

> Mercredi 3 avril

10 h 45 - 11 h 45 Salle Marie Mauron

SESSION PARALLÈLE

> **TRANSFERTS - Processus de transfert des radionucléides dans l'environnement - Session 1**

Président: Hugo LEPAGE

Docteur, spécialiste en transfert en milieu aquatique

Etienne DUREUIL - Caractérisation du mélange des écoulements à densité variable.

Hanane BOUNOUAS - Caractérisation expérimentale et modélisation de la dispersion atmosphérique en vent faible et en milieu bâti.

Léonore FLIPO - Caractérisation de la dynamique de fractionnement solide / liquide de radionucléides en rivière.

SUJET DE LA THÈSE

Caractérisation du mélange des écoulements à densité variable

Doctorant :	Etienne DUREUIL
Date du début de la thèse :	01/11/2022
Laboratoire IRSN :	PSE-ENV / STAAR / LRTA
Référent IRSN de la thèse :	Patrick BOYER
Direction de la thèse :	Emmanuel MIGNOT / École centrale de Lyon (ECL)
École doctorale :	Lyon COMUE - MEGA de Lyon (Mécanique, Énergie, Génie Civil, Acoustique) - ED 162
Financement de la thèse :	IRSN & INRAE

Ce sujet est mené en collaboration entre l'IRSN, l'INRAE et le LFMA. Il traite de la caractérisation des conditions de mélange des écoulements à surface libre et à densité variable en raison d'écart de température ou de turbidité à l'aval des confluences de rivières et des canaux des rejets des CNPE. Dans ces zones, ces écarts peuvent affecter sur plusieurs kilomètres le mélange des polluants, leur fractionnement solide-liquide ainsi que leurs échanges entre la colonne d'eau et les sédiments de fond. La littérature présente bon nombre de descriptions des écoulements à densité variable aux confluences, tant par des expériences en laboratoire, que par des mesures hydrodynamiques (champ de vitesse, turbulence...). Les travaux traitant des processus et de l'efficacité du mélange des eaux sont plus restreints, car ils nécessitent de caractériser le poids sur le mélange de la diffusion turbulente, de la dispersion et des effets de densité qui peuvent limiter les échanges par stratification.

Dans un cadre opérationnel, il est donc important de comprendre ces mécanismes pour quantifier l'impact des polluants sur l'écologie et les usages de l'eau des rivières. Les objectifs scientifiques sont :

- 1 - Caractériser les conditions hydrodynamiques et de mélange en fonction des effets de densité, de hauteur d'eau et de vitesse.
- 2 - Définir un paramètre numérique fiable pour établir à une échelle macroscopique le poids relatif des processus de mélange aux confluences.
- 3 - Prédire, à partir de ce paramètre, des seuils d'utilisation du coefficient de mélange latéral avec une formule de type Fisher, ou un calcul à partir du champ de vitesses 3D en y intégrant les effets de densité.

Le projet comporte :

- des expériences sur un canal hydraulique en contrôlant par la température la différence de densité entre deux affluents. Les gradients de température en surface sont visualisés par caméra thermique et le mélange est caractérisé en fonction de l'écart de conductivité obtenu entre les deux affluents par un faible ajout de sel d'effet négligeable sur la densité et du champ 3D de conductivité mesuré à l'aval.
- des campagnes de terrain à l'aide d'une guirlande de sondes CTD et d'un ADCP embarqués sur un bateau positionné par DGPS permettent de mesurer in-situ les champs 3D de vitesse, de température et de conductivité. 9 cas de terrain ont déjà été étudiés aux confluences Rhône-Saône, Rhône-Arve et à l'aval des rejets thermiques des CNPE du Bugey et de Saint Alban.

Mots clés : confluences, mélange, diffusion, dispersion.

SUJET DE LA THÈSE

Caractérisation expérimentale et modélisation de la dispersion atmosphérique en vent faible et en milieu bâti

Doctorante :	Hanane BOUNOUAS
Date du début de la thèse :	29/11/2021
Laboratoire IRSN :	PSE-ENV/STAAR/LERTA
Référent IRSN de la thèse :	Pierre ROUPSARD
Direction de la thèse :	Yelva ROUSTAN/École des Ponts
École doctorale :	COMUE Paris Est - Sciences, Ingénierie et Environnement (SIE) - ED 531
Financement de la thèse :	IRSN & EDF

Les études d'impact des émissions atmosphériques de radionucléides prennent en compte l'ensemble des conditions météorologiques représentatives des sites. Pour les épisodes de vent faible, les processus physiques qui pilotent la dispersion sont modifiés, le transport et la diffusion deviennent faibles et le méandrement peut devenir dominant, ce qui favorise la stagnation des radionucléides émis dans l'atmosphère. Ces conditions de dispersion, difficiles à modéliser ou prises en compte approximativement, peuvent être rencontrées dans le cas d'un rejet accidentel ou chronique de radionucléides par une installation nucléaire, vers un milieu urbain. Ainsi, les résultats de la thèse serviront à l'amélioration de la caractérisation des transferts des radionucléides dans l'environnement et vers l'Homme.

