



COMITÉ DE SUIVIE INDIVIDUEL

1ERE ANNÉE

OBSERVATION DE LA CONVECTION OCÉANIQUE

I Contexte de la thèse

Ma thèse explore la dynamique de la couche de mélange océanique, essentielle pour la régulation du climat, en particulier pour comprendre les processus de convection qui jouent un rôle majeur dans le transport de chaleur et de CO₂. La couche de mélange est le lieu où ces éléments entrent et sortent de l'océan, et elle est sujette à des événements convectifs induits par le refroidissement et le vent. Cependant, ces processus restent difficiles à étudier en dehors des simulations numériques, malgré leur importance pour la circulation océanique et, par extension, les modèles climatiques. Mon travail vise à combler ces lacunes en utilisant des expériences en laboratoire au sein du LEGI.

La plateforme Coriolis nous permet de mener des expériences à partir desquelles nous obtiendrons des données inédites sur la dynamique des panaches convectifs et des cellules turbulentes dans des conditions contrôlées de rotation et de stratification. L'objectif est, à partir des observations faites de contribuer à l'amélioration des modèles théoriques qui représentent ces processus dans les modèles climatiques.

Mon travail s'inscrit dans le projet PLUME, qui cherche à comprendre les mécanismes de mélange et de convection dans les systèmes géophysiques. En étudiant la convection dans des environnements contrôlés et en comparant ces résultats avec des simulations numériques, nous espérons élaborer des modèles de paramétrisation qui pourront être utilisés pour améliorer la fiabilité des modèles climatiques. Mes recherches abordent la caractérisation des structures de convection, le rôle des flux de chaleur et de la rotation, ainsi que l'impact de la stratification sur la dynamique de la couche de mélange.

Dans ce document, je présenterais dans une première partie l'avancement et la conduite des travaux effectués, puis un planning à court et long terme pour la suite de la thèse. Je terminerais en présentant les formations que j'ai suivies sur le début de cette thèse.

II Avancement et conduit des travaux effectués

2.1. Étude de la couche de mélange forcé par le vent

Nous avons utilisé un code 1D GOTM (General Ocean Turbulence Model) <https://gotm.net/> qui paramétrise la turbulence selon le modèle $k-\epsilon$. Nous avons simulé l'évolution de la couche de mélange due à un forçage du vent sans flux de chaleur. Pollard et al. [1973] et Ushijima and Yoshikawa [2020] montrent que les régimes de cet approfondissement étaient différents si on prenait en compte ou non les effets de rotation de la terre (f). Avec notre modèle 1d, nous retrouvons que l'approfondissement est inhibé après une demi période de rotation mais continue à une vitesse beaucoup plus lente. Or, dans les papiers théoriques, il est considéré que les effets de rotation la bloque complètement. À notre connaissance seulement Ushijima and Yoshikawa [2020] ont montré cet effet avec des simulations LES et à partir desquelles les auteurs ont donné une loi empirique mais sans expliquer la physique derrière. Nous avons voulu décrire de façon plus

rigoureuse les processus physiques qui interviennent en présence de rotation et de trouver un modèle analytique sous forme de loi d'échelle.

La première étape a été de fermer les bilans d'énergie et de quantité de mouvement. Cela nous a permis de confirmer que le code que nous avons utilisé simulait correctement le processus d'approfondissement turbulent.

Ensuite en faisant un bilan d'énergie potentielle on en déduit deux équations :

$$\frac{dE_p}{dt} = \frac{N^2}{12} \frac{dh^3}{dt} \quad (1)$$

avec E_p l'énergie potentiel spécifique de la colonne d'eau, N^2 la fréquence de Brunt-Väisälä (fréquence de flottabilité), h la hauteur de la couche de mélange.

$$\frac{dE_p}{dt} = \int_{-h}^0 -w'b' dz \quad (2)$$

avec $w'b'$ le flux de flottabilité.

Ainsi tout l'enjeu est de caractériser les flux turbulents au bas de la couche de mélange afin d'obtenir une équation pour $\frac{dh}{dt}$ et donc connaître l'évolution de la couche de mélange.

Nous arrivons très bien à décrire toutes les quantités (la production de flottabilité, la production de cisaillement et la dissipation) dans la couche de mélange du moment que l'on ne s'éloigne pas trop de la surface. Près de l'interface entre la couche de mélange et la couche stablement stratifiée nous devons ajouter une "correction" pour prendre en compte l'entraînement turbulent.

Pour cela nous avons divisé la colonne d'eau en trois parties : la couche de mélange supérieure, une couche d'entraînement et la couche stable au dessous. On estime que cette couche d'entraînement est marginalement stable car elle contient le saut en densité et le cisaillement vertical de vitesse le plus fort comme le montre la figure 1.

A ce jour nous avons réussi à démontrer des expressions pour les quantités turbulentes et la hauteur de la couche d'entraînement h_e en considérant cette couche comme étant marginalement stable et donc en utilisant une équation sur le nombre de Richardson.

$$Ri = \frac{g \frac{\partial \rho}{\partial z}}{(\frac{\partial U}{\partial z})^2} \quad (3)$$

avec le saut en densité : $\frac{\partial \rho}{\partial z} = \frac{\Delta \rho_i}{h_e} = \frac{N^2 h}{h_e}$

Toutefois dans cette méthode nous avons fait une approximation assez grossière sur la vitesse en haut de la couche d'interface

$$\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{u(-h + h_e) - 0}{h_e} = \frac{u_* \sqrt{\frac{N}{f}}}{h_e}. \quad (4)$$

