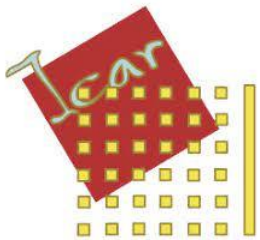


# Algorithmes d'érosion pour la génération de terrains 3D

M. Hartley<sup>1</sup>, C. Fiorio<sup>1</sup>, N. Mellado<sup>2</sup>, N. Faraj<sup>1</sup>

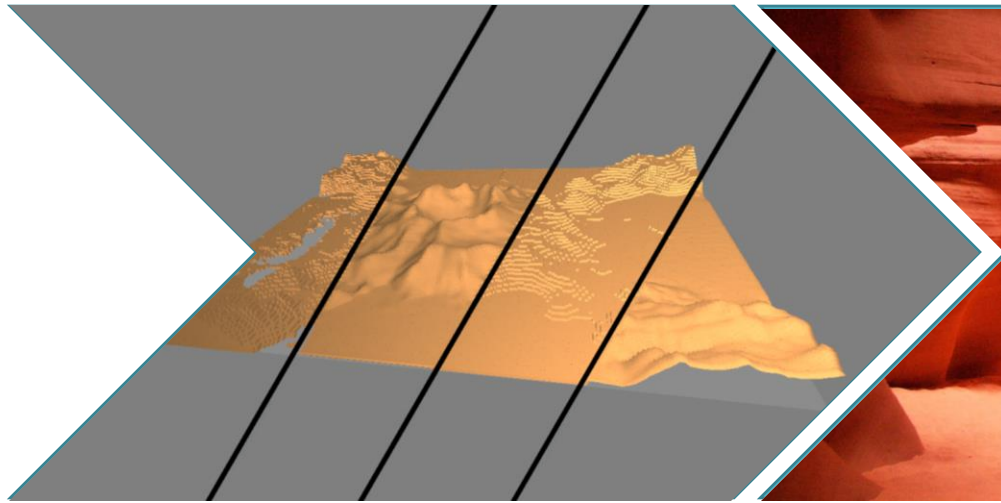
<sup>1</sup> LIRMM, Université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France

<sup>2</sup> IRIT, CNRS, University of Toulouse, Toulouse, France



# Plan

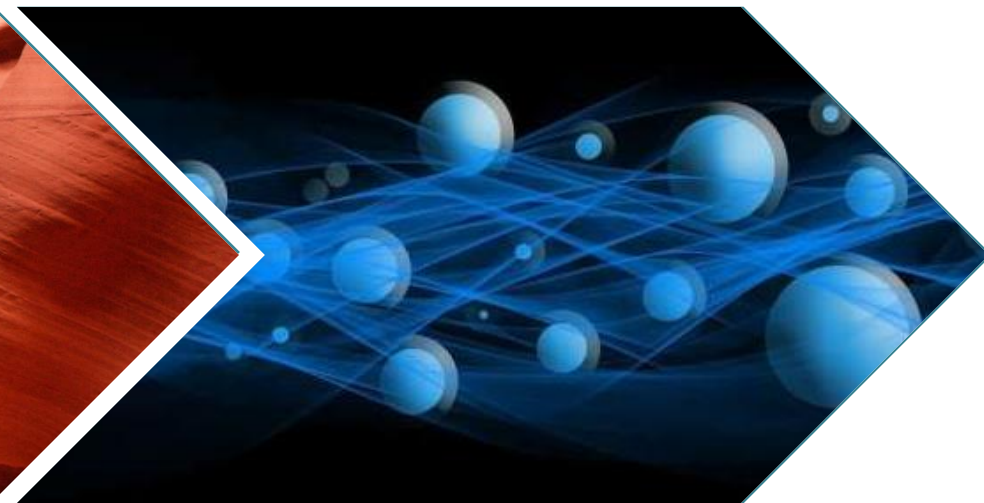
Génération procédurale  
de terrains



Érosion



Méthode proposée



# Génération de terrains virtuels

Pour le cinema,  
Pour les jeux vidéos,  
Pour les simulateurs

...



Avatar : La voie de l'eau (2022). Réalisé par J. Cameron



Red Dead Redemption II (2018). Rockstar Studio



Pierre Ecornier-Nocca et al.. Authoring Consistent Landscapes with Flora and Fauna. ACM Transactions on Graphics, Association for Computing Machinery, 2021



# Plusieurs représentations de terrain

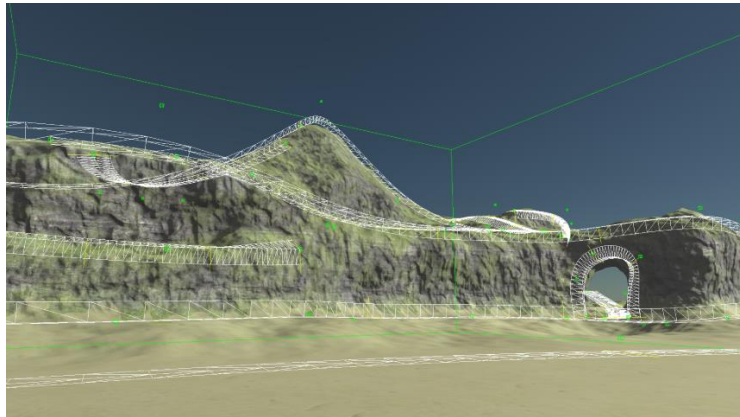
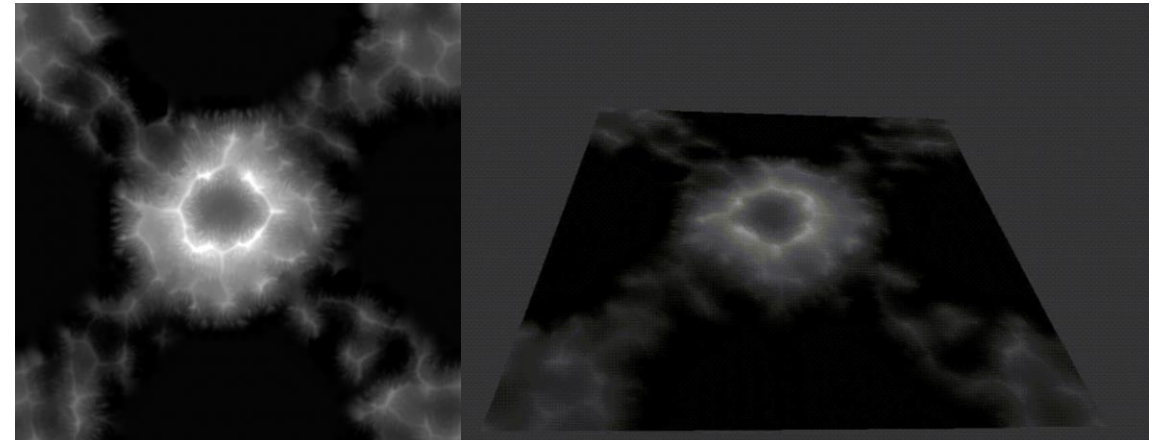
Des champs de hauteur

Des empilements de matériaux

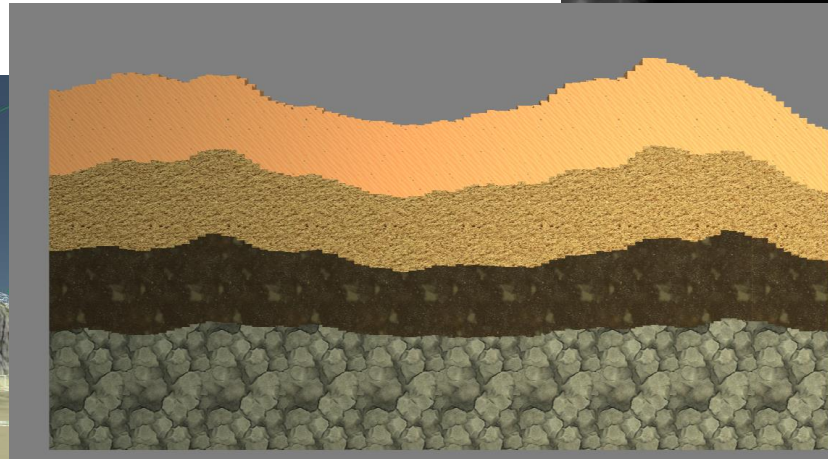
Des grilles de voxels

Des terrains implicites

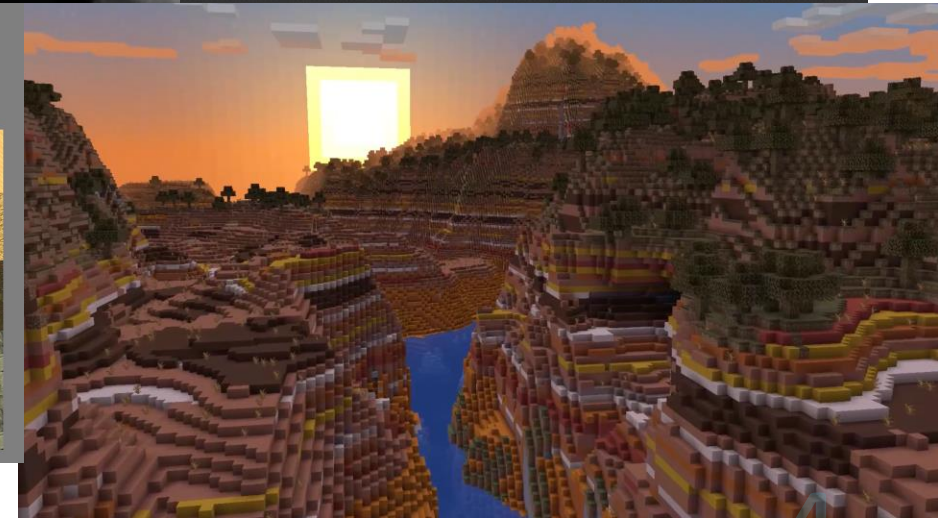
Etc...



