

Analyse de données courantologiques et identification d'anomalies de vitesse verticale au mouillage JULIO

Stage en laboratoire de recherche - sous la direction d'Anne Petrenko
Tino Bellayer, L3 SVT parcours Mer, 2021/2022

Généralités sur les mouvements d'eau verticaux

Généralités sur les mouvements d'eau verticaux

- **Vecteur courant (\mathbf{V})** : u (Est), v (Nord), w (Verticale)
 w (mm/s) $\ll u, v$ (dm/s) \rightarrow composante verticale 10 à 100 fois moins importante, difficile à mesurer
- **Rôle majeur** : transport de nutriments, mélange de la colonne d'eau

Généralités sur les mouvements d'eau verticaux

- **Vecteur courant (\mathbf{V})** : u (Est), v (Nord), w (Verticale)
 w (mm/s) $\ll u, v$ (dm/s) \rightarrow composante verticale 10 à 100 fois moins importante, difficile à mesurer
- **Rôle majeur** : transport de nutriments, mélange de la colonne d'eau

Anomalies de vitesse verticale : événements temporaires d'intensité remarquable (quelques cm/s)

Généralités sur les mouvements d'eau verticaux

- **Vecteur courant (\mathbf{V})** : u (Est), v (Nord), w (Verticale)
 w (mm/s) $\ll u, v$ (dm/s) \rightarrow composante verticale 10 à 100 fois moins importante, difficile à mesurer
- **Rôle majeur** : transport de nutriments, mélange de la colonne d'eau

Anomalies de vitesse verticale : événements temporaires d'intensité remarquable (quelques cm/s)

→ **Origine physique** : upwellings ou downwellings, processus de fine-échelle

→ **Origine biologique** : migrations nyctémérales de zooplancton, migrations lunaires

Objectifs de l'étude

Objectifs de l'étude

1. **Identifier puis isoler** des anomalies de vitesses verticales à l'Est du golfe du Lion
2. **Caractériser** les épisodes : durée, intensité, profondeur
3. **Associer** leur occurrence à des phénomènes naturels

Objectifs de l'étude

1. **Identifier puis isoler** des anomalies de vitesses verticales à l'Est du golfe du Lion
2. **Caractériser** les épisodes : durée, intensité, profondeur
3. **Associer** leur occurrence à des phénomènes naturels

Objet de l'étude : 4ème série temporelle du mouillage JULIO (JUDicious Location for Intrusion Observation)

Objectifs de l'étude

1. **Identifier puis isoler** des anomalies de vitesses verticales à l'Est du golfe du Lion
2. **Caractériser** les épisodes : durée, intensité, profondeur
3. **Associer** leur occurrence à des phénomènes naturels

Objet de l'étude : 4ème série temporelle du mouillage JULIO (JUDicious Location for Intrusion Observation)

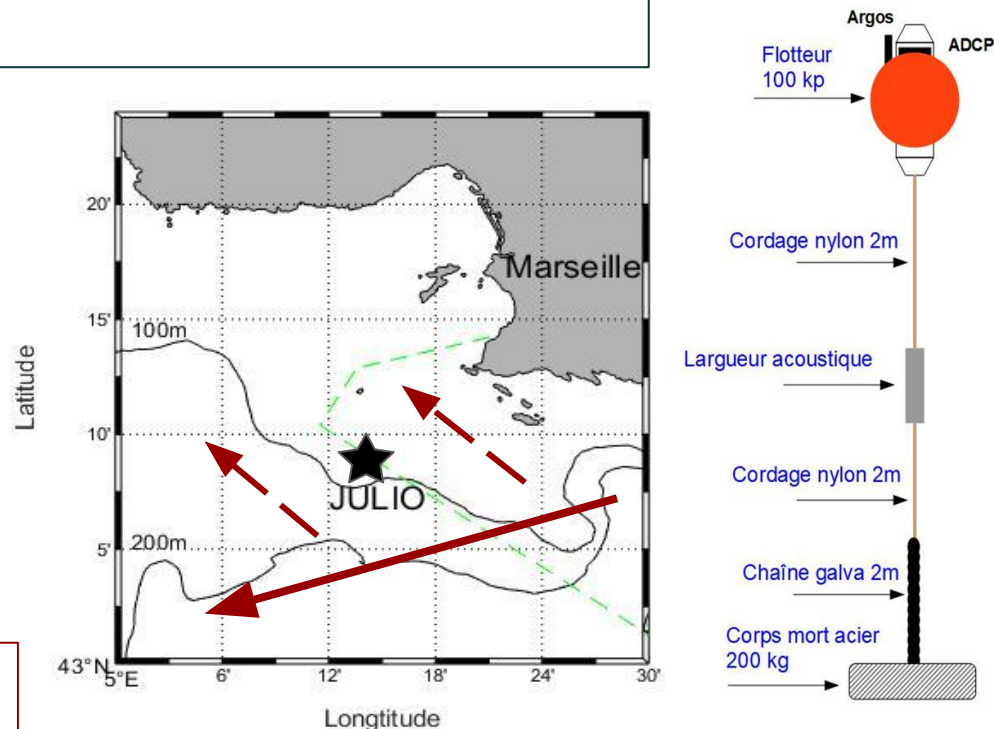


Figure 1 : Localisation et schéma fonctionnel du mouillage JULIO au sud de la rade de Marseille (Petrenko, 2020).

Réalisation des mesures : Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

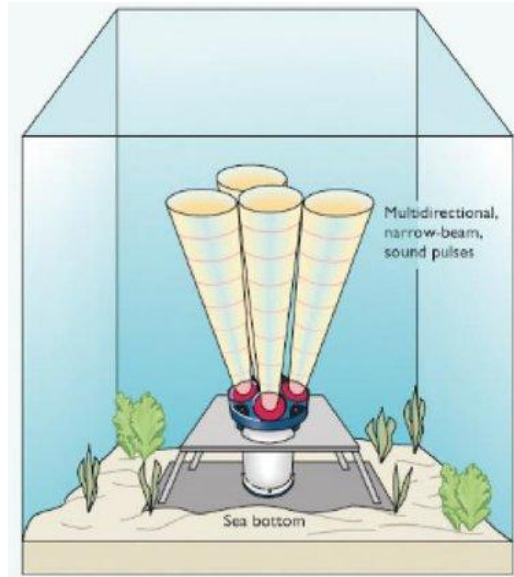
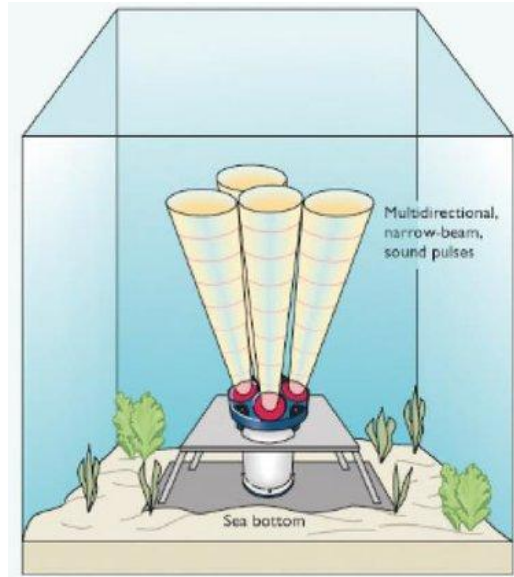


Figure 2 : Schéma général du fonctionnement d'un ADCP, et photographie de l'ADCP utilisé au mouillage JULIO, dans son flotteur, lors de sa dernière mise à l'eau le 07 décembre 2020 (Petrenko,2020).

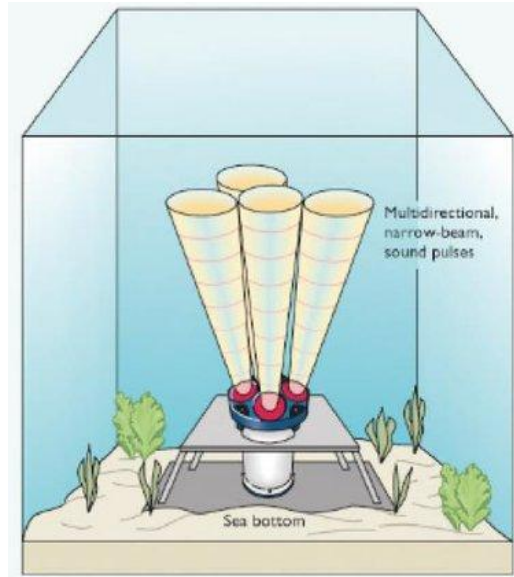
Réalisation des mesures : Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)



- Emission et réception d'**ondes ultrasonores** (300 kHz) réfléchies par les particules d'eau de mer

Figure 2 : Schéma général du fonctionnement d'un ADCP, et photographie de l'ADCP utilisé au mouillage JULIO, dans son flotteur, lors de sa dernière mise à l'eau le 07 décembre 2020 (Petrenko,2020).

