

SUJET DE THESE DE DOCTORAT

Sujet proposé : Etude de l'influence de la houle et du courant sur les hydroliennes par modélisation LBM-LES.

Date limite de candidature : 30 mai 2026

Acronyme du projet : Wave2TT

Laboratoire(s) d'accueil : LUSAC, UR 4253, Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg, Université de Caen, 60 rue Max Pol Fouchet, CS 20082, 50130 OCTEVILLE

Directeurs de thèse : Sylvain Guillou, Professeur des Universités
Tél : 0608581826 - e-mail : sylvain.guillou@unicaen.fr

Co-encadrant : Mikael Grondeau, Maître de Conférences
E-mail : mikael.grondeau@unicaen.fr

Université d'inscription : Université de Caen Normandie

Ecole Doctorale : PSIME, ED 591

Salaire : 1850 € net (environ)

Frais de scolarité : 502 €

Site : <https://lusac.unicaen.fr/emploi/>

Thématique du projet : Mécanique des fluides, Energétique

Financement : Région Normandie, sous réserve d'obtention du financement

Contexte et sujet :

Afin d'atteindre la neutralité carbone, plusieurs nouvelles énergies renouvelables ont émergées ces dernières années. Parmi elles, l'énergie hydrolienne marine est une technologie prometteuse. Elle est basée sur l'extraction de l'énergie cinétique contenue dans les courants de marée. Actuellement, la filière énergétique hydrolienne marine en est à la phase de construction des premières fermes pilotes de moins de 10 machines. Les technologies les plus avancées sont des machines tournantes à axe vertical ou horizontal. Cette énergie renouvelable est prédictible, à la différence d'autres sources d'énergie renouvelable comme le solaire, l'éolien ou le houlomoteur. Le caractère prédictible de la ressource est important car il permet aux futurs exploitants de parc hydrolien d'estimer la quantité d'énergie produite, et donc la rentabilité d'une telle installation. Il existe plusieurs facteurs pouvant dégrader cette prédictibilité. Au-delà des problèmes mécaniques liés au fonctionnement (étanchéité, panne, rupture...), l'une des principales sources de divergence avec le prédictible est l'influence des fluctuations de l'écoulement sur l'hydrolienne. Ces fluctuations ont plusieurs origines. La première, étudiée depuis plusieurs années par notre équipe, est la turbulence ambiante. La seconde vient des perturbations de l'écoulement créées par les vagues et la houle. L'influence des vagues et de la

houle sur les hydroliennes est un sujet de recherche récent. Il a été montré par plusieurs études, expérimentales et numériques, que la houle a une influence sur les efforts que subissent les hydroliennes. Leurs sillages sont également impactés. Du fait du caractère aléatoire des vagues, il est difficile avec des campagnes en mer de mesurer cet impact à l'échelle réelle, encore moins à l'échelle d'un parc. Le but de cette thèse est de développer un outil permettant une prédiction numérique du phénomène. Cet outil permettra d'étudier les effets de vagues extrêmes sur un parc de machines placé dans des conditions réalistes de site incluant la turbulence et la morphologie des fonds marins. L'impact sur le productible, les efforts et le placement relatif des machines sera alors quantifiable, ce qui aidera aux futures installations de fermes.

La turbulence ambiante des sites à fort potentiel hydrolien a été étudiée au cours des travaux de thèse de Philippe Mercier [1]. Ces travaux ont été réalisés avec une approche instationnaire haute résolution LBM-LES utilisant la librairie open-source PaLaBoS [2]. La thèse a été réalisée dans le cadre du projet ANR-FEM THYMOTE piloté par le LUSAC. Les travaux de thèse ont ensuite été poursuivis en post-doc dans le projet TIGER. Ces études ont permis de valider l'approche LBM-LES pour la caractérisation fine d'un site hydrolien [3]. Elles ont également montré des liens forts entre des phénomènes extrêmes de turbulence (des courants instantanés très puissants) et la morphologie complexe des sites hydroliens (fosses, failles...) [4]. Il a été montré que notre outil à haute résolution LBM-LES était ici adapté pour prédire des phénomènes ayant un caractère très localisé et pouvant influencer le fonctionnement des turbines.