Nous avons également une équation pour le profil de vitesse (aligné sur le vent) qui est robuste sur toute la colonne d'eau (ce qui est un bon résultat en

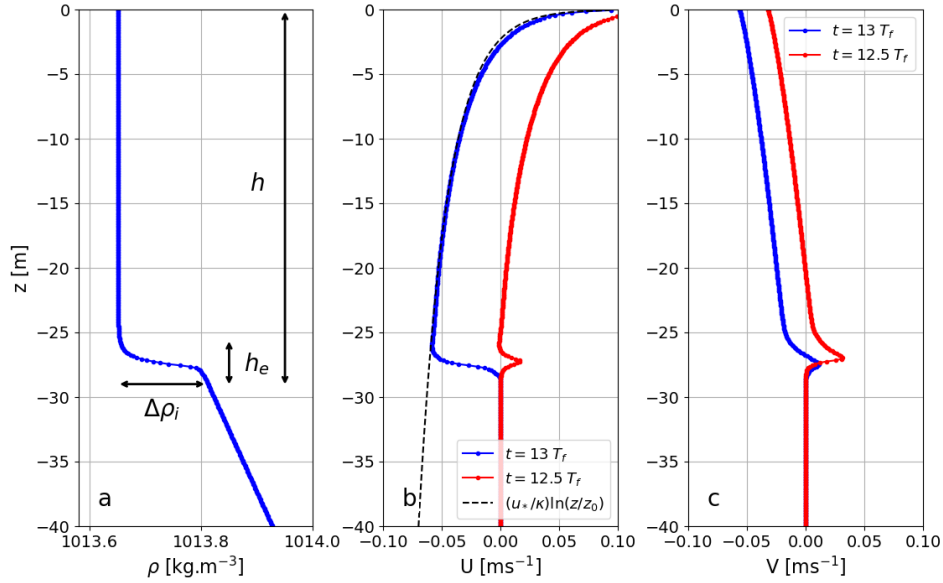


FIGURE 1 – Vertical profile of (a) density, (b) along-wind velocity U and (c) cross-wind velocity V . In blue, the last inertial period $t = 13 T_f$. In red the last half inertial period $t = 12.5 T_f$. In black the logarithmic profile of the velocity from the "Law of the wall" $\frac{u_*}{\kappa} \ln(\frac{z}{z_0})$. The parameters of the simulation are : $f = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, $N^2 = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ and the wind stress $\tau = 0.1027 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$

soit) mais nous n'avons pas encore réussi à en déduire les flux turbulent de façon correct et donc notre modèle théorique ne tient plus.

Un brouillon de publication est rédigé pour ce projet que nous comptons soumettre quand les résultats seront plus robustes.

Ce travail m'a permis de prendre en main le sujet de la thèse et de me familiariser avec la théorie de la convection forcée. En parallèle, au bout de quelques mois nous avons commencé le travail expérimental afin de préparer les expériences sur Coriolis.

2.2. Observation d'un panache convectif

Nous avons mis en place une expérience de panache convectif dans le but de :

1. Me familiariser avec le travail expérimental
 2. Tester un système de mesure de température par thermistance que nous souhaitions coupler à une mesure PIV.
 3. Tester une méthode d'imagerie de champ de température par l'effet sur l'efficacité de fluorescence de certains colorants (rhodamine ...)
- L'objectif étant de mesurer en une série de points les corrélations turbulentes et d'appliquer ce système de mesure sur les expériences sur Coriolis

Apparatus

II. AVANCEMENT ET CONDUIT DES TRAVAUX EFFECTUÉS

Pour cette expérience schématisée Figure 2. Nous avons injecté de l'eau chauffée à 80°C par un bain thermostaté au travers d'une buse de 1cm de diamètre fixée au bas d'une cuve (1m x 1m) remplie d'eau à température ambiante. Une nappe laser à été créée pour illuminer une coupe horizontale de la cuve au milieu du panache. Malheureusement nous avons reçu les thermistance trop tard et nous avons manqué de temps pour tester cette methode de mesure.

