
MODÉLISATION DU TRIMARAN ZÉPHYR

-

CODE DE CALCUL CERF

Interactions Fluide-Structure
Seatech 3A - MOCA

2024 - 2025

Auteurs :
Fabien MATHE & Yohan STABLO

Professeur encadrant :
M. Frédéric GOLAY

Table des matières

Introduction	2
I Initialisation	3
I.1 Modèle physique	3
I.2 Conditions aux limites	3
I.3 Conditions initiales	3
I.4 Maillage	5
I.5 Configuration	7
II Résultats et discussions	8
II.1 Résultats	8
II.2 Discussions	8
Conclusion	11

Introduction

Ce rapport a pour vocation de rendre compte du travail effectué par notre équipe dans le cadre de la prise en main du code de calcul **CERF** (Computation, ERosion & Flows), développé par M. Frédéric GOLAY [[visiter son site](#)].

Pour ce faire, nous avons décidé de simuler les interactions autour du trimaran ZÉPHYR réalisé par l'association HydroSharks [[site](#)] dans différents cas de figure :

- mise à l'eau depuis une rampe;
- comportement sur une vague;
- submersion après déferlement.

Nous exposerons donc les conditions et paramétrages de nos simulations avant d'en présenter les résultats afin de pouvoir les discuter.

I Initialisation

I.1 Modèle physique

Le code de calcul CERF résout les équations de Navier-Stokes par méthode des volumes finis, le tout en explicite. Nous l'utilisons pour résoudre un problème d'écoulement multiphasique isotherme par méthode VOF (Volume Of Fluid).

I.2 Conditions aux limites

Dans les trois configurations présentées dans la suite de ce rapport, nous utilisons des conditions de type *miroir*. Physiquement, cela représente une domaine fermé où les fluides ne peuvent s'échapper.

I.3 Conditions initiales

I.3.1 Cas de la mise à l'eau

Dans ce cas, le bateau est posé sur une rampe avec une inclinaison d'environ 107 %. La longueur du domaine est de 20 m et la profondeur de l'eau est de 4 m.



FIGURE I.1 – Initialisation du cas de mise à l'eau

La pression initiale est donnée par la fonction $P(y) = P_0 + \rho_{eau}g(4.0 - y)$ et appliquée dans l'eau.

I.3.2 Cas du surf de vague

Pour ce qui est du comportement sur une vague, nous avons voulu représenter le bateau "surfant" une vague. Pour ce faire, le bateau est initialement dans le creux d'une vague de 4 m de haut :



(b) Pression initiale

FIGURE I.2 – Initialisation du cas de *surf*

Pour ce faire, la vague est définie par une fonction utilisateur sous la forme d'une gaussienne. Sous la gaussienne, la densité est définie à 1000 kg m^{-3} et la pression corrélée à la hauteur d'eau :

```

1 CASE(2)
2 ! Gaussian wave input
3 h1 = 7.d0
4 hw = 1.d0
5 c0 = 1.d0
6 sigma = 1.5d0
7 vprim%v(1) = 1.0d0
8 vprim%v(5) = 1.0d5
9 IF(x.le.50.d0) THEN
10   zb = hw + (h1 - hw) * exp(-(x - c0)**2.d0/(2.d0*sigma**2.d0))
11   )
12   IF(y.le.zb)THEN
13     vprim%v(1) = 1000.d0
14     vprim%v(5) = 1.d5 + 1000.d0*9.81*(zb - y)
15   ENDIF
ENDIF

```

Listing 1 – Fonction utilisateur pour le cas de *surf*

I.3.3 Cas du déferlement

Dans le cas du déferlement de la vague sur le bateau, c'est toujours une vague gaussienne de 4 m haut qui est initialisée, mais cette fois le bateau est placé initialement plus loin, dans la zone de déferlement de la vague :



FIGURE I.3 – Initialisation du cas de déferlement

La fonction utilisateur est la même, seul le fichier *.obj* du bateau est différent.

