



**D R P I**  
Direction Recherche  
Partenariats Innovation

## PROPOSITION DE SUJET POUR UN CONTRAT DOCTORAL

### Laboratoire

CEBC

### École doctorale EUCLIDE

### Sujet de thèse

#### *Intitulé scientifique*

**Transitions-retour vers la vie aquatique : cinématique ondulatoire de locomotion chez les ophidiens**

### Direction de la thèse *Identité du-de la-des directeur-trice-s (grade, HDR) et des éventuels co-encadrant-e-s*

**Xavier Bonnet, DR1, HDR**

**Co-encadrement : Anthony Herrel, DR1, HDR**

### Descriptif du sujet

*Éléments d'explication du sujet (enjeux scientifiques, applicatifs, sociétaux...)*

#### Enjeux fondamentaux

Les transitions-retour vers la vie aquatique ont façonné de nombreux organismes et fortement impacté les écosystèmes aquatiques fossiles et actuels. Toutefois, les processus évolutifs impliqués sont difficiles à étudier car des étapes-clés manquent dans les lignées actuelles. Les serpents, objet de ce projet, font exception. Tous les intermédiaires existent et un seul mode de déplacement par ondulations est efficace sur terre et dans l'eau. Notre hypothèse centrale est que l'adaptation à la vie aquatique a modifié la cinétique des ondulations pour optimiser la nage en minimisant les forces de résistance tout en maximisant celles de propulsion. L'efficacité énergétique de la nage devrait donc être plus grande chez les espèces aquatiques. Il est alors intéressant de mesurer le coefficient de traînée d'un animal qui nage pour la quantifier. Mécanique des fluides et modélisation numérique sont nécessaires pour traiter ce problème. Pour paramétrer les modèles numériques et pour les tester il est tout d'abord nécessaire d'enregistrer les cinématiques de la nage sur une grande diversité d'espèces de serpents. Il devrait alors être possible de mieux comprendre comment l'adaptation à la vie aquatique a influencé la nage ondulatoire, notamment en optimisant la fréquence et/ou l'amplitude des oscillations ou la forme du corps pendant la nage. Des facteurs importants comme la taille, le mode de chasse, le statut reproducteur ou le sexe seront pris en compte.

Aussi surprenant que cela puisse paraître, les connaissances sur la nage de type anguilliforme (ondulation latérale de l'ensemble du corps) est encore fragmentaire. Par exemple, il n'existe aucune étude comparative sur les variations cinématiques des ondulations chez une espèce qui rampe versus nage, ni sur les différences et similitudes entre les espèces terrestres, semi-aquatiques ou marines (tous les serpents sont capables de nager, y compris les espèces terrestres).

Sur le plan pratique, le projet consiste à enregistrer des séquences de nage et de reptation d'une gamme étendue d'espèces (entre 50 et 100). Les individus seront placés dans des bancs de nage de 3 à 6 mètres de long, les mouvements ondulatoires seront filmés et analysés à l'aide de systèmes semi-automatiques de traitement. Une partie des individus seront équipés d'accéléromètres 2D miniaturisés (e.g. placés sur le dos de façon provisoire). Les images et les profils d'accélérométrie permettront de décrire et de comparer les cinématiques de nage afin de les confronter aux performances athlétiques enregistrées (e.g. vitesse relative et absolue). Il sera alors possible de tester des hypothèses centrales. Par exemple, nous pensons que chez les espèces terrestres, les mouvements ondulatoires sont relativement plus amples et plus rapides que chez les espèces aquatiques, traduisant des accélérations du centre de masse plus élevés. C'est-à-dire que chez les espèces terrestres, les performances sont obtenues au prix de dépenses relativement plus élevées que chez les espèces aquatiques. Les informations obtenues apporteront des éléments essentiels pour une modélisation globale qui prendra en compte la forme du corps (e.g. aplatissement latéral), les structures de surface de la peau qui influence les réactions tribologiques, l'architecture de la musculature et du squelette. Ce projet de thèse s'inscrit dans un projet ANR (Dragon2, 600K€, 2021-2024) qui prend en compte l'ensemble de ces paramètres. Le projet Dragon2, parfaitement autonome, offre des opportunités pour apporter à des projets doctoraux un environnement technique et conceptuel très favorable. En particulier un réseau de collaborateurs qui inclus des mécaniciens des fluides (chercheur, doctorant, post-doctorant), des modélisateurs (chercheurs, doctorant), des roboticiens (chercheurs, doctorant), des écologues (directeur porteur de Dragon2 et co-directeur de thèse). Des stages en master 2 sont prévus dès 2022. Différents plateaux techniques sont disponibles.

#### Enjeux appliqués

La polyvalence unique des déplacements par ondulation latérale explique l'intérêt de nombreux laboratoires qui travaillent sur la conception de robot serpents versatiles, capables de progresser à terre, dans la boue, dans les galeries, les buissons et sous l'eau. Les développements sont actuellement freinés par le manque de connaissance fondamentale. Ce projet apportera les premières bases de données comparatives, qui fournira les paramètres pour optimiser la conception des prototypes de robots et permettra de valider les modélisations numériques. Ce projet qui vise l'efficacité hydrodynamique de la nage ondulatoire offre une opportunité pour que des laboratoires français participent à la compétition internationale de production de robots-serpents.

#### **Travail demandé au doctorant**

*Préciser les tâches qui seront confiées au doctorant (programme de travail)*

Acquisition de cinématiques de nage d'une grande gamme d'espèces, en incluant des individus de statut diversifié (sexe, statut reproducteur, âge...). L'essentiel des mesures pourra être fait au CEBC et à FUNEVOL.

Participation aux améliorations des dispositifs expérimentaux et aux méthodes d'acquisition des données.

Traitement des vidéos et des données générées par les accéléromètres 3D.

Participation à l'encadrement de stage de master-2 impliqués dans le projet.

Travail en collaboration étroite avec les collègues en mécanique des fluides, modélisation numérique, microscopie et robotique.

Participation à une mission de terrain pour étudier (filmer) des espèces marines ou terrestres non accessibles en métropole (il existe environ 3700 espèces de serpents, beaucoup sont élevées en captivité, mais pas toutes).

Prise en charge de l'analyse des données et de la valorisation par des publications. Dragon2 et le CEBC assurent l'environnement matériel de ce projet (e.g. mission sur le terrain, stockage des données, matériel d'analyse du mouvement).

**Profil recherché :**

**Modalités de candidature :**