

# PhD position: Procedural underwater 3D scenes generation for submarine robotic exploration

**Supervisors:** Christophe Fiorio ([christophe.fiorio@lirmm.fr](mailto:christophe.fiorio@lirmm.fr)) and Noura Faraj ([noura.faraj@lirmm.fr](mailto:noura.faraj@lirmm.fr)), computer graphics, ICAR, LIRMM  
Karen GODARY-DEJEAN ([karen.godary-dejean@umontpellier.fr](mailto:karen.godary-dejean@umontpellier.fr)), robotics, EXPLORE, LIRMM.

**Location:** LIRMM, 860 rue de Saint Priest, 34095 Montpellier.

**Duration:** 3 years.

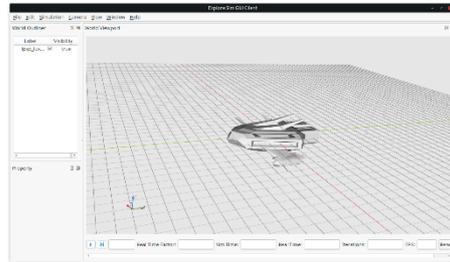
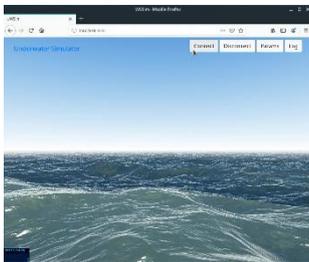
**Requirements:** Good programming skills (C++), notions of computer graphics (OpenGL, GLSL).

## Context

This PhD is part of a collaboration between the EXPLORE (Robotics) and ICAR (IT) teams of LIRMM, the CIRAD and marine biologists from CUFR de Mayotte and UMR MARBEC. In this context, the underwater robot is a tool at the service of biologists, carrying sensors for the recovery of data on marine biodiversity. Robots allow to obtain **data at large scales**, over long periods of time and in previously inaccessible locations. In particular, the robot can acquire data (tens of millions of points captured in a few minutes) allowing the 3D reconstruction of a reef, for example by photogrammetry. We therefore wish to use a 3D simulator to verify the robot behavior performing autonomous missions in complex, dynamic and partially unknown environments [1]. The underwater environment is particularly complex to simulate realistically because it requires to manage and process a **large amount of data in real time**: a large virtual world (seabed to explore), complex static objects (coral potatoes, wrecks ...) and animated (fish, algae, driftnets ...) all visualized interactively in an aquatic environment (simulation of complex fluid for rendering and animation).

## Topic

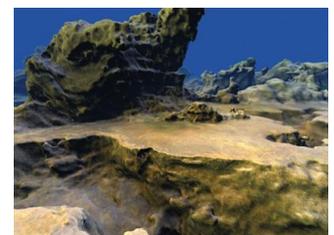
A simulator prototype was developed [2], the goal of this work is to extend it by integrating real and realistic high-resolution models of the underwater environment. For this, we propose to use data provided by biologists for instance 3D models of coral reefs in Mayotte: around **twenty 3D reconstructions of a few hundred million**



**points** are already available and 5 to 10 models will be acquired during new explorations scheduled for April. As a first step, we will propose methods allowing to make these models usable for simulations while preserving the strict constraint of interactivity. To do so, we will set up a level of detail (LOD) system adapted to seabed

data (resolution for the essential characteristics of the model defined thanks to the expertise of biologists / roboticists). This will allow physics calculations (collisions, response to simulated sensors, etc.) to be performed on low-resolution data and display a high-resolution visual model.

Working only on acquired models does not use the full potential of a simulator. Indeed, we want to be able to anticipate complex scenarios (topology of the region to be explored) and validate the robot's behavior to ensure its safe navigation. The goal of this thesis is to enrich the existing simulator by allowing the procedural generation of content (static and dynamic) and to make the environment configurable to allow the intuitive generation of fault scenarios, to simulate them and to test the responses of the robot to ensure its safe navigation. The work will revolve around **the procedural creation of underwater 3D environments** and the **parameterization of the environment to generate faults**:



- **Standard marine environment:** the generation of the region to be explored will be done in a procedural way [3] according to a set of rules given by biologists. First, the bottom surface (coral reefs, karsts, reliefs, etc.) needs to be created. For this, we will adapt the methods dedicated to the generation of terrains [3], based on the use of noise to define the geometry, to the specific problem of the seabed. This will automatically create complex, large and rich realistic environments.

