

Modélisation Numérique De L'Impact Des Vagues Sur Une Structure De Protection Côtière : Cas De La Région Boeny

¹TIANDRAZA Marsi Meluce, ²ROGER Andriantsitoha Romuald, ³HANTA Tina Olga, ⁴VAVIZARA Sylvie, ⁵MAXWELL Djaffard

¹Doctorant, Ecole Doctorale du Génie du Vivant et Modélisation, Université de Mahajanga, Madagascar
marsimeluce@gmail.com

²Maître de Conférences, Faculté des Sciences, Technologie et Environnement, Université de Mahajanga, Madagascar
andriantsitoharomualdr@gmail.com

³Maître de Conférences, Institut Supérieur des Sciences et Technologies de Mahajanga, Université de Mahajanga, Madagascar
htinaolga@gmail.com

⁴Doctorant, Ecole Doctorale du Génie du Vivant et Modélisation, Université de Mahajanga, Madagascar
vavizarasyylvie@yahoo.fr

⁵Professeur, Institut Supérieur des Sciences et Technologies de Mahajanga – Faculté des Sciences, Technologie et Environnement, Université de Mahajanga, Madagascar

Auteur correspondant : MAXWELL Djaffard ; djafmax@yahoo.fr



Résumé : Ce travail présente un modèle numérique pour simuler l'interaction entre les vagues et une structure de protection côtière dans la région Boeny. Le calcul numérique consiste à approcher la solution exacte sur un domaine discrétisé, ici à l'échelle réduite 1/15 afin de limiter les coûts et les risques d'essais à grande échelle. Le logiciel ANSYS Fluent est utilisé avec la méthode des volumes finis, des modèles de turbulence et une bathymétrie inclinée $\alpha = 5.42^\circ$ pour résoudre les équations de Navier-Stokes. Les conditions aux limites sont imposées via des fonctions définies par l'utilisateur (UDF), à partir de données de vagues représentatives. L'analyse repose sur plusieurs points de prélèvement (#P1, #P2, #P3, #P11, #P22, #P33), le point #P2 correspondant au pic de pression. Quatre paramètres sont étudiés : hauteur de vague, vitesse, pression dynamique, pression absolue, auxquels s'ajoute le poids du bloc. Cinq hauteurs significatives extrêmes (1,5 à 3,5 m) sont testées. Les résultats montrent que, pour chaque cas, la pression dynamique croît fortement avec la hauteur de vague, passant de l'ordre de 10^2 Pa à plusieurs 10^3 Pa, tandis que la pression absolue augmente d'environ $9,7 \times 10^4$ Pa à plus de $10,45 \times 10^4$ Pa. Les vitesses locales au point #P2 varient d'environ 0,7 m/s ($H_s = 1,5$ m) à près de 4 m/s ($H_s = 3,5$ m). Un modèle mathématique par régression multiple non linéaire relie finalement ces paramètres hydrodynamiques au poids requis des blocs, fournissant un outil de dimensionnement adapté à cette gamme de conditions de la houle.

Mots Clés : Modélisation, Vagues, Pression, Turbulence, Stabilité.

I. INTRODUCTION

La modélisation mathématique et les outils numériques associés sont utilisés depuis plus de 50 ans en mécanique des fluides dans des domaines variés tels qu'en hydrodynamique permettant de modéliser les écoulements sur un obstacle, par exemple la zone côtière, les écoulements dus à une rupture d'une digue, le déferlement d'eau à la zone littorale. L'outil mathématique est devenu un complément multidisciplinaire (mathématiques, calculs informatiques, sciences physiques) essentiel aux sciences expérimentales, notamment lorsqu'il s'avère dangereux voire impossible d'effectuer certaines mesures qui ne sont pas reproductibles en laboratoire ou ayant un coût trop important. Un modèle mathématique est une approximation abstraite de la réalité des processus. Un modèle comme toute entité scientifique est provisoire et réfutable. De manière plus pragmatique, il s'agit d'une simplification de la réalité selon un certain nombre de caractéristiques pertinentes pondérées par les données disponibles et l'objectif poursuivi.

La simulation numérique s'appuie sur un modèle mathématique souple, qui permet de calculer des solutions pour reproduire la réalité physique. Les modèles numériques représentent un moyen relativement accessible pour disposer d'une description spatiale et temporelle de l'écoulement, en termes de champs de vitesse, et de hauteur d'eau, à laquelle on peut coupler des modules de transport, et récemment de morphodynamique.

Dans le but de développer un outil numérique, entièrement contrôlable et modifiable à l'envie selon nos besoins, un modèle doit répondre à un certain nombre de critères tels que l'existence d'au moins une solution. Un calcul numérique revient à s'approcher en continu par des valeurs discrètes proches de la solution exacte. Autrement dit, à chaque nouvelle étape de calcul discret, on altère les données selon la possibilité d'ajouter ou soustraire la prise en compte de nombres de paramètres.

II. MISE EN EQUATION DANS L'ANSYS FLUENT

La méthode VOF (Hirt and Nichols, 1981) est utilisée pour simuler l'interaction des vagues sur la structure verticale. Dans le progiciel ANSYS Fluent, cette méthode permet de modéliser deux ou plusieurs phases non miscibles en résolvant un seul ensemble d'équations pour la quantité de mouvement et en suivant la fraction volumique de chaque fluide dans tout le volume [1]. Pour une phase (air et liquide) ajoutée au modèle, la fraction volumique dans les cellules calculées est définie comme une variable. Les fractions de volume sont regroupées à chaque volume de contrôle. Les champs par phase et les valeurs de volume moyen sont partagés pour toutes les variables et les propriétés. Les propriétés et les variables dans les cellules sont représentés comme l'une des phases ou comme un mélange en fonction des valeurs α_q de la fraction volumique [2] [3]. Pour ce dernier, il existe trois cas :

1^{er} cas : $\alpha_{air} = 1 - \alpha_{eau}$, interface entre l'eau et l'air

2^{ème} cas : $\alpha_{eau} = 0$, ceux qui sont sans eau et complètement d'air ($\alpha_{air} = 1$)

3^{ème} cas : $\alpha_{air} = 0$, ceux qui sont sans air et complètement d'eau ($\alpha_{eau} = 1$)

Pour q ème fluide et un ou plusieurs fluides, le modèle numérique employé consiste essentiellement l'équation de continuité [3]:

$$\frac{1}{\rho_q} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\rho_q \alpha_q) + \nabla (\rho_q \alpha_q \vec{u}_q) \right] = S_{\alpha_q} + \sum_p (\dot{m}_{rq} - \dot{m}_{qr}) \quad (1)$$

Tel que ρ est la densité volumique, $\dot{m}_{qr}$ est le transfert de masse instantané de la phase q vers la phase r , $\dot{m}_{rq}$ est le transfert de masse instantané de la phase r vers la phase q et S_{α_q} est le terme source.

