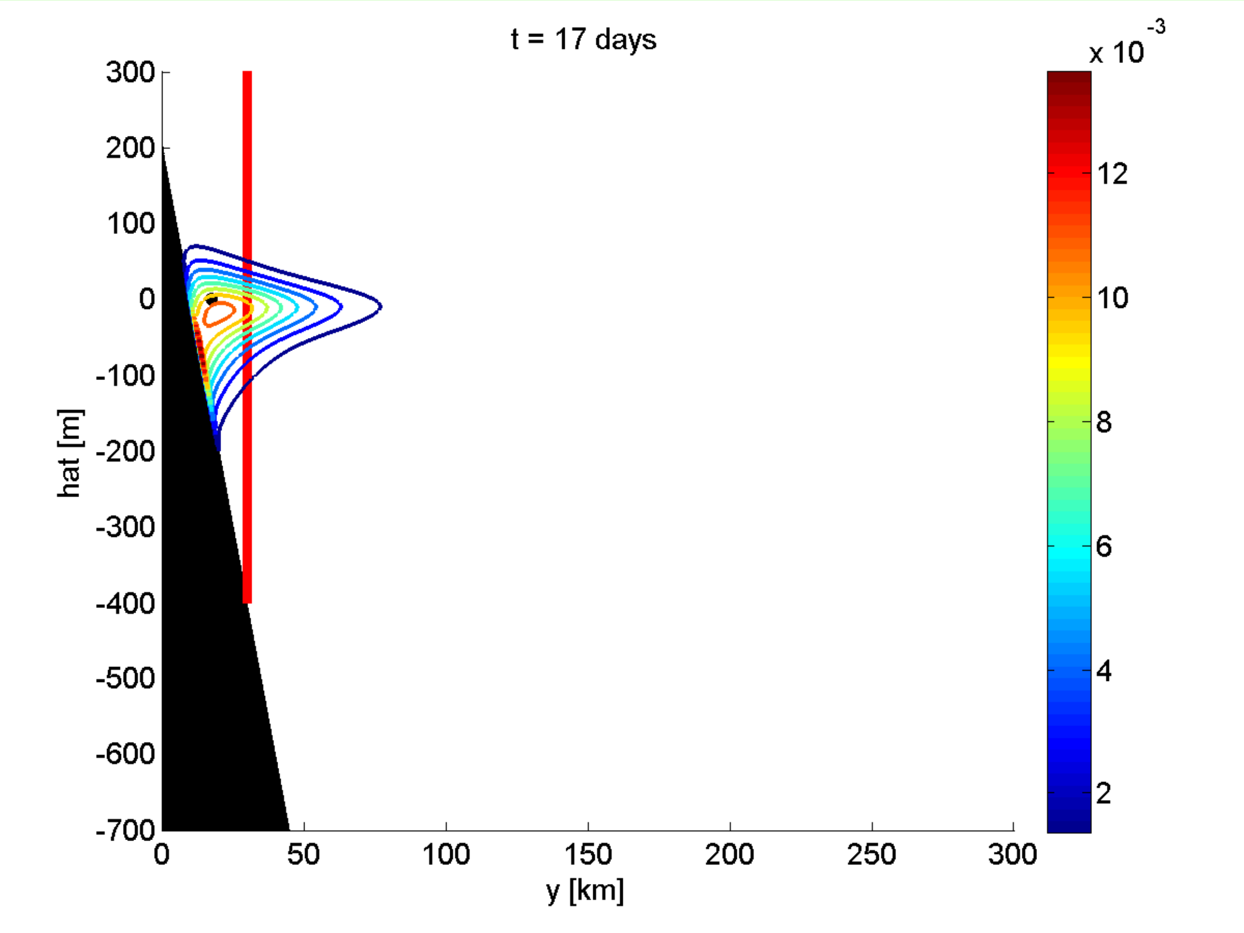
Modèle numérique d'advection-diffusion

$$K_{\perp}(y,z) = K_0 \exp\left(-\frac{z-z_0}{h}\right), \qquad h = \beta\,\frac{U(t)}{N(z)} \sim 50m$$



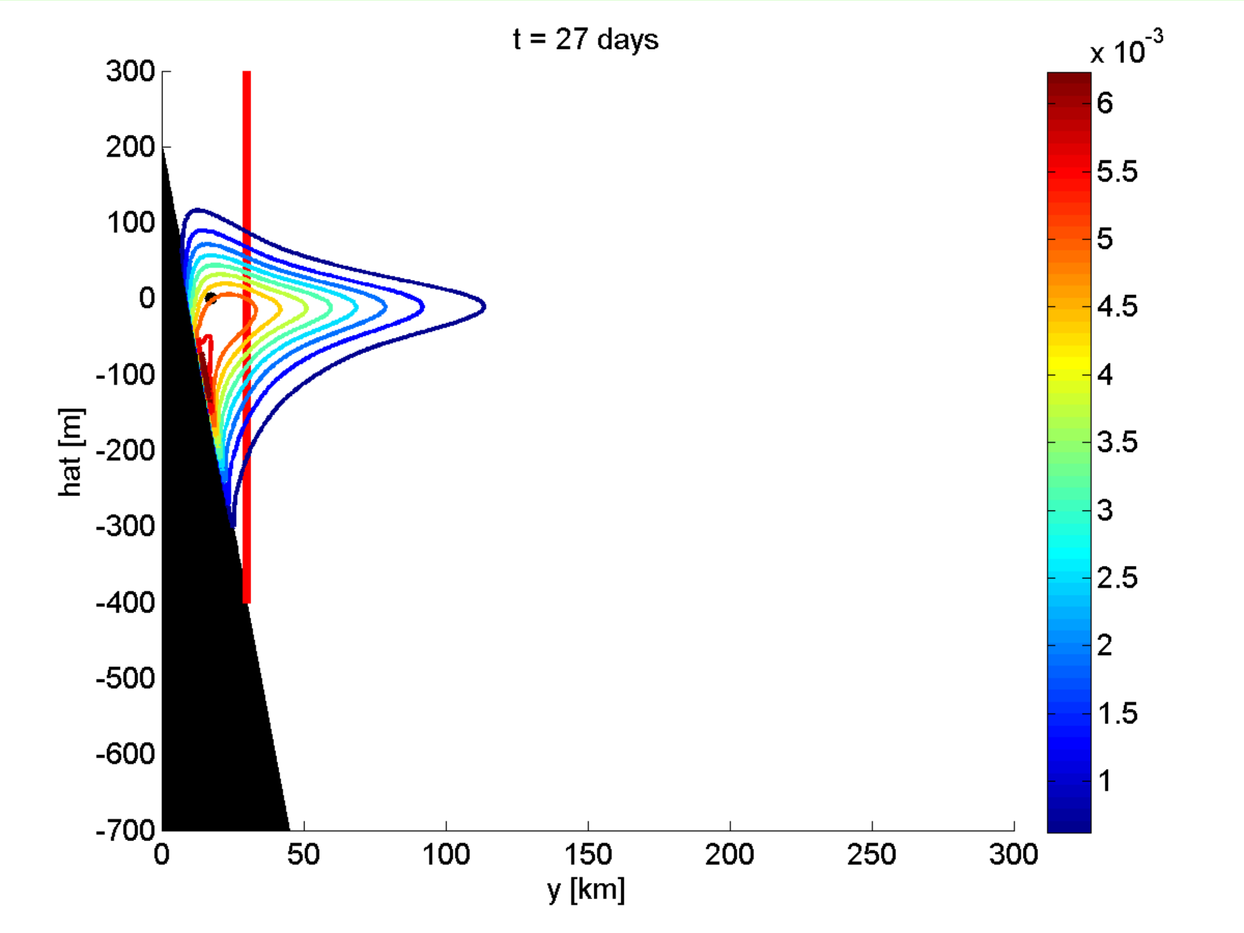
Modèle numérique d'advection-diffusion

$$K_{\perp}(y,z) = K_0 \exp\left(-\frac{z-z_0}{h}\right), \qquad h = \beta\frac{U(t)}{N(z)} \sim 50m$$



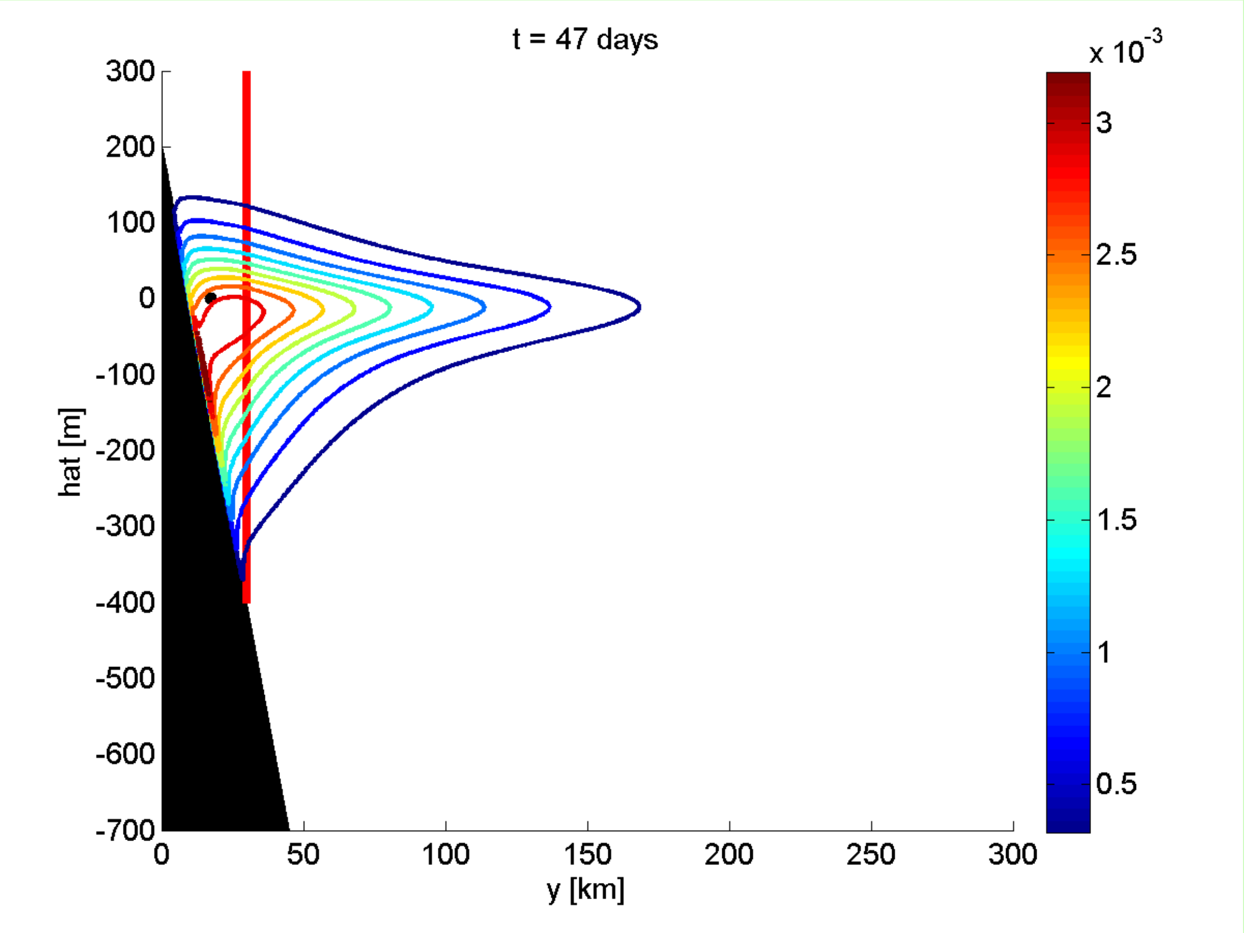
Modèle numérique d’advection-diffusion

$$K_{\perp}(y,z) = K_0 \exp\left(-\frac{z-z_0}{h}\right), \qquad h = \beta \frac{U(t)}{N(z)} \sim 50m$$



