



# EUROSWAC

## Dynamique des fluides numérique appliquée au SWAC

Ce document est traduit de l'anglais

Dans la mesure du possible nous vous conseillons la lecture de la version originale.

Ce document a été préparé par et est la propriété d'EUROSWAC Partners et d'Interreg France (Manche Manche) Angleterre. il ne peut être reproduit ou communiqué à des tiers sans l'accord préalable et écrit d'EUROSWAC Partners et d'Interreg France (Manche Manche) Angleterre.

Tour.	Statut	Date	Auteur	Description	Vérificateur	Approbateur
01	C	31/12/2022	A Bordbar, K Georgoulas	Approuvé	YC Lee	YC Lee

A = Émis pour commentaires - B = Émis pour approbation - C = Approuvé

## Table des matières

1. Résumé.....	3
2. Introduction .....	3
3. Modélisation de la dispersion des décharges .....	4
3.1. Modélisation à micro-échelle avec OpenFOAM ® .....	4
3.2. Validation .....	4
3.3. Simulateurs.....	14
4. Les références .....	19

# 1. Résumé

La modélisation de la dispersion des rejets des WTEBS<sup>1</sup> peut aider à répondre aux préoccupations concernant leurs impacts sur la durabilité des environnements marins et offrent des possibilités d'atteindre la meilleure dispersion d'un maximum d'effluents et compréhension du comportement de mélange des jets de panache. Dans le présent rapport, un nouveau modèle de simulation de la dispersion de rejets dans l'environnement marin (c'est-à-dire le flux combiné des vagues et des marées) est développé dans OpenFOAM. Le modèle est validé par rapport à des cas de test pour la modélisation hydrodynamique de différentes vagues à l'aide de solution analytique, et à l'aide de données expérimentales de la littérature pour la modélisation hydro-thermique. Ensuite, le modèle validé est utilisé pour la modélisation du débit pour des cas 2D et 3D générés pour fournir des conditions similaires au système SWAC pilote du laboratoire de Brixham, Royaume-Uni.

# 2. Introduction

La modélisation de la dispersion des rejets des WTEBS peut aider à répondre aux préoccupations concernant leurs impacts sur la durabilité des environnements marins et fournir des opportunités d'atteindre la meilleure dispersion d'un maximum d'effluents et compréhension du comportement de mélange des jets de panache. L'application de la modélisation de la dispersion des rejets ne se limite pas aux WTEBS, car le sujet intéresse également d'autres technologies en pleine croissance telles que l'aquaculture, les usines de dessalement et les centrales thermiques qui rejettent une quantité considérable d'eaux usées directement dans les plans d'eau. La saumure de dessalement, un sous-produit des usines de dessalement, comprend des concentrations élevées de substances dissoutes et de solides en suspension ainsi qu'une éventuelle chaleur résiduelle. Les centrales thermiques des villes côtières rejettent d'énormes quantités de chaleur résiduelle dans les mers et les lacs, tandis que les effluents de l'aquaculture sont généralement enrichis en solides organiques en suspension, en carbone, en azote et en phosphore, ce qui peut avoir un impact néfaste sur de nombreuses espèces vivantes dans les alentours de la zone de rejet. En général, les rejets d'eaux usées des procédés industriels sont classés en deux grands groupes en fonction de leur écart de densité avec les masses d'eau ambiantes. Si l'effluent a une densité plus élevée que l'eau ambiante, le panache de l'exutoire a tendance à couler, ce qu'on appelle un panache de jet à flottabilité négative. Inversement, si l'effluent a une densité inférieure à celle de l'eau ambiante, le panache du jet d'effluent a tendance à s'élever, ce que l'on appelle un panache flottant. Néanmoins, le comportement de mélange des effluents rejetés peut présenter une grande diversité de schémas d'écoulement, en fonction des caractéristiques géométriques et dynamiques du milieu et du débit de rejet. Dans le présent rapport, un nouveau modèle de simulation de la dispersion des rejets dans l'environnement marin (c.-à-d. flux combiné des vagues et des marées) est développé. Le modèle est validé par rapport à des cas de test pour la modélisation hydrodynamique de différentes vagues à l'aide de solution analytique, et à l'aide de données expérimentales de la littérature pour la modélisation hydro-thermique. Ensuite, le modèle validé est utilisé pour la modélisation du débit pour des cas 2D et 3D générés pour fournir des conditions similaires au système SWAC pilote du laboratoire de Brixham, Royaume-Uni.

<sup>1</sup> Waterbody Thermal Energy Based Systems = Installations basées sur l'énergie thermique des masses d'eau

## 3. Modélisation de la dispersion des décharges

### 3.1. Modélisation à micro-échelle avec OpenFOAM®

Pour modéliser numériquement la dispersion des décharges, un solveur dans le logiciel open-source, OpenFOAM®, a été développé. Le solveur est capable de simuler le rejet d'un jet d'eau flottant submergé dans l'environnement marin sous l'effet des courants de marée et des vagues. Le modèle est développé pour les cas où le fluide du jet submergé est de l'eau avec une température plus élevée par rapport à l'eau ambiante et la seule raison de l'effet de flottabilité est la dilatation thermique du fluide.

Le modèle résout les équations de masse, de quantité de mouvement et d'énergie pour un écoulement incompressible comme suit,

$$\text{Masse} \quad \nabla \cdot u = 0 \quad (1)$$

$$\text{Dynamique} \quad \rho \left( \frac{\partial}{\partial t} (u) + \nabla \cdot (uu) \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + \rho g \quad (2)$$

$$\text{Énergie} \quad \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (uT) = \nabla^2 (DT) + S \quad (3)$$

où  $u$  est la vitesse,  $\rho$  est la densité,  $t$  est le temps,  $T$  est la température,  $p$  est la pression,  $g$  est l'accélération de la gravité,  $\tau$  est le tenseur de la contrainte de cisaillement et  $S$  est un terme source/puits. Dans le solveur, les équations d'énergie et de quantité de mouvement sont faiblement couplées en utilisant l'approximation de Boussinesq. Cela aide à voir les impacts de l'effet de flottabilité sur l'écoulement dominé par la convection naturelle (axée sur la flottabilité),  $Gr/Re^2 \gg 1$  où  $Gr$  est le nombre de Grashof et  $Re$  est le nombre de Reynolds.

L'approximation de Boussinesq est ajoutée à la solution en considérant la densité comme fonction de la température en utilisant l'équation de dilatation thermique ( $\rho \approx \rho_0(1 - \beta(T - T_0))$ ) dans le dernier terme du côté droit de l'équation de dynamique (le terme gravitationnel), où  $\beta$  est le coefficient de dilatation volumétrique de la température, et  $\rho_0, T_0$  sont respectivement la densité et la température à un point de référence. Le modèle est combiné avec le modèle de fermeture de turbulence  $k - \omega SST$  pour résoudre l'écoulement turbulent. Ce modèle de turbulence est choisi car il est fiable pour la modélisation de la plupart des applications pratiques d'ingénierie.

## 3.2. Validation

### 3.2.1. Modèle de vague

Le modèle a été validé par rapport à différents cas tests. Ce rapport fournit une comparaison entre les résultats du modèle numérique et les modèles analytiques pour la modélisation des vagues régulières et irrégulières et les données expérimentales du canal à vagues avec une barre trapézoïdale immergée.

### 3.2.1.1. Génération et propagation de l'onde régulière

Selon la théorie des ondes régulières, les ondes régulières sont sinusoïdales avec une amplitude d'onde constante ( $H$ ), une longueur d'onde ( $L$ ) et une période d'onde ( $\tau$ ). Figure 1 montre un diagramme bien connu de Le Méhauté (2013) qui décrit la validité de différentes théories de vagues en fonction de la profondeur d'eau relative et de la pente des vagues.

