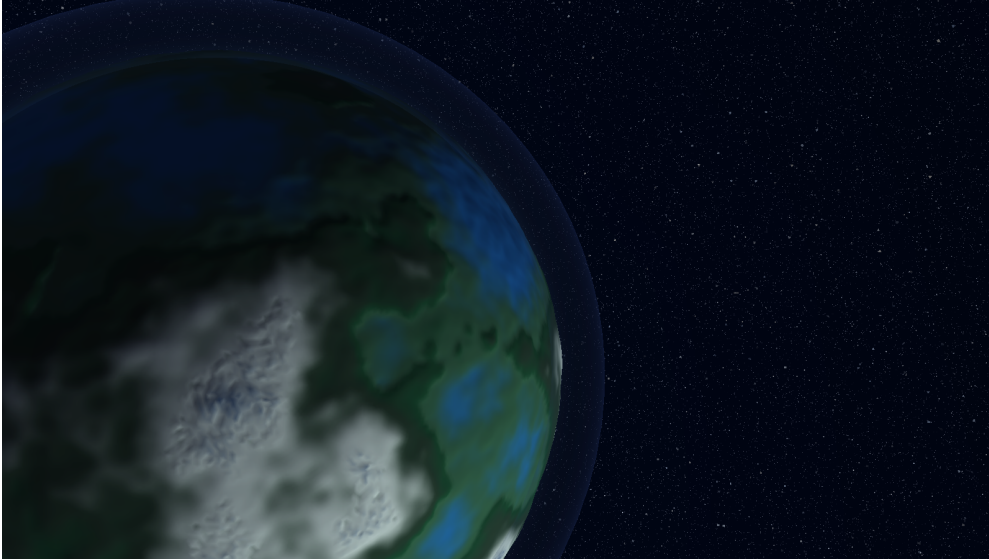


Documentation Projet 3D - Procedural Tectonic Planets

Juan José Parra Díaz, Timothée Bonetti

December 2025



Lien du Github : <https://github.com/gubace/Procedural-Tectonic-Planets>

1 Contrôles et interaction

L'application propose une interface interactive permettant de manipuler la simulation et d'observer les différents aspects de la planète générée. Les contrôles clavier sont les suivants :

Modes d'affichage :

- **w** : Changer le mode d'affichage (éclairé, filaire, solide)
- **p** : Faire défiler les différents modes de visualisation des plaques (plaques tectoniques, type de croûte, élévation, relief amplifié)
- **c** : Changer la palette de couleurs
- **n** : Afficher/masquer les normales des surfaces
- **d** : Afficher/masquer les flèches de direction des plaques
- **b** : Afficher/masquer les marqueurs de phénomènes tectoniques (subduction, collision, rifting)
- **y** : Activer/désactiver l'affichage de l'atmosphère
- **l** : Afficher/masquer le maillage
- **f** : Basculer en mode plein écran

Contrôles de simulation :

- **m** : Avancer la simulation d'un pas de temps (mouvement des plaques tectoniques)
- **r** : Rééchantillonner la planète (subdivision du maillage pour augmenter le niveau de détail)
- **i** : Déclencher manuellement un événement de rifting (fracturation de plaque)
- **a** : Amplifier le terrain pour générer un relief détaillé à partir des données tectoniques
- **s** : Lisser les couleurs de la surface
- **j** : Redémarrer complètement la simulation avec une nouvelle planète
- **e** : Monter le niveau des Océans
- **t** : Descendre le niveau des Océans

Contrôles de l'éclairage :

- **k** : Rotation de la source lumineuse vers la gauche
- **l** : Rotation de la source lumineuse vers la droite
- **o** : Élever la source lumineuse
- **u** : Abaisser la source lumineuse

Contrôles de la caméra :

- **Clic gauche + glisser** : Rotation de la caméra autour de la planète
- **Clic droit + glisser** : Translation latérale de la caméra (panoramique)
- **Clic molette + glisser** : Zoom avant/arrière

Aide :

- **h** : Afficher l'aide complète avec tous les raccourcis clavier dans le terminal

2 Fichiers importants

2.1 Initialisation de la planète et génération des plaques tectoniques

La classe `Planet`, définie dans `planet.h` et implémentée dans `planet.cpp` hérite de la classe `Mesh` et encapsule toutes les données géologiques et tectoniques de la planète. Lors de l'initialisation, le constructeur génère une sphère unitaire subdivisée en un nombre paramétrable de points via la méthode `setupSphere()` dans `mesh.cpp`.

La génération des plaques tectoniques s'effectue par la méthode `generatePlates(n_plates)`, qui implémente un algorithme de partition de Voronoï. Des centroïdes sont d'abord choisis aléatoirement sur la surface de la sphère. Ensuite, chaque sommet du maillage est assigné à la plaque dont le centroïde est le plus proche, cette distance étant modifiée par un bruit de Perlin afin de créer des frontières plus naturelles et irrégulières.