Réalisation des mesures : Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)



- Emission et réception d'**ondes ultrasonores** (300 kHz) réfléchies par les particules d'eau de mer
- **Proportionnalité** entre le décalage de fréquence émission / réception et la vitesse des particules

Figure 2 : Schéma général du fonctionnement d'un ADCP, et photographie de l'ADCP utilisé au mouillage JULIO, dans son flotteur, lors de sa dernière mise à l'eau le 07 décembre 2020 (Petrenko,2020).

Réalisation des mesures : Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

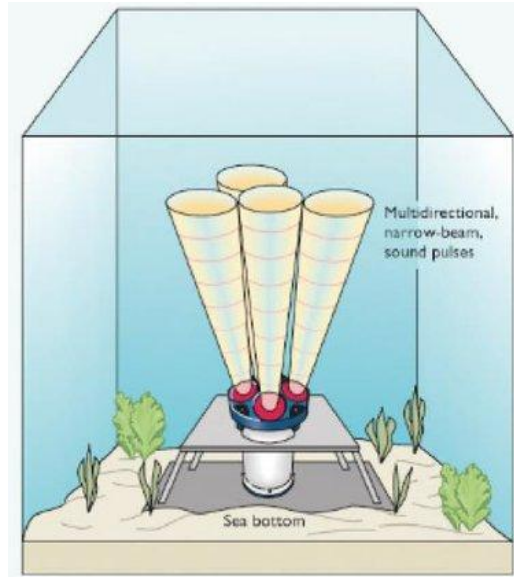


Figure 2 : Schéma général du fonctionnement d'un ADCP, et photographie de l'ADCP utilisé au mouillage JULIO, dans son flotteur, lors de sa dernière mise à l'eau le 07 décembre 2020 (Petrenko,2020).

- Emission et réception d'**ondes ultrasonores** (300 kHz) réfléchies par les particules d'eau de mer
- **Proportionnalité** entre le décalage de fréquence émission / réception et la vitesse des particules
- **4 faisceaux** (u, v, w, précision de la mesure)
- 90 m de profondeur, mesure tous les 5 m, toutes les 30 min

Traitement des données de la série temporelle JULIO

1. **Bornes temporelles** : éliminent les phases de descente et de remontée de l'ADCP
→ mesures du 07/12/20 10:00 au 31/08/21 10:00 (UTC)
2. **Bornes de profondeur** : éliminent les zones non couvertes par l'instrument
→ mesures de 11,5 à 76,5 m de profondeur

Traitement des données de la série temporelle JULIO

1. **Bornes temporelles** : éliminent les phases de descente et de remontée de l'ADCP
→ mesures du 07/12/20 10:00 au 31/08/21 10:00 (UTC)
2. **Bornes de profondeur** : éliminent les zones non couvertes par l'instrument
→ mesures de 11,5 à 76,5 m de profondeur
3. **Tracé** de séries temporelles et histogrammes

Traitement des données de la série temporelle JULIO

1. **Bornes temporelles** : éliminent les phases de descente et de remontée de l'ADCP
→ mesures du 07/12/20 10:00 au 31/08/21 10:00 (UTC)
2. **Bornes de profondeur** : éliminent les zones non couvertes par l'instrument
→ mesures de 11,5 à 76,5 m de profondeur
3. **Tracé** de séries temporelles et histogrammes

4. **Isolement des anomalies** : rectangle coulissant (méthode de la grille)
Si $+70\% < \text{seuil choisi}$: valeurs conservées

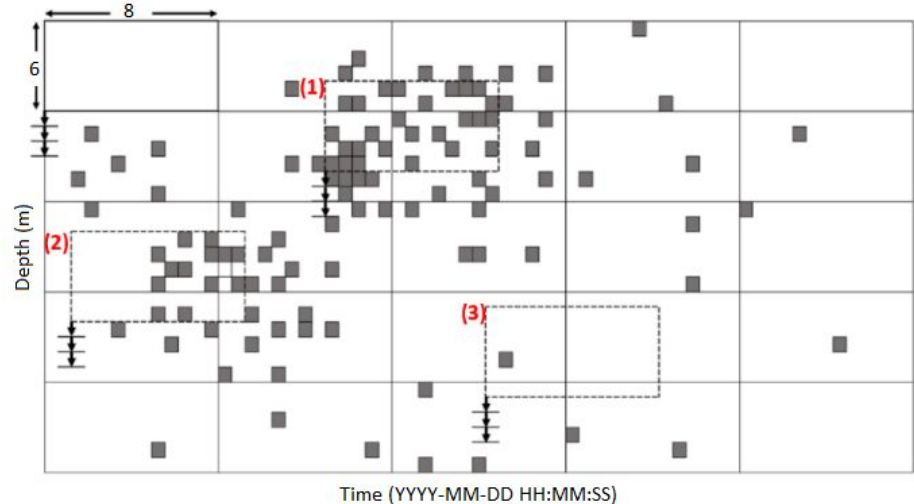


Figure 3 : Schéma du fonctionnement de la méthode de sélection d'anomalies par grille.

Evolution de la vitesse du courant sur la série temporelle entière
(décembre 2020 - août 2021)

Evolution de la vitesse du courant sur la série temporelle entière (décembre 2020 - août 2021)

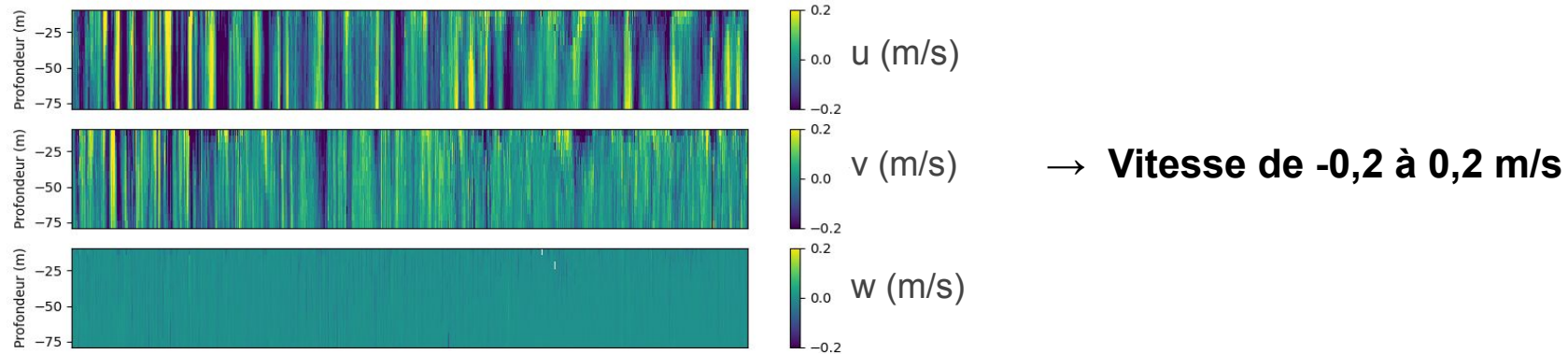


Figure 4 : Evolution temporelle des composantes u , v , et w de la vitesse du 07 décembre au 31 août. Les vitesses des trois panneaux supérieurs sont de -0,2 à 0,2 m/s ; celle du panneau inférieur a été restreinte au dixième (-0,02 , 0,02 m/s).