Parallèlement à ces travaux, une modélisation LBM-LES des hydroliennes à axe horizontal de type TGL a été développée au cours de la thèse CIFRE/SIREHNA de Mikaël Grondeau [5]. Les pales étaient représentées dans la simulation à l'aide de la méthode des frontières immergées dans un calcul dit à pales résolues [6]. Puis, au cours d'un post-doc dans le cadre du projet OCEANQUEST, la technologie des turbines à axe vertical a été abordée. L'objectif était d'étudier une turbine de type HYDROQUEST à deux colonnes contrarotatives. Une méthode de ligne d'action a été mise au point pour représenter les pales [7]. Une application sur des fermes pilotes de 3 et 4 turbines a été réalisée et les résultats de cette étude ont été publiés [8,9]. Cette modélisation, au-delà de la validation de la méthode, a permis d'étudier l'influence de la turbulence ambiante sur différentes technologies de turbines.

Ces études ont démontré qu'il est capital de prendre en compte les effets de la turbulence ambiante sur les machines si l'on souhaite prédire le comportement des hydroliennes in-situ. La turbulence étant instationnaire et dépendante du site [4], voire même de l'emplacement au sein du site, une approche instationnaire haute résolution telle que la LBM-LES est fortement recommandée.

Les perturbations liées à la houle sont moins étudiées mais des publications récentes mettent en évidence un impact non-négligeable sur les machines. Parmi ces études on peut notamment citer les travaux de Moreau et al. 2023 [10] qui ont observé une augmentation de l'amplitude des fluctuations des efforts sur une machine à axe vertical. Les effets de la houle sur le sillage de la même turbine ont été étudié par Linant et al. 2025 [11]. Ouro et al. 2024 [12] ont utilisé un modèle LES avec surface libre pour étudier l'impact de la houle sur une maquette de turbine à axe horizontal. Ils ont observé que la houle entraînait des oscillations verticales du sillage. Une seule turbine a été étudiée mais il est évident que ce phénomène impacterait des turbines placées en aval. Tout comme la turbulence de site, caractériser ce phénomène requiert une

approche instationnaire haute résolution. L'influence sur le sillage et les performances à l'échelle d'un parc avec les effets combinés de la turbulence est pour l'instant inconnu.

L'objectif de la thèse est d'étudier l'influence de la houle et du courant sur une hydrolienne à échelle 1:1, puis sur un parc de plusieurs turbines dans des conditions réalistes telles que celles du Raz Blanchard, zone sur laquelle nous travaillons depuis plusieurs années [13,14,15].

L'approche choisie est une approche numérique utilisant la méthode de Boltzmann sur réseau ou LBM, couplée à de la simulation des grandes échelles de la turbulence, ou LES, pour réduire le coût en calcul de la modélisation. La majorité des calculs LBM-LES réalisés au laboratoire l'ont été avec la librairie open-source PaLaBoS. La thèse se déroulera sur cet outil et le doctorant bénéficiera de l'expertise de notre équipe.

Dans un premier temps nous allons développer un outil de modélisation de la surface libre et de la houle avec l'approche LBM-LES utilisée au laboratoire. Cet outil pourra notamment s'appuyer sur la méthode Volume Of Fluid (VOF) déjà existante au sein de la librairie PaLaBoS, mais non validée pour la simulation de houle. Une fois l'outil validé, des hydroliennes seront ajoutées à la modélisation avec des méthodes déjà maîtrisées dans l'équipe. Cette modélisation pourra être validée avec des résultats d'expériences de la littérature à l'échelle d'un canal telle que celle de [10]. Nous placerons alors la turbine à l'échelle 1:1 dans les conditions du Raz Blanchard et/ou du site d'essais de Paimpol Bréhat. L'ajout de turbulence ambiante et d'une morphologie de fond à ce modèle devrait alors permettre d'évaluer les performances d'une hydrolienne dans des conditions de houle et courant proches de la réalité. Cette dernière phase sera adaptée à l'étude de l'influence de la turbulence et de la houle sur le phénomène de décrochage dynamique. Peu de travaux existe sur l'influence de la houle et de la turbulence sur le décrochage dynamique dans un contexte hydrolien. Les travaux de développement de notre outil LBM-LES lors de cette thèse pourraient alors être utilisés afin de mieux décrire cette influence.