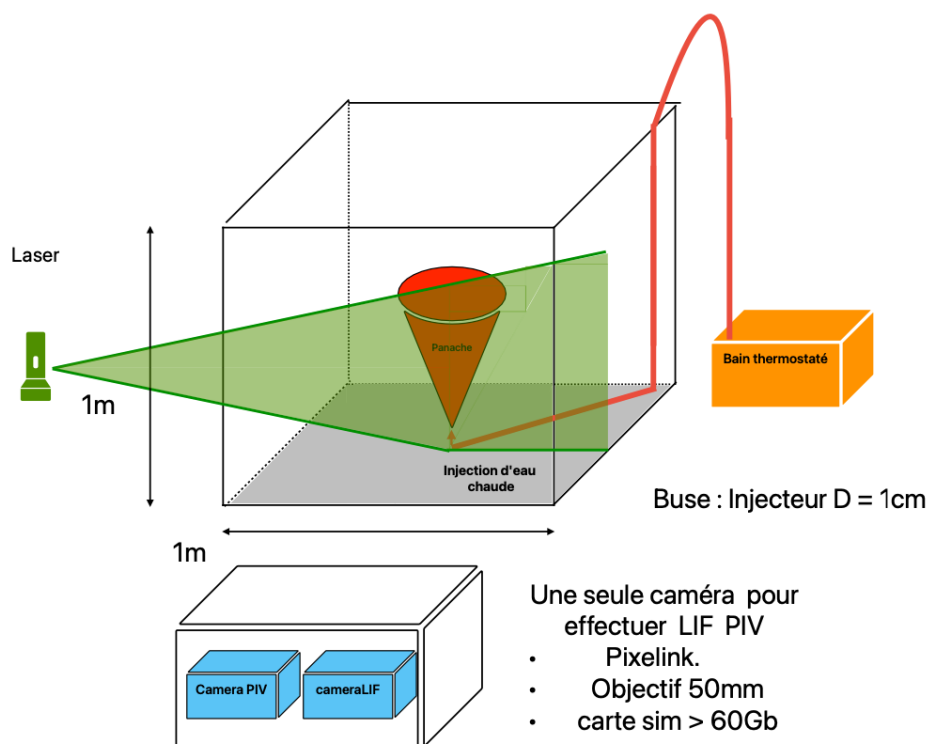


FIGURE 2 – Schema de l'expérience de panache convectif

À la place, nous avons commencé un travail sur les méthodes d'observation T-LIF en collaboration avec un autre chercheur du LEGI (Jan-Bert Flør). Le principe de cette méthode est de mélanger dans l'eau une certaine concentration de colorant dont l'absorption de la lumière est une fonction de la température. Ainsi, en capturant les variations d'absorption de l'intensité lumineuse, on peut reconstruire un champ de température.

En temps normal cette méthode est restreinte par l'utilisation de camera noir et blanc, sur laquelle on ajoute un filtre interférentiel qui ne sélectionne que les longueurs d'onde réémises par le colorant tout en filtrant la longueur d'onde du laser. Or, l'utilisation de ces filtres exige, pour des raisons géométriques, que le chemin optique soit le plus perpendiculaire possible au filtre. Cela se traduit par un champ d'observation qui dépasse rarement les (10cm x 10cm)

Nous avons voulu essayer de capturer ces fluctuations d'intensité lumineuse à l'aide de caméra couleur (3 spectres : Rouge, Bleu, Vert) et de reconstruire à partir d'une combinaison linéaire de ces 3 spectres, une image filtrée autour de la longueur d'onde de rémission du colorant.

Pour le moment nous n'avons pas obtenus de résultat assez probant à cause d'erreurs dans le dosage de colorant et nous avons des doutes sur son efficacité.

Suite à ces doutes de nouveaux lots de colorant ont été commandés.

Dans ce projet, nous avons échangé avec le laboratoire GIPSA-LAB qui est venu essayer une caméra multispectrale (10 spectres) sur notre dispositif expérimental.

Jan-Bert Flør accueille actuellement un stagiaire de M2 qui travaille sur la thématique de la T-LIF et je serais donc impliqué dans la suite de ce projet, car pour le moment, j'ai mis en pause ces expériences le temps des manip sur Coriolis.

2.3. Premier set d'expériences sur la plateforme Coriolis

Présentation des expériences

Nous avons cherché à reproduire dans ces expériences une force de cisaillement au bas d'une colonne de fluide afin d'étudier la convection forcée par un stress de vent en surface de l'océan, en fonction de la rotation et de la stratification. Ici, comme dans toutes les expériences que nous ferons sur Coriolis, la disposition verticale par rapport à l'océan est "tête inversée". Le principe de ces expériences de "Spin-up" est que nous imposons une rotation de la plateforme Ω_{spinup} dans le référentiel de la couche d'eau. Ce référentiel peut être, immobile par rapport à la pièce $\Omega_0 = 0$ ou bien, être déjà en rotation $\Omega_0 = \Omega_{initial}$ vis à vis de la pièce. Dans ce dernier cas, la couche d'eau est soumise à la force de Coriolis $f = 2\Omega_0$. Toutes les manipes ont été dimensionné afin que le différentiel de rotation $\Delta\Omega = \Omega_{spinup} - \Omega_0$ soit une constante pour toutes les expériences. Cela garantit que le stress appliqué au bas de la couche d'eau est le même entre toutes les expériences.

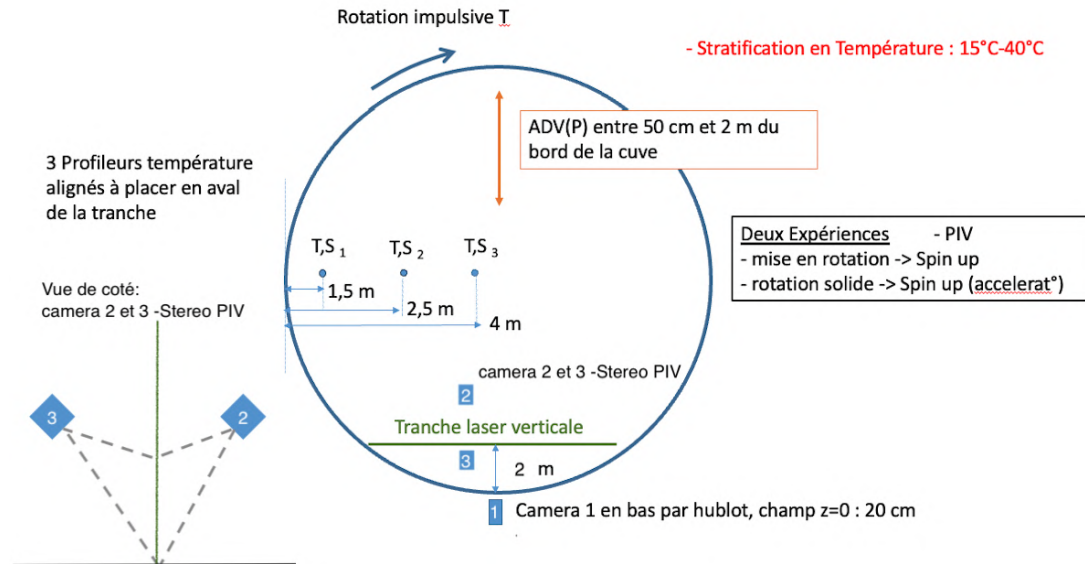


FIGURE 3 – Schéma expérimentale des expériences de convection forcée sur la plateforme Coriolis

La figure 3 montre la disposition des différents instrument d'acquisition décrite

plus bas.

