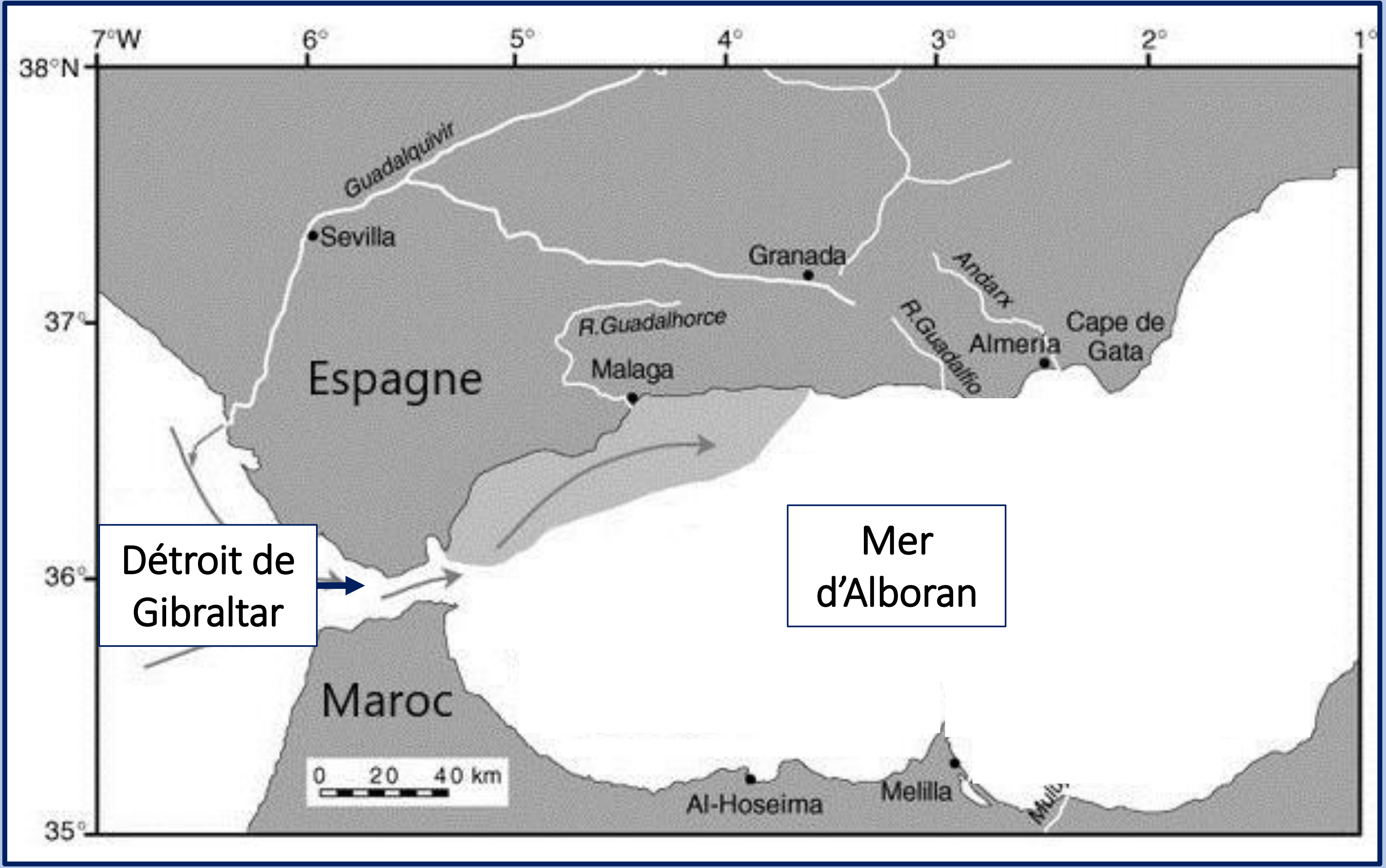
Faculté des Sciences
Aix*Marseille Université

Développement d'un modèle numérique de simulations de trajectoires lagrangiennes dans le cadre de la campagne PROTEVS-2020

Anastasia Volorio-Galéa
Encadrant : Andrea Doglioli

Stage L3 SVT Mer parcours OPB 2020/2021

Le détroit de Gibraltar & la mer d’Alboran



Modifié à partir du site: https://www.researchgate.net/figure/Alboran-gyre-with-the-anticyclonics-Western-Alboran-Gyre-and-the-Eastern-Alboran-Gyre_fig3_313237142

Fig. 1. Situation de surface du détroit de Gibraltar et de la mer d’Alboran

Le détroit de Gibraltar & la mer d’Alboran

Fort gradient de densité

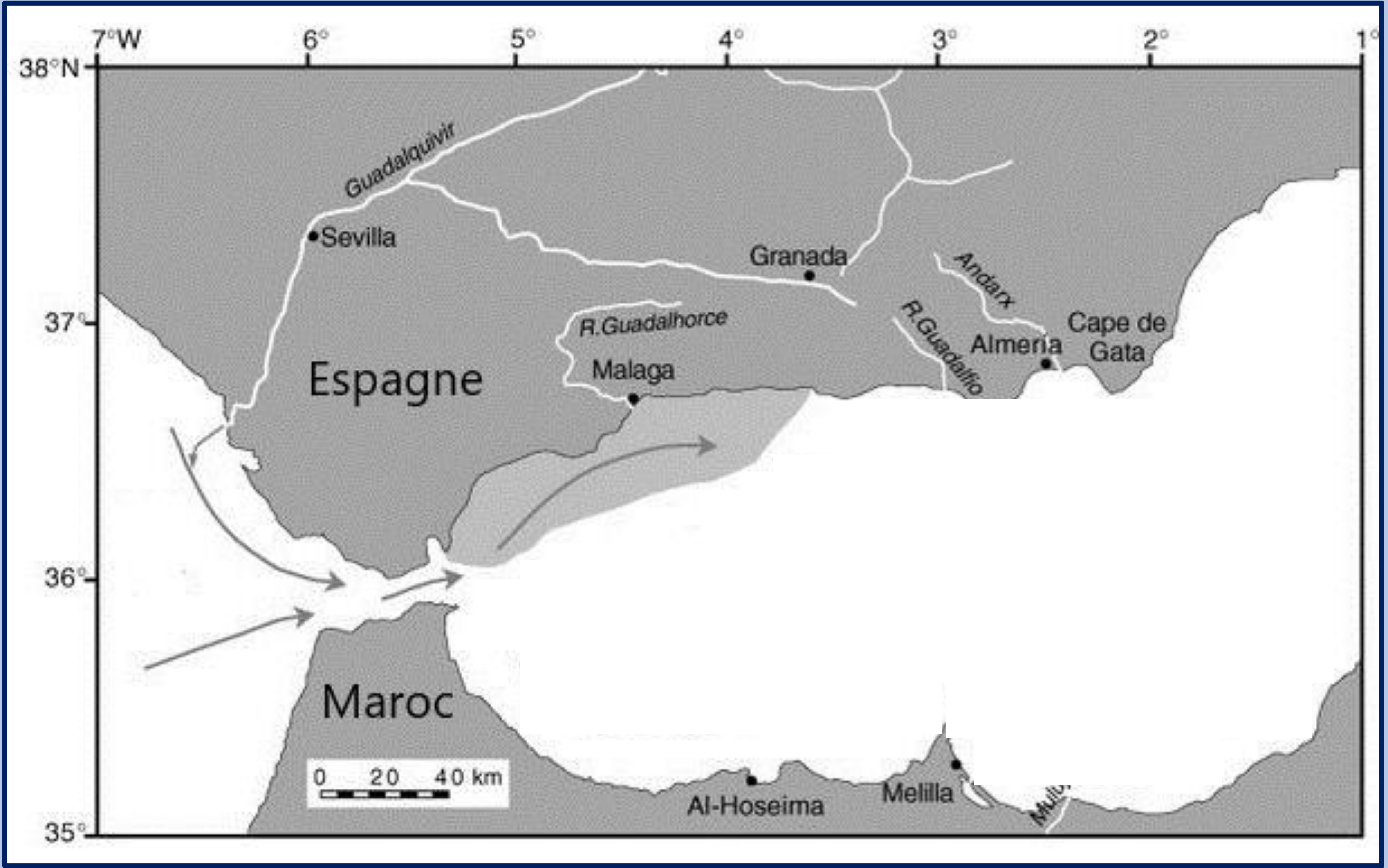


Fig. 1. Situation de surface du détroit de Gibraltar et de la mer d’Alboran

Modifié à partir du site: https://www.researchgate.net/figure/Alboran-gyre-with-the-anticyclonics-Western-Alboran-Gyre-and-the-Eastern-Alboran-Gyre_fig3_313237142

Le détroit de Gibraltar & la mer d’Alboran

Fort gradient de densité

Formation de courants étroits très intenses

Fig. 1. Situation de surface du détroit de Gibraltar et de la mer d’Alboran

Modifié à partir du site: https://www.researchgate.net/figure/Alboran-gyre-with-the-anticyclonics-Western-Alboran-Gyre-and-the-Eastern-Alboran-Gyre_fig3_313237142

Le détroit de Gibraltar & la mer d’Alboran

Fort gradient de densité

Formation de courants étroits très intenses

Formation de 2 gyres

[Peliz et al., 2015]

Fig. 1. Situation de surface du détroit de Gibraltar et de la mer d’Alboran

Modifié à partir du site: https://www.researchgate.net/figure/Alboran-gyre-with-the-anticyclonics-Western-Alboran-Gyre-and-the-Eastern-Alboran-Gyre_fig3_313237142

Le détroit de Gibraltar & la mer d'Alboran

Fort gradient de densité

Formation de courants étroits très intenses

Formation de 2 gyres

[Peliz et al., 2015]

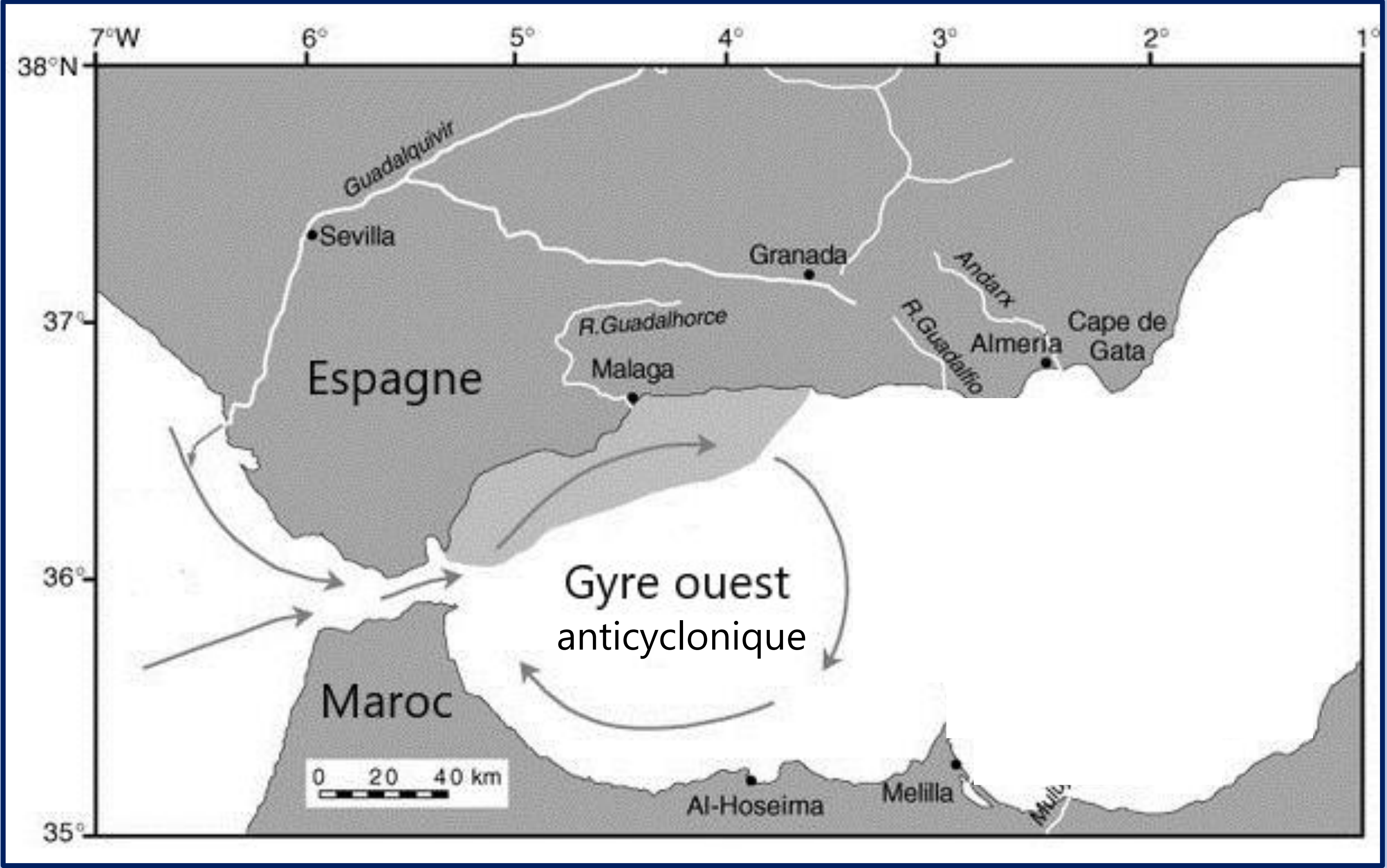


Fig. 1. Situation de surface du détroit de Gibraltar et de la mer d'Alboran

Modifié à partir du site: https://www.researchgate.net/figure/Alboran-gyre-with-the-anticyclonics-Western-Alboran-Gyre-and-the-Eastern-Alboran-Gyre_fig3_313237142

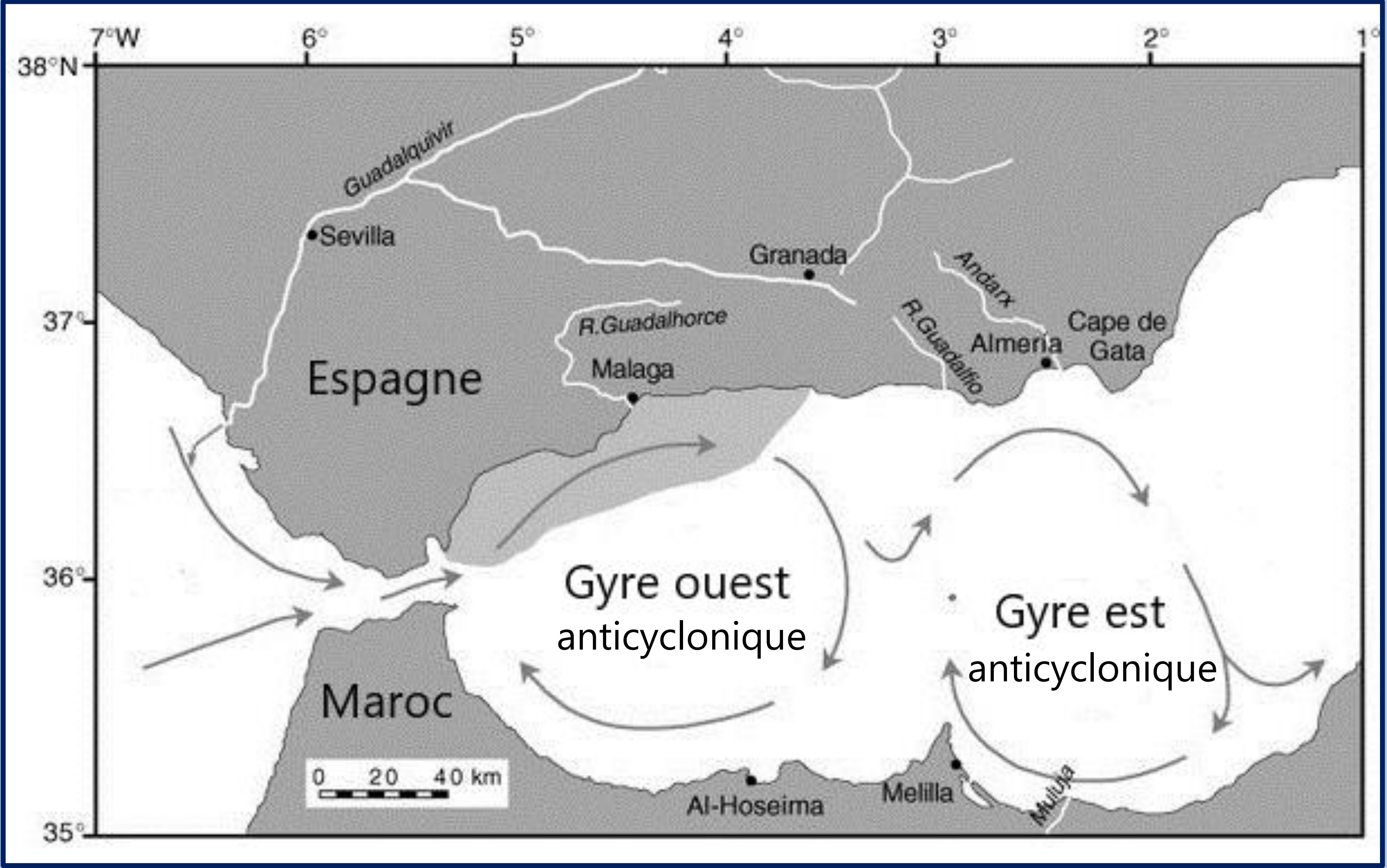
Le détroit de Gibraltar & la mer d'Alboran

Fort gradient de densité

Formation de courants étroits très intenses

Formation de 2 gyres

[Peliz et al., 2015]



Modifié à partir du site: https://www.researchgate.net/figure/Alboran-gyre-with-the-anticyclonics-Western-Alboran-Gyre-and-the-Eastern-Alboran-Gyre_fig3_313237142

Fig. 1. Situation de surface du détroit de Gibraltar et de la mer d'Alboran

La campagne PROTEVS-2020

Organisme et partenaire

Sous la direction du SHOM

Partenariat avec le MIO

La campagne PROTEVS-2020

Organisme et partenaire

Sous la direction du SHOM

Partenariat avec le MIO

Cadre spatio-temporel

Détroit de Gibraltar &
mer d'Alboran

23/10/2020

https://www.flotteoceanographique.fr/Nos-moyens/Navires-engins-et-equipements-mobiles/Navires-hauturiers/L-Atalante