L'équation du volume fraction est donnée par la relation (135)(2)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \vec{u}) = 0 \quad (2)$$

Initialement le terme source (S_{α_q}) est nul mais cette valeur peut être ajoutée dans l'équation (2) en utilisant UDF. Donc, nous avons compilé l'UDF avant l'exécution du programme. Alors l'équation du mouvement est donnée par la relation :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{u}) + \nabla (\rho \vec{u} \vec{u}) = -\nabla P + \vec{\nabla} \left[\mu (\vec{\nabla} \cdot \vec{u} + \vec{\nabla} \cdot \vec{u}^T) \right] + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3)$$

Où P , $(\rho \times \vec{g})$, μ et $\vec{F}$ sont respectivement la pression statique, la force gravitationnelle, la viscosité et la force extérieure.

1. Les caractéristiques des matériaux

La formulation de la méthode VOF (Hirt and Nichols, 1981) [1] utilise le paramètre de fraction volumique pour simuler un mélange non miscible des deux phases ou plus. Cette méthode est souvent utilisée dans les solutions dépendant du temps dans le module Fluent. En simulation, il y a deux phases qui sont l'air et l'eau. Les propriétés des phases sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Propriétés des matériaux utilisés dans la simulation

Matériels	Densité (kg/m ³)	Viscosité (kg/ms)
Air	1.225	1.7894 x 10 ⁻⁵
Eau-liquide ($H_2O < l >$)	998.2	0.001003

2. Fonction définie par l'utilisateur (User Defined Function : UDF)

Les caractéristiques des ondes générées sont données par le mouvement des efforts sur la structure du domaine de calcul. Dean (Dean and Dalrymple, 1991) [4] définit la fonction de transfert qui est donnée par la relation (4). Cette fonction de transfert relie la hauteur des vagues et le déplacement du piston pour générer l'onde avec les caractéristiques souhaitées.

$$\left(\frac{H}{S}\right)_{Piston} = \frac{2(\cosh(2kd) - 1)}{\sinh(2kd) + 2kd} \quad (4)$$

$$(S)_{Piston} = H \frac{\sinh(2kd) + 2kd}{2(\cosh(2kd) - 1)} \quad (5)$$

Où H est la hauteur des vagues, S est le déplacement du piston, d est la profondeur et $k = 2\pi/L$ le nombre d'onde. D'après Liu dans (Liu et al., 2009) [5] l'équation qui contrôle le mouvement de la paroi mobile est donnée par la relation (6) où S_0 est le déplacement maximum du piston (générateur de vague), ω la vitesse angulaire exprimée en fonction de la fréquence $\omega = 2\pi f$. Cette relation est due à la période T et toutes les hauteurs des vagues sont exprimées par rapport au mouvement du piston en raison de l'équation dépendant du temps t .

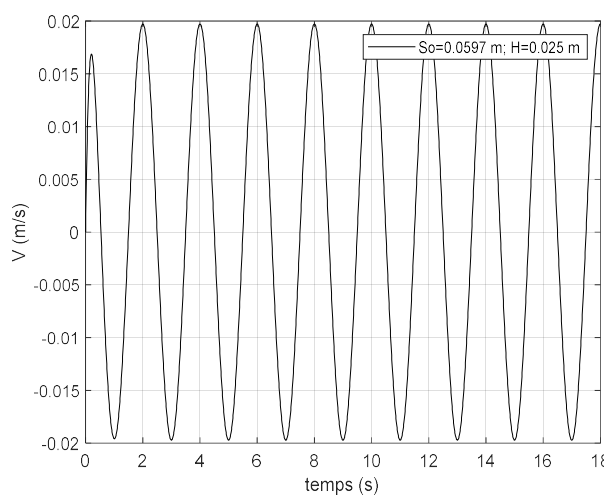
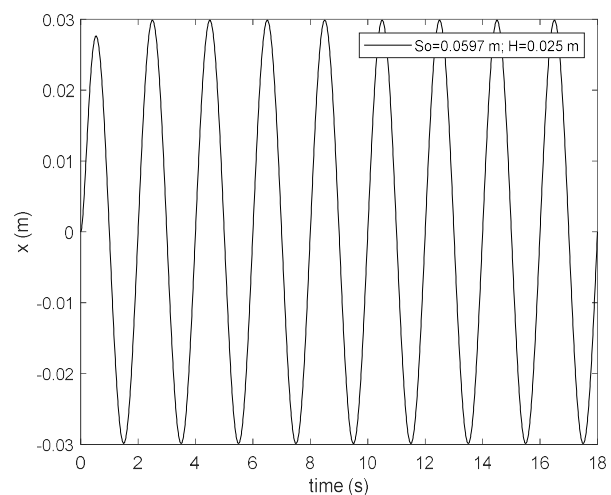
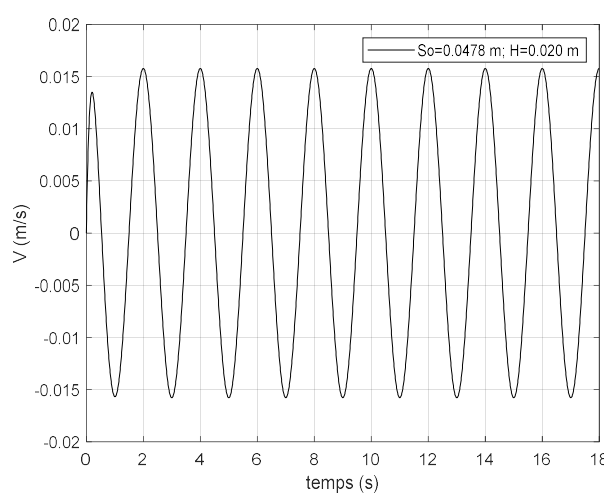
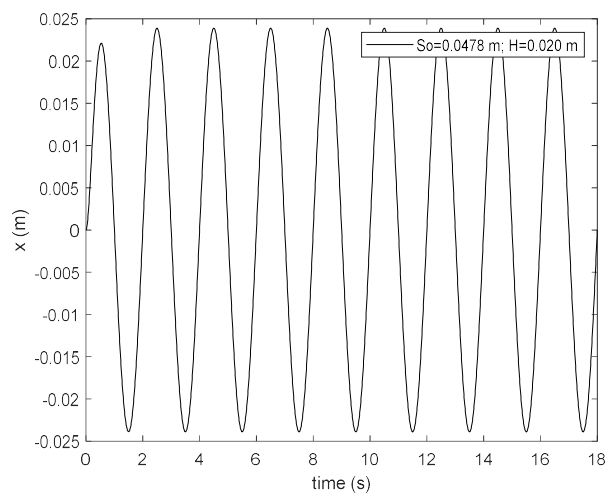
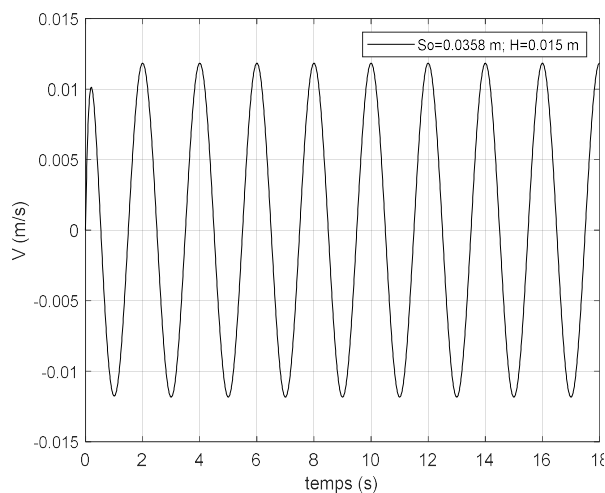
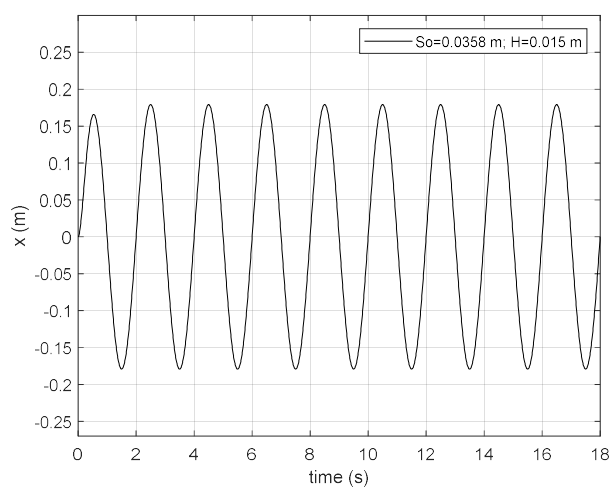
$$x(t) = \frac{S_0}{2} \left(1 - \exp\left(-\frac{5t}{2T}\right) \right) \sin(\omega t) \quad (6)$$

