

Comment simuler numériquement la géomorphologie alpine ?

Présentation du TPE

Gros Alexis, Manceau Thibaut, Porteries Tristan

21 mars 2016

- 1 Les principes géomorphologiques
- 2 Les processus sédimentaires
- 3 Les problématiques géologiques des Alpes

- 4 Les simulations alternatives
- 5 La simulation cellulaire
- 6 Les améliorations possibles
- 7 Conclusion

Sommaire

1 Les principes géomorphologiques

- Glossaire
- Les plaques tectoniques

2 Les processus sédimentaires

3 Les problématiques géologiques des Alpes

4 Les simulations alternatives

5 La simulation cellulaire

6 Les améliorations possibles

7 Conclusion

Glossaire géomorphologique

Géomorphologie : Étude de la genèse des reliefs.

Plaque litosphérique : Partie supérieure des plaques tectoniques terrestres ou maritimes.

Asténosphère : Partie inférieure des plaques tectoniques, siège des séismes de profondeurs.

Obduction : Une plaque en chevauche une autre.

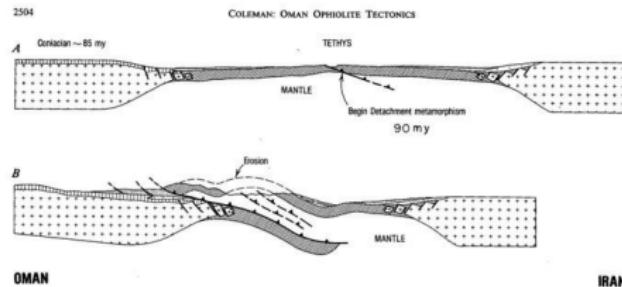
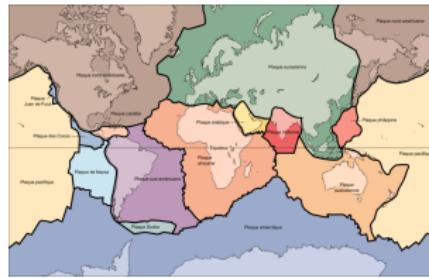
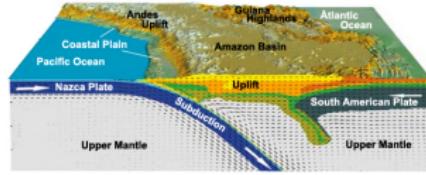


FIGURE: Exemple d'obduction

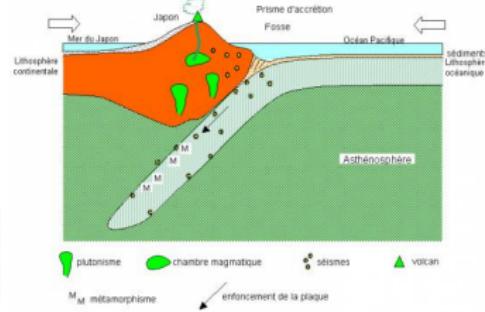
Introduction à la tectonique des plaques



