

Titre en français : Apprentissage par renforcement pour la navigation olfactive dans un écoulement turbulent

Titre en anglais / Title: Reinforcement learning for olfactory navigation in a turbulent flow

Directeurs de thèse / PhD supervisors: Aurore Loisy, Christophe Eloy

E-Mail: aurore.loisy@univ-amu.fr, christophe.eloy@centrale-med.fr

Laboratoire / Laboratory: Institut de Recherche sur les Phénomènes Hors Equilibre (IRPHE), 49 rue Frédéric Joliot-Curie, 13384 Marseille

Financement / Funding: demandé / requested

Type de financement / Type of funding: contrat doctoral de trois ans / three-year doctoral contract

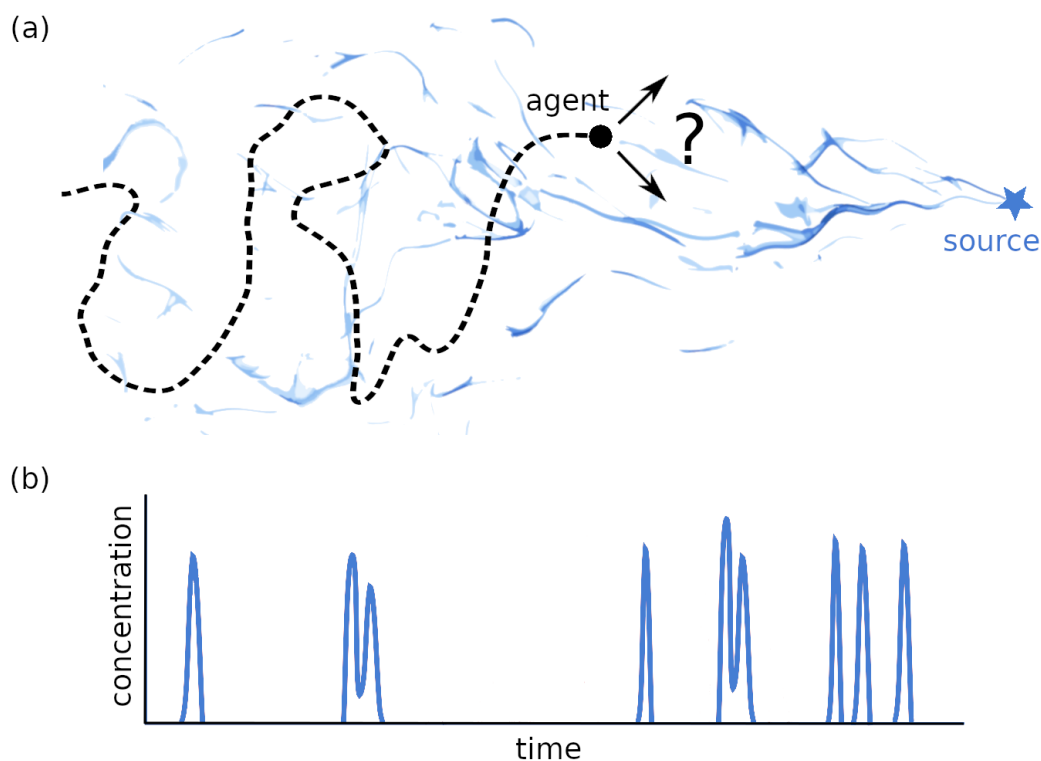


Figure 1 : Comment localiser une source d'odeur dans un écoulement turbulent (a) en se basant sur un signal chimique constitué de rares détections d'odeur (b) ? / How to locate a source of odor in a turbulent flow (a) using a chemical signal made of sparse odor detection events (b)?

Résumé en français :

La recherche d'une source d'odeur dans un environnement turbulent est une tâche effectuée par de nombreux animaux qui utilisent leur sens de l'odorat pour trouver de la nourriture ou des parte-

naires [1]. Identifier les principes de la navigation olfactive permettrait non seulement de mieux comprendre le comportement animal, mais faciliterait également le développement de robots renifleurs pour la détection de mines terrestres ou pour le contrôle écologique des nuisibles.