Mots clés : Hydroliennes, mécanique des fluides numérique, houle, turbulence, simulation des grandes échelles de la turbulence, méthode de Boltzmann sur réseau.

Références en lien avec le sujet et de l'équipe

- [1] Mercier, Philippe. (2019). Modélisation de la turbulence engendrée par la morphologie du fond dans le Raz Blanchard : approche locale avec la LBM-LES. Université de Caen.
- [2] Latt, Jonas & Malaspinas, Orestis & Kontarakis, Dimitrios & Parmigiani, Andrea & Lagrava, Daniel & Brogi, Federico & Ben Belgacem, Mohamed & Thorimbert, Yann & Leclaire, Sébastien & Li, Sha & Marson, Francesco & Lemus, Jonathan & Kotsalos, Christos & Conradin, Raphaël & Coreixas, Christophe & Petkantchin, Rémy & Raynaud, Franck & Beny, Joel & Chopard, Bastien. (2020). Palabos: Parallel Lattice Boltzmann Solver. *Computers & Mathematics with Applications*. 81. 10.1016/j.camwa.2020.03.022.
- [3] Mercier, Philippe & Sylvain, Guillou. (2021). The impact of the seabed morphology on turbulence generation in a strong tidal stream. *Physics of Fluids*. 33. 055125. 10.1063/5.0047791.
- [4] Mercier, Philippe & Sylvain, Guillou. (2022). Spatial and temporal variations of the flow characteristics at a tidal stream power site: A high-resolution numerical study. *Energy Conversion and Management*. 269. 10.1016/j.enconman.2022.116123.
- [5] Grondeau M., (2018), Modélisation des effets de sillage d'une hydrolienne avec la méthode de Boltzmann sur réseau, [thèse de doctorat], Caen, France.
- [6] Grondeau, Mikhaël & Sylvain, Guillou & Poirier, Jean-Charles & Mercier, Philippe & Poizot, Emmanuel & Méar, Yann. (2022). Studying the Wake of a Tidal Turbine with an IBM-LBM Approach Using Realistic Inflow Conditions. *Energies*. 15. 2092. 10.3390/en15062092.