(a) Carte des principales plaques tectoniques



(b) Les Andes



(c) Le Japon

Sommaire

1 Les principes géomorphologiques

2 Les processus sédimentaires

- L'altération
- L'érosion

3 Les problématiques géologiques des Alpes

4 Les simulations alternatives

5 La simulation cellulaire

6 Les améliorations possibles

7 Conclusion

Les altérations physiques



FIGURE: Exemple d'une altération cryoclastique

Les altérations chimiques

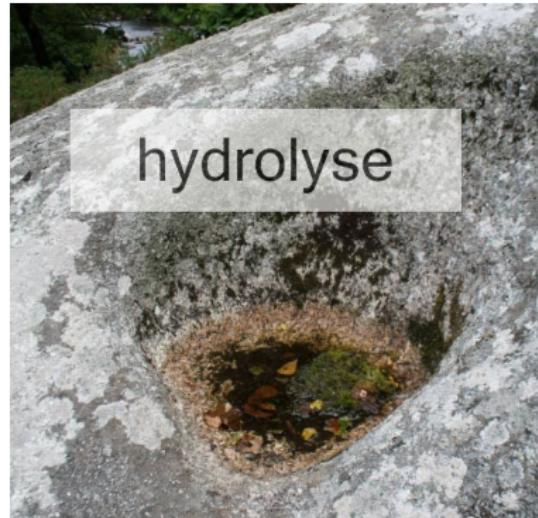


FIGURE: Altération chimique d'une roche

L'érosion fluviale



(a) Les << Badlands >>



(b) Schéma de l'érosion verticale

L'érosion karstique



FIGURE: Dolines et grottes souterraines

L'érosion glaciaire

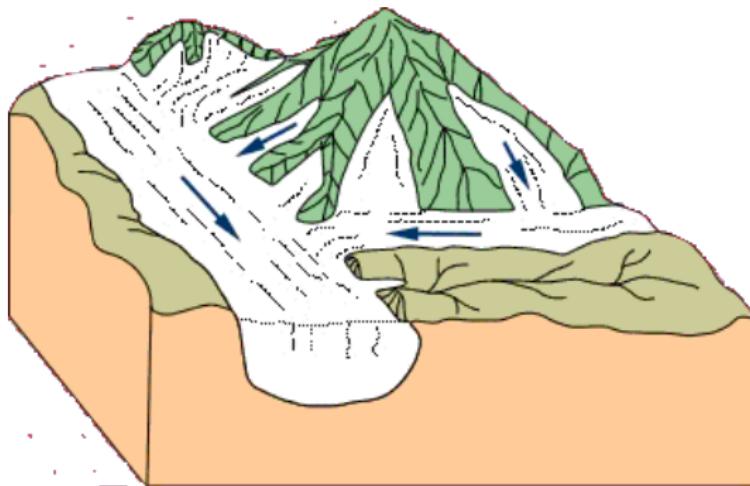


FIGURE: Schéma de l'érosion glaciaire

Sommaire

- Les principes géomorphologiques
- Les processus sédimentaires
- Les problématiques géologiques des Alpes
 - L'historique des Alpes
- Les glaciers
- Les simulations alternatives
- La simulation cellulaire
- Les améliorations possibles
- Conclusion

Chronologie des Alpes

- -200 Ma, *trias* : ouverture de l'océan alpin ;
- -140 Ma, *crétacé inférieur* : début de la compression de l'océan alpin ;
- -65 Ma, *paléocène* : émersion de la plate-forme continentale, le mont blanc passe sous la zone d'obduction pour ressurgir ensuite ;
- -23 Ma, *néogène* : création du Jura ;
- *Pliocène* : séparation de la couche calcaire du reste des plis.



L'effet des glaciers sur le paysage alpin

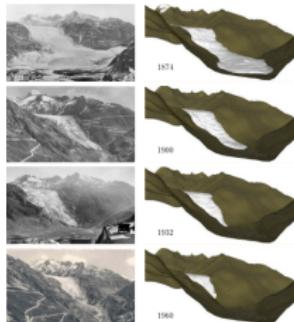
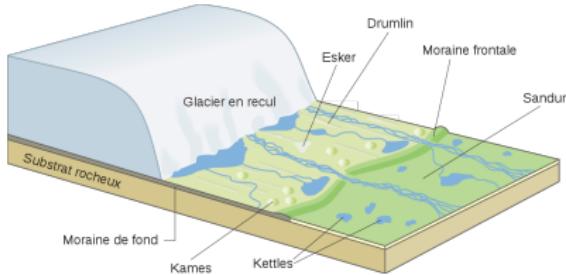


FIGURE: Les ères glaciaires successives ont grandement participé au façonnage de nos paysages.



Sommaire

- 1 Les principes géomorphologiques
- 2 Les processus sédimentaires
- 3 Les problématiques géologiques des Alpes
- 4 **Les simulations alternatives**
 - Les simulations physiques

- Le bruit de Perlin
- Les cellules de Voronoï
- Les voxels et boxels
- Les simulations numériques