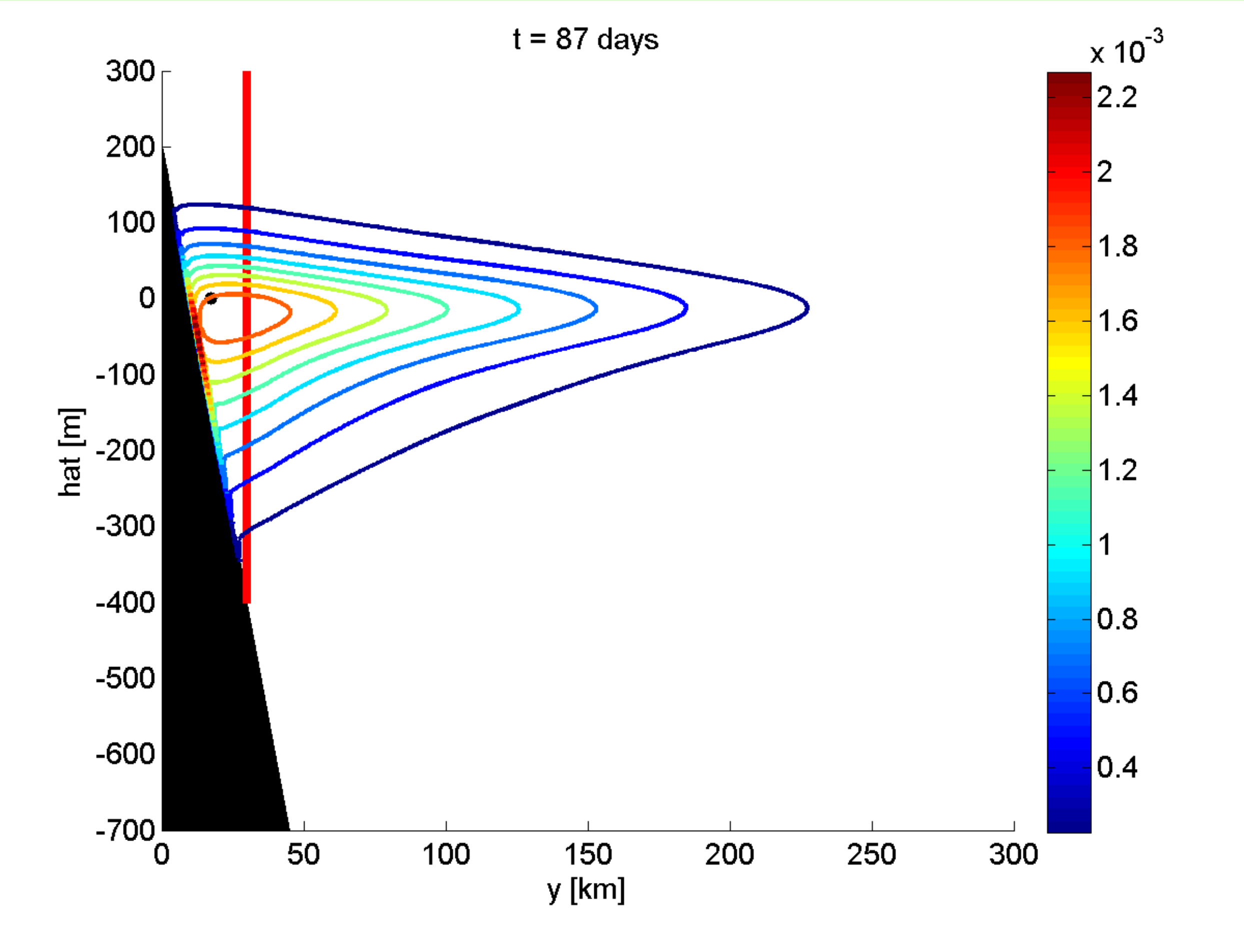
Modèle numérique d'advection-diffusion

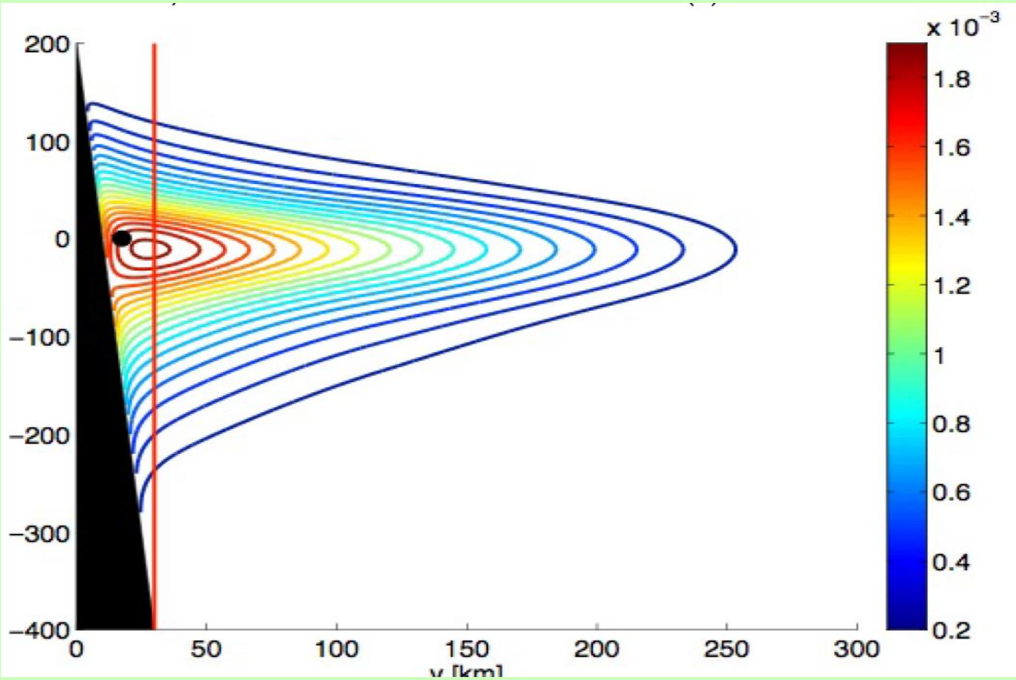
$$K_{\perp}(y,z) = K_0 \exp\left(-\frac{z - z_0}{h}\right), \qquad h = \beta \frac{U(t)}{N(z)} \sim 50m$$



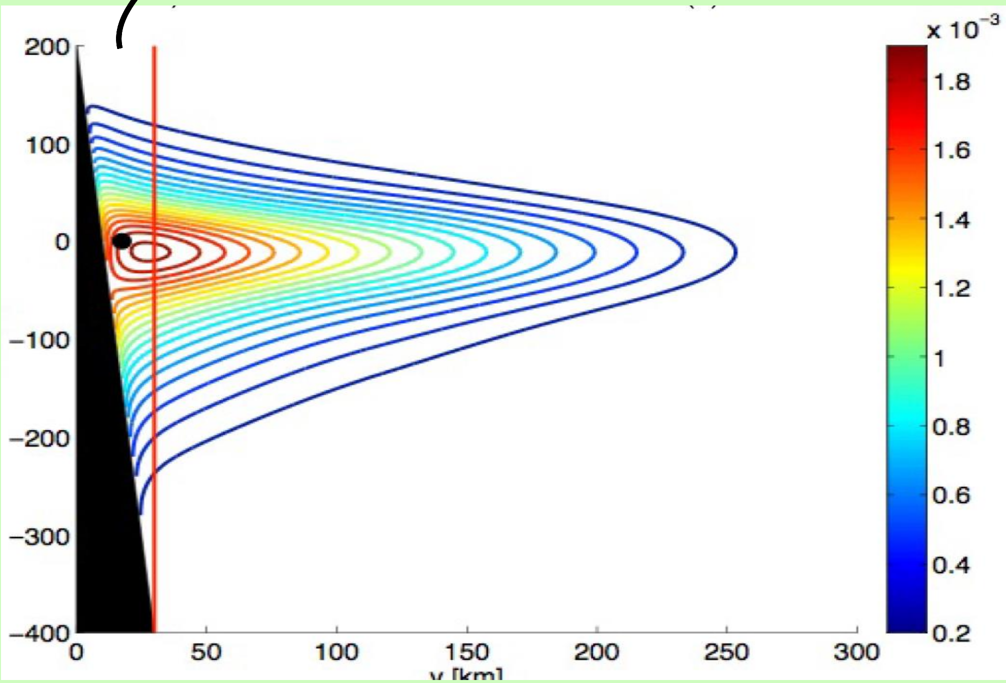
Modèle numérique d'advection-diffusion

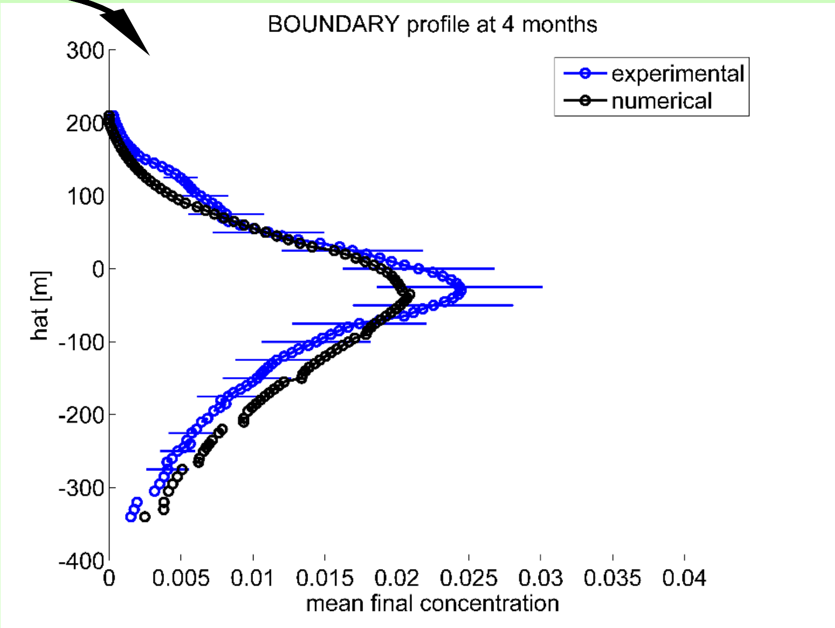
$$K_{\perp}(y,z) = K_0 \exp\left(-\frac{z - z_0}{h}\right), \qquad h = \beta \frac{U(t)}{N(z)} \sim 50m$$

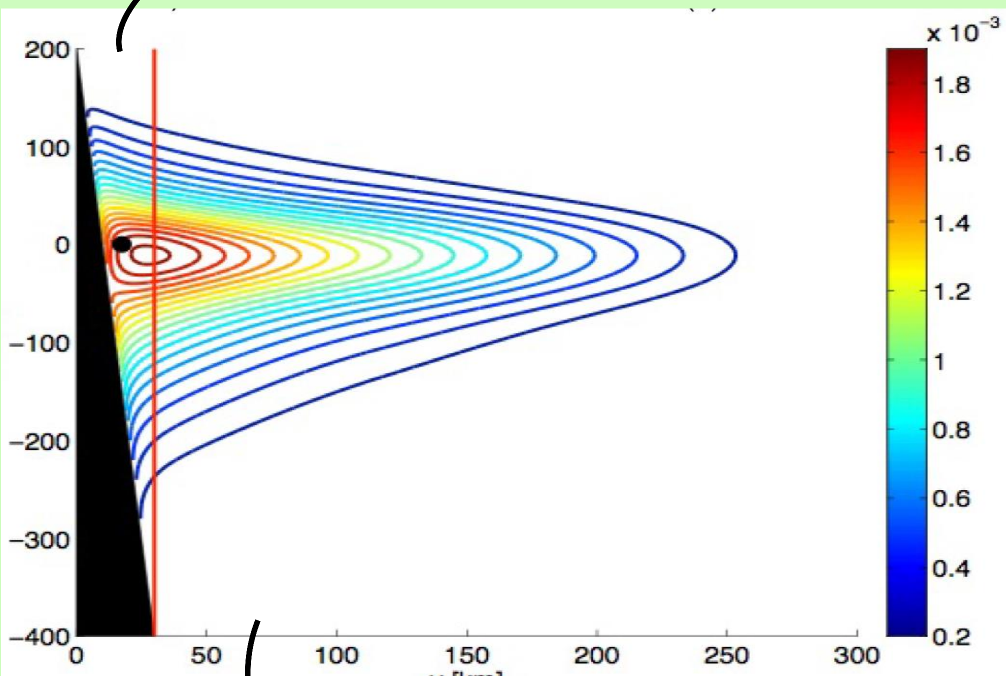


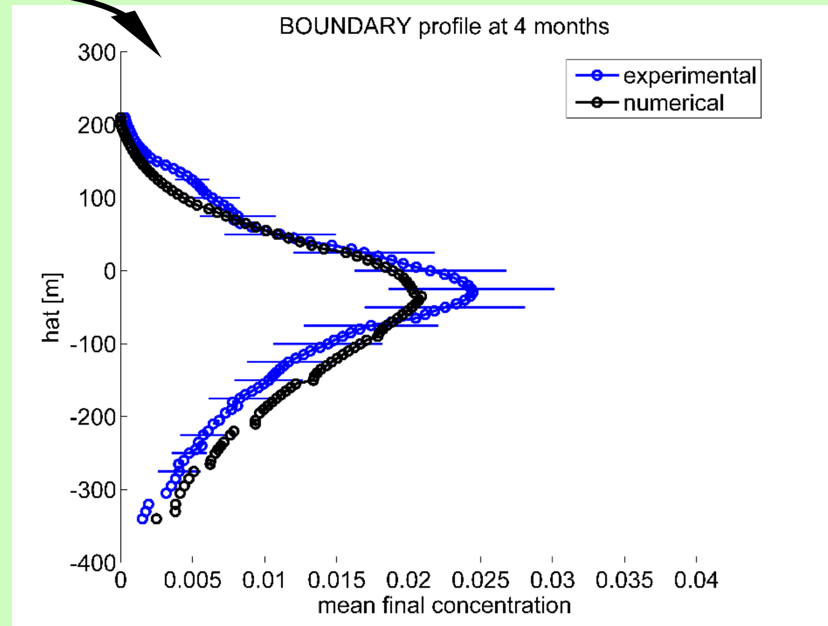


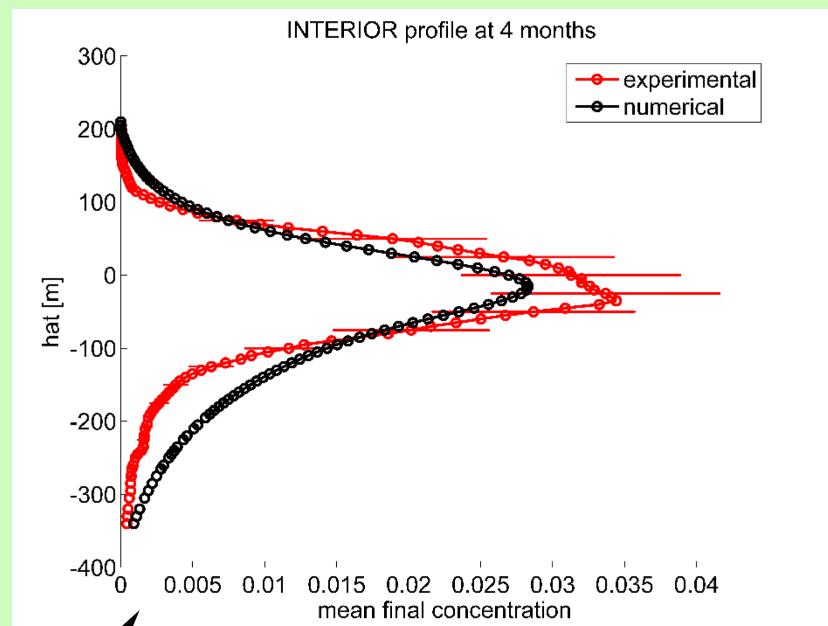
200
100
0
−100
−200
−300
−400
0
50
100
150
200
250
300
y [km]
x 10^{-3}
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2