- **Dynamic obstacles:** in a second step, the scenes will be enriched by adding dynamic objects whose geometry and animation will also be generated procedurally. We will use the expertise of biologists to define rules for creating a fauna with realistic behavior and movements.
- **Environment parametrization:** to really validate a robot intended to carry out campaigns at sea and in autonomy, it is necessary to realistically integrate the real constraints of this environment, including from the point of view of fault tolerance during 'a mission. Consideration of such scenarios requires having a simulator to:
  1. Change the properties of the environment: adjustment of turbidity, brightness, currents ...
  2. Show static obstacles (coral, drop off, wrecks, etc.), as well as dynamic obstacles: driftnets, marine animals, algae, etc.
  3. Configure mission scenarios and fault scenarios: setting up the environment from a spatial and temporal point of view (currents added at such and such a place and / or at such a time of the simulation).

The techniques will be implemented in the aforementioned simulation software that will serve as a methodological tool to validate in simulation the behavior of underwater robots performing autonomous missions in complex environments.

**Summary:** The goal of this thesis is to make usable the large volumes of data acquired from the seabed, to propose procedural generation methods allowing the intuitive parameterization of 3D environments for the generation of simulation scenarios.

# Sujet de thèse : Génération procédurale d'environnements sous-marins 3D animés pour la robotique

**Encadrantes** : Christophe Fiorio ([christophe.fiorio@lirmm.fr](mailto:christophe.fiorio@lirmm.fr)) et Noura Faraj ([noura.faraj@lirmm.fr](mailto:noura.faraj@lirmm.fr)), informatique, ICAR, LIRMM

Karen GODARY-DEJEAN ([karen.godary-dejean@umontpellier.fr](mailto:karen.godary-dejean@umontpellier.fr)), robotique, EXPLORE, LIRMM.

**Lieu** : LIRMM, 860 rue de Saint Priest, 34095 Montpellier.

**Durée** : 3 ans.

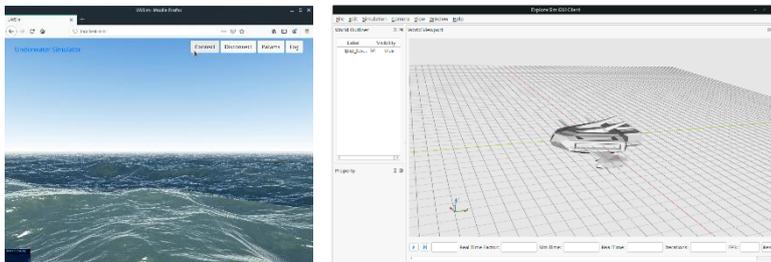
**Prérequis** : Bonnes compétences en C++, notions de programmation graphique (OpenGL, GLSL).

## Contexte

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre les équipes EXPLORE (Robotique) et ICAR (Informatique) du LIRMM, le CIRAD et des biologistes marins du CUFR de Mayotte et de l'UMR MARBEC. Dans notre contexte, le robot sous-marin est un outil au service des biologistes, porteur de capteurs pour la récupération de données sur la biodiversité marine. Les robots permettent d'obtenir des **données à grandes échelles**, pendant de longues périodes et dans des lieux jusqu'alors inaccessibles. En particulier, le robot peut acquérir des données permettant la reconstruction 3D d'un récif (dizaines de millions de points capturés en quelques minutes), par exemple par photogrammétrie. Nous souhaitons donc utiliser un simulateur 3D pour vérifier a priori le comportement du robot effectuant des missions autonomes en environnements complexes, dynamiques et partiellement inconnus [1]. L'environnement sous-marin est particulièrement complexe à simuler de façon réaliste car il faut gérer et traiter en temps réel une **grande quantité de données** : un monde virtuel de grande taille (fonds à explorer), des objets complexes statiques (patates de corail, épaves...) et animés (poissons, algues, filets dérivants...) le tout visualisé interactivement dans un milieu aquatique (simulation de fluide complexe pour le rendu et l'animation).