I.4 Maillage

I.4.1 Cas de la mise à l'eau

Le cas de la mise à l'eau nécessite un maillage non orthogonal, composé d'éléments hexaédriques. Projetés en 2D, ces éléments prennent la forme de quadrilatères. La figure ci-dessous donne l'état du maillage à l'instant initial.

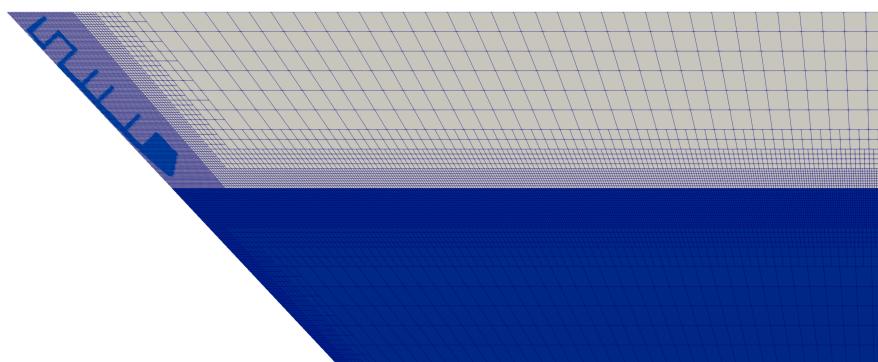


FIGURE I.4 – Maillage initial du cas de mise à l'eau

Le maillage est raffiné au niveau 4 autour du bateau et au niveau 3 autour de la rampe et de la surface libre de l'eau, selon une fonction utilisateur donnée ci-dessous.

```

1 CASE(2)
2 IF(y.ge.(-(8.0d0 / 7.5d0) * x + 7.5d0) .and. y.le.(-(8.0d0 /
7.5d0) * x + 8.5d0))nrb=3
3 IF(x.ge.3.0D0 .and. x.le.21.d0 .and. y.ge.3.0d0 .and. y.le.4.5d0
)nrb=3
4 IF(y.ge.4.0d0 .and. y.ge.(-(8.0d0 / 7.5d0) * x + 7.5d0) .and. y
.le.(-(8.0d0 / 7.5d0) * x + 9.5d0))nrb=4
    
```

Listing 2 – Maillge utilisateur pour le cas de la mise à l'eau

I.4.2 Cas du surf de vague

Les éléments du maillage maître sont des carrés de taille 50 cm par 50 cm. Cependant, le niveau de raffinement maximal est 4, ce qui donne des mailles de taille 3.125 cm par 3.125 cm.

Lors de l'initialisation, l'interface *air-eau* est raffinée au niveau 3 et le bateau au niveau maximal :

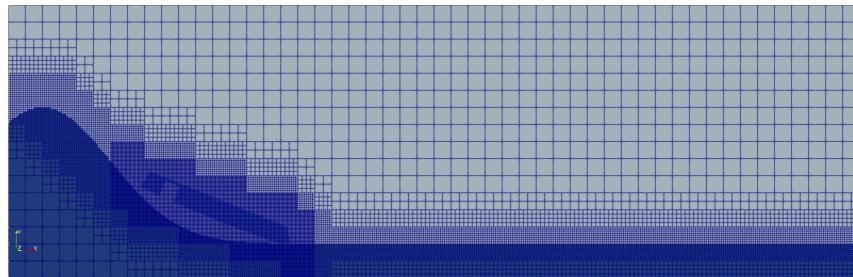


FIGURE I.5 – Maillage initial du cas de surf

Tout ceci se fait grâce à la fonction de maillage utilisateur :

```
1 CASE(2)
2 ! Gaussian wave meshing
3 h1 = 5.d0
4 hw = 1.d0
5 nrb=0
6 IF(x.le.6.d0 .and. y.ge.hw .and. y.ge.(5.d0 - x) .and. y.le
    .(7.5 - x) .and. y.le.(h1 + hw))nrb=3
7 IF(x.ge.6.d0 .and. y.ge.(hw - 0.5) .and. y.le.(hw + 0.5))nrb
    =3
8 ! Boat meshing
9 IF(x.ge.3.d0 .and. x.le.9.d0 .and. y.ge.(3.d0 - x*3.d0/9.d0)
    .and. y.le.(5.d0 - x*3.d0/9.d0))nrb=4
```