Fig. 2. Atalante, navire océanographique

La campagne PROTEVS-2020

Organisme et partenaire

Sous la direction du SHOM

Partenariat avec le MIO

Cadre spatio-temporel

Détroit de Gibraltar & mer d'Alboran

Du 3/10/2020 au 23/10/2020

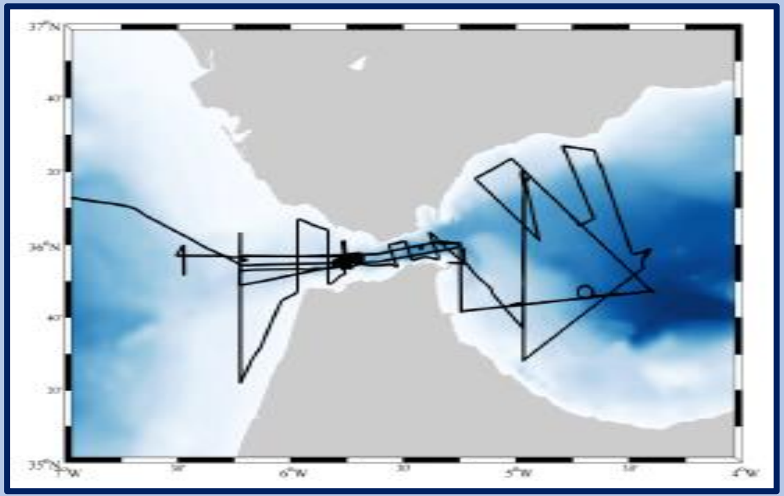
Objectifs de la campagne

Étudier des phénomènes influençant les flux entrant et sortant du détroit

Affiner des modèles de prévision déjà existants

https://www.flotteoceanographique.fr/Nos-moyens/Navires-engins-et-equipements-mobiles/Navires-hauturiers/L-Atalante

Fig. 2. Atalante, navire océanographique



Tiré du Rapport de campagne Protevs-Gibraltar 2020 de Roxane Tzortzis

Fig. 3. Route de L'Atalante dans le détroit de Gibraltar

Objectifs du stage

Exploitation des données de courantologie

- Satellitaires
- *In situ* de la campagne

Objectifs du stage

Exploitation des données de courantologie
- Satellitaires
- *In situ* de la campagne

Simulation numérique
- Des trajectoires de particules lagrangiennes
- En mer d'Alboran pendant la campagne

Objectifs du stage

Exploitation des données de courantologie
- Satellitaires
- *In situ* de la campagne

Simulation numérique
- Des trajectoires de particules lagrangiennes
- En mer d'Alboran pendant la campagne

Élaboration d'un modèle
- Advection-diffusion programmé en langage Python
- Suivant le schéma d'Euler

Objectifs du stage

Exploitation des données de courantologie
- Satellitaires
- *In situ* de la campagne

Simulation numérique
- Des trajectoires de particules lagrangiennes
- En mer d'Alboran pendant la campagne

Élaboration d'un modèle
- Advection-diffusion programmé en langage Python
- Suivant le schéma d'Euler

Comparaison
- Trajectoires simulées numériquement
- Trajectoires *in situ* des bouées

Objectifs du stage

Exploitation des données de courantologie
- Satellitaires
- *In situ* de la campagne

Simulation numérique
- Des trajectoires de particules lagrangiennes
- En mer d'Alboran pendant la campagne

Élaboration d'un modèle
- Advection-diffusion programmé en langage Python
- Suivant le schéma d'Euler

Comparaison
- Trajectoires simulées numériquement
- Trajectoires *in situ* des bouées

Discussion du modèle développé
- Précision du modèle
- Améliorations envisagées

Objectifs du stage

Exploitation des données de courantologie
- Satellitaires
- *In situ* de la campagne

Simulation numérique
- Des trajectoires de particules lagrangiennes
- En mer d'Alboran pendant la campagne

Élaboration d'un modèle
- Advection-diffusion programmé en langage Python
- Suivant le schéma d'Euler

Comparaison
- Trajectoires simulées numériquement
- Trajectoires *in situ* des bouées

Discussion du modèle développé
- Précision du modèle
- Améliorations envisagées

Application du modèle à la campagne PARTY

Les données de courantologie

Satellitaires

Fig. 4. Données satellitaires téléchargées sur CMEMS

Les données de courantologie

Satellitaires

Fig. 4. Données satellitaires téléchargées sur CMEMS

Les données de courantologie

Satellitaires

Fig. 4. Données satellitaires téléchargées sur CMEMS

Variables extraites

Vitesses géostrophiques absolues de surface	Hauteur de la surface de la mer au-dessus du géoïde

Les données de courantologie

Satellitaires

Fig. 4. Données satellitaires téléchargées sur CMEMS

Variables extraites

Vitesses géostrophiques absolues de surface	Hauteur de la surface de la mer au-dessus du géoïde

Caractéristiques du fichier CMEMS

Fenêtre spatiale

- Mer d'Europe
- Résolution de 1/8ème de degré

Fenêtre temporelle

- De 2019 jusqu'à nos jours
- Mise à jour quotidienne

Les données de courantologie

Satellitaires

Fig. 4. Données satellitaires téléchargées sur CMEMS

Variables extraites

Vitesses géostrophiques absolues de surface	Hauteur de la surface de la mer au-dessus du géoïde

Caractéristiques du fichier CMEMS

Fenêtre spatiale

- Mer d'Europe
- Résolution de 1/8ème de degré

Fenêtre temporelle

- De 2019 jusqu'à nos jours
- Mise à jour quotidienne

In situ

Les données de courantologie

Satellitaires

Fig. 4. Données satellitaires téléchargées sur CMEMS

Variables extraites

Vitesses géostrophiques absolues de surface	Hauteur de la surface de la mer au-dessus du géoïde

Caractéristiques du fichier CMEMS

Fenêtre spatiale

- Mer d'Europe
- Résolution de 1/8ème de degré

Fenêtre temporelle

- De 2019 jusqu'à nos jours
- Mise à jour quotidienne

In situ

Positions des bouées dérivantes

Relevées toutes les 5 min	À différentes périodes et profondeurs d'ancrage

http://docplayer.fr/78985993-Les-bouees-meteorologiques.html

Fig. 5. Bouées dérivantes lagrangiennes

Les données de courantologie

Satellitaires

Fig. 4. Données satellitaires téléchargées sur CMEMS

Variables extraites

Vitesses géostrophiques absolues de surface	Hauteur de la surface de la mer au-dessus du géoïde

Caractéristiques du fichier CMEMS

Fenêtre spatiale

- Mer d'Europe
- Résolution de 1/8$^{\text{ème}}$ de degré

Fenêtre temporelle

- De 2019 jusqu'à nos jours
- Mise à jour quotidienne

In situ

Positions des bouées dérivantes

Relevées toutes les 5 min	À différentes périodes et profondeurs d'ancrage

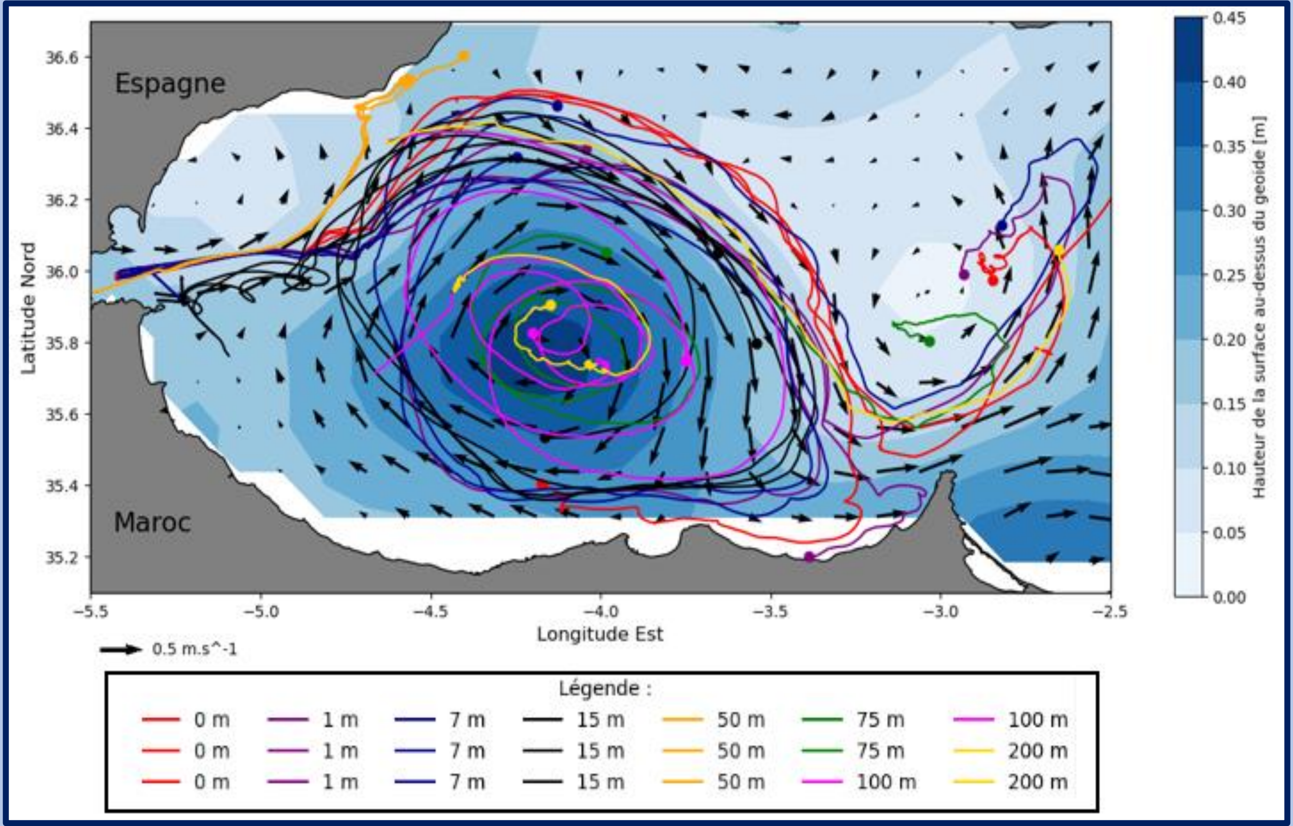


Fig. 6. Trajectoires *in situ* des bouées dérivantes jusqu'au 23-10-2020

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \ et \ \vec{v} = (u, v)$$

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \ et \ \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective → moyenne
  - Composante diffusive → écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \ et \ \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective ➔ moyenne
  - Composante diffusive ➔ écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \ et \ \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective → moyenne
  - Composante diffusive → écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \; et \; \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective ➔ moyenne
  - Composante diffusive ➔ écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Approximations numériques

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{d\vec{t}} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \ et \ \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective ➔ moyenne
  - Composante diffusive ➔ écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Approximations numériques

La méthode d'Euler

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{d\vec{t}} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \ et \ \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective → moyenne
  - Composante diffusive → écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Approximations numériques

La méthode d'Euler

- Développement limité

$$\vec{r}^{\,t+\Delta t} = \vec{r}^{\,t} + \vec{v}\Delta t \;\Rightarrow\; \vec{v} \simeq \frac{\vec{r}^{\,t+\Delta t} - \vec{r}^{\,t}}{\Delta t}$$

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \; et \; \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective → moyenne
  - Composante diffusive → écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Approximations numériques

La méthode d'Euler

- Développement limité

$$\vec{r}^{\,t+\Delta t} = \vec{r}^{\,t} + \vec{v}\Delta t \;\Rightarrow\; \vec{v} \simeq \frac{\vec{r}^{\,t+\Delta t} - \vec{r}^{\,t}}{\Delta t}$$

- Discrétisation

$$x^{t+\Delta t} = x^t + u\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + v\Delta t$$

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \ et \ \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective ➔ moyenne
  - Composante diffusive ➔ écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Approximations numériques

La méthode d'Euler

- Développement limité

$$\vec{r}^{\,t+\Delta t} = \vec{r}^{\,t} + \vec{v}\Delta t \;\Rightarrow\; \vec{v} \simeq \frac{\vec{r}^{\,t+\Delta t} - \vec{r}^{\,t}}{\Delta t}$$

- Discrétisation

$$x^{t+\Delta t} = x^t + u\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + v\Delta t$$

- Ajout de la décomposition de Reynolds

$$x^{t+\Delta t} = x^t + (\bar{u} + u')\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + (\bar{v} + v')\Delta t$$

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{d\vec{t}} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \ et \ \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective → moyenne
  - Composante diffusive → écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Approximations numériques

La méthode d'Euler

- Développement limité

$$\vec{r}^{\,t+\Delta t} = \vec{r}^{\,t} + \vec{v}\Delta t \ \Rightarrow \ \vec{v} \simeq \frac{\vec{r}^{\,t+\Delta t} - \vec{r}^{\,t}}{\Delta t}$$

- Discrétisation

$$x^{t+\Delta t} = x^t + u\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + v\Delta t$$

- Ajout de la décomposition de Reynolds

$$x^{t+\Delta t} = x^t + (\bar{u} + u')\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + (\bar{v} + v')\Delta t$$

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \ et \ \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective ➔ moyenne
  - Composante diffusive ➔ écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Approximations numériques

La méthode d'Euler

- Développement limité

$$\vec{r}^{\,t+\Delta t} = \vec{r}^{\,t} + \vec{v}\Delta t \Rightarrow \vec{v} \simeq \frac{\vec{r}^{\,t+\Delta t} - \vec{r}^{\,t}}{\Delta t}$$

- Discrétisation

$$x^{t+\Delta t} = x^t + u\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + v\Delta t$$

- Ajout de la décomposition de Reynolds

$$x^{t+\Delta t} = x^t + (\bar{u} + u')\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + (\bar{v} + v')\Delta t$$

- Composante diffusive ➔ nombres générés aléatoirement à partir de la Loi Normale N(μ, σ)

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \; et \; \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective ➔ moyenne
  - Composante diffusive ➔ écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Approximations numériques

La méthode d'Euler

- Développement limité

$$\vec{r}^{\,t+\Delta t} = \vec{r}^{\,t} + \vec{v}\Delta t \;\Rightarrow\; \vec{v} \simeq \frac{\vec{r}^{\,t+\Delta t} - \vec{r}^{\,t}}{\Delta t}$$

- Discrétisation

$$x^{t+\Delta t} = x^t + u\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + v\Delta t$$

- Ajout de la décomposition de Reynolds

$$x^{t+\Delta t} = x^t + (\bar{u} + u')\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + (\bar{v} + v')\Delta t$$

- Composante diffusive ➔ nombres générés aléatoirement à partir de la Loi Normale N(μ, σ)

$$\mu = 0$$

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \ et \ \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective ➔ moyenne
  - Composante diffusive ➔ écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Approximations numériques

La méthode d'Euler

- Développement limité

$$\vec{r}^{\,t+\Delta t} = \vec{r}^{\,t} + \vec{v}\Delta t \ \Rightarrow \ \vec{v} \simeq \frac{\vec{r}^{\,t+\Delta t} - \vec{r}^{\,t}}{\Delta t}$$

- Discrétisation

$$x^{t+\Delta t} = x^t + u\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + v\Delta t$$

- Ajout de la décomposition de Reynolds

$$x^{t+\Delta t} = x^t + (\bar{u} + u')\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + (\bar{v} + v')\Delta t$$

- Composante diffusive ➔ nombres générés aléatoirement à partir de la Loi Normale N(μ, σ)

$$\mu = 0 \qquad \sigma = \sqrt{2K_H \Delta t}$$

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \ et \ \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective ➔ moyenne
  - Composante diffusive ➔ écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Approximations numériques

La méthode d'Euler

- Développement limité

$$\vec{r}^{\,t+\Delta t} = \vec{r}^{\,t} + \vec{v}\Delta t \ \Rightarrow \ \vec{v} \simeq \frac{\vec{r}^{\,t+\Delta t} - \vec{r}^{\,t}}{\Delta t}$$

- Discrétisation

$$x^{t+\Delta t} = x^t + u\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + v\Delta t$$

- Ajout de la décomposition de Reynolds

$$x^{t+\Delta t} = x^t + (\bar{u} + u')\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + (\bar{v} + v')\Delta t$$

- Composante diffusive ➔ nombres générés aléatoirement à partir de la Loi Normale N(μ, σ)

$$\mu = 0 \qquad \sigma = \sqrt{2K_H\Delta t}$$

Le modèle numérique

Approximations physiques

Trajectoires des particules au cours du temps dans le plan horizontal 2D

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad avec \quad \vec{r} = (x, y) \; et \; \vec{v} = (u, v)$$

Décomposition de Reynolds

- Cas des écoulements turbulent et non laminaire
- Méthode de lissage de la vitesse dans le temps
  - Composante advective ➔ moyenne
  - Composante diffusive ➔ écart à la moyenne

$$u = \bar{u} + u' \text{ et } v = \bar{v} + v'.$$

Approximations numériques

La méthode d'Euler

- Développement limité

$$\vec{r}^{\,t+\Delta t} = \vec{r}^{\,t} + \vec{v}\Delta t \;\Rightarrow\; \vec{v} \simeq \frac{\vec{r}^{\,t+\Delta t} - \vec{r}^{\,t}}{\Delta t}$$

- Discrétisation

$$x^{t+\Delta t} = x^t + u\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + v\Delta t$$

- Ajout de la décomposition de Reynolds

$$x^{t+\Delta t} = x^t + (\bar{u} + u')\Delta t \quad et \quad y^{t+\Delta t} = y^t + (\bar{v} + v')\Delta t$$