M. Becher, et al. "Feature-Based Volumetric Terrain Generation." *Proceedings - I3D 2017: 21st ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games*, 2017



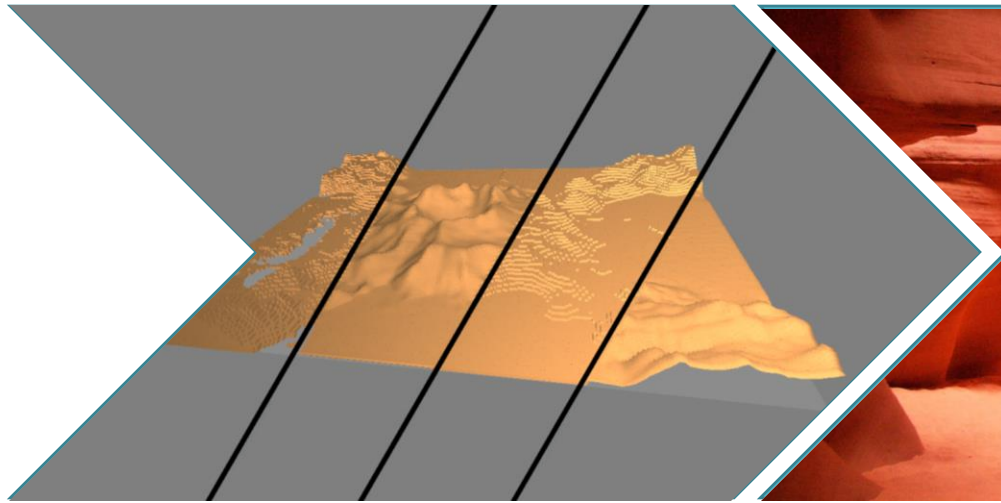
Beneš, Bedřich, and Rafael Forsbach. "Layered Data Representation for Visual Simulation of Terrain Erosion." *Proceedings - Spring Conference on Computer Graphics*, 2001