Listing 3 – Maillge utilisateur pour le cas de *surf*

I.4.3 Cas du déferlement

Le maillage maître est le même que le cas précédent, avec le même niveau de raffinement maximal, ce qui donne l'initialisation suivante :

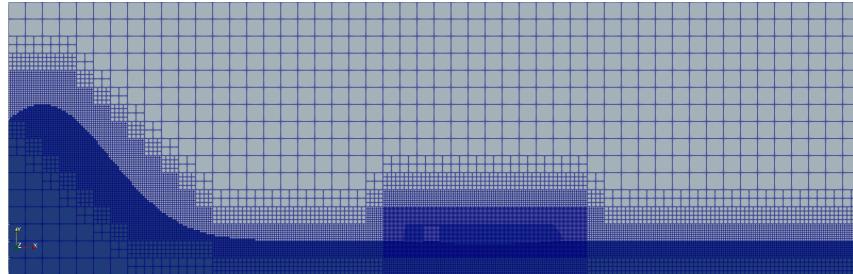


FIGURE I.6 – Maillage initial du cas de déferlement

Avec la fonction de maillage utilisateur :

```

1 CASE(3)
2   ! Gaussian wave meshing
3   h1 = 7.d0
4   hw = 1.d0
5   nrb=0
6   IF(x.le.6.d0 .and. y.ge.hw .and. y.ge.(6.d0 - x*6.d0/4.d0) .
7     and. y.le.(10.d0 - x*10.d0/7) .and. y.le.(h1 + hw))nrb=3
8   IF(x.ge.6.d0 .and. y.ge.(hw - 0.5) .and. y.le.(hw + 0.5))nrb
9     =3
10  ! Boat meshing
11  IF(x.ge.11.d0 .and. x.le.17.d0 .and. y.ge.0.5 .and. y.le.2.d0
12    )nrb=4

```

Listing 4 – Maillage utilisateur pour le cas de déferlement

I.5 Configuration

La configuration des différents cas s'effectue dans le fichier `*.inp`. Dans nos simulations, la densité de l'eau $\rho_{eau} = 1000 \text{ kg m}^{-3}$, celle de l'air $\rho_{air} = 1 \text{ kg m}^{-3}$ et celle du bateau est fixée à 600 kg m^{-3} , ce qui correspond à sa densité moyenne.

Nous définissons une *Sharpness* égale à 0.01. Cette fonction permet d'affiner la zone de transition entre les deux fluides.

Les schémas de discrétisation en espace et en temps sont d'ordre 2. Le code de calcul, résolvant les équations en explicite, impose le respect d'une condition CFL. Nous avons choisi de fixer ce paramètre à 0.9.

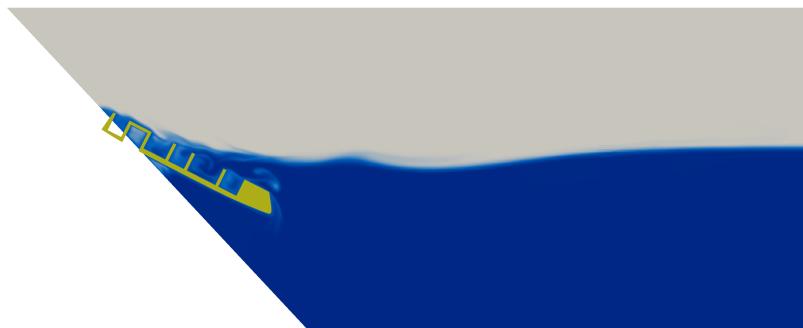
Dans le cas de la mise à l'eau et du déferlement de la vague, le pas de temps avant un raffinement automatique du maillage est de 0.05 s. Pour le dernier cas, ce paramètre est fixé à 0.01 s.