- 5 La simulation cellulaire
- 6 Les améliorations possibles
- 7 Conclusion

Simulation physique par pâtes

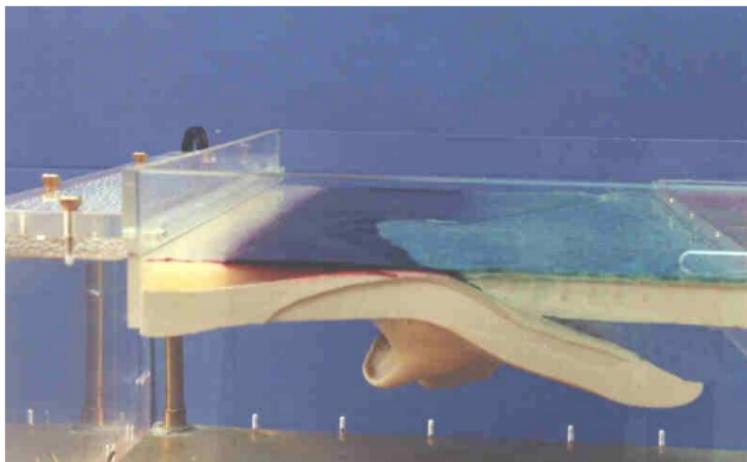
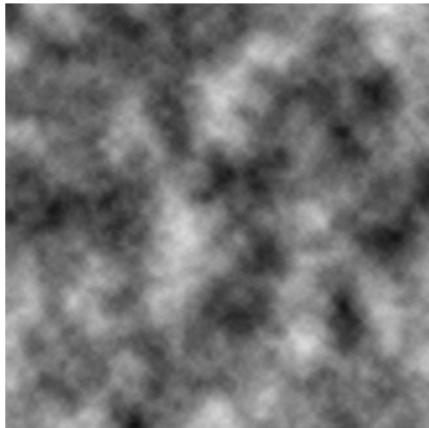


FIGURE: Photo de simulation physique par pâtes

Bruit de Perlin



(a) Représentation du bruit de Perlin



(b) Paysage généré grâce à un bruit de Perlin fractalisé

FIGURE: Différentes représentations du bruit de Perlin

Cellules de Voronoi

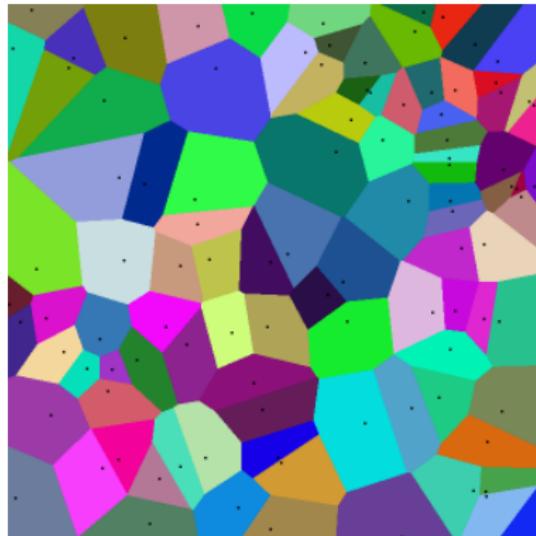
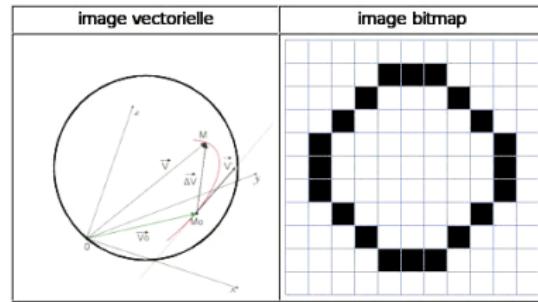


FIGURE: Représentation des cellules de Voronoi.

Présentation de voxels et boxels



Démonstration des voxels



FIGURE: Exemples d'application des voxels

Simulation numérique



(a) Simulation après 3100 pas



(b) Simulation après 7100 pas

FIGURE: Images de simulation par automates cellulaires discrets

Sommaire

- 1 Les principes géomorphologiques
- 2 Les processus sédimentaires
- 3 Les problématiques géologiques des Alpes
- 4 Les simulations alternatives

- 5 La simulation cellulaire
 - Les cellules
 - Les interactions
 - Compression et traction
 - La propagation par fronts
 - Les limites matérielles
- 6 Les améliorations possibles
- 7 Conclusion

Définition d'une cellule

Cellule : plus petit élément incompressible.

Taille réelle : sphère de 10 m de Ø

Taille dans la simulation : cercle de Ø 1

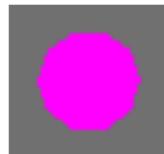
Propriétés mutables :

- vitesse ;
- position ;
- cellules adjacentes.

