

Crédit photo : H. Bonnard / P'

## ÉTUDE NUMÉRIQUE DES EFFETS DE L'AÉRATION SUR LES IMPACTS EAU-SOLIDE

A. BOUQUEREL<sup>(1,2)</sup>, B. BERKANE<sup>(1)</sup>, G. PINON<sup>(1)</sup>, G. PERRET<sup>(1)</sup>,  
H. HAMDANI<sup>(3)</sup>, B. DURET<sup>(3)</sup>, J. REVEILLON<sup>(3)</sup>, F-X. DEMOULIN<sup>(3)</sup>

*alexis.bouquerel@univ-lehavre.fr; belaid.berkane@univ-lehavre.fr; gregory.pinon@univ-lehavre.fr;*  
*gale.perret@univ-lehavre.fr; hamdanih@coria.fr; duret@coria.fr; julien.reveillon@coria.fr;*  
*demoulin@coria.fr*

<sup>(1)</sup>Normandie Univ, UNILEHAVRE, UMR 6294 CNRS, LOMC 76600 Le Havre, France

<sup>(2)</sup>Normandie Univ, UNICAEN, 14000 Caen, France

<sup>(3)</sup>Normandie Univ, UNIROUEN, UMR 6614 CNRS, CORIA 76801 Saint-Étienne-du-Rouvray, France

### Résumé

L'étude de l'impact d'une structure rigide sur l'eau suscite l'intérêt de nombreux projets de recherche depuis quelques années. Ce problème concerne différentes applications techniques et en particulier dans l'environnement naval (énergies renouvelables, applications maritimes, etc.). Dans ce travail, il s'agit d'une configuration inverse où l'eau impacte un solide. En effet, cette étude porte sur la chute d'une colonne d'eau, de section rectangulaire et initialement en suspension au-dessus d'une paroi, qui chute et impacte cette même paroi. Ce cas, dénommé *Ref. Braeunig* et issu de Braeunig *et al.* [1], permet de qualifier le modèle numérique développé sous openFOAM, notamment en comparaison avec les résultats issus de leur publication.

Dans un second temps, deux autres configurations seront testées. La première de ces deux configurations étudie l'influence d'une poche d'air emprisonnée entre la colonne d'eau (le liquide) et la paroi. Ce cas sera quant à lui dénommé *Couche d'air*; il permettra de quantifier l'influence de cette couche d'air, de dimensions imposées et maîtrisées, sur les pics de pression enregistrés. Le dernier cas étudié (dénommé *Aération*) se concentre sur l'aération interne du liquide avec des répartitions de bulles de dimensions et nombre variable. L'objectif est toujours d'étudier l'influence de cette aération imposée sur les niveaux de pics de pression enregistrés.

### I – Introduction

Les précédentes recherches sur ce sujet ont notamment mis en évidence l'importance du piégeage de l'air entre le liquide et la paroi solide [2] ainsi que l'aération de l'eau

sur l'impact [3, 4, 5, 6]. Leurs effets ont été étudiés aussi bien expérimentalement et que numériquement. Lorsqu'il y a présence d'aération, les études ont montré que la pression d'impact et la force associée sont liées au taux d'aération dans le réservoir. Lorsqu'il y a une couche d'air piégée, la présence d'air pendant l'impact diminue la violence de la frappe et produit un comportement de compression/expansion de ce volume d'air. De ce fait, un solveur compressible s'avère donc nécessaire. Et la quantité d'air piégée est liée à la facilité de celui-ci à s'échapper juste avant l'impact. Historiquement, les premières études sur les impacts entre un solide et de l'eau proviennent des travaux de von Karman [7] portant sur les amerrissages forcés des avions avec des constructions à fond plat. von Karman propose que la pression maximale  $P_{max}$  soit liée à  $\rho$  la densité de l'eau, à  $c$  la vitesse du son dans l'eau et à  $U$  la vitesse d'impact selon l'équation suivante  $P_{max} = \rho U c$ . La pression obtenue à partir de cette équation est couramment appelée pression acoustique.

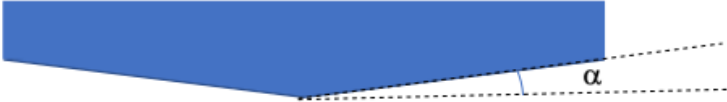
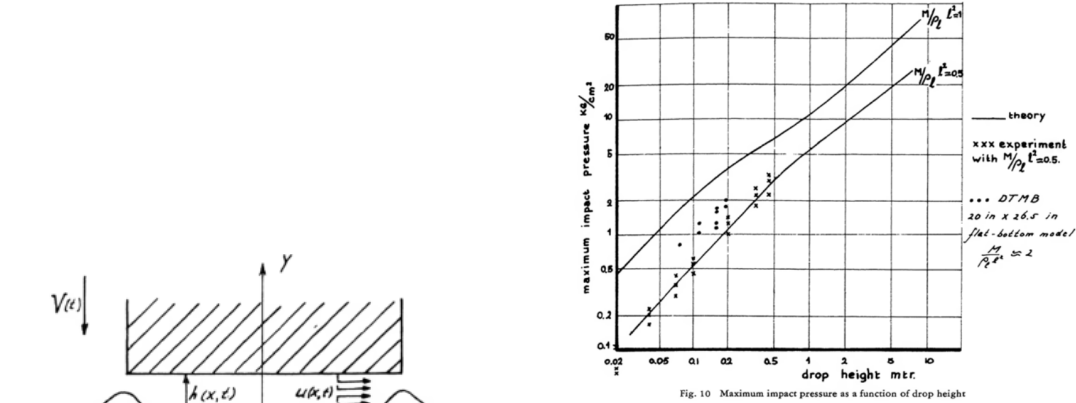


FIGURE 1 – Modèle de la configuration d'impact de plaque selon l'étude de Chaung [8].