Une fois les plaques définies, la méthode `assignCrustParameters()` génère les propriétés géologiques de chaque sommet en utilisant un bruit fractal. Un seuil `continent_threshold` distingue les zones océaniques des zones continentales. Pour les croûtes océaniques, l'élévation est calculée dans l'intervalle $[-8000, -500]$ mètres avec une épaisseur de 5 à 8 km et un âge allant jusqu'à 200 millions d'années. Les croûtes continentales présentent des élévations positives jusqu'à 8000 mètres, une épaisseur de 30 à 60 km, et un âge orogénique pouvant atteindre 800 millions d'années. Cette phase d'initialisation crée ainsi une planète avec une distribution réaliste d'océans, de continents et de plaques tectoniques.

2.2 Mouvement des plaques et détection des phénomènes

Les fichiers `movement.h` et `movement.cpp` contiennent la logique responsable du déplacement des plaques sur la planète ainsi que de la détection des différents phénomènes que vous pouvez visualiser en appuyant sur la touche 'b'. En bleu apparaissent les événements de génération de croûte océanique. En orange, les subductions entre deux plaques océaniques. En rouge, les subductions entre plaques océaniques et continentales. En violet, les collisions continentales.

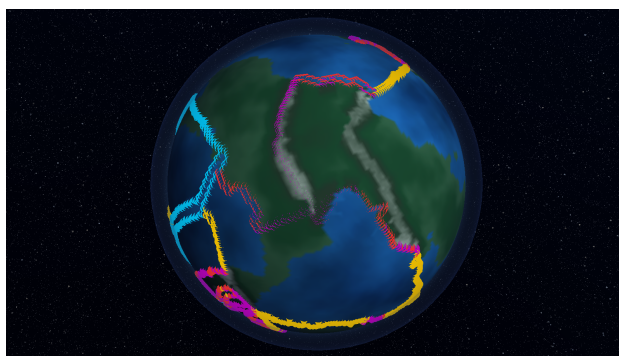


FIGURE 1 – Visualisation des phénomènes tectoniques détectés

2.3 Les phénomènes tectoniques simulés

Les quatre phénomènes principaux décrits dans le papier et implémentés sont codés dans les fichiers `subduction.cpp`, `continentalCollision.cpp`, `crustGeneration.cpp`, `rifting.cpp`. Chacun récupère les informations dont il a besoin, puis les phénomènes sont simulés dans les fonctions `triggerEvent`.

2.4 Re-sampling de la sphère

À chaque mouvement de plaques, la sphère est légèrement déformée pour éviter une géométrie trop distordue. Afin de maintenir une géométrie correcte et d'exécuter `crustGeneration.cpp` tous les 15 pas de temps, la planète est rééchantillonnée pour retrouver une sphère parfaite. Les informations des sommets sont mises à jour grâce à une structure d'accélération (KD-tree). Dans les cas où deux plaques s'éloignent, le phénomène `crustGeneration` est déclenché. C'est aussi ici qu'on va manipuler les plaques pour gérer les transferts de terranes de collisions, les phénomènes de rifting de plaques et les nettoyer pour éviter les petites "îles" de plaques non rattachés à la plaque principale.

2.5 Amplification du terrain

L'amplification (touche **a**) transforme les données tectoniques en relief détaillé en trois étapes. D'abord, le maillage est subdivisé pour augmenter la résolution spatiale. Ensuite, chaque nouveau vertex est déplacé radialement proportionnellement à l'élévation de croûte du vertex original le plus proche, selon $r_{nouveau} = r_{base} \times (1 + 0.03 \times e_{norm})$, créant ainsi un relief lisse. Enfin, des bruits de Perlin hiérarchiques sont appliqués : **mountain_noise** (amplitude 0.1) pour les montagnes, **ground_noise** (0.05) pour les plateaux, et **general_noise** (0.015) pour les variations fines. Ces bruits sont modulés par l'élévation et atténués près du seuil océan-continent pour éviter les artefacts. Les valeurs min/max d'élévation sont recalculées pour une normalisation correcte des couleurs, la sphère atmosphérique est ajustée au nouveau rayon maximal ($1.12 \times r_{max}$), et les normales sont recalculées. Le résultat est une planète avec océans, continents et montagnes détaillés. Avec les touches **e** et **t** vous pouvez faire monter / descendre le niveau des océans.



FIGURE 2 – Exemple d'amplification

3 Autre

Dans le projet nous avons importé une bibliothèque en ligne pour trianguler un maillage la bibliothèque **Geometric tools** nous utilisons la fonction `GetHull` dans `mesh.cpp` pour trianguler notre planète, c'est plus rapide que une triangulation de Delaunay pour un résultat satisfaisant. Nous avons aussi quelques shaders 2 en particuliers Un pour les etoiles du fond et un pour afficher l'atmosphere nous avons trouvé ce dernier sur Shadertoy lien ici Nous avons aussi inclus le header `FastNoiseLite` pour générer du bruit.