

Machine Learning & Océanographie

COMPRENDRE LA DISTRIBUTION SPATIALE ET TEMPORELLE DES TOURBILLONS OCÉANIQUES PAR LA PRÉDICTION DE LEURS INTÉRACTIONS

L. Berger¹, sous la direction d'A. Amores²

Ce stage a bénéficié d'une aide financière de l'Association Francophone d'Hydrographie

¹ Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées (ENSTA) Bretagne, Brest(29), France - (louise.berger@ensta-bretagne.org)

²Institut Méditerranéen des Etudes Avancées (IMEDEA), Esporles, Iles Baléares, Espagne - (angel.amores@uib.es)

Été 2019

Contexte et étude de données satellitaires

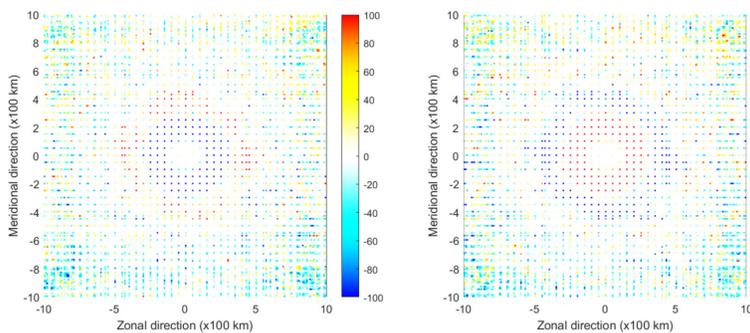


Fig 1: Polarité majoritaire des tourbillons entourant un anticyclone (à gauche) ou un cyclone (à droite). La légende peut être comprise ainsi : les points bleus (resp. rouges) indiquent un nombre important de cyclones (resp. anticyclones).

¹ Données fournies par [D. Chelton, 2011]

² Etude menée par [A. Amores, 2017]

Les tourbillons à méso-échelle sont des vortex océaniques possédant un rayon de l'ordre de la centaine de kilomètres. Présents en nombre dans les océans, ils assurent l'équilibre climatique mondial.

Leur distribution spatiale et temporelle est dévoilée grâce à des données acquises quotidiennement par satellites sur une période de 22 ans¹. Cette étude² met en avant un phénomène particulier: lors de sa vie (de quelques jours à quelques semaines), un tourbillon à méso-échelle (cyclone ou anticyclone) est entouré par des anneaux de tourbillons de polarités alternatives.

Les interactions entre deux tourbillons sont une piste pour comprendre cette distribution. Notamment, les prédire à partir de leurs propriétés (rayon, amplitude et polarité) et de la distance qui les sépare permettrait de modéliser numériquement leur évolution et trajectoire à travers les océans.

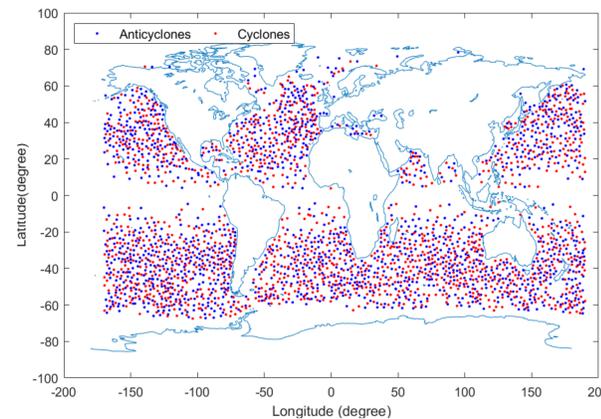


Fig 2: Carte des tourbillons à méso-échelle le 22 juin 1993. A l'équateur, les tourbillons sont transformés en vagues (valeur du nombre de Rossby élevé).

Extraction et étude des interactions

Extraction des couples de tourbillons

Algorithme de sélection des couples de tourbillon susceptibles d'interagir:

- Parcours du fichier de données jour par jour.
- Pour chaque tourbillons du jour n, l'algorithme recherche un ou plusieurs tourbillons proche de lui ce même jour.
- Lorsque un couple est formé, l'algorithme regarde le jour n+1 l'évolution de l'interaction, c'est à dire s'ils se sont rapprochés, fusionnés, ou si un nouveau tourbillon a été créé.
- Pour chaque couple, l'algorithme sélectionne les propriétés de chaque tourbillon, le jour n et le jour n+1.

→ Les données extraites conduisent à une analyse statistique sur le phénomène de la fusion et sur la création d'un nouveau tourbillon.

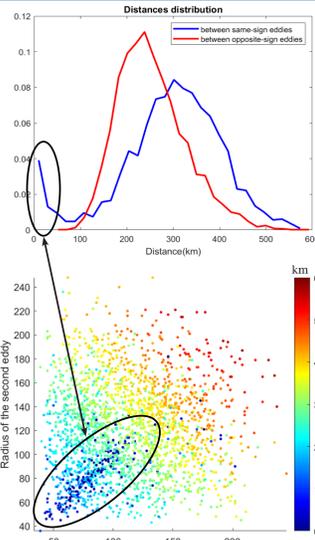
Fusion

L'étude des interactions permet de valider deux résultats démontrés dans la théorie [X. Carton, 2001]:

- La fusion ne concerne que deux tourbillons ayant la même polarité.
- Les tourbillons ont généralement des rayons et amplitudes du même ordre de grandeur.

Fig 3: Distribution des distances entre les couples de tourbillons sélectionnés en fonction de leur polarité.

Fig 4: Distance entre les deux tourbillons des couples de même polarité en fonction des deux rayons.



Création d'un nouveau tourbillon

Dans les océans, près de 5% des interactions impliquent la création d'un nouveau tourbillon.

Sa polarité dépend grandement de celles des deux tourbillons «parents» puisque deux cyclones (resp. anticyclones) sont plus susceptibles de créer un anticyclone (resp. un cyclone).

Pour un couple aux polarités différentes, un tourbillon de type cyclone est plus couramment créé. Cela explique leur nombre légèrement plus élevé dans les océans.

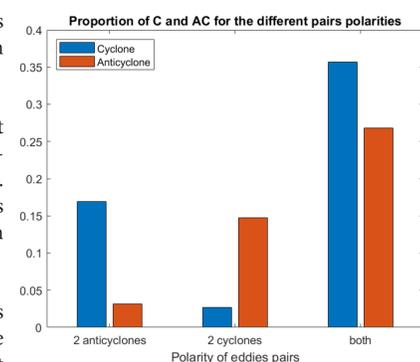


Fig 5: Histogramme montrant la proportion de cyclones et d'anticyclones créés en fonction de la polarité des deux tourbillons «parents».

Fig 6: Début du fichier d'entraînement. Chaque ligne correspond à une interaction et donne la distance entre les deux tourbillons, leur rayon, leur amplitude et la somme de leur polarité (-2, 0 ou 2). Le Grade correspond à la nature de l'interaction : 1 lorsque les deux tourbillons fusionnent, 2 lorsque que les deux tourbillons se rapprochent puis s'écartent et enfin 3 lorsqu'un nouveau tourbillon est créé.

```
ID,Distance,R1,R2,A1,A2,P,Grade
1,219,83,98,3,4,0,2
2,436,186,160,2,6,0,3
3,306,105,128,7,2,0,3
4,170,52,152,1,3,0,2
5,227,88,107,3,5,0,2
6,6,151,117,4,4,-2,1
7,310,148,74,10,4,0,3
8,224,72,84,4,1,2,3
9,250,149,52,2,2,0,2
10,227,131,109,3,2,-2,3
11,129,71,77,5,5,-2,2
12,208,100,71,7,2,0,3
```

Le Machine Learning est une technologie à la base de l'intelligence artificielle permettant aux ordinateurs d'améliorer leurs performances sans avoir été explicitement programmés à cet effet. Cet apprentissage automatique exploite des données afin d'effectuer des prédictions en se basant sur des statistiques.

Ici, le Machine Learning est utilisé afin de déterminer le comportement de deux tourbillons se rapprochant grâce à un algorithme de classification. Les étapes du processus sont:

1. Création du fichier d'entraînement et du fichier test à partir de l'extraction des couples et de leurs interactions.
2. Choix de la classification : l'algorithme de Random Forest détermine la classe de l'interaction grâce à n arbres décisionnels.
3. Optimisation des paramètres: le choix du nombre d'arbres décisionnels joue sur la performance de l'algorithme et sur son temps d'exécution.

→ Taux de validation de 98.6% pour 23 000 interactions en entrée et 40 arbres décisionnels.

Prédiction par Machine Learning

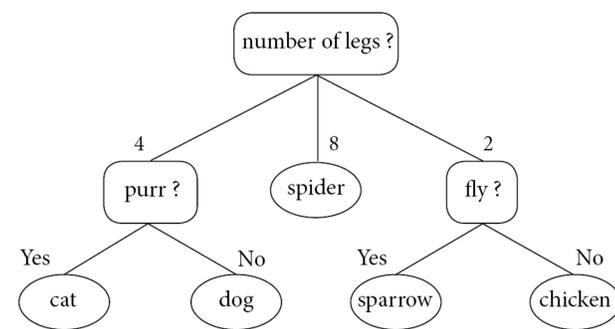


Fig 7: Exemple d'un arbre de décision.

Conclusion et perspectives

La prédiction de phénomènes océaniques est aujourd'hui un moyen de créer des modèles de plus en plus fidèles à la dynamique des océans. L'implémentation d'un modèle imitant le phénomène de fusion a déjà permis la visualisation des anneaux de tourbillons à polarité alternative autour d'un cyclone (resp. d'un anticyclone). Ici, la classification permet de donner l'état de l'interaction grâce aux propriétés de deux tourbillons et de la distance qui les sépare. Cette science moderne est un outil puissant pour automatiser un modèle de manière plus rigoureuse qu'avec une programmation manuelle. Même si les phénomènes de fusion et de création de tourbillons représentent une faible proportion comparés aux associations de tourbillons avançant ensemble comme des dipôles, ils semblent néanmoins être une des raisons de la particulière distribution spatiale et temporelle des tourbillons.

Bibliographie

[A. Amores, 2017] A. Amores, S. Monserrat, O. M. N. M. (2017). On the shape of the sealevel anomaly signal on periphery of mesoscale ocean eddies. *Geophysical Research Letters*

[D. Chelton, 2011] Dudley Chelton, M. Schlax, R. S. (2011). *Progress in Oceanography*. ELSEVIER

[X. Carton, 2001] Carton, X. (2001). *Hydrodynamical modeling of oceanic vortices*. Kluwer Academic Publisher

Ce poster illustre les méthodes et résultats de mon stage de deuxième année à l'ENSTA Bretagne (Brest) effectué durant l'été 2019 à IMEDEA (Esporles, Iles Baléares, Espagne) dans le cadre de mon cursus d'ingénieur Hydrographe et Océanographe. Je tiens à remercier mon maître de stage, Angel Amores, pour sa confiance et son optimisme durant tout ce projet.