

Animation événementielle de structures topologiques : application à la construction de chenaux

Pierre-François Léon¹, Xavier Skapin¹ et Philippe Meseure¹

¹Université de Poitiers - Laboratoire SIC

Abstract

Ce papier présente un modèle permettant de décrire l'évolution temporelle de structures topologiques en 2D. Pour cela, nous proposons un modèle d'animation générant cette évolution à partir d'un scénario. Le modèle est constitué de trois parties : le modèle structurel autorisant la représentation temporelle de la topologie et de la géométrie, un modèle événementiel qui vise à détecter les modifications topologiques et s'occupe de la cohérence entre la topologie et la géométrie et un modèle sémantique représentant l'évolution en termes de modifications élémentaires et chargé de gérer l'historique des diverses entités du modèle. Pour illustrer l'effectivité de ce modèle, nous proposons une application en géologie à travers la modélisation des phénomènes de sédimentation et d'érosion nécessaire à la création de chenaux.

This paper presents a model which describes the temporal evolution of topological structures in 2D. For this purpose, we propose an animation model that generates this evolution from a scenario. The model is composed of three parts : A structural model allowing the temporal representation of the topology and the geometry, an event model which aims at detecting topological modifications and takes care of the consistency between the topology and the geometry, and a semantic model representing the evolution as a series of elementary modifications and managing the history of the various entities of the model. To show the efficiency of our model, we propose an application in geology through the modeling of sedimentation and erosion, two phenomena which are essential in the channel creation process.

1. Introduction

De nombreuses sciences expérimentales (biologie, botanique, géologie, etc.) sont confrontées à des structures naturelles très élaborées dont les lois de formation sont complexes et souvent mal maîtrisées. Un modèle permettant de représenter l'évolution de ces structures, de contrôler cette évolution, de remettre en cause les phénomènes et de fournir l'historique des diverses entités se révélerait un outil appréciable pour comprendre les causes, la formation et les évolutions possibles d'une structure. Dans cet article, nous proposons une première étape dans la conception d'un tel outil. Il s'agit d'une méthode générale d'animation de structures topologiques 2D à partir de scénarii. Plus précisément, nous proposons un modèle qui représente l'évolution d'une subdivision de l'espace par application d'un ensemble de modifications topologiques à des instants donnés. À tout moment de l'animation, la structure et la géométrie du système sont définies (afin de générer les images successives de l'anima-

tion). De plus, l'évolution individuelle de chaque entité du modèle est représentée de façon compréhensible pour l'utilisateur. En outre, ce modèle garantit en particulier la cohérence entre le modèle géométrique et le modèle topologique, i.e. il ne suffit pas que le résultat soit visuellement correct, mais il doit assurer une représentation précise de la structure sous-jacente. Par exemple, si deux arêtes se croisent, l'intersection doit faire partie du modèle et de ce fait vient couper les arêtes en deux. Il en résulte que les arêtes sécantes sont en réalité interdites dans le modèle.

Pour étudier ce modèle dans un cas pratique, nous avons choisi une application en géologie : la création de chenaux (Figure 1). La création de chenaux est un cas d'étude riche tout en étant simple car elle a recours à seulement deux phénomènes classiques en géologie : la sédimentation et l'érosion. Ces deux phénomènes entraînent l'apparition de nombreuses modifications topologiques. Par exemple, sur la figure, le début d'une érosion est représentée. Si elle se pour-

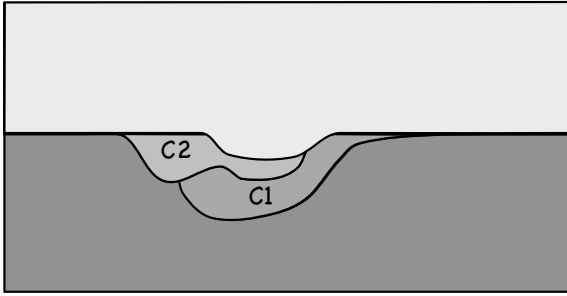


Figure 1: Exemple de chenal obtenue par érosions et sédimentations successives.