La navigation guidée par les odeurs est un problème particulièrement ardu car en présence d'un écoulement turbulent, le paysage chimique consiste en des filaments concentrés et dispersés dans le milieu [2] (Fig. 1a). L'organisme ou le robot-chercheur doit donc prendre des décisions sur la base d'un signal chimique très intermittent composé de quelques détections d'odeurs séparées par de longues périodes sans odeur détectable (Fig. 1b). Les solutions existantes à ce problème reposent sur des hypothèses irréalistes [3,4] et ont été obtenues dans des environnements très idéalisés [5,6].

L'objectif de cette thèse est d'identifier les principes clés de la navigation olfactive en écoulement turbulent. Nous utiliserons l'apprentissage par renforcement (*reinforcement learning*) pour entraîner des agents virtuels dans un environnement numérique qui simulera le problème de navigation olfactive. Cette configuration nous permettra d'aborder des questions ouvertes telles que l'importance des signaux hydrodynamiques, l'intérêt des capteurs distribués et le rôle de la mémoire. Différents environnements turbulents associés à différents régimes de dispersion des odeurs seront examinés, dans le but ultime de relier les caractéristiques comportementales des agents entraînés aux caractéristiques physiques de la dispersion par les écoulements.

Abstract in English:

Locating a source of odor in a turbulent environment is a task performed by numerous animals which use their sense of smell to find food or mates [1]. Elucidating the theoretical principles of olfactory navigation is not only of direct interest for understanding animal behavior. It is also crucial for the development of applications ranging from sniffer robots for landmine detection to ecological pest control for agriculture.

Odor-guided navigation is challenging problem because turbulent flows distort and disrupt concentration patches, resulting in disconnected filaments of high concentration on an empty background [2] (Fig. 1a). The searcher must therefore make decisions based on a highly intermittent odor signal made of a few odor detections separated by long periods of voids (Fig. 1b). Existing solutions to this problem rely on unrealistic assumptions [3,4] and have been obtained in highly idealized environments [5,6].

The objective of this PhD thesis is to identify the key principles of odor-based navigation in turbulent flows. We will use reinforcement learning to train virtual agents in a numerical environment that will simulate the problem of olfactory navigation. This setup will allow us to address open questions such as the importance of hydrodynamical cues, the advantage provided by distributed sensors and the role of memory. Different turbulent flow environments associated with different odor dispersion regimes will be considered, with the ultimate goal of relating the behavioral features of the trained agents to the physical features of flow-induced dispersion.

Profil du candidat ou de la candidate : Formation niveau Master en mathématiques appliquées, physique ou mécanique des fluides, ainsi qu'un goût pour les approches numériques.

Profile of the candidate: Master's degree (or equivalent) in applied mathematics, physics or fluid mechanics, as well as a taste for numerical approaches.

Bibliographie / Bibliography :

- [1] Reddy, Murthy and Vergassola, "Olfactory Sensing and Navigation in Turbulent Environments", Annual Review of Condensed Matter Physics 13, 191-213 (2022), [link](#)
- [2] Celani, Villermaux and Vergassola, "Odor Landscapes in Turbulent Environments", Physical Review X 4, 041015 (2014), [link](#)
- [3] Vergassola, Villermaux and Shraiman, "Infotaxis as a strategy for searching without gradients", Nature 445, 7126 (2007), [link](#)
- [4] Loisy and Eloy, "Searching for a source without gradients: how good is infotaxis and how to beat it", Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 478, 2262 (2022), [link](#)
- [5] Singh et al., "Emergent behaviour and neural dynamics in artificial agents tracking odour plumes", Nature Machine Intelligence 5, 1 (2023), [link](#)
- [6] Verano, Panizon and Celani, "Olfactory search with finite-state controllers", Proceedings of the National Academy of Sciences 120, e2304230120 (2023), [link](#)

Insertion professionnelle après thèse / Professional integration after thesis: recherche publique ou privée / research in public and private sectors