Les paramètres de grossissement et d'amincissement du maillage sont définis différemment selon les cas. Pour les simulations avec vagues, ces paramètres sont respectivement fixés à 0.5 et 0.6. Dans le cas de la mise à l'eau, ils sont fixés à 0.8 et 1.0.

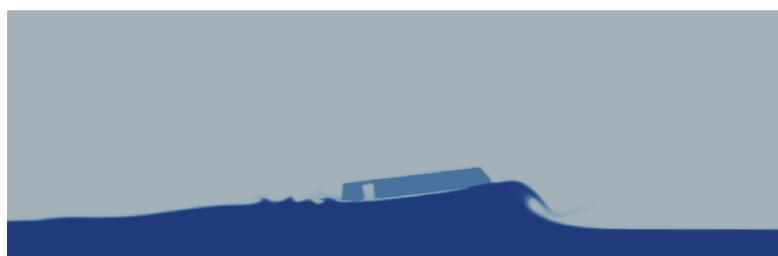
II Résultats et discussions

II.1 Résultats

Après avoir lancé les calculs de nos simulations, les résultats obtenus sont disponibles dans les vidéos accessibles via ce lien : [\[Vidéos\]](#).



(a) Mise à l'eau, exemple de résultat



(b) Surf d'une vague, exemple de résultat



(c) Déferlement, exemple de résultat

FIGURE II.1 – Exemple de résultats en cours de calcul pour les différents cas

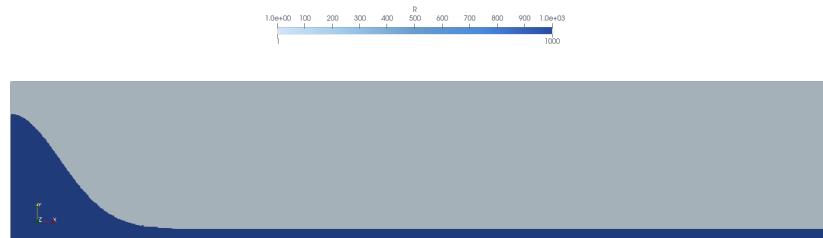
II.2 Discussions

Plusieurs points peuvent être critiqués sur nos simulations.

Problème de maillage

La première critique à formuler concerne le maillage. En effet, pour capturer correctement les différentes interfaces (*air-eau* et *solide-liquide*), un maillage très fin, avec un niveau de raffinement extrême, serait nécessaire.

Cependant, un raffinement supplémentaire aurait considérablement augmenté le temps de calcul requis pour résoudre nos cas. Alors même que, pour simuler 8 s (déferlement), plus de 1 h a été nécessaire.



(a) Instant initial de la simulation



(b) Instant final (*crash*) de la simulation

FIGURE II.3 – Test de simulation d'un déferlement simple

Malheureusement, ce manque de finesse dans le maillage introduit un nouveau problème : les obstacles, modélisés par des liquides figés, diffusent, ce qui donne l'impression que le bateau "fond". En d'autres termes, le maillage n'est pas suffisamment fin et le temps de remaillage, déjà trop long, ne permet pas de capturer correctement l'interface entre le solide et les liquides. Par conséquent, certaines parties du bateau se détachent de l'objet solide, créant l'impression qu'il fond.

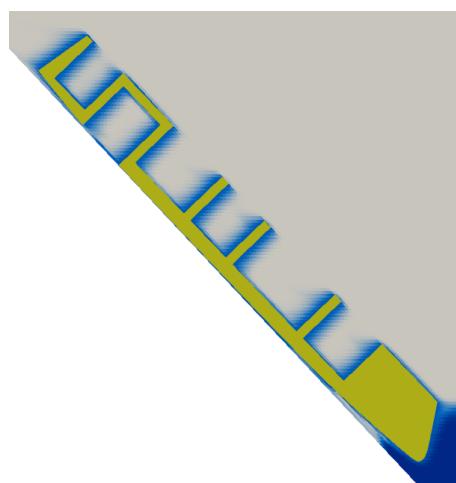


FIGURE II.2 – Illustration du problème de diffusivité des objets solides

Problème de réduction de la densité

Un problème auquel nous avons été confronté durant notre projet est la réduction anormal de la densité lors de déferlement.