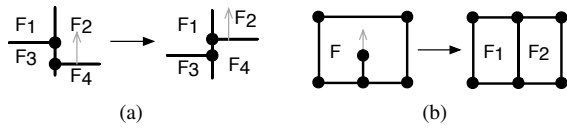


Figure 2: Exemples de changements topologiques. (a) Glissement d'un sommet sur une autre avec changement des relations d'adjacences entre les quatre faces. (b) Scission d'une face F en F_1 et F_2 causée par le sommet en mouvement.

suit, il est probable que les couches C_2 et C_1 finiront par être séparées, i.e. ne seront plus adjacentes. En outre, une forte érosion peut conduire C_1 à être coupée en deux blocs C_{1_1} et C_{1_2} non adjacents. Sur le plan topologique, cette évolution peut se décrire par des événements : glissement et séparation d'interfaces (Figure 2a), fission de face (Figure 2b), etc.

Ce papier est organisé comme suit : la section 2, après avoir présenté les limites des systèmes actuels d'animation gérant la topologie, expose la démarche générale de conception de notre modèle d'animation. La section 3 décrit les diverses composantes de ce modèle. La section 4 illustre l'utilisation du modèle avec la création de chenaux en 2D. Enfin, la section 5 dresse le bilan de nos travaux et leurs perspectives.

2. Animation topologique

2.1. Travaux antérieurs

Plusieurs systèmes permettent de représenter des modèles structurés et dynamiques. Les L-systèmes [Lin68] [PL90], les map-L-systèmes [LR79], les systèmes vertex-vertex [Smi06], MGS [GM01] et la modélisation de la croissance interne du bois [GTM*05] en sont des exemples. Un L-système est une grammaire formelle utilisée afin de modéliser des processus de développement et de prolifération de plantes et de bactéries. Cette grammaire formelle comprend un alphabet V , un ensemble de constantes S , un axiome de départ ω et un ensemble de règles P d'évolutions du sys-

tème. Les variantes de ce modèle portent principalement sur l'application des règles (utilisation du contexte, de conditions, probabilités). Les map-L-systèmes appliquent le principe des L-systèmes sur des graphes. Les systèmes vertex-vertex sont décrits par un graphe non orienté où les sommets représentent les sommets de la structure, et les liens représentent une permutation des arêtes autour des sommets. Le système évolue par un ensemble de modifications appliquées au cours du temps. Les travaux sur la modélisation de la croissance interne du bois utilisent un modèle topologique évoluant au cours du temps, comparable aux L-systèmes classiques mais en travaillant sur des volumes au lieu d'arêtes. La croissance est guidée par l'application séquentielle de règles choisies suivant le contexte. Comme pour les L-systèmes, les transformations consistent essentiellement en des subdivisions hiérarchiques d'un maillage. L'ensemble de ses approches repose sur la théorie des langages, et permettent de faire évoluer des systèmes pouvant se réduire à des structures linéaires. MGS est un langage de programmation pour la transformation de structures et est essentiellement basé sur un système à base de règles de transformations. Toutes ces structures n'apportent pas réellement de notions de cohérence géométrique et topologique.

2.2. Démarche

Le modèle proposé ne repose pas sur une structure linéaire. Au contraire, il consiste en une animation d'une subdivision de l'espace. Il se base sur un modèle topologique, les cartes généralisées, que l'on exploite dans une structure temporelle. Plus précisément, le modèle représente l'animation comme une succession de cartes généralisées, où chaque carte représente un ensemble de modifications topologiques simultanées et supposées instantanées. Pour définir les instants où une carte est nécessaire et plus généralement, garantir que le modèle topologique reste cohérent lors des mouvements de ses entités, une gestion événementielle des modifications topologiques est adjointe au modèle. Un scénario fourni par l'utilisateur spécifie les mouvements globaux de la structure. Ce scénario est traduit en série d'événements et son interprétation aboutit à la génération de l'animation. Un modèle sémantique complète notre modèle d'animation en lui fournissant un mécanisme de désignation des entités, sur lequel le scénario peut s'appuyer et qui lui permet d'être exprimé en termes « haut-niveau », i.e. facilement compréhensibles par l'utilisateur final. La désignation est hiérarchique afin de renseigner le modèle sur l'origine des entités. En outre, une description séquentielle des transformations que subit la carte initiale est également générée lors de l'élaboration de l'animation, et s'appuie en grande partie sur le mécanisme de désignation. Cette description séquentielle indique, sous une forme compréhensible, l'ensemble des modifications locales subies par la structure et autorise ainsi une analyse ultérieure des phénomènes reproduits.