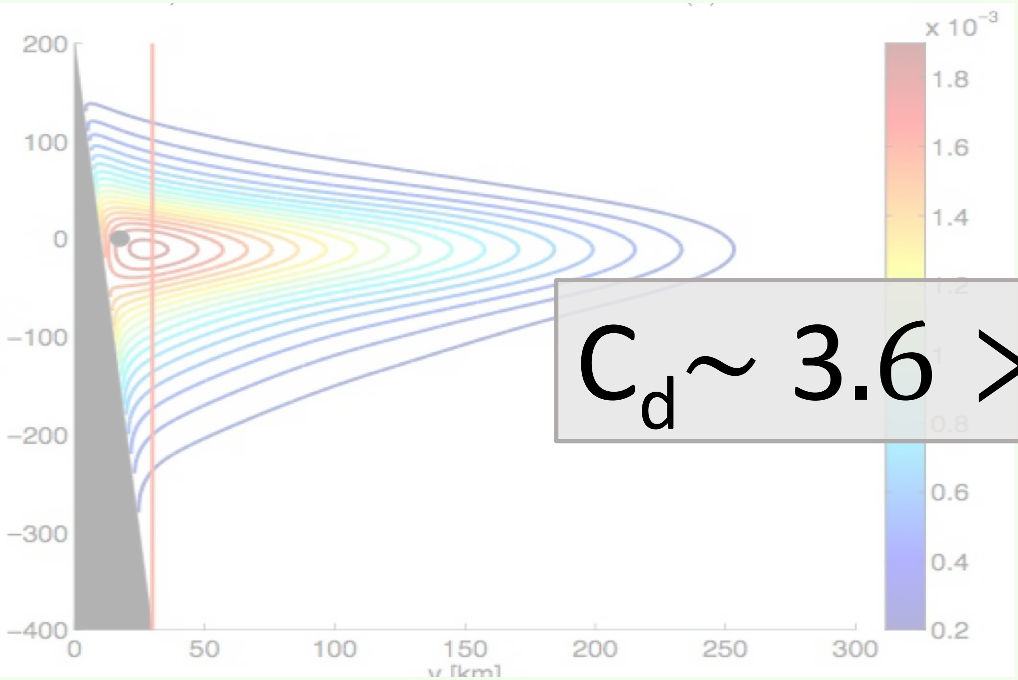

x 10^-3
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
200
100
0
−100
−200
−300
−400
0
50
100
150
200
250
300

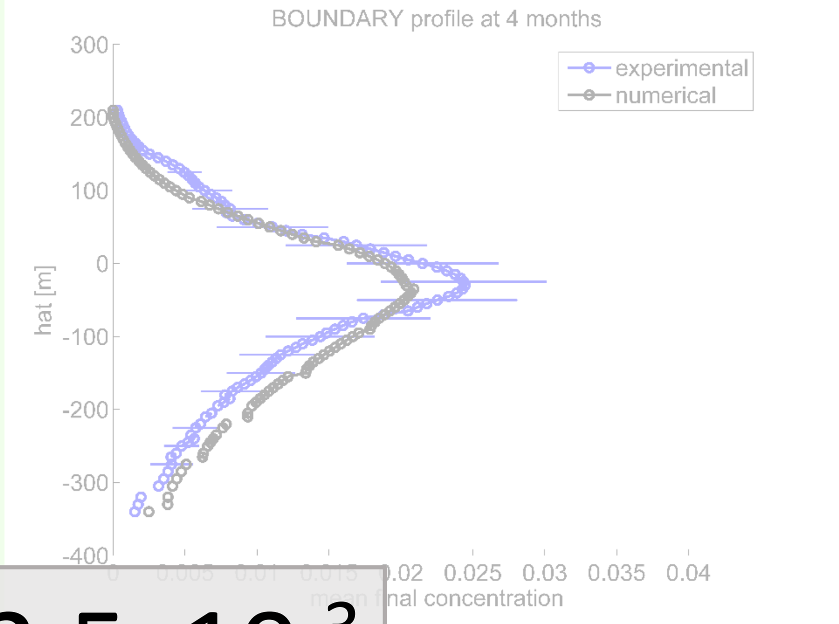

BOUNDARY profile at 4 months
experimental
numerical
hat [m]
mean final concentration


200
100
0
−100
−200
−300
−400
0
50
100
150
200
250
300
x 10^−3
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2

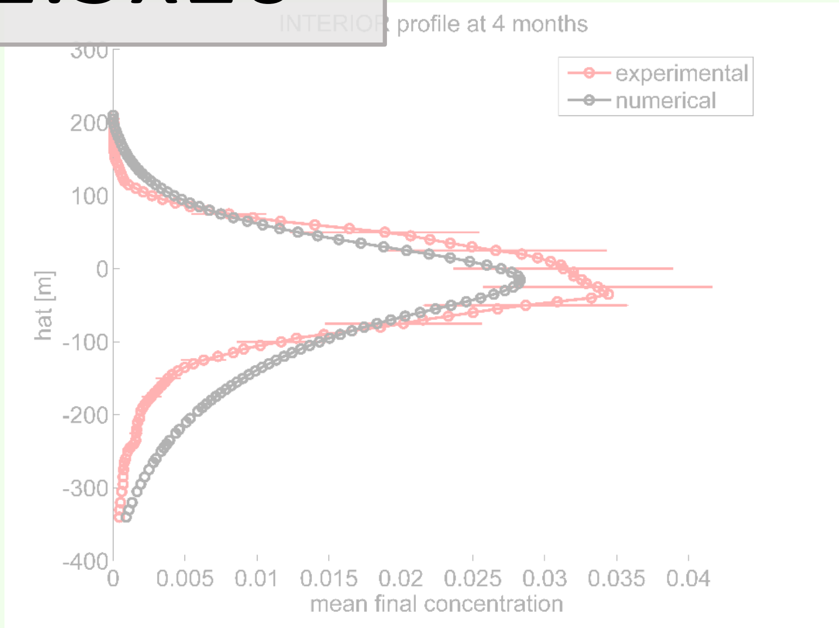

BOUNDARY profile at 4 months
experimental
numerical
hat [m]
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
0.035
0.04
mean final concentration


INTERIOR profile at 4 months
experimental
numerical
hat [m]
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03
0.035
0.04
mean final concentration





$C_d \sim 3.6 \gg 2.5\text{x}10^{-3}$



Polzin, Costa et al. (*submitted to JGR*)

Conclusions troisième chapitre

- Le traînée de forme peut potentiellement expliquer une partie importante du mélange nécessaire à la diffusion verticale observée in situ.

- Le coefficient de frottement caractéristique de ce phénomène est **trois ordres de grandeur** plus grand que le coefficient de frottement typiquement utilisé dans les modèles de circulation.

Conclusions

1) Est-ce que les courants prédominent sur la démographie?

Pour des longues périodes larvaires, oui. La plupart de l'information sur la persistence est contenu dans le champ de courants et peut être expliqué par la théorie des graphes.

Le degré d'un site explique jusqu' à 77% de la persistence et la modularité identifie les sous-populations.

2) Est-ce que la turbulence affecte la dispersion?

2a) Quel est l'effet des schémas de fermeture de la turbulence?

Différentes configurations des modèles numériques prédictent des niveaux de turbulence significativement différents. Les données in situ de turbulence permettent de trancher.

L'influence de la biologie sur la physique via la pénétration de la lumière joue un rôle très important.

2b) Comment peut-on paramétriser la turbulence au fond?

La traînée de forme explique une partie importante du mélange observé dans l'océan profond.

Une nouvelle estimation du coefficient de frottement, supérieure à la valeur habituellement utilisée dans la litérature, a été proposée.

Perspectives

Étudier différentes espèces dans d'autres zones géographiques.

Considérer la dépendence de la période larvaire en function de la temperature et la migration verticale journalière dans les simulations Lagrangiennes.

Effectuer plus de mesures de turbulence en suivant la variabilité des conditions metéorologiques.

Étudier l'impact de différentes configurations de modèle sur les résultats de simulations Lagrangiennes.

Étudier l'impact des différentes valeurs de K_Z sur les résultats des modèles biogeochimiques.

Faire des comparaisons 4-D entre les mesures in situ de la campagne GISR avec des modèles de circulation à très haute résolution pour mieux paramétriser la trainée de forme.

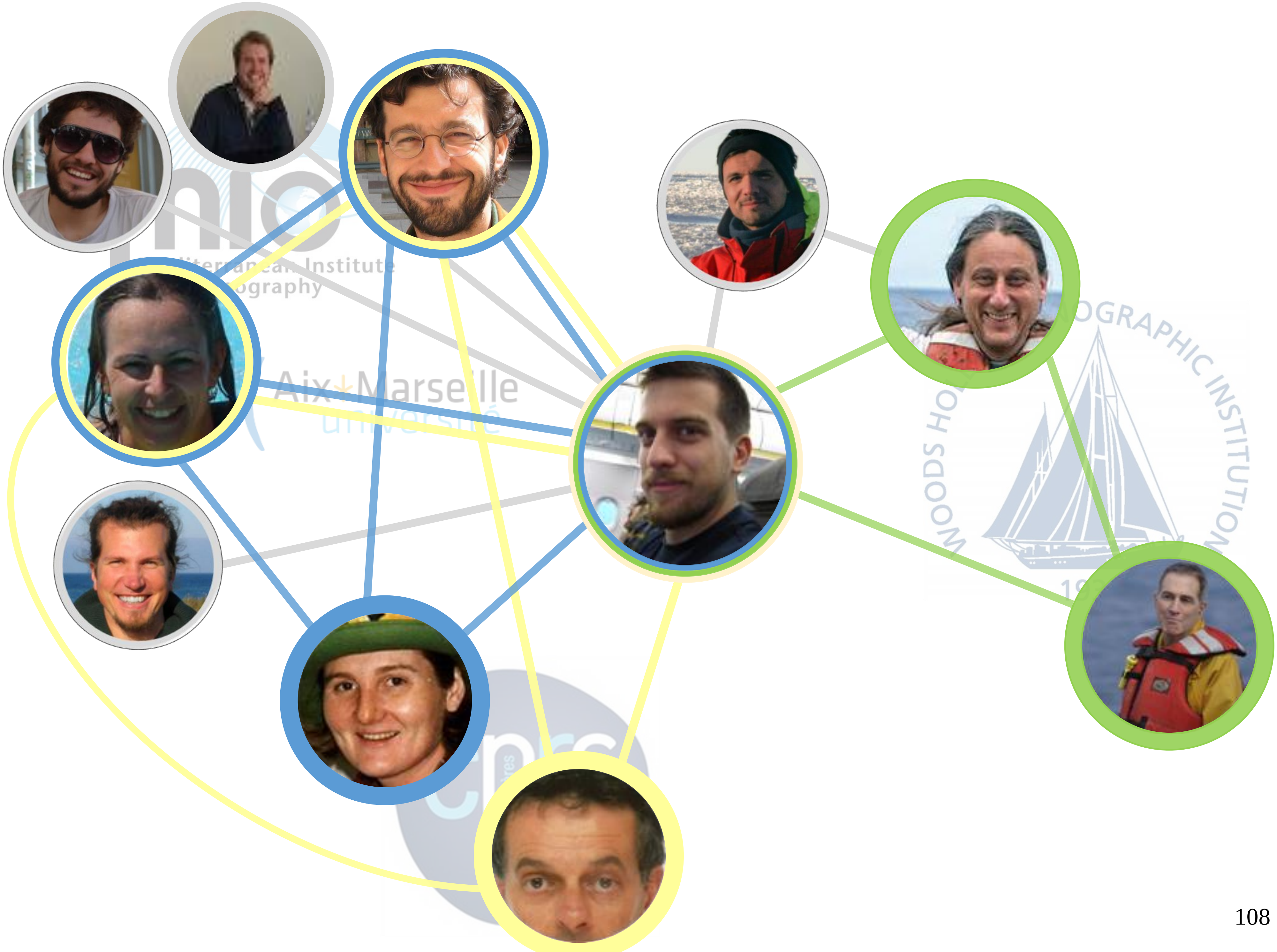
Étudier l'effet de la turbulence au fond sur les résultats de simulations Lagrangiennes.

Mediterranean Institute of Oceanography

Aix*Marseille université

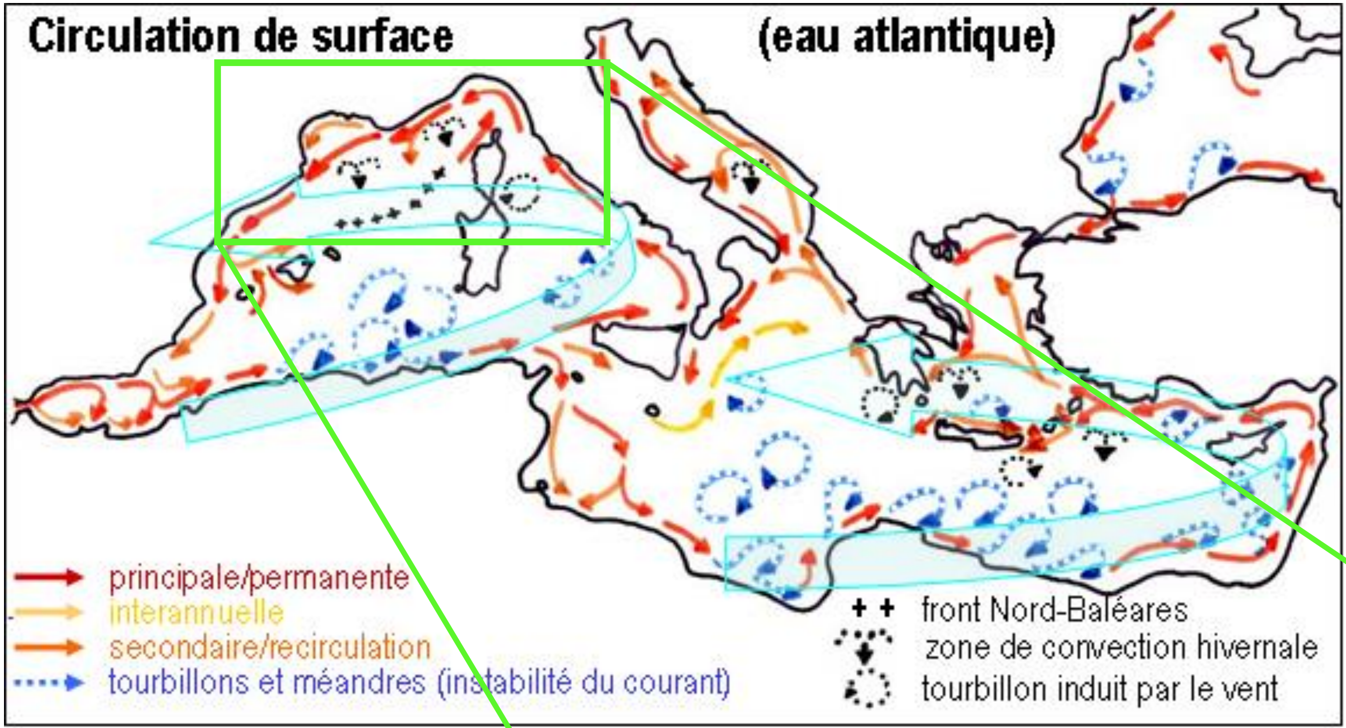
WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION 1930

cnrs dépasser les frontières


Aix Marseille
université


MERCI
BEAUCOUP

Extra Slides



D'après Millot et Taupier-Letage (2005)

Symphonie pour simuationes Lagrangiennes:

k-l with Gaspar et al. (1990)
and
flux b.c.