Chaung [8] a réalisé quant à lui une étude portant également sur un impact solide/eau, en laissant tomber une plaque plane en acier et d'autres en forme de coin avec des angles allant de 1 à 15 degrés (cf. Figure 1), les lâchant sur une surface d'eau à différentes positions sur la hauteur. À l'aide des essais réalisés, il en est venu à la conclusion que durant l'impact d'une surface plane avec de l'eau, l'air se trouve emprisonné pour un court instant entre la surface plane et l'eau, créant ainsi la première impulsion de la pression. Il a pu observer que seuls les cas avec des angles inférieurs à 1 degré (et notamment lorsque la plaque est plane), emprisonnaient de grandes quantités d'air entre la plaque et l'eau. Toutefois, les plaques avec un angle supérieur ne piégeaient que peu d'air. Plusieurs hauteurs de chute ont été testées, l'augmentation de la hauteur entraînant une augmentation de la vitesse d'impact.



(a) Surface libre au moment de l'impact [9] (b) Pression maximale en fonction de la hauteur de chute [9]

FIGURE 2 – Modèle de la configuration d'impact de plaque selon l'étude de Verhagen [9] et quelques résultats associés.

Verhagen [9], en 1967, a également étudié de manière théorique, mais aussi expérimentalement, les phénomènes qui se produisent durant l'impact d'une plaque plane sur une surface d'eau au repos. La configuration étudiée par Verhagen est très proche de la nôtre, notamment le cas dénommé *Couche d'air*. Son travail porte notamment sur le fait que les résultats expérimentaux doivent être traités avec la prise en compte d'une couche d'air compressible emprisonnée entre l'eau et la plaque plane. Il explique également que le pic de pression n'est que peu influencé par la taille de la plaque ou par la masse de la structure, jusqu'à une certaine valeur. Il trace la valeur maximale des pics d'impact en fonction de la hauteur de chute, donc en fonction de la vitesse d'impact, et obtient les résultats présentés à la Figure 2b.

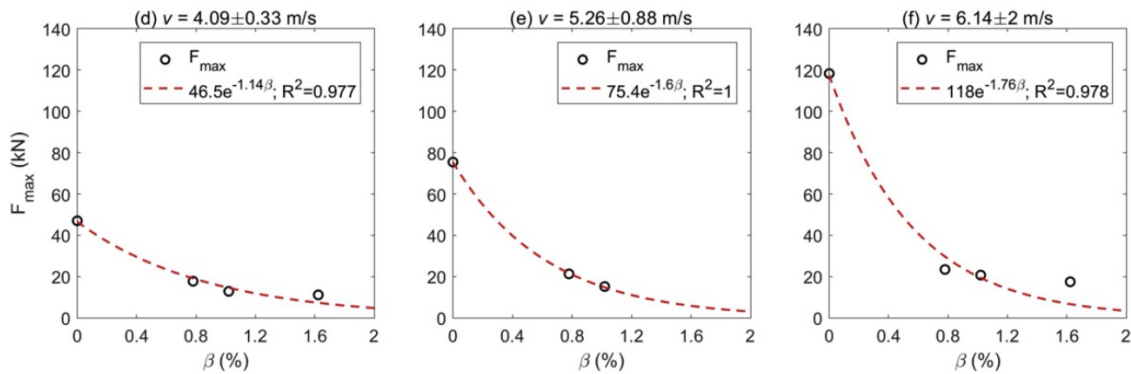


FIGURE 3 – Force d'impact en fonction de la fraction de vide  $\beta$  pour une masse  $m = 52kg$  selon Mai *et al.* [4]

L'effet de l'aération sur l'impact des vagues fut étudié par T.Mai *et al.* [4] avec une étude expérimentale et numérique, portant sur des impacts de plaques carrées sur une surface d'eau. Les plaques étaient chargées avec différentes masses pour modifier les vitesses de chute. Cette étude a montré que la localisation de la pression maximale se situe au centre de la plaque. Leur étude montre aussi qu'une aération de l'eau à hauteur de 1.6% comparé à de l'eau pure peu diminuer radicalement la pression maximale enregistrée.

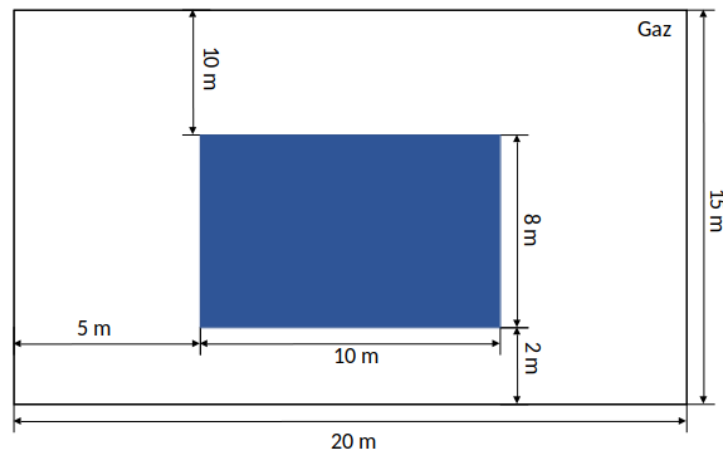


FIGURE 4 – Représentation schématique du scénario de référence de la colonne d'eau en chute libre cas *Ref. Brauenig* issu de Braeunig *et al.* [1].

Enfin, l'étude de Braeunig *et al.* [1] repose, quant à elle, sur des simulations numériques d'impacts de différent liquide, notamment sur l'influence du ratio de densité entre la phase gazeuse (air) et la phase liquide (eau). L'étude de Braeunig *et al.* [1] a démontré qu'une mise à l'échelle de Froude était nécessaire pour une similitude rigoureuse entre l'échelle du modèle et l'échelle réelle. Il montre également qu'un impact entre de l'eau et un solide plat est très influencé par le ratio de densité entre les deux fluides. En effet, avec un ratio très faible (phase gazeuse devant négligeable), les pressions d'impact sont considérablement modifiées.