Evolution de la vitesse du courant sur la série temporelle entière (décembre 2020 - août 2021)

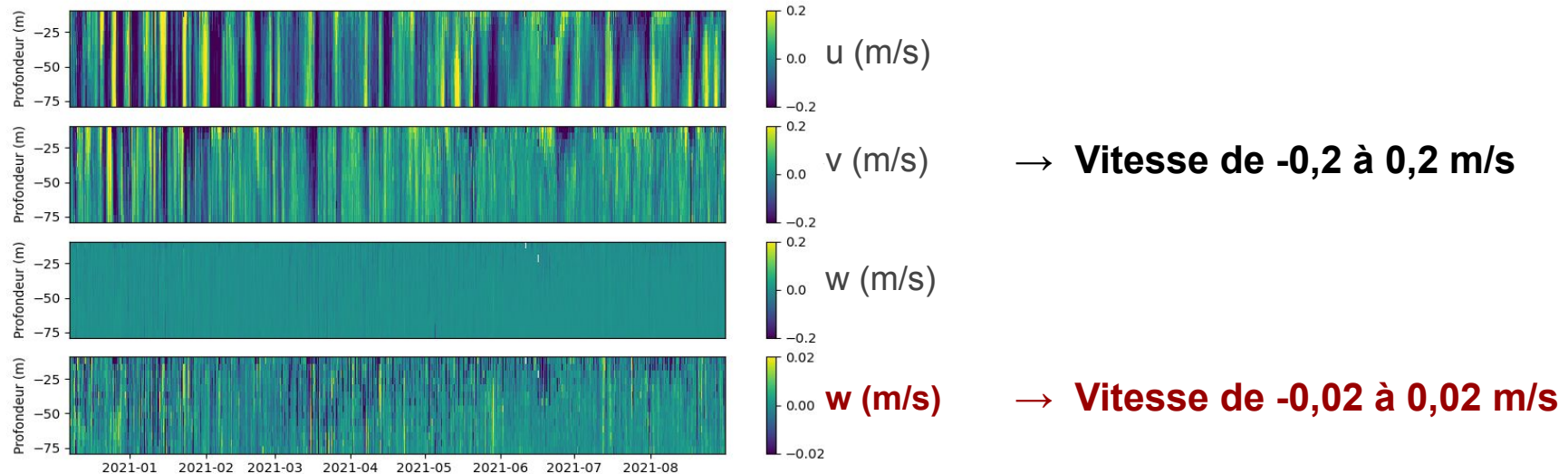
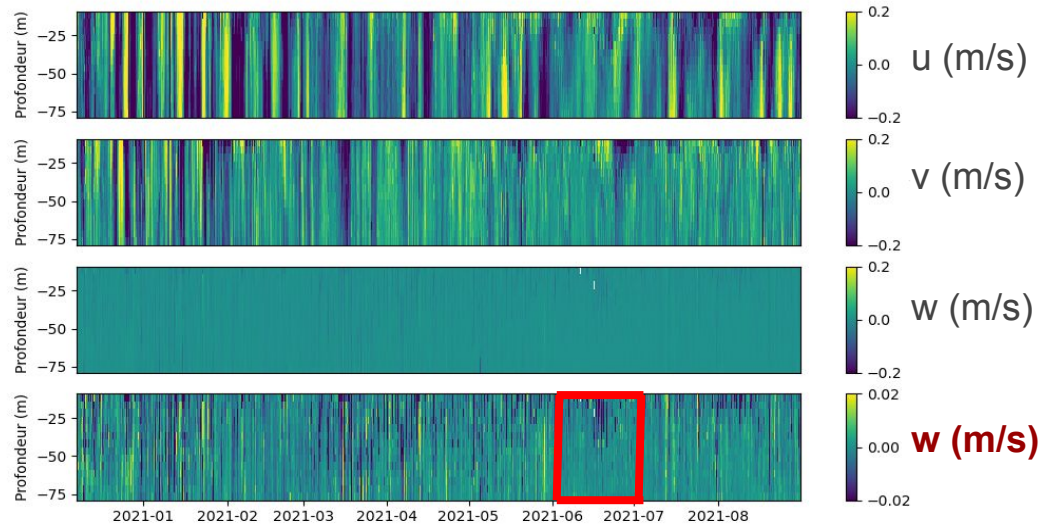


Figure 4 : Evolution temporelle des composantes u , v , et w de la vitesse du 07 décembre au 31 août. Les vitesses des trois panneaux supérieurs sont de -0,2 à 0,2 m/s ; celle du panneau inférieur a été restreinte au dixième (-0,02 , 0,02 m/s).

Evolution de la vitesse du courant sur la série temporelle entière (décembre 2020 - août 2021)



→ Zoom sur le mois de juin 2021 :

Figure 4 : Evolution temporelle des composantes u , v , et w de la vitesse du 07 décembre au 31 août. Les vitesses des trois panneaux supérieurs sont de -0,2 à 0,2 m/s ; celle du panneau inférieur a été restreinte au dixième (-0,02 , 0,02 m/s).

Evolution de la vitesse du courant sur la série temporelle entière (décembre 2020 - août 2021)

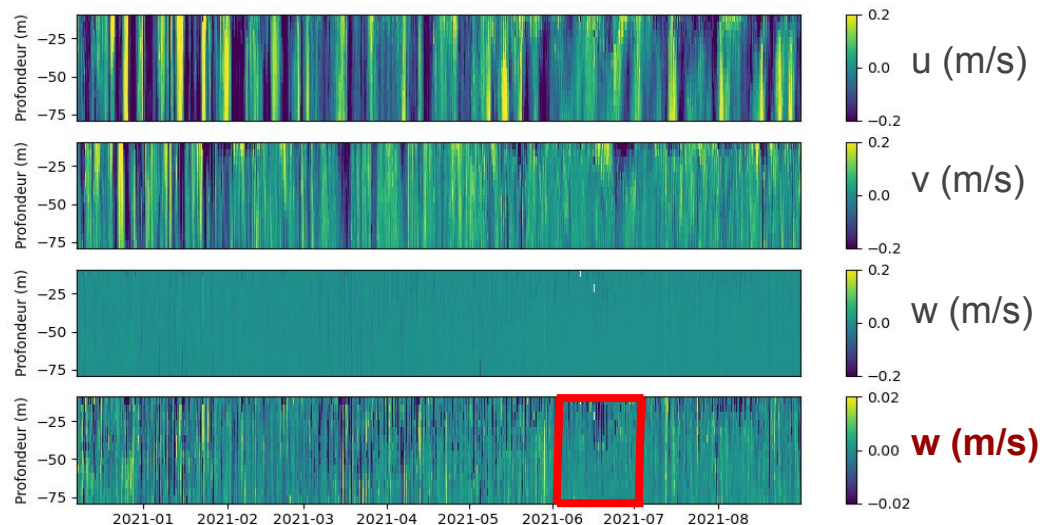


Figure 4 : Evolution temporelle des composantes u , v , et w de la vitesse du 07 décembre au 31 août. Les vitesses des trois panneaux supérieurs sont de -0,2 à 0,2 m/s ; celle du panneau inférieur a été restreinte au dixième (-0,02 , 0,02 m/s).

→ **Zoom sur le mois de juin 2021 :**

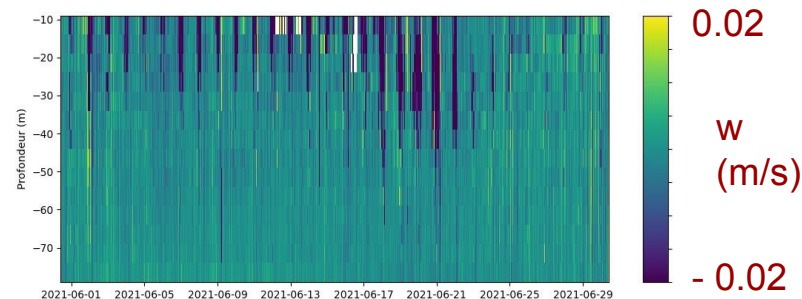


Figure 5 : Evolution temporelle de la composante verticale de la vitesse (w) du 1er au 30 juin 2021, avec la même échelle de couleur que le 4ème panneau de la figure 4.

Distribution des vitesses verticales

Distribution des vitesses verticales

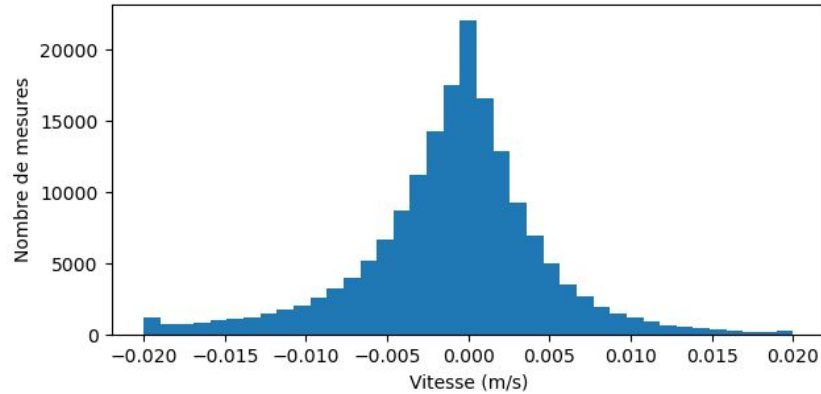


Figure 6 : Histogramme de répartition des vitesses verticales sur l'ensemble de la série (du 07 décembre au 31 août).