Matrix	Period	Circulation Pattern
#1	from Jan 5 to Jan 14	Eastward
#2	from Jan 15 to Jan 24	Mixed
#3	from Jan 25 to Feb 3	Mixed
#4	from Feb 4 to Feb13	Central Retention
#5	from Feb 14 to Feb 23	Mixed
#6	from Feb 24 to Mar 4	Mixed
#7	from Mar 5 to Mar 15	Westward
#8	from Mar 16 to Mar 26	Mixed
#9	from Apr 27 to May 5	Mixed
#10	from May 6 to May 16	Central Retention
#11	from Jan 5 to Jan 14	Westward
#12	from Jan 15 to Jan 24	Westward
#13	from from Jan 25 to Feb 3	Central Retention
#14	from Feb 4 to Feb13	Mixed
#15	from Feb 14 to Feb 23	Westward
#16	from Feb 24 to Mar 4	Mixed
#17	from Mar 5 to Mar 15	Westward
#18	from Mar 16 to Mar 26	Mixed
#19	from Apr 27 to May 5	Mixed
#20	from May 6 to May 16	Mixed

Table 2: Time period relative to each connectivity matrix; the matrices' periods from 1 to 10 refers to year 2004, from 11 to 20 to year 2006. The circulation regime present in the Gulf of Lion in each period is also indicated. A 'Mixed' regime indicates the contemporary presence of more than one of the simple regimes: westward, eastward or central retention (see the Results for further details).

Correlation with persistence

R = minimimum recruitment success

Determine $R(v)$ by erasing a site from metapopulation

High R $\Rightarrow$ important site

1 week	2 weeks	3 weeks	4 weeks	5 weeks

Single node ranking

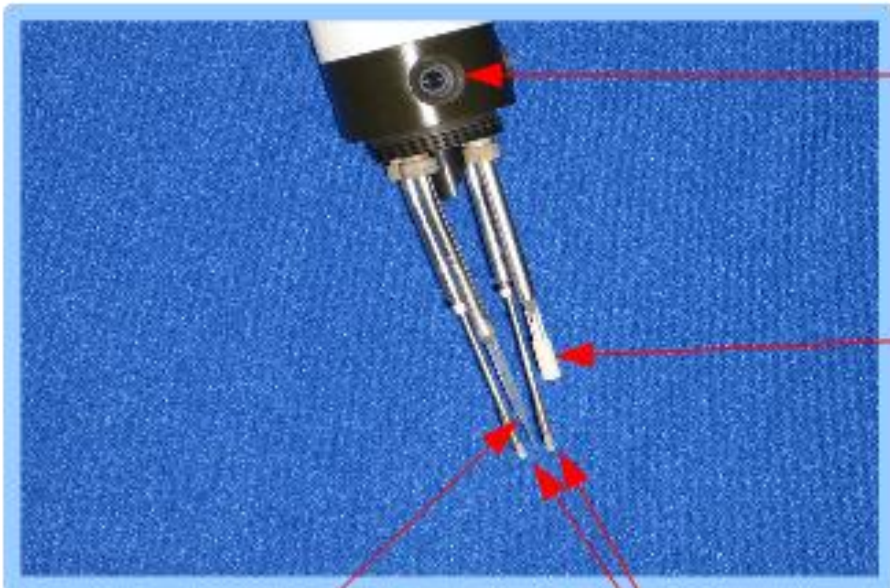
Betweenness
6/20
Core number
3/20
Strength
3/20

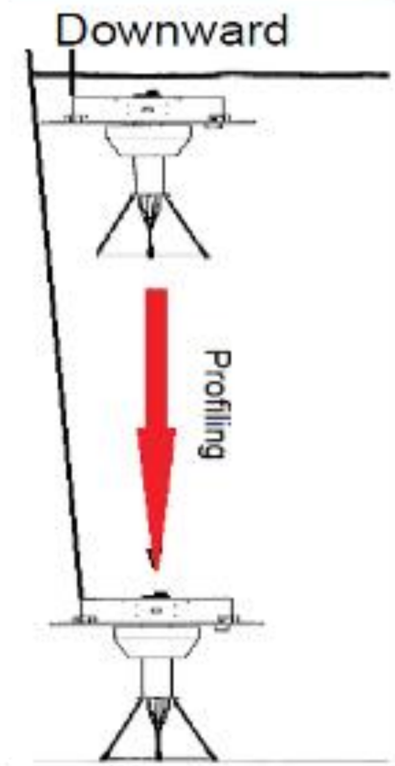
Single node ranking

Betweenness
7/20
Clustering coefficient
5/20
Strength
5/20

Self Contained Autonomous Microstructure Profiler

(SCAMP)





ε from temperature measurements

HOMOGENEOUS TURBULENCE

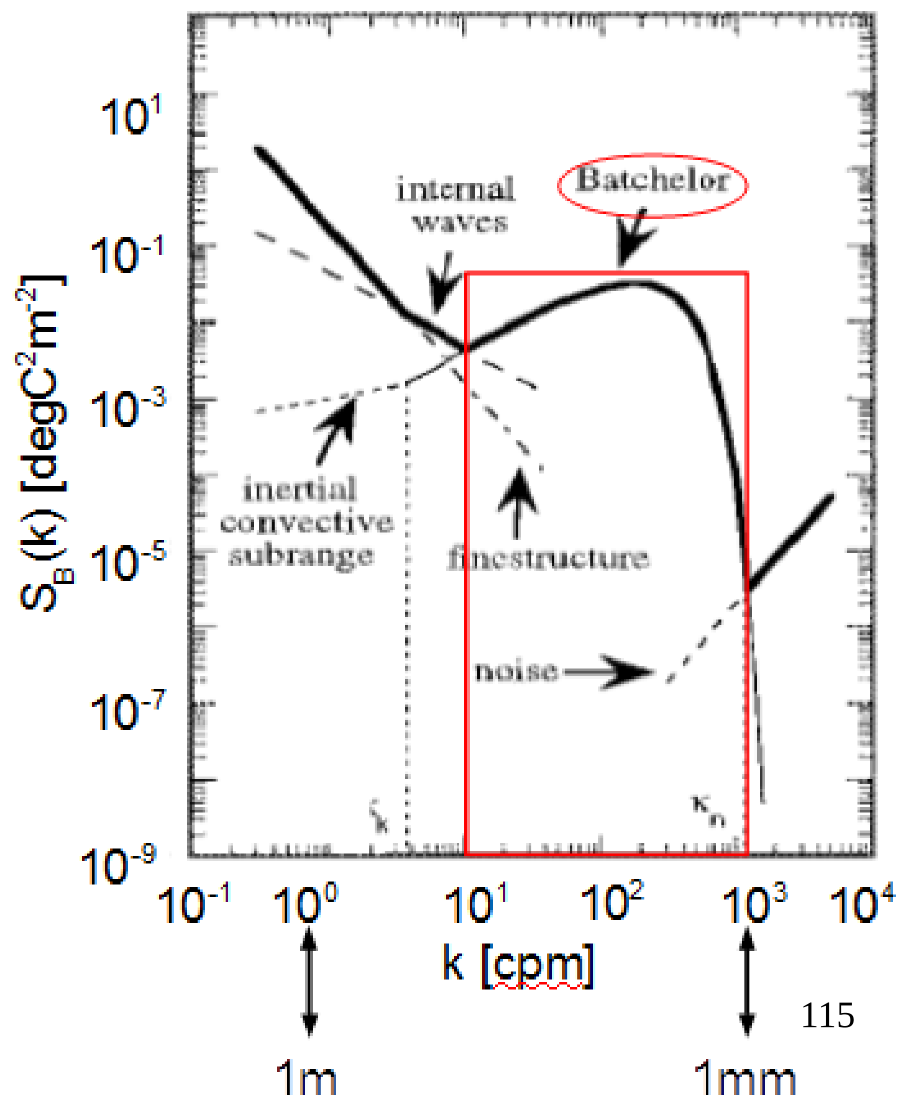
Batchelor spectrum (Batchelor, 1968)

$$S_B(k) = f(\chi_T, D_T, \epsilon)$$

Temperature variance dissipation rate

Temperature diffusivity

Kinetic energy dissipation rate



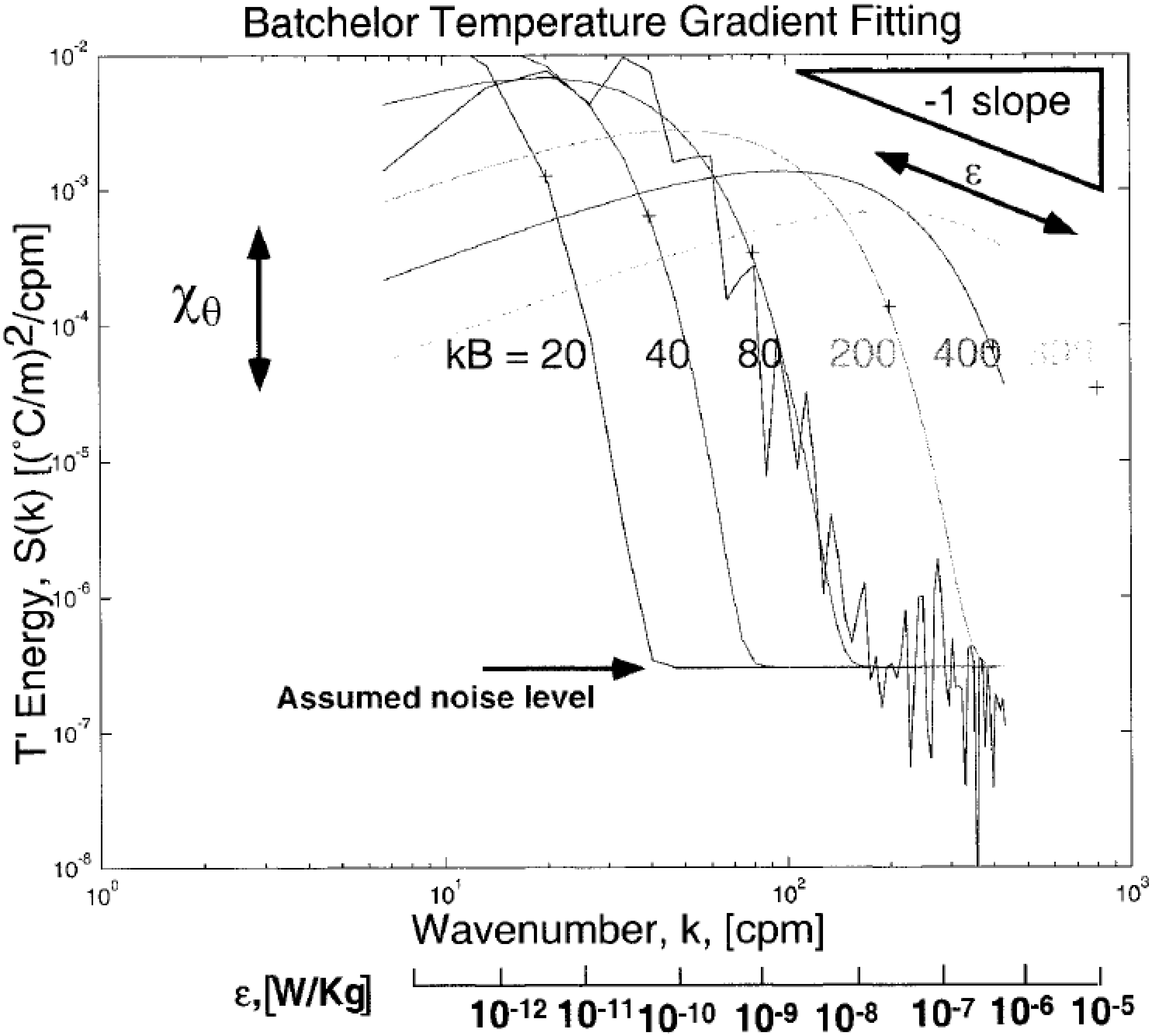


FIG. 2. Batchelor spectrum for various k_B, including estimated SCAMP instrumental noise level [3×10^{-7} (°C m^{-1})^2 (cpm)$^{-1}$], with χ_θ constrained according to Eq. (9). The k_B value corresponding to each curve is indicated with a plus, and the approximate corresponding dissipation level, ε, is shown by the second logarithmic scale below the k axis. The effects of changing χ_θ and ε on the spectrum are indicated by arrows. An observed spectrum is shown.