Tous ces travaux ont donné des pistes nous permettant de définir trois cas d'études distincts pour cette étude. Ces trois cas étudiés sont les suivants :

- dans un premier temps, la reproduction du cas *Ref. Braeunig* issu de Braeunig *et al.* [1] comme présenté à la Figure 4 permet de qualifier notre modèle numérique en comparaison avec leurs résultats,
- puis, un cas avec une couche d'air imposée et paramétrée (Figure 5,a) nommé cas *Couche d'air* nous permettra d'étudier l'influence d'une couche d'air emprisonnée entre le liquide et la plaque,
- et enfin un cas de bulles d'air réparties dans le fluide nommé cas *Aération* comme présenté à la Figure 5,b permet quant à lui d'étudier l'influence d'une aération répartie dans le liquide.

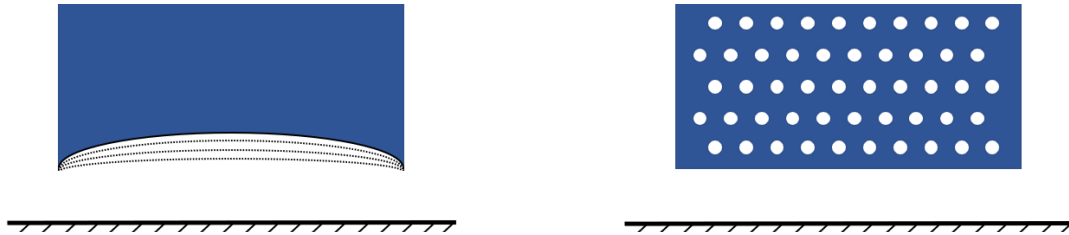


FIGURE 5 – (a) cas *Couche d'air* (b) cas *Aération*.

## II – Méthodologie

### II – 1 OpenFoam

Tous les calculs ont été effectués sur openFOAM avec une cellule de profondeur, sur la 3ème dimension. OpenFOAM (Open Field Operation And Manipulation) est un logiciel développé depuis 1989. La première version de FOAM est sortie en 1996. C'est un code multiphysique, principalement orienté vers la mécanique des fluides qui a la capacité de résoudre les équations aux dérivées partielles par la méthode des volumes finis. Ce code open-source est développé en C++. Dans notre résolution du problème, on observe en particulier l'influence de la compressibilité de la phase gazeuse. Nous utiliserons un solveur compressible. Toutes les pressions ont été mesurées au centre de la paroi inférieure.

### II – 2 Équations générales

Les équations d'Euler complètes sont résolues pour les différents fluides

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho u) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \text{div}(\rho u \otimes u) + \text{grad}(p) = \rho g \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho E}{\partial t} + \text{div}(\rho H u) = \rho g u \quad (3)$$

où  $E$  est l'énergie spécifique totale,  $H$  l'enthalpie spécifique totale,  $p$  la pression,  $\rho$  la masse volumique et  $u$  est le vecteur vitesse tridimensionnelle. Le gaz et le liquide suivent des équations d'état suivantes :

$$p + p^* = (\gamma_G - 1)\rho_G e_G \quad (4)$$

$$p + \pi = (N - 1)\rho_L e_L. \quad (5)$$

Les pas de temps sont gouvernés par le nombre de courant :

$$Co = \frac{v \Delta t}{\Delta x}, \quad (6)$$

avec  $v$  la vitesse caractéristique,  $\Delta t$  le pas de temps et  $\Delta x$  le pas d'espace.

### II – 3 Validation sur le cas *Ref. Braeunig*

Dans cette partie, nous avons commencé par reproduire le cas *Ref. Braeunig*. L'impact étudié est décrit sur la Figure 4. Il consiste en un impact d'un liquide sur une surface horizontale rigide. La forme initiale du liquide est un rectangle. Ce rectangle liquide est entouré d'un gaz à l'intérieur du domaine fluide. Dans le cas qui nous intéresse, le gaz sera représenté par de l'air et le liquide par de l'eau. Le liquide tombe librement par gravité, avec une vitesse initiale possible. Les dimensions présentées sont décrites sur la Figure 4 correspondent à une dimension du bloc d'eau de  $10\text{ m} \times 8\text{ m}$ .

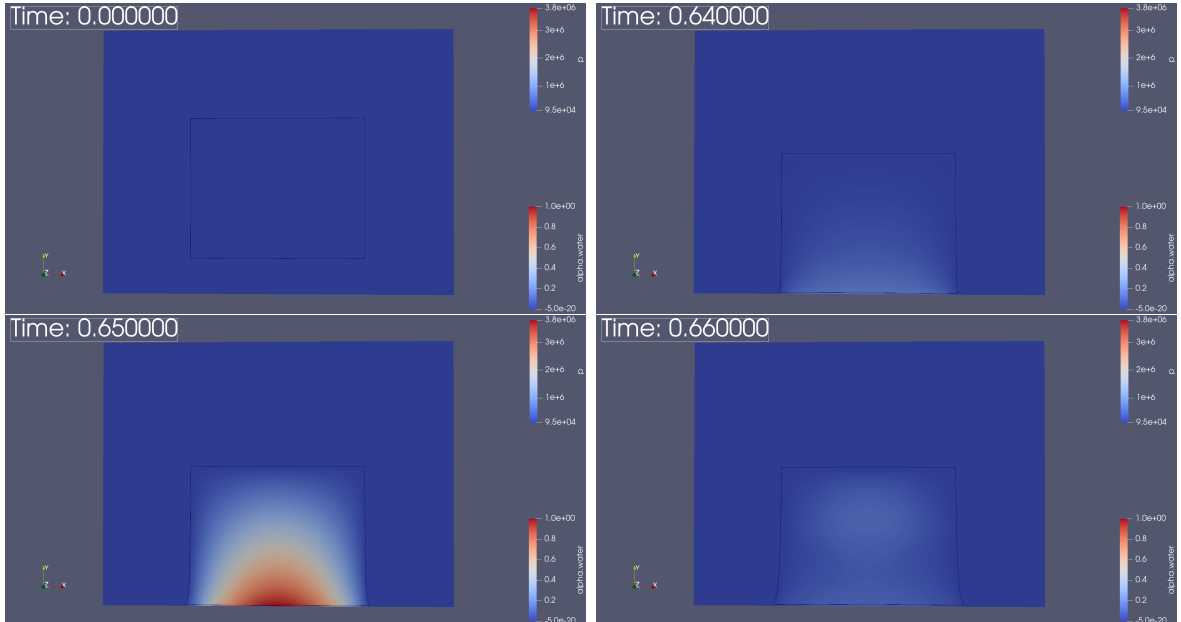


FIGURE 6 – Impact du cas *Ref. Braeunig* simulé par OpenFOAM.