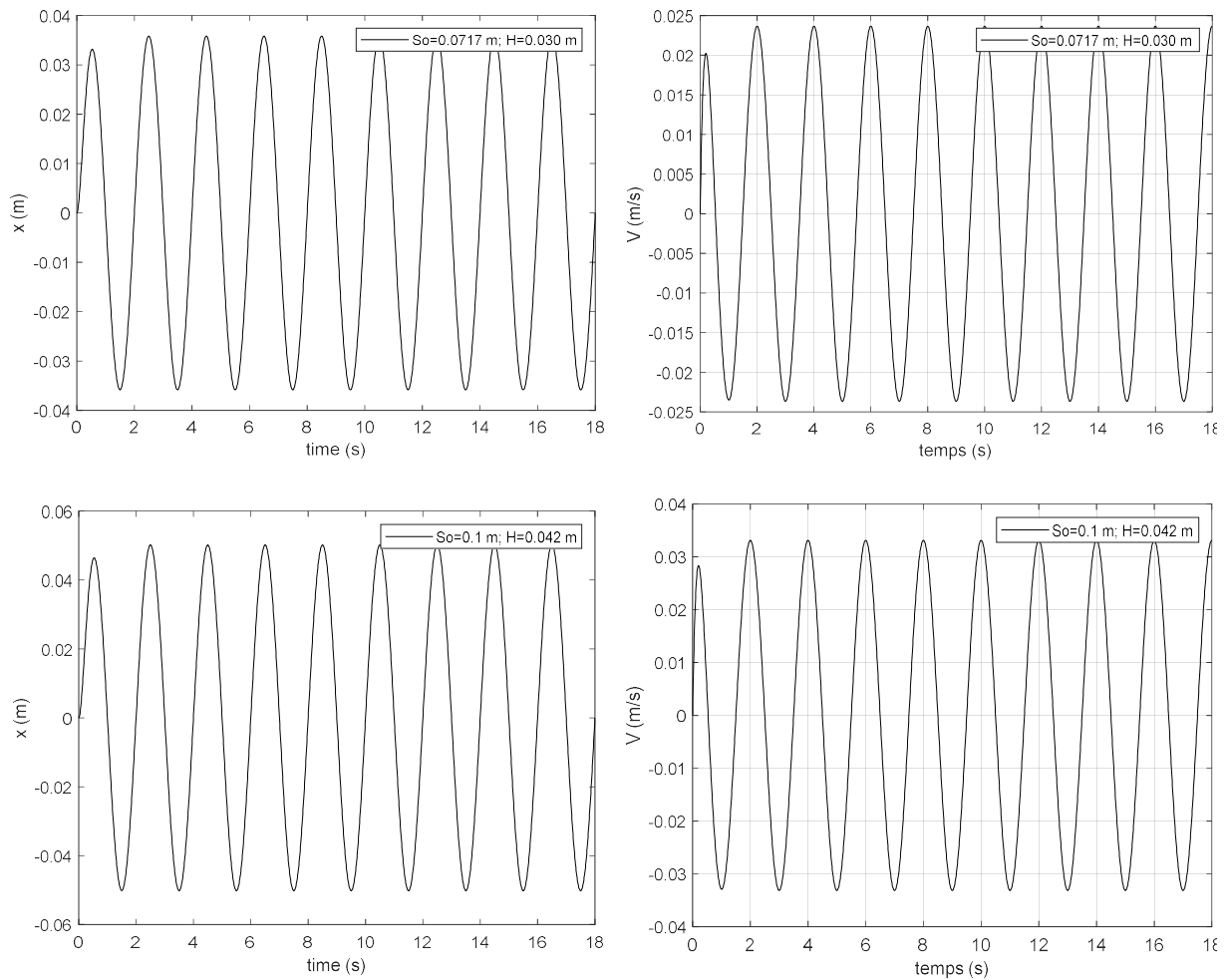
La dérivée par rapport à t de l'équation (6) donne la vitesse de la paroi (paroi mobile) dont la relation est donnée par l'équation (7) :

$$V(t) = \left(\frac{S_0}{2}\right) \left[\left(1 - \exp\left(-\frac{5t}{2T}\right) \right) \omega \cos(\omega t) + \frac{5}{2T} \left(1 - \exp\left(-\frac{5t}{2T}\right) \right) \sin(\omega t) \right] \quad (7)$$

D'après l'équation de Navier-Stokes, nous pouvons tirer l'accélération du piston en dérivant la vitesse par rapport au temps $a(t) = (dV(t) = d(t))$. Pour la simulation numérique, les équations (6) et (7) sont utilisées lors de la préparation de l'UDF et à l'estimation des caractéristiques des vagues générées dans l'éditeur de langage C++.