## Problématique

Une base logicielle de simulateur a été développée [2], la suite de ces travaux est de l'enrichir pour permettre l'intégration de modèles réels et réalistes haute résolution des fonds marins. Pour cela, nous proposons d'utiliser des données fournis par les biologistes de modèles 3D des récifs coralliens de Mayotte : une **vingtaine de reconstructions 3D de quelques centaines de millions de points et 5 à 10 modèles** seront acquis lors de



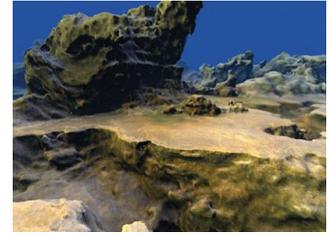
nouvelles explorations prévues en avril. Dans un premier temps, il faudra proposer des méthodes permettant de rendre ces modèles utilisables pour les simulations tout en préservant la **contrainte strict** d'interactivité. Pour cela, nous mettrons en place un système de niveaux de détails (LOD) adapté aux données de fonds marins

(résolution pour les caractéristiques essentielles du modèle définies grâce à l'expertise des biologistes/roboticiens). Cela permettra d'effectuer les calculs de la physique (collisions, réponse aux capteurs simulés...) sur des données basse résolution et d'afficher un modèle visuel haute-résolution.

Le fait de travailler uniquement sur des modèles acquis ne permet pas de tirer profit au maximum de l'utilisation d'un simulateur. En effet, nous souhaitons pouvoir anticiper des scénarios complexes (topologie de la région à explorer) et valider le comportement du robot pour assurer sa navigation sûre. Le but de cette thèse est d'enrichir le simulateur existant en permettant la génération procédurale de contenu (statique et dynamique) et de rendre l'environnement paramétrable afin de permettre la génération intuitive de scénarios de fautes, de les simuler et de tester les réponses du robot pour assurer sa navigation sûre. Les travaux s'articuleront autour de la **création procédurale d'environnements 3D sous-marins** et la **paramétrisation de l'environnement pour générer des fautes** :

- **Mise en place d'environnement marin standard** : la génération de la région à explorer se fera de façon procédurale [3] suivant un ensemble de règles données par les biologistes. Il faudra dans un premier temps créer la surface du fond (récifs coralliens, karst, reliefs etc...). Nous adapterons, pour cela, les méthodes

dédiées à la génération de terrains [3], basés sur l'utilisation de bruit pour définir la géométrie, au problème spécifique des fonds marins. Cela permettra de créer automatiquement des environnements réalistes complexes, grands et riches.



- **Ajout d'obstacles dynamiques** : dans un deuxième temps les scènes seront enrichies en ajoutant des objets dynamiques dont la géométrie et l'animation seront générées également procéduralement. Nous mettrons à profit l'expertise des biologistes afin de définir des règles permettant de créer une faune aux comportements et mouvements réalistes.
- **Paramétrisation de l'environnement** : pour réellement valider un robot destiné à exécuter des campagnes en mer et en autonomie, il est nécessaire d'intégrer de façon réaliste les contraintes réelles de cet environnement, y compris du point de vue tolérance aux fautes lors d'une mission. La considération de tels scénarios nécessite d'avoir un simulateur permettant de :
  1. Changer les propriétés de l'environnement : réglage de la turbidité, de la luminosité, des courants...
  2. Faire apparaître des obstacles statiques (corail, tombant, épaves...), ainsi que des obstacles dynamiques : filets dérivants, animaux marins, algues, etc
  3. Configurer des scénarios de mission et de scénario de fautes : paramétrage de l'environnement d'un point de vue spatial et temporel (courants ajoutés à tel endroit et/ou à tel moment de la simulation).

Les techniques seront **implémentées dans le logiciel de simulation** mentionné qui servira d'outil méthodologique pour valider en simulation le comportement de robots sous-marin effectuant des missions autonomes en environnement complexe.

**Résumé** : Le but de cette thèse est de rendre utilisables les grands volumes de données acquises de fonds marins, de proposer des méthodes de génération procédurale permettant la paramétrisation intuitive d'environnements 3D pour la génération de scénarios de simulation.

- [1] **Virtual Worlds for Testing Robot Navigation: a Study on the Difficulty Level**. Thierry Sotiropoulos, Jérémie Guiochet, Félix Ingrand, Hélène Waeselynck. *In Proceedings of the European Dependable Computing Conference (EDCC 2016)*.
- [2] **Simulateur temps réel 3D de fonds marins pour la robotique**, Yang Chen, *rapport de stage 2019*.
- [3] **Data-driven authoring of large-scale ecosystems**. Kapp, Konrad, et al. *ACM Transactions on Graphics (TOG 2020)*.