En reproduisant le cas *Ref. Braeunig*, les différentes séquences de l'écoulement présentent certaines similitudes à l'approche de la paroi. Tout d'abord, le liquide met progressivement le gaz en mouvement. La surface libre inférieure se déforme plus ou moins selon la

résistance de l'air essayant de s'échapper, très légèrement visible sur la Figure 6. Braeunig *et al.* [1] observaient déjà ce résultat. Si le liquide était entouré de vide, la surface libre inférieure du liquide resterait plate et horizontale pendant la chute libre.

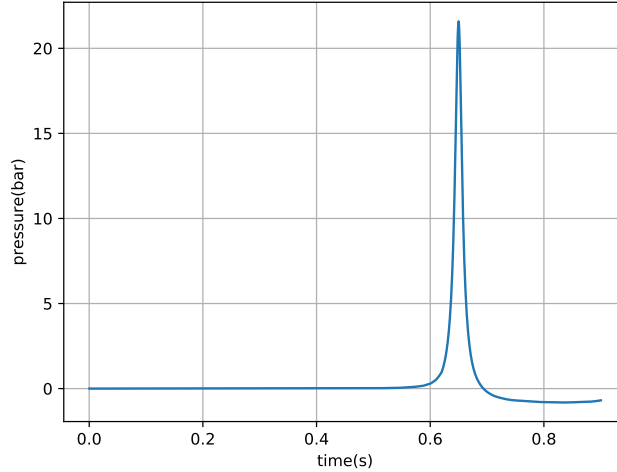


FIGURE 7 – Résultat de la série temporelle de pressions du cas *Ref. Braeunig* pour une dimension  $10\text{ m} \times 8\text{ m}$

Dans le cas qui nous intéresse, celui de l'air/eau, on constate un pic unique au moment de l'impact sans oscillation par la suite, comme le présente la Figure 7. Les résultats de Braeunig *et al.* [1], pour un bloc de dimension  $10\text{ m} \times 8\text{ m}$ , sont cohérents sur ce cas avec les nôtres, avec un pic de pression aux alentours de 0.65 seconde et d'un pic d'environ 20 bars de pression dans une configuration d'un maillage similaire au leur.

### III – Résultats et discussion

#### III – 1 Cas de la Couche d'air

Dans cette section, l'étude porte sur l'impact de bloc de liquide d'une taille caractéristique différente et de forme représentant la configuration *Couche d'air*, qui pourrait être créé par la déformation de la surface inférieure du liquide comme présenté sur les schémas de la Figure 8.

Les dimensions du bloc d'eau ont été modifiées par rapport au cas *Ref. Braeunig* pour se rapprocher du cas d'expérience de Talioua *et al.* [10]. Pour se rapprocher de la configuration expérimentale de Talioua *et al.*, la géométrie et les dimensions sont modifiées telles que le démontrent les Figures 8a et 8b, avec des dimensions de l'ordre de  $0,2\text{ m} \times 0,08\text{ m}$ . Enfin, dans le cas réel d'impact d'une plaque plane, la couche d'air étant très petite comme le démontre Jain [2], le choix a été fait de prendre des tailles d'une grandeur supérieure afin d'avoir un effet significatif sur les résultats.

Ainsi, trois paramètres sont créés afin de paramétrer la configuration dénommée *couche d'air* :

- LB la "largeur de la bulle" ou de la couche d'air, distance inférieure à la largeur du liquide.
- HB la "hauteur de la bulle" ou de la couche d'air, distance entre la ligne de départ du liquide et le point le plus haut de la bulle.

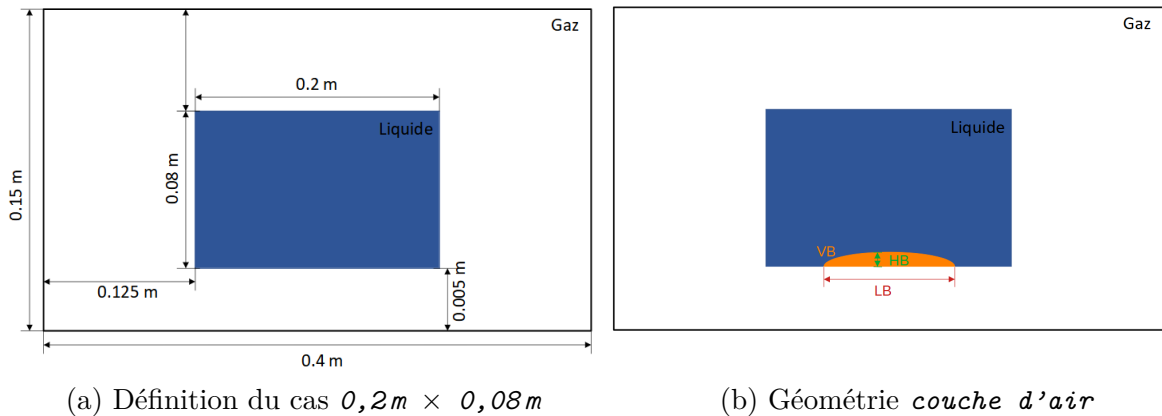


FIGURE 8 – Définition du cas d’impact *couche d’air* et des dimensions associées  $0,2m \times 0,08m$ .