Un générateur à vague est caractérisé par les courbes de déplacement (figure 1a) de la paroi et sa vitesse (figure 1b). Le signal de déplacement est périodique et proportionnel à la vitesse de la paroi. Nous pouvons contrôler le mouvement de la paroi mobile selon la hauteur des vagues désirées en réglant la distance parcourue à partir de la paroi et sa vitesse comme l'indique la figure 1b.





a) Contrôle de mouvement de la paroi mobile

(b) Vitesse de déplacement de la paroi mobile

Figure 1 : Courbe caractéristique de la Moving-Wall

La figure (2) nous montre la vitesse de déplacement de la paroi en fonction de la hauteur des vagues souhaitées. Nous constatons que les figures (2a) et (2b) représente la valeur réelle en faisant à l'échelle réduite de la vitesse en fonction de la hauteur des vagues, elle augmente proportionnellement à la hausse de la vitesse du générateur.

La vitesse de déplacement de la Moving-Wall est en phase avec la vitesse à échelle réelle

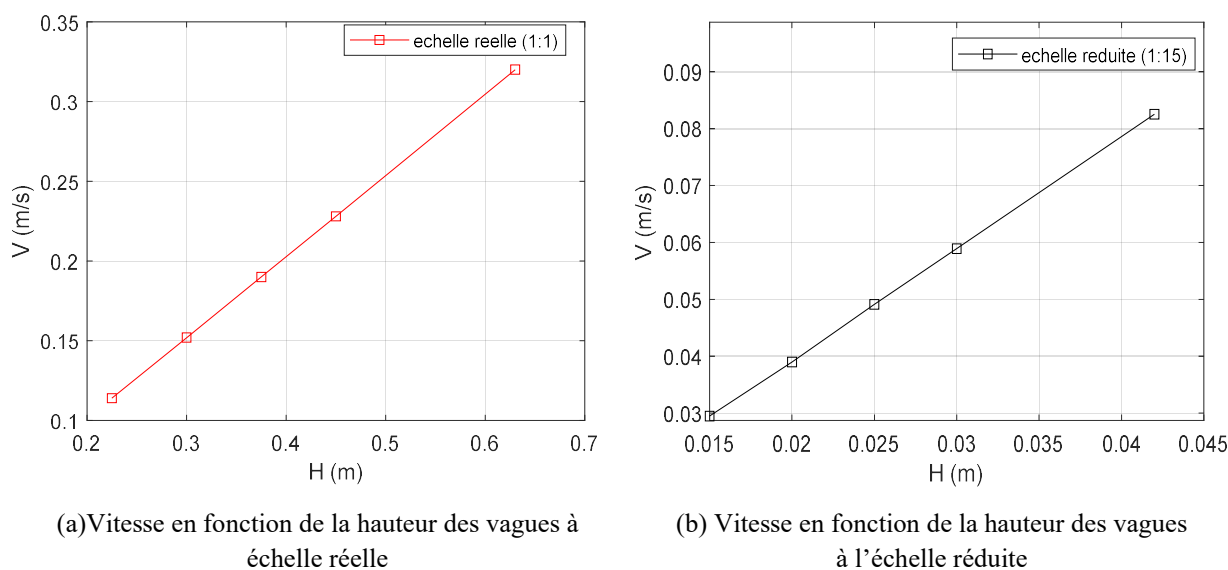


Figure 2 : Vitesse de déplacement de la paroi en fonction de la hauteur des vagues souhaitées

3. Discrétisation du domaine

La géométrie du domaine de calcul et le maillage sont créés à l'aide de DesingModeler et maillage ANSYS-Fluent. Il s'agit d'un canal à houle rectangulaire de longueur 15 m et de hauteur 1,8 m. Il se divise en deux parties. Dans la partie gauche, le fond est plat, tandis que la partie droite est structurée par une pente formée par un angle α et un talus vertical avec une portion de cercle s'agit d'amortissement de pression des vagues avec un rayon de courbure r .

3.1. Structure du domaine d'étude

La décomposition du domaine d'étude en plusieurs zones est une étape préliminaire sur la figure 3. La zone (1) est maillée pour servir le déplacement du générateur, la zone (2) se situe dans la partie centrale du domaine, nous ne raffinons le maillage que sur l'interface air-liquide pour un meilleur affichage, précision et résolution. La zone (3) est raffinée pour assurer le traitement des phases lors du changement brusque de fond. Le maillage dans la zone (4) et (5) assure le traitement violent de l'interaction des vagues sur la structure (au pied du mur, le long et au-dessus du mur). La décomposition est recommandée par le niveau de précisions souhaitées pour chacune des zones d'écoulement et la convergence de calcul. Les valeurs « dimensionnement arrêté » sont illustrées dans le tableau 2.

À l'interface air-liquide, sur la partie centrale des zones (1), (2), (3) et zone (4), le domaine est totalement raffiné avec $\Delta z = 0.008$ m et Δx est donnée selon leurs zones respectives (m_a pour la zone (1), m_b pour la zone (2), m_c pour la zone (3) et m_d pour la zone (4) et (5)).

Les zones (1) et (2), (3) et (4) doivent être complémentaires. L'axe du modèle numérique est défini par un repère sur le plan (x, z) et est placé à l'interface air-liquide en amont de la pente.

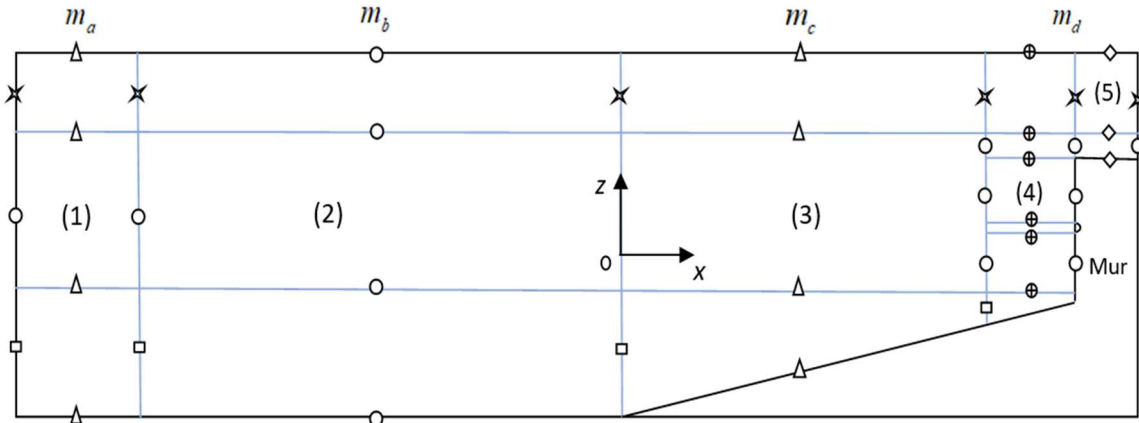


Figure 3 : Zones de maillage et schéma simplifié du dispositif à digue

Le tableau 2 présente la répartition pour chaque niveau : au niveau 0, il comporte au total 19632 cellules et 23732 cellules au niveau 1. L'utilisation du maillage uniforme est bénéfique pour le problème de la surface libre et l'interaction des vagues sur la structure.