- Composante diffusive ➔ nombres générés aléatoirement à partir de la Loi Normale N(μ, σ)

$$\mu = 0 \qquad \sigma = \sqrt{2K_H \Delta t}$$

Tests de sensibilité du pas de temps Δt à partir de la composante advective

Champ stationnaire sur 3 mois

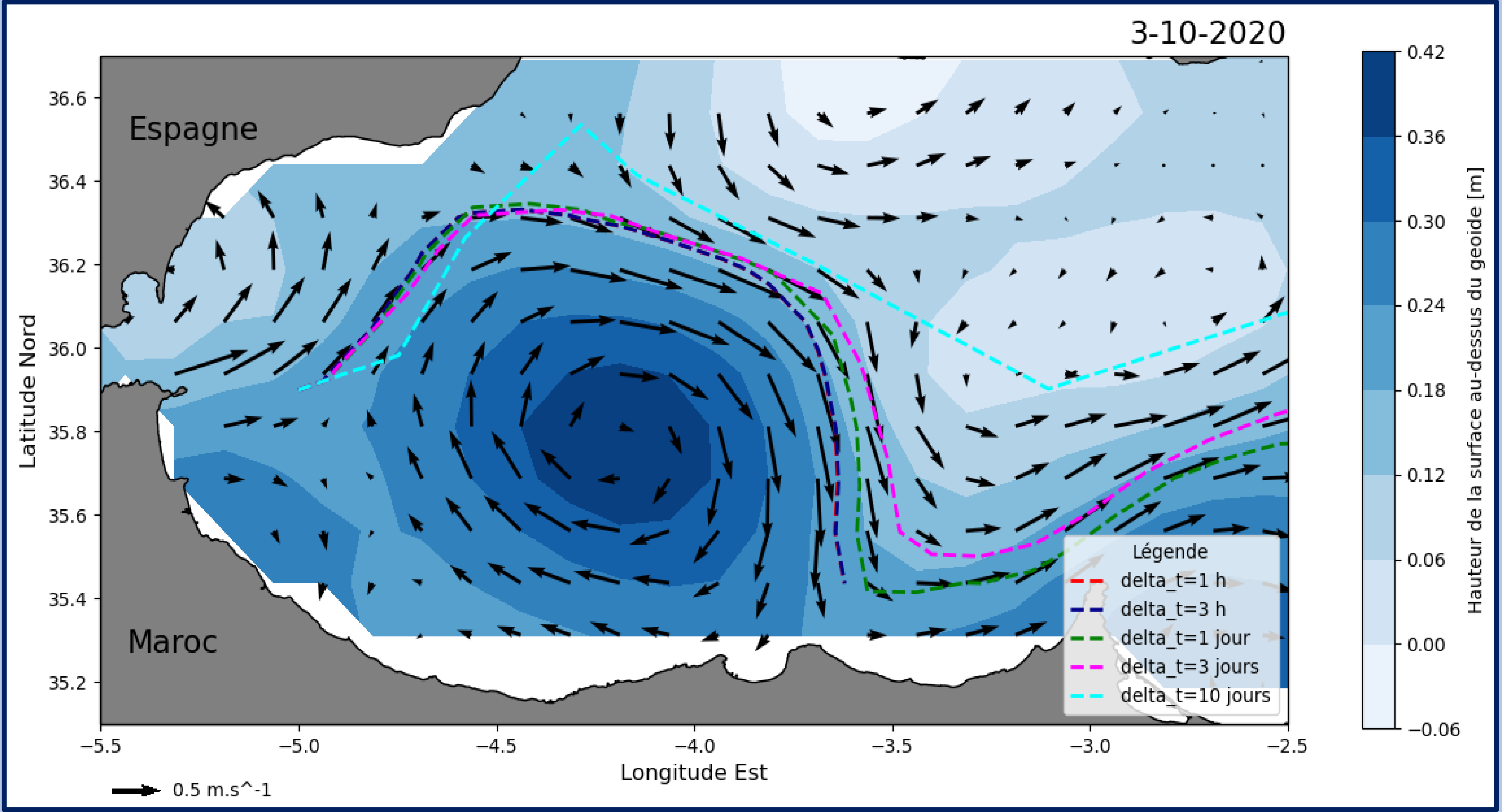
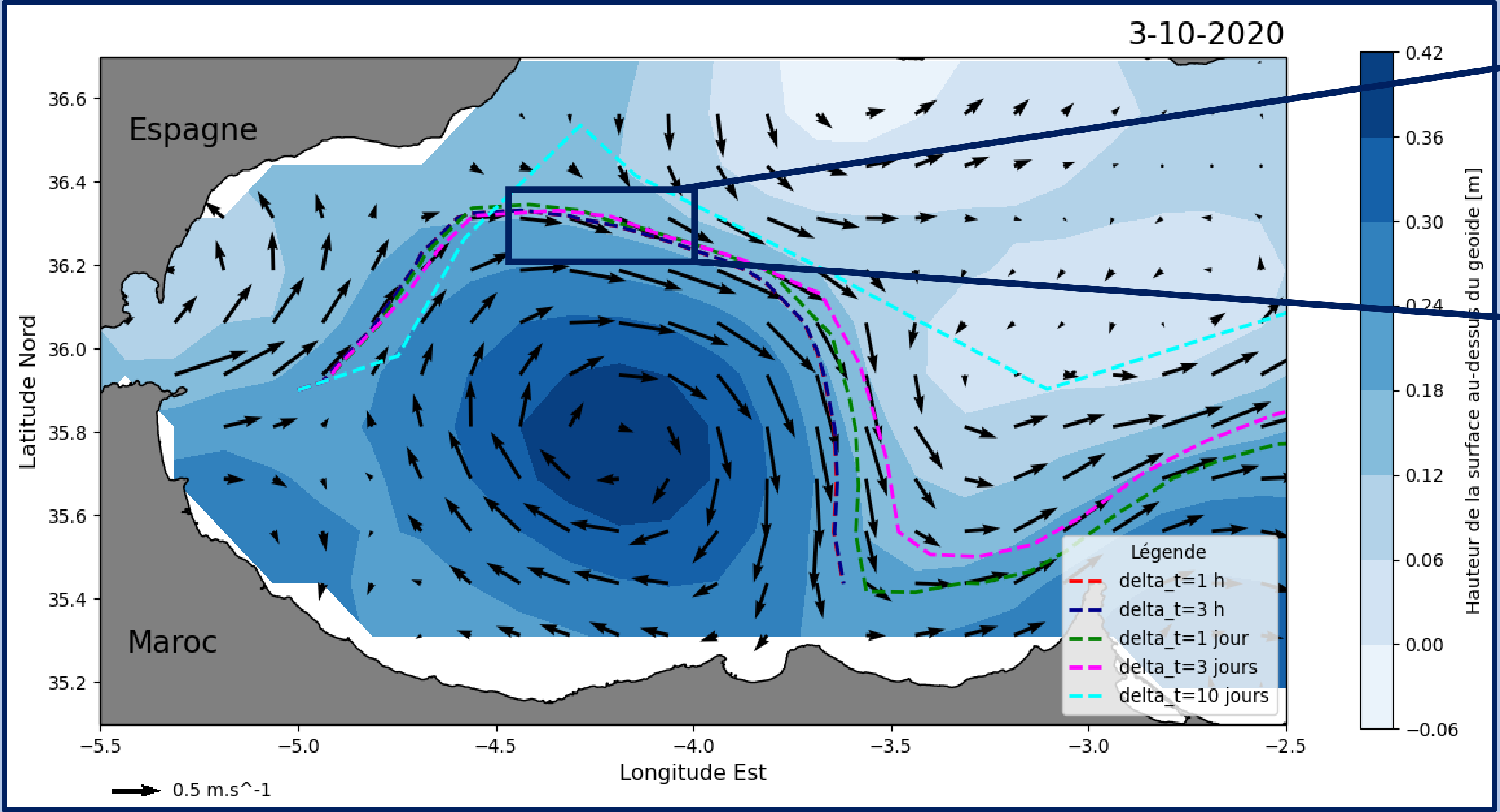


Fig. 7. Test de sensibilité n°1 pour Δt=1 h ; Δt=3 h ; Δt=1 j ; Δt=3 j ; Δt=10 j

Tests de sensibilité du pas de temps Δt à partir de la composante advective

Champ stationnaire sur 3 mois



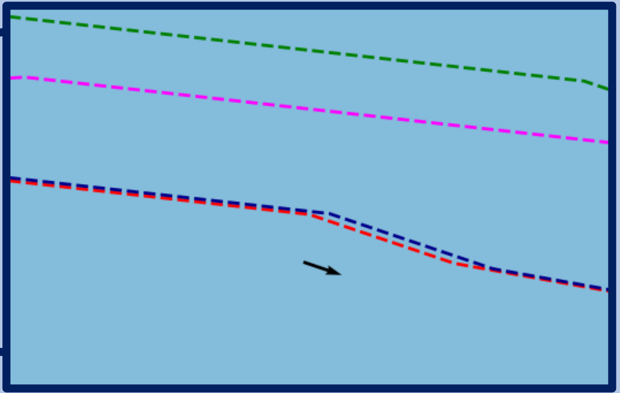
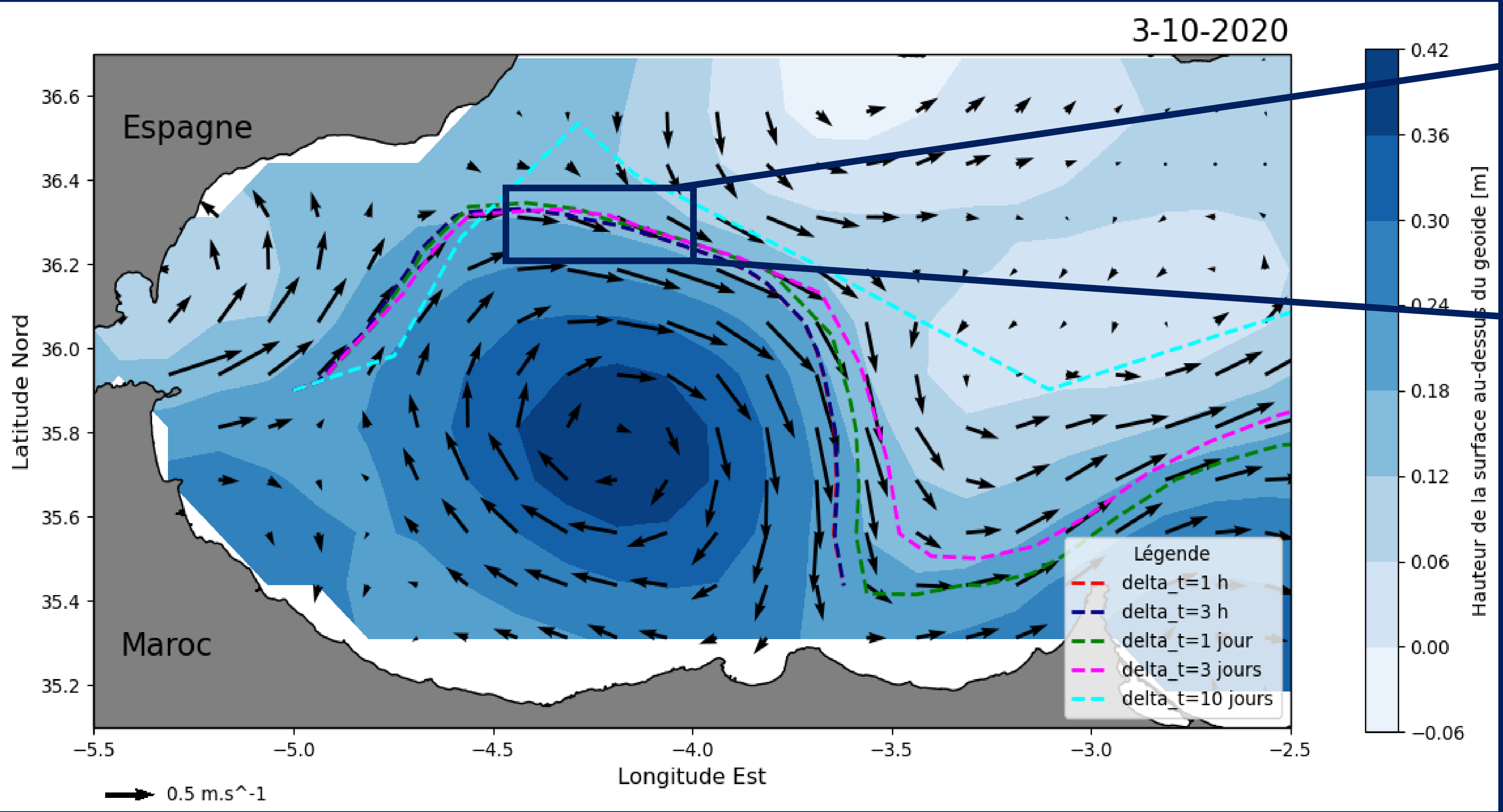


