



Fracturation de floes de glace par percussion dans un modèle granulaire

Roussel Desmond Nzoyem

Sorbonne Université

Soutenance de mi-stage 2021
12 mai 2021

Sommaire

1 INTRODUCTION

- Test subsection title

2 ÉTAT DE L'ART

- Thèse de M. Rabatel
- Thèse de D. Balasoïu

3 TRAVAUX ET RÉSULTATS

- Résultats en 1D

1 INTRODUCTION

- Test subsection title

2 ÉTAT DE L'ART

- Thèse de M. Rabatel
- Thèse de D. Balasoiu

3 TRAVAUX ET RÉSULTATS

- Résultats en 1D

Motivation

Enjeux écologiques

- ▶ Etude climatique à échelle nature (SASIP)
- ▶ Prévisions climatiques avec précision

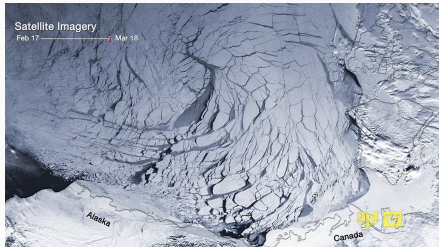


FIGURE – Prévision dans l'artique

Enjeux industrielles

- ▶ Routes maritimes exploitables
- ▶ Comportement des stations offshore



FIGURE – Un navire dans la MIZ

```
graph TD
    A[FRACTURATION DE FLOES DE GLACE] --> B[INTRODUCTION]
    B --> C[Test subsection title]
    C --> D[Motivation]
```

FRACTURATION DE FLOES DE GLACE

INTRODUCTION

- Test subsection title

- Motivation

Floe : Un floe est un morceau de glace.

Motivation

Exemple Antipodes

- Modeler climatique et évaluer nature (SARF)
- Prévisions climatiques avec précision

Indice Industrialisation

- Bases statistiques explicatives
- Comportement et écartations efficaces



FIGURE 1 – Prévisions dans l'Antipode




FIGURE 2 – Une image dans le 2002

Enjeux écologiques

- Étude climatique à échelle nationale
- Prévisions climatiques avec précision



Einige Beispiele

- Routes maritimes exploitables
- Comportement des stations offshore



Objectifs

Objectifs généraux

- ▶ Modélisation et analyse mathématique de la notion de percussion
- ▶ Poursuite du développement d'un modèle de fracturation des floes

Objectifs intermédiaires

- 1 Lecture des travaux précédents :
 - ▶ M. Rabatel, S. Labbé, et J. Weiss : Dynamics of an assembly of rigid ice floes (2015);
 - ▶ Matthias Rabatel : Modélisation dynamique d'un assemblage de floes rigides (2015);
 - ▶ Dimitri Balasoiu : Modélisation et simulation du comportement mécanique de floes de glace (2020).
- 2 Modélisation et simulation du déplacement des noeuds d'un floe isolé :
 - ▶ en 1D;
 - ▶ en 2D.
- 3 Introduction de la percussion dans le code préexistant.

- 1 INTRODUCTION
 - Test subsection title

- 2 ÉTAT DE L'ART
 - Thèse de M. Rabatel
 - Thèse de D. Balasoiu

- 3 TRAVAUX ET RÉSULTATS
 - Résultats en 1D

Cinétique du floe

Les équations de Newton-Euler :

$$\begin{cases} M_i \frac{d\dot{\mathbf{G}}_i(t)}{dt} = \mathbf{F}_i, \\ \mathcal{I}_i \frac{d\dot{\theta}_i(t)}{dt} = \mathfrak{M}_i, \end{cases} \quad (1)$$

où pour le floe i :

- ▶ M_i : masse du floe ;
- ▶ \mathbf{F}_i : somme des forces par unité de volume ;
- ▶ \mathcal{I}_i : le moment d'inertie du floe i ;
- ▶ \mathfrak{M}_i : le moment dynamique en G .

Le système (1) se réécrit sous la forme :

$$\mathcal{M}_i \frac{dW_i(t)}{dt} = \mathcal{H}_i(t),$$

avec

$$\mathcal{M}_i = \begin{pmatrix} M_i & 0 & 0 \\ 0 & M_i & 0 \\ 0 & 0 & \mathcal{I}_i \end{pmatrix}, \quad W_i(t) = \begin{pmatrix} \dot{\mathbf{G}}(t) \\ \dot{\theta}_i(t) \end{pmatrix}, \quad \text{et} \quad \mathcal{H}_i(t) = \begin{pmatrix} \mathbf{F}_i(t) \\ \mathfrak{M}_i(t) \end{pmatrix}.$$