Tableau 2 : Mesh CFL level

Nombres cellules	CFL level	Statistiques de face (m^2)		Statistiques de volume (m^3)	
		Min	Max	Min	Max
19632	0	$6,42 \times 10^{-3}$	$5,28 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-5}$	$1,55 \times 10^{-3}$
23732	1				

Le domaine est discrétisé au total de 43364 cellules. Le maillage quadratique est utilisé.

Sous fluent, il est représenté multizone sur la figure 4 :

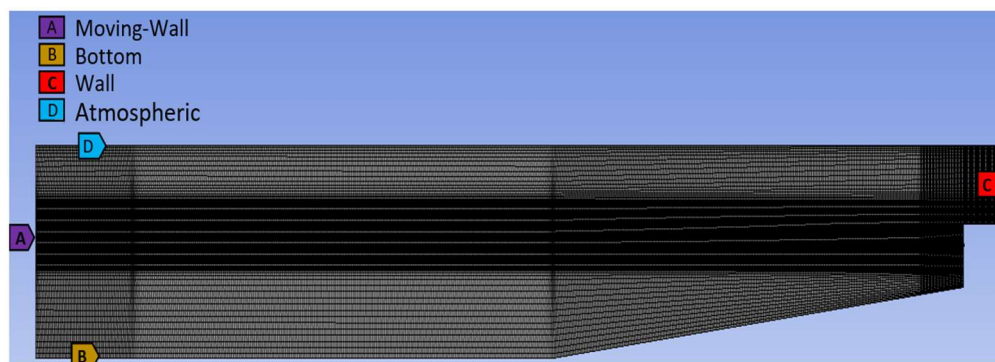


Figure 4 : Maillage multizone sous ANSYS-Fluent.

3.2. Conditions aux limites et entrée de la simulation

La figure 5 représente les conditions de bords du domaine numérique utilisé pour la simulation. Elles sont avantageuses pour modéliser l'interaction des vagues sur la structure verticale dans la modélisation numérique des convertisseurs d'énergie des vagues et pour la protection côtière. Les conditions aux limites sont définies comme suit : la partie supérieure du domaine est définie comme atmosphère (Outlet-pression). Sur la paroi de la partie inférieure du domaine (Bottom) la vitesse est nulle, les conditions latérales gauche et droite sont imposées respectivement moving wall et wall non glissants. Le moving-wall est personnalisé par une macro User-Defined Functions.

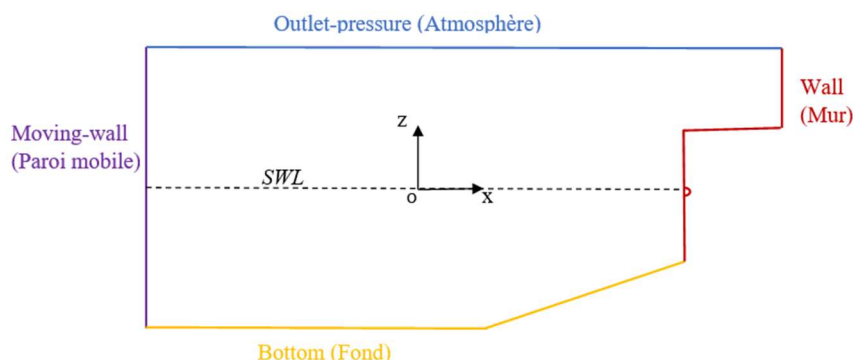


Figure 5 : Représentation schématique du domaine d'étude

- Paramètre d'entrée de la simulation

D'après les études caractéristiques des paramètres des vagues que nous avons faits précédemment, le tableau 3 montre les paramètres d'entrées de la simulation.

Tableau 3 : Les paramètres d'entrées de la simulation numérique

$H_s(m)$		$\lambda(m)$		$T_e(s)$	
Réduite	Réelle	Réduite	Réelle	Réduite	Réelle
0,10 ; 0,13 ; 0,17 ; 0,20 ; 0,23	1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5	1,5	22,5	2	8

- Algorithme de l'User Defined Function

Le mouvement caractéristique du générateur des vagues est configuré à l'aide d'une fonction définie par l'utilisateur (User Defined Function ou UDF). L'organigramme de l'UDF est illustré dans la figure 6. Dans ce code, la translation se fait le long l'axe (O,x).

Après avoir compilé (« *Compiled* ») le programme, le message « *Création de la bibliothèque libudf.lib* » et l'objet « *.libudf...Done* » sont affichés dans le console du logiciel. Ce message permet de vérifier que l'UDF a été bien prise en compte dans le « *Dynamic Mesh zones* ». Alors le « *Mesh Methods-Layering* » est prêt pour le calcul (« *Run* ») par la présence de « *oscillate : libudf* » dans le répertoire.

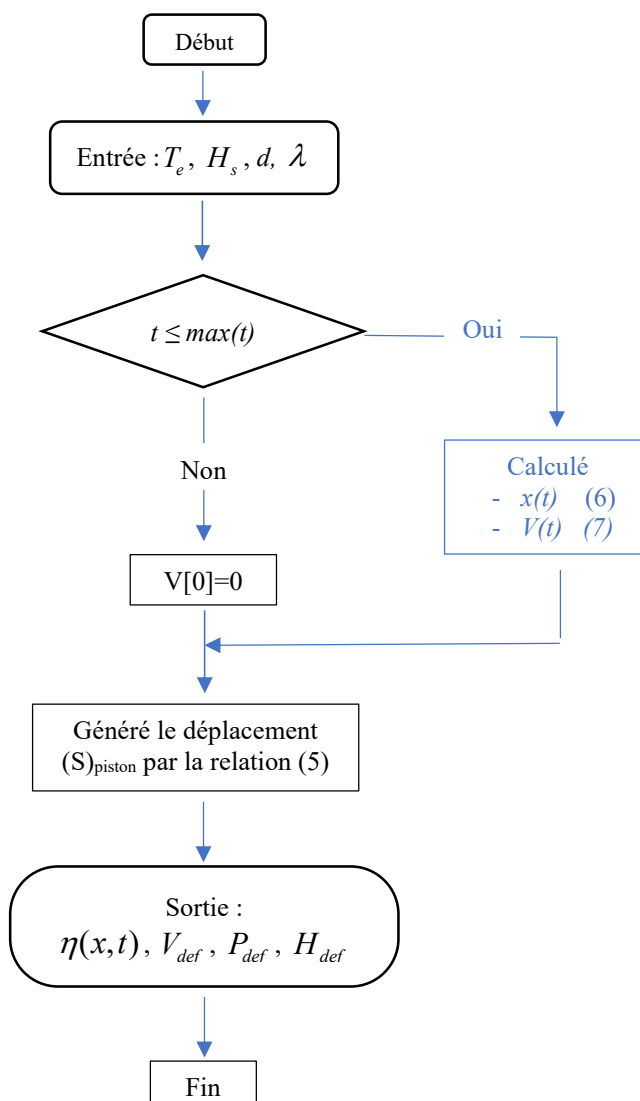


Figure 6 : Organigramme de l'User-Defined Functions (UDF) [6]