Fig. 7. Test de sensibilité n°1 pour Δt=1 h ; Δt=3 h ; Δt=1 j ; Δt=3 j ; Δt=10 j

Tests de sensibilité du pas de temps Δt à partir de la composante advective

Champ stationnaire sur 3 mois



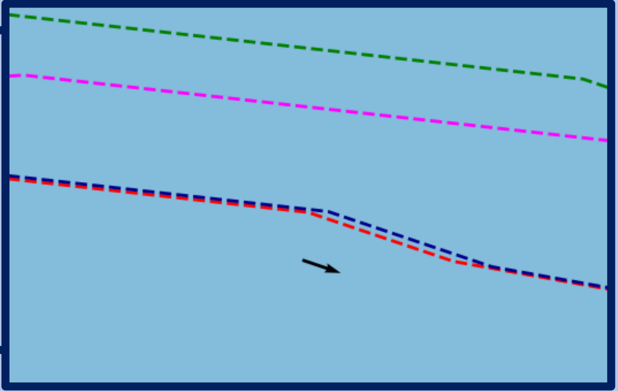


Fig. 7. Test de sensibilité n°1 pour Δt=1 h ; Δt=3 h ; Δt=1 j ; Δt=3 j ; Δt=10 j

Δt sélectionné

- Δt = 1 h

Tests du coefficient de diffusion K_H

Champ variable sur 10 jours

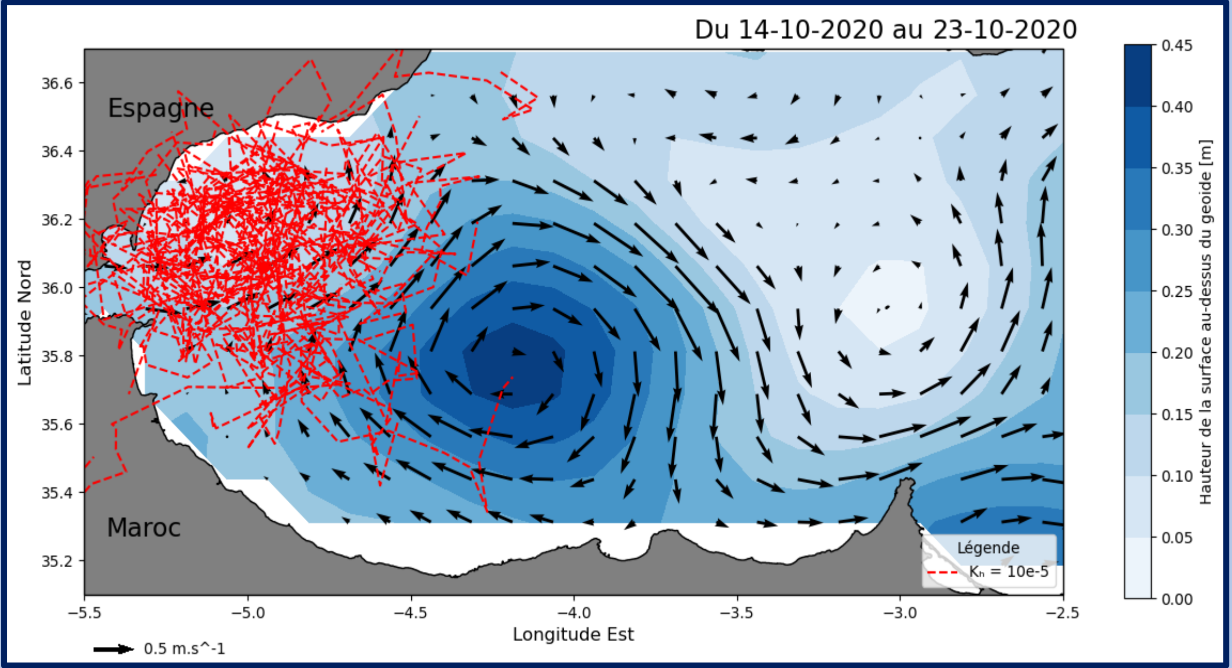


Fig. 8. Test du coefficient de diffusion pour $K_H = 10^{-5}\, m^2.s^{-1}$

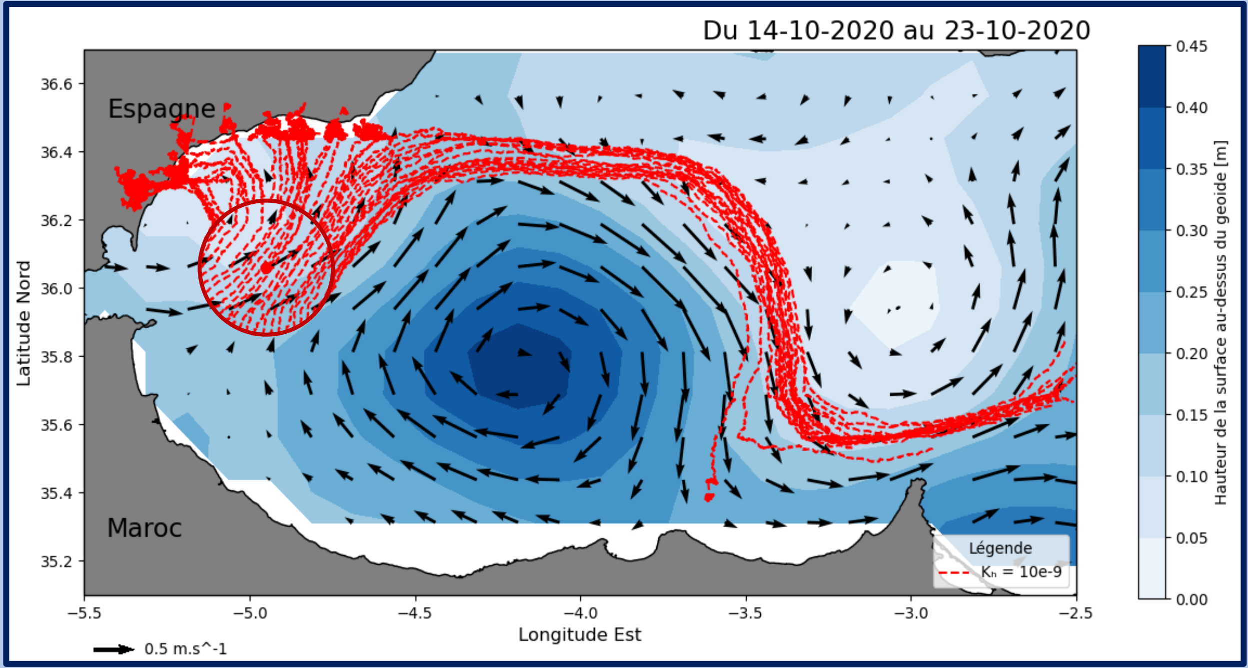


Fig. 9. Test du coefficient de diffusion pour $K_H = 10^{-9} m^2.s^{-1}$

Tests du coefficient de diffusion K_H

Champ variable sur 10 jours

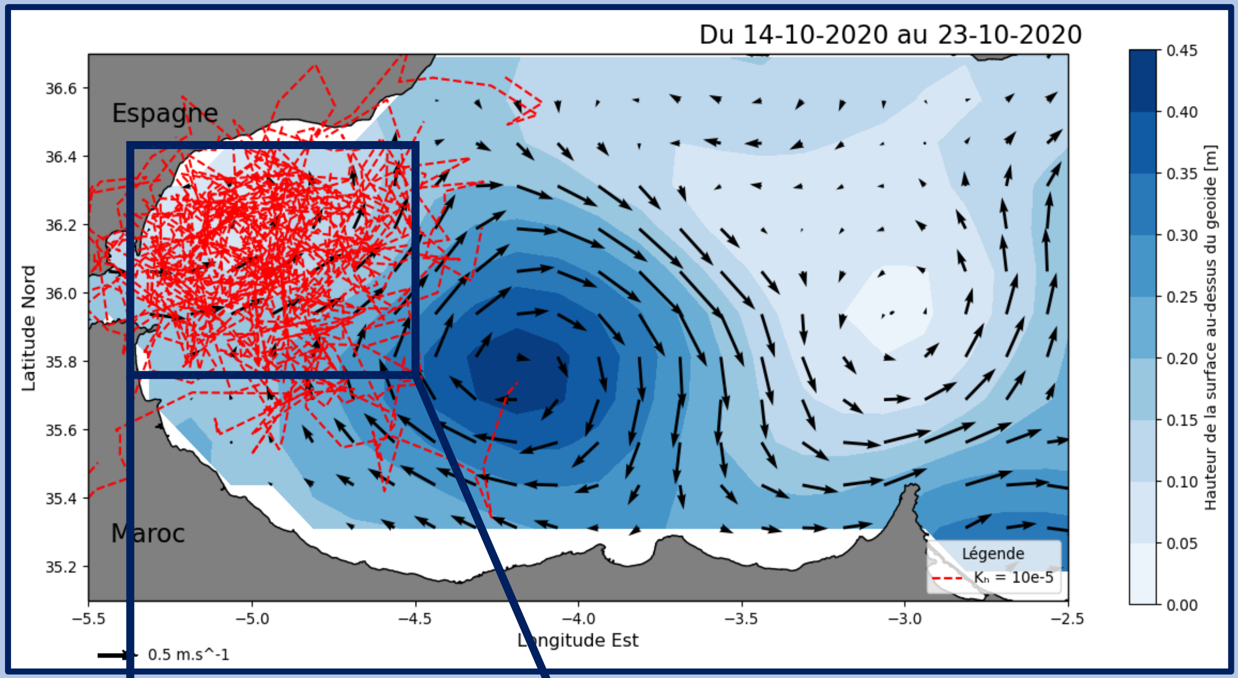


Fig. 8. Test du coefficient de diffusion pour $K_H = 10^{-5}\,m^2.s^{-1}$

La diffusion prédomine l'advection

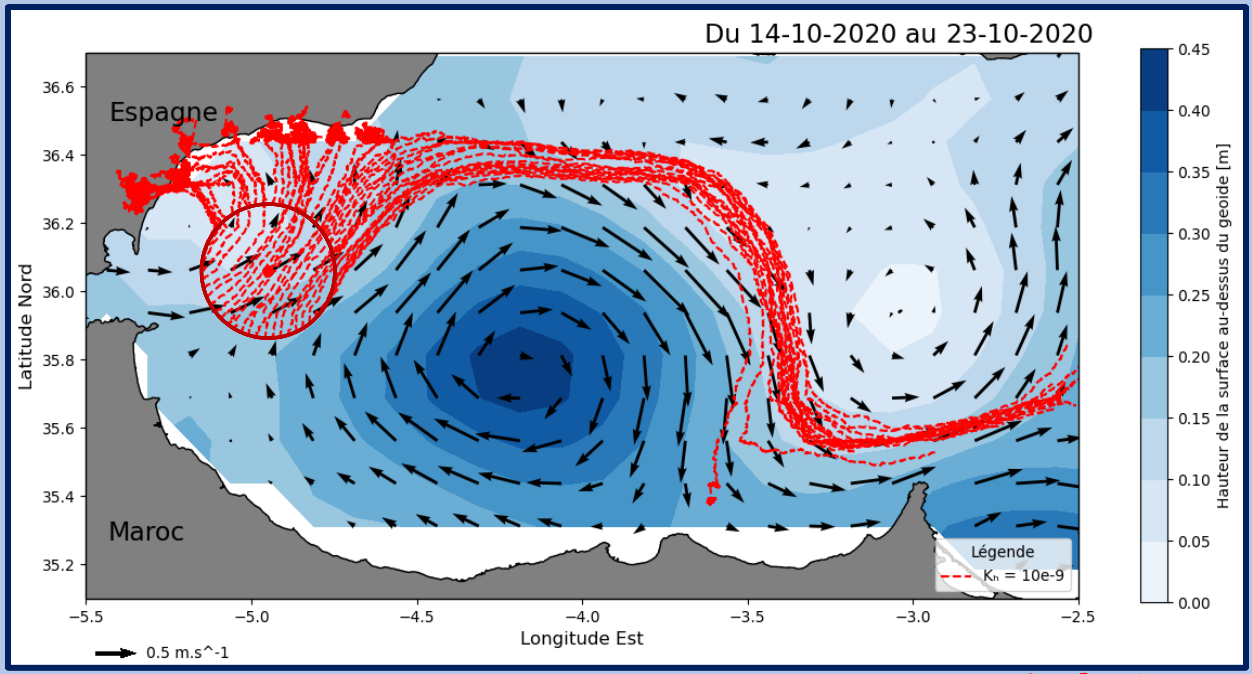


Fig. 9. Test du coefficient de diffusion pour $K_H = 10^{-9}\,m^2.s^{-1}$

Tests du coefficient de diffusion K_H

Champ variable sur 10 jours

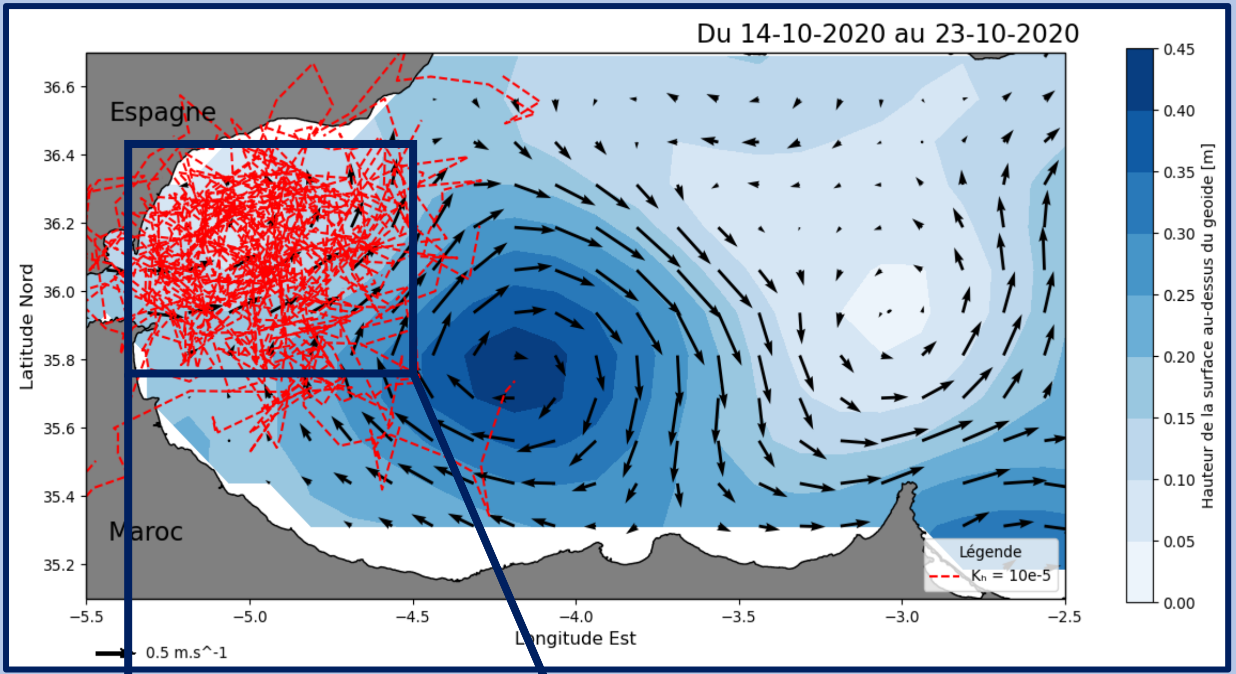


Fig. 8. Test du coefficient de diffusion pour $K_H = 10^{-5}\ m^2.s^{-1}$

La diffusion prédomine l'advection

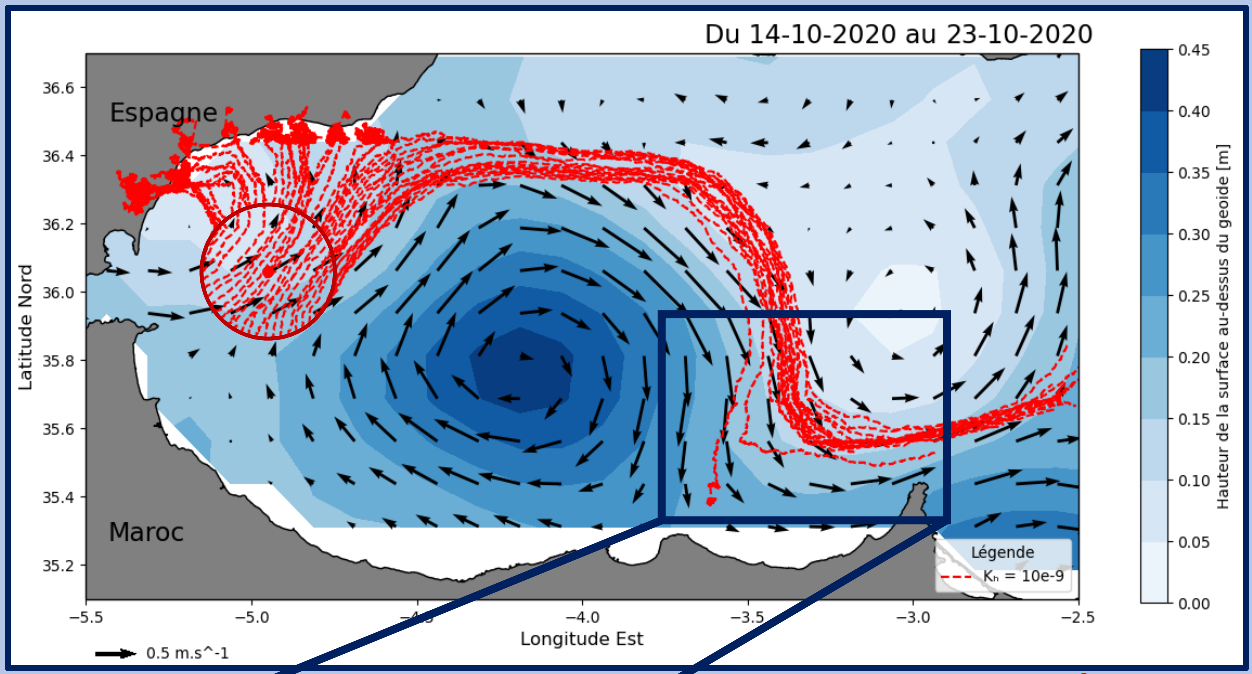
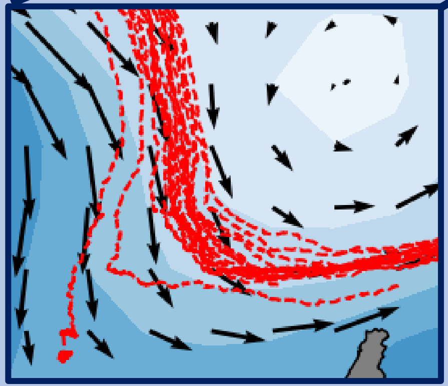


Fig. 9. Test du coefficient de diffusion pour $K_H = 10^{-9} m^2.s^{-1}$



L'advection prédomine la diffusion

Tests du coefficient de diffusion K_H

Champ variable sur 10 jours

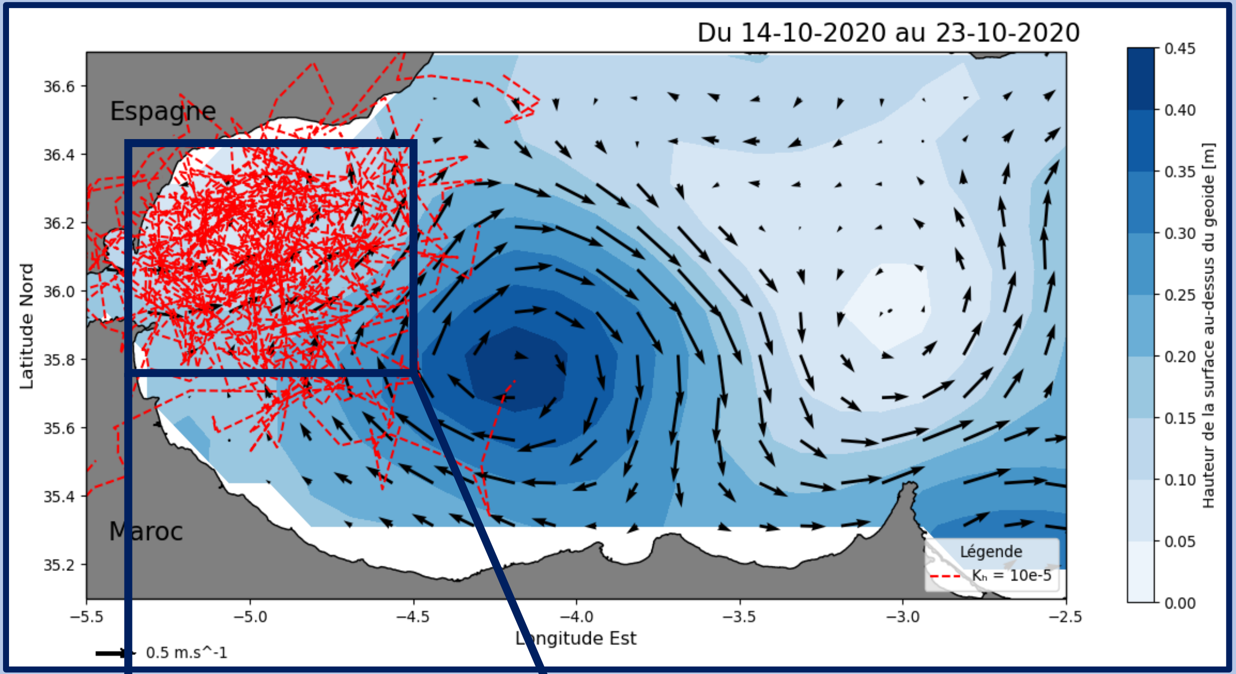
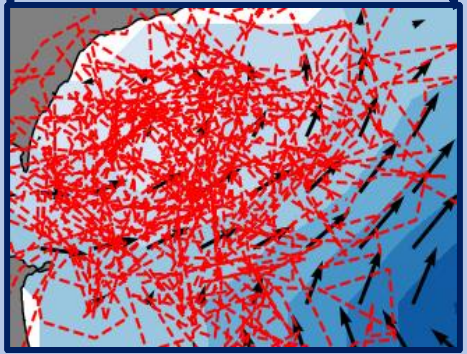


Fig. 8. Test du coefficient de diffusion pour $K_H = 10^{-5}\ m^2.s^{-1}$



La diffusion prédomine l'advection

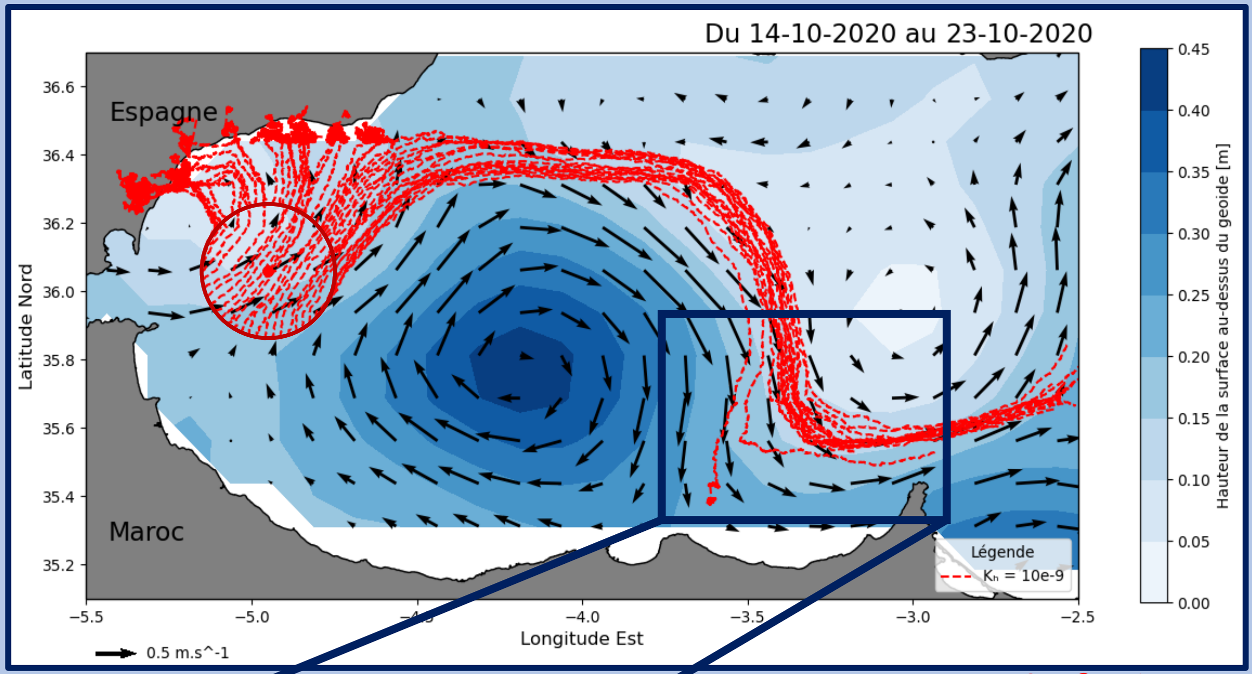
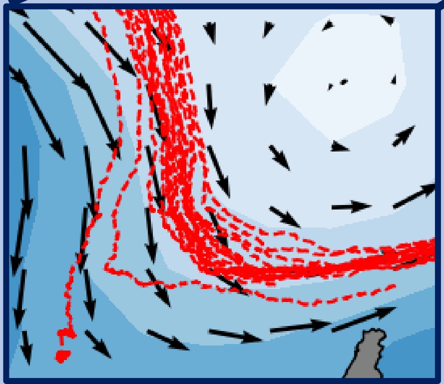


Fig. 9. Test du coefficient de diffusion pour $K_H = 10^{-9} m^2.s^{-1}$



L'advection prédomine la diffusion

K_H sélectionné

- $K_H = 10^{-9}\ m^2.s^{-1}$
- [Qiu et al., 2011]

Comparaison des trajectoires simulées et des trajectoires des bouées de la campagne