— VB le "volume de la bulle" ou de la couche d’air.

Les dimensions du bloc d’eau ne sont plus modifiés dans la suite, seule les paramètres de la couche d’air le seront. Pour éviter des cas où de l’air puisse s’échapper avant l’impact, nous avons utilisé uniquement des largeurs de la couche d’air (LB) initiales est suffisamment inférieure à la largeur du bloc d’eau. Et nous avons également imposé une vitesse initiale de 1m/s dans ce même but et afin d’amplifier la visibilité des résultats.

### III – 1.1 Convergence et maillage

Un maillage de base a été construit avec  $1000 \times 375 = 375000$  cellules carrées (cf. Fig. 9). Chaque cellule mesure donc  $4 \times 10^{-4} \times 4 \times 10^{-4} m$ . Ce maillage s’est avéré suffisamment raffiné pour la plupart des calculs afin d’obtenir une approximation raisonnable du pic de pression. Néanmoins, quelques cas se sont avérés plus exigeants et, par conséquent, un raffinement du maillage a été appliqué. La Figure 10 montre de telles courbes de convergence réalisées pour le cas de la *couche d’air* pour HB égale à  $5 \times 10^{-3} m$  et LB égale à  $0.1 m$ .

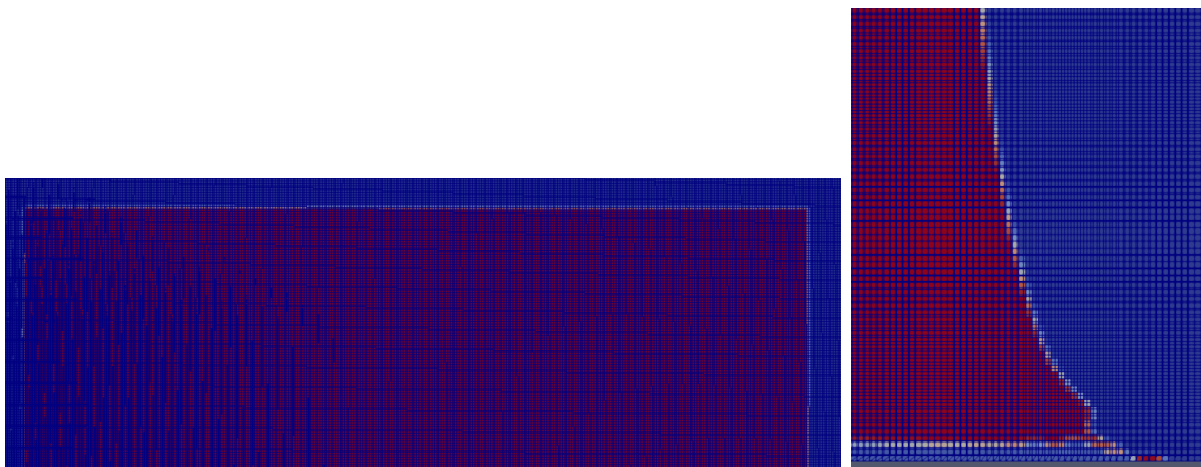


FIGURE 9 – Exemple de maillage utilisé pour l’étude.

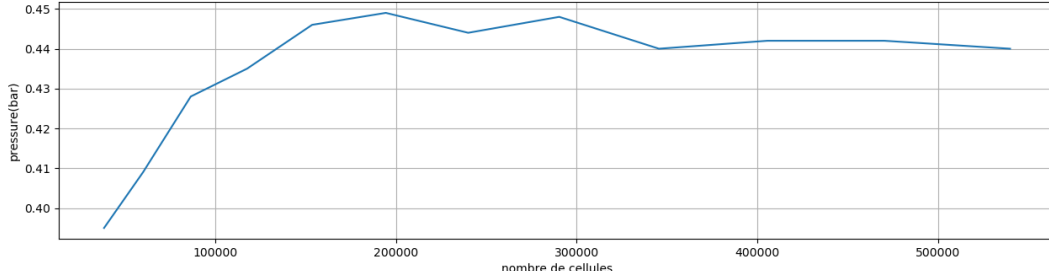


FIGURE 10 – Exemple de convergence pour le cas de la couche d’air pour  $HB = 5 \times 10^{-3} m$  et  $LB = 0.1 m$

### III – 1.2 Effet de la hauteur de la couche d’air

L’étude de ces situations porte sur la forme et les dimensions de la *couche d’air* avec des dimensions caractéristiques  $0,2m \times 0,08m$ , tout en gardant constant la largeur de bulle "LB" (ou de couche d’air). Pour chaque valeur de LB fixée, différentes hauteurs de la couche d’air (HB) et de volume de bulle (VB) ont été testés et sont analysés. Aussi, quatre valeurs différentes ont été choisies pour LB avec notamment  $LB = 0.14, 0.1, 0.06$  et  $0.03 m$  mais, pour des raisons de place pour ce papier et de concision de l’analyse, seul la configuration avec  $LB = 0.14 m$  sont présentés dans ce document.