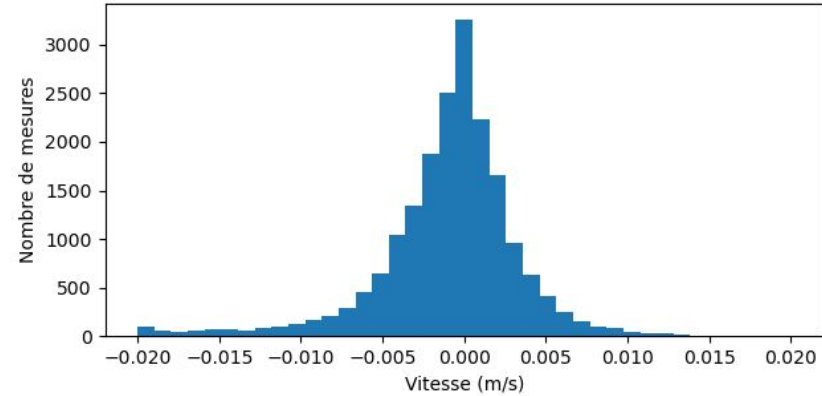


Figure 7 : Histogramme de répartition des vitesses verticales au mois de juin 2021.

Distribution des vitesses verticales

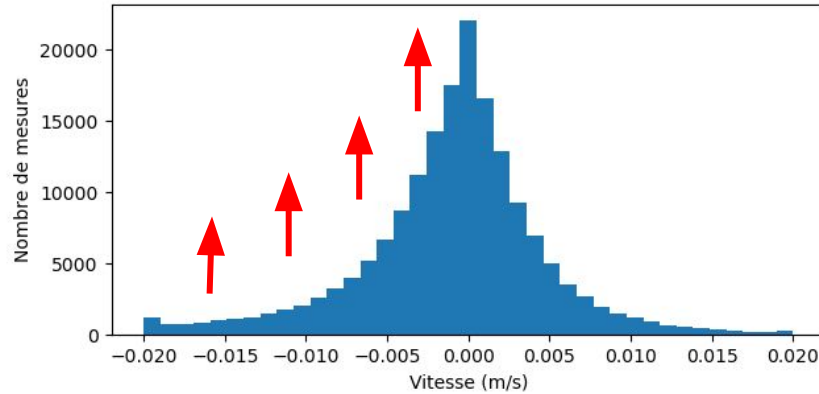


Figure 6 : Histogramme de répartition des vitesses verticales sur l'ensemble de la série (du 07 décembre au 31 août).

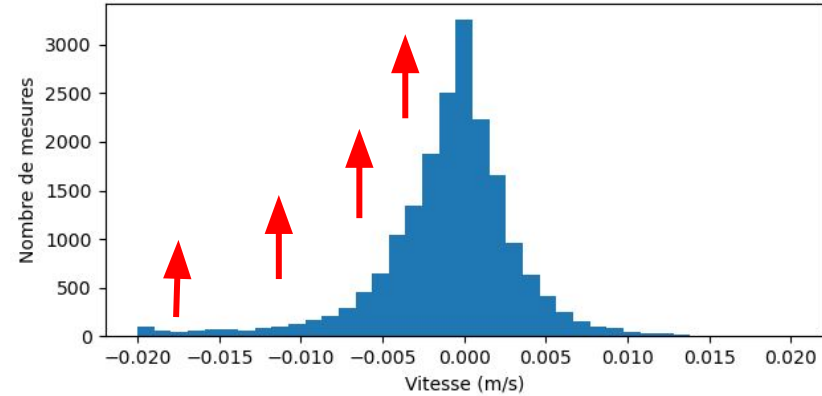


Figure 7 : Histogramme de répartition des vitesses verticales au mois de juin 2021.

Présence d'une **dissymétrie négative** : vitesses négatives surreprésentées

Etablissement de valeurs-seuils

Etablissement de valeurs-seuils

- Permet de sélectionner les valeurs extrêmes de vitesse négative
- 3 seuils : - 0.005 m/s,
- 0.01 m/s et - 0.05 m/s

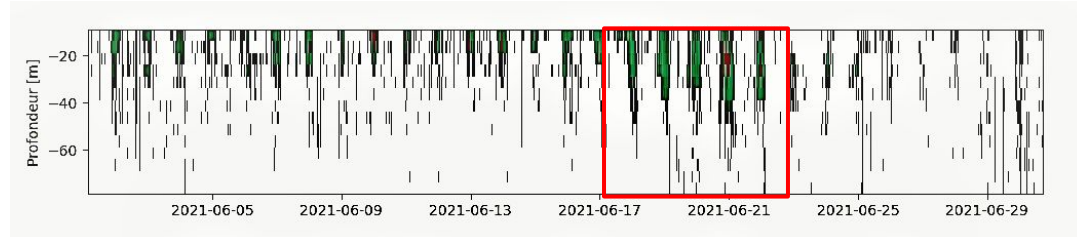


Figure 8 : Isolement des vitesses négatives extrêmes par imposition des 3 seuils.

Etablissement de valeurs-seuils

- Permet de sélectionner les valeurs extrêmes de vitesse négative
- 3 seuils : - 0.005 m/s,
- 0.01 m/s et - 0.05 m/s

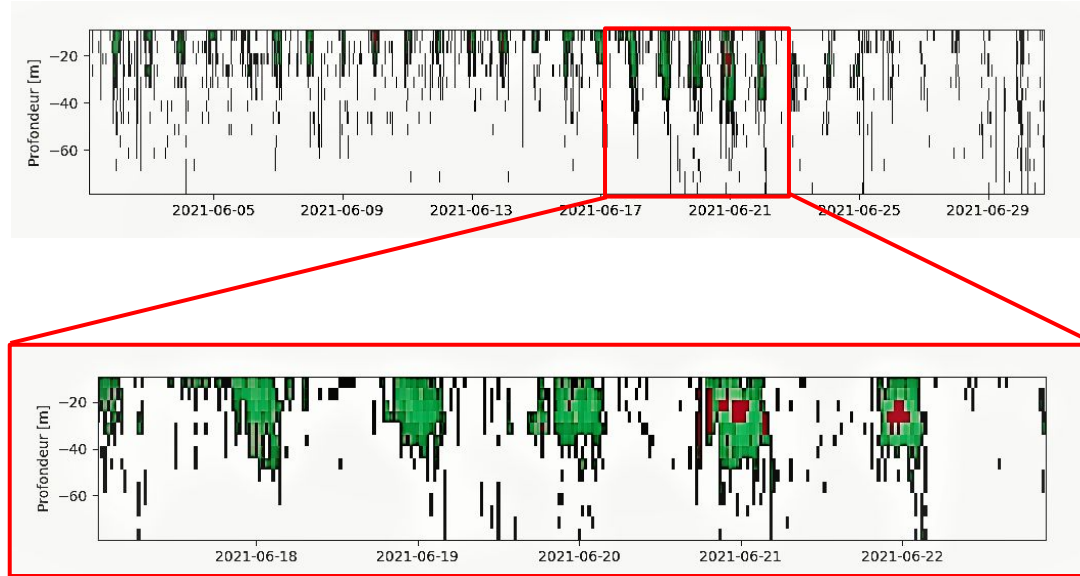


Figure 8 : Isolement des vitesses négatives extrêmes par imposition des 3 seuils.