Source : Minecraft

# Plan

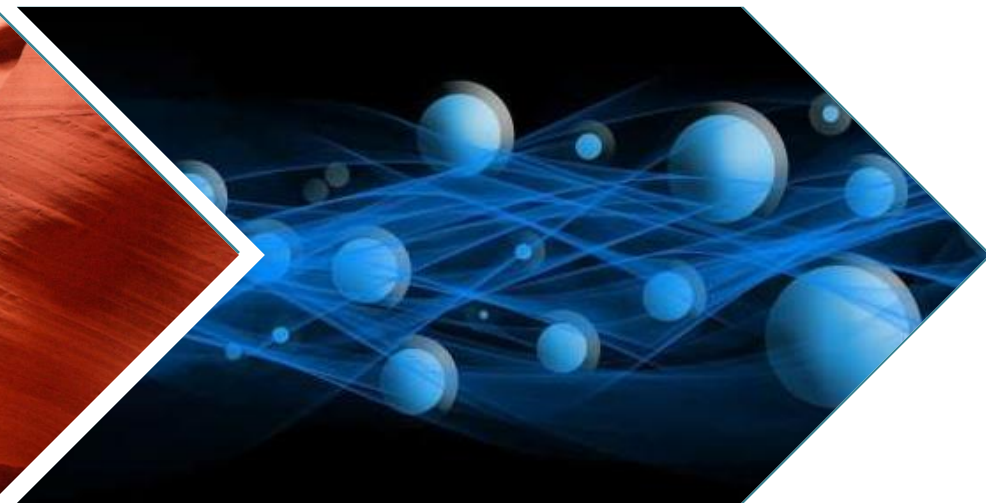
Génération procédurale  
de terrains



Érosion



Méthode proposée

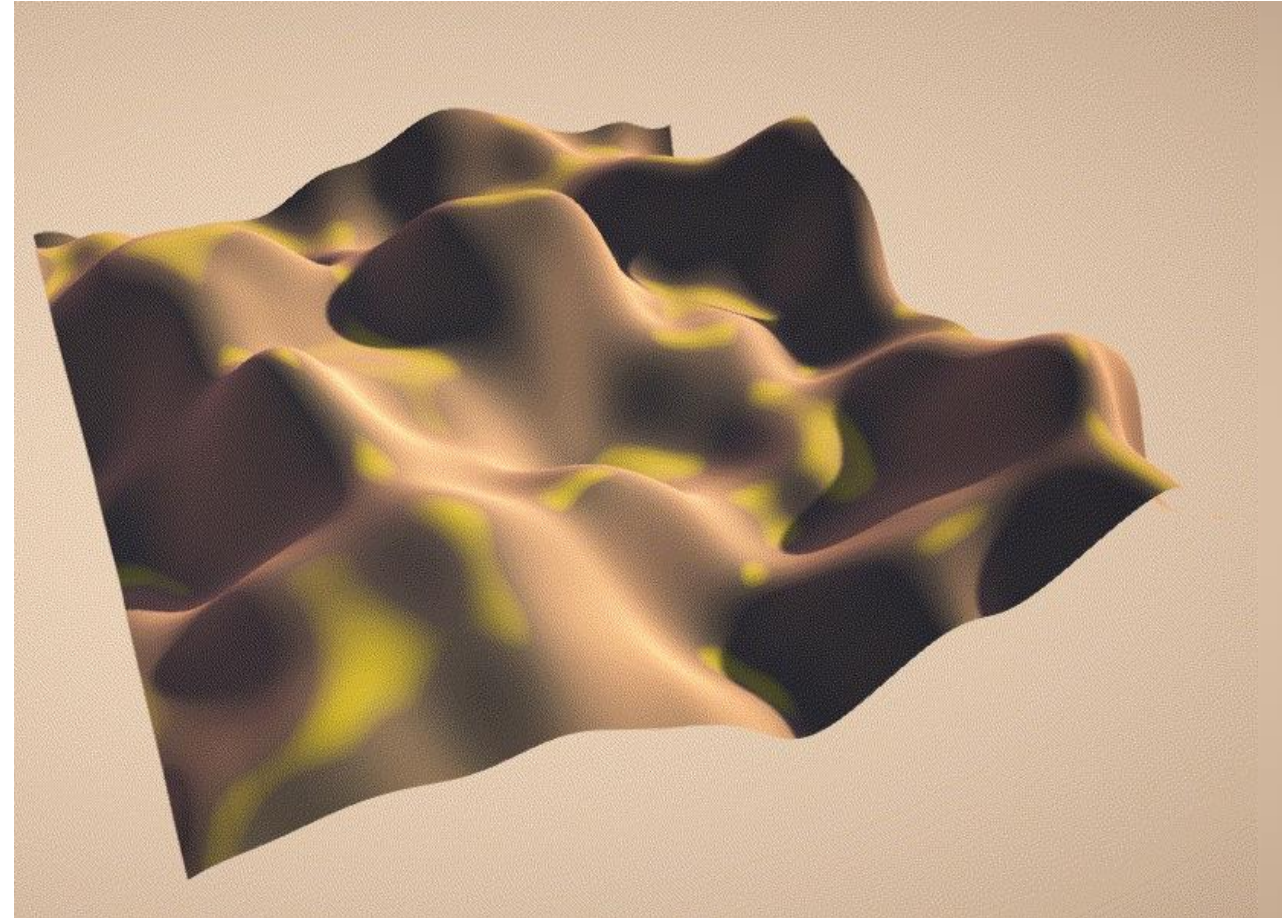




# Simulation d'érosion

Création (manuelle) d'un terrain de base

Une altération basée sur la physique ajoutant du réalisme



S. Lague, "Hydraulic Erosion". <https://github.com/SebLague/Hydraulic-Erosion>

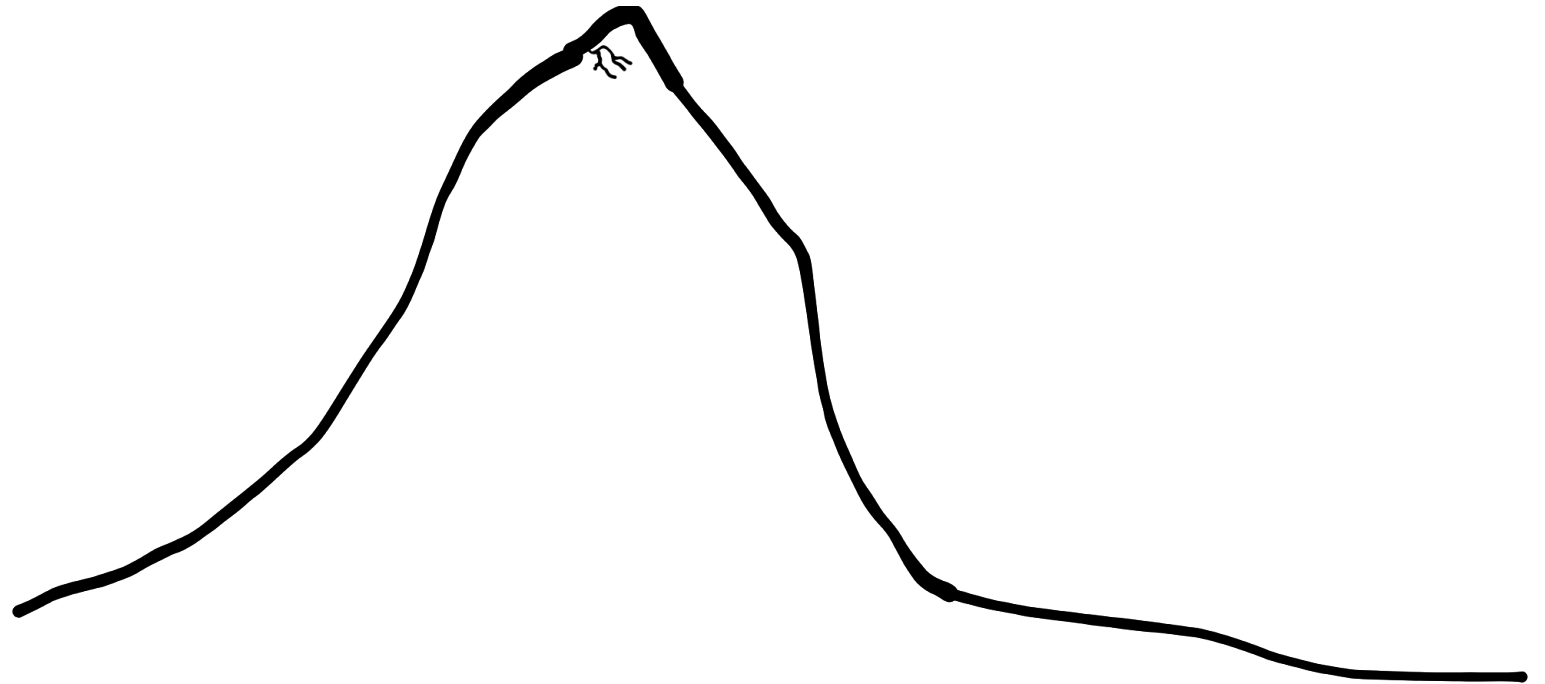
B. Jákó et T. Balázs "Fast Hydraulic and Thermal Erosion on GPU". 2011

# Les 3 étapes de l'érosion

Ablation du matériau

Transport du matériau

Dépôt de sédiments

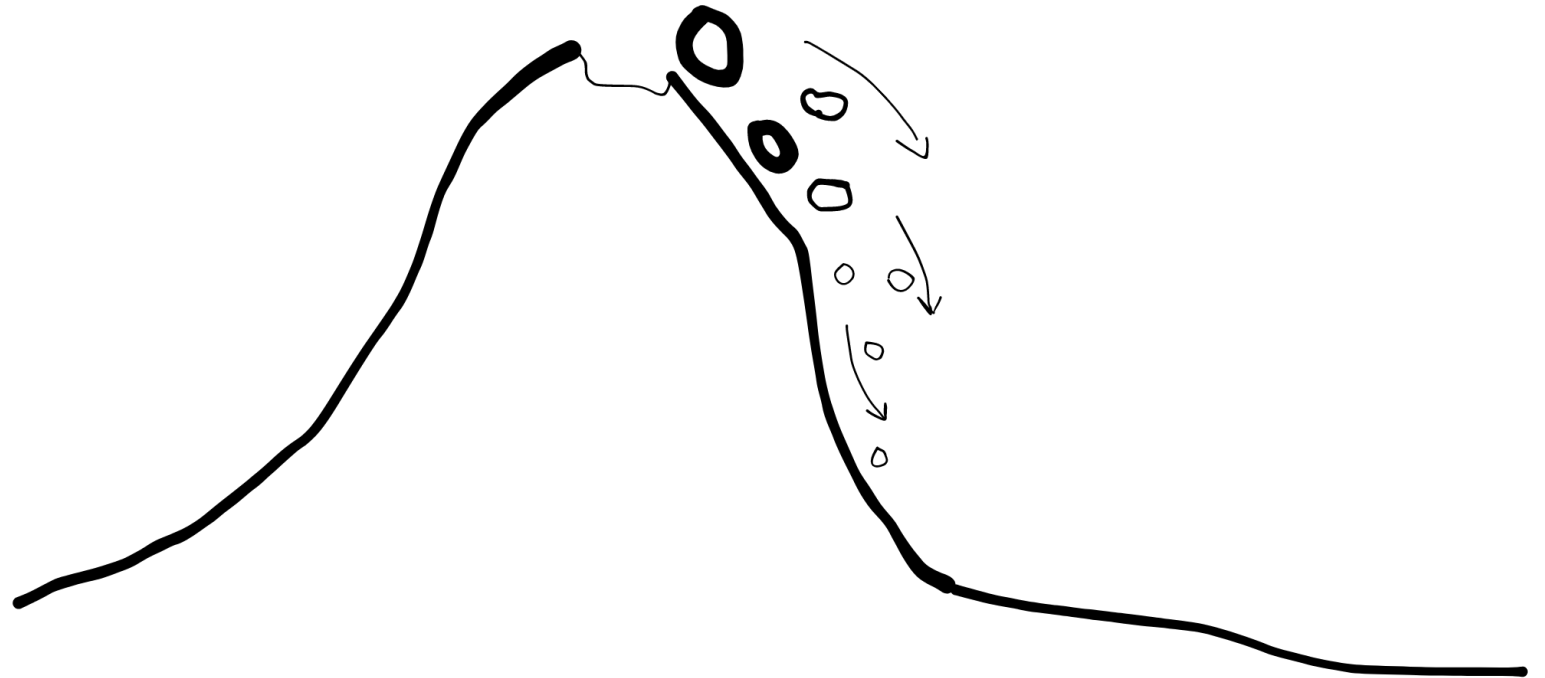


# Les 3 étapes de l'érosion

Ablation du matériau

**Transport du matériau**

Dépôt de sédiments



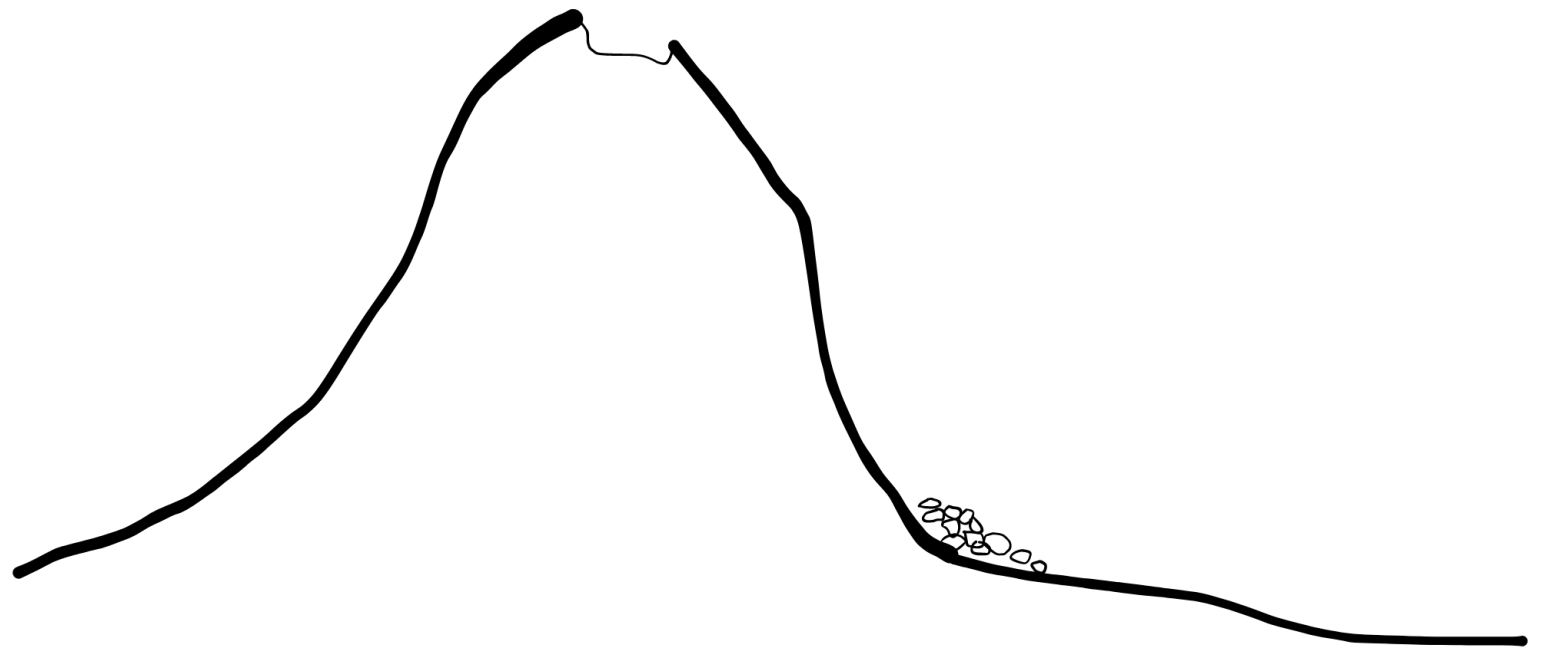


# Les 3 étapes de l'érosion

Ablation du matériau

Transport du matériau

Dépôt de sédiments



# Choix d'érosions limité à la représentation

Des champs de hauteur

Des empilements de matériaux

Des

Des

Etc.