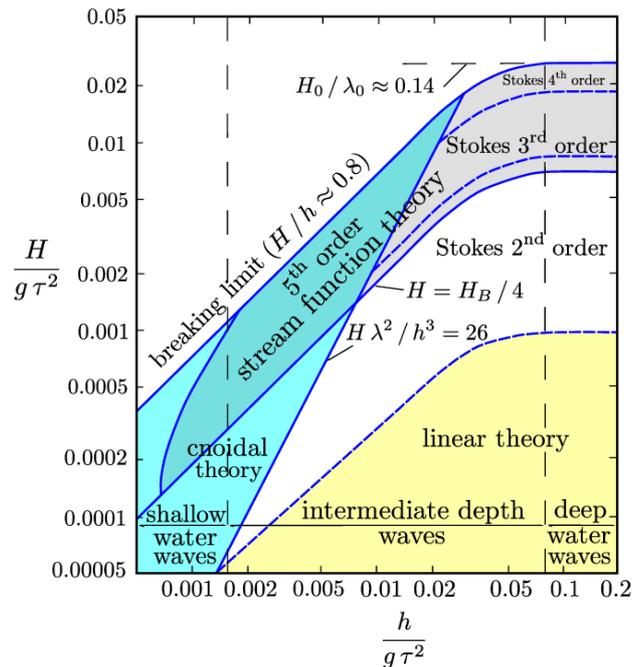


Figure 1. Limites de validité de diverses théories d'ondes par Le Méhauté (2013).

#### 3.2.1.1.1. Théorie des ondes linéaires

Les théories des ondes linéaires, connues sous le nom de Stokes I ou théorie des ondes d'Airy, sont la solution analytique la plus simple pour les ondes régulières - introduite par Airy (1845). Malgré la facilité de mise en œuvre, la théorie de l'air est précise et pratique pour une large gamme d'applications d'ingénierie. Dans cette théorie, l'eau de mer est supposée incompressible et non visqueuse, et le mouvement de l'eau est irrotationnel. D'autres hypothèses sont que la tension superficielle est négligeable et que la pression à la surface libre est constante. Le fond est fixe et imperméable et la hauteur des vagues est relativement faible ( $H/h \ll 1$ ). Pour une onde d'Airy bidimensionnelle se propageant dans la direction  $x$ , les composantes de déplacement et de vitesse de la surface libre ( $u, w$ ) sont les suivantes :

$$\eta(t, x) = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t + \psi) \quad (4)$$

$$u(t, x) = \frac{H}{2} \omega \frac{\cosh(kz)}{\sinh(kh)} \cos(kx - \omega t + \psi) \quad (5)$$

$$w(t, x) = \frac{H}{2} \omega \frac{\sinh(kz)}{\sinh(kh)} \sin(kx - \omega t + \psi) \quad (6)$$

où  $k$  est le nombre d'onde,  $\omega$  la fréquence angulaire et  $\psi$  le déphasage de l'onde.

la fréquence angulaire peut être calculée en utilisant,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (7)$$

et le nombre de vagues peut être calculé en utilisant la relation de dispersion pour les vagues d'eau,

$$\omega^2 = gk \tanh(kh) \quad (8)$$

où  $g$  est l'accélération de la pesanteur.

Pour valider le modèle de génération des vagues linéaires, une simulation a été effectuée pour une vague avec les spécifications fournies dans Tableau 1 dans un domaine de calcul 2D avec 30  $m$  de long et 2  $m$  de hauteur. Des grilles plus fines ont été prises en compte pour le maillage généré près de l'interface de surface libre, comme le montre la Figure 2 .

Tableau 1. Spécifications d'onde linéaire.

Période $\tau$ (s)	Amplitude des vagues $H$ (m)	Profondeur de l'eau $h$ (m)	Numéro de vague $k$ ( $m^{-1}$ )	Longueur d'onde $L$ (m)
2	0,02	1	1.2039	5.2163

La simulation a été exécutée pendant 30 s et les résultats en termes d'évolution temporelle de l'élévation de la surface de propagation ont été comparés à la solution analytique à 4 distances différentes de l'entrée du domaine de calcul (par exemple  $x = 0.5L, 1L, 2L, 3L$ ). Les résultats sont fournis dans Figure 3 et montrent un bon accord entre la CFD et les résultats analytiques.

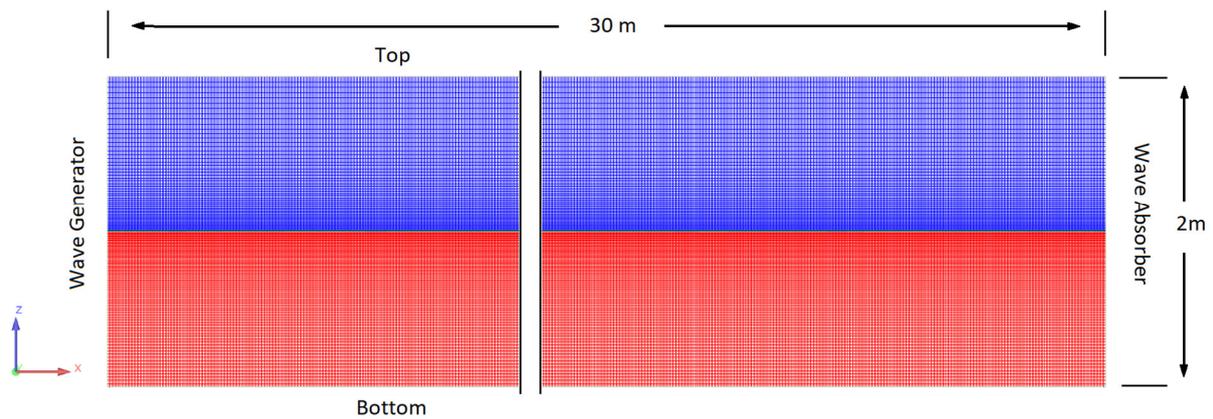


Figure 2. Maillage généré pour la simulation d'ondes linéaires.