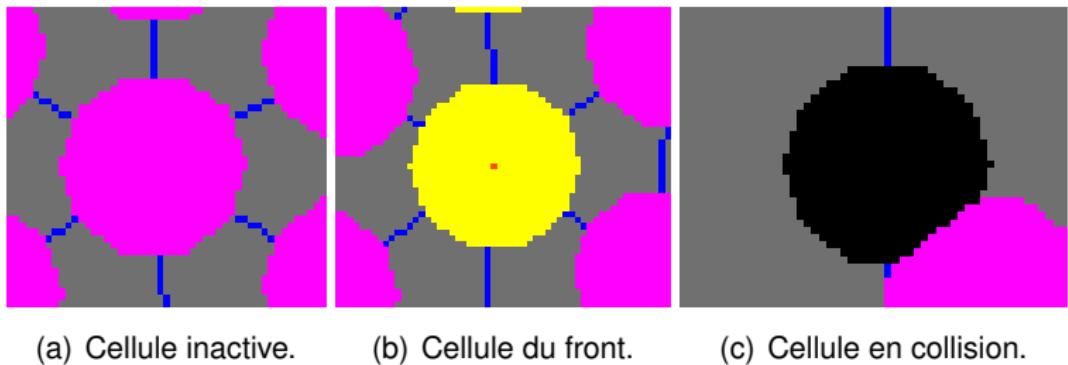
Propriétés immuables :

- plaque tectonique.

Cellules en collision : deux cellules en interaction n'ayant pas la même plaque.



Représentation graphique des cellules



(a) Cellule inactive.

(b) Cellule du front.

(c) Cellule en collision.

FIGURE: Représentation graphique de tous les états d'une cellule. Les interactions sont symbolisées par des lignes bleues.

Disposition des cellules

Disposition en nid-d'abeille au lancement de la simulation.
Équidistance de 1 entre les cellules.

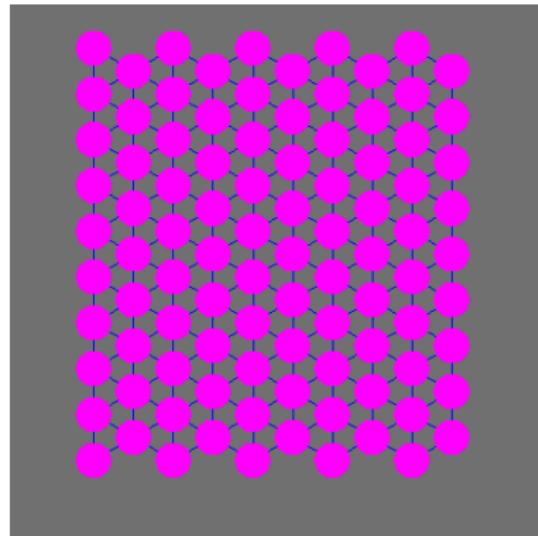


FIGURE: Image de la simulation juste après la création et la disposition des cellules