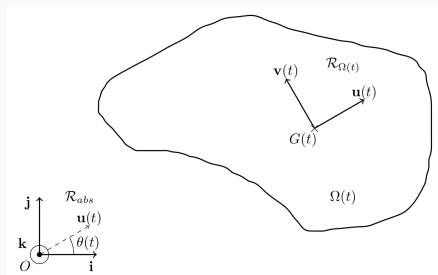
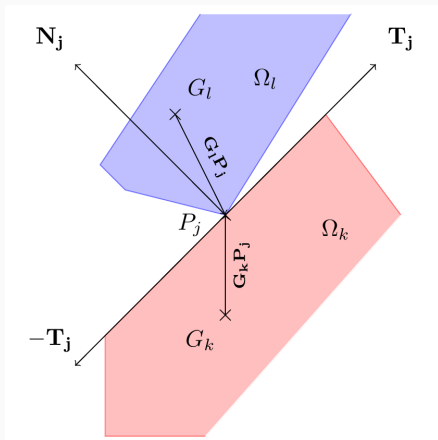


FIGURE – Repères abosolu et repère local pour une particule floe

Interaction entre les floes



Deux conditions à respecter :

- ▶ condition unilatérale de Signorini;
- ▶ loi de friction de Coulomb.

FIGURE – Interaction entre deux floes Ω_k et Ω_l au point P_j

Discussion sur la thèse

- ▶ Les floes sont rigides;
- ▶ Le modèle ne gère pas la rhéologie de la glace;
- ▶ Les coefficients de friction et de restitution sont limitants.

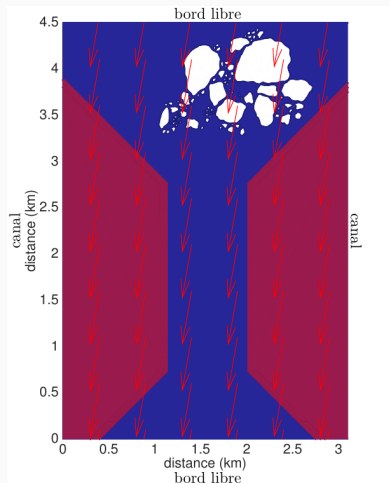


FIGURE – Dérive dans un canal étroit

Un modèle de fracture variationnel

L'énergie totale s'écrit :

$$E_{\text{tot}} : \bigcup_{\sigma \in \Sigma} A_{\sigma} \times \{\sigma\} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$u \mapsto \int_{\Omega \setminus \sigma} A e(u) : e(u) \, dx + k \mathcal{H}^1(\sigma),$$

Une solution du problème de fracture fragile est un couple (u, σ) qui vérifie :

$$E_{\text{tot}}(u, \sigma) = \min_{\sigma \in \Sigma} \min_{u \in A_{\sigma}} E_{\text{tot}}(u, \sigma).$$

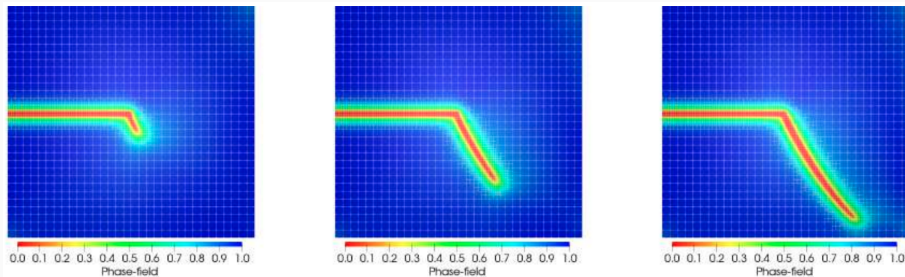


FIGURE – Bifurcation d'une fracture

Réseaux de ressorts régulier

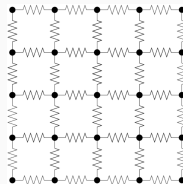


FIGURE – Réseau de ressorts régulier

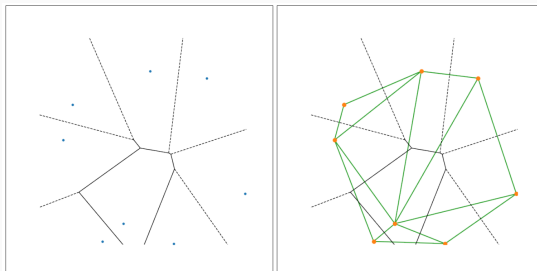


FIGURE – Tirage de points et diagrammes de Voronoi (à gauche) et Delaunay (à droite)

1

INTRODUCTION

- Test subsection title

2

ÉTAT DE L'ART

- Thèse de M. Rabatel
- Thèse de D. Balasoiu

3

TRAVAUX ET RÉSULTATS

- **Résultats en 1D**

Références

BALASOIU, Dimitri (2020). « Modélisation et simulation du comportement mécanique de floes de glace ». Thèse de doct. Université Grenoble Alpes.

RABATEL, Matthias (2015). « Modélisation dynamique d'un assemblage de floes rigides ». Thèse de doct. Université Grenoble Alpes.

RABATEL, Matthias et al. (2015). « Dynamics of an assembly of rigid ice floes ». In : *Journal of Geophysical Research : Oceans* 120.9, p. 5887-5909.

Thank you for your kind attention 😊!

Questions?