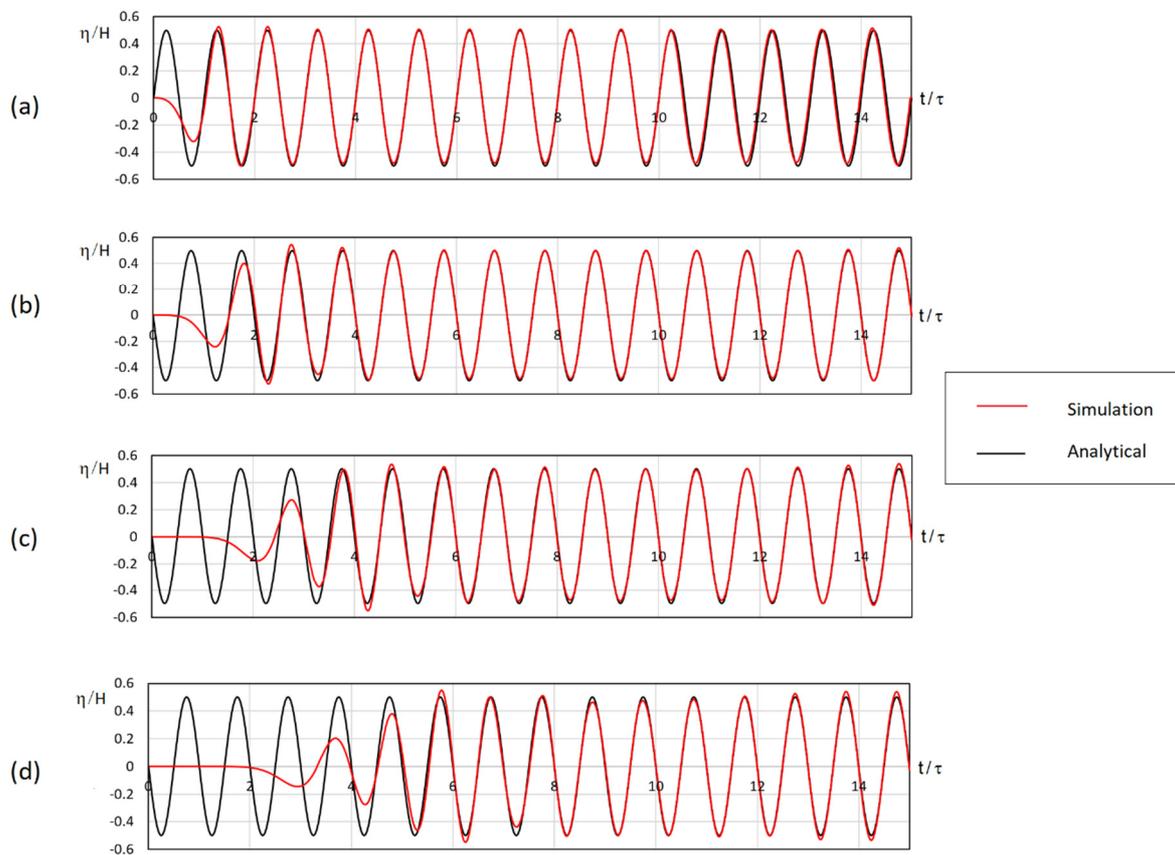


Figure 3. Solution analytique et résultats de simulation pour l'onde linéaire, (a)  $x=0.5L$ , (b)  $x=L$ , (c)  $x=2L$ , (d)  $x=3L$ .

### 3.2.1.1.2. Théorie des ondes non linéaires de Stokes II

Stokes a établi pour la première fois en 1847 une solution non linéaire en utilisant la théorie des perturbations pour les ondes régulières, connue sous le nom d'expansion de Stokes. Sur la base de l'expansion de Stokes, les équations pertinentes pour les composants de déplacement et de vitesse

de la surface d'onde de Stokes II sont décrites en ajoutant le terme du second ordre (quadratique) à la théorie des ondes linéaires comme suit, respectivement,

$$\eta(t, x) = \frac{H}{2} \cos(\theta) + k \frac{H^2}{4} \frac{3 - \tanh^2(kh)}{4 \tanh^3(kh)} \cos(2\theta) \quad (9)$$

$$u(t, x) = \frac{H}{2} \omega \frac{\cosh(kz)}{\sinh(kh)} \cos(\theta) + \frac{3 H^2 \omega k \cosh(2kz)}{4 \sinh^4(kh)} \cos(2\theta) \quad (\text{dix})$$

$$w(t, x) = \frac{H}{2} \omega \frac{\sinh(kz)}{\sinh(kh)} \sin(\theta) + \frac{3 H^2 \omega k \sinh(2kz)}{4 \sinh^4(kh)} \sin(2\theta) \quad (11)$$

Pour valider le modèle théorique de génération des ondes non linéaires de Stokes II, une onde avec les spécifications fournies au Tableau 2a été définie.

Tableau 2. Spécifications des ondes non linéaires.

Période $\tau$ (s)	Amplitude des vagues $H$ (m)	Profondeur de l'eau $h$ (m)	Numéro de vague $k$ ( $m^{-1}$ )	Longueur d'onde $L$ (m)
2.2	0,04	0,4	1,5259	4.1156

Pour ce cas de test, un domaine de calcul rectangulaire 2D avec 30 m de long et 1 m de haut a été généré, et un maillage plus fin a été considéré près de la zone d'interface de surface libre. Une étude de dépendance du maillage a été réalisée et un maillage avec environ 270 000 cellules de grille avec la plus petite taille de cellule de 0,01 m  $\times$  0,005 m a été choisi pour les simulations. Les résultats de la simulation pour les 22 premières s de la simulation pour l'élévation de la surface ont été comparés à la solution analytique à 4 distances différentes de l'entrée (soit  $x = 0.5L, 1L, 2L, 3L$ ), comme le montre la Figure 4. Comme pour les simulations pour les ondes linéaires, on observe une bonne cohérence entre la CFD et les résultats analytiques, tandis qu'avec l'augmentation de la durée et de la distance par rapport à la limite du générateur d'ondes, une petite déviation de la solution analytique a pu être observée.

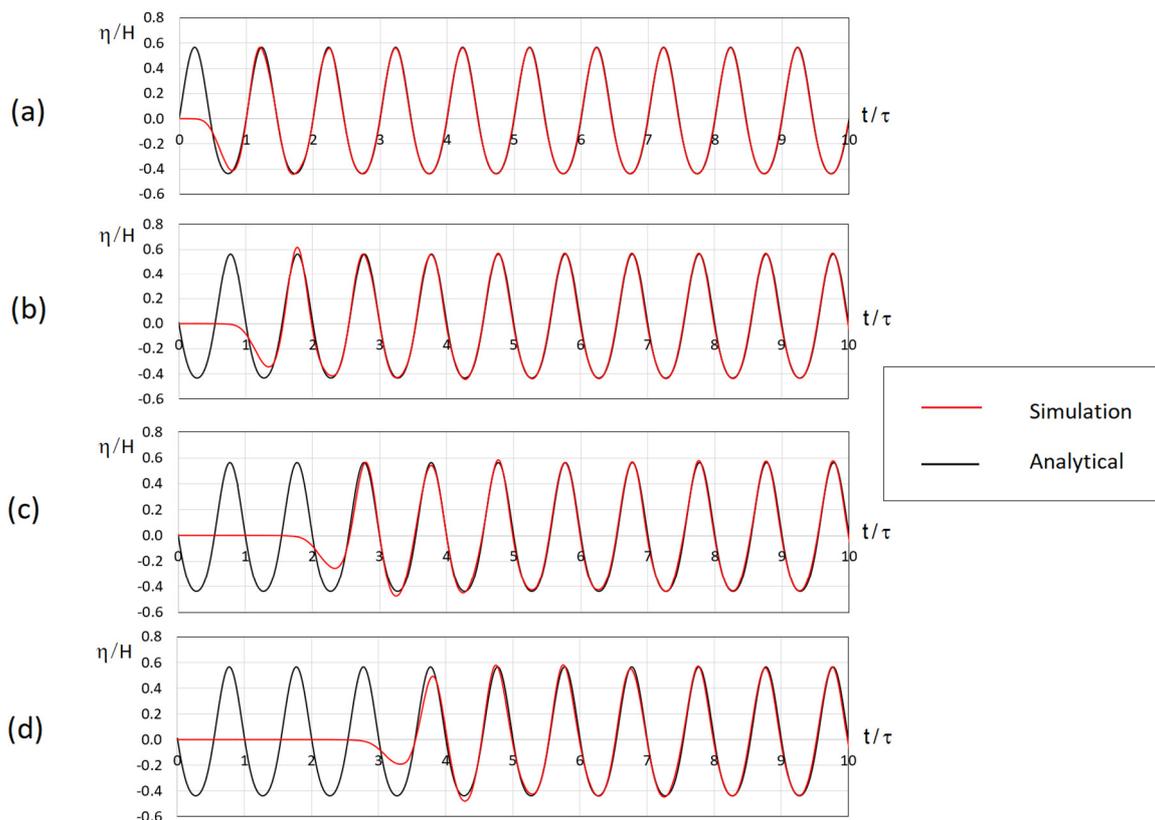


Figure 4. Solution analytique et résultats de simulation pour l'onde non linéaire, (a)  $x=0.5L$ , (b)  $x=L$ , (c)  $x=2L$ , (d)  $x=3L$ .