Érosion thermique  
Érosion hydraulique  
Érosion éolienne  
Foudre  
Érosion glacière  
Tectonique des plaques  
Vie animale  
...

- À peu près tout existe

Musgrave, F. Kenton, et al. "The Synthesis and Rendering of Eroded Fractal Terrains." 1989

Neidhold, B., et al. "Interactive Physically Based Fluid and Erosion Simulation." 2005

Roa, Toney, and Bedrich Benes. "Simulating Desert Scenery." 2004

Argudo, Oscar, et al. *Simulation, "Modeling and Authoring of Glaciers"*. 2020.

Cordonnier, Guillaume, et al. "Sculpting Mountains: Interactive Terrain Modeling Based on Subsurface Geology." 2017

Cordonnier, Guillaume, et al. "Authoring Landscapes by Combining Ecosystem and Terrain Erosion Simulation." 2017

Ecormier-Nocca, Pierre, et al. "Authoring Consistent Landscapes with Flora and Fauna." 2021

# Choix d'érosions limité à la représentation

Des champs de hauteur

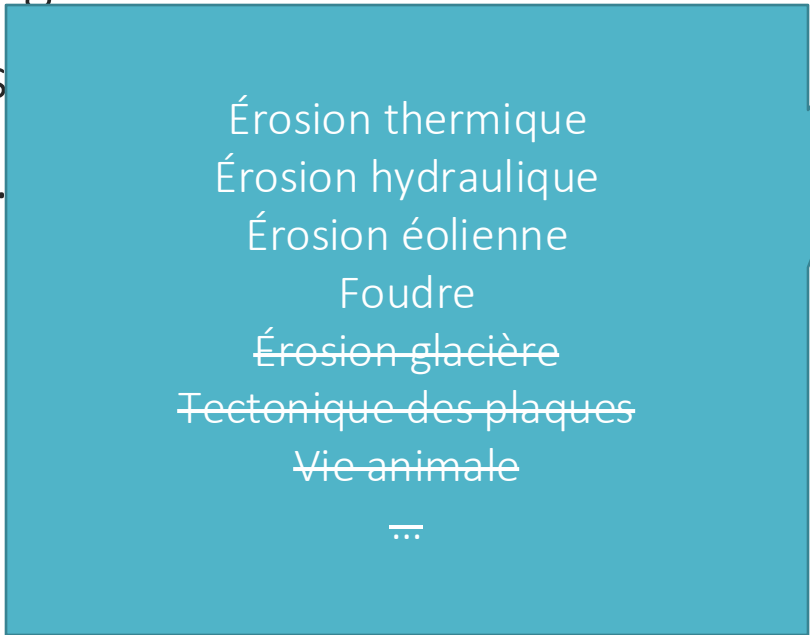
**Des empilements de matériaux**

Des grilles de voxels

Des

Etc.

- À peu près tout existe
- Plusieurs adaptations proposées



Érosion thermique  
Érosion hydraulique  
Érosion éolienne  
Foudre  
Érosion glaciaire  
Tectonique des plaques  
Vie animale  
...

Beneš, Bedřich, and Rafael Forsbach. *"Layered Data Representation for Visual Simulation of Terrain Erosion"* 2001  
Cordonnier, Guillaume, et al. *"Authoring Landscapes by Combining Ecosystem and Terrain Erosion Simulation."* 2017  
Paris, Axel, et al. *Desertscape Simulation*. 2020



# Choix d'érosions limité à la représentation

Des champs de hauteur

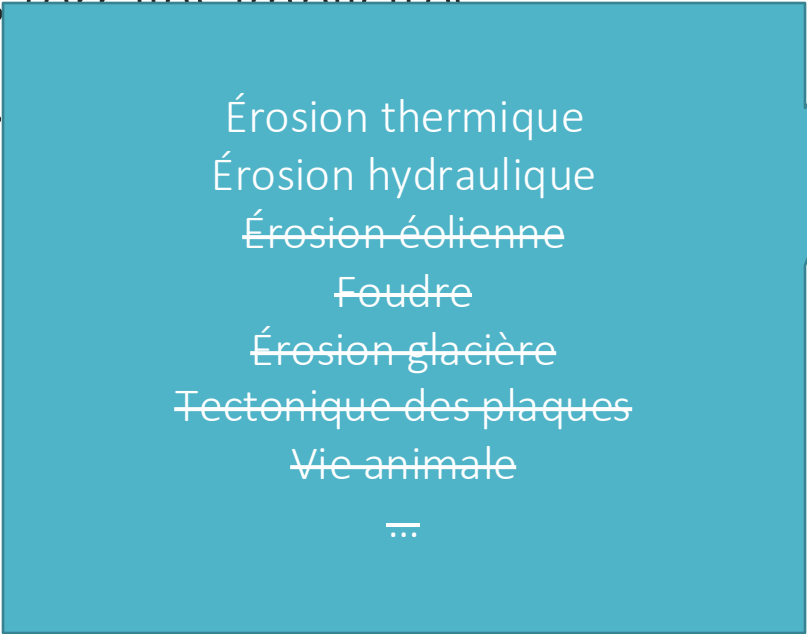
Des empilements de matériaux

**Des grilles de voxels**

Des terrains implicites

Etc.

- À peu près tout existe
- Plusieurs adaptations proposées
- Très peu de types possibles



Érosion thermique  
Érosion hydraulique  
~~Érosion éolienne~~  
~~Foudre~~  
Érosion glacière  
~~Tectonique des plaques~~  
~~Vie animale~~  
...

# Choix d'érosions limité à la représentation

Des champs de hauteur

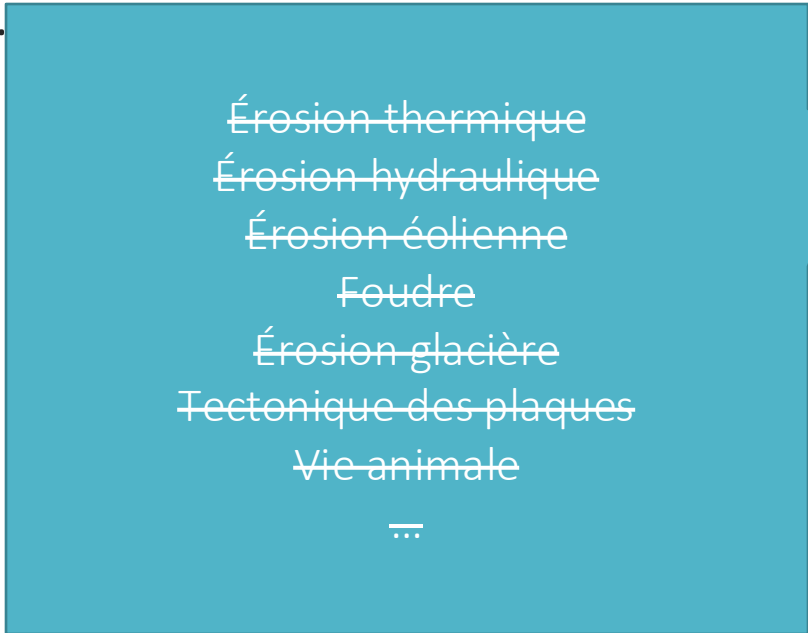
Des empilements de matériaux

Des grilles de voxels

**Des terrains implicites**

Etc.

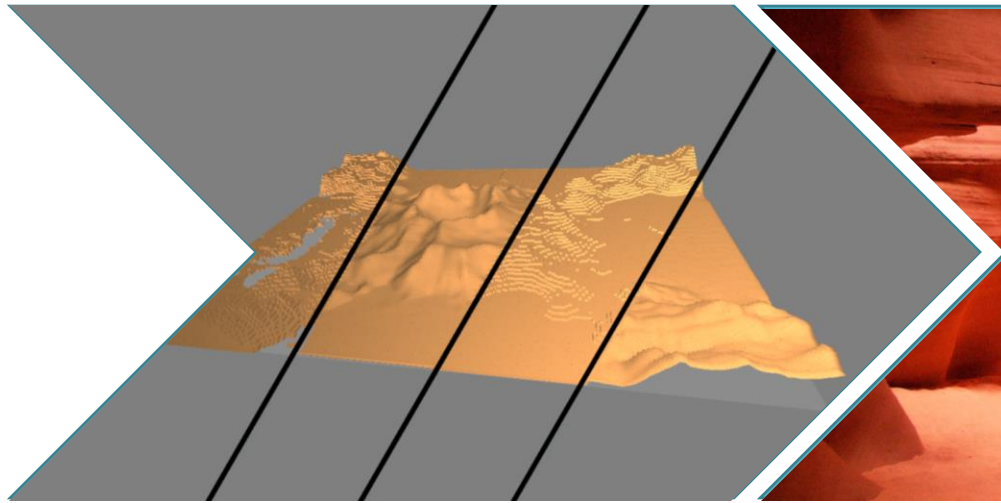
- À peu près tout existe
- Plusieurs adaptations proposées
- Très peu de types possibles
- Proche du néant



~~Érosion thermique~~  
~~Érosion hydraulique~~  
~~Érosion éolienne~~  
~~Foudre~~  
~~Érosion glaciaire~~  
~~Tectonique des plaques~~  
~~Vie animale~~  
...

