

RAPPORT DE STAGE

Fracturation de floes de glace par percussion dans un modèle granulaire

Étudiant

Roussel Desmond NZOYEM

Superviseur

Stéphane LABBÉ

Enseignant référent

Christophe PRUD'HOMME



*Stage effectué au Laboratoire Jacques-Louis Lions;
du 03 février 2021, au 31 juillet 2021;
pour l'obtention du master 2 CSMI.*

Année académique 2020 - 2021

2 août 2021

Remerciements

Table des matières

Remerciements	ii
1 Introduction	1
1.1 Contexte	1
1.2 Problématique et missions	2
1.3 Environnement	2
1.4 Roadmap	2
1.5 Résumé de l'introduction en Anglais	2
2 État de l'art	3
2.1 Position du problème	3
2.2 Résumé de thèse de M. Rabatel	3
2.3 Résumé de thèse de D. Balasoiu	3
2.4 Résumé de l'Etat de l'art	3
3 Problème 1D et étude de la fracture	4
3.1 Les différents modèles étudiés	4
3.2 Présentation du code de calcul 1D	4
3.3 Résumé des résultats obtenus	4
4 Problème 2D et percussion des floes de glace	5
4.1 Présentation des travaux antérieurs	5
4.2 Développement d'un modèle de percussion	5
4.3 Présentation du code de calcul 1D	5
4.4 Résumé des résultats obtenus	5
5 Déroulement et apports du stage	6
5.1 Journal de bord	6
5.2 Bilan et future travail	6
5.3 Les apports du stage	6
6 Conclusion	7
A Rappels sur les EDO	8
B Le schéma Symplectique	9
Bibliographie	10

Chapitre 1

Introduction

1.1 Contexte

Le déclin de la glace Artique ces dernières décennies est considéré comme l'une des manifestations les plus marquantes du changement climatique (voir [Str+12]). Ce déclin présente des enjeux aussi climatiques qu'industriels. Premièrement, de par son étendue et son épaisseur immense, la zone arctique est un contributeur majeur au climat à travers ses échanges de chaleurs par rayonnement et radiation avec l'atmosphère. Il est donc crucial de considérer l'évolution de la glace dans les modèles climatiques. Deuxièmement, la chute de cette couverture de glace dans la MIZ¹ (VOIR FIGURE) ouvre des routes maritimes facilitant l'exploitation de ses réserves d'hydrocarbures (qui restent quasiment intactes). Il est donc nécessaire de pouvoir prédire l'évolution de la banquise Artique (au moins) à court terme.

Parmi les éléments exagérant ce déclin de la glace Artique, des études ont cité l'accélération de la vitesse et de la déformation des floes² (RWDC11, SKM11). Pour la prédiction de l'évolution de la banquise, les modèles qui considèrent la glace comme un milieu continu ne sont pas adaptés, surtout à l'échelle de la MIZ. Au contraire, les modèles granulaires, bien que plus coûteux, doivent être privilégiés afin de prendre en compte la nature discontinue de la banquise et sa rhéologie³. Des modèles granulaires pour l'évolution de la glace ont été utilisés par le passé (Hop96, KS14). Cependant, les approches utilisées dans ces travaux limitent la géométrie (circulaire, rectangulaire) et le nombre de floes (de l'ordre de la centaine) et modélisent donc le contact entre floes comme une répulsion après interpénétration⁴ (voir [Bal20, p.16]).

En 2015, M. Rabatel, S. Labbé et J. Weiss ont développé un nouveau modèle granulaire prenant en compte la collision des floes sans passer par un processus d'interpénétration. Dans leur modèle, le mouvement des floes vérifie les équations de conservation du moment angulaire et de la quantité de mouvement. Le modèle prend en compte la force de Coriolis et les interactions avec l'océan et l'atmosphère. En 2020, D. Balasoiu développe un modèle de fracture dans le but de le coupler au modèle granulaire d'interaction préexistant, en prenant en compte le phénomène de percussion⁵. Les floes de glace auparavant considérés comme des corps solides dans les travaux de M. Rabatel, sont dorénavant des corps élastiques. En plus de proposer un modèle de fracture fragile pour les floes de glace, D. Balasoiu obtient l'expression du déplacement d'un floe (cette fois-ci considéré comme un réseau de masses-ressorts-dispositifs visqueux) qui est percuté par un objet ponctuel.

1. Marginal Ice Zone : zone de transition entre l'océan et le cœur de la banquise, où la concentration de glace est inférieure à 80%, et/ou les morceaux de glace sont de faible épaisseur ($\approx 1\text{ mètre}$) et de petite taille ($10\text{ m} - 100\text{ km}$).

2. Un floe est un morceau individuel de glace rencontré dans la MIZ

3. étudie la résistance des matériaux aux contraintes et aux déformations.

4. Les détails sur l'interpénétration sont donnés à la ...

5. Dans ce rapport, nous désignerons par percussif la série de collision à très courts intervalles de temps entre deux ou plusieurs floes.

C'est dans ce contexte que le projet SASIP a été lancé. Il s'agit d'un projet a but de developper un nouvea modèle de glace de mer capable d'appréhender sa dynamique complexe afin d'améliorer sa représentation dans les futurs modèles de pr'diction climatiques. J'ai intégré ce projet dans un stage de six mois avec pour missions : prendre en main puis de poursuivre le développement du modèle de fracturation des floes existant ; l'intégration de ce modèle dans un code de calcul de lévolution de la banquise à léchelle des floes de glace.

SASIP

1.2 Problématique et missions

1.3 Environnement

LJLL, GRENOBLE et Teletravail

1.4 Roadmap

Missions (objectifs primaire) et secondaires. Ensuite les milestones. Enfin annonce du plan (qui résumant les travaux)

1.5 Résumé de l'introduction en Anglais

Chapitre 2

État de l'art

2.1 Position du problème

2.2 Résumé de thèse de M. Rabatel

2.3 Résumé de thèse de D. Balasoiu

2.4 Résumé de l'Etat de l'art

Chapitre 3

Problème 1D et étude de la fracture

3.1 Les différents modèles étudiés

3.2 Présentation du code de calcul 1D

DIAGRAMME UML ET README DU REPOSITORY

3.3 Résumé des résultats obtenus

Chapitre 4

Problème 2D et percussion des floes de glace

4.1 Présentation des travaux antérieurs

4.2 Développement d'un modèle de percussion

4.3 Présentation du code de calcul 1D

4.4 Résumé des résultats obtenus

Chapitre 5

Déroulement et apports du stage

5.1 Journal de bord

5.2 Bilan et future travail

RÉSUMÉ DÉTAILLE DES TRAVAUX DE STAGE, ET TRAVAIL RESTANT

5.3 Les apports du stage

LES OUTILES ET LES RESSOURCES UTILISÉS ENTRENT ICI.

- L' utilisation de TIKZ
- La maitrise de Flask
- Optimiser mes codes (1D et 2D) avec Cpython

Chapitre 6

Conclusion

Annexe A

Rappels sur les EDO

Annexe B

Le schéma Symplectique

EXPLICATION DU MODULE SCIPY INTEGRATE

Bibliographie

- [Bal20] Dimitri BALASOIU. « Modélisation et simulation du comportement mécanique de floes de glace ». Theses. Université Grenoble Alpes [2020-....], oct. 2020. URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03116132>.
- [Str+12] Julianne C STROEVE et al. « Trends in Arctic sea ice extent from CMIP5, CMIP3 and observations ». In : *Geophysical Research Letters* 39.16 (2012).