3. Modèle événementiel d'animation topologique

Comme nous l'avons mis en évidence, notre modèle d'animation topologique est composé de trois parties principales : le modèle structurel, le modèle événementiel et le modèle sémantique. Le modèle structurel porte l'information topologique et géométrique, en incluant une dimension temporelle. Le modèle événementiel vise à détecter et contrôler les modifications topologiques et vient modifier le modèle structurel. Le modèle sémantique associe un nom à chaque arête pour désigner les différentes cellules de la subdivision de manière hiérarchique. Nous détaillons ces trois modèles dans cette partie.

3.1. Modèle structurel

Pour une représentation précise des voisinages, le modèle structurel s'appuie obligatoirement sur un modèle topologique. Il existe de nombreux modèles permettant de représenter de telles structures [Edm60] [May67] [Wei88] [Lie94] [LFB07]. Nous avons choisi les cartes généralisées (n-g-cartes) [Lie94], car les n-g-cartes sont définies de manière homogène en toutes dimensions, ce qui simplifie la définition du modèle et des opérations. Nous rappelons les grands principes de ces structures ci-dessous. Nous exploitons ces structures dans une structure séquentielle que nous décrivons ensuite.

3.1.1. Structure topologique : n-G-Cartes

Les g-cartes [Lie94] représentent des objets par leurs bords (B-Rep). Elles modélisent les quasi-variétés cellulaires orientées ou non, avec ou sans bord. Les objets géométriques sont subdivisés en cellules (sommets, arêtes, faces, etc.) reliées entre elles par des relations d'adjacences/incidences (Figure 3).

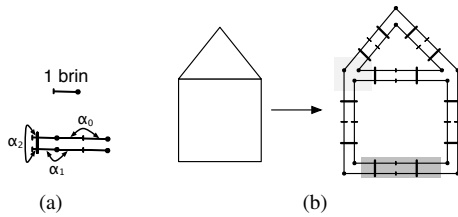


Figure 3: (a) Convention utilisée pour la représentation d'un brin et des liaisons. (b) Exemple de deux faces collées entre elles et leur représentation par une 2-g-carte fermée. En gris clair : un exemple d'orbite sommet, en gris foncé : un exemple d'orbite arête.

Définition 1 Une g-carte de dimension n , ou n-g-carte est un $(n+2)$ -uplet $G = (B, \alpha_0, \dots, \alpha_n)$ tel que :

- B est un ensemble fini de brins ;
- $\alpha_0 \dots \alpha_n$ sont des involution sur B ;

- $\alpha_i \alpha_j^\dagger$ est une involution pour $0 \leq i < i+2 \leq j \leq n$.

Définition 2 L'orbite $\langle \Phi \rangle (b)$, pour un ensemble de permutations Φ , est l'ensemble des brins de B que l'on peut atteindre à partir de b par une composition quelconque des permutations de Φ . Si Φ est égal à l'ensemble de toutes les involutions $\alpha_0, \dots, \alpha_n$ alors $\langle \Phi \rangle (b)$ est une composante connexe de G incidente au brin b .

Définition 3 Une n-G-Carte $G = (B, \alpha_0, \dots, \alpha_n)$ est fermée ssi $\forall i \in \{0, \dots, n\}, b\alpha_i \neq b$.

Dans une n-g-carte, chaque i-cellule (cellule de dimension i) est obtenue par une orbite $\langle \alpha_0, \dots, \alpha_{i-1}, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_n \rangle$.

Les orbites permettent principalement de parcourir la n-g-carte et d'associer des informations aux différentes i-cellules.

3.1.2. Modèle temporel : keyframe

Le but de ce modèle est de représenter l'animation d'objets structurés comme une succession de modifications topologiques (Figure 4). Nous prenons comme hypothèse qu'une modification topologique est instantanée mais que plusieurs modifications peuvent être simultanées. Notre approche s'inspire largement de la technique d'animation par images-clefs. Cependant, ici, une nouvelle image, (ou plutôt instant-clef) n'est introduite dans le modèle que lorsque la structure subit une ou des modifications topologiques. Pour cela, à l'instant-clef correspond en réalité une nouvelle carte. Entre deux instants-clefs consécutifs, il n'y a pas de changement topologique, seul le plongement change.

Plus précisément, notre modèle est une succession temporelle de 2-g-cartes fermées connexes, où chaque g-carte est créée à partir de la précédente. En pratique, à un instant i_{k+1} , la dernière carte de l'instant i_k est dupliquée, sa date est changée pour correspondre à i_{k+1} . Ensuite, cette carte est altérée par toutes les modifications topologiques se produisant à cet instant. Cette méthode de construction implique d'avoir un ensemble de modifications topologiques triées selon la date [LSM06].