Dans la première partie, une analyse statistique a été menée en utilisant une base de données météorologique enregistrée sur une période de 3 ans au SIRTA (Site Instrumental de Recherche par Télédétection Atmosphérique, Palaiseau). Cette étude statistique a permis de qualifier le méandrement pour le paramétrer à des fins de modélisation en établissant des relations empiriques entre les paramètres de méandrement et d'autres caractéristiques de la dynamique de l'écoulement. Les périodes du méandrement identifiées présentent un maximum d'occurrence autour de 30 minutes. De plus, le rapport des écarts types de la vitesse horizontale et de la vitesse verticale diminue avec l'augmentation de l'énergie cinétique turbulente. Ce résultat s'explique par les oscillations de la direction du vent dans le plan horizontal dues à l'influence du méandrement. Parallèlement, quatre campagnes de mesures de dispersion atmosphérique (22 essais au total) ont été réalisées au SIRTA sur cette période de 3 ans en dispersant un gaz traceur (l'Hélium).

La deuxième partie porte sur la modélisation CFD des campagnes expérimentales avec code_saturne pour étudier l'impact du méandrement sur la dispersion d'un panache. Trois approches de type RANS (*Reynolds Averaged Navier Stokes*) ou URANS (*Unsteady Reynolds Averaged Navier Stokes*) sont étudiées :

- Une simulation en régime stationnaire intégrant des conditions aux limites constantes, en tenant compte du travail de paramétrage sur le méandrement effectué dans l'étude statistique ;
- Une simulation quasi-stationnaire impliquant une combinaison de cas stationnaires, réalisée avec différentes conditions d'entrée représentatives de la variation temporelle des conditions météorologiques pendant le rejet ;
- Une simulation en régime instationnaire avec des conditions aux limites variables.

Dans le but de valider les différentes approches, des comparaisons entre les résultats de modélisation obtenus et les mesures seront réalisées, tant pour les variables dynamiques que pour la concentration du traceur.

Mots clés : dispersion, vent faible, milieu bâti.

SUJET DE LA THÈSE

Caractérisation de la dynamique de fractionnement solide / liquide de radionucléides en rivière

Doctorante :	Léonore FLIPO
Date du début de la thèse :	01 / 10 / 2021
Laboratoire IRSN :	PSE-ENV / STAAR / LRTA
Référent IRSN de la thèse :	Olivier RADAKOVITCH
Direction de la thèse :	Olivier RADAKOVITCH / IRSN
École doctorale :	Aix Marseille Université - Sciences de l'environnement - ED 251
Financement de la thèse :	IRSN & EDF

Le transfert et le devenir des radionucléides rejetés dans les fleuves par les installations nucléaires sont conditionnés par leur répartition entre les phases dissoute et particulaire. Ce fractionnement solide/liquide est couramment défini par un coefficient empirique appelé K_d et son utilisation dans les modèles numériques suppose une répartition solide/liquide à l'équilibre, instantanée et réversible. Cependant, ces hypothèses sont la plupart du temps non vérifiées, et si l'adsorption des radionucléides sur les particules est plus lente, la fraction dissoute peut être sous-estimée par le modèle. Ainsi, l'objectif de la thèse est d'évaluer si des modèles de transfert intégrant une ou plusieurs cinétiques pour décrire ce fractionnement permettent des estimations plus fines et plus réalistes qu'une approche à l'équilibre.

Pour ce faire, des cinétiques d'adsorption et de désorption de radionucléides sur des matières en suspension naturelles de rivières ont été suivies en laboratoire pour cinq échantillons différents prélevés le long du bassin versant le plus nucléarisé de France (Rhône). Les radionucléides d'intérêt sont le ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{54}Mn et $^{110\text{m}}\text{Ag}$ car ils sont présents dans différents types de rejets dissous en rivière.

Le transfert de ces radionucléides entre phases solide et liquide a été suivi pendant 2 mois et il a été observé une cinétique d'adsorption qui se stabilise seulement après plusieurs jours ou semaines selon l'élément. Des dilutions de la suspension contaminée dans de l'eau propre ont été réalisées après 1, 3, 10, 21 ou 31 jours d'adsorption préalable pour simuler un changement de conditions environnementales telle une arrivée d'eau non contaminée depuis un affluent. Après la dilution, l'adsorption est de nouveau dominante pour les quatre radionucléides, indiquant que l'équilibre n'était pas atteint, et ce même après 31 jours. Ces données ont été ensuite utilisées pour ajuster les paramètres d'un modèle K_d et de modèles impliquant une ou plusieurs cinétiques de fractionnement. Contrairement au K_d qui est une constante, les modèles cinétiques ont été capables de prédire une modification du ratio d'activités solide/liquide avec le temps et lors d'un changement de conditions environnementales. Les différentes approches de modélisation ont été intégrées dans des modèles de transfert globaux développés par l'IRSN et EDF. Les paramètres ajustés grâce aux données expérimentales ont permis de débiter la réalisation de scénarios tests à l'échelle de la rivière en utilisant ces différentes approches. Ils permettront de comparer les résultats obtenus selon différents régimes hydrologiques ou conditions de rejets (normales ou accidentelles).

Mots clés : radionucléides, cinétique, fractionnement, rivière, modélisation.