- Points de prélèvement des données

Les données analysées peuvent être obtenues à partir des points #P1, #P2, #P3 et #P11, #P22, #P33. Les coordonnées sont représentées sur le tableau 4 et les positions sont présentées sur la figure 7. Lors de l'interaction des vagues avec la structure verticale, la vitesse du jet de la vague est relevée au point #P3, quelle que soit l'importance de la force d'impulsion sur la structure. Ces points sont récapitulés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Les points de prélèvement des données

Points (#P)	#P1	#P2	#P3	#P11	#P22	#P33
$x \text{ (m)}$	6,35	6,34	6,35	6,346	6,34	6,35
$y \text{ (m)}$	0	0,099	0,02	-0,076	-0,27	-0,3

Les emplacements de ces différents points pour relever les données numériques sont schématisés sur la figure 7.

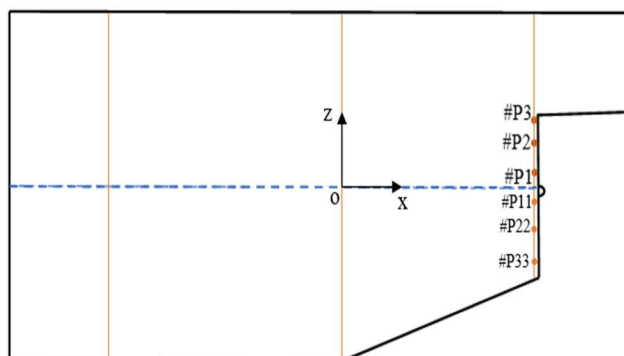


Figure 7 : Modèle numérique d'écoulement de vagues et les points de prélèvement des données

III. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Vitesses atteintes par les vagues

La figure 8 montre la vitesse des vagues varie selon la position des points de prélèvement sur la structure, pour différentes hauteurs de vague. Au point #P2, toutes les courbes présentent un pic de vitesse de valeur maximale étant proportionnellement à la hauteur de la vague incidente. Cela s'explique par un phénomène local comme la concentration d'énergie, un effet de convergence, ou la proximité immédiate d'un impact fort sur la structure. Ensuite, la vitesse diminue en raison de la dissipation due à l'obstacle (par la structure, énergie perdue sous forme de turbulence ou de frottement).

Par chaque position, la vitesse croît selon la hauteur des vagues : plus qu'elle est haute, plus l'énergie transportée et donc la vitesse locale maximale sont élevées. Cela signifie que le comportement de la structure et la répartition de l'énergie sont identiques à chaque position pour #P2 tous les cas étudiés, ce qui traduit une dynamique en phase. Cette formulation permet de montrer que le phénomène étudié conserve le même rythme d'évolution suivant la position, pour toutes les conditions de hauteur testées.

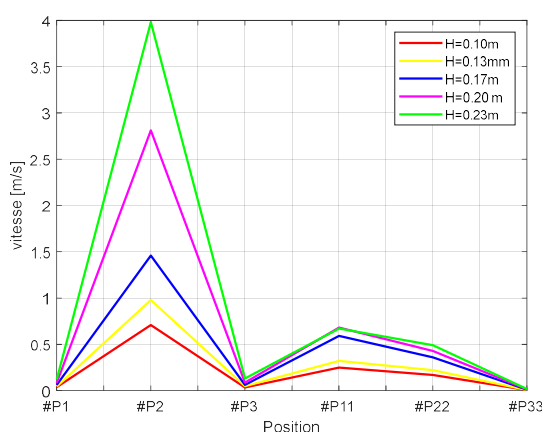


Figure 8 : Représentation de la vitesse des vagues en fonction de la position des points de prélèvement sur la structure

B. Évolution de la pression dynamique des vagues

La figure 9 montre l'évolution de la pression dynamique des vagues en fonction de la position des points de prélèvement le long de la structure, pour différentes hauteurs de vague. Nous avons relevé les données de pression. Au point #P2, nous avons le pic de pression à chaque hauteur de vague et nous avons de 218,86 Pa pour $H=0.10\text{ m}$, 437.1 Pa pour $H=0.13\text{ m}$, 979.76 Pa pour $H=0.17\text{ m}$, 2820.33 Pa pour $H=0.20\text{ m}$, et 4592.26 Pa pour $H=0.23\text{ m}$, un pic massif de pression dynamique, qui augmente avec la hauteur des vagues. Cela indique une zone d'impact fort ou de concentration d'énergie, où la force exercée par les vagues sur la structure est maximale. Après #P2 ou les autres points de prélèvement diminuent par rapport aux points (#P11, #P22, #P33). Cela traduit la

dissipation progressive de l'énergie des vagues due à l'absorption par la structure ou aux frottements au contact. On peut conclure que la pression dynamique diminue au fur et à mesure sur les autres points de prélèvement que au #P2.

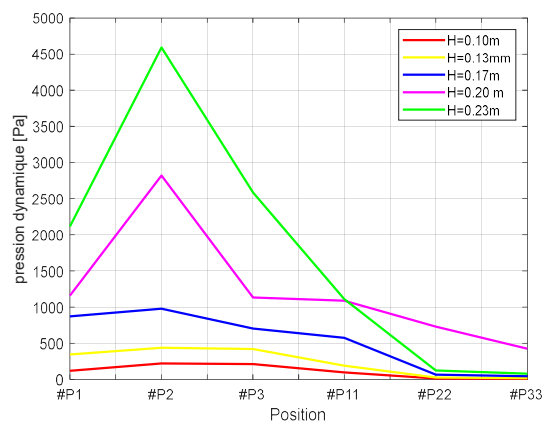


Figure 9 : Représentation de la pression dynamique des vagues en fonction de la position des points de prélèvement sur la structure

C. Évolution de la pression absolue des vagues

La figure 10 représente la variation de la pression absolue des vagues en fonction de la position des points de prélèvement sur la structure, pour différentes hauteurs de vague H . Nous avons qu'elle augmente globalement avec la hauteur de vague : plus H est élevée, plus le niveau d'énergie du fluide et donc la pression exercée localement est importante.