# Plan

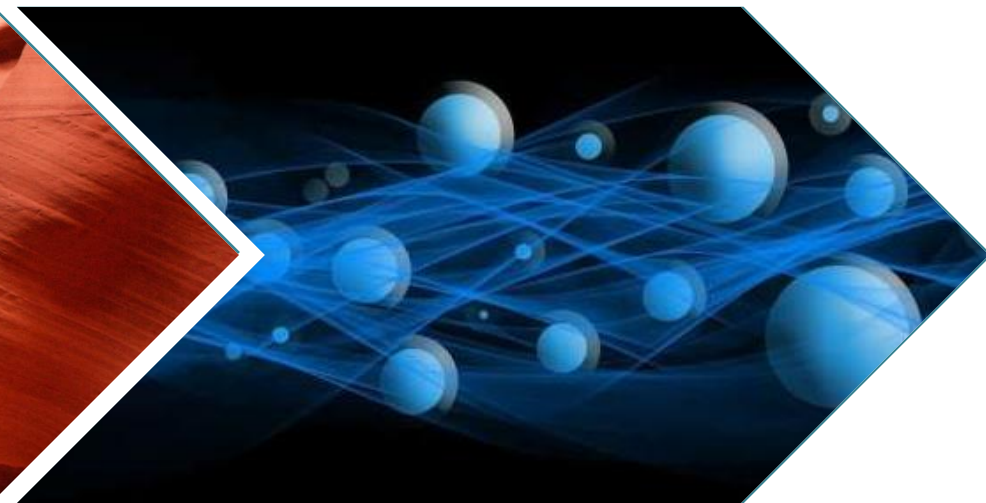
Génération procédurale  
de terrains



Érosion



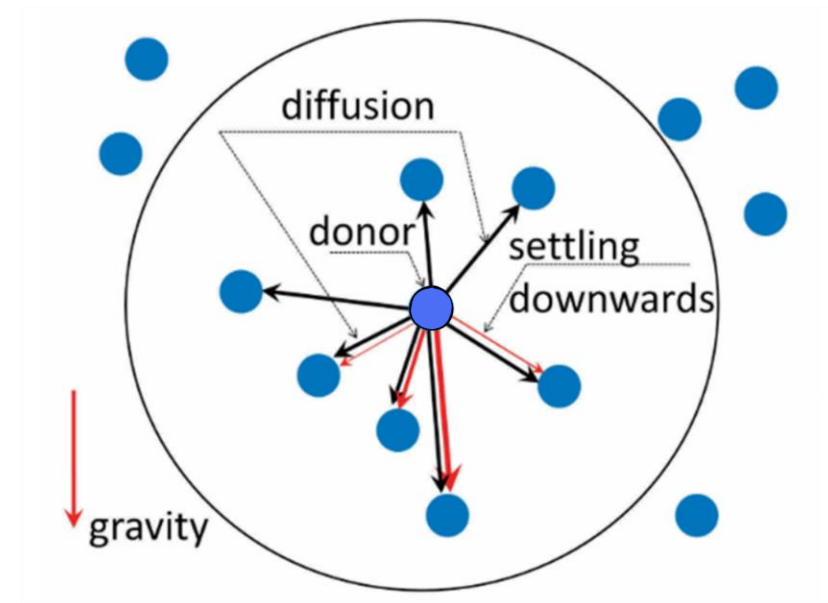
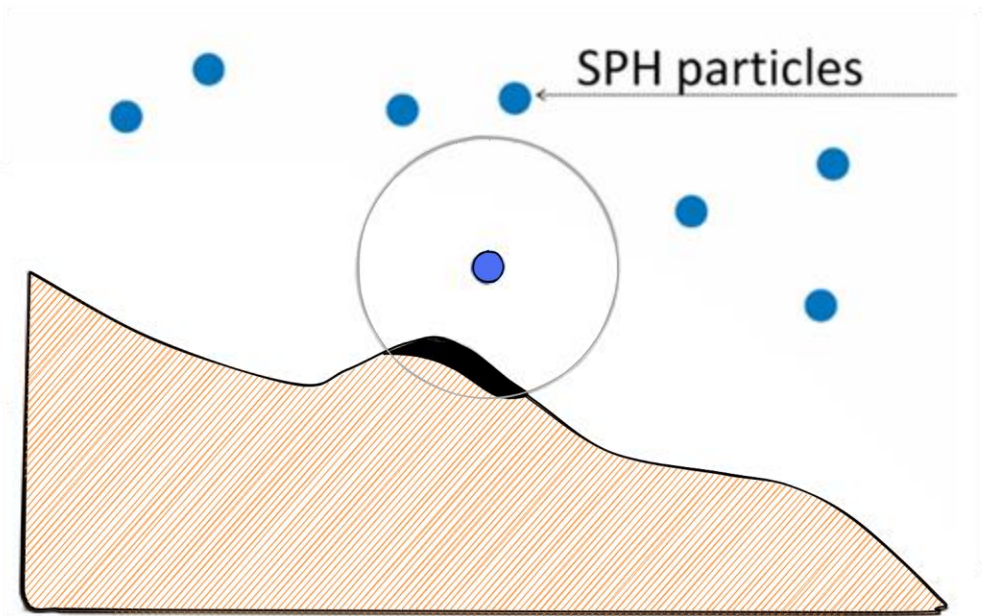
Méthode proposée





# Inspiration

Krištof, Peter, et al. "Hydraulic Erosion Using Smoothed Particle Hydrodynamics." *Computer Graphics Forum*, 2009

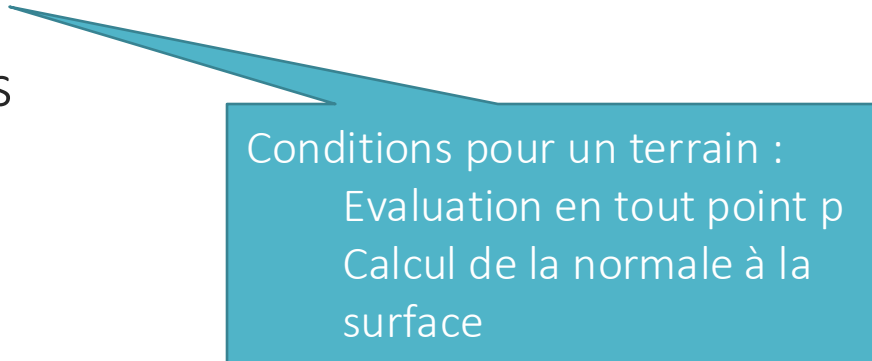


# Solution multi-représentation

Particule = un concept “abstrait”, le conteneur de matériau

Pas de limitation de la représentation de terrain

Peut simuler de nombreuses érosions différentes



Conditions pour un terrain :  
Evaluation en tout point p  
Calcul de la normale à la surface