- [7] Grondeau, Mikaël & Sylvain, Guillou & Mercier, Philippe & Poizot, Emmanuel. (2019). Wake of a Ducted Vertical Axis Tidal Turbine in Turbulent Flows, LBM Actuator-Line Approach. *Energies*. 12. 4273. 10.3390/en1224273.
- [8] Grondeau M. and Guillou S.S., "High-fidelity modeling of a vertical axis tidal turbine model under realistic flow conditions", *Proc. EWTEC*, vol. 15, Sep. 2023, 218. <https://doi.org/10.36688/ewtec-2023-218>
- [9] Grondeau, Mikaël & Sylvain, Guillou. (2025). Predicting Interactions Between Full-Scale Counter-Rotating Vertical-Axis Tidal Turbines Using Actuator Lines. *Journal of Marine Science and Engineering*. 13. 1382. 10.3390/jmse13081382.
- [10] Moreau, Martin & Germain, Grégory & Maurice, Guillaume. (2023). Experimental Investigation of Surface Waves Effect on a Ducted Twin Vertical Axis Tidal Turbine. *Journal of Marine Science and Engineering*. 11. 1895. 10.3390/jmse11101895.
- [11] Linant, Robin & Saouli, Yanis & Germain, Grégory & Maurice, Guillaume. (2025). Experimental Study of the Wave Effects on a Ducted Twin Vertical Axis Tidal Turbine Wake Development. *Journal of Marine Science and Engineering*. 13. 375. 10.3390/jmse13020375.
- [12] Ouro, Pablo & Mullings, Hannah & Christou, Aristos & Draycott, Sam & Stallard, Tim. (2024). Wake characteristics behind a tidal turbine with surface waves in turbulent flow analyzed with large-eddy simulation. *Physical Review Fluids*. 9. 10.1103/PhysRevFluids.9.034608.
- [13] Thiébaud M., Filipot JF, Maisondieu C., Damblans G., Duarte R., Droniou E., Chaplain N., Guillou S.S. (2020), A comprehensive assessment of turbulence at a tidal-stream energy site influenced by wind-generated ocean waves, *Energy* 192, 116550. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116550
- [14] Mercier P., Grondeau M., Guillou S.S., Thiébot J., Poizot E., Numerical study of the turbulent eddies generated by the seabed roughness. Case study at a tidal power site, *Applied Ocean Research*, 97 (2020) 102082. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102082>
- [15] Thiébot J., Guillou N., Guillou S.S, Good A., Lewis M. (2020), Wake field study of tidal turbines under realistic flow conditions, *Renewable Energy*, Volume 151, May 2020, Pages 1196-1208. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.129>

Proposed topic: Study of the influence of waves and currents on tidal turbines using LBM-LES modeling.

Background and topic:

In order to achieve carbon neutrality, several new renewable energy sources have emerged in recent years. Among them, marine tidal energy is a promising technology. It is based on harnessing the kinetic energy contained in tidal currents. Currently, the marine tidal energy sector is in the phase of constructing the first pilot farms consisting of fewer than 10 turbines. The most advanced technologies involve vertical or horizontal axis rotating turbines. This renewable energy source is predictable, unlike other renewable energy sources such as solar, wind, or wave energy. The predictability of the resource is important because it allows future operators of tidal farms to estimate the amount of energy generated, and thus the profitability of such a facility. There are several factors that can reduce this predictability. Beyond mechanical issues related to operation (leaks, breakdowns, failures, etc.), one of the main sources of deviation from the predicted output is the influence of flow fluctuations on the tidal turbine. These fluctuations have several causes. The first, which our team has been studying for several years, is ambient turbulence. The second stems from flow disturbances created by waves and swells. The influence of waves and swells on tidal turbines is a recent area of research. Several experimental and numerical studies have shown that swells affect the forces acting on tidal turbines. Their wake patterns are also affected. Due to the random nature of waves, it is difficult to measure this impact at full scale during offshore campaigns, let alone at the scale of

an entire farm. The goal of this thesis is to develop a tool for numerically predicting this phenomenon. This tool will enable the study of the effects of extreme waves on a farm of turbines under realistic site conditions, including turbulence and seabed topography. The impact on energy output, forces, and the relative positioning of the turbines will then be quantifiable, which will aid in the future installation of tidal-stream farms.

The ambient turbulence at sites with high tidal energy potential was studied as part of Philippe Mercier's PhD thesis [1]. This work was carried out using a high-resolution, unsteady LBM-LES approach based on the open-source PaLaBoS library [2]. The thesis was conducted as part of the ANR-FEM THYMOTE project led by LUSAC. The thesis work was subsequently continued as a postdoc within the TIGER project. These studies validated the LBM-LES approach for the detailed characterization of a tidal energy site [3]. They also demonstrated strong links between extreme turbulence phenomena (very powerful instantaneous currents) and the complex morphology of tidal energy sites (troughs, faults, etc.) [4]. It was shown that our high-resolution LBM-LES tool was well-suited here for predicting phenomena that are highly localized and can influence turbine operation.