Stratification

Un des enjeux de ces expériences a été de tester si nous étions capables de créer une stratification en température sur Coriolis. Étant donné les volumes uniques que requiert le remplissage, le temps nécessaire pour créer une stratification avec un $\Delta T = 20$ C sur 50 cm d'eau est de 3 jours pour le chauffage de l'eau et de 4 h pour le remplissage, qui doit se faire assez lentement pour ne pas créer de mélange, mais aussi, assez vite pour conserver un gradient de température près de la surface à la fin du remplissage. Un autre enjeu est que chaque expérience détruit la stratification et donc le nombre d'expériences possible est très limité. La mesure de la température se fait à l'aide de 3 sondes situées à 3 rayons différents du centre de la cuve. Ces sondes effectuent des profils verticaux de façon simultanée. Ainsi, par interpolation, nous obtenons l'évolution temporelle d'une section radiale de la cuve. L'extraction des données issue de ces sondes est faite par un stagiaire de M2 qui travaille avec nous sur les expériences depuis avril jusqu'à en août.

Méthodes d'acquisition

Un autre objectif de ces expériences a été de tester des aspects technique sur lesquels nous comptons pour les expériences avec le plancher chauffant (voir partie 3.1.).

Acquisition PIV

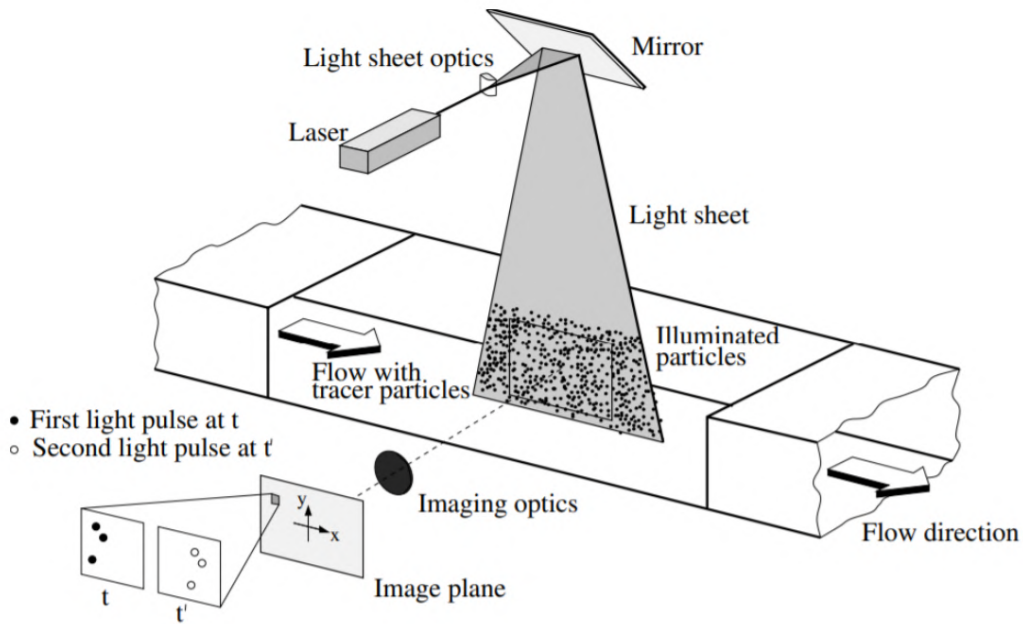


FIGURE 4 – Schéma explicatif de la méthode PIV [Raffel et al., 2007]

II. AVANCEMENT ET CONDUIT DES TRAVAUX EFFECTUÉS

Le principe de la méthode PIV (Particle Induced velocimetry) est de capturer sur deux images consécutives sur lesquelles des particules sont illuminées par une nappe laser (Rayon élargi dans un plan, voir schéma 5). Puis de comparer entre les deux images la position des particules (soit par suivie lagrangien soit par un algorithme de corrélation). Ainsi le déplacement δx et le δt étant connue, on peut en déduire une champ de vitesse dans le plans du laser, que l'on peut projeter par interpolation sur une grille régulière.