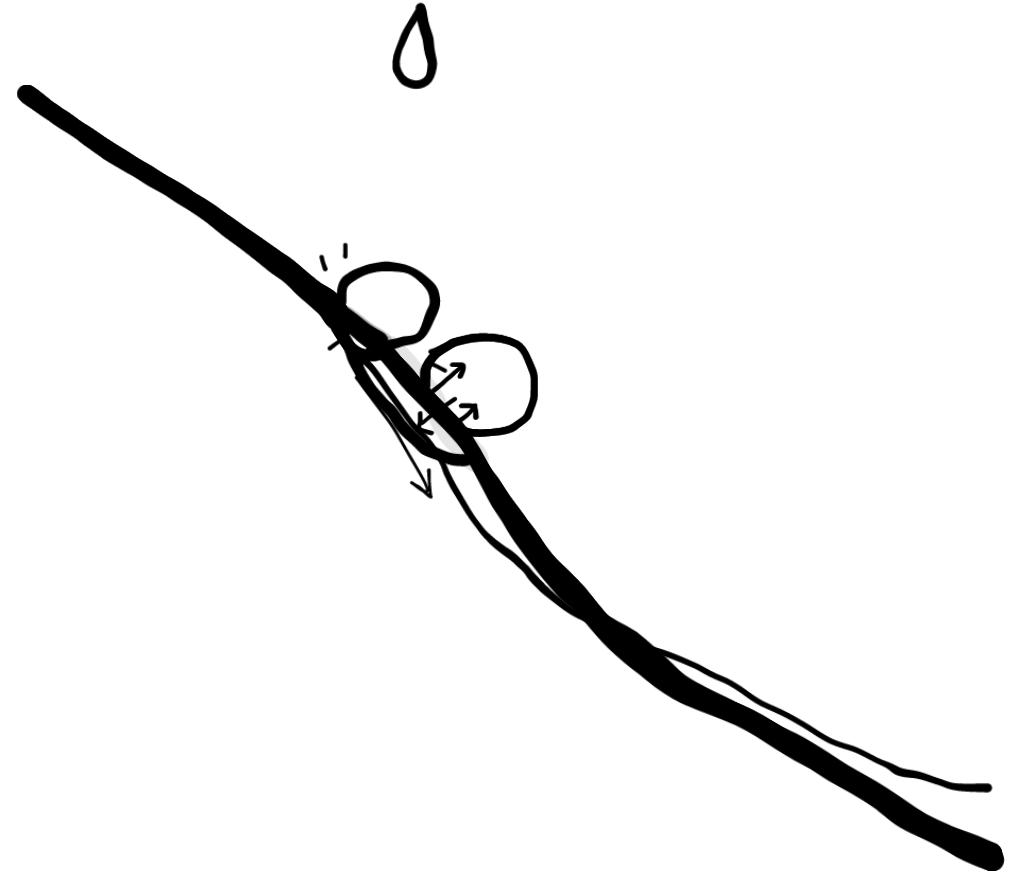
# Exemple de la pluie

Goutte d'eau tombe du ciel

Touche le sol et absorbe des minéraux

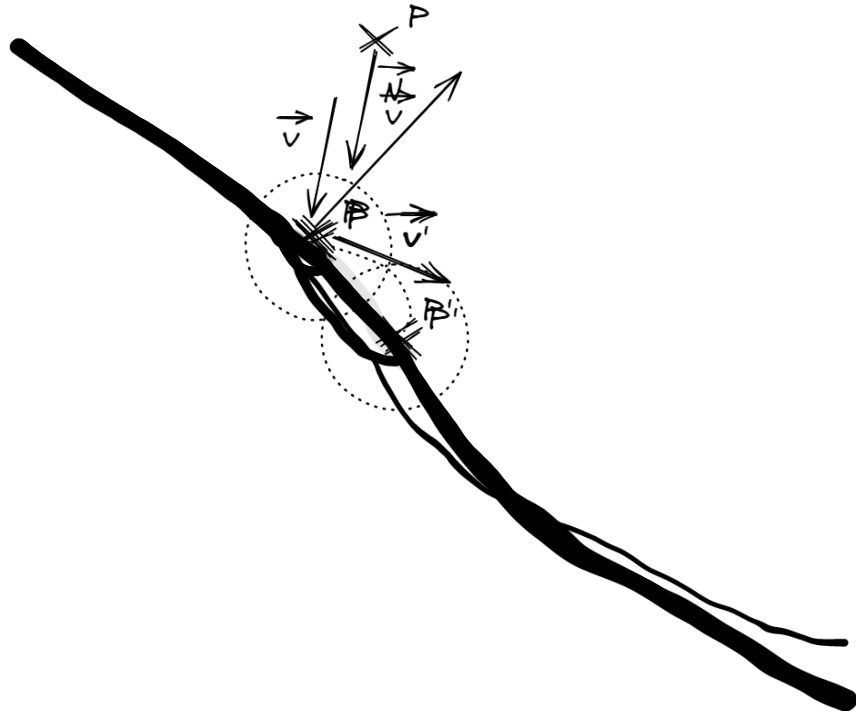
Coule sur le sol

Dépose et érode le terrain petit à petit





# Exemple de la pluie



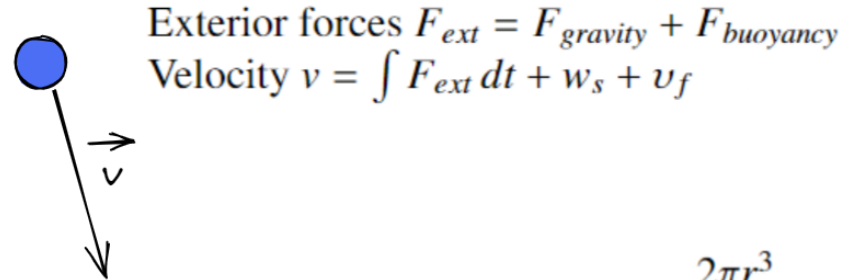
Particule commence en une position P dans le ciel et un vecteur vitesse

Calcul de l'intersection à la surface, ablation du terrain

Déplacement selon le nouveau vecteur vitesse

Dépôt et érosion du terrain au nouveau point d'intersection

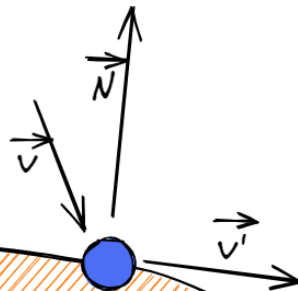
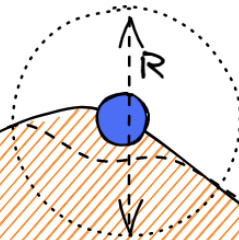
# Peu de paramètres



Exterior forces  $F_{ext} = F_{gravity} + F_{buoyancy}$   
Velocity  $v = \int F_{ext} dt + w_s + v_f$

$$q_{erosion} = \varepsilon \frac{2\pi r^3}{3}$$

$$q_{deposit} = \frac{2}{9} g r^2 \frac{(\rho_p - \rho_f)}{\mu} f(C)$$



Paramètres de l'environnement :

Masse volumique du milieu

Flux dans le milieu

Paramètres d'une particule

Masse volumique

Taille

Force de l'érosion

# Résultats

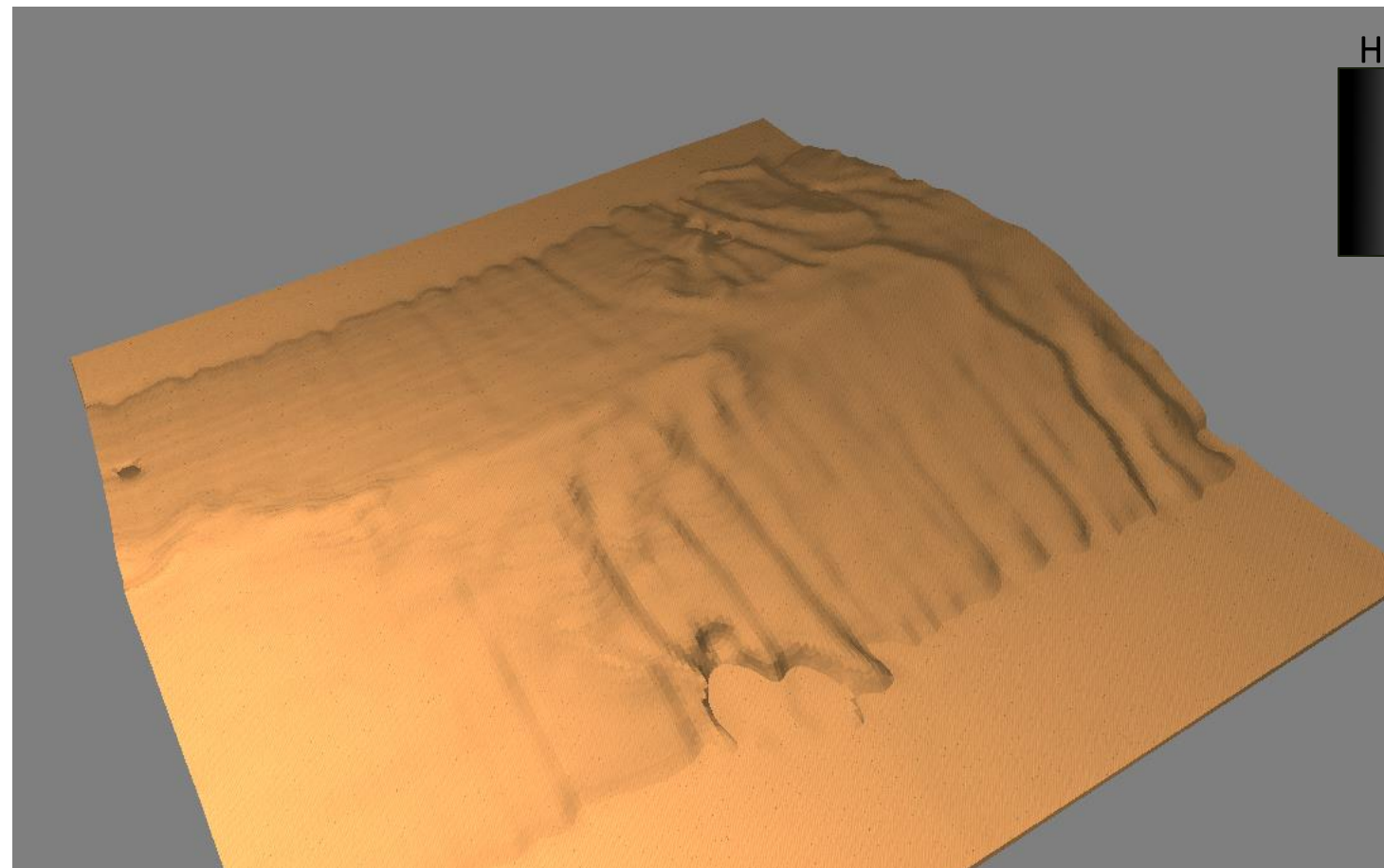
Hydraulique

Rivières

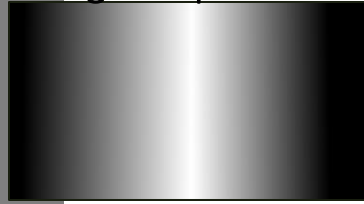
Éolienne

Coulées de boue

Karsts



Heightmap initiale



Masse volumique	1000 kg/m <sup>3</sup>
Rebondissement	0,5
Taille	4x4x4
Ablation	1,0
Deposition	1,0
Nombre de particules	10 000