In parallel with this work, an LBM-LES model of TGL-type horizontal axis tidal turbines was developed during Mikaël Grondeau's CIFRE/SIREHNA PhD thesis [5]. The blades were represented in the simulation using an immersed boundary method in a so-called blade resolved calculation [6]. Subsequently, during a postdoctoral fellowship as part of the OCEANQUEST project, vertical axis turbine technology was addressed. The objective was to study a HYDROQUEST turbine with two counter-rotating columns. An actuator line method was developed to represent the blades [7]. An application to farms of 3 and 4 turbines was carried out, and the results of this study were published [8,9]. Beyond validating the method, this modeling made it possible to study the influence of ambient turbulence on different turbine technologies.

These studies have shown that it is essential to account for the effects of ambient turbulence on the turbines if one wishes to predict the in-situ behavior of tidal turbines. Since turbulence is unsteady and site-dependent [4], and even location-dependent within a site, a high-resolution unsteady approach such as LBM-LES is strongly recommended.

Disturbances caused by swells have been studied less extensively, but recent publications highlight a significant impact on turbines. Among these studies, we can notably cite the work by Moreau et al. 2023 [10], who observed an increase in the amplitude of force fluctuations on a vertical axis turbine. The effects of swells on the wake of the same turbine were studied by Linant et al. 2025 [11]. Ouro et al. 2024 [12] used a free-surface LES model to study the impact of swells on a horizontal axis turbine model. They observed that swells caused vertical oscillations in the wake. Only a single turbine was studied, but it is clear that this phenomenon would affect turbines located downstream. Just like site turbulence, characterizing this phenomenon requires a high-resolution unsteady approach. The influence on the wake and performance at the scale of a farm, combined with the effects of turbulence, is currently unknown.

Based on the findings of the turbulence studies conducted by our team, it seems worthwhile to develop a numerical prediction tool for assessing the impact of waves and swells on tidal turbines using our high-resolution approach.

The objective of this PhD thesis is to study the influence of waves and currents on a 1:1 scale tidal turbine, and then on a farm of several turbines under realistic conditions such as those at Raz Blanchard, an area where we have been conducting research for several years [13,14,15].

The chosen approach is a numerical method using the lattice Boltzmann method (LBM), coupled with large-eddy simulation (LES) to reduce the computational cost of the modeling. Most of the LBM-LES calculations performed at the laboratory were carried out using the open-source PaLaBoS library. The thesis will be based on this tool, and the PhD student will benefit from our team's expertise.

Initially, we will develop a tool for modeling the free surface and waves using the LBM-LES approach employed in the laboratory. This tool can be based on the Volume of Fluid (VOF) method, which is already available in the PaLaBoS library, but has not yet been validated for wave simulation. Once the tool has been validated, tidal turbines will be added to the model using methods the team has already mastered. This model can be validated against experimental results from the literature at the channel scale, such as those in [10]. We will then place the turbine at a 1:1 scale under the conditions of Raz Blanchard and/or the Paimpol Bréhat test site. The addition of ambient turbulence and seabed topography to this model should then allow us to evaluate the performance of a tidal turbine under wave and current conditions close to reality. This final phase will focus on investigating the influence of turbulence and waves on the phenomenon of dynamic stall. Little research has been conducted on the influence of waves and turbulence on dynamic stall in a tidal energy context. The development work on our LBM-LES tool carried out during this thesis could therefore be used to better describe this influence.

Keywords: tidal turbines, Computational Fluid Dynamics, waves, turbulence, Large Eddy Simulation, Lattice Boltzmann Method.

Expérience et formation souhaitées du candidat/desired profile or skills:

En français : La thèse requière des compétences en mécanique des fluides numérique. Un intérêt pour les EMR est également demandé.

Le profil attendu est :

- Ecole d'ingénieur ou Master 2 recherche avec une spécialisation en Mécanique des Fluides

English: The PhD thesis requires skills in fluid mechanics. A particular interest in MRE is requested.

Thus, candidates with following educational background can apply for the thesis:

- Engineer school or master degree with skills in numerical modelling in fluid mechanics.