$$\frac{D\overline{u}_i}{Dt}=\frac{-\partial\overline{p}}{\partial x_i}+\nu\frac{\partial^2\overline{u}_i}{\partial x_i\partial x_j}-\frac{\partial\overline{u'_i u'_j}}{\partial x_i}$$

$$-\overline{u'_i u'_j}=\nu_T\frac{\partial\overline{u}_i}{\partial x_j}$$

$$\epsilon=-\nu\overline{\frac{\partial u'_i}{\partial x_j}\frac{\partial u'_j}{\partial x_i}}$$

$$\frac{DT}{Dt}=K_T\frac{\partial T}{\partial x_i}-\frac{\partial\overline{T'u'_i}}{\partial x_i}$$

$$-\overline{T'u'_i}=K_{Turb}\frac{\partial T}{\partial x_j}$$

Molecular regime:

$$Re_b = \frac{\varepsilon}{\nu N^2} < 10^{\frac{2}{3}}\sqrt{Pr_T}$$

$$K_z = D_T$$

Buoyancy-controlled regime:

$$Re_b < \left(3ln\sqrt{Pr_T}\right)^2$$

$$K_z = \frac{0.1\nu}{\sqrt[4]{Pr_T}} {Re_b}^{3/2} D_T$$

Transitional regime:

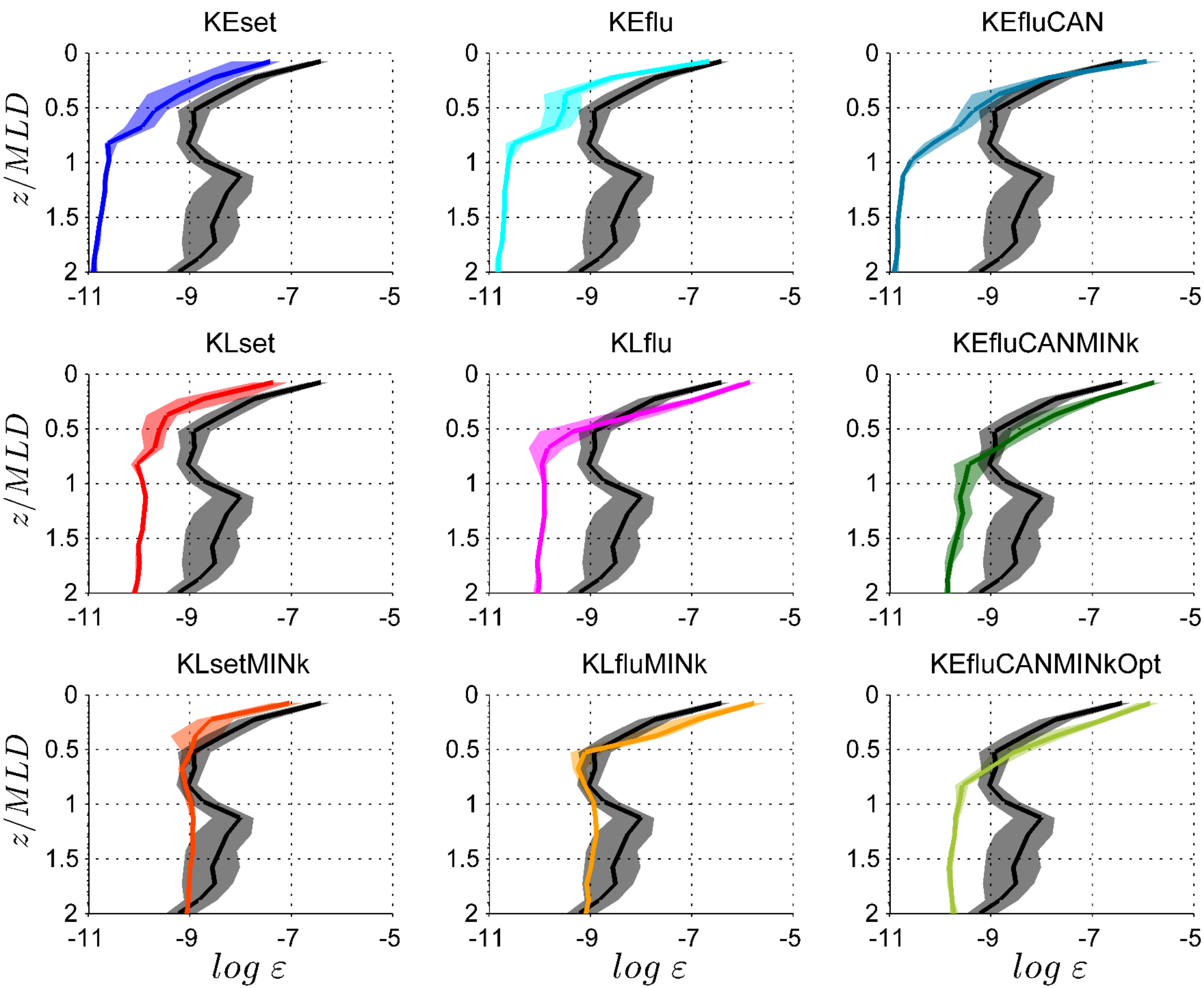
$$Re_b < 100$$

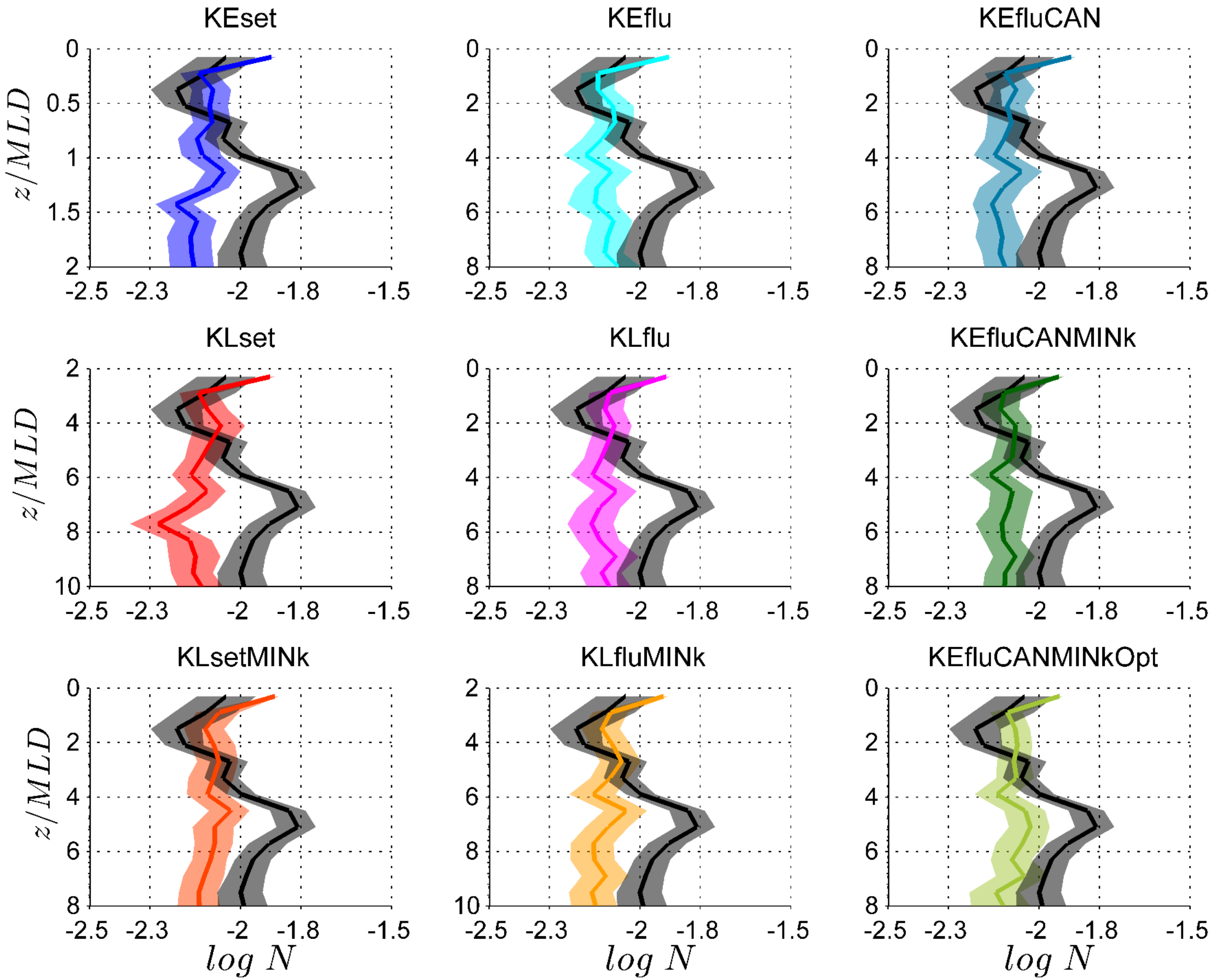
$$K_z = 0.2\nu Re_b$$

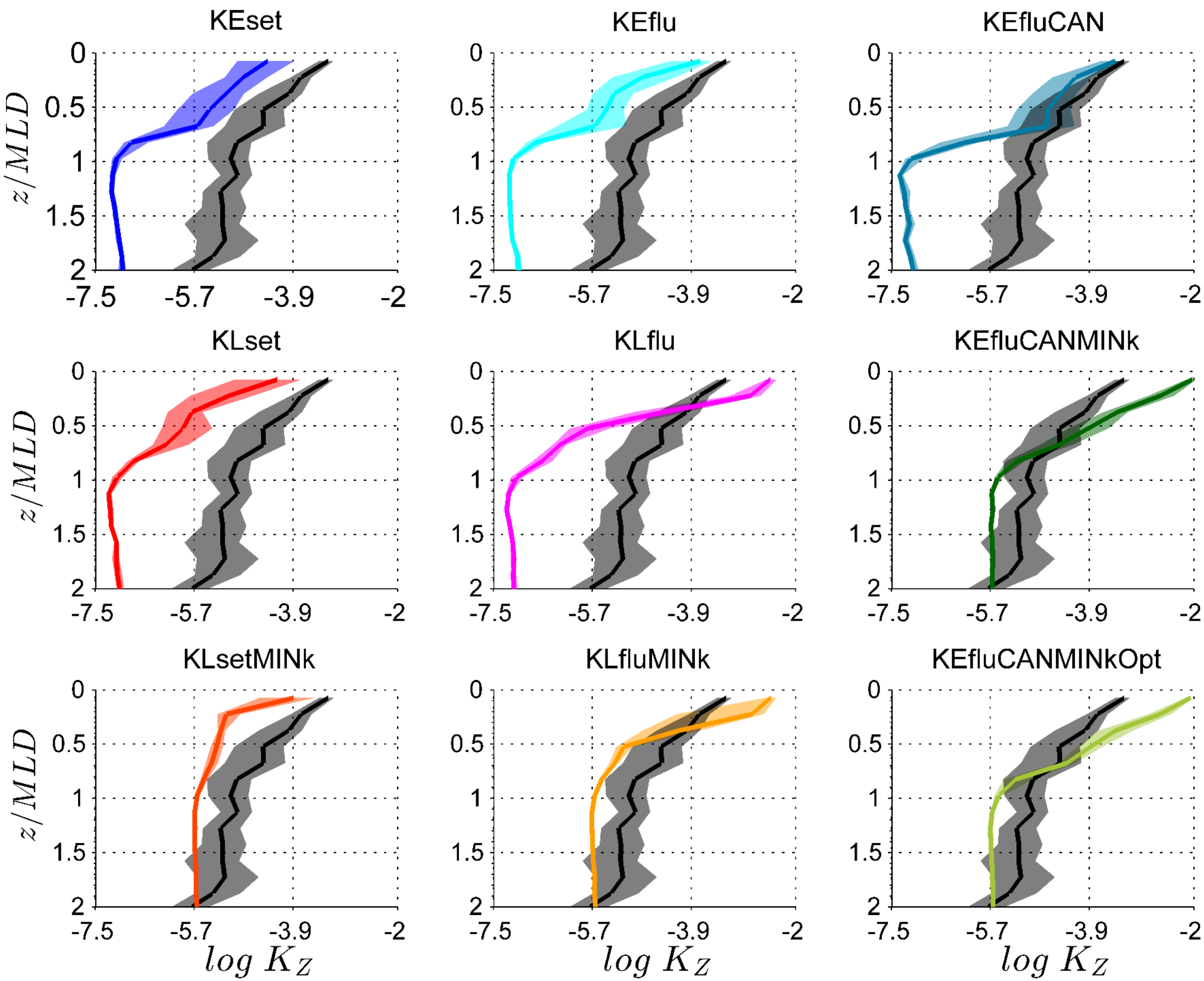
Energetic regime:

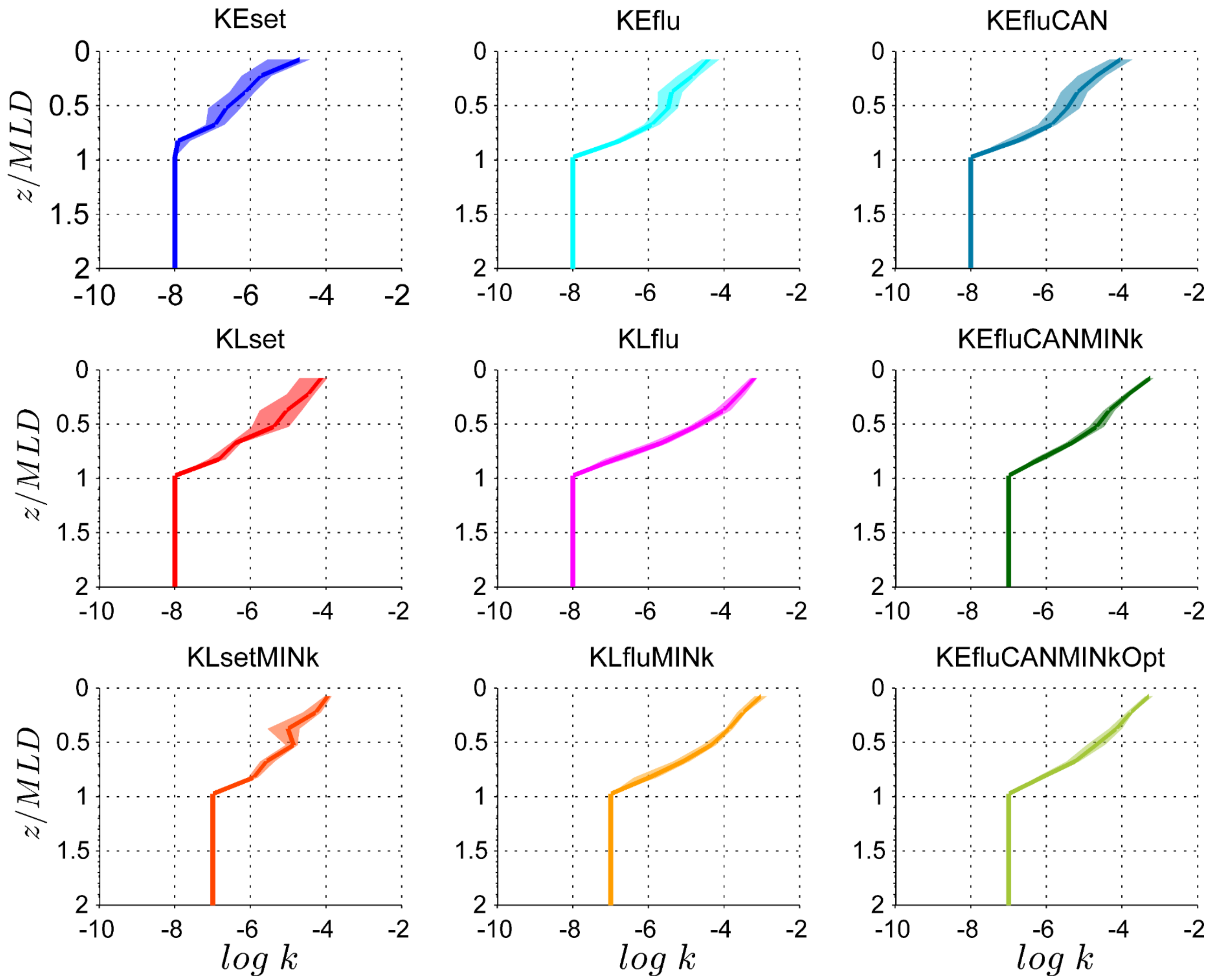
$$K_z = 4\,\nu\sqrt{Re_b}$$

Re_b

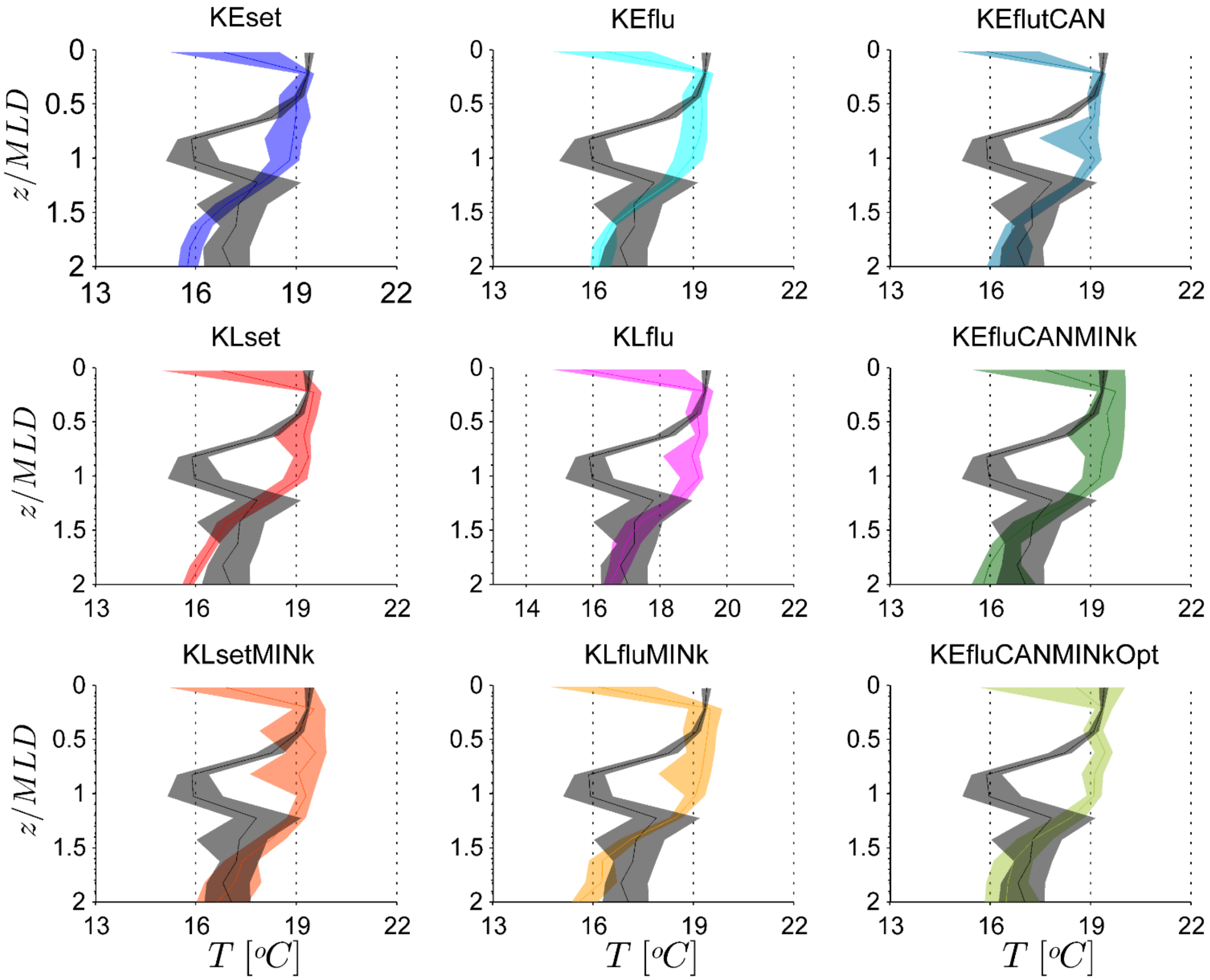

KEset
KEflu
KEfluCAN
KLset
KLflu
KEfluCANMINk
KLsetMINk
KLfluMINk
KEfluCANMINkOpt
z/MLD
0
0.5
1
1.5
2
-11
-9
-7
-5
$log\ \varepsilon$


KEset
KEflu
KEfluCAN
KLset
KLflu
KEfluCANMINk
KLsetMINk
KLfluMINk
KEfluCANMINkOpt
z/MLD
$log\ N$
-2.5
-2.3
-2
-1.8
-1.5

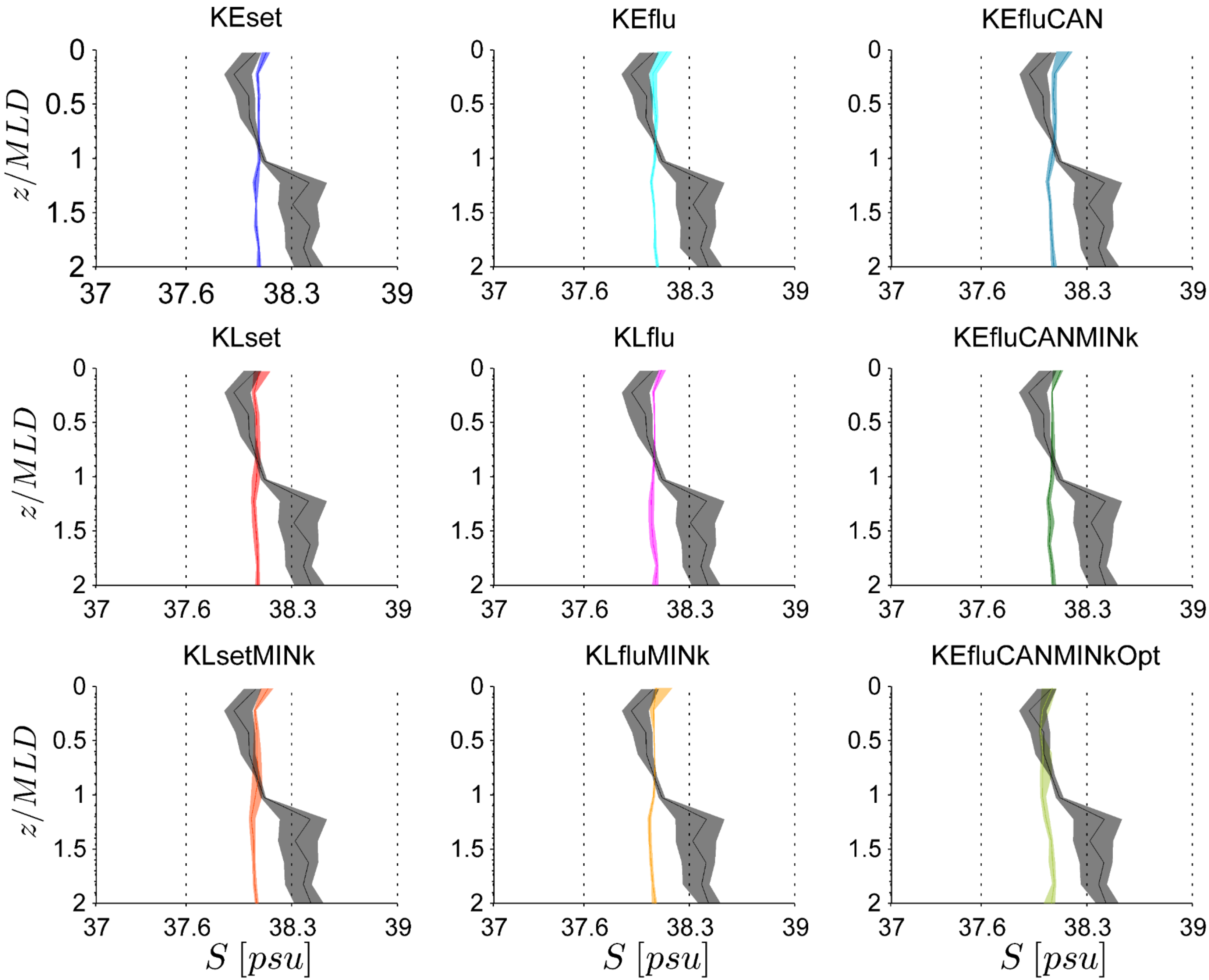

KEset
KEflu
KEfluCAN
KLset
KLflu
KEfluCANMINk
KLsetMINk
KLfluMINk
KEfluCANMINkOpt
z/MLD
0
0.5
1
1.5
2
-7.5
-5.7
-3.9
-2
$log\ K_Z$



KEset
KEflu
KEfluCAN
KLset
KLflu
KEfluCANMINk
KLsetMINk
KLfluMINk
KEfluCANMINkOpt
z/MLD
$log\ k$
0
0.5
1
1.5
2
-10
-8
-6
-4
-2



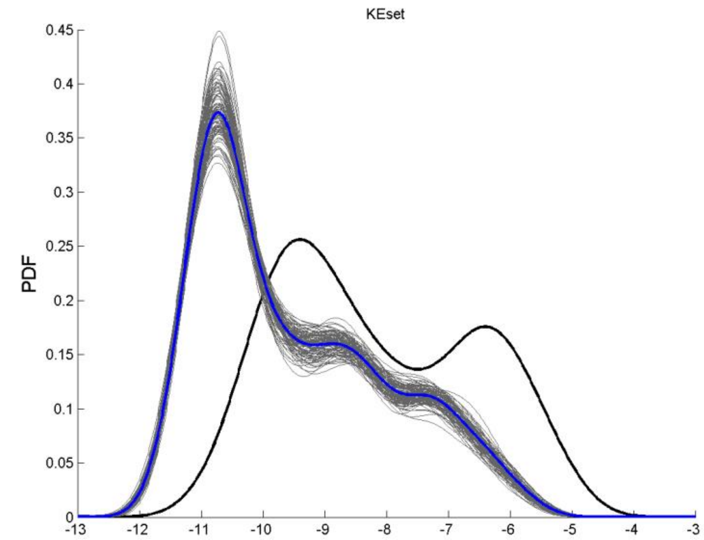
KEset
KEflu
KEflutCAN
KLset
KLflu
KEfluCANMINk
KLsetMINk
KLfluMINk
KEfluCANMINkOpt
z/MLD
$T\ [^oC]$

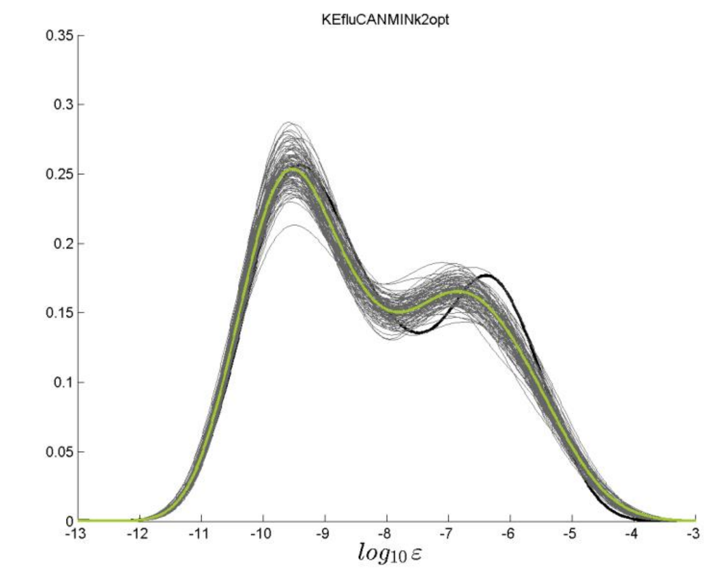

KEset
KEflu
KEfluCAN
KLset
KLflu
KEfluCANMINk
KLsetMINk
KLfluMINk
KEfluCANMINkOpt
z/MLD
$S\ [psu]$
0
0.5
1
1.5
2
37
37.6
38.3
39