Etablissement de valeurs-seuils

- Permet de sélectionner les valeurs extrêmes de vitesse négative
- 3 seuils : - 0.005 m/s,
- 0.01 m/s et - 0.05 m/s
- Conclusion : **le seuil médian** est le meilleur pour détecter des anomalies, mais présence de phénomènes perturbateurs (bruit)

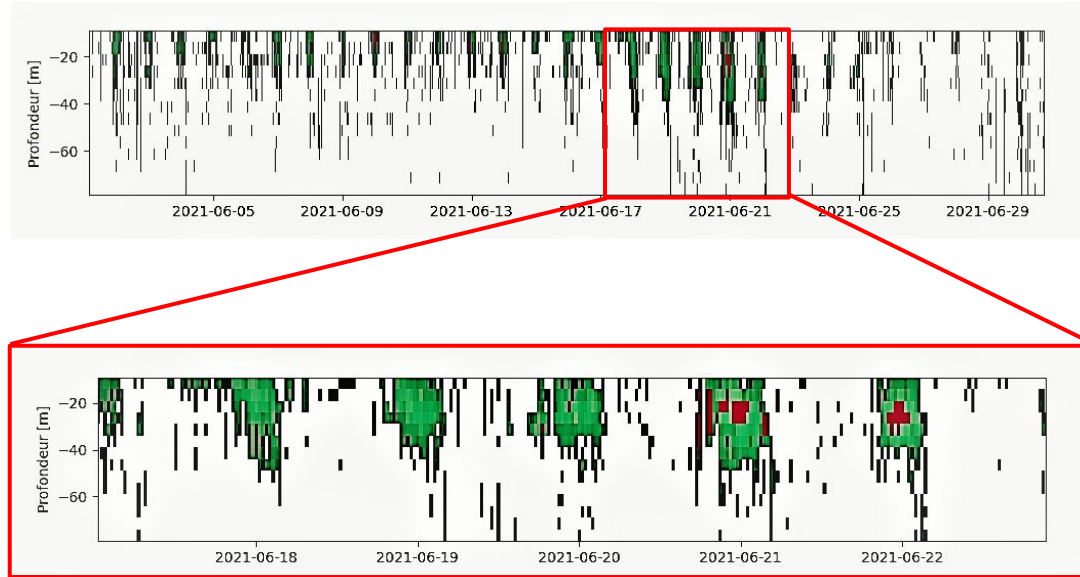


Figure 8 : Isolement des vitesses négatives extrêmes par imposition des 3 seuils.

Isolement des anomalies : méthode de la grille (2ème seuil)

Isolement des anomalies : méthode de la grille (2ème seuil)

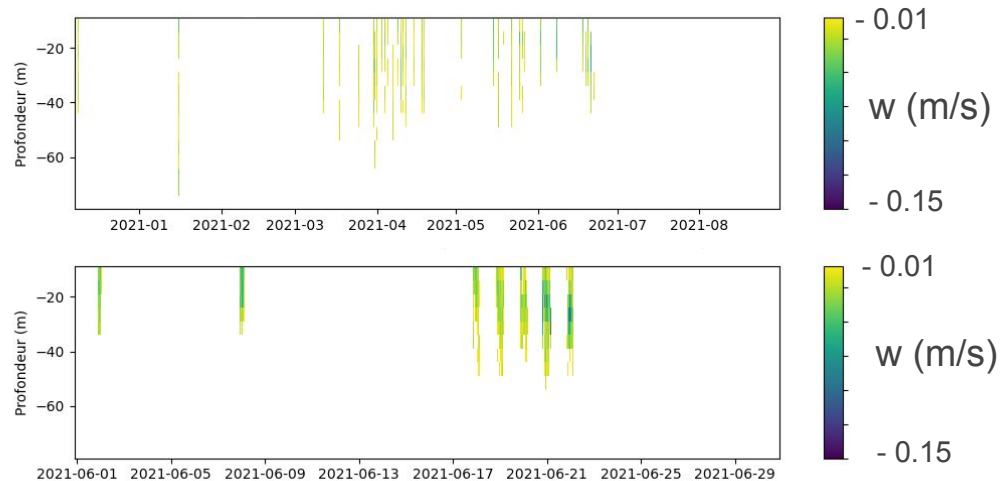


Figure 9 : Isolement des épisodes d'anomalies par la méthode de la grille, pour l'ensemble de la série (en haut) et pour le mois de juin 2021 (en bas).

Isolement des anomalies : méthode de la grille (2ème seuil)

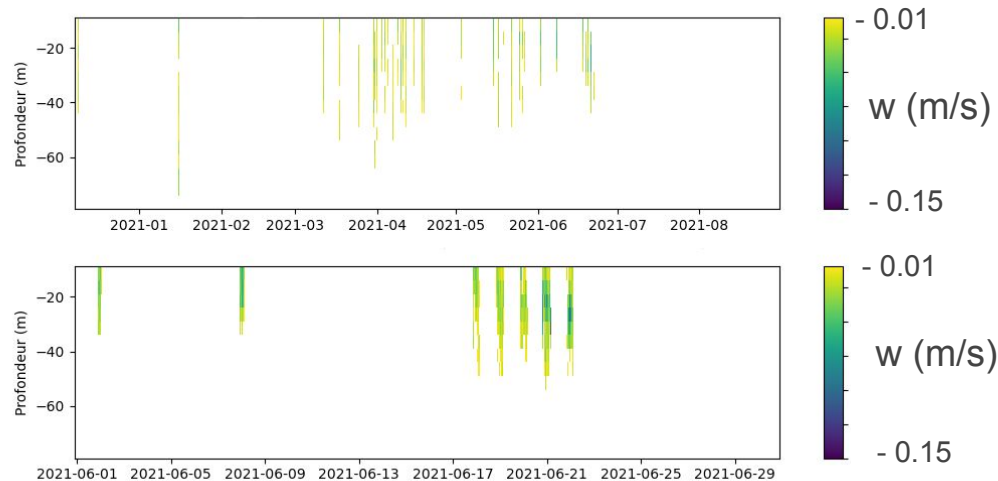


Figure 9 : Isolement des épisodes d'anomalies par la méthode de la grille, pour l'ensemble de la série (en haut) et pour le mois de juin 2021 (en bas).

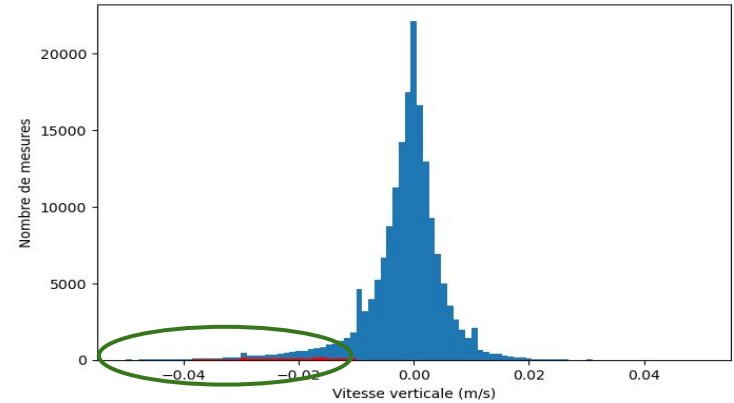


Figure 10 : Histogramme de répartition des vitesses verticales sur l'ensemble de la série, avec les anomalies détectées en rouge.

Isolement des anomalies : méthode de la grille (2ème seuil)

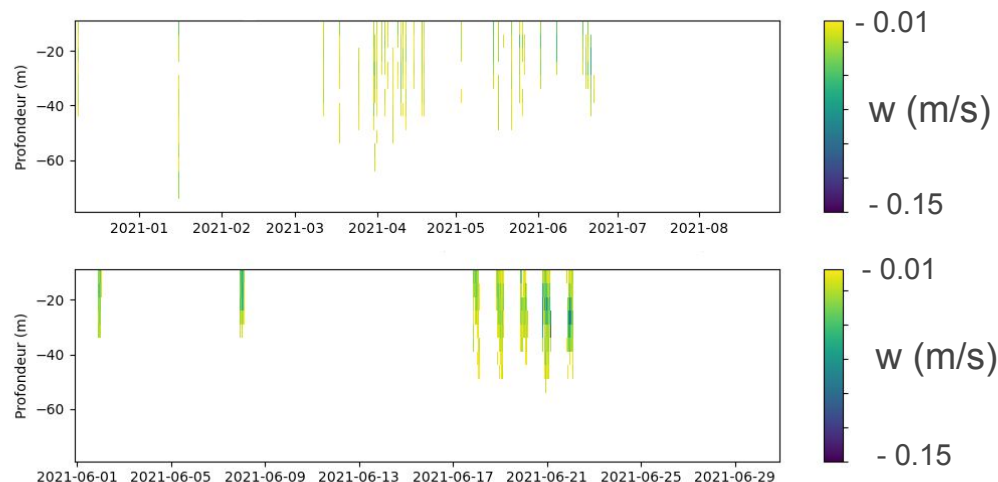


Figure 9 : Isolement des épisodes d'anomalies par la méthode de la grille, pour l'ensemble de la série (en haut) et pour le mois de juin 2021 (en bas).