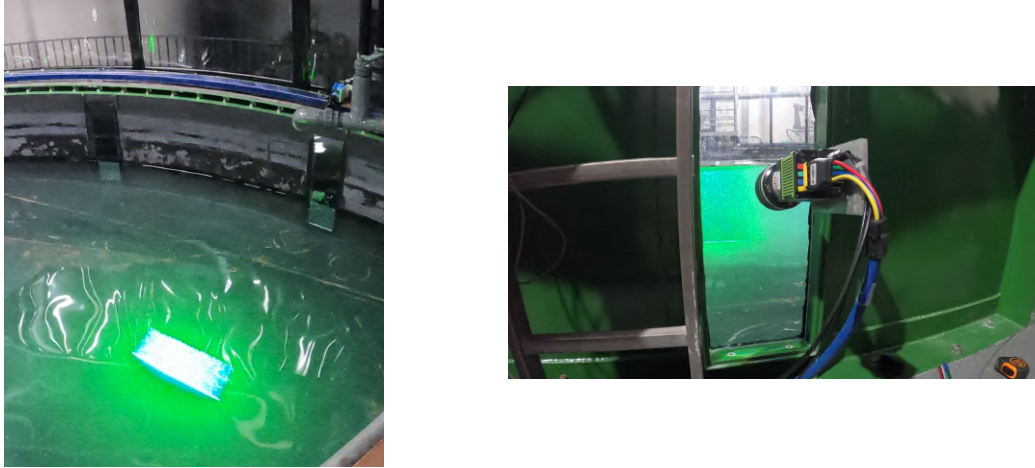


FIGURE 5 – Disposition caméra JAG- PIV

Pour ces expériences, nous avons utilisé au début une caméra située sur le bord de la cuve, mais nous nous sommes aperçus que le mélange poussé vers les bords de la cuve par la force centrifuge créait des perturbations optiques et rendait les observations floues. La solution est de raccourcir au maximum le chemin optique de la camera, et pour cela, il faut au maximum incliner la camera. Nous avons donc décidé de tester l'acquisition par Stéréo PIV dont le principe est le même que pour la PIV classique, mais qui inclue une deuxième caméra (voir Fig 6) avec un différent angle de vue. Cette méthode permet d'une part d'éviter les perturbations dans les cas stratifiés mas aussi d'obtenir la troisième composante des vitesses par comparaison entre le deux champs PIV.



FIGURE 6 – Systeme stereo PIV, les deux caméras sont situées dans les tubes gris et seront immergées pour ne pas avoir à traverser la surface libre

Les données que nous avons obtenues et commencé à traiter sont de très

bonne qualité, nous sommes en mesure d’avoir une résolution de l’ordre du mm jusqu’à moins d’1cm de la plaque comme le montre la Figure 7

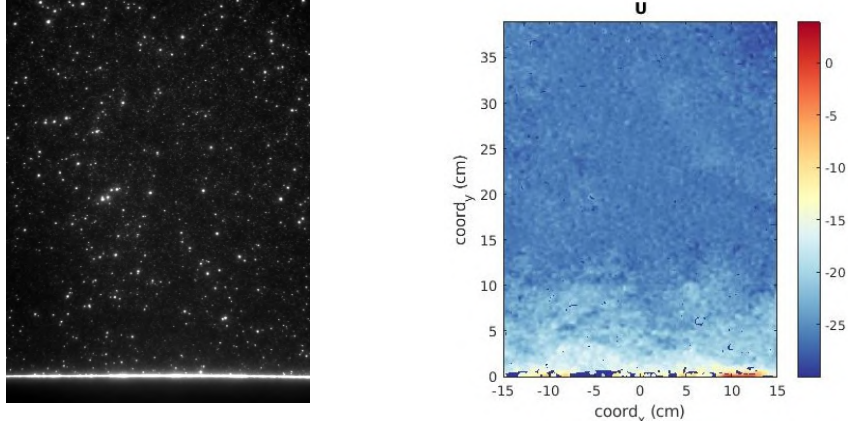


FIGURE 7 – PIV Acquisition - Data processing

Expériences réalisées

Nous avons réalisé un total de 17 Expériences (voir Table (1)). Parmi ces expériences, 6 d’entre elles avait une stratification en température, il y a eu 4 régimes de rotation différentes et nous avons utilisé la méthode de PIV Stéréoscopique pour 6 expériences.

2.4. Quelques Résultats Expérimentaux

A partir de ces données, nous avons pu obtenir des instantanés des vitesses a chaque pas de temps capturé par les caméras comme le montre la Figure 7. J’ai donc pus décomposer le signal en courant moyen ($\overline{U}(t)$, $\overline{W}(t)$) avec une moyenne temporelle glissante sur tout le champ d’observation et la fluctuation instantanée ($u'(t, x, y)$, $w'(t, x, y)$) en chaque point et à chaque instant. Cette décomposition est illustré Figure 8 avec le signal brut U et le courant moyen \overline{U} . Ainsi, à partir de cette décomposition nous pouvons étudier le comportement moyen de l’écoulement et sa turbulence.

Profil vertical de vitesse moyenne

La figure le profil vertical des vitesses à différents instants de l’expérience, on peut observer que l’établissement d’une couche limite, croissante dans le cas sans rotation initial mais confiné dans les expériences en rotation. De plus, on observe dans le cas avec rotation, un maximum de vitesse ce qui est cohérent avec la théorie de la couche d’Ekman turbulente. Enfin, si on s’intéresse à la vitesse hors de la couche limite, on observe une variation sur toute la colonne. Cela correspond à des ondes inertielles. Leurs régimes seront intéressants à étudier puisque plusieurs rotations sont en interaction : la rotation initiale du fluide, la rotation transitoire de la couche de mélange et la rotation de la plaque.

A partir de ces profils de vitesse nous pouvons étudier la croissance de la couche de mélange.