LB = 140	HB ( $10^{-3}m$ )	LB ( $10^{-3}m$ )	VB ( $10^{-3}m^2$ )	Fréquence (Hz)
p1	3,6	140	0,336	170
p2	5	140	0,467	150
p3	8,255	140	0,772	145
p4	14,38	140	1,353	110

TABLE 1 – Tableau des simulations réalisées

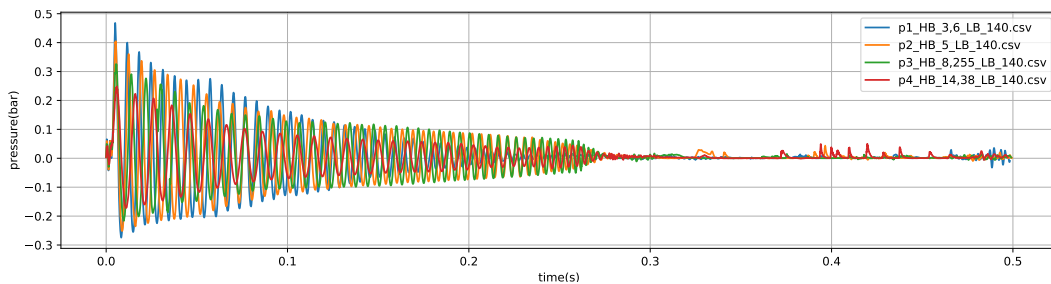


FIGURE 11 – Effet produit par la *couche d’air* avec LB fixe à  $140 \times 10^{-3}m$

À partir des résultats de la Figure 11, pour chaque sous cas p1, p2, p3 et p4, les tendances sont similaires. On observe un effet notable sur la fréquence en cas de variation de HB comme indiqué dans le Tableau 1. On constate également une diminution de la pression, pour les premiers pics de pression, avec l’augmentation de HB et par conséquent VB. Il est également possible de remarquer qu’il y a une réduction des premiers pics de pression avec la diminution de la largeur de la couche d’air, non présenté dans ce document. Ces résultats nous laisse penser que la forme de la couche d’air à l’instant



initial a un impact certain sur les courbes de pression. Et que le paramètre HB et par dépendance VB peut être déterminant sur les effets produit lors de l'impact.

### III – 1.3 Effet de la largeur de la couche d'air

L'étude de ces situations porte sur la forme et les dimensions de la *couche d'air* avec des dimensions caractéristiques  $0,2m \times 0,08m$ , tout en gardant constant la hauteur de bulle "HB" (ou de couche d'air). Ici, nous avons donc les cas inverses aux cas précédents puisque, dans cette sous partie, nous avons quatre cas examinés, où la hauteur de la couche d'air (HB) est fixe et la largeur de la couche d'air (LB) ainsi que le volume de la couche d'air (VB) sont variables. Les quatre valeurs de HB étudiées sont  $HB = 1.532, 3.015, 5$  et  $6.98 \times 10^{-3}m$  seul la configuration avec  $HB = 3.015 \times 10^{-3}m$  est présentée dans ce document.

HB = 3,015	HB ( $10^{-3}m$ )	LB ( $10^{-3}m$ )	VB ( $10^{-3}m^2$ )	Fréquence (Hz)
p1	3,015	140	0,281	170
p2	3,015	100	0,201	170
p3	3,015	60	0,120	195
p4	3,015	30	6,078E-02	225

TABLE 2 – Tableau des simulations réalisées

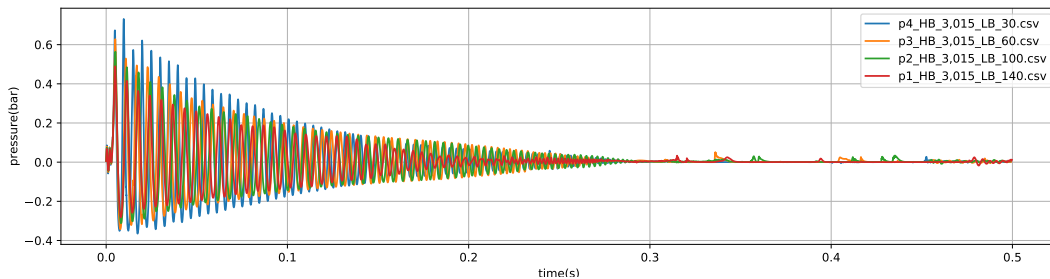


FIGURE 12 – Effet produit par la *couche d'air* avec HB fixe à  $3,015 \times 10^{-3}m$ .

Sur la Figure 12, les courbes p1, p2, p3 et p4 sont à nouveaux relativement similaires dans leur forme, avec une fréquence diminuant lorsque LB augmente comme indiqué dans le Tableau 2. Mais on note également, dans certain cas, plus précisément, dans les cas où LB est grand  $100 \times 10^{-3}m$  et  $140 \times 10^{-3}m$ , nous avons une sorte de stabilisation de la fréquence. Cela peut être dû à divers facteurs, car dans ces cas, avec LB de grande taille, il est possible que la couche d'air finisse par se diviser. Nous avons clairement une action de LB sur l'amortissement produit, puisque les premiers pics de pression pour chaque cas subissent une chute notable, avec l'augmentation de LB. Finalement, on retrouve plus ou moins les mêmes effets que pour les cas de HB, avec une augmentation de la fréquence suivant une diminution du volume de la couche d'air, en effet dans les deux cas HB et LB entraîne une variation du volume de la couche d'air (VB). En fin de compte, il est possible que seul VB ait un impact concret sur les différentes conséquences de l'impact, c'est cela que nous étudions dans la suite.

### III – 1.4 Effet du volume de la couche d’air

L’étude de ces situations porte sur la forme et les dimensions de la *couche d’air* avec des dimensions caractéristiques  $0,2m \times 0,08m$ , tout en gardant constant le volume de bulle "VB" (ou de couche d’air). Pour chaque valeur de VB fixée, différentes hauteurs de la couche d’air (HB) et de Largeur de bulle (LB) ont été testés et sont analysés. Aussi, deux valeurs différentes ont été choisies pour VB avec notamment  $0.186$  et  $0,267 \times 10^{-3}m^2$ . Mais, pour des raisons de place pour ce papier et de concision de l’analyse, seul la configuration avec  $VB = 0.186 \times 10^{-3}m$  sont présentés dans ce document.