### 3.2.1.2. Génération et propagation de l'onde irrégulière

Une onde irrégulière est construite par superposition linéaire de composantes d'ondes régulières. Par conséquent, aux fins de la validation du modèle CFD pour une onde irrégulière, nous avons considéré la génération d'une onde irrégulière, la superposition linéaire d'un groupe de quatre ondes linéaires régulières comme indiqué dans Tableau 3 avec un déphasage d'onde différent, comme présenté dans Figure 5.

Un même domaine de calcul du test d'onde linéaire régulière a été considéré. Les résultats de la simulation de l'élévation de la surface des vagues à  $x = 3 m$  a distance de l'entrée peut être vu sur Figure 5b. Les résultats prouvent la grande capacité du modèle CFD dans la simulation des vagues irrégulières.

Tableau 3. Spécifications des ondes linéaires pour générer l'onde irrégulière.

Vagues	Période $\tau$ (s)	Amplitude des vagues $H$ (m)	Profondeur de l'eau $L$ (m)	Numéro de vague $k$ ( $m^{-1}$ )
N°1	1.8	0,02	1	1.4011
N°2	0,95	0,008	1	4.4557
N°3	1.3	0,01	1	2.417
N°4	2.5	0,03	1	0,8988

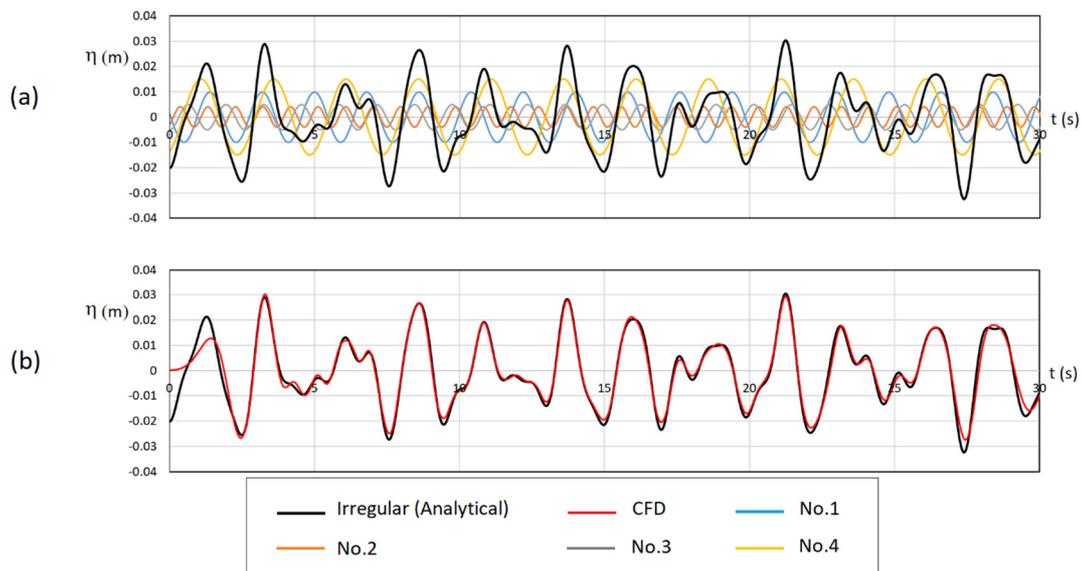


Figure 5.(a) ondes linéaires pour générer l'onde irrégulière, (b) Solution analytique et résultats de simulation pour l'onde irrégulière à  $x=3(m)$ .

### 3.2.1.3. Canal à houle à barre trapézoïdale immergée

Le modèle a également été validé par rapport aux données expérimentales de Beji et Battjes (1994) pour l'interaction de la houle régulière avec un brise-lames submergé. Beji et Battjes (1993, 1994) ont mené une série d'essais expérimentaux dans un canal à houle avec une barre trapézoïdale immergée pour les vagues régulières et irrégulières. Le test a été réalisé dans un canal de 37,7 m de long, 0,8 de large et 0,75 m de profondeur. L'ensemble des expériences a été réalisé avec un niveau d'eau calme de 0,4 m. Le pied de la barre trapézoïdale était situé à 6 m de la planche de génération de vagues, tandis qu'une plage avec une pente de 1:25 était présentée à l'autre extrémité du canal pour servir d'absorbeur de vagues. Plus de détails sur l'expérience peuvent être trouvés dans (Beji et Battjes, 1993). Dans Beji et Battjes (1994), l'un des tests a été exécuté avec des vagues incidentes périodiques non déferlantes avec une période de  $T = 2 s$  et une hauteur de vague de  $H = 0.02 m$ . À la suite de l'expérience, des changements d'élévation de surface à 6 stations différentes au-dessus et en aval du brise-lames ont été remarqués pendant 10 s du test.

Pour reproduire le résultat à l'aide du modèle numérique développé, nous avons établi une configuration numérique pour le test comprenant un domaine de calcul bidimensionnel de 21 m de long et 1 m de haut, comme le montre la Figure 6. La configuration numérique est similaire au canal expérimental, alors que le pied du brise-lames a été placé à 2 m de la limite du générateur de vagues et la plage à l'extrémité du canal est remplacée par une limite d'absorption des vagues. Une technique d'amortissement des ondes par étirement des mailles, telle que suggérée par Mohseni et Soares (2022), a également été envisagée pour assurer la suppression des réflexions des ondes. Une onde régulière de second ordre a été générée à la limite du générateur d'ondes et propagée vers la barre trapézoïdale. Une étude initiale de dépendance du maillage a été réalisée pour la configuration numérique des maillages de différentes tailles comme indiqué dans Tableau 4 et le maillage large a été choisi pour le reste des simulations. La plus petite taille de maillage a été considérée près de la région de surface libre le long de l'ensemble du domaine dans chaque cas. Des simulations ont été réalisées

pendant 40 s. Une comparaison entre les résultats de simulation pour les 10 dernières s des simulations et les résultats de mesure en laboratoire par Beji et Battjes (1994) est fournie à Figure 7. Dans l'ensemble, on observe une cohérence entre les résultats dans toutes les stations en termes de génération de la crête et du creux.

Tableau 4.

Maillage	Nombre de mailles (millions)	Plus petite taille de maille (cm)
Large	0,35	0,5 × 0,13
Moyen	0,55	0,25 × 0,13
Serré	0,7	0,25 × 0,06

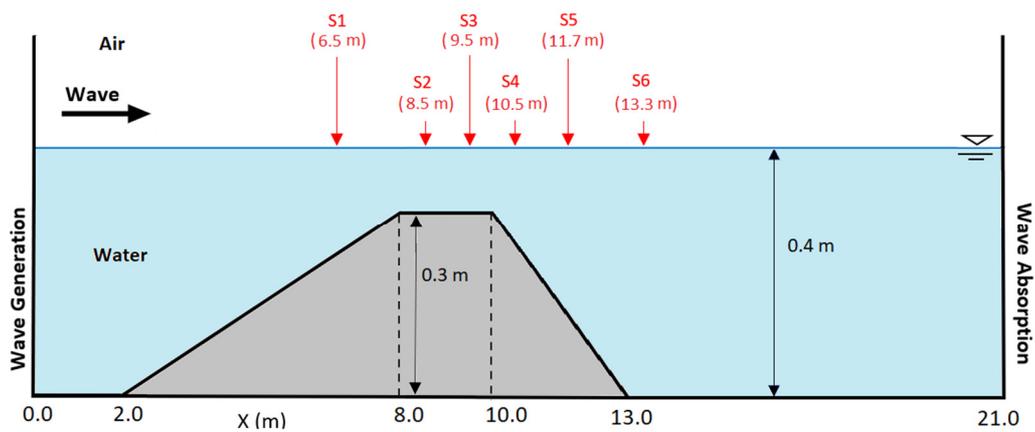


Figure 6. Schéma du maillage généré pour le canal à vagues avec un test de barre trapézoïdale.