# Résultats

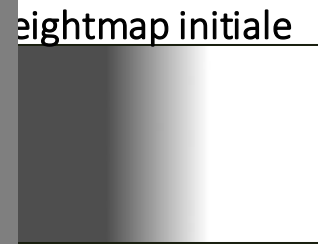
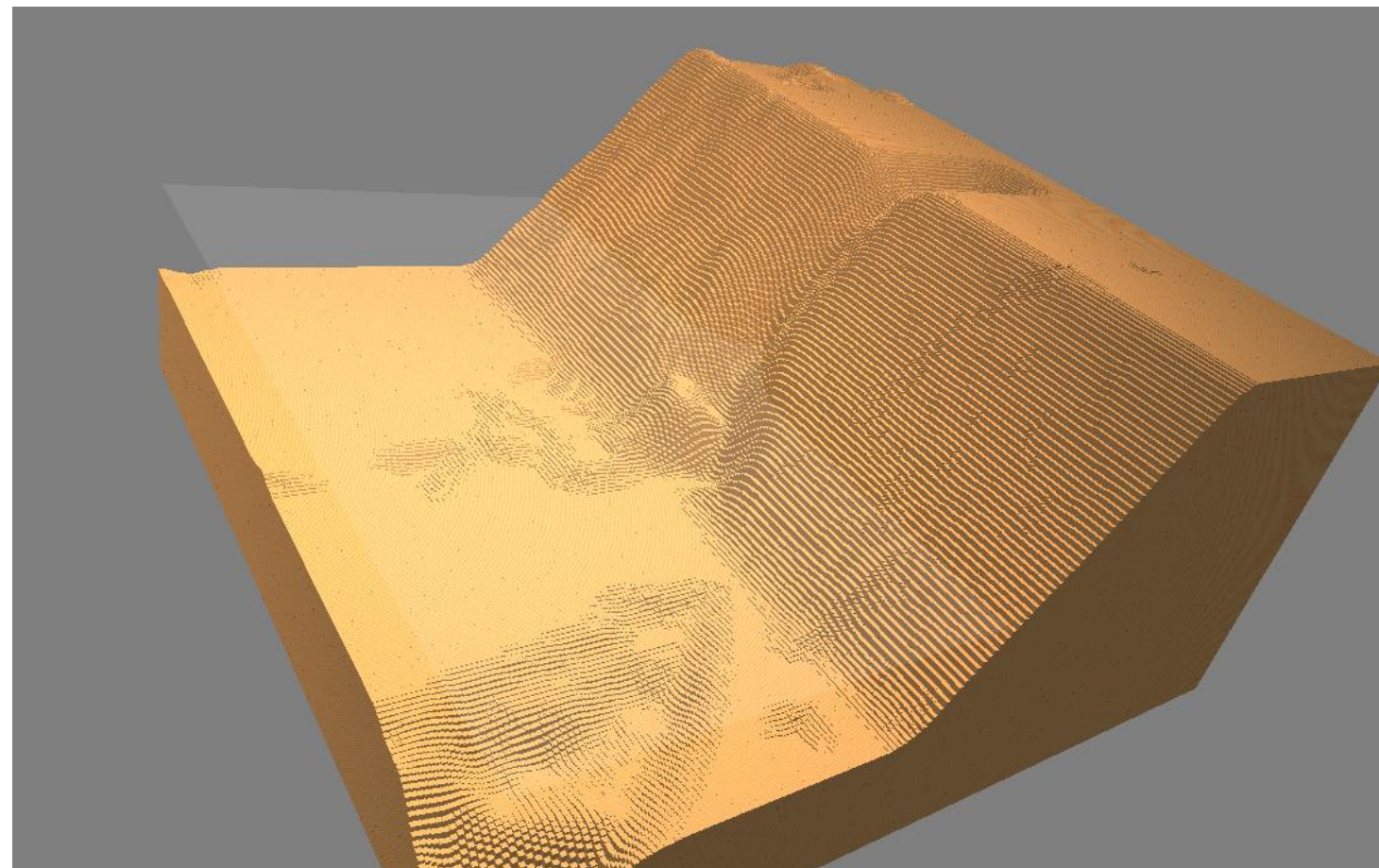
Hydraulique

**Rivières**

Éolienne

Coulées de boue

Karsts



Masse volumique	1000 kg/m <sup>3</sup>
Rebondissement	0,5
Taille	4x4x4
Ablation	1,0
Deposition	1,0
Nombre de particules	2 000

# Résultats

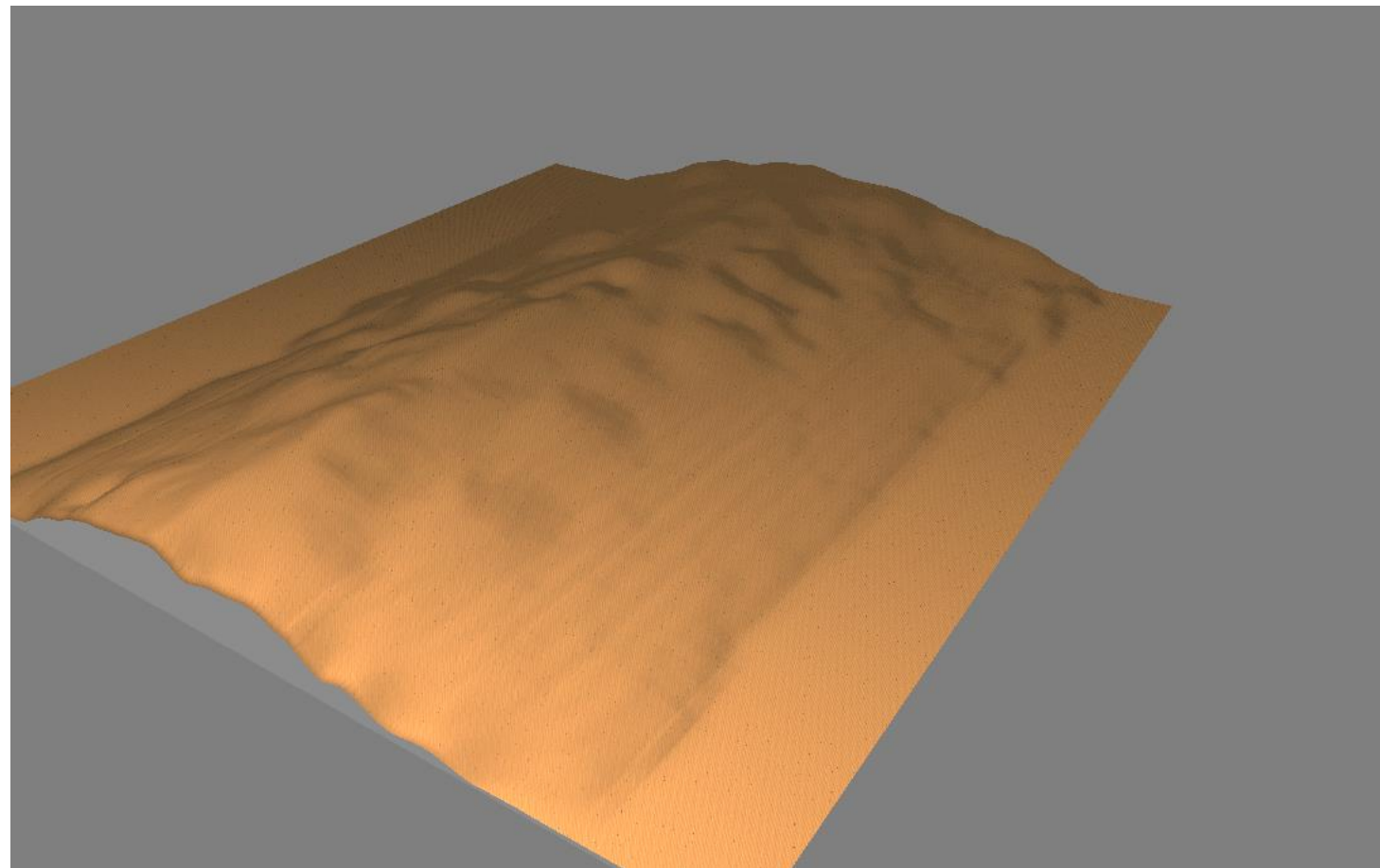
Hydraulique

Rivières

**Éolienne**

Coulées de boue

Karsts



Masse volumique	1,5 kg/m <sup>3</sup>
Rebondissement	0,8
Taille	6x6x6
Ablation	1,0
Deposition	1,0
Nombre de particules	800