VB = 0,186	HB ( $10^{-3}m$ )	LB ( $10^{-3}m$ )	VB ( $10^{-3}m^2$ )	Fréquence (Hz)
p1	8	33,5	0,186	162.5
p2	6	46	0,186	163
p3	4	69,9	0,186	165

TABLE 3 – Tableau des simulations réalisées

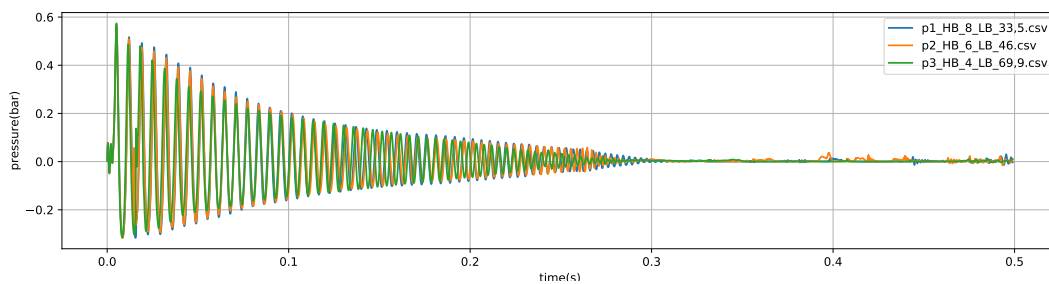


FIGURE 13 – Effet produit par la *couche d’air* avec VB fixe à  $0,186 \times 10^{-3}m$ .

Dans ces cas, sur la figure 13, on n’observe pas d’amortissement notable avec la variation de HB et LB, ce qui nous indique que les effets d’amortissements seraient principalement liés uniquement à la variation du volume de la couche d’air. Et que les paramètres HB et LB étant lié à celle-ci, n’ont un impact que relatif parce qu’ils font varier le volume. Ensuite, il faut dire tout de même que HB et LB peuvent entrainer de légères variations, sur la déformation de la couche d’air, suivant l’effet voulu, par exemple rupture précoce de la couche d’air, ou une division en plusieurs bulles, de celle-ci. Pour ce qui concerne la fréquence, dans ces cas où le volume de la couche d’air ne varie pas ou très peu, nous avons alors une fréquence qui n’évolue presque plus, comme observer dans le Tableau 3, en comparaison des cas précédent où HB ou LB était fixé. Ce qui nous indique que le volume joue un grand rôle dans la variation de la fréquence et que les petites variations observaient peuvent être due a un petit dégagement d’air, a la forme de la bulle créée, avec une scission en plusieurs bulles sur la fin des oscillations, ce qui augmente la fréquence.

### III – 2 Cas de l’aération

#### III – 2.1 En fonction des du nombre de bulles

Dans ce cas de l’aération, la situation diffère des situations précédentes puisque, aucune couche d’air n’est imposée à l’instant initial. Mais, les dimensions du bloc d’eau sont inchangés  $0,2m \times 0,08m$ , (Fig 8a). Dans cette situation initiale, ce sont des bulles de

petites tailles qui sont créées au sein du bloc d'eau, comme représenté sur la Figure 14, se rapprochant du travail de Batlle Martin [11]. Différentes tailles de bulle ainsi que différent nombre de bulles sont étudiés, elles sont présentées dans le Tableau 4, mais seul la situation  $20 \times 20$  bulles sur les trois Rayons  $1.4 \times 10^{-3}m$ ,  $1 \times 10^{-3}m$  et  $0.6 \times 10^{-3}m$  sont examinés dans ce papier.

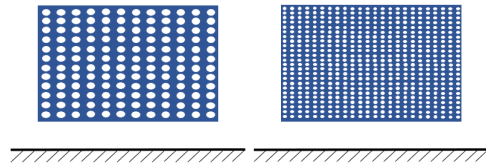


FIGURE 14 – différents types de cas pour la situation multiple bulle

Les sous situation sont détaillés ci-dessous :

- Trois rayons de bulles différents  $1.4 \times 10^{-3}m$ ,  $1 \times 10^{-3}m$  et  $0.6 \times 10^{-3}m$ .
- Quatre formats de bulles différents  $10 \times 10$ ,  $15 \times 15$ ,  $20 \times 20$  et  $25 \times 25$ .
- Le Tableau 4 ci-dessous indique le pourcentage d'aération dans le bloc d'eau en fonction des différents cas.

		Nombre des bulles			
		10x10	15x15	20x20	25x25
Rayon ( $10^{-3}m$ )	0.6	0,706 %	1,590 %	2,827 %	4,417%
	1	1,963 %	4,417 %	7,853 %	12,271 %
	1.4	3,848 %	8,659 %	15,393 %	24,052 %

TABLE 4 – Tableau des simulations réalisées

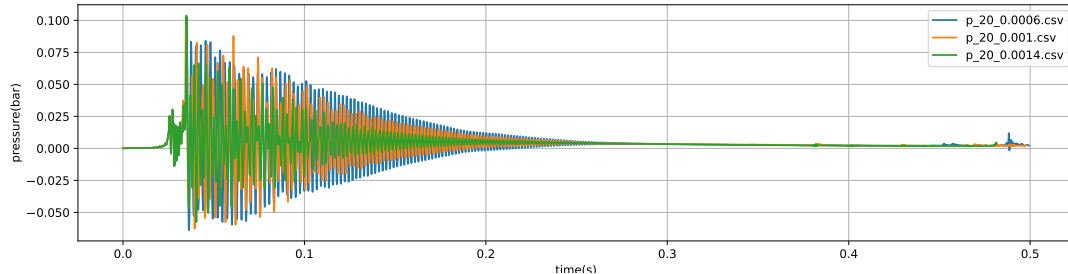


FIGURE 15 – Effet de l'impact pour un rayon de bulle variable et un format de bulle  $20 \times 20$  pour les trois rayons  $1.4 \times 10^{-3}m$ ,  $1 \times 10^{-3}m$  et  $0.6 \times 10^{-3}m$ .