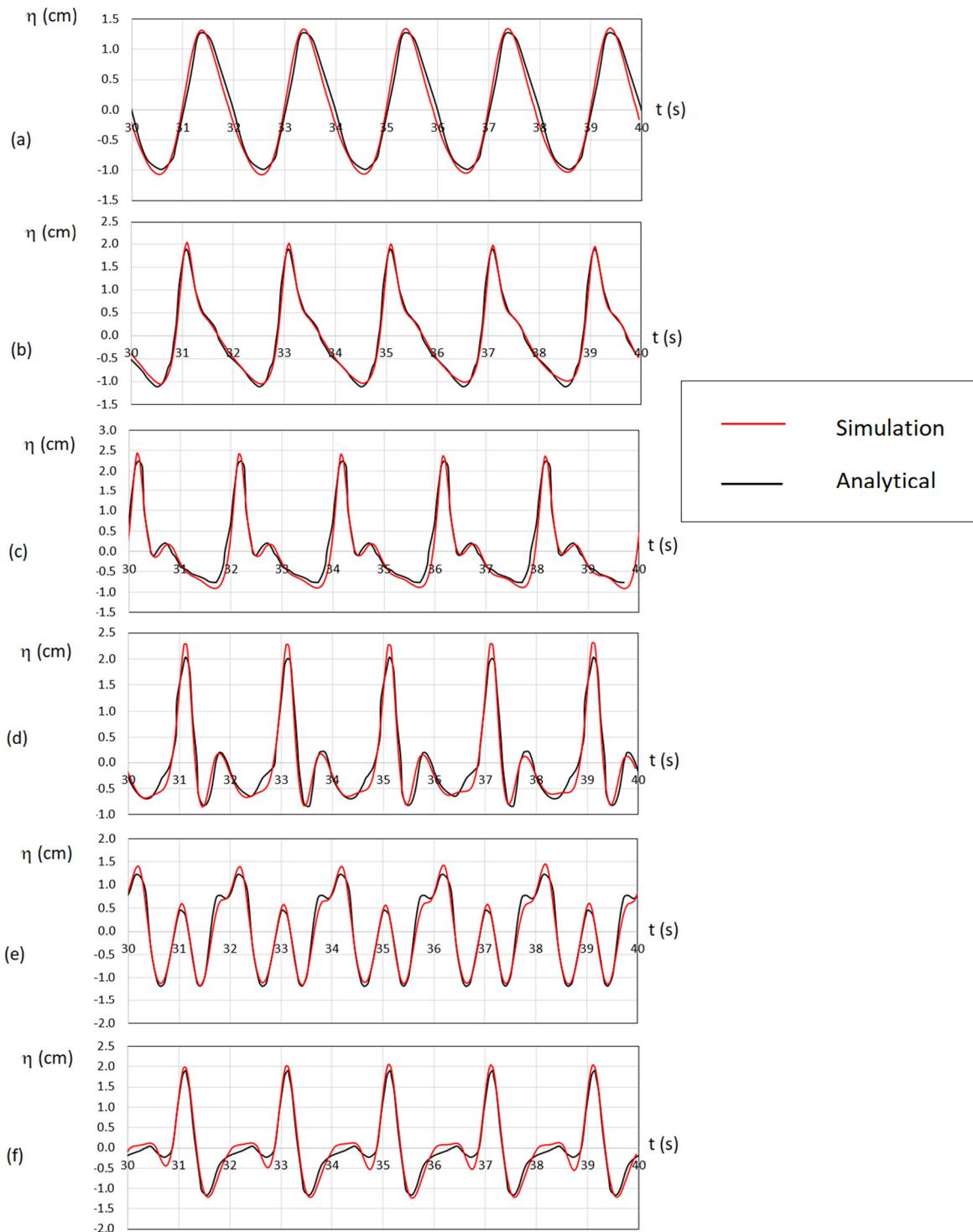


Figure 7. Résultats expérimentaux et de simulation pour un canal à vagues avec un test de barre trapézoïdale (a) capteur1, (b) capteur2, (c) capteur3, (d) capteur4, (e) capteur5, (f) capteur6.

### 3.2.2. Modèle hydro-thermique

Pour valider la partie hydrothermique du modèle, les données expérimentales réalisées par Sobey et al. (1989) pour un jet flottant rond horizontal en eau peu profonde stagnante a été pris en compte. L'expérience a été réalisée dans un réservoir carré de  $3\text{ m} \times 3\text{ m}$  sur  $0,35\text{ m}$  de profondeur. Le diamètre d'entrée du jet d'eau,  $D_0$ , était de  $27,5\text{ mm}$ . Une entrée de jet d'eau chaude horizontale a été placée au niveau de l'axe horizontal à une extrémité du réservoir (voir Figure 8). Le paramètre de flottabilité a été maintenu constant à nominalement  $0,003$  pour tous les tests. Au total,  $75$  tests ont été effectués pour différentes profondeurs d'eau et différentes profondeurs et vitesses de jet. Les résultats ont été classés en  $4$  groupes en fonction de la gamme de paramètres de surface libre,  $(H - Z_0)/l_M$ , où  $l_M$  est l'échelle de longueur, que Sobey et al. (1989) ont suggéré de calculer en utilisant,

$$l_M = \left(\frac{\pi}{4}\right)^{0.25} D_0 Fr \quad (12)$$

où  $Fr$  est le nombre de Froude. À la suite de l'étude expérimentale, Sobey et al. (1989) ont fourni les données concernant la trajectoire centrale du jet pour les essais dans chaque catégorie. Deux tests de chaque catégorie ont été simulés (Tableau 5) et comparés aux résultats expérimentaux pour la validation du modèle, comme le montre la Figure 9. Une analogie prometteuse entre les résultats expérimentaux et de simulation a été observé. Une petite différence entre les résultats peut être remarquée dans Figure 9 pour les catégories 1 et 2, alors que cette différence est négligeable compte tenu des valeurs des étiquettes de l'axe  $z$ . Ces résultats prouvent que le modèle hydrothermique mis en œuvre est capable de modéliser la dispersion des débits pour le cas d'un système SWAC.

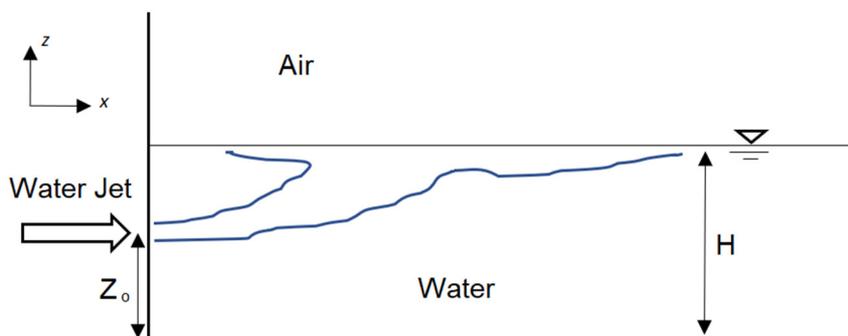


Figure 8. Schéma du test de Sobey et al. (1989).