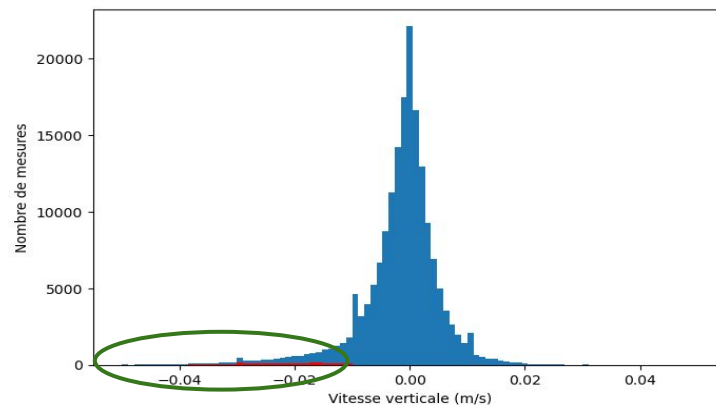


Figure 10 : Histogramme de répartition des vitesses verticales sur l'ensemble de la série, avec les anomalies détectées en rouge.

→ Bonne suppression des valeurs de bruit, **5 épisodes successifs** entre le 17 et le 23 juin

Période particulière : du 17 au 23 juin 2021

Période particulière : du 17 au 23 juin 2021

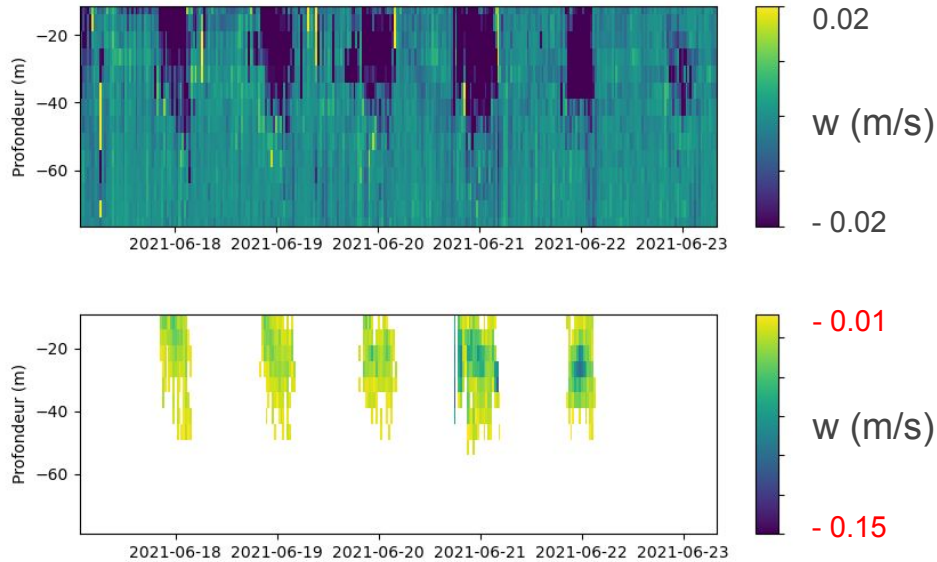


Figure 11 : Application de la méthode de la grille à la période du 17 au 23 juin. En haut, l'évolution de w , en bas, les épisodes détectés.

Période particulière : du 17 au 23 juin 2021

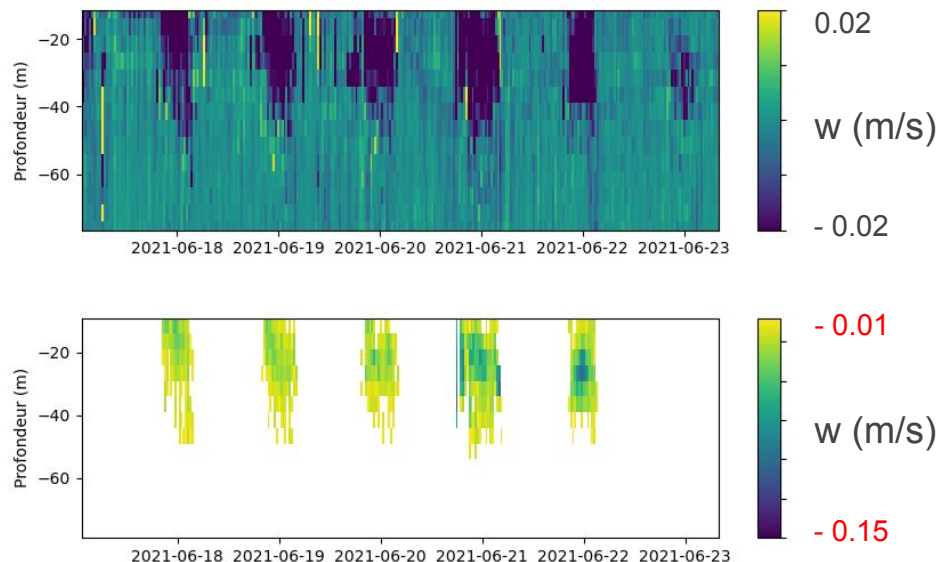


Tableau 1 : Caractéristiques des épisodes d'anomalie détectés entre le 17 et le 23 juin.

Anomalie	Début	Fin	Durée	Prof. Max (m)	Vitesse Moyenne (m/s)	Vitesse Négative Maximale (m/s)
1	2021-06-17, 20:15	2021-06-18, 03:45	7 h 30 min	51,5	-0,029	-0,109
2	2021-06-18, 19:45	2021-06-19, 04:15	8 h 30 min	51,5		
3	2021-06-19, 19:45	2021-06-20, 04:15	8 h 30 min	51,5		
4	2021-06-20, 18:45	2021-06-21, 04:45	10 h 00 min	56,5		
5	2021-06-21, 20:15	2021-06-22, 03:15	7 h 00 min	51,5		
Moyenne	Début à 19:45	Fin à 04:03	8 h 18 min	52,5		

Figure 11 : Application de la méthode de la grille à la période du 17 au 23 juin. En haut, l'évolution de w , en bas, les épisodes détectés.

Période particulière : du 17 au 23 juin 2021

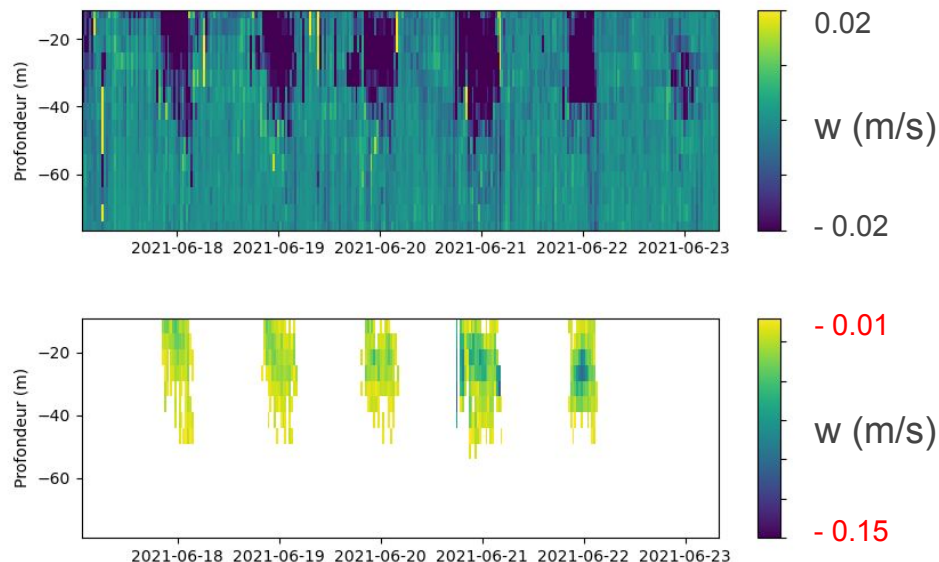


Figure 11 : Application de la méthode de la grille à la période du 17 au 23 juin. En haut, l'évolution de w , en bas, les épisodes détectés.

Tableau 1 : Caractéristiques des épisodes d'anomalie détectés entre le 17 et le 23 juin.