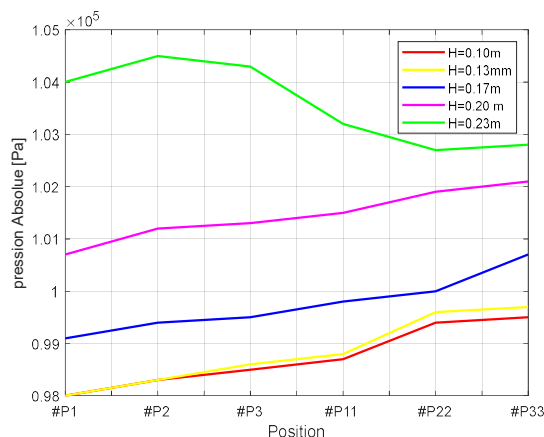


Figure 10 : Représentation de la pression absolue des vagues en fonction de la position des points de prélèvement sur la structure

D. Modélisation des paramètres par la régression multiples

Pour la situation climatologique, logique de la Région Boeny et de connaître les caractéristiques des blocs de masse dans le cas de Mahajanga, on s'intéresse le model de Larras. Il établit donc un lien pratique entre ces grandeurs physiques, en intégrant la pression dynamique P_{dyn} , des vitesses V et les hauteurs significatives H_s pour dimensionner le poids des blocs de protection côtière adaptés.

D.1. Résultats analytique de poids du bloc en fonction des paramètres des caractéristiques des vagues à l'impact.

Nous avons mis les valeurs de poids W_{Larras} du bloc par le modèle de Larras en fonction P_{dyn} , V et H_s par l'expression $W_{Larras} = f(P_{dyn}, V, H_s)$. La figure 11 représente le poids du bloc avec la pression dynamique P_{dyn} . Cette relation est la dépendance non linéaire du poids nécessaire pour stabiliser un bloc à la pression dynamique des vagues, démontrant l'importance d'intégrer les paramètres hydrodynamiques (pression, vitesse, hauteur) pour concevoir des ouvrages résistants en milieu côtier, au fur et à mesure que la pression dynamique des vagues augmente, le poids nécessaire doit être lourd.

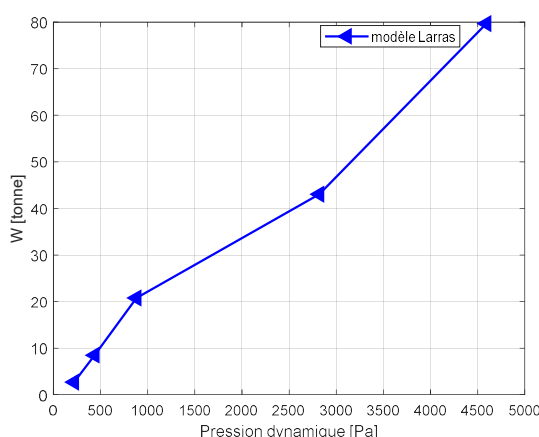


Figure 11 : Variation du poids du bloc en fonction de la pression dynamique des vagues selon le modèle Larras

La figure 12 présente l'évolution du poids nécessaire d'un bloc (W , en tonnes) en fonction de la vitesse des vagues (en m/s), selon le « modèle Larras ». Elle met en relation la stabilité du bloc utilisé pour la protection côtière avec l'énergie des vagues reçues, typiquement associée à la hauteur significative des vagues. On observe une forte augmentation quasi exponentielle du poids du bloc à mesure que la vitesse des vagues augmente : en considérant, pour des vitesses des vagues de 2 à 6 m/s, le poids nécessaire reste relativement inférieur 30 tonnes, tandis qu'à partir de 10 m/s et plus, il croît très rapidement et dépasse 80 tonnes pour 16 m/s.

La vitesse des vagues qui peut être corrélée à la hauteur significative de la houle pour chaque situation de mer, ce qui correspond le poids du bloc requis pour garantir la stabilité contre l'action dynamique des vagues.

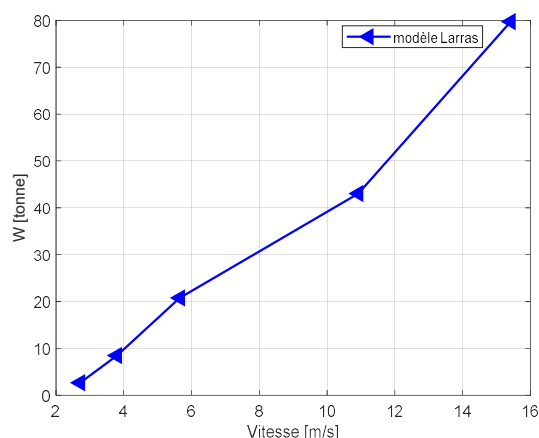


Figure 12 : Variation du poids du bloc en fonction de la vitesse des vagues selon le modèle Larras

La figure 13 montre que le poids des blocs nécessaires à la stabilité augmente de manière fortement non linéaire avec la hauteur significative des vagues. Selon le modèle de Larras, l'augmentation de la hauteur des vagues exige une conception adaptée des ouvrages côtiers afin de protéger les infrastructures littorales.

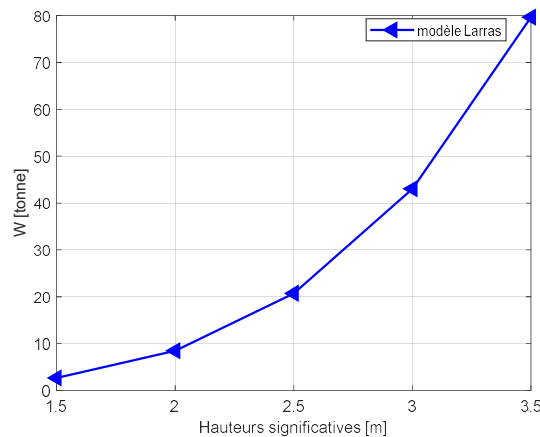


Figure 13 : Variation du poids du bloc en fonction des hauteurs significatives des vagues selon le modèle Larras

D.2. Modèle par régression multiple non linéaire

Un modèle de régression multiple non linéaire permet de relier le poids des blocs à partir des résultats analytiques de poids en fonction des paramètres caractéristiques des vagues. Dans ce modèle, la formule $W = f(P_{dyn}, V, H_s)$ signifie que le poids nécessaire est prédit par une fonction mathématique qui combine ces trois variables de manière potentiellement complexe par la relation (8).

$$W = -20.58 + 0.037P_{dyn} - 11.46 V + 30.18 H_s \quad (8)$$

La figure 14 illustre le poids des blocs calculé à partir du modèle de Larras [W_{Larras}] et du modèle de régression multiple en fonction de trois variables : la hauteur significative H_s , la pression dynamique P_{dyn} et la vitesse V . On observe que le poids croît fortement lorsque ces trois paramètres augmentent, ce qui traduit le fait que des vagues plus hautes et plus énergétiques exercent des efforts plus importants sur les blocs et exigent donc un dimensionnement plus lourd pour garantir leur stabilité. Cette figure montre que le modèle statistique est fiable pour interpoler le poids des blocs en fonction de H_s , P_{dyn} et V , et peut donc être utilisé pour le dimensionnement dans cette gamme de vagues.