La structure présentée ne décrit que les changements topologiques apparus au cours du temps. Il est nécessaire d'ajouter aux cartes un plongement temporel capable de décrire les trajectoires des entités jusqu'à la prochaine modification topologique. Pour cela, nous avons choisi de ne considérer que le plongement le plus simple, à savoir celui des sommets. À chaque 0-cellule est associée une fonction $f : t \rightarrow \mathbb{R}^2$. Les objets sont ici plongés dans \mathbb{R}^2 mais ils pourraient aussi bien être plongés dans \mathbb{R}^3 pour modéliser

[†] $\alpha_i \alpha_j$ est la notation qui correspond à la composition $\alpha_j \circ \alpha_i$. $b\alpha_i \alpha_j$ correspond à l'application de cette composition à un élément b de B .

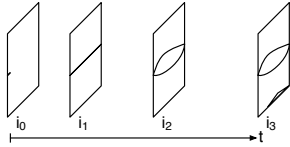


Figure 4: *Modèle temporel = succession de 2-g-cartes ordonnées selon le temps t.*

l'évolution de surfaces dans l'espace. En effet, la restriction de la dimension à 2 ne concerne que la topologie.

À noter que notre plongement est une fonction temporelle à valeur dans l'espace et non une position dans l'espace-temps. Cependant, notre modèle est équivalent à un modèle spatio-temporel (i.e. en dimension $2D+t$). En effet, notre modèle peut se construire à partir d'un modèle espace-temps en créant des coupes temporelles, i.e. des intersections avec un hyperplan perpendiculaire à l'axe du temps. Tant que la topologie des différentes intersections successives d'un hyperplan avec la structure ne change pas, nous nous trouvons entre deux instants-clefs où seuls les plongements géométriques changent en fonction de t . Inversement, le passage de notre modèle vers un modèle spatio-temporel s'effectue d'abord par extrusion des 2-g-cartes le long de l'axe temporel, puis par l'union des hyper-volumes ainsi fabriqués et disposés l'un après l'autre le long de l'axe temporel (Figure 5).

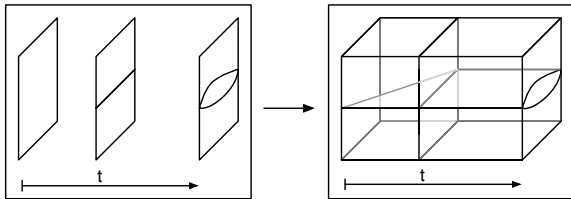


Figure 5: *Passage du modèle temporel à un modèle spatio-temporel par l'union des extrusions des 2-g-cartes suivant le plongement des sommets.*

3.2. Modèle événementiel

Le modèle structurel suffit à lui seul à décrire une animation par une suite d'opérations topologiques et d'affectations de plongements sommets. Le problème est de déterminer *a)* à quel instant a lieu chaque modification topologique, *b)* les opérations topologiques à appliquer pour mettre en œuvre les modifications et *c)* les nouveaux plongements.

Pour répondre à la question *a)*, un système à événements discret est utilisé. Une approche prédictive permet de déterminer, en fonction des évolutions de la géométrie, la date d'un événement topologique, c'est-à-dire l'instant où une entité rencontre une autre entité. Les événements que nous gérons peuvent provenir de diverses origines. Certains sont

générés directement par le scénario, i.e. aux évolutions haut-niveau du scénario peuvent correspondre des événements initiaux. D'autres événements résultent de l'évolution topologique du système. Par exemple, si un point se déplace le long d'une arête, un événement est déclenché lorsque le point atteint l'extrémité de cette arête. Enfin, certains événements résultent de la collision entre des entités initialement indépendantes. Pour prédire l'instant où ces événements ont lieu, un système de détection de collision continue est utilisé. Il est issu d'une application en 2D des équations de Provot [Pro97]. Signalons que, pour mener les calculs à leur terme, le système prédictif fait l'hypothèse de mouvements rectilignes uniformes des sommets. À partir de cette détection, un événement est alors complètement défini par sa date et l'ensemble des entités topologiques impliquées.

