

Etienne Dureuil soutiendra sa thèse intitulée « Caractérisation du mélange des eaux en aval de la confluence de deux écoulements à surface libre de densité différente » le lundi 13 octobre à 10h00 en salle Rhône à INRAE Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes au 5, rue de La Doua, 69 100 VILLEURBANNE.

Etienne Dureuil will defend his PhD thesis entitled 'Characterisation of water mixing downstream of the confluence of two open-channel flows with different densities' on Monday 13 October at 10:00 am in the Rhône room at INRAE Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes at 5, rue de La Doua, 69 100 VILLEURBANNE.

Résumé en français :

Cette thèse s'intéresse à l'étude des confluences d'écoulements à surface libre en présence d'une différence de densité entre les deux affluents, due à la température ou à la turbidité. Cette configuration est courante dans les confluences naturelles de rivières, ainsi qu'à l'aval des rejets thermiques des centrales nucléaires. Prédire la distribution spatiale de température ou de concentration dans le cours d'eau à l'aval de la confluence est essentiel pour de nombreuses applications, telles que la préservation des habitats écologiques ou la gestion des usages de l'eau. Cela implique d'identifier et d'évaluer le processus de mélange dominant.

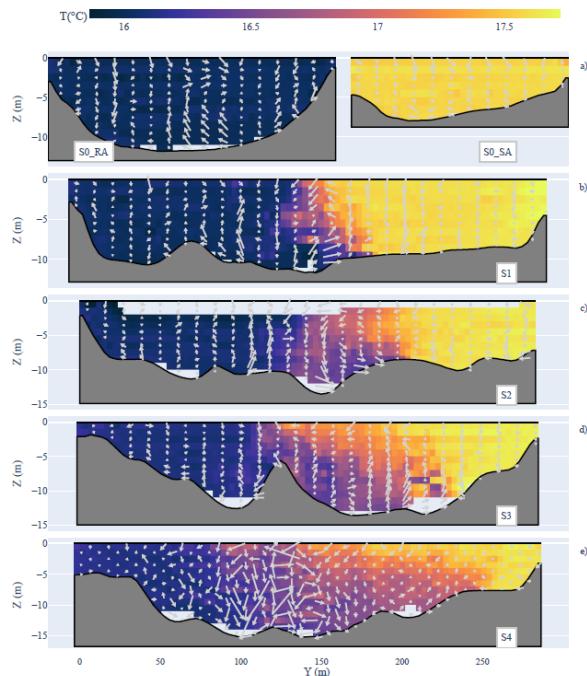
Trois processus peuvent contribuer au mélange transverse :

- la diffusion turbulente causée par le cisaillement entre les deux écoulements,
- la diffusion turbulente induite par la rugosité du fond,
- la dispersion liée au développement d'un courant de gravité transverse.

Selon le processus dominant, l'interface de mélange entre les deux masses d'eau peut rester verticale et s'épaissir progressivement vers l'aval (diffusion turbulente), ou s'incliner jusqu'à devenir horizontale, l'affluent le moins dense passant au-dessus de l'affluent le plus dense (dispersion). Deux nombres adimensionnels, le nombre de Froude densimétrique (FrD) et le paramètre γ (ou Γ , incluant le signe), permettent de prédire le processus de mélange dominant en fonction des conditions d'écoulement (vitesses, profondeurs, densités).

Analyse des données de la littérature

La première partie de la thèse propose une analyse approfondie des données existantes et une classification des configurations de mélange, qu'elles soient dominées par la diffusion turbulente, la



Carte de température et vitesses secondaires en section à en aval de la confluence Rhône-Saône le 12 avril 2023

Map showing temperature and secondary currents in the cross-section downstream of the Rhône-Saône confluence on 12 April 2023