Tableau 5. Test choisi pour la modélisation hydrothermique.

Catégories	Catégories Non.	Nombre de tests dans la catégorie	Sim. Numéro d'épreuve	H (m)	Z <sub>0</sub> (m)	l <sub>M</sub> (m)	Débit ( l/s)
$0.075 \leq (H - Z_0)/l_M \leq 0.1$	1	5	58	0,1	0,075	0,266	0,173
			59	0,1	0,075	0,327	0,212
$0.125 \leq (H - Z_0)/l_M \leq 0.15$	2	3	57	0,1	0,075	0,191	0,125
			65	0,1	0,05	0,393	0,254
$0.3 \leq (H - Z_0)/l_M \leq 0.4$	3	8	45	0,2	0,05	0,382	0,252
			61	0,1	0,05	0,135	0,088
$0.5 \leq (H - Z_0)/l_M \leq 1.0$	4	16	36	0,2	0,1	0,128	0,083
			43	0,2	0,05	0,254	0,170

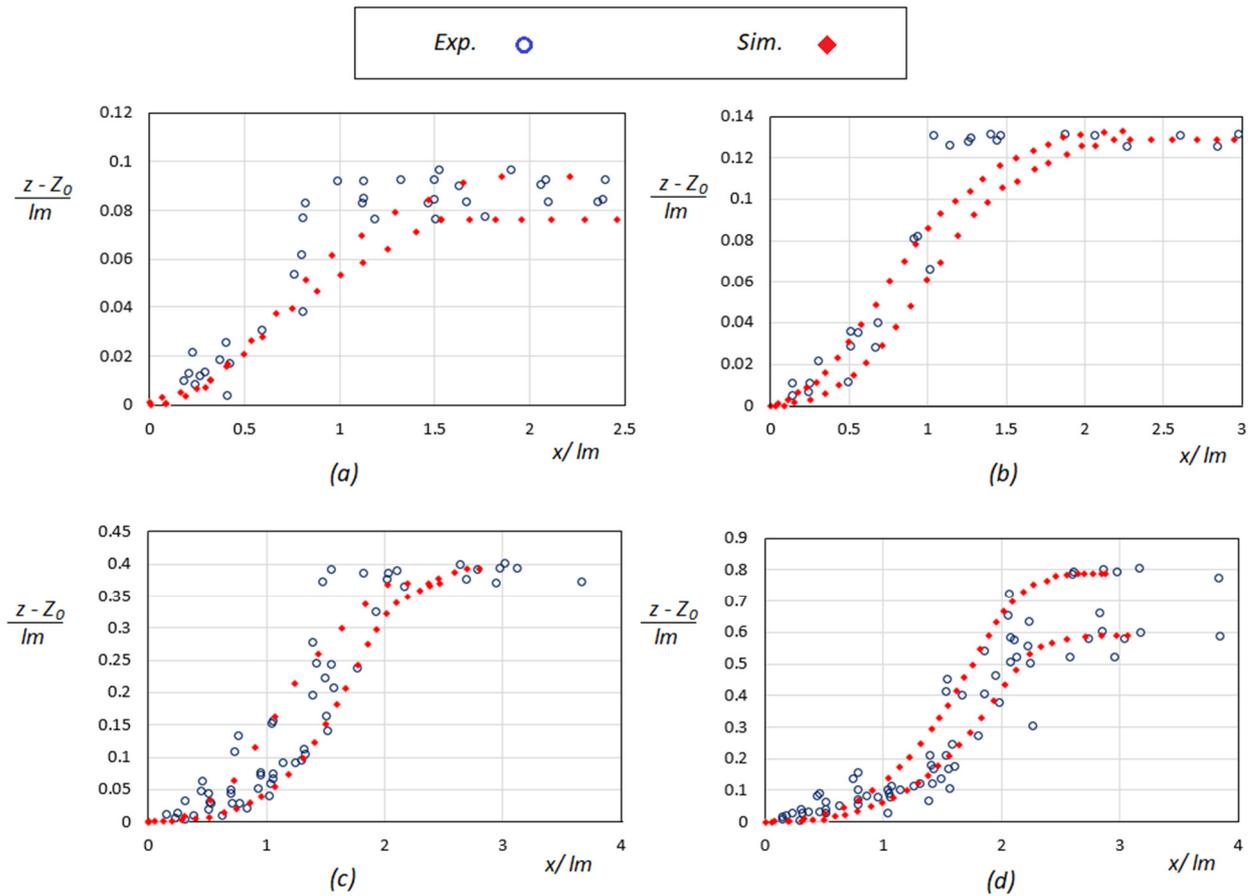


Figure 9. Résultats expérimentaux et de simulation pour le cas d'essais hydrothermiques par Sobey et al. (1989) pour différentes catégories, (a) No.1, (b) No.2, (c) No.3, (d) No.4.

### 3.3. Simulateurs

#### 3.3.1. Cas de test 2D avec une dispersion de décharge pour différents niveaux d'eau

Dans ce cas de test, il n'y a pas de vague ou de courant dans le domaine et l'eau est stagnante. Une entrée d'eau chaude,  $T = 320 K$ , du côté droit du domaine, côté côtier, est évacuée vers le domaine d'une température ambiante de  $T = 300 K$ .

Trois niveaux d'eau différents ont été pris en compte pour ce cas d'essais pour les interactions de rejet d'eau chaude avec les conditions de marée basse, moyenne et haute (voir Figure 10). Pour chaque cas, le domaine de calcul comprend environ 10 000 grilles, avec une taille de cellule plus fine près de l'interface et de la zone de décharge (voir Figure 11).

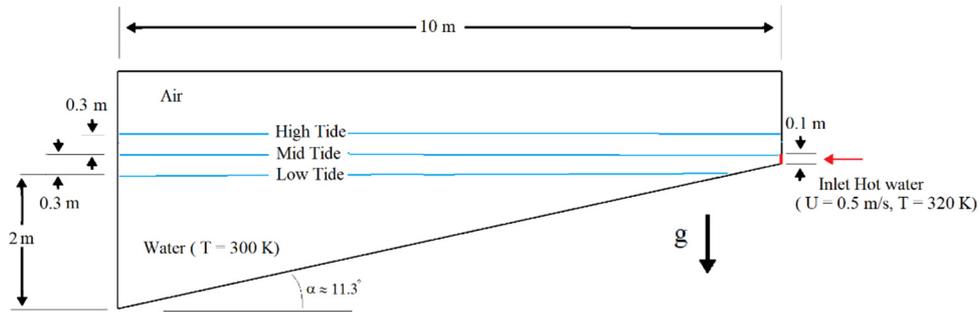


Figure 10. Schéma du domaine pour 3 niveaux d'eau différents.

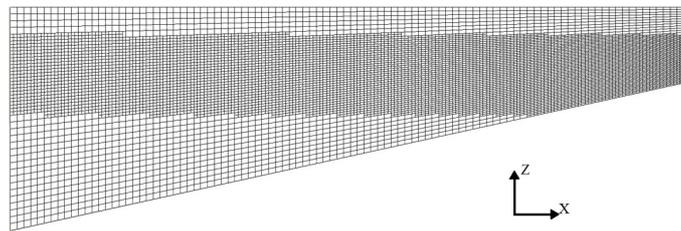


Figure 11. Domaine de calcul pour le cas du niveau d'eau à mi-marée.