Anomalie	Début	Fin	Durée	Prof. Max (m)	Vitesse Moyenne (m/s)	Vitesse Négative Maximale (m/s)
1	2021-06-17, 20:15	2021-06-18, 03:45	7 h 30 min	51,5	-0,029	-0,109
2	2021-06-18, 19:45	2021-06-19, 04:15	8 h 30 min	51,5		
3	2021-06-19, 19:45	2021-06-20, 04:15	8 h 30 min	51,5		
4	2021-06-20, 18:45	2021-06-21, 04:45	10 h 00 min	56,5		
5	2021-06-21, 20:15	2021-06-22, 03:15	7 h 00 min	51,5		
Moyenne	Début à 19:45	Fin à 04:03	8 h 18 min	52,5		

- Durée des épisodes : de 7 à 10h
- Plus profonds que lors d'autres périodes

Détermination de l'origine des événements identifiés

Détermination de l'origine des événements identifiés

1. Recherche d'un lien avec la courantologie horizontale

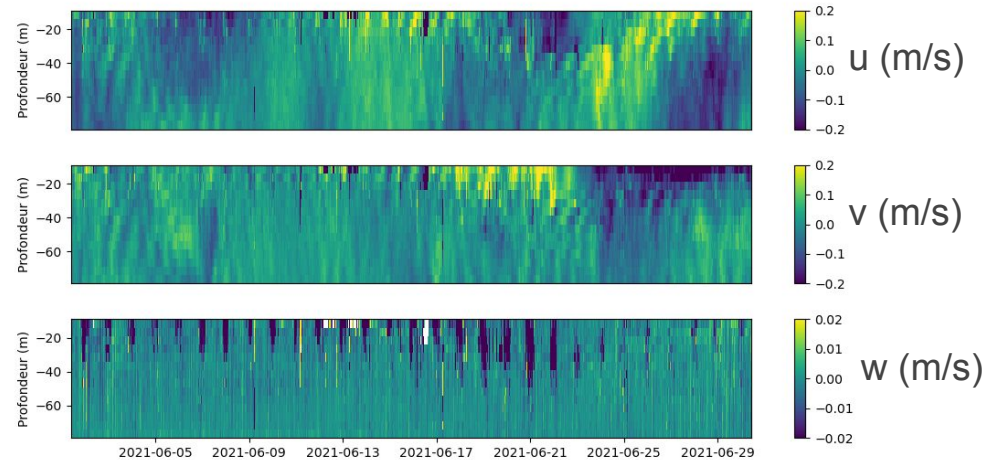


Figure 12 : Evolution des trois composantes de la vitesse u , v et w au mois de juin 2021.

Détermination de l'origine des événements identifiés

1. Recherche d'un lien avec la courantologie horizontale

- Présence d'un courant Nord / Nord-Ouest mais résultats non significatifs

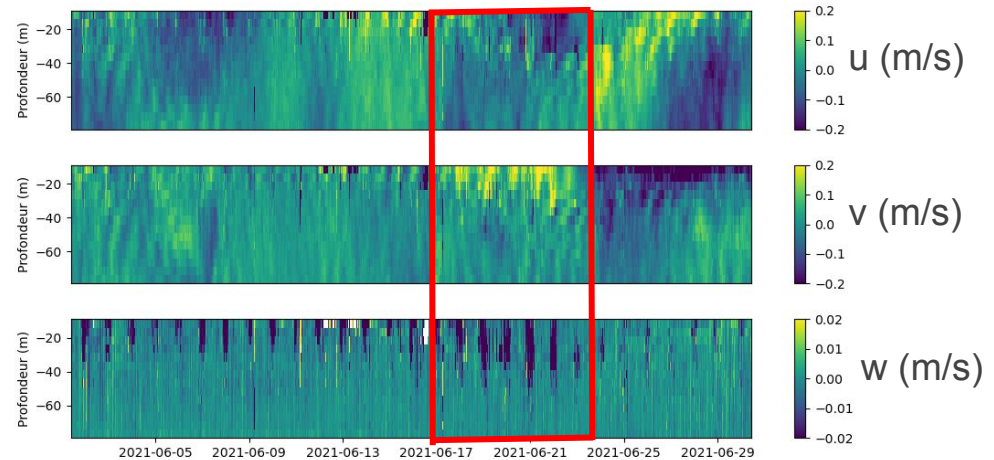


Figure 12 : Evolution des trois composantes de la vitesse u , v et w au mois de juin 2021.

Détermination de l'origine des événements identifiés

1. Recherche d'un lien avec la courantologie horizontale

- Présence d'un courant Nord / Nord-Ouest mais résultats non significatifs
- Pas de données disponibles pour confirmer les observations faites sur la verticale

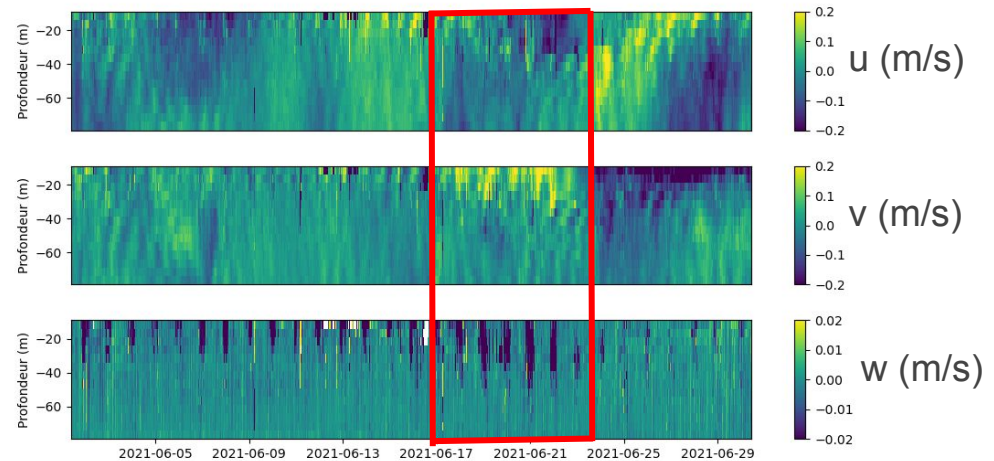


Figure 12 : Evolution des trois composantes de la vitesse u , v et w au mois de juin 2021.

Détermination de l'origine des événements identifiés

2. événements longs (+ 7h) ayant lieu la nuit : **migrations verticales d'essaims de krill**

Détermination de l'origine des événements identifiés

2. événements longs (+ 7h) ayant lieu la nuit : **migrations verticales d'essaims de krill**

- mouvements exclusivement descendants :
pas de phase de montée / descente
→ dynamique natatoire de *Meganyctiphanes norvegica* ? (Dédution de Charlotte Cunci, 2021)



Figure 13 : Photographie de *M. norvegica* (Commons).

Détermination de l'origine des événements identifiés

2. événements longs (+ 7h) ayant lieu la nuit : **migrations verticales d'essaims de krill**

- mouvements exclusivement descendants :
pas de phase de montée / descente
→ dynamique natatoire de *Meganyctiphanes norvegica* ? (Dédution de Charlotte Cunci, 2021)

3. Profondeur plus importante lors des phases de pleine lune, en avril et en juin : **influence du cycle lunaire** sur les rythmes biologiques de certaines espèces



Figure 13 : Photographie de *M. norvegica* (Commons).

Comparaison avec le premier transect de la campagne FUMSECK

Comparaison avec le premier transect de la campagne FUMSECK

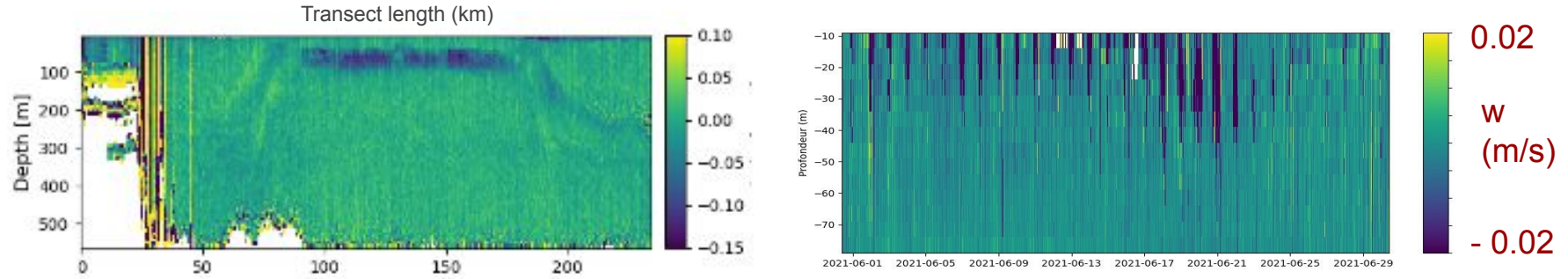


Figure 14 : Evolution de la vitesse verticale, selon un transect de la campagne FUMSECK à gauche (C. Cunci), et selon la série temporelle JULIO à droite.