II. AVANCEMENT ET CONDUIT DES TRAVAUX EFFECTUÉS

Designation	$T_{ini}S$	$T_{end}S$	ΔT °C	f	Comment
EXP01	0	120	0	0	Fail in camera acquisition
EXP02	0	120	0	0	
EXP03	120	60	0	0.104	
EXP04	100	54,5	0	0.125	
EXP05	80	48	0	0.157	Fail in camera acquisition
EXP06	80	48	0	0.157	
EXP07	0	120	0	0	
EXP08	0	120	9°C	0	optical refraction / mixing
EXP09	120	60	0	0.104	
EXP10	120	60	12°C	0.104	optical refraction / mixing
EXP11	98	541	12°C	0.128	Spin down
EXP12	0	120	19°C	0	Test Stereo x Stratif
EXP13	0	120	0	0	Stereo
EXP14	0	120	0	0	Stereo
EXP15	0	120	0	0	Stereo + Colorant
EXP16	120	60	20°C	0.104	Stereo + Colorant
EXP17	100	54.5	5°C	0.125	Stereo + Colorant

TABLE 1 – List of the Experiments with the T_{ini} and T_{end} the initial and the final rotation periods 0 means no rotation, f the Coriolis parameter

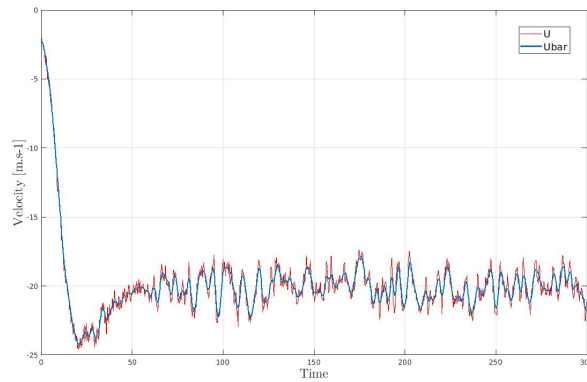


FIGURE 8 – Série temporelle de la vitesse décomposé en une composante moyenne et une composante fluctuante. La vitesse est mesurée à 5cm de la paroi pour l'EXP 07

Croissance de la couche de mélange

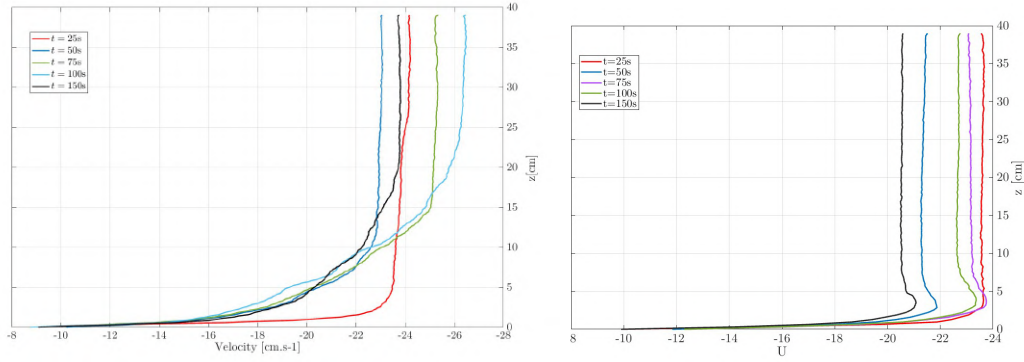


FIGURE 9 – Profil vertical de la vitesse à différents temps de l’expérience. Gauche : **sans rotation** (EXP 07) ; Droite : **avec rotation** (EXP 04)

Nous définissons la limite de la couche de mélange comme étant la hauteur δ à laquelle la vitesse $u(\delta) = 95\%U_\infty$ avec U_∞ la vitesse loin de la paroi.

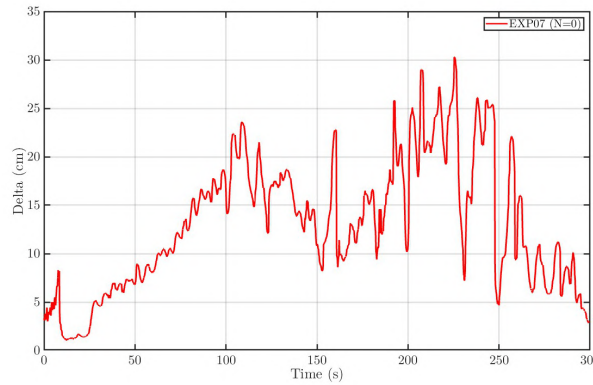


FIGURE 10 – Série temporelle de la hauteur de la couche de mélange pour l’EXP 07

Nous pouvons observer sur la figure 10, qui montre la hauteur de la couche de mélange dans le cas d’un Spin-up d’une couche homogène sans rotation initiale, au minimum deux régimes :

- La croissance initiale sans effet de rotation
- L’effet limitant dû à la rotation et la décroissance de la couche

Nous devons comparer cette courbe avec celles que nous obtiendrons avec les autres expériences. Nous pourrions ainsi déterminer si nous observons un effet limitant de la stratification et quantifier l’effet de blocage de la rotation conduisant à une couche d’Ekman, Von Karman ou Bodewald, en fonction de la rotation de la cuve.

Corrélation turbulents

Avec les champs de fluctuation de vitesse à chaque instant nous pouvons calculer les corrélations turbulentes de vitesse. Sur la figure 11 (Panel de gauche) nous retrouvons l’allure la courbe 10. En effet, à partir des corrélations turbu-