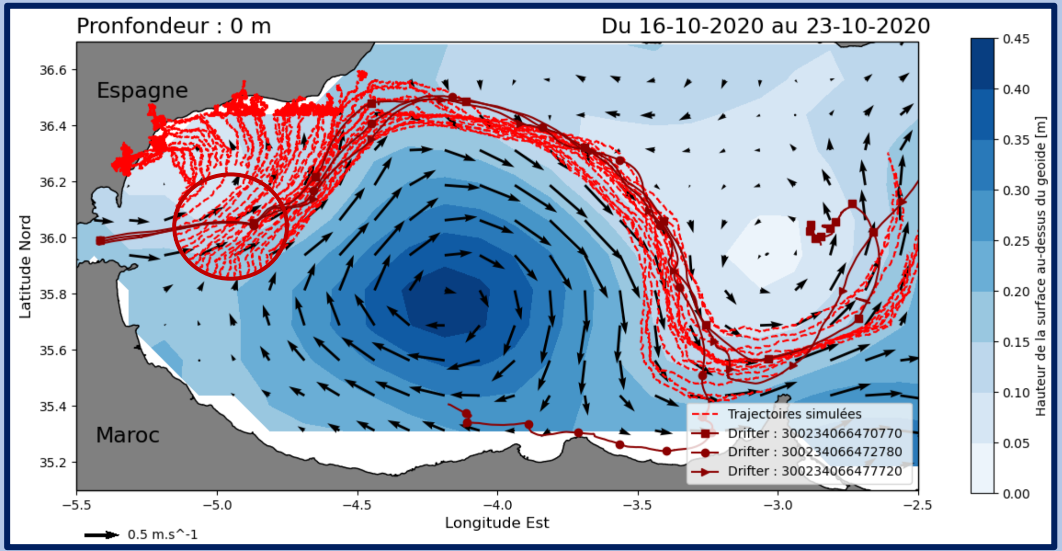


Fig. 10. Profondeur : 0 m; 50 particules

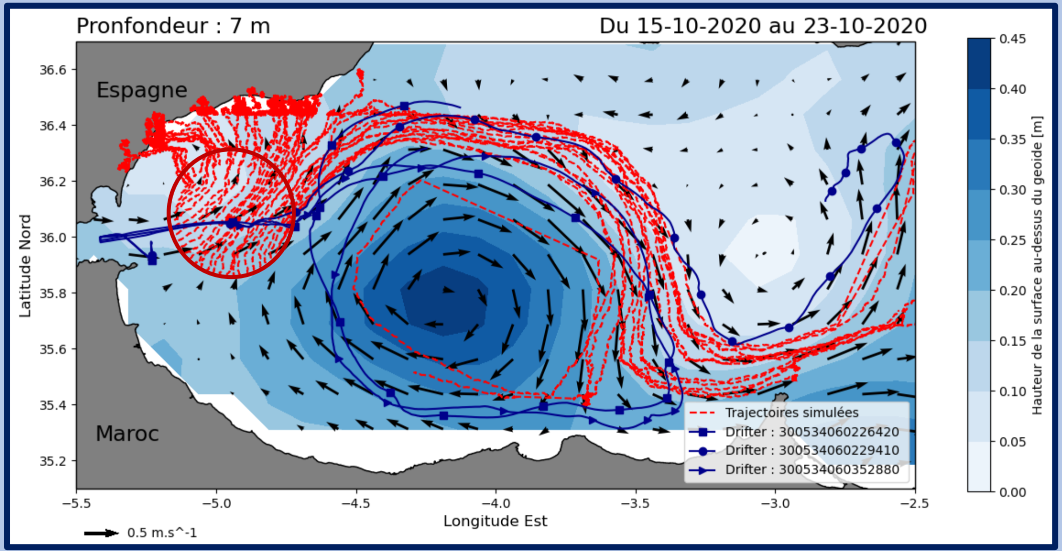


Fig. 11. Profondeur : 7 m; 50 particules

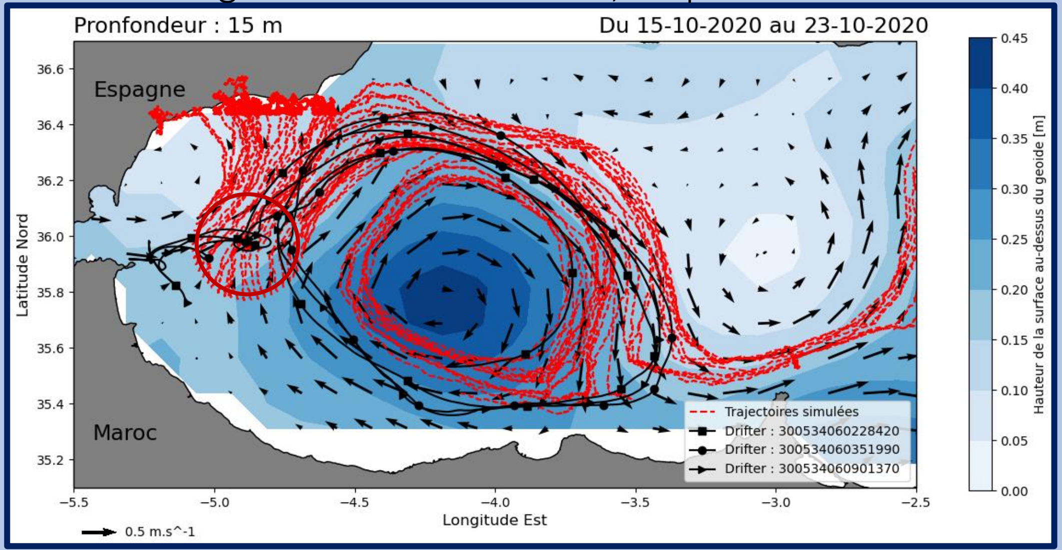


Fig. 12. Profondeur : 15 m; 50 particules

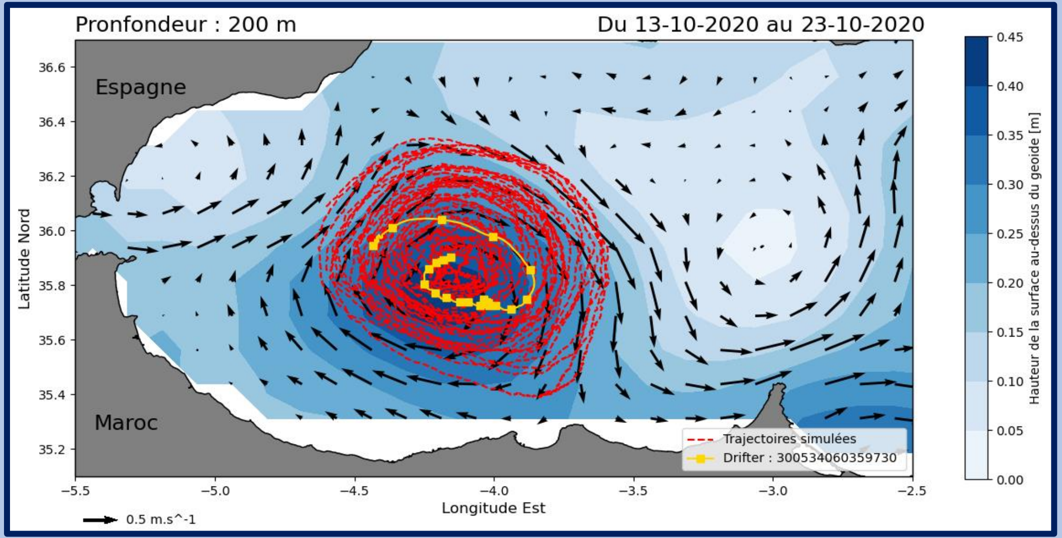


Fig. 13. Profondeur : 200 m; 10 particules

Comparaison des trajectoires simulées et des trajectoires des bouées de la campagne

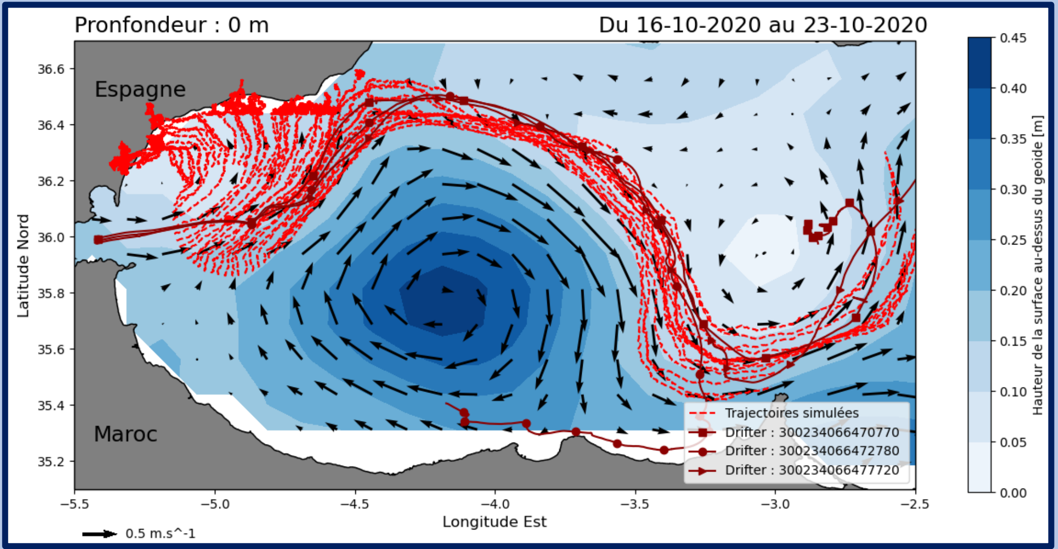


Fig. 10. Profondeur : 0 m; 50 particules

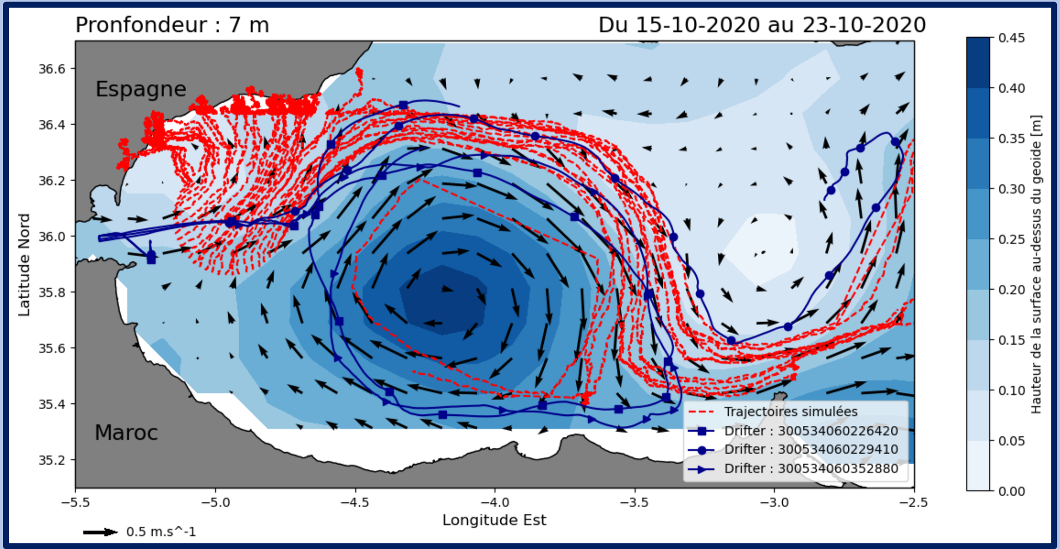


Fig. 11. Profondeur : 7 m; 50 particules

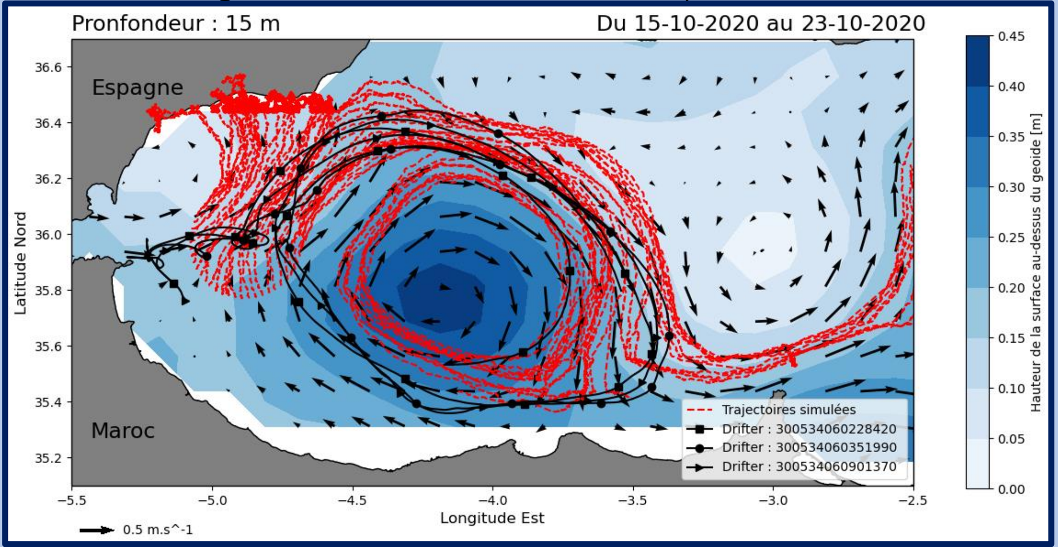


Fig. 12. Profondeur : 15 m; 50 particules

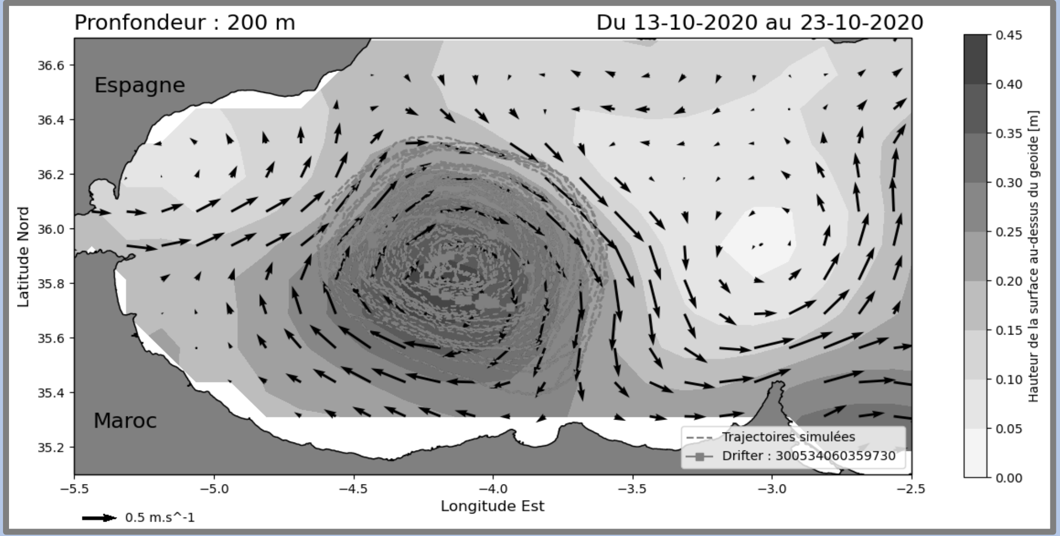


Fig. 13. Profondeur : 200 m; 10 particules

Comparaison des trajectoires simulées et des trajectoires des bouées de la campagne