Le rayon ainsi que le nombre de bulles sont directement lié à l'aération, dans le bloc d'eau, comme le montre le Tableau 4. À partir des résultats observés sur la Figure 15 et des autres non présentés dans ce document, on peut noter une augmentation de l'amortissement de plus en plus élevé, avec l'augmentation de l'aération, peu importe si l'augmentation est due au rayon ou au nombre de bulles qui augmente. Un autre effet produit est la diminution du temps des oscillations, provenant de l'amortissement crée. Le tout premier pic de pression ne semble pas être énormément impacté par le rayon, on constate le même phénomène pour le nombre de bulles, bien que l'on puisse apercevoir un très léger effet, pourtant la différence d'aération peut être plus importante dans la comparaison entre différent rayon.

Concernant l'impact visible sur la Figure 16, on peut apercevoir que la pression est d'autant plus forte à l'intérieur du bloc d'eau, se concentrant sur les bulles, et moins sur la surface inférieure, comme on pouvait le voir sur les cas de la *couche d'air* ainsi que la reproduction du cas *Ref. Braeunig* dont l'impact est visible sur la Figure 6.

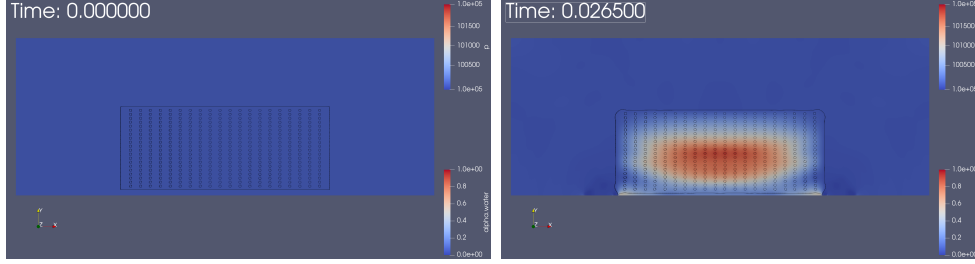


FIGURE 16 – Impact du cas P2 (Fig. 15), 20 bulles par 20 bulles et un rayon de  $1 \times 10^{-3}m$

## IV – Conclusions et perspectives

Pour conclure, nous avons vu que de nombreux paramètres sont à prendre en compte lors d'impact entre un solide et de l'eau. En effet, la forme de la couche d'air, la présence de bulle ont des effets très concrets sur les séries temporelles de pression.

On a pu mettre en évidence que les cas les plus proches de la réalité, avec une largeur de couche d'air proche de la largeur de la surface inférieure du bloc d'eau, sont des cas intéressants, mais qui fausse partiellement notre paramétrisation. Nous avons également mis en évidence que lorsque l'on paramétrise la couche d'air à l'instant initial, à l'aide de nos deux paramètres d'entrée (LB et HB), nous avons un impact direct sur la série temporel de la pression puisque lorsque l'on a une augmentation d'un des deux paramètres, ce produit également une augmentation de l'amortissement de la pression. Il reste une inconnue qui vient du fait que nos deux paramètres sont liés au volume de la couche d'air et nous ne pouvons pas les dissocier de celle-ci, il est alors fort probable que l'effet observé vienne de son augmentation.

Mais un autre effet a été remarquer lors de la variation de l'un des deux paramètres, c'est un effet sur la fréquence, en même temps que l'augmentation de HB ou LB, nous avons observée que la fréquence subit une diminution. Alors que dans le cas où nous avons un volume presque similaire, alors la fréquence ne varie que très peu.

En ce qui concerne la partie aération, nous avons pu mettre en évidence que plus l'aération est élevé dans le bloc d'eau, alors plus l'amortissement est grand. Après concernant la différence entre le nombre de bulles et le rayon, on ne voit pas une différence significative, à part sur le premier pic de pression qui pourrait être potentiellement plus impacté par le nombre de bulles.

## Références

- [1] Jean-Philippe Braeunig, L. Brosset, Frédéric Dias, and Jean-Michel Ghidaglia. Phenomenological Study of Liquid Impacts through 2D Compressible Two-fluid Numerical Simulations. In *Proceedings of the Nineteenth (2009) International Offshore and Polar Engineering Conference*, pages 21–29, Osaka, Japan, June 2009. The International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE).
- [2] Utkarsh Jain. *Slamming Liquid Impact and the Mediating Role of Air*. Thèse de Doctorat, University of Twente, 2020.
- [3] Zhihua Ma, D.M. Causon, Ling Qian, C Mingham, Tri Mai, Deborah Greaves, and Alison Raby. Pure and aerated water entry of a flat plate. *Physics of Fluids*, 28, 01 2016.
- [4] T. Mai, C. Mai, A. Raby, and D.M. Greaves. Aeration effects on water-structure impacts : Part 1. drop plate impacts. *Ocean Engineering*, 193 :106600, 2019.
- [5] Tri Mai, Cong Mai, Alison Raby, and Deborah Greaves. Aeration effects on water-structure impacts : Part 2. wave impacts on a truncated vertical wall. *Ocean Engineering*, 186 :106053, 08 2019.
- [6] Geoffrey Bullock, A.R Crawford, P.J Hewson, Mike Walkden, and P.A.D Bird. The influence of air and scale on wave impact pressures. *Coastal Engineering*, 42 :291–312, 04 2001.
- [7] von Kármán and national advisory committee for Aeronautics. The impact on sea-plane floats during landing. 1929.
- [8] S.-L. Chuang. Slamming of rigid wedge-shaped bodies with various deadrise angles. *Tech. rep., DAVID TAYLOR MODEL BASIN WASHINGTON DC STRUCTURAL MECHANICS LAB*, 1966.
- [9] J. H. G. Verhagen. The Impact of a Flat Plate on a Water Surface. *Journal of Ship Research*, 11(04) :211–223, 12 1967.
- [10] Abdessamad Talioua, Belaïd Berkane, Marc Batlle, Gaële Perret, and Grégory Pinon. Flat plate pressure impact on a still water surface : the effect of surrounding ambient pressure and plate size. 2022.
- [11] Marc Batlle Martin. *Computations of extreme wave impact events on wave energy converter attached to coastal protection structures*. Theses, Normandie Université, July 2021.