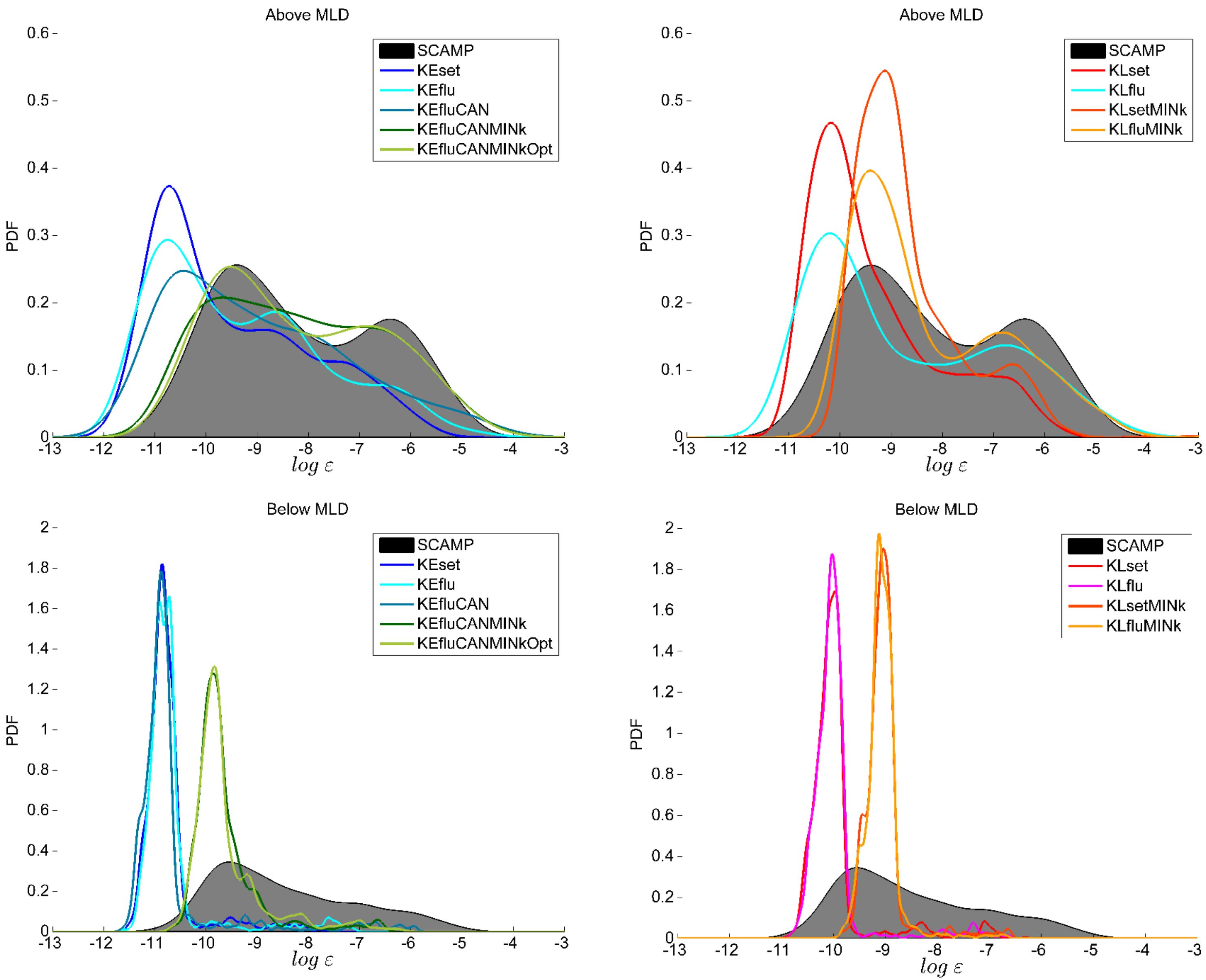
$$\Delta_x^2 = \int_0^\infty (F_n(x) - G_n(x+S))^2 dx$$

Above MLD	S_ε	Δ_ε^2	S_N	Δ_N^2	S_{K_Z}	$\Delta_{K_Z}^2$
KEset	1.31	0.010±0.002	-0.47	0.018±0.001	0.96	0.032±0.003
KEflu	1.21	0.008±0.001	-0.47	0.015±0.001	0.83	0.039±0.004
KEfluCAN	0.87	0.006±0.001	-0.50	0.016±0.001	0.46	0.021±0.003
KEfluCANMINk	0.62	0.0031±0.0009	-0.45	0.013±0.001	0.49	0.023±0.002
KEfluCANMINkOpt	1.07	0.0008±0.0003	-0.47	0.011±0.001	1.19	0.022±0.003
KLset	0.03	0.012±0.002	-0.41	0.014±0.001	-0.66	0.053±0.005
KLflu	0.34	0.041±0.005	-0.52	0.017±0.001	0.31	0.060±0.005
KLsetMINk	0.07	0.082±0.006	-0.43	0.017±0.001	-0.15	0.139±0.009
KLfluMINk	0.03	0.014±0.003	-0.41	0.014±0.001	-0.68	0.022±0.003

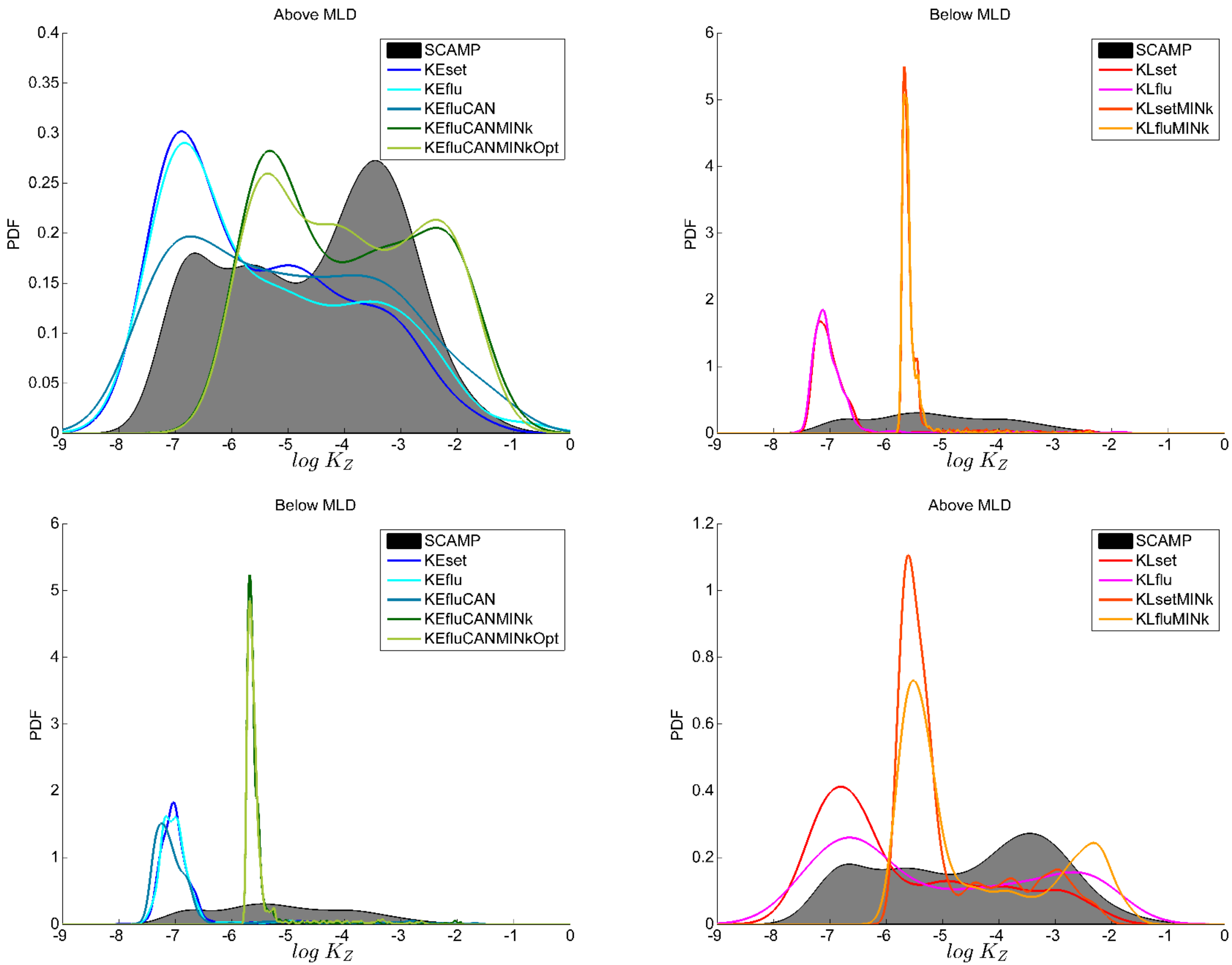
Below MLD	S_ε	Δ_ε^2	S_N	Δ_N^2	S_{K_Z}	$\Delta_{K_Z}^2$
KEset	1.97	0.180±0.006	0.22	0.004±0.0005	0.96	0.032±0.004
KEflu	1.93	0.163±0.008	0.19	0.005±0.0006	0.83	0.039±0.004
KEfluCAN	1.98	0.143±0.008	0.22	0.002±0.0003	0.46	0.021±0.004
KEfluCANMINk	0.91	0.136±0.007	0.22	0.006±0.0006	-0.66	0.023±0.003
KEfluCANMINkOpt	0.88	0.11±0.006	0.22	0.008±0.0009	-0.68	0.022±0.002
KLset	1.21	0.186±0.008	0.22	0.003±0.0005	0.50	0.053±0.004
KLflu	1.2	0.168±0.007	0.23	0.004±0.0005	1.19	0.060±0.005
KLsetMINk	0.26	0.203±0.006	0.22	0.004±0.0006	0.31	0.080±0.007
KLfluMINk	0.29	0.22±0.004	0.24	0.008±0.0009	-0.15	0.022±0.002

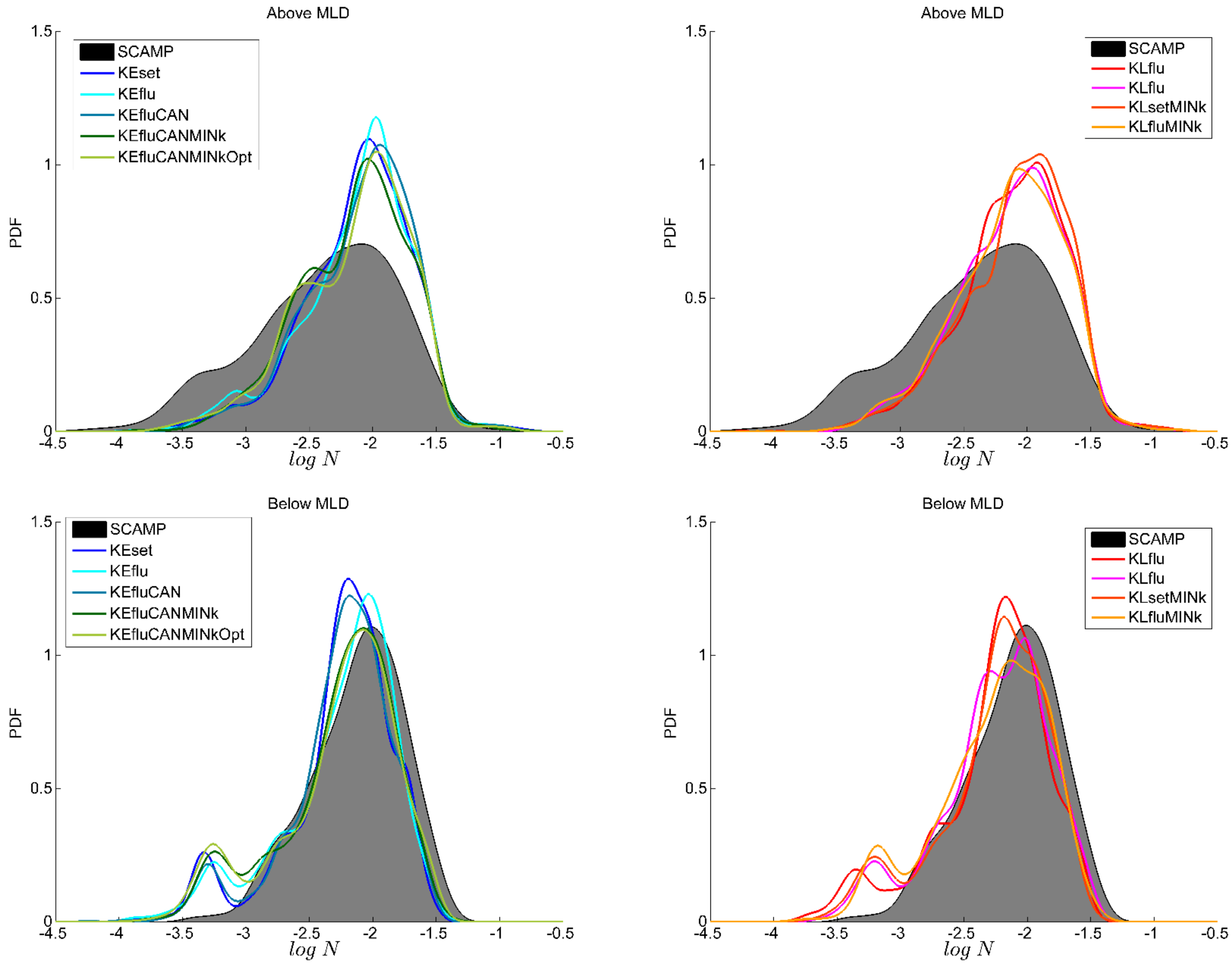






Above MLD
SCAMP
KEset
KEflu
KEfluCAN
KEfluCANMINk
KEfluCANMINkOpt
PDF
$log\ \varepsilon$
Above MLD
SCAMP
KLset
KLflu
KLsetMINk
KLfluMINk
PDF
$log\ \varepsilon$
Below MLD
SCAMP
KEset
KEflu
KEfluCAN
KEfluCANMINk
KEfluCANMINkOpt
PDF
$log\ \varepsilon$
Below MLD
SCAMP
KLset
KLflu
KLsetMINk
KLfluMINk
PDF
$log\ \varepsilon$