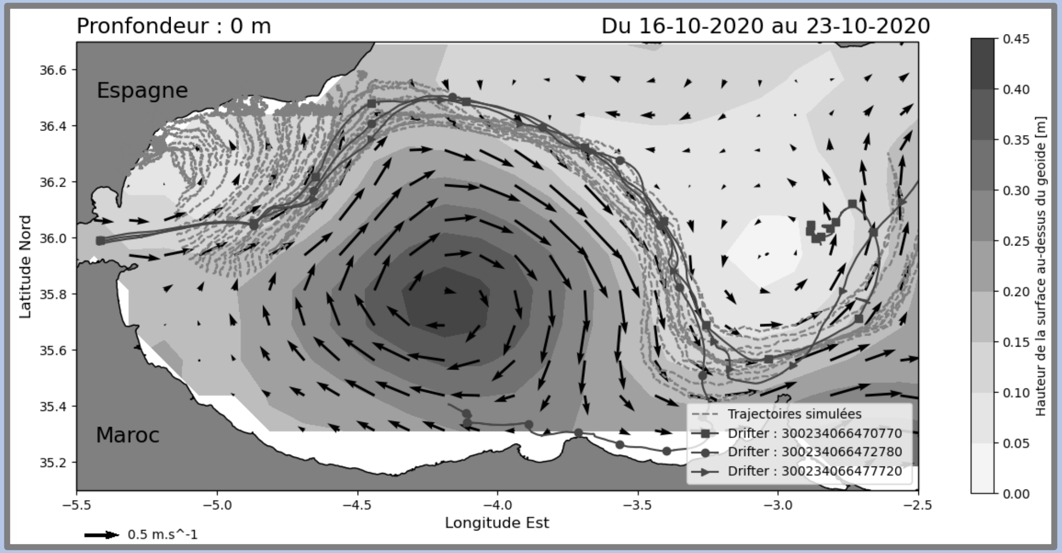


Fig. 10. Profondeur : 0 m; 50 particules

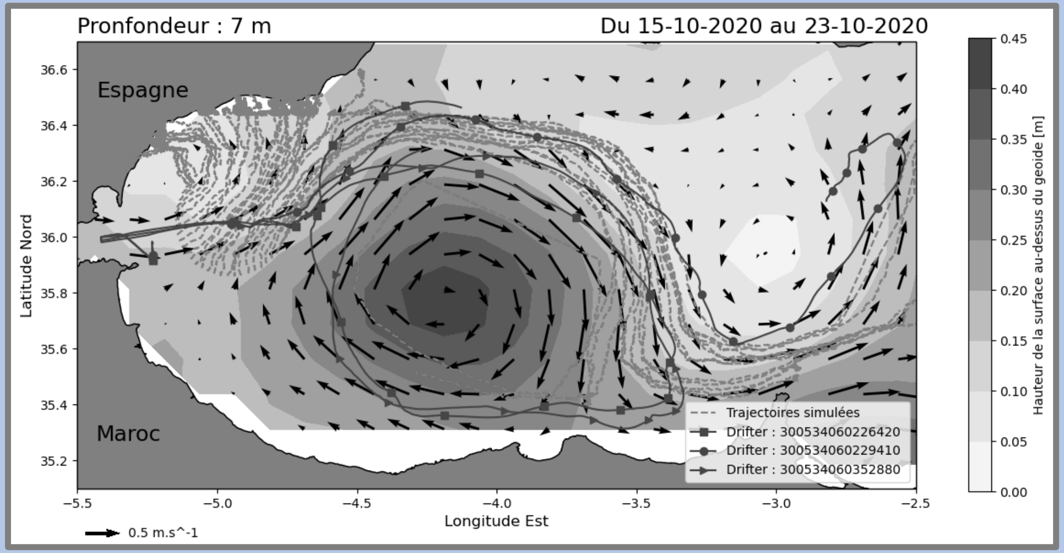


Fig. 11. Profondeur : 7 m; 50 particules

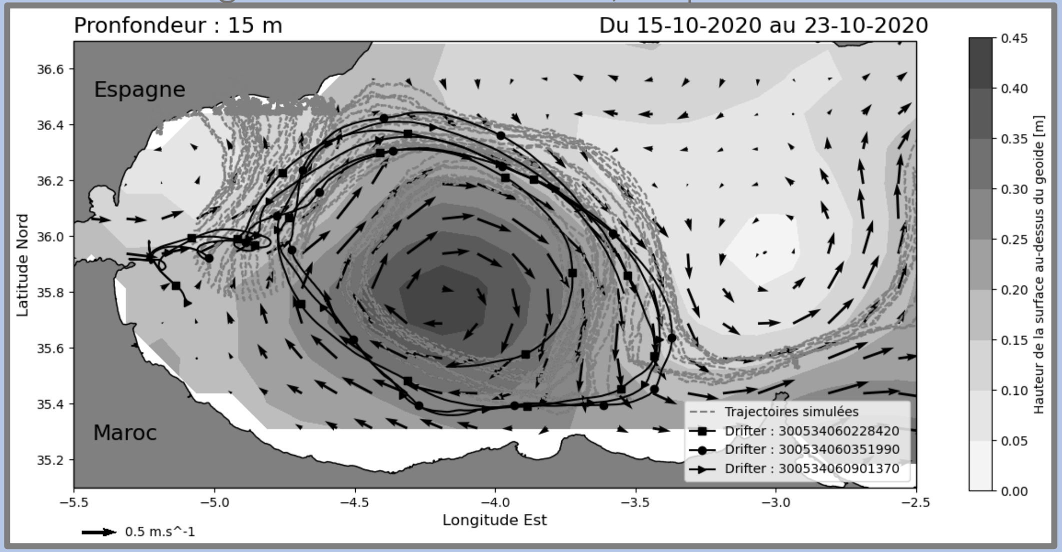


Fig. 12. Profondeur : 15 m; 50 particules

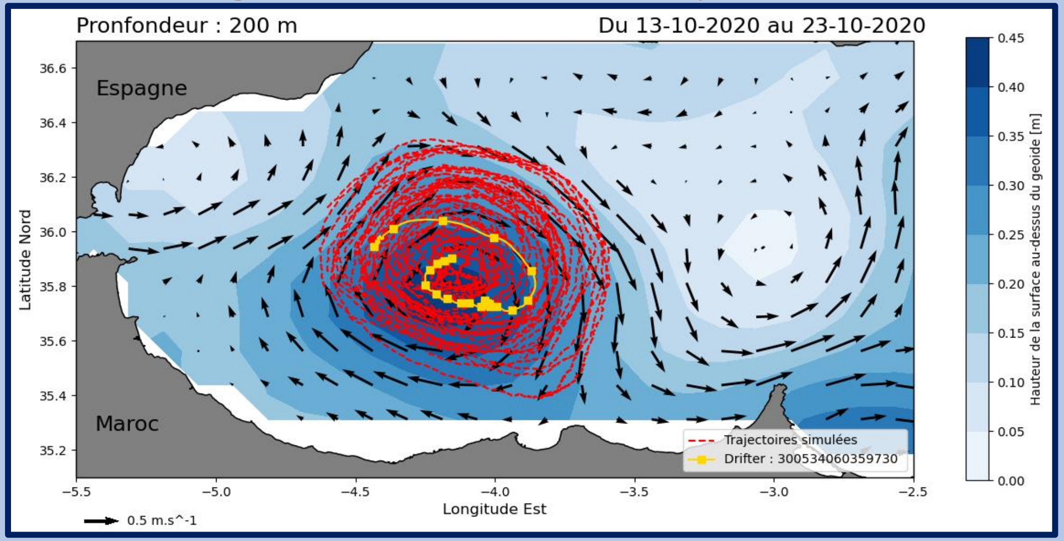


Fig. 13. Profondeur : 200 m; 10 particules

Interprétation des comparaisons des trajectoires

Profondeurs de surface

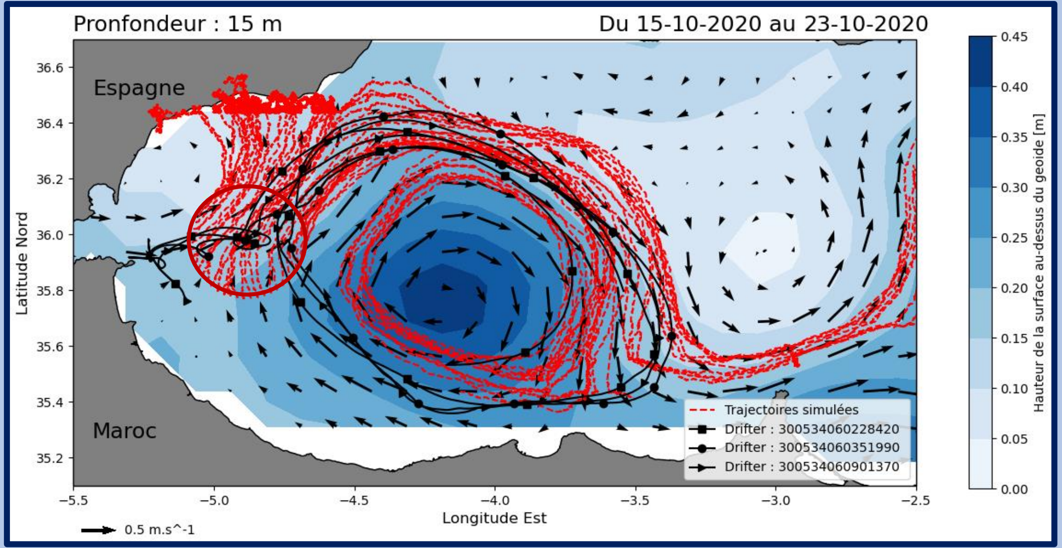


Fig. 14. Profondeur : 15 m; 50 particules

Interprétation des comparaisons des trajectoires

Profondeurs de surface

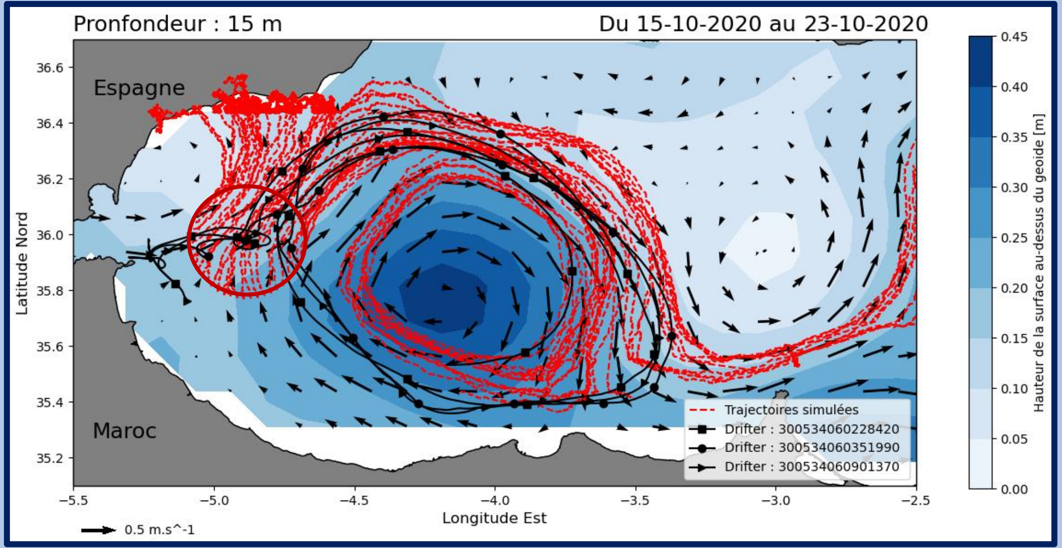


Fig. 14. Profondeur : 15 m; 50 particules

Constat

Trajectoires simulées **non similaires** aux trajectoires des bouées

Nécessité de **trajectoires moyennes**

Origine

Erreurs liées aux **données d'entrée**

Interprétation des comparaisons des trajectoires

Profondeurs de surface

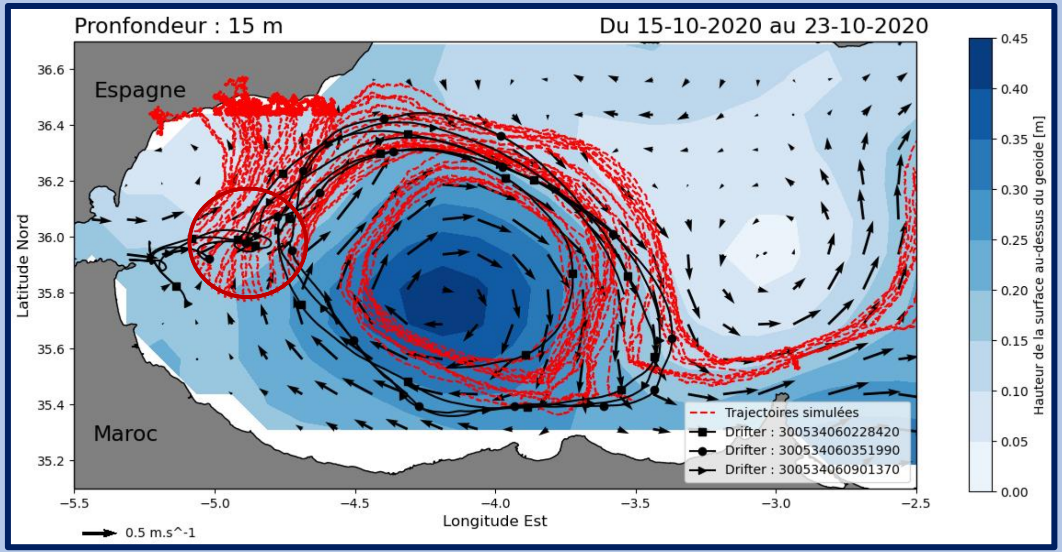


Fig. 14. Profondeur : 15 m; 50 particules

Constat

Trajectoires simulées **non similaires** aux trajectoires des bouées

Nécessité de **trajectoires moyennes**

Origine

Erreurs liées aux **données d'entrée**

Profondeurs importantes

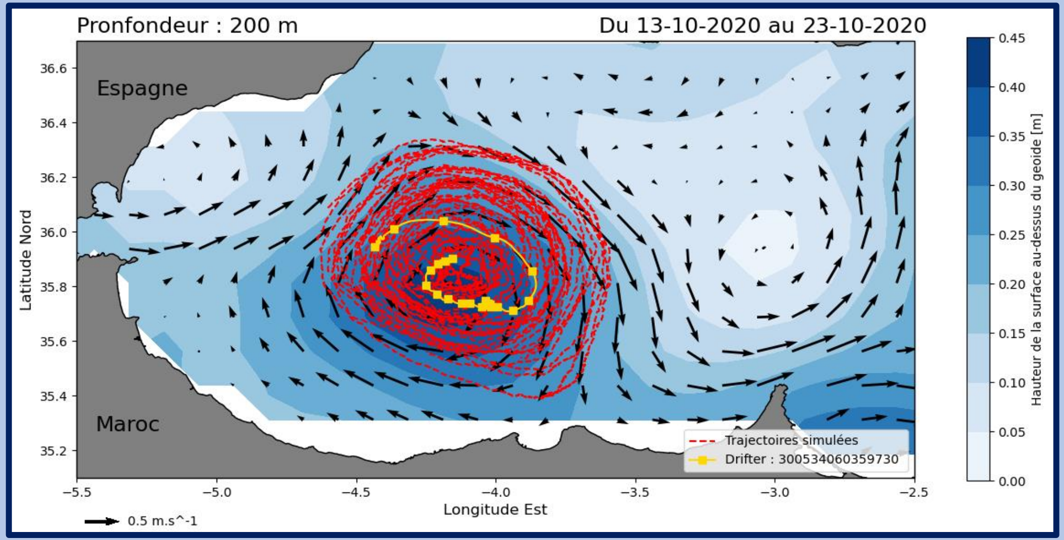


Fig. 15. Profondeur : 200 m; 10 particules

Interprétation des comparaisons des trajectoires

Profondeurs de surface

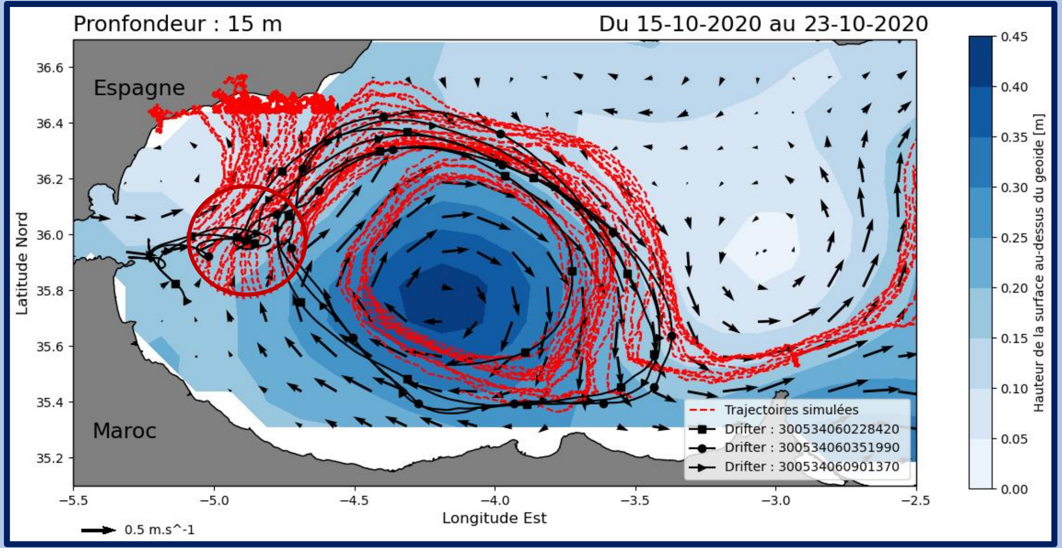


Fig. 14. Profondeur : 15 m; 50 particules

Constat

Trajectoires simulées **non similaires** aux trajectoires des bouées

Nécessité de trajectoires moyennes

Origine

Erreurs liées aux **données d'entrée**

Profondeurs importantes

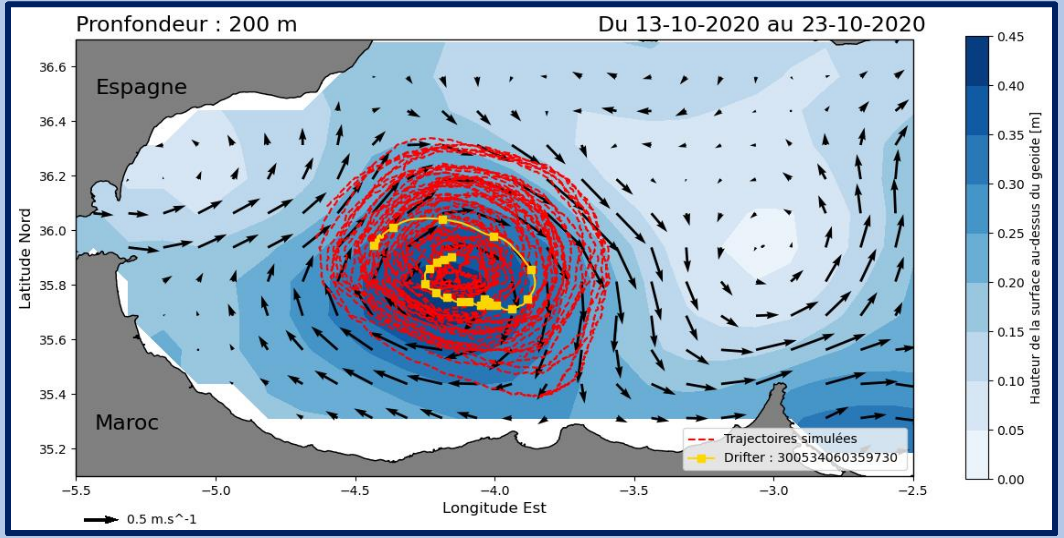


Fig. 15. Profondeur : 200 m; 10 particules

Constat

Vitesse **lente** des **bouées** ;
Vitesse **très rapide** des particules **simulées**

Piégeage des particules dans la gyre

Origine

Intégration des **trajectoires de surface**

Des approximations à l'origine de sources d'erreurs

Erreurs liées au modèle numérique

Méthode d'Euler

Des approximations à l’origine de sources d’erreurs

Erreurs liées au modèle numérique

Méthode d’Euler

Simple à numériser

Fortes approximations de la discrétisation

Des approximations à l'origine de sources d'erreurs

Erreurs liées au modèle numérique

Méthode d'Euler

- **Simple** à numériser
- Fortes approximations de la discrétisation

Méthode Runge-Kutta

Des approximations à l'origine de sources d'erreurs

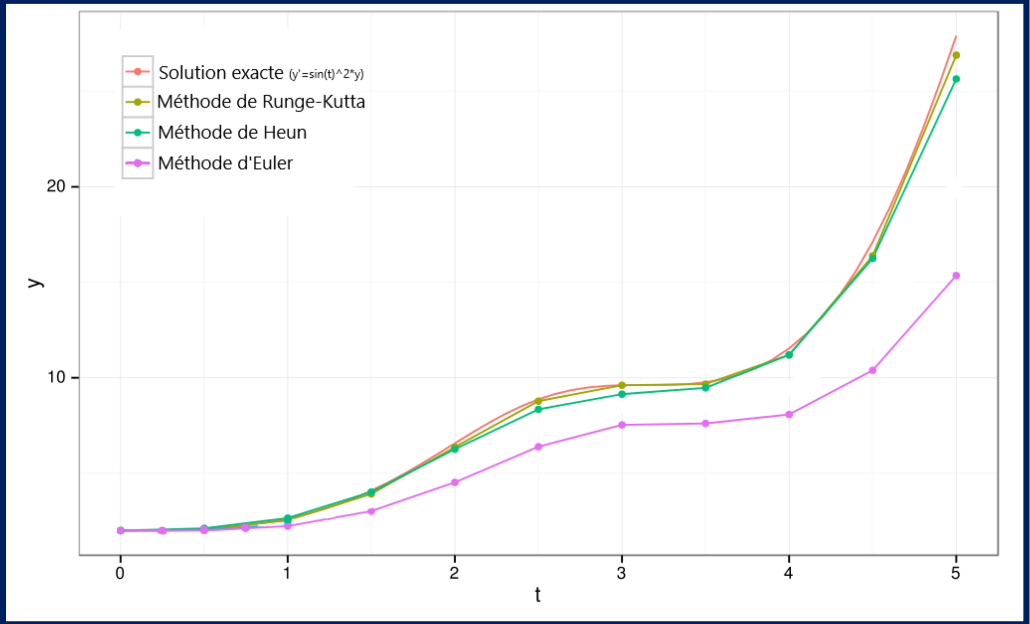
Erreurs liées au modèle numérique

Méthode d'Euler	Méthode Runge-Kutta
Simple à numériser	Repose sur le même principe qu'Euler
Fortes approximations de la discrétisation	Plus **complexe** & plus **fiable**

Des approximations à l'origine de sources d'erreurs

Erreurs liées au modèle numérique

Méthode d'Euler	Méthode Runge-Kutta
Simple à numériser	Repose sur le même principe qu'Euler
Fortes approximations de la discrétisation	Plus **complexe** & plus **fiable**



