

Modélisation informatique de l'érosion des plages

L'étude de l'érosion des plages permet de répondre à des problématiques concrètes telles que la préservation des constructions littorales. La modélisation informatique permet de simuler et prévoir l'évolution du trait de côte.

L'érosion des plages repose sur les interactions entre eau, vent et sable, ce qui donne lieu à des phénomènes opposés de sédimentation et d'érosion. L'étude du mouvement des plages permet de mettre en évidence l'évolution du milieu côtier, interface entre la mer et la terre.

Professeur encadrant du candidat :

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

Positionnement thématique (phase 2)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), PHYSIQUE (Mécanique).

Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Equation de Saint-Venant</i>	<i>Shallow water equations</i>
<i>Erosion</i>	<i>Erosion</i>
<i>Résolution numérique</i>	<i>Numerical method</i>
<i>Vague</i>	<i>Wave</i>
<i>Côte</i>	<i>Coast</i>

Bibliographie commentée

L'érosion est un phénomène physique qui affecte de nombreux sols et contribue à la modification des territoires, impactant les activités humaines. Les littoraux et les sols agricoles, lieux particulièrement touchés, font l'objet d'une attention particulière de la part du gouvernement. Ce dernier a, par exemple, mis en place des stratégies de contrôle telles que l'indicateur national de l'érosion côtière. **[1]**

On appelle érosion l'ensemble des actions externes qui aboutissent à la dégradation des sols par désagréments et transport des sédiments. Ces derniers viennent alors s'accumuler dans d'autres zones créant une sédimentation. L'équilibre des sols dépend donc du dépôt de matière et de son transfert. L'érosion apparaît lorsque la déperdition de sédiments est supérieure à l'apport. **[2]**

L'eau est la principale cause d'érosion, tant pour la dégradation que pour le transport. Modéliser le comportement de l'eau permet donc de comprendre le déplacement des sédiments. **[3]**

L'action de l'eau diffère cependant sensiblement selon le milieu d'étude : en ce qui concerne les littoraux, l'action des courants marins, de la houle et du ressac des vagues est prépondérante affectant la côte dans la durée ; tandis que dans le cas des sols non-littoraux, le ruissellement est déterminant. Ce phénomène apparaît lorsque les sédiments sont mis en mouvement par une fine lame d'eau se propageant à la surface du sol. Quelle que soit l'action de l'eau, on distingue de plus deux types de transport sédimentaires. En fonction de leur masse volumique, les particules sont transportées par suspension ou par charriage : les plus légères se déplacent à la surface tandis que les plus lourdes restent au fond. **[3]** Il est possible de reproduire des comportements similaires à une échelle plus petite avec un aquarium afin de les visualiser et de les quantifier.

Une approche théorique du phénomène d'érosion peut être réalisée grâce aux équations de Barré de Saint-Venant, qui modélisent le déplacement d'un fluide dont la hauteur est libre. Ces équations développées à partir de celles de Navier-Stokes ont été établies dans le but de déterminer le courant dans les rivières. Elles permettent plus généralement de mettre en évidence différents mécanismes de propagation de l'eau comme le ruissellement ou la formation des vagues. Il est possible à partir de ces équations d'évaluer le transport des sédiments en tenant compte de l'évolution du profil et d'un seuil de déplacement. **[3][4]**

Du fait de la complexité des équations de Saint-Venant, il est nécessaire de procéder par simulation numérique pour déterminer une solution approchée. Il faut alors estimer la stabilité du système et sa cohérence. **[5][6]**

Une autre approche consiste à utiliser des automates cellulaires pour représenter les particules. Cette méthode s'est démocratisée en 1970 sous l'impulsion de John Conway, l'inventeur du jeu de la vie et permet d'obtenir des résultats cohérents concernant des problèmes d'apparence compliquée. En effet, il s'agit de diviser l'espace considéré en une grille constituée de cellules puis d'établir les interactions qui régissent les déplacements à l'échelle de ces dernières. L'utilisation de règles locales discrètes permet alors l'obtention d'un comportement à l'échelle macroscopique.