Above MLD
Below MLD
Below MLD
Above MLD
PDF
log K_Z
SCAMP
KEset
KEflu
KEfluCAN
KEfluCANMINk
KEfluCANMINkOpt
KLset
KLflu
KLsetMINk
KLfluMINk


Above MLD
SCAMP
KEset
KEflu
KEfluCAN
KEfluCANMINk
KEfluCANMINkOpt
PDF
$log\ N$
Above MLD
SCAMP
KLflu
KLflu
KLsetMINk
KLfluMINk
Below MLD
SCAMP
KEset
KEflu
KEfluCAN
KEfluCANMINk
KEfluCANMINkOpt
Below MLD
SCAMP
KLflu
KLflu
KLsetMINk
KLfluMINk

Kantha – Clayson (1994)

Diffusion terms:

$$D_f(K) = \frac{\partial}{\partial z}F(K), \qquad F(K) = \frac{1}{2}\overline{q^2 w},$$

$$F(K) = -K_m \frac{\partial K}{\partial z},$$

Pressure correlations:

$$\Pi_{ij} = 2\tau_{pv}^{-1} b_{ij} - \frac{4}{5}KS_{ij},$$

Canuto et al. (2001)

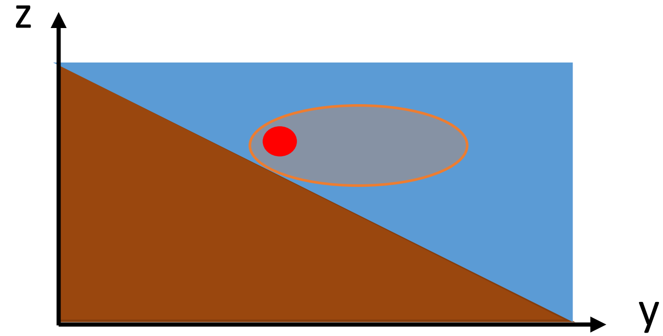
$$\begin{aligned}
\tau^{-1}\overline{q^2 w} = {} & A\frac{\partial \overline{q}^2}{\partial z} + B\frac{\partial \overline{w}^2}{\partial z} + C(g\alpha\tau)\frac{\partial \overline{w\theta}}{\partial z} \\
& + (g\alpha\tau)^2 D\frac{\partial \overline{\theta}^2}{\partial z} + E\frac{\partial}{\partial z}(\overline{u}^2 - \overline{v}^2) + F\frac{\partial}{\partial z}\overline{uv} \\
& + G\frac{\partial}{\partial z}\overline{uw} + H\frac{\partial}{\partial z}\overline{vw} + g\alpha\tau I\frac{\partial}{\partial z}\overline{u\theta} \\
& + g\alpha\tau J\frac{\partial}{\partial z}\overline{v\theta}. \qquad (9a)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Pi_{ij} = {} & 2\tau_{pv}^{-1} b_{ij} - \frac{4}{5}KS_{ij} + (1 - \beta_5)B_{ij} - \alpha_1 \Sigma_{ij} \\
& - \alpha_2 Z_{ij}. \qquad (7a)
\end{aligned}$$

Reynold’s stress Shear Buoyancy Anisotropic shear
Vorticity

Modèle numérique d'advection-diffusion

$$\partial_t C + \partial_y K_{\parallel}(\mathrm{y},\mathrm{z})\,\partial_y C + \partial_z K_{\perp}(\mathrm{y},\mathrm{z},\mathrm{t})\,\partial_z C + v^*\,\partial_y C + w^*\,\partial_z C = 0$$



$$K_{\perp}(y,z) = K_0 \exp\left(-\frac{z - z_0}{h}\right) \quad , \qquad h = \beta \frac{U(t)}{N(z)} \sim 50m$$

$$\int_0^\infty C_d U^3 \, dz = \int_0^\infty \varepsilon + BF \, dz = \int_0^\infty \varepsilon + K_{\perp}(z) N^2 \, dz$$

Production

Dissipation

$$\partial_t C + \partial_y K_{||}(y,z)\partial_y C + \partial_z K_\perp(y,z,t)\partial_z C = 0$$

Work against form drag $= C_d U^3$

$$\begin{aligned} K_\perp(y,z) &= K_\perp(y_0,z_0)e^{-(z-z_0)/h} + K_\perp^{int} \\ K_\perp(y_0,z_0)N^2 &= R_f C_d U^3/h \\ h &= \beta U/N \end{aligned}$$

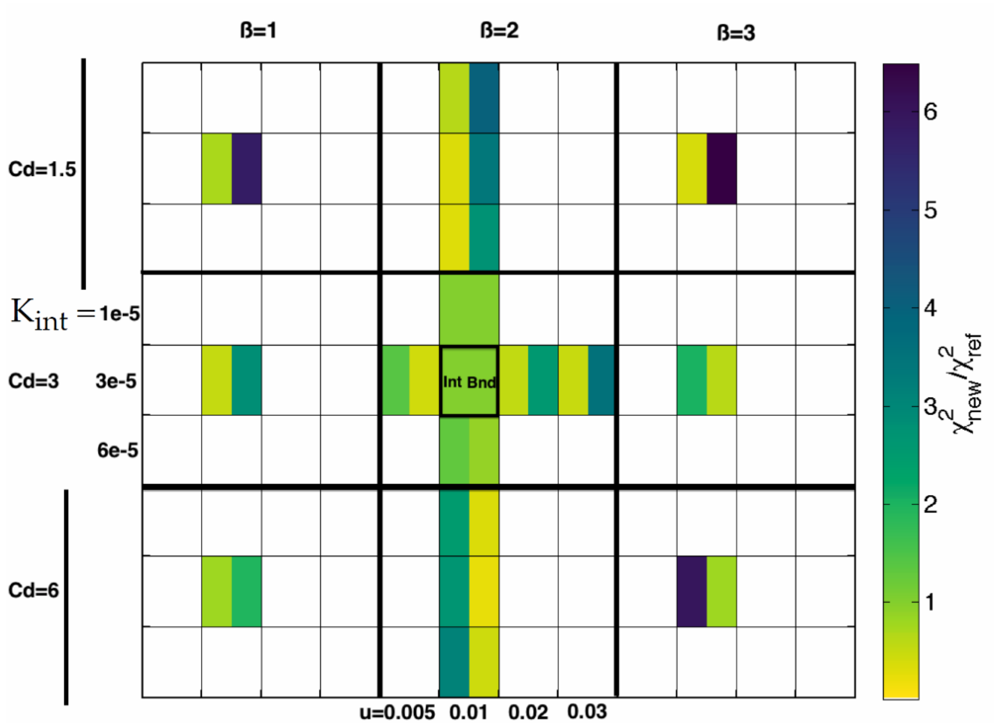
U and N data constrained

$$w^* = \frac{\partial_z(K_\perp N^2)}{N^2}$$

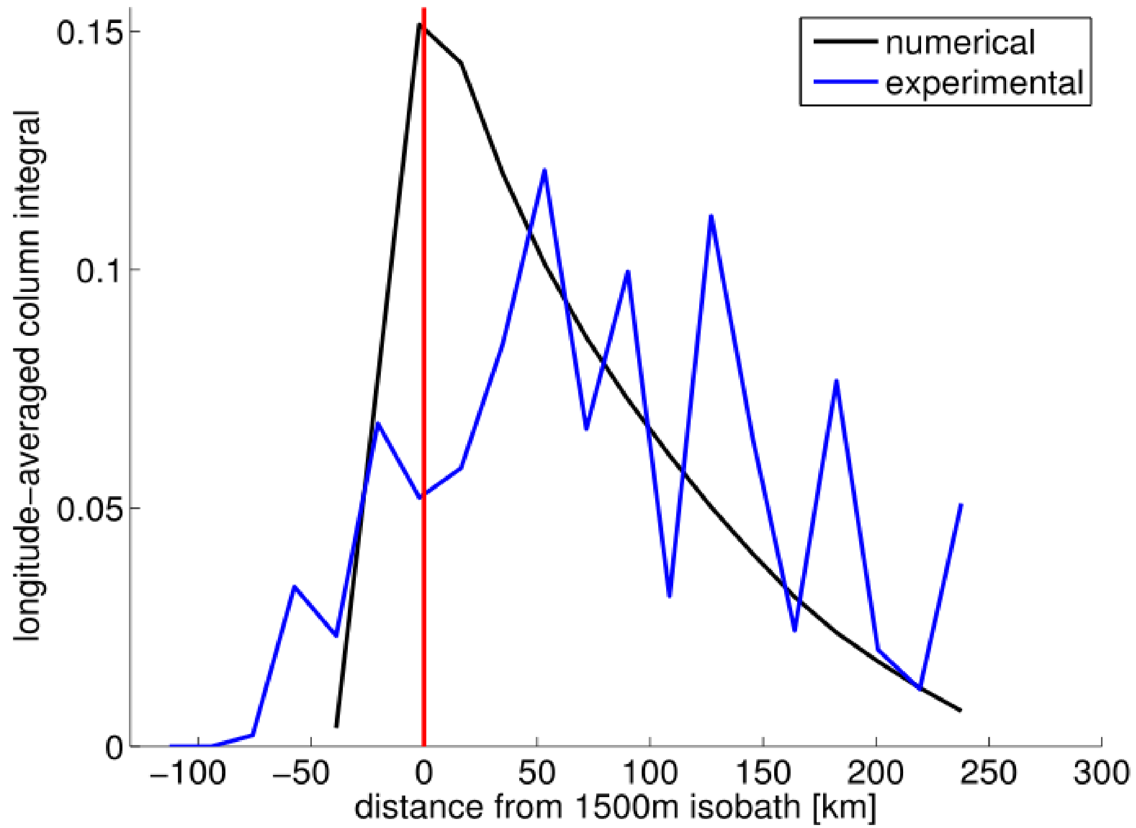
Law of the wall

$$\begin{aligned} K_{||} &= u(y-y_0) \text{ if } K_{||} < 1000 \text{ m}^2\text{ s}^{-1} \\ K_{||} &= 1000 \text{ m}^2\text{ s}^{-1} \text{ otherwise} \end{aligned}$$

Error Map in [C_d , β , K_{int} , u] parameter domain



$$K_{\parallel} = \begin{cases} u(y - y_0) & \text{if } K_{\parallel} < 1000 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \\ 1000 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} & \text{otherwise} \end{cases}$$



Pseudo-advection

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U\nabla c = \nabla(k\nabla C)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U\nabla c = \nabla k\nabla C + k\nabla^2 C$$

$$U \sim \nabla k \sim \frac{k}{L} \sim \frac{1000 m^2/s}{10^5 m} = 10^{-2} \text{m/s}$$

Chronologie des publis

-> Novembre 2014: papier PRL **publié**

-> Mars 2015: soumission à *Limnology and Oceanography*:

-Rejecté parce que liens entre théorie de graphes et model de metapop pas bien expliqué et papier trop methodologique

Octobre 2015: soumission à *Limnonology and Oceanography: Methods*

- Rejeté car trop focalisé sur la comparaison avec le seul modèle de metapop. mais avec avis de resoumettre et des commentaires encourageants.

Mai 2015 Ré-écrit et ré-soumis avec comparaison avec d'autres études

- Mais rejeté à nouveau (par différents reviewers)
  Pas tous les sites ont été considerés, resultats pas evidents, seulement une espece.

Maintenant separé en deux parties:

(1)
en train de le re-écrire avec des nouvelles analyses de metapopulations.

(2)
PLOSONE
(voire page d'après)

-> Novembre 2016: soumission à *Ocean Modelling*

- **re-soumis** le 31 Mars apres **minor revision**

-> Octobre 2016/Janvier 2017: soumission à JGR

- encore ***under review***

Cronologie PL😟SONE

Soumis en **Mai 2016**!

Moi	Editor
25/05: est-ce que il-y a sont des nouvelles?	Ah! Ton papier! On est en traine de chercher un editor. T'enquiete pas!
12/09: vous l'avait trouvé l'editor?	En fait, no. Personne pense d'avoir l'expertise necessaire. On continue à chercher.
11/10: vous avait trouvé un editor?	Ah! Ouioui! Maintenent il cherche des reviewers. T'enquiete pas!
25/10: vous avait les reviewers?	Oui! Le manuscript est under review.
	24/12: Voila la review. Minor revision.
13/01/17 Re-soumis!	Oui, mais il faut mettre les donnes sur un server avec un DOI associé. **On stoppe tout!**
31/01 Donnes disponible sur PANGAEA	On recommence!
30/03 J'ai vu que le reviewers ont terminé la revision à debut Mars. Vous avez une decision finale?	Mmm… On sait pas qu'il se passe. Attendez!
18/04 Alors?	Mmm… On sait pas qu'il se passe. Attendez un petit moment!
24/04 Alors?	On ce focalize sur ca! Attendez un petit moment!

Dear Mr. Costa,

Thank you for your message. Please accept our apologies for the delay experienced at this stage in the decision process. There are a few minor internal checks that are performed at this point to ensure that the review process was completed appropriately and that the decision meets our journal requirements.

We appreciate that you have notified us of this delay. Let us know if you have any further questions or concerns.

Kind regards,

Emma Darkin
Staff EO
PLOS ONE

18/04

Case Number: 05162526

Dear Mr. Costa,

Thank you for your message, and please accept our sincere apologies for the delay you have experienced.

Your submission is receiving our full attention and we are doing all that we can to expedite the decision process. We understand that this can be frustrating, and we appreciate your continued patience while we work toward a swift resolution.

In the meantime, please do not hesitate to contact us with any other questions or concerns.

Kind regards,

Emma Darkin
Staff EO
PLOS ONE

24/04

Case Number: 05170881