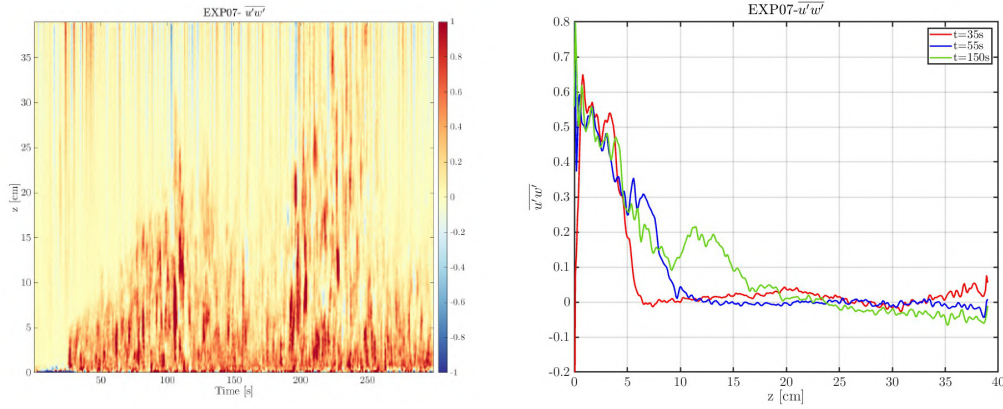


FIGURE 11 – Corrélation turbulentes $u'w'$ pour l'EXP 07. Gauche : Série temporelle des profil verticaux, Droite : Profil verticaux a différent instant de l'expérience

lente $\overline{u'w'}$ nous pouvons calculer le flux de quantité de mouvement qui est positif dans la couche de mélange. Le panel de droite montre des profils verticaux de ces corrélations turbulentes $\overline{u'w'}$ à des instants donnée, on remarque que la valeur limite en $y = 0$ à la paroi, est pratiquement constant au cours du temps. Cela est cohérent puisqu'il correspond à la composante non-visqueuse du flux de stress qui est supposé être constant dans toutes nos expériences. Nous pouvons donc mesurer précisément la vitesse de friction u_* qui est une variable clé de la convection forcée.

Structures d'entraînement

L'utilisation de colorant fluorescent (Rhodamine) nous a permis de capturer les structures d'entraînement en haut de la couche de mélange comme le montre la Figure 12. Ces observations, plus qualitatives peuvent nous aider à caractériser les structures d'entraînements. De plus nous pouvons vérifier visuellement la croissance de la couche de mélange.

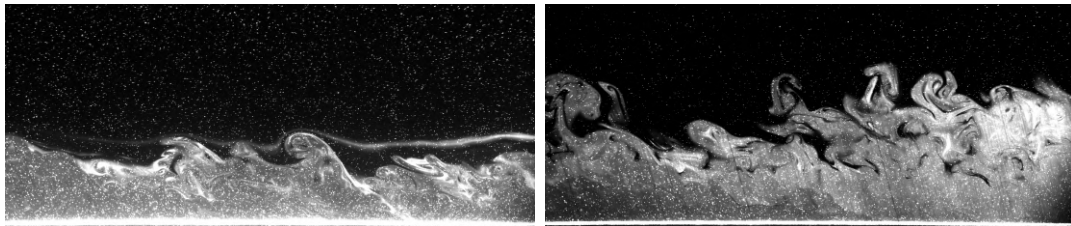


FIGURE 12 – Structure d'entraînement révélé par une couche de colorant fluorescent de rhodamine à deux instants de l'EXP 15

Questions scientifiques

- Pour résumer, on peut s'intéresser à plusieurs questionnements scientifiques.
- Quel est la dépendance de la croissance de la couche de mélange à la rotation

- Idem pour la stratification
- Caractérisation de la couche d'Ekman
- Caractérisation des structures d'entraînement pour différent stratification/rotation
- Caractérisation de la turbulence en convection forcée
- Caractérisation de la vitesse de friction selon les différents régimes
- Étude des effets radiaux dans la couche d'Ekman

III Planning pour la Suite

3.1. Planning expérimentale

Le premier jeu d'expériences sur la plateforme Coriolis décrit dans la partie plus haut s'est terminée le 2 mai. La suite du projet consiste à mettre en place un plancher chauffant au fond de la cuve de Coriolis, le but étant de reproduire une expérience de Rayleigh Benard (le détail de ces expériences est décrite plus bas.). L'installation de tout le dispositif (câbles chauffants, plaques anodisées, caméra, laser, etc.) devrait prendre entre 3 et 5 semaines. Ce temps d'attente sera mis à profit pour exploiter les données issues du premier set et se focaliser sur une question scientifique évoquée dans la partie précédente. Considérant la masse de données et la diversité des processus observés, l'objectif est de pouvoir produire un article qui s'inscrit dans une trame cohérente de la thèse. Ces expériences dureront 3 mois, de Juin à fin Août.

Expériences de Rayleigh Benard sur Coriolis

Dans la première partie du projet, nous nous sommes uniquement intéressés à la convection forcée par un stress de surface. Ici, nous nous intéresserons à la convection forcée par un flux de chaleur. Cette partie sera plus conséquente et représente le cœur de la thèse et du projet PLUME dans laquelle elle s'inscrit.

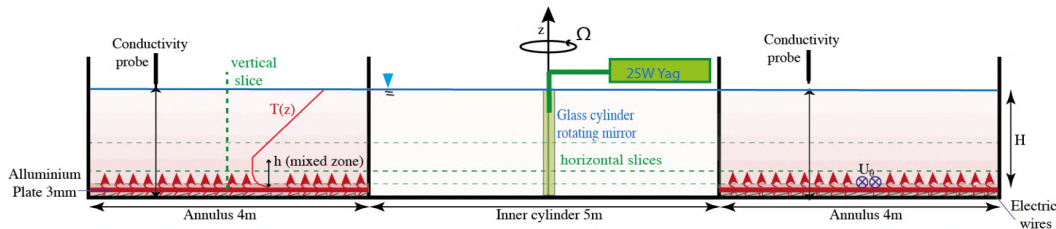


FIGURE 13 – Schéma expérimentale des expériences de convection sur la plateforme Coriolis