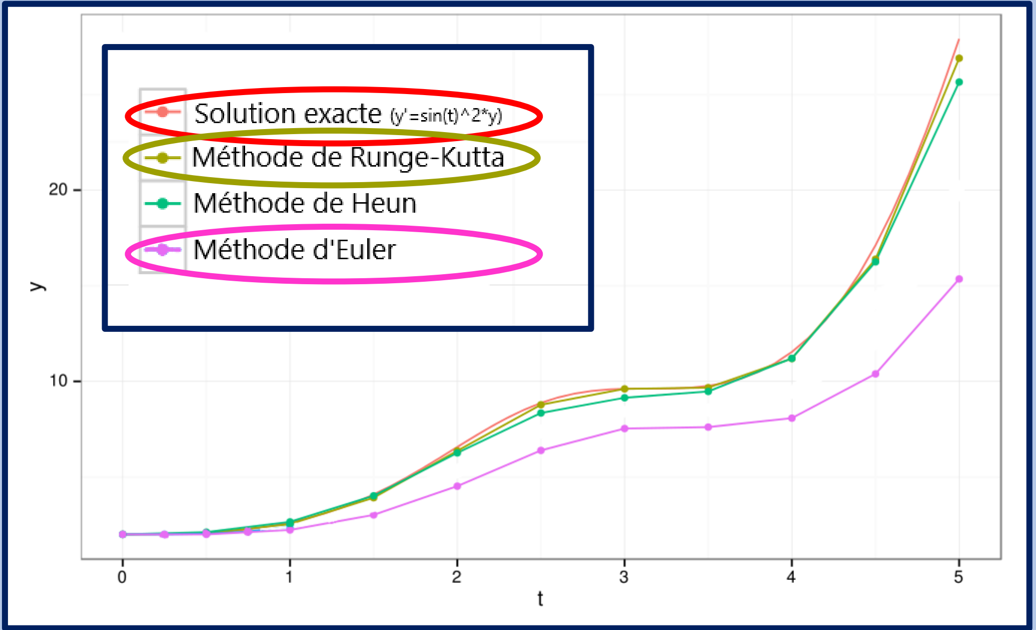
Tiré et modifié à partir du site : https://en.wikipedia.org/wiki/Runge%E2%80%93Kutta_methods

Fig, 16. Comparaison des méthodes d'Euler et Runge-Kutta, avec l'exemple de l'équation différentielle **$y' = \sin(t)^2 y$**

Des approximations à l'origine de sources d'erreurs

Erreurs liées au modèle numérique

Méthode d'Euler	Méthode Runge-Kutta
Simple à numériser	Repose sur le même principe qu'Euler
Fortes approximations de la discrétisation	Plus **complexe** & plus **fiable**



Tiré et modifié à partir du site : https://en.wikipedia.org/wiki/Runge%E2%80%93Kutta_methods

Fig, 16. Comparaison des méthodes d'Euler et Runge-Kutta, avec l'exemple de l'équation différentielle **$y' = \sin(t)^2 y$**

Des approximations à l'origine de sources d'erreurs

Erreurs liées au modèle numérique

Méthode d'Euler

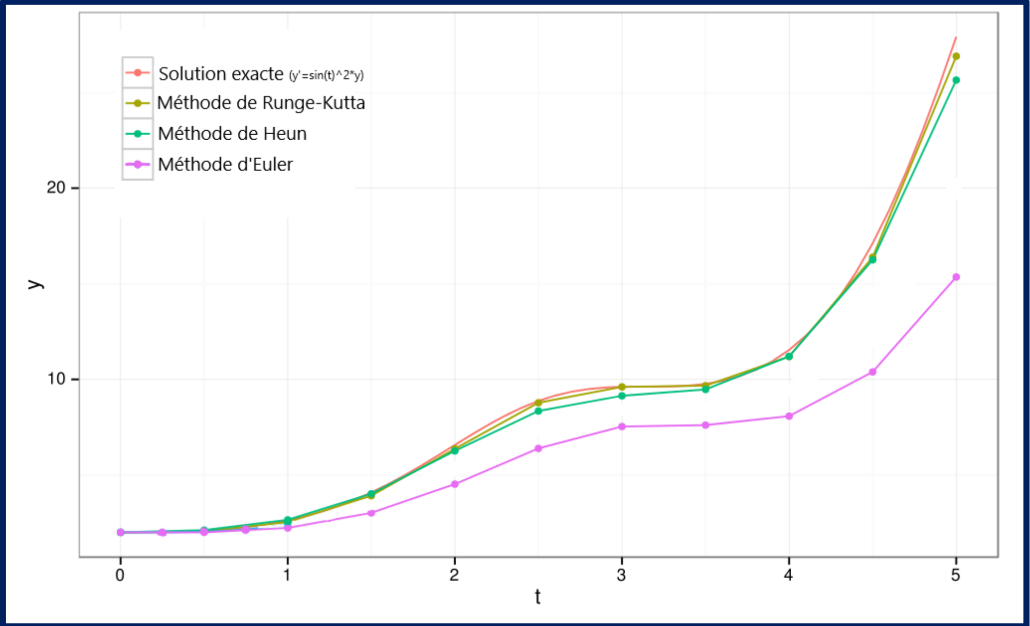
Simple à numériser

Fortes approximations de la discrétisation

Méthode Runge-Kutta

Repose sur le même principe qu'Euler

Plus **complexe** & plus **fiable**



Tiré et modifié à partir du site : https://en.wikipedia.org/wiki/Runge%E2%80%93Kutta_methods

Fig, 16. Comparaison des méthodes d'Euler et Runge-Kutta, avec l'exemple de l'équation différentielle **$y' = \sin(t)^2 y$**

Erreurs liées aux données d'entrée

Insuffisance des données d'entrée

Résolution trop faible de $1/8^{\text{ème}}$ de degré

Des approximations à l’origine de sources d’erreurs

Erreurs liées au modèle numérique

Méthode d’Euler

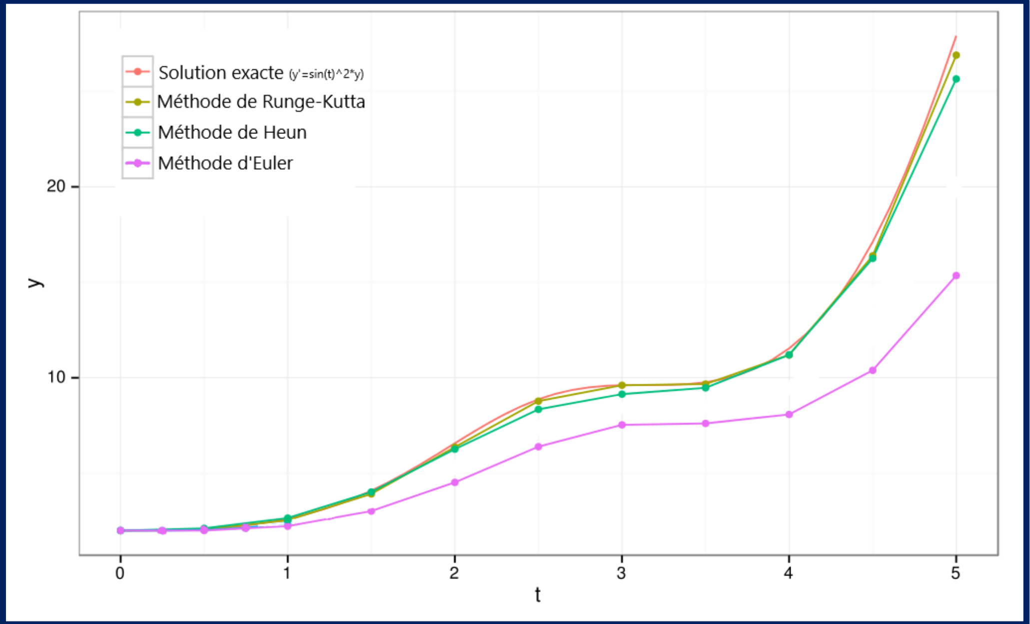
Simple à numériser

Fortes approximations de la discrétisation

Méthode Runge-Kutta

Repose sur le même principe qu’Euler

Plus **complexe** & plus **fiable**



Tiré et modifié à partir du site: https://en.wikipedia.org/wiki/Runge%E2%80%93Kutta_methods

Fig, 16. Comparaison des méthodes d’Euler et Runge-Kutta, avec l’exemple de l’équation différentielle **$y' = \sin(t)^2 y$**

Erreurs liées aux données d’entrée

Insuffisance des données d’entrée

Résolution trop faible de 1/8ème de degré

Approximations des données d’entrée

Approximation géostrophique

Des approximations à l’origine de sources d’erreurs

Erreurs liées au modèle numérique

Méthode d’Euler

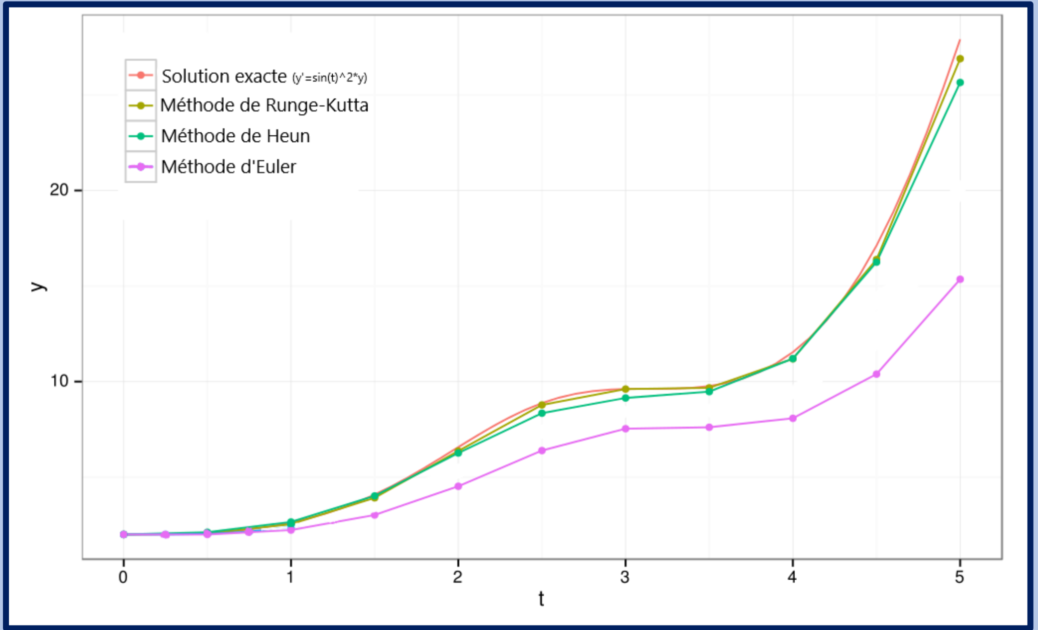
Simple à numériser

Fortes approximations de la discrétisation

Méthode Runge-Kutta

Repose sur le même principe qu’Euler

Plus **complexe** & plus **fiable**



Tiré et modifié à partir du site: https://en.wikipedia.org/wiki/Runge%E2%80%93Kutta_methods

Fig, 16. Comparaison des méthodes d’Euler et Runge-Kutta, avec l’exemple de l’équation différentielle **$y' = \sin(t)^2 y$**