Les différentes interactions entre cellules

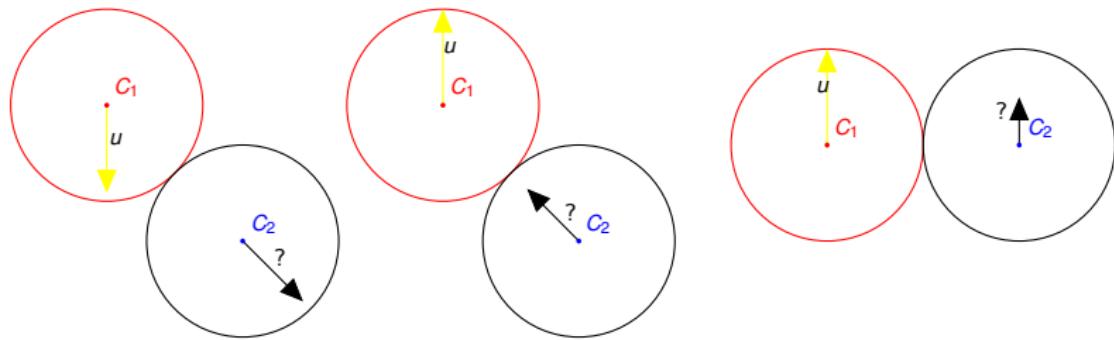
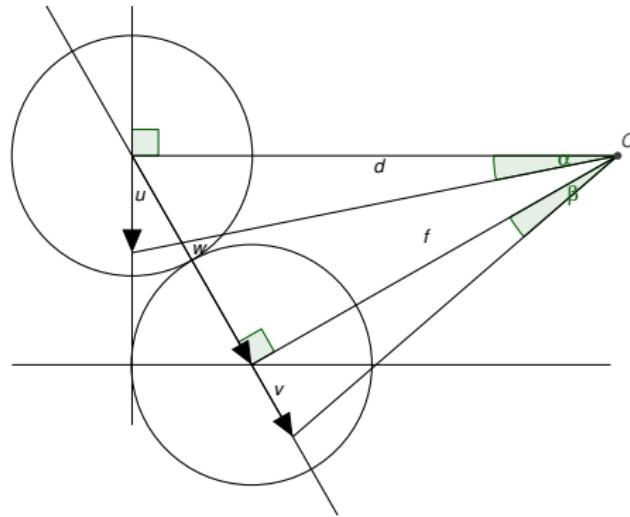


FIGURE: Trois interactions différentes entre cellules : 1) Compression ; 2) Traction ; 3) Friction.

Centre instantané de rotation



\vec{u} = vitesse verticale

\vec{v} = vitesse horizontale

$\alpha = \beta$ = rotation autour de
F

$$\|\vec{u}\| = \alpha \times d$$

$$\|\vec{v}\| = \alpha \times f$$

$$\alpha = \frac{\|\vec{u}\|}{d}$$

Démonstration du centre instantané de rotation

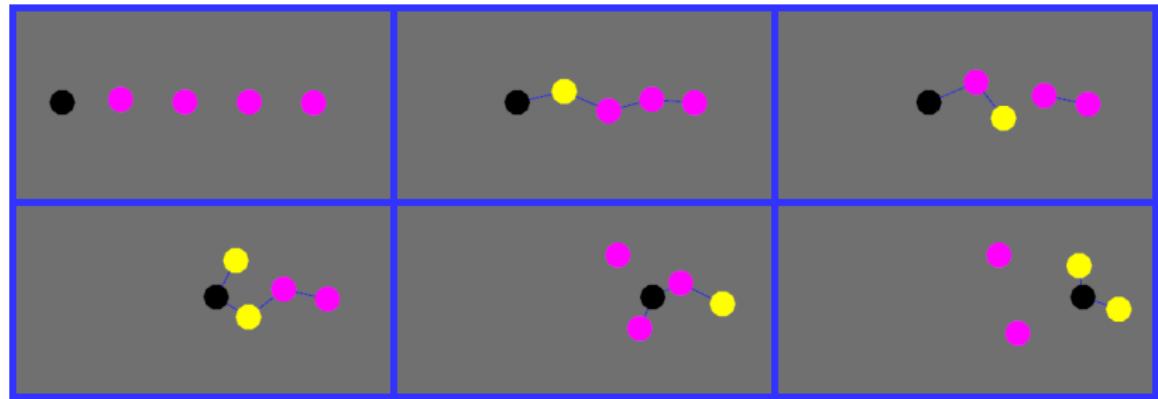


FIGURE: Six échantillons de simulation avec le centre instantané de rotation.

Loi de Hooke et module de Young

$$\sigma = E \times \epsilon$$

σ = Contrainte appliquée sur le matériau (en Pa). E = Module de Young pour le matériau étudié (en Pa). ϵ = Coefficient de déformation (en %).

Module de Young :

- Granite : 60 GPa ;
- Calcaire : 20 à 70 GPa.

Approximation de la compression et traction

Approximation asymétrique en cas de compression et traction.
Où $d' = 1 -$ la distance entre les deux cellules.