Le ruissellement est modélisable à l'aide d'une grille en trois dimensions afin de tenir compte du caractère essentiel de la profondeur du profil. Les cellules peuvent alors être vides ou contenir une particule sédimentaire. L'impact du ruissellement est donc illustré par les règles définissant le déplacement des particules en fonction des autres. **[6]**

Problématique retenue

L'érosion des sols étant régie par de nombreux paramètres, il est nécessaire de comprendre leur impact sur les sols et les littoraux.

L'enjeu est ici d'établir une modélisation et une résolution satisfaisantes de ce phénomène corroborées par l'expérimentation.

Objectifs du TIPE du candidat

Mon objectif est de mesurer les phénomènes d'érosion par l'expérience, de les modéliser et d'estimer la stabilité du modèle.

En utilisant un aquarium avec un dispositif générant des vagues, je pourrais étudier quelques paramètres influant sur le phénomène comme l'inclinaison du fond et la taille des grains de sable. Je développerais également un schéma numérique de résolution des équations de Saint-Venant à une dimension pour déterminer le déplacement des particules de sable en réinterprétant la vitesse moyenne du courant à l'aide du modèle numérique. Pour conclure, je confronterais la simulation avec l'expérience et estimerais la stabilité du modèle.

Objectifs du TIPE du second membre du groupe

La compréhension du phénomène de l'érosion hydrique des sols grâce aux équations de Saint Venant constitue le premier enjeu. Puis, nous reconstituerons à l'aide d'une expérience cette érosion en modifiant l'inclinaison de la pente, la taille (et donc la masse) des particules ainsi que le débit d'eau. Enfin, je réaliserai une modélisation informatique à l'aide d'automates cellulaires des effets du ruissellement sur l'érosion en tenant compte des mêmes variables que celles utilisées pour l'expérience afin de pouvoir mettre en parallèle les résultats.

Abstract

The flow is often the cause of progressive soil erosion. The extent of this phenomenon depends on various parameters such as the shape of the slope or the wave frequency. The shallow water equations enable to modelize the streaming through numerical resolution. We discuss the transition point between water and soil. Then we compare the results of this modelization to those of an experiment made with a wave generator. This experiment shows different phenomena we try to reproduce numerically.

Références bibliographiques (phase 2)

- [1] MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE : érosion côtière et autres risques littoraux. : <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/erosion-cotiere-et-autres-risques-littoraux-r510.html>.
- [2] INSTITUT FRANÇAIS DE L'ÉDUCATION : l'eau agent de transport : <http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/hydro/erosion/transport>
- [3] MARIE ROUSSEAU : Propagation d'incertitudes et analyse de sensibilité pour la modélisation de l'infiltration et de l'érosion. - 1.2 Modèles / 2 Modélisation déterministe et résolution numérique : *Thèse de doctorat, Université Paris-Est, 17 décembre 2012.* <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00788360/document>
- [4] PIERRE YVES LAGRÉE : Equations de Saint Venant et application aux mouvements de fonds érodables. : *Université Pierre-et-Marie-Curie, année 2018.* <http://www.lmm.jussieu.fr/~lagree/COURS/MFEnv/MFEnv.pdf>
- [5] PIERRE YVES LAGRÉE : : Résolution numérique des équations de Saint-Venant, mise en oeuvre en

volumes finis par un solveur de Riemann bien balancé. : *Université Pierre-et-Marie-Curie, année 2018* http://www.lmm.jussieu.fr/~lagree/COURS/MFEnv/code_C_saintvenant.pdf

[6] LIONEL UHL : 1001 codes Python pour la modélisation - spécial Prépas : *Chapitres : V) Equations aux dérivées partielles VI) Automates cellulaires. Ellipses, 2014*

DOT

[1] *En Octobre, études documentaires des phénomènes physiques d'érosion dus à l'action de l'eau.*

[2] *Début Décembre, choix et étude théorique des équations de Saint-Venant.*

[3] *En Février, réalisation et observation expérimentales pour estimer l'influence de différents paramètres tels que la fréquence des vagues, la forme de la pente*

[4] *En Mars, réalisation du code de résolution numérique des équations de Saint-Venant*

[5] *En Mai, recherches sur le calcul de l'évolution de la pente à partir de la vitesse de l'eau*

[6] *Mi-Mai, abandon du calcul sur l'évolution de la pente et utilisation des résultats expérimentaux pour améliorer la simulation*