Erreurs liées aux données d’entrée

Insuffisance des données d’entrée

Résolution trop faible de 1/8ème de degré

Approximations des données d’entrée

Approximation géostrophique

Erreurs liées à la projection cartographique

Erreur de conversion

Simple conversion des coordonnées métriques en degré

Application du modèle pour la campagne PARTY

Chef de mission

Frederic Le Moigne, chercheur au MIO

Application du modèle pour la campagne PARTY

Chef de mission

Frederic Le Moigne, chercheur au MIO

Cadre spatio-temporel

Au large de Saint-Tropez, du 03/05/2021 au 09/05/2021

Application du modèle pour la campagne PARTY

Chef de mission

Frederic Le Moigne, chercheur au MIO

Cadre spatio-temporel

Au large de Saint-Tropez, du 03/05/2021 au 09/05/2021

Objectifs de la campagne

Analyses chimiques à partir de prélèvements *in situ* de neige marine

Application du modèle pour la campagne PARTY

Chef de mission

Frederic Le Moigne, chercheur au MIO

Cadre spatio-temporel

Au large de Saint-Tropez, du 03/05/2021 au 09/05/2021

Objectifs de la campagne

Analyses chimiques à partir de prélèvements *in situ* de neige marine

Moyens

Instruments montés sur des lignes dérivantes

Application du modèle pour la campagne PARTY

Chef de mission

Frederic Le Moigne, chercheur au MIO

Cadre spatio-temporel

Au large de Saint-Tropez, du 03/05/2021 au 09/05/2021

Objectifs de la campagne

Analyses chimiques à partir de prélèvements *in situ* de neige marine

Moyens

Instruments montés sur des lignes dérivantes

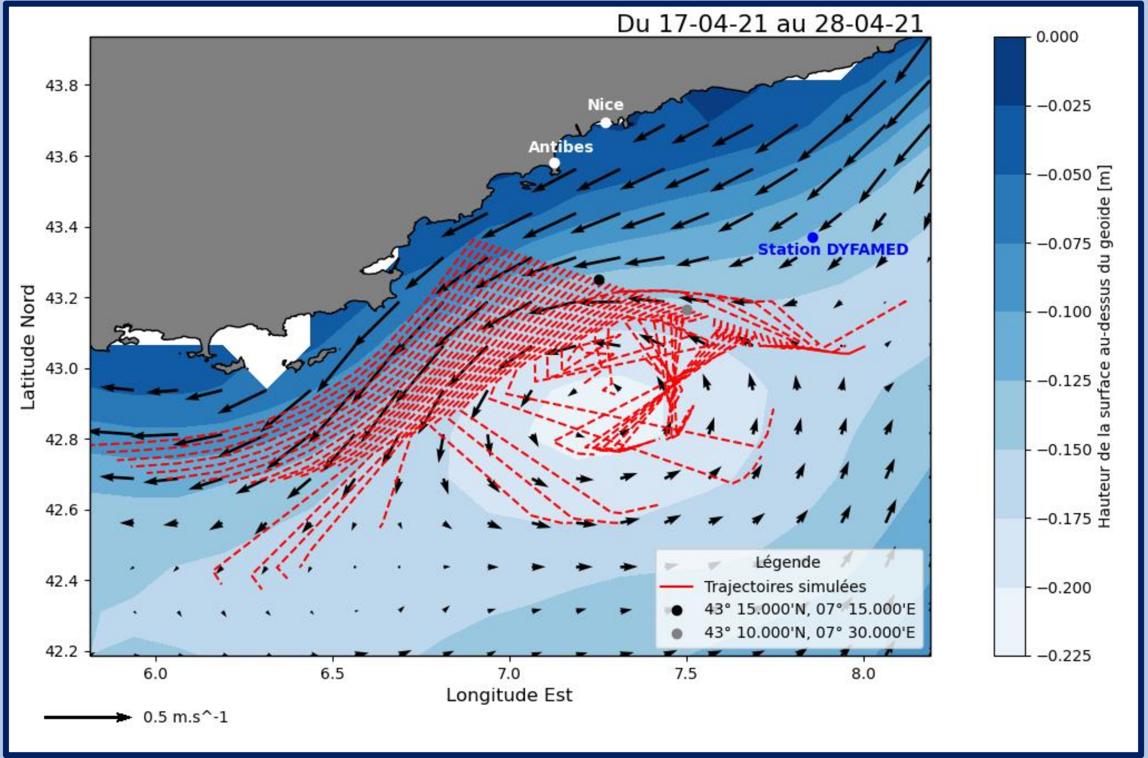


Fig. 17. Simulation de trajectoires au large de Saint-Tropez

Application du modèle pour la campagne PARTY

Chef de mission

Frederic Le Moigne, chercheur au MIO

Cadre spatio-temporel

Au large de Saint-Tropez, du 03/05/2021 au 09/05/2021

Objectifs de la campagne

Analyses chimiques à partir de prélèvements *in situ* de neige marine

Moyens

Instruments montés sur des lignes dérivantes

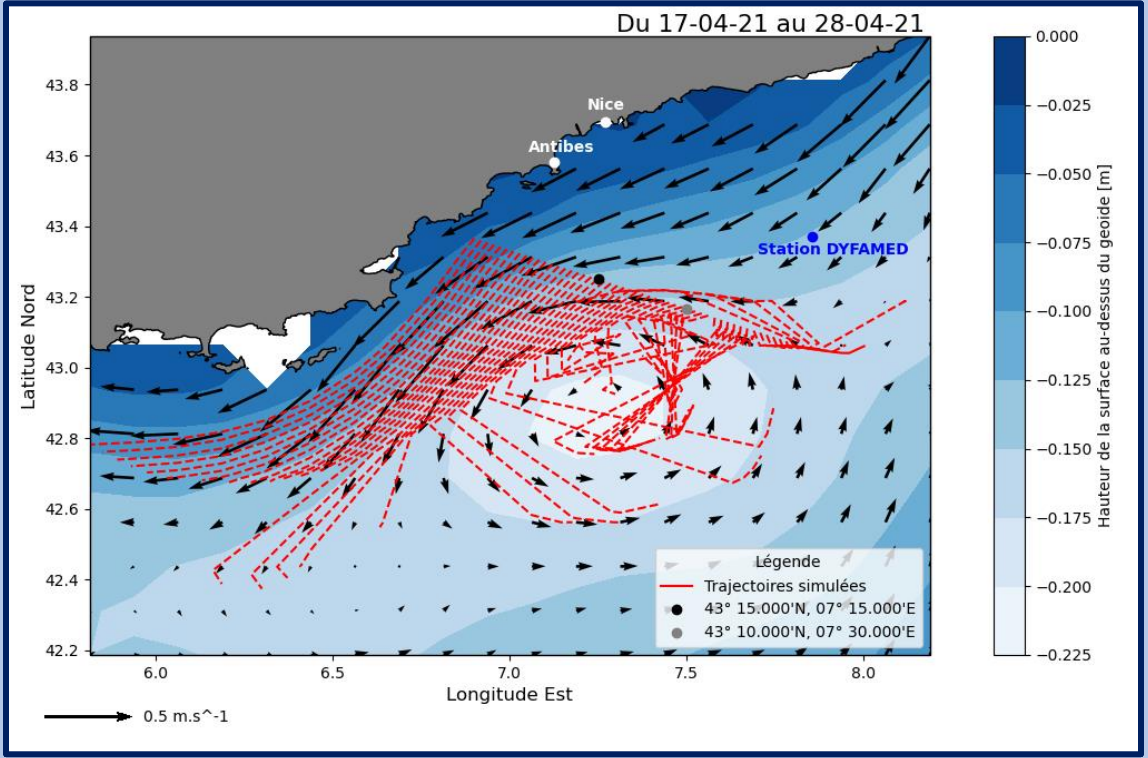


Fig. 17. Simulation de trajectoires au large de Saint-Tropez

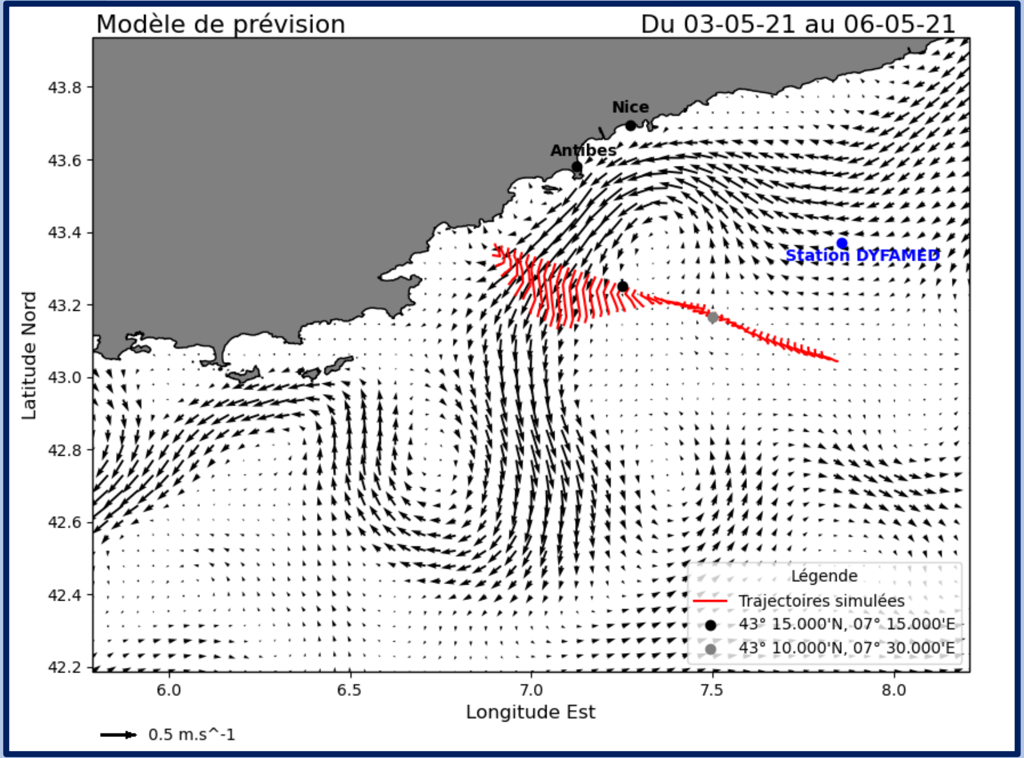


Fig. 18. Modèle de prévision au large de Saint-Tropez

Application du modèle pour la campagne PARTY

Chef de mission

Frederic Le Moigne, chercheur au MIO

Cadre spatio-temporel

Au large de Saint-Tropez, du 03/05/2021 au 09/05/2021

Objectifs de la campagne

Analyses chimiques à partir de prélèvements *in situ* de neige marine

Moyens

Instruments montés sur des lignes dérivantes

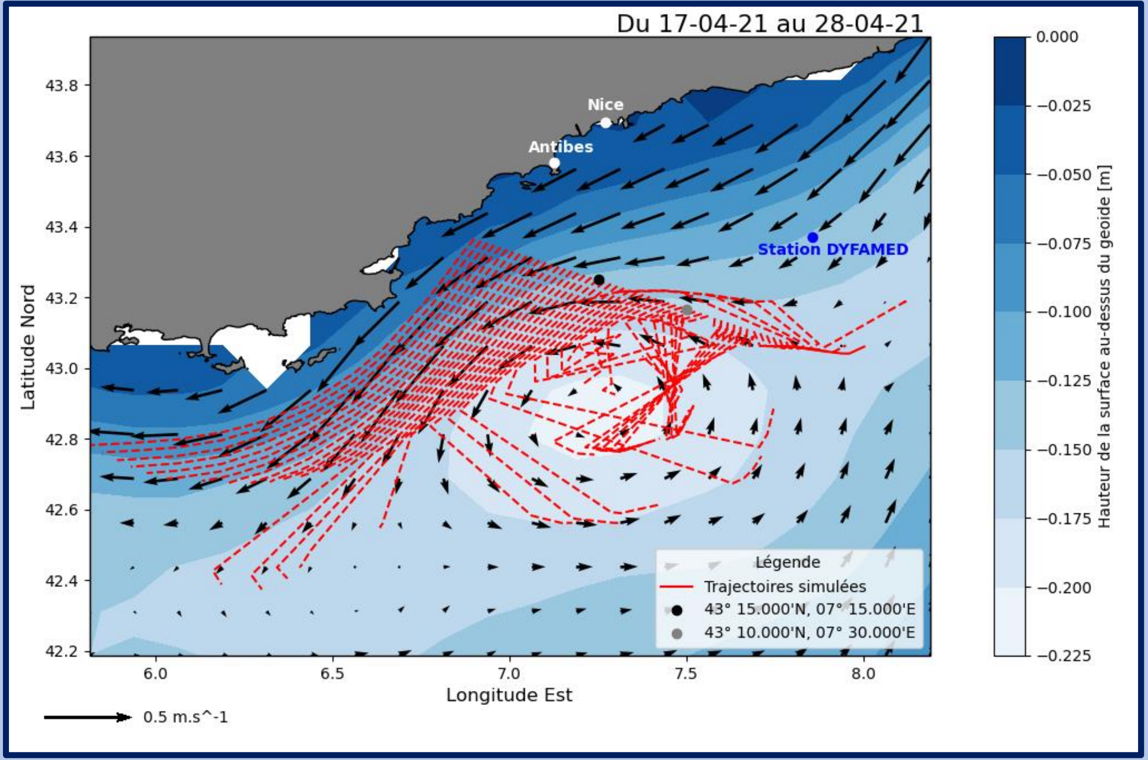


Fig. 17. Simulation de trajectoires au large de Saint-Tropez

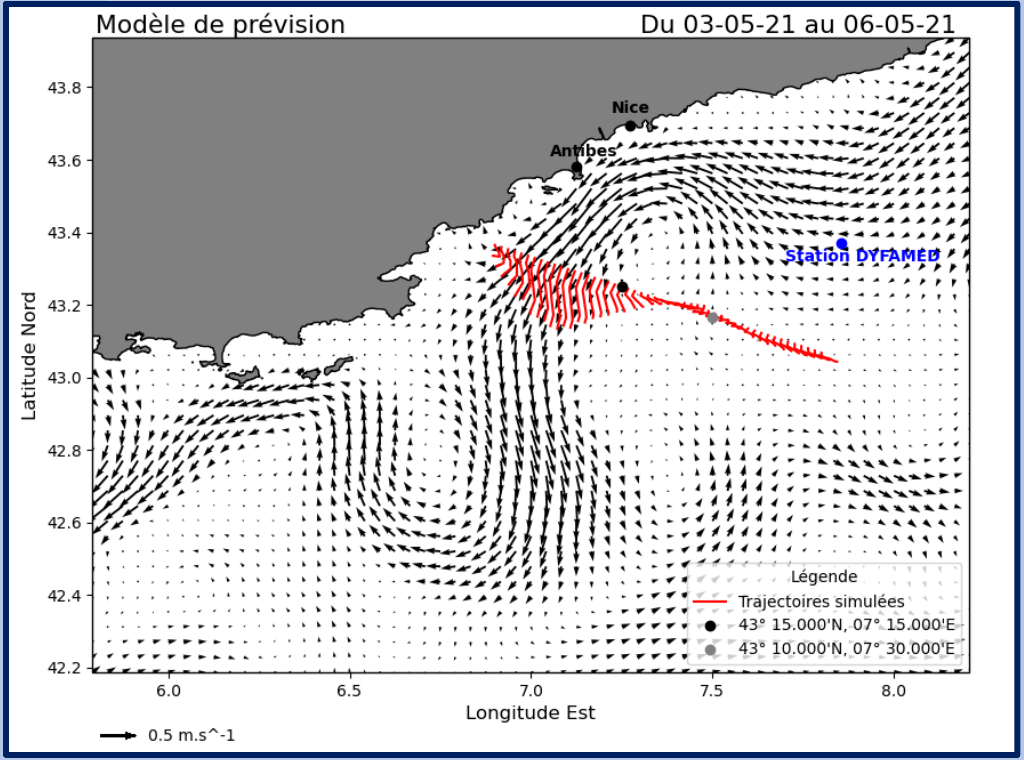


Fig. 18. Modèle de prévision au large de Saint-Tropez

Zone de largage

- 43° 15’N 7° 15’E

Schéma d'Euler

Modèle développé en langage **Python**

Schéma d'Euler

Modèle développé en langage **Python**

Avantages

- Pratique, simple d'utilisation
- Adaptable
- → Très satisfaisant

Schéma d'Euler

Modèle développé en langage **Python**	**Avantages** • Pratique, simple d'utilisation • Adaptable • → Très satisfaisant	**Limites** • Pas de prévision avec précision des trajectoires des bouées dérivantes

Schéma d'Euler

Modèle développé en langage Python

Avantages
- Pratique, simple d'utilisation
- Adaptable
- ➔ Très satisfaisant

Limites
- Pas de prévision avec précision des trajectoires des bouées dérivantes

Perspectives

Schéma d'Euler

Modèle développé en langage Python

Avantages

- Pratique, simple d'utilisation
- Adaptable
- → Très satisfaisant

Limites

- Pas de prévision avec précision des trajectoires des bouées dérivantes

Perspectives

Données d'entrée avec une plus haute résolution

Schéma d'Euler

Modèle développé en langage Python

Avantages

- Pratique, simple d'utilisation
- Adaptable
- → Très satisfaisant

Limites

- Pas de prévision avec précision des trajectoires des bouées dérivantes

Perspectives

Données d'entrée avec une plus haute résolution

Amélioration du **modèle numérique** par l'utilisation de la méthode Runge-Kutta

Schéma d'Euler

Modèle développé en langage Python	**Avantages** • Pratique, simple d'utilisation • Adaptable • ➔ Très satisfaisant	**Limites** • Pas de prévision avec précision des trajectoires des bouées dérivantes

Perspectives

Données d'entrée avec une plus haute résolution	Amélioration du **modèle numérique** par l'utilisation de la méthode Runge-Kutta	Conversion plus précise pour la **projection cartographique**

Merci pour votre attention

Fig. 19. Situation de surface du détroit de Gibraltar et de la mer d'Alboran

Références

Alvaro, P., Dimitri, B. & Ana, T., 2013. The Alboran Sea mesoscale in a long term high resolution simulation: Statistical analysis. \textit{Ocean modelling}, 72 :32-52

Claude, M., Julio, C., Jean-Luc, F., & Youssef, T., 2006. Large warming and salinification of the mediterranean outflow due to changes in its composition. \textit{Deep Sea Research Part I : Oceanographic Research Papers}, 53(4) :656–667.

Cristina, N., Simone, S., Jesús, G., María, J., & Isabelle, T., 2015. Mediterranean waters along and across the strait of gibraltar, characterization and zonal modification. \textit{Deep Sea Research Part I : Oceanographic Research Papers}, 105 :41–52.

Meloni, M., Bouffard, J., Doglioli, A. M., Petrenko, A., and Valladeau, G., 2019. Toward science-oriented validations of coastal altimetry : Application to the Ligurian Sea. \textit{Remote Sensing of Environment}, 224 :275–288.

Qiu, Z., Doglioli, A. M., He, Y., & Carlotti, F., 2011. Lagrangian model of zooplankton dispersion : numerical schemes comparisons and parameter sensitivity tests. \textit{Chinese Journal of Oceanology and Limnology}, 29(2) :438–445.

Sergey S., Tigny V., Stanichnaya R., & Salim D., 2005. Wind driven upwelling along the african coast of the strait of gibraltar. \textit{Geophysical research letters}, 32(4).

ANNEXE : Tests de sensibilité du pas de temps Δt à partir de la composante advective

Champ stationnaire sur 3 mois

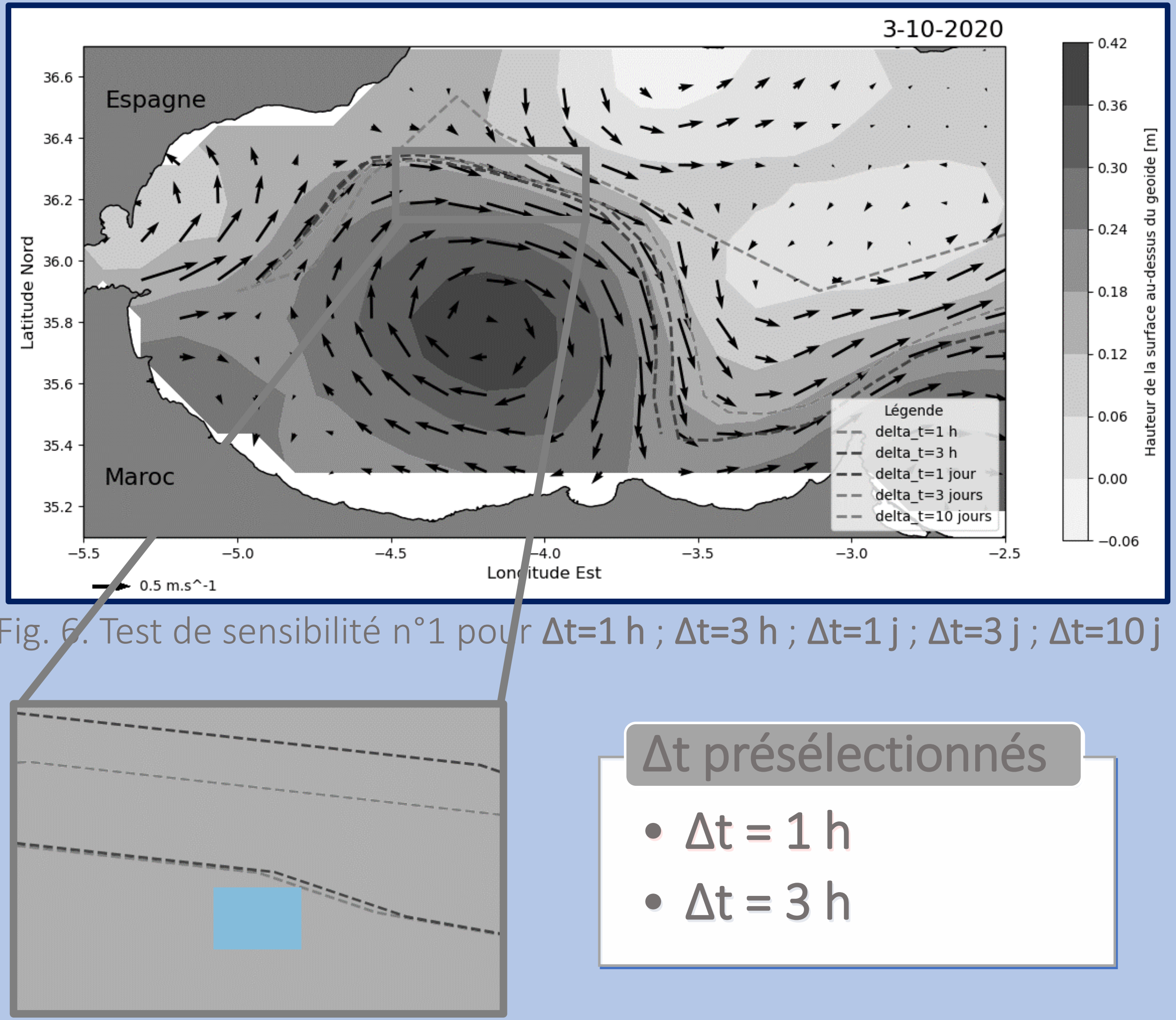


Fig. 6. Test de sensibilité n°1 pour Δt=1 h ; Δt=3 h ; Δt=1 j ; Δt=3 j ; Δt=10 j

Δt présélectionnés
- Δt = 1 h
- Δt = 3 h

Champ variable sur 3 mois

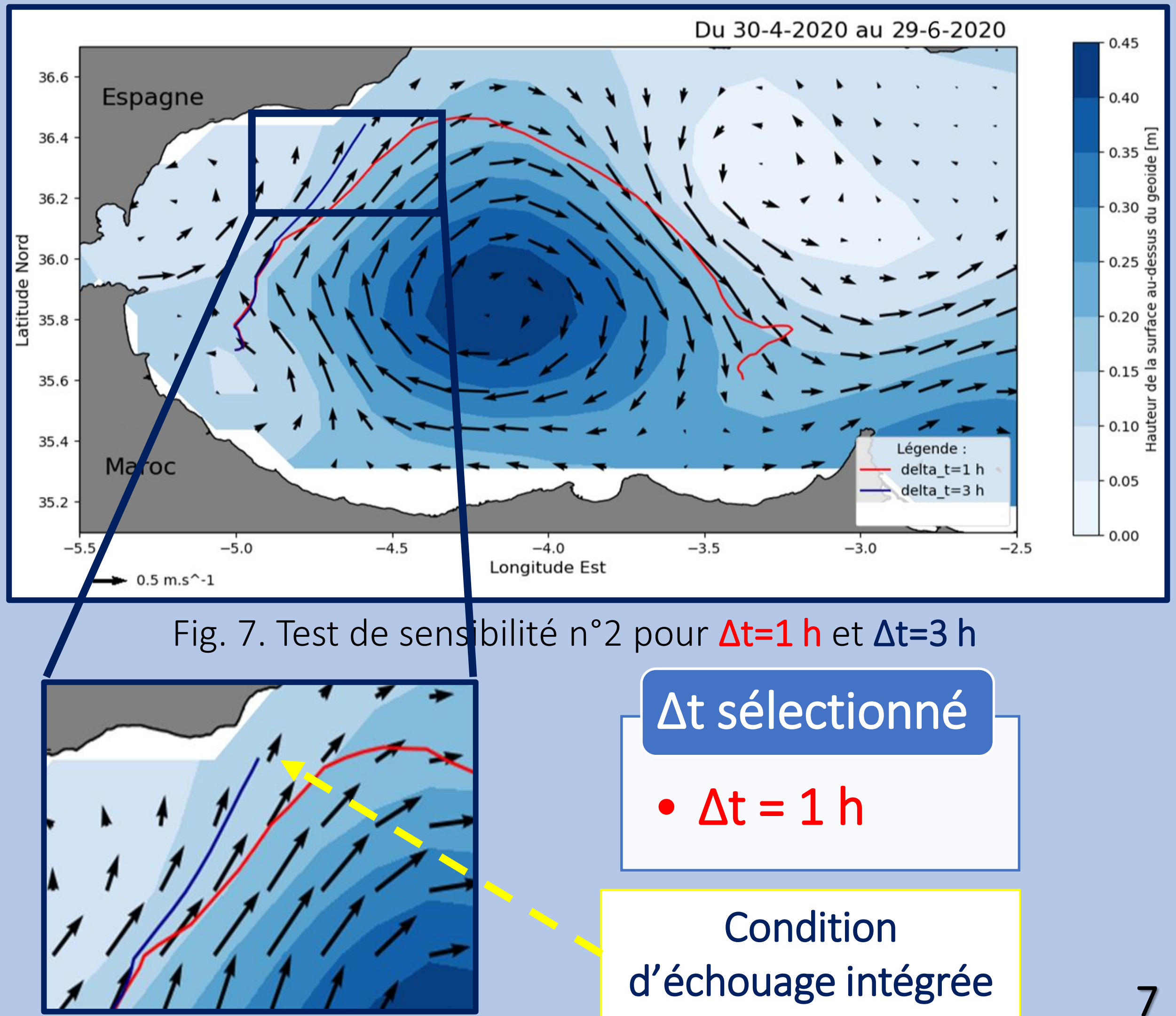


Fig. 7. Test de sensibilité n°2 pour Δt=1 h et Δt=3 h

Δt sélectionné
- Δt = 1 h

Condition d'échouage intégrée