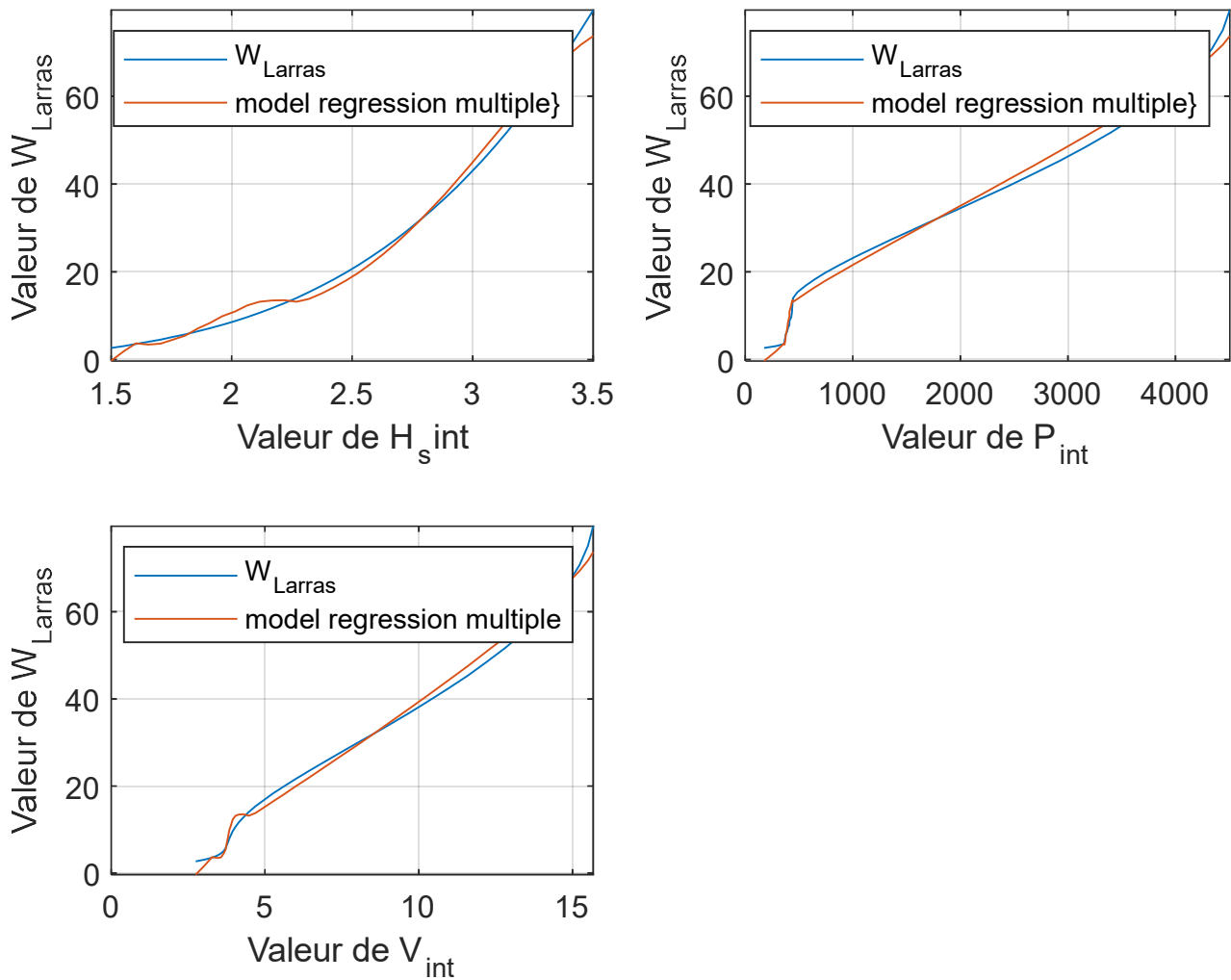


Figure 14 : Poids du bloc en fonction de H_s , P_{dyn} et V .

IV. CONCLUSION

Cet article présente la mise en place d'un modèle numérique sous ANSYS Fluent pour simuler l'interaction entre les vagues et une structure côtière, en utilisant une modélisation bidimensionnelle à l'échelle réduite 1/15, la méthode des volumes finis, un maillage multizone et une bathymétrie inclinée pour résoudre les équations de Navier-Stokes. Quatre paramètres sont étudiés aux points de prélèvement (notamment #P1, #P2, #P3, #P11, #P22, #P33), hauteurs de vague, vitesses, pressions dynamiques et pressions absolues. Pour des hauteurs significatives variant de 1,5m à 3,5m, les résultats montrent une augmentation marquée des pressions et des vitesses avec la hauteur de vague. Un modèle mathématique par régression multiple non linéaire est ensuite utilisé pour relier ces grandeurs au poids des blocs de protection côtière, afin d'évaluer l'impact des vagues et de dimensionner les blocs en fonction des vitesses et pressions maximales enregistrées.

REFERENCES

- [1] Hirt, C. W. and Nichols, B. D. (1981). Volume of fluid (vof) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of computational physics*, 39(1) :201–225.
- [2] Das Neves Gomes, M., de Lima, Y. T. B., Rocha, L. A. O., dos Santos, E. D., and Isoldi, L. A. (2019). Investigação numérica da descontinuidade geométrica entre a entrada ea saída de um conversor de energia das ondas do mar do tipo coluna de água oscilante. *Scientia Plena*, 15(4).
- [3] FGomes, M. d. N., Isoldi, L., Olinto, C., Rocha, L., and Souza, J. (2009). Computational modeling of a regular wave tank. In *2009 3rd Southern Conference on Computational Modeling*, pages 60–65. IEEE.
- [4] Dean, R. G. and Dalrymple, R. A. (1991). *Water wave mechanics for engineers and scientists*, volume 2. world scientific publishing company
- [5] Liu, Z., Shi1, H., and Hyun, B.-S. (2009). Practical design and investigation of the breakwater owc facility in china.
- [6] Frandsen, J., Gauvin-Tremblay, O., and Xhardé, R. (2016). Modélisation de l’impact des vagues sur un mur vertical : une expérience à grande échelle réalisée en canal hydraulique.