Si traction :

$$d' \leq 0 \Rightarrow \varepsilon = -(1 + d'^{16})$$

Si compression :

$$d' > 0 \Rightarrow \varepsilon = 1 + d'^2$$

Démonstration de la compression et traction

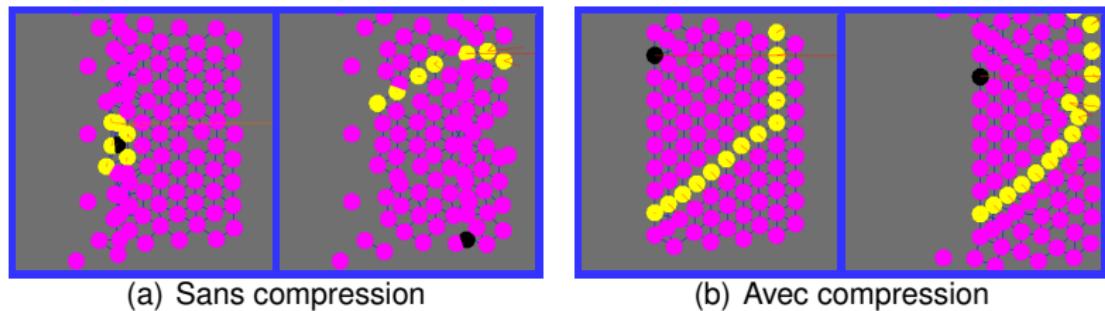


FIGURE: Paire de deux échantillons de simulation avec et sans compression

Front de cellules

Propagation par front, l'ancien front crée le nouveau. Le premier front ne contient que la cellule en collision. Interactions avec les cellules du front actuel et du front suivant.

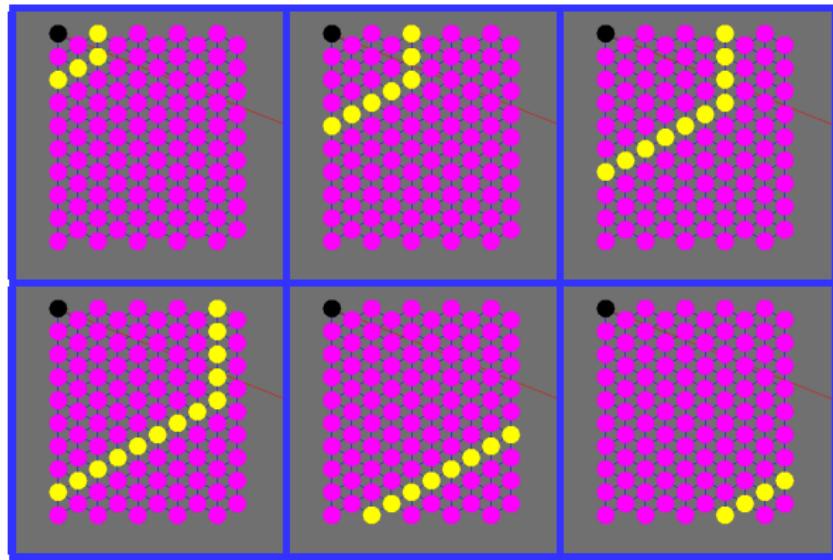


FIGURE: Six échantillons de propagation de front lors de la simulation

Calques de vitesse

Un calque par cellule en collision. Fusion des calques avant déplacement des cellules.