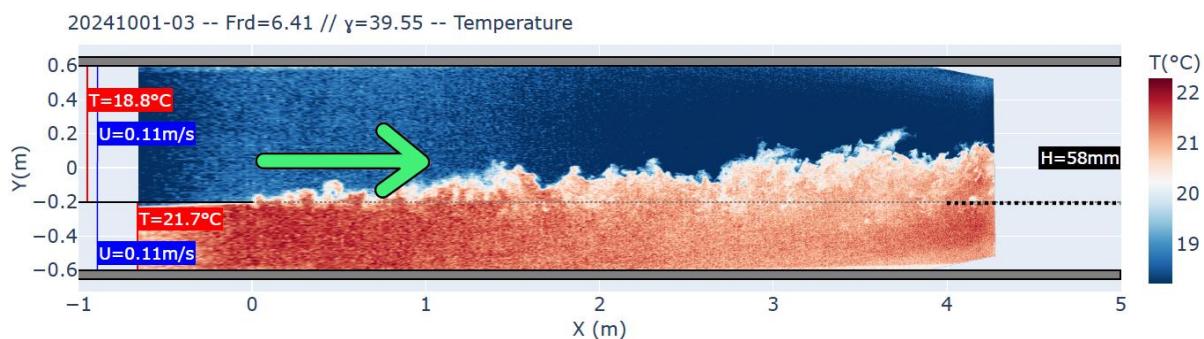
dispersion, ou les deux simultanément. Cependant, les résultats obtenus ne permettent pas d'identifier clairement des valeurs seuils pour les deux nombres adimensionnels étudiés.

Campagnes de terrain

Pour affiner ces conclusions, 17 campagnes de terrain ont été menées sur 4 sites d'étude du Rhône : deux confluences avec un affluent majeur et deux confluences avec un rejet d'eau chaude de centrale nucléaire. Les mesures haute résolution de vitesse, température et conductivité dans des sections transverses ont permis de proposer des critères de classification des situations de mélange. Les valeurs seuils des nombres adimensionnels ont été précisées : 3–5 pour FrD et 0,4–0,6 pour Γ .

Étude expérimentale en canal hydraulique de laboratoire

Afin d'explorer une plus large gamme de conditions hydrauliques, une étude expérimentale a été réalisée dans un canal à géométrie simplifiée, avec une confluence à angle nul. Pour 83 configurations d'écoulement, le champ de température de surface a été observé à l'aide d'une caméra thermique, tandis qu'un modèle semi-empirique a été utilisé pour prédire la position de l'interface entre les deux affluents. Cette approche a permis d'identifier les processus de mélange dominants (diffusion turbulente ou dispersion). Les valeurs seuils obtenues pour les deux nombres adimensionnels sur fond lisse sont significativement plus élevées que celles issues des cas de terrain, suggérant une forte influence de la rugosité du fond sur les processus de mélange.



Température de surface de deux écoulements en confluence à angle nul en canal hydraulique

Surface temperature of two flows converging at zero angle in a flume

Abstract :

This thesis focuses on the study of free-surface flow confluences in the presence of a density difference between the two tributaries, due to temperature or turbidity. This configuration is common in natural river confluences, as well as downstream of thermal discharges from nuclear power plants. Predicting the spatial distribution of temperature or concentration in the watercourse downstream of the confluence is essential for many applications, such as the preservation of ecological habitats or water use management. This requires identifying and evaluating the dominant mixing process.

Three processes can contribute to transverse mixing:

- Turbulent diffusion caused by shear between the two flows,
- Turbulent diffusion induced by bed roughness,
- Dispersion related to the development of a transverse gravity current.

Depending on the dominant process, the mixing interface between the two water masses can remain vertical and gradually thicken downstream (turbulent diffusion), or tilt until it becomes horizontal, with the less dense tributary passing over the denser tributary (dispersion). Two dimensionless numbers, the densimetric Froude number (FrD) and the parameter γ (or Γ , including the sign), allow prediction of the dominant mixing process based on flow conditions (velocities, depths, densities).

Analysis of literature data

The first part of the thesis presents an in-depth analysis of existing data and a classification of mixing configurations, whether dominated by turbulent diffusion, dispersion, or both simultaneously. However, the results obtained do not allow clear threshold values to be identified for the two dimensionless numbers studied.

Field campaigns

To refine these conclusions, 17 field campaigns were conducted at 4 study sites on the Rhône River: two confluences with a major tributary and two confluences with a thermal discharge from a nuclear power plant. High-resolution measurements of velocity, temperature, and conductivity in cross-sections made it possible to propose classification criteria for mixing situations. Threshold values for the dimensionless numbers were specified: 3–5 for FrD and 0.4–0.6 for Γ .

Experimental study in a laboratory channel

To explore a wider range of hydraulic conditions, an experimental study was carried out in a simplified geometry channel with a zero-angle confluence. For 83 flow configurations, the surface temperature field was observed using a thermal camera, while a semi-empirical model was used to predict the position of the interface between the two tributaries. This approach made it possible to identify the dominant mixing processes (turbulent diffusion or dispersion). The threshold values obtained for the two dimensionless numbers on a smooth bed are significantly higher than those derived from field cases, suggesting a strong influence of bed roughness on mixing processes.