Comparaison avec le premier transect de la campagne FUMSECK

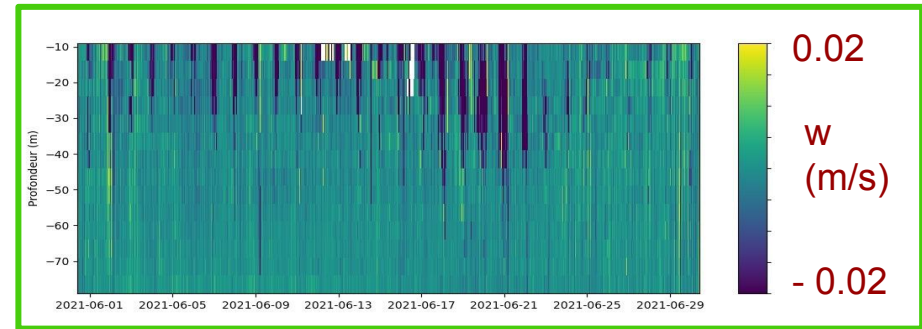
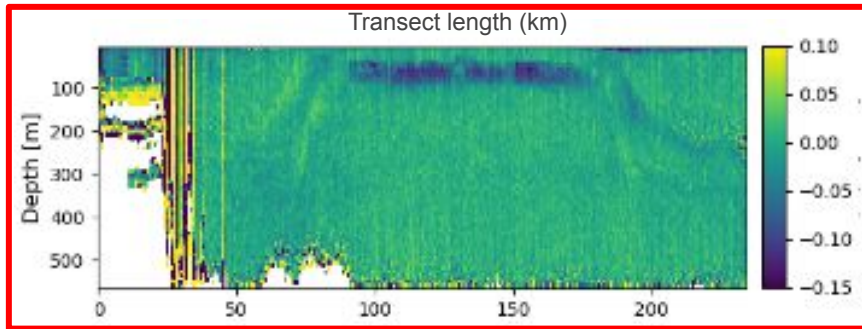


Figure 14 : Evolution de la vitesse verticale, selon un transect de la campagne FUMSECK à gauche (C. Cunci), et selon la série temporelle JULIO à droite.

- Profondeur de mesure : **500 m** / **95 m**
- Fréquence d'émission : **75 kHz** / **300 kHz**
- Vitesse moyenne mesurée : **- 6,5 cm/s** / **- 2,9 cm/s**

Comparaison avec le premier transect de la campagne FUMSECK

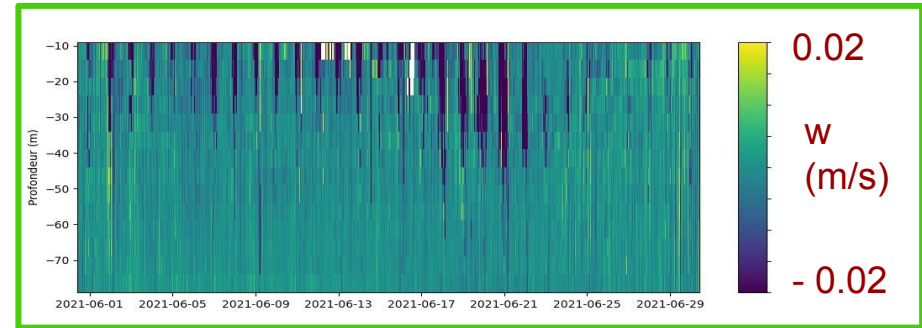
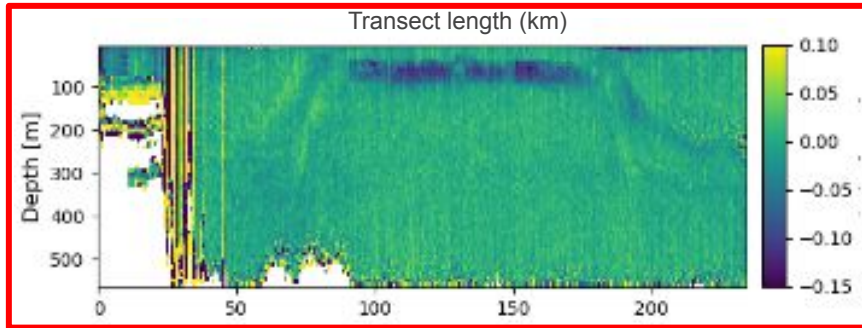


Figure 14 : Evolution de la vitesse verticale, selon un transect de la campagne FUMSECK à gauche (C. Cunci), et selon la série temporelle JULIO à droite.

- Profondeur de mesure : **500 m** / **95 m**
- Fréquence d'émission : **75 kHz** / **300 kHz**
- Vitesse moyenne mesurée : **- 6,5 cm/s** / **- 2,9 cm/s**

→ **Phases de montée / descente invisibles sur la série temporelle JULIO**

→ **intensité moindre : détection d'organismes plus petits**

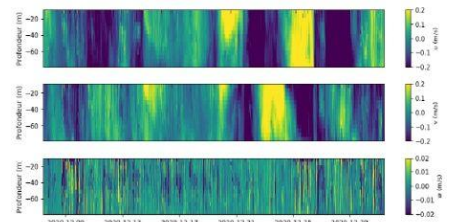
Objectifs atteints

1. Identification des anomalies de vitesse verticale entre décembre et août 2021 dans le golfe du Lion : événements remarquables en avril et en juin (-2.9 cm/s en moyenne, 1 ordre de grandeur plus élevé que des vitesses verticales habituelles)
2. Caractérisation des épisodes : durée moyenne de 8 h 30 min, de 19:00 à 04:00 UTC, environ 55 m de profondeur, en accord avec les horaires de coucher / lever du Soleil
3. Origine des événements détectés : migrations verticales de krill ou organismes plus petits, exacerbées par les phases de pleine lune

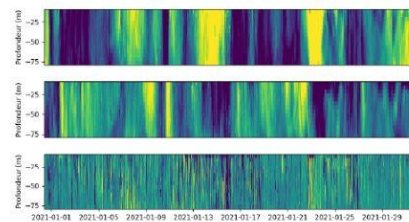
→ **Anomalies négatives au sud de la rade de Marseille : nécessité de prochains travaux, afin de mieux comprendre leurs particularités**

Evolution des trois composantes de la vitesse pour chaque mois de la série

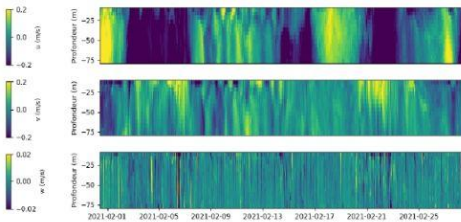
Décembre 2020



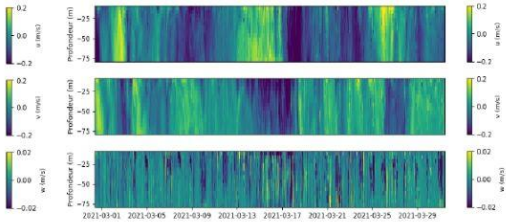
Janvier 2021



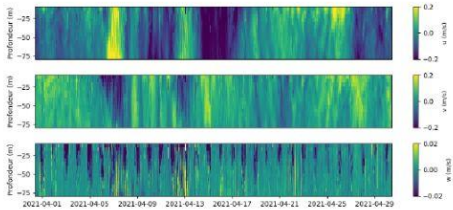
Février 2021



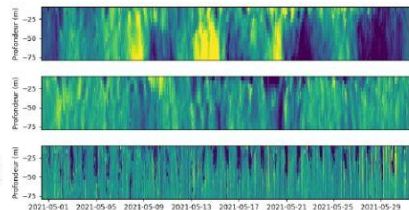
Mars 2021



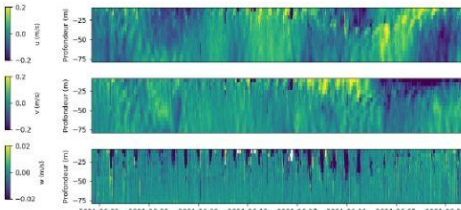
Avril 2021



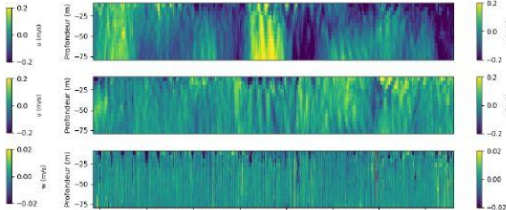
Mai 2021



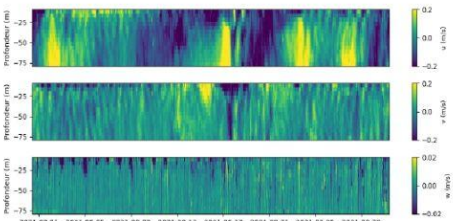
Juin 2021



Juillet 2021



Août 2021



Evolution des trois composantes de la vitesse au mois d'avril 2021