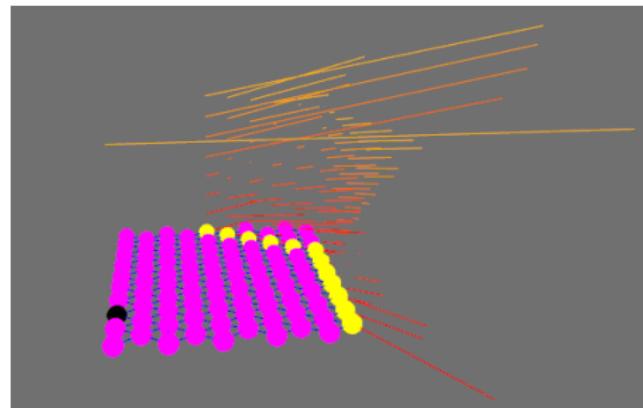
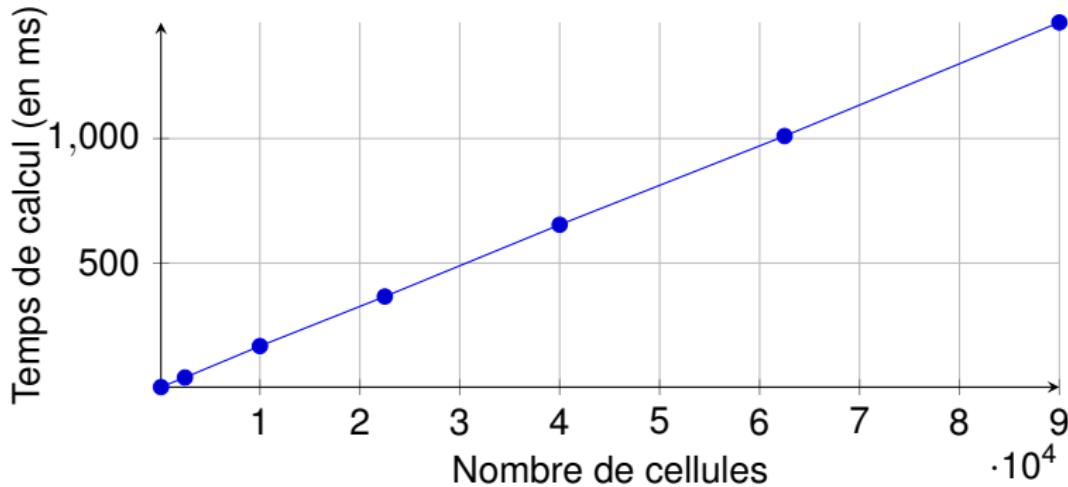


FIGURE: Du rouge vers le jaune les différentes vitesses par cellule et par collision.

Limites de temps de calculs



$$1.629 \times 10^{-2} \text{ ms/cellule}$$

$$100 \times 10^2 \times 100 \times 10^2 \times 10 \times 10^2 = 10^{11} \text{ cellules}$$

$$100 \text{ milliards de cellules : } 16290000000 \text{ ms} = 4525 \text{ h} = 189 \text{ j}$$

$$10000 \text{ cellules en collisions : } 1890000 \text{ j} = 5178 \text{ a.}$$

Sommaire

- 1 Les principes géomorphologiques
- 2 Les processus sédimentaires
- 3 Les problématiques géologiques des Alpes
- 4 Les simulations alternatives
- 5 La simulation cellulaire
- 6 **Les améliorations possibles**
- 7 Conclusion

Améliorations possibles de la simulation

Améliorations au profit du réalisme :

- implémenter les altérations ;
- implémenter la loi de Hooke et la loi de Coulomb ;
- implémenter l'inertie.

Améliorations au profit de l'optimisation :

- regrouper certaines cellules proches en fonction de la profondeur ;
- paralléliser les calculs (accélération graphique).

Sommaire

- 1 Les principes géomorphologiques
- 2 Les processus sédimentaires
- 3 Les problématiques géologiques des Alpes

- 4 Les simulations alternatives
- 5 La simulation cellulaire
- 6 Les améliorations possibles
- 7 Conclusion
 - Remerciements et sources

Sources

- Serge Fudral - Géologue retraité ;
- Richard Bézin, Benoît Crespin, Xavier Skapin, Olivier Terraz, Philippe Meseure. Opérations topologiques pour la géomorphologie. Journées de l'Association Française d'Informatique Graphique, Oct 2011, Biarritz, France. pp.95-104, 2011. < hal - 00633705 >
- Pascale Roudier. Synthèse de paysages réalistes par simulation de processus d'érosion. Graphics [cs.GR]. École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne ; Université Jean Monnet - Saint-Etienne, 1993. French. < NNT : 1993STET4011 > . < tel - 00835373 >
- Thomas Leduc. Modélisation par un système dynamique discret du processus de subduction-érosion en tectonique des plaques : première approche uni-dimensionnelle. Laboratoires LIP6, Mai 1997.
- Thomas Leduc. Modélisations par réseaux d'automates cellulaires et simulations parallèles du phénomène de subduction- érosion en tectonique des plaques. Modeling and Simulation. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 1999. French. < tel - 00327733 >
- Thomas Leduc. Simulation par automates cellulaires bi-dimensionnels en géotectonique. Laboratoires LIP6, 1999.
- Loi de Hooke : https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Hooke
- Module de Young : https://fr.wikipedia.org/wiki/Module_de_Young
- Loi de Coulomb : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Coulomb_\(mecanique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Coulomb_(mecanique))