Les résultats de distribution de température après 40 et 80 s de simulation sont fournis dans Figure 12, Figure 13 et Figure 14, respectivement pour les cas de marée basse, moyenne et haute. Le résultat de la simulation montre que dans tous les cas, le flux d'eau chaude d'entrée a initialement tendance à se fixer à la surface du lit adjacent et à résister à la mixtion, un phénomène appelé effet Coanda. Après cette étape, lorsque le mouvement du fluide est dominé par l'effet de flottabilité dû à la différence de densité entre l'eau chaude et l'eau froide ambiante, le flux d'eau chaude se déplace vers le haut et atteint la surface libre ou l'interface eau/air. Les résultats de la simulation révèlent que l'effet de flottabilité empêche l'eau chaude de se mélanger à l'eau ambiante et, par conséquent, l'eau chaude se répandra sur la surface libre. Ces résultats illustrent que même une petite différence de température entre l'eau de décharge chaude et l'eau froide ambiante, dans ce cas 20 K, peut avoir un impact notable sur le comportement de mélange de l'eau de décharge.

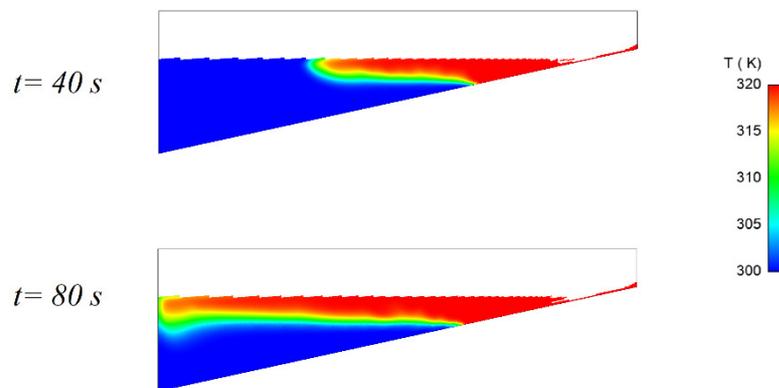


Figure 12. Simulations pour le cas de la marée basse.

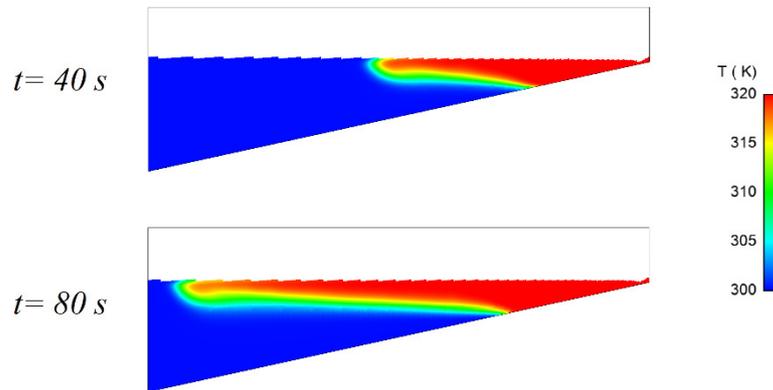


Figure 13. Simulations pour le cas de mi-marée.

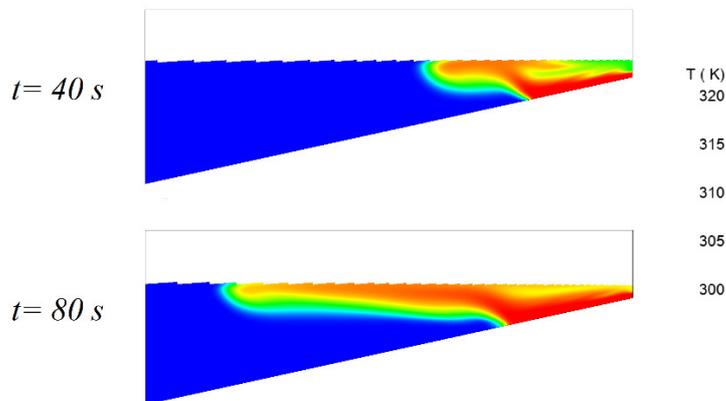


Figure 14. Simulations pour le cas de marée haute.

### 3.3.2. Cas de test 3D de dispersion de décharge pour différentes vitesses de courant

Dans ces cas de test, une condition très proche de l'eau de décharge du système SWAC pilote du laboratoire de Brixham vers le port de Brixham est modélisée. La figure montre l'emplacement des canalisations de captage et d'évacuation au port de Brixham. La canalisation de décharge est située sur le littoral. En raison de la très faible valeur de l'eau de décharge (débit approximatif de 100 à 200 *lit/min*), une géométrie 20 m × 20 m a été étudiée (ligne pointillée rouge sur Figure 15). Figure 16 montre la condition supposée pour les simulations. Une décharge d'eau chaude,  $T = 310\text{ K}$ , du côté côtier de la géométrie, dans un domaine 3D avec une température ambiante de  $T = 300\text{ K}$  est simulée. En raison de la présence du brise-lames au port de Brixham, les impacts des vagues sont négligés. Par conséquent, les simulations ont été exécutées uniquement sous courant en raison du flux de marée. Trois vitesses de courant différentes,  $U_{current} = 0,1 ; 0,05 ; 0,01\text{ m/s}$ , ont été étudiées et ont été choisies en fonction de la vitesse maximale et minimale du courant dans le port de Brixham à partir des données Copernicus. La géométrie de la pente du lit a été estimée sur la base des données bathymétriques disponibles. L'entrée de décharge dans le domaine est considérée à 5 m de l'entrée du flux de courant.

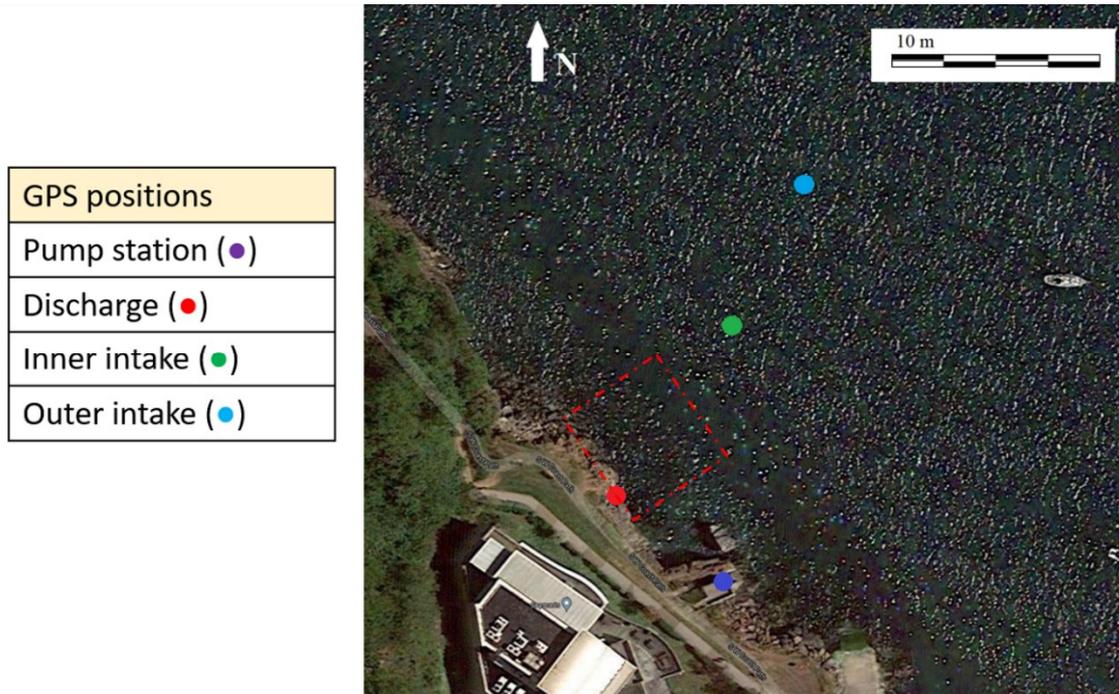


Figure 15. Domaine considéré pour le cas test 3D de la dispersion des décharges basé sur le site de Brixham.