# Résultats

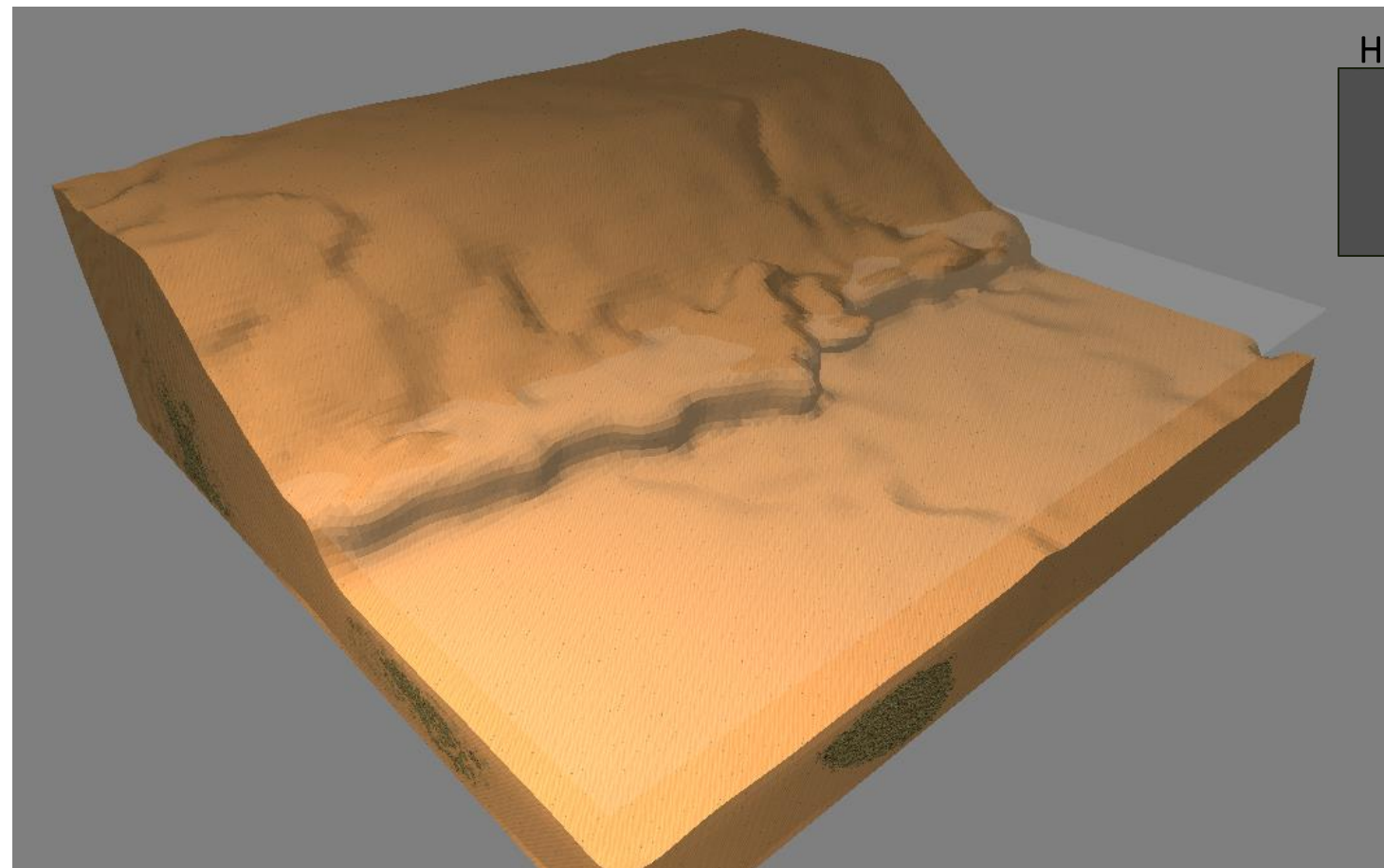
Hydraulique

Rivières

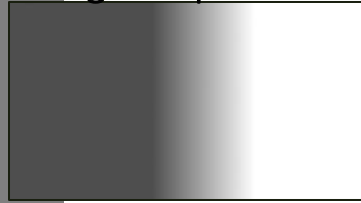
Éolienne

**Coulées de boue**

Karsts



Heightmap initiale



Masse volumique	500 kg/m <sup>3</sup>
Rebondissement	0,1
Taille	10x10x10
Ablation	1,0
Deposition	1,0
Nombre de particules	2 000

# Résultats

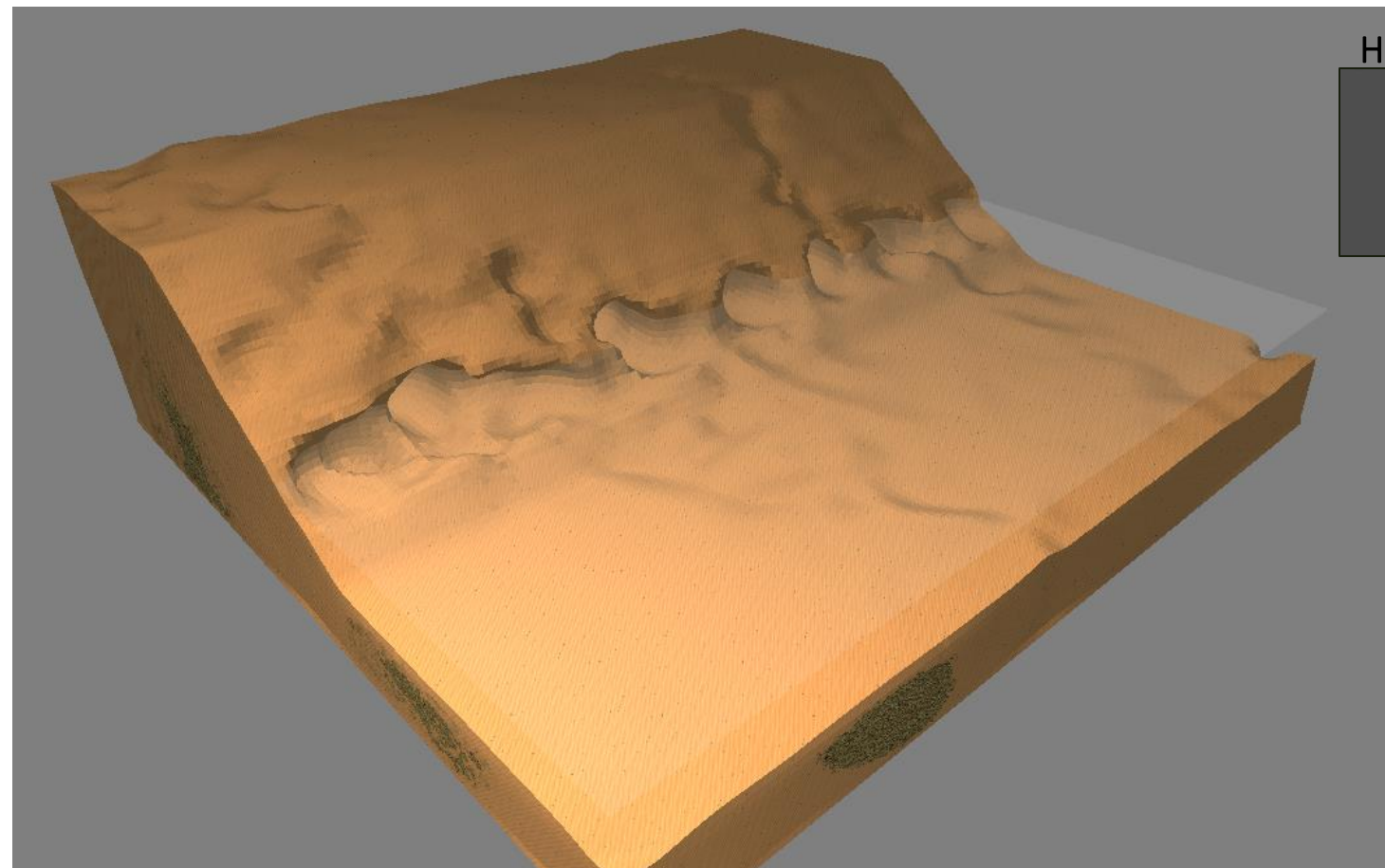
Hydraulique

Rivières

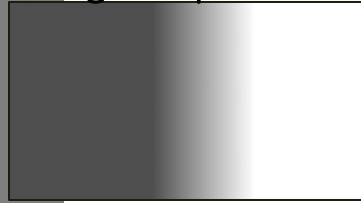
Éolienne

Coulées de boue

Karsts



Heightmap initiale



Masse volumique	500 kg/m <sup>3</sup>
Rebondissement	0,5
Taille	6x6x6
Ablation	1,0
Deposition	0,1



# Conclusion

# Notre méthode

Simulation d'érosion simple, rapide

Peu de paramètres pour de nombreuses applications

Indépendant de la représentation de terrain et de la simulation de fluide

# Travaux futurs

Extension des phénomènes simulés

Reproduction de structures géologiques spécifiques

Merci pour votre attention  
Des questions?