La gestion par événements discrets est similaire à celle utilisée habituellement en animation [DZ93]. Une fois détectés, les événements sont ajoutés dans une file à priorités triée suivant le temps. Dans l'ordre de leur apparition, les événements sont extraits de la file puis traités. Le traitement d'un événement débute par la vérification de la validité de l'événement (en effet, des modifications topologiques précédentes ont pu rendre caduque l'apparition d'un événement précédemment détecté [DZ93]). Si l'événement est valide, il est traité suivant le contexte de la scène et entraîne une série de transformations topologiques, géométriques et de désignations (voir le modèle sémantique). En effet, les modifications à appliquer dépendent de l'application et généralement du phénomène simulé. Ces transformations sont appliquées soit à la 2-g-carte courante si la date qui lui est associée est égale à la date de l'événement, soit à une nouvelle 2-g-carte créée par duplication de la précédente et dont la date est celle de l'événement. Cependant, pour répondre de façon complète aux questions *b)* et *c)*, nous étudions la possibilité d'utiliser un cadre formel à base de règles pour cette étape (voir [PCLG*07, GM01]).

3.3. Modèle sémantique

Le modèle sémantique vise deux objectifs : représenter de façon explicite les modifications subies par la structure au cours du temps et fournir une représentation de l'historique des entités topologiques. Pour remplir ces deux objectifs, nous utilisons un mécanisme de désignation des entités. La désignation consiste à associer des noms aux cellules de la scène et ces noms sont utilisés comme paramètres des descriptions et des opérations topologiques et géométriques. Ce mécanisme forme ainsi un pont entre l'aspect « haut-niveau »(descriptif) de notre modèle, dans lequel l'utilisateur contrôle l'animation, et l'aspect « bas-niveau »(structurel) sur lequel s'applique les décisions de l'utilisateur. Cette désignation est hiérarchique. Par exemple, l'opération d'insertion de n sommets sur une arête résulte en $n + 1$ arêtes dont les désignations sont préfixées par la désignation de l'arête d'origine.

En 2D, seules les 1-cellules (arêtes) sont désignées car, à partir des arêtes, il est facile de désigner soit un sommet, soit une face. En effet, le modèle des g-cartes est une représentation par les bords, ce qui se traduit en 2D par la propriété suivante : une arête est incidente à au plus deux faces et deux sommets. Donc chaque arête est associée à un identifiant qui permet de la désigner (Figure 6). Notons au passage que comme la désignation s'opère à partir d'une arête, il existe plusieurs moyens de désigner les sommets et les faces (le nombre de façons de les désigner est respectivement égal au degré du sommet et au nombre d'arêtes formant le bord de la face).

Concrètement, le nom d'une arête est affecté à l'un des quatre brins la constituant (Figure 6). La désignation des 0-cellules et des 2-cellules s'effectue à partir de ce brin. Ainsi, un sommet est désigné par le nom d'une arête et sa position sur l'arête (*begin*, *notbegin*). Une arête est désignée par son nom. Une face est désignée par le nom d'une arête et sa position par rapport à l'orientation de l'arête : *left* ou *notleft*.

Enfin, lors des traitements des événements, le modèle sémantique génère la liste des opérations topologiques appliquées aux entités désignées qui ont été altérées. Cette liste forme une liste séquentielle de modifications, en d'autres termes, un script, que la carte initiale subit au cours du temps. Ce script retrace l'historique de construction du modèle et permet d'analyser, a posteriori, le résultat de l'animation.

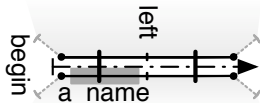


Figure 6: Mécanisme de désignation des 0,1,2-cellules à partir du brin portant la désignation de la 1-cellule.

4. Application à la géologie : création de chenaux

Après avoir décrit notre modèle d'animation, nous montrons maintenant son application dans l'étude de deux phénomènes géologiques classiques, la sédimentation et l'érosion, qui interviennent dans la construction de chenaux. Pour cela, nous définissons un modèle de sédimentation et un modèle d'érosion ainsi que les paramètres pour les manipuler. Enfin, nous décrivons comment les intégrer dans le modèle d'animation.

4.1. Modèle de sédimentation

La sédimentation est l'ensemble des processus par lesquels des particules en suspension se déposent. Selon les principes de stratigraphie énoncés par Stenon (1669), les sédiments se déposent en couche à peu près horizontales.

Nous considérons un modèle de sédimentation suivant

une déposition strictement horizontale. Cette sédimentation débute par le remplissage des zones les plus basses. Ensuite, le niveau monte et si deux couches issues d'une même sédimentation se rencontrent, elles fusionnent (Figure 7).