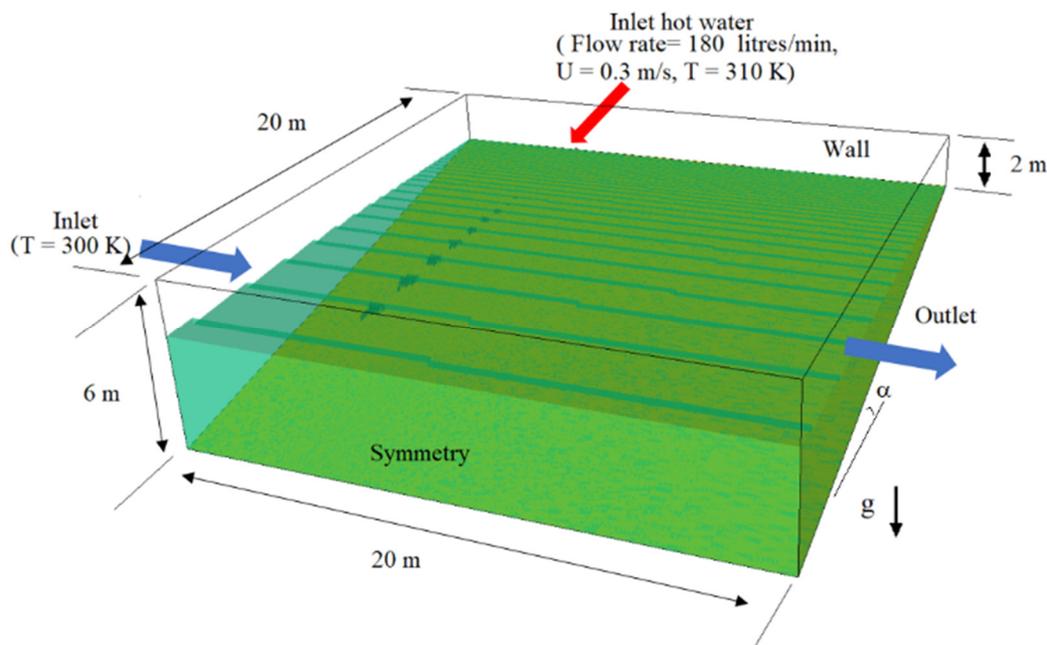


Figure 16. Domaine généré pour le cas de test 3D de la dispersion des décharges basé sur le site de Brixham.

Un domaine de calcul avec environ 1,2 million de grilles de cellules avec un maillage plus fin près de la zone de décharge a été généré. Chaque simulation a été exécutée pendant  $t = 100$  s. Le résultat de la simulation au  $t = 100$  s est présenté à Figure 17. Sur Figure 17, la limite du lit du domaine de calcul

est représentée en vert, l'interface eau/air est présentée en bleu clair. Pour suivre la dispersion du panache d'eau chaude, une technique d'iso-surface pour  $T= 301 K$  est appliquée, qui s'affiche en orange. Dans les résultats, la dispersion du panache est clairement dominée par la direction et l'amplitude du flux de courant. L'augmentation de la vitesse du courant augmente la longueur de propagation du panache vers la direction du flux de courant. D'autre part, il a été observé que presque dans tous les cas, le panache d'eau chaude était attaché à la surface inférieure du domaine en raison de l'effet Coanda alors que cet impact est plus fort à vitesse d'écoulement plus élevée. Cela peut être dû à une petite différence de température entre la décharge d'eau chaude et l'eau ambiante et à l'impact du flux de courant à plus grande vitesse qui a conduit à un mélange plus rapide de la décharge avec l'eau ambiante.

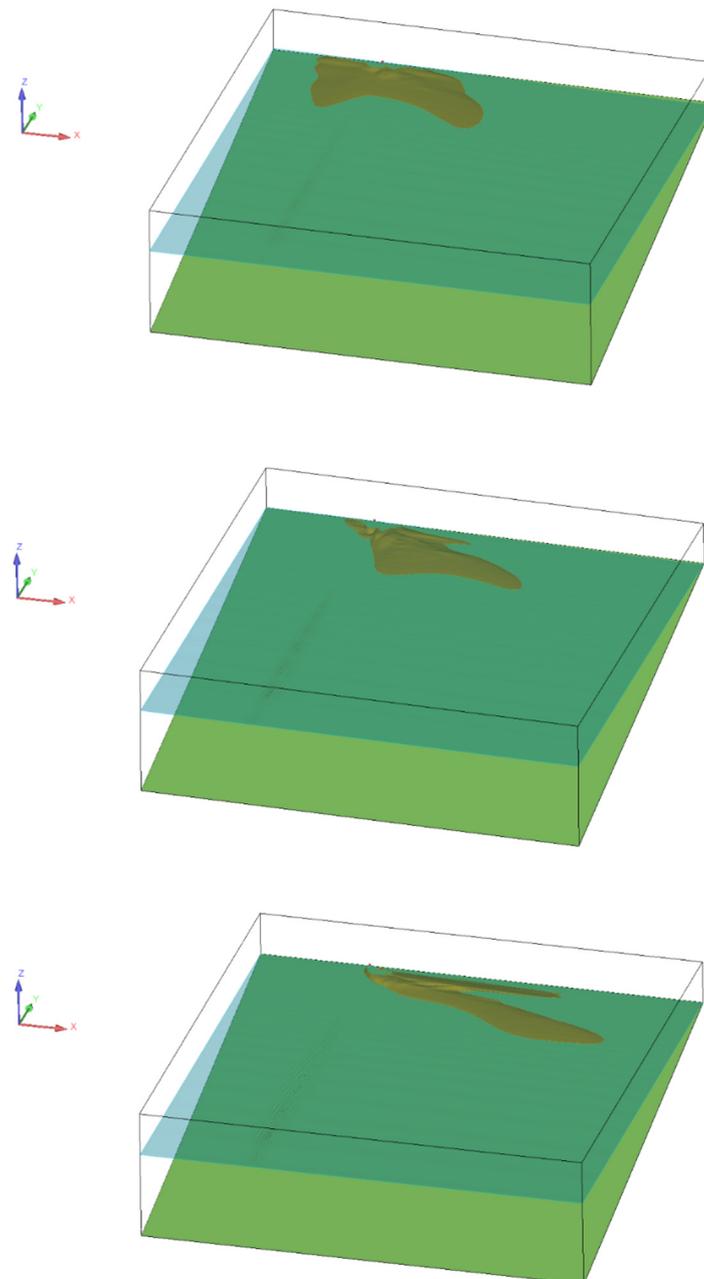


Figure 17. Résultats de simulation pour le cas test 3D de la dispersion des décharges basé sur le site de Brixham.

## 4. Les références

AIRY, G. B. 1845. *Tides and waves*, B. Fellows.

LE MÉHAUTÉ, B. 2013. *An introduction to hydrodynamics and water waves*, Springer Science & Business Media.