Le cas étudié est un cas d'une vague soumise à la seule gravité qui déferle :

Malheureusement, cette simulation n'aboutie jamais car la densité de l'air à l'intérieur de la vague qui déferle atteint $3.8 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-3}$, entraînant au pas de temps suivant une densité quasi-nulle et donc l'arrêt du calcul.

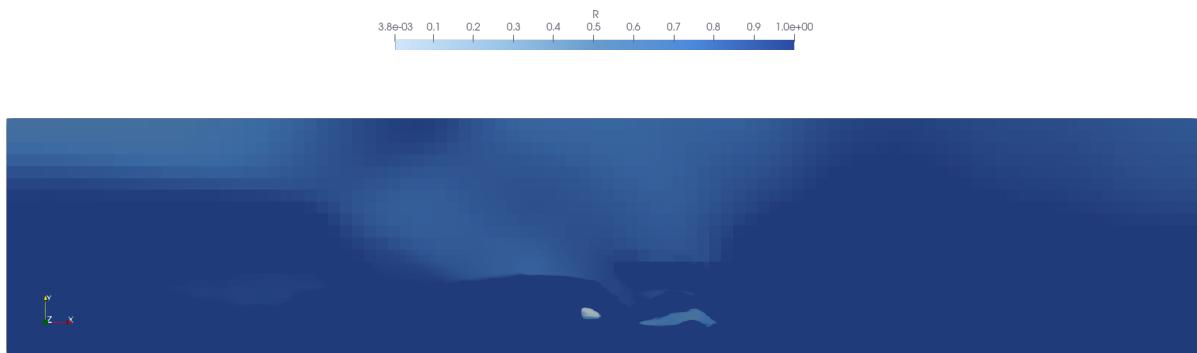


FIGURE II.4 – Visualisation du problème de densité dans le déferlement

Ce problème peut être lié à plusieurs facteurs.

Premièrement, un maillage trop grossier qui ne permet pas de capturer correctement les interfaces. Cependant, cette situation a déjà été discutée précédemment.

Deuxièmement, le problème pourrait être lié au cas d'étude lui-même. Effectivement, le cas entraîne des vitesses importantes dans le fluide (33 m/sec). Le temps de remaillage pourrait alors être trop long (0.01 sec) face à la vitesse du phénomène. Il faudrait remailler de façon plus fréquente, cependant, encore une fois le temps de calcul en pâtirait grandement.

Problème de limites

Finalement, un problème auquel nous n'avons aucune explication cette fois est le fait que les objets rentrent les uns dans les autres et à l'intérieur des murs :



(a) Bateau entrant dans le mur

(b) Bateau sortant du mur

FIGURE II.5 – Démonstration du cas d'entrée et sortie du bateau dans un mur

Ici, on peut nettement voir que le bateau fusionne avec le mur avant de ressortir entier par la suite. Il ne s'agit cette fois pas de diffusivité car le bateau ne "fond" pas.

Conclusion

Ce projet nous a permis de découvrir et de tester le code CERF à travers des simulations appliquées au trimaran ZÉPHYR. Les cas étudiés, allant de la mise à l'eau à la submersion par une vague, ont permis d'obtenir des résultats pertinents tout en posant certaines limites. Parmi celles-ci, le besoin d'un maillage toujours plus précis pour capturer correctement les interfaces fluide-structure, ainsi que les contraintes importantes liées au temps de calcul, ont été les plus fréquentes.

En outre, des problématiques spécifiques, notamment concernant l'interaction entre le fluide et les objets solides, ont été soulevées.