Apparatus

La figure 13 montre le schéma expérimental, le plancher chauffant est composé de câbles qui couvrent la surface d'un anneau de rayon interne et externe (2.5m et 6.5m) respectivement. Les câbles sont plongés dans une couche de 3cm d'eau et couverts par des plaques d'aluminium anodisées (noirci) afin de garantir une homogénéité spatiale du flux de chaleur. Le dimensionnement du dispositif cherche

à imposer un flux de l'ordre de 500W.m^{-2} ce qui correspond à un nombre de Rayleigh $Ra = 10^{11}$ et des vitesses verticales $w_* = 2\text{cm.s}^{-1}$. Les méthodes d'acquisition restent les mêmes que pour les expériences précédentes, à savoir des profileurs température et de la PIV. Pour la tranche laser verticale, on reste sur une méthode de PIV stéréoscopique afin d'avoir les trois composantes de vitesses, mais on fera des tranches laser horizontal sur un domaine correspondant à un quart de la surface de la plateforme. Cette tranche horizontale sera émise à partir de différentes hauteurs (multi-niveaux) afin de "scanner" tout le volume. (1/4 de la plateforme sur toute sa hauteur)

Configuration

Ces expériences seront découpées en 4 configurations pour étudier la dépendance de la convection à certains paramètres :

1. Neutre :
Ces expériences serviront de référence. On observera l'organisation de la convection et ses structures (panache, cellules) dans un régime turbulent.
2. Stratifié en Température (éventuellement en sel)
3. En rotation
4. Avec un stress imposé (comme dans les expériences précédentes)
5. *(Enlever le cylindre intérieur pour étudier les échanges horizontaux entre la zone stable et la zone convective)*

Puis les différentes configurations seront couplées afin d'étudier leurs interactions

Une autre période d'expériences de plusieurs mois est également prévue en début de l'année prochaine pour poursuivre les observations.

3.2. Orientation de la thèse

À mesure que ma thèse progresse, je voudrais orienter mes travaux vers l'étude des processus physiques et de leur dynamique. Mon objectif est d'interpréter les résultats expérimentaux en utilisant et en développant des modèles théoriques, en privilégiant autant que possible des approches analytiques.

Sur le plan scientifique, je souhaiterais spécialiser mon travail sur une dominante "dynamique des fluides géophysiques" (GFD) et découpler l'impact de la rotation et de la stratification sur la convection et les structures cohérentes qui en émergent. En interprétant les données expérimentales, j'aimerais également m'intéresser à la dynamique de la turbulence (différents flux et régimes) au sein de ces structures cohérentes et du système convectif.

IV Formation doctorales

4.1. Séminaire/Workshop/Ecole d'été

- Séminaire : Journée de la convection à Avignon, Nov 2023
- Présentation oral sur les Expérience sur Coriolis

- Pas de participation à des École d'été (due au planning des expériences (Avril-Aout))
- École d'été : FDSE Cambridge 2025

4.2. Bilan de participation aux formations

Dans le cadre de la formation doctorale, l'UGA demande à ce qu'un minimum de 120h de formation soit suivies.

FORMATIONS TRANSVERSALES : 23h

- Comment bien diffuser ses données à l'issue de sa thèse ?
- Formation prévention et risques incendie
- 180 min (ou plus) pour éviter le plagiat
- MOOC Intégrité scientifique dans les métiers de la recherche

FORMATIONS DISCIPLINAIRES : 25h

- Introduction to data assimilation

FORMATION À L'INSERTION PROFESSIONNELLE : 8h

- L'insertion professionnelle des doctorants et les carrières possibles post doctorat

Total : 56/120 h effectuées

4.3. Enseignement/Encadrement

- 20 H d'enseignement à l'ENS3 (école d'ingénieur INP) :
Encadrement de TP thermique sur la convection forcé, pertes de charge,
Conduction, transfert thermique
Correction des compte rendu de TP
- Encadrement d'un stagiaire (Master2- Roma 3) qui travail avec nous sur les expériences mené sur Coriolis.

4.4. Remarques générales sur le début de thèse

Je suis satisfait de la manière dont se sont déroulés les 7 premiers mois de ma thèse. J'ai le sentiment de m'être bien approprié le sujet qui m'était proposé. Mes encadrants me laissent une grande liberté pour mener mes recherches, tout en restant disponibles et présents. Ils m'ont permis de prendre des responsabilités importantes, notamment en ce qui concerne une partie de la gestion des expériences sur la plateforme Coriolis. Outre l'aspect purement scientifique, j'ai pu énormément apprendre sur l'aspect "gestion de projet" en observant comment est construit/conduit un projet de recherche de type ANR qui implique un budget conséquent, plusieurs laboratoires et plusieurs chercheurs.

Je noterais que je n'ai pas suffisamment lu de bibliographie et que j'ai encore du mal à mener plusieurs tâches de front et les finaliser (cf projet d'article et expérience sur Coriolis), et je devrais améliorer mon organisation pour ne pas délaissé des projets entamés.

Bibliographie

- Raymond T. Pollard, Peter B. Rhines, and R. Thompson. The deepening of the wind-Mixed layer. *Geophysical Fluid Dynamics*, 1973. doi : 10.1080/03091927208236105.
- M. Raffel, Christian Willert, Steve Wereley, and Juergen Kompenhans. *Particle Image Velocimetry : A Practical Guide*. January 2007. ISBN 978-3-540-72307-3.
- Yusuke Ushijima and Yutaka Yoshikawa. Mixed layer deepening due to wind-induced shear-driven turbulence and scaling of the deepening rate in the stratified ocean. *Ocean Dynamics*, 70(4) :505–512, 2020. ISSN 1616-7341, 1616-7228. doi : 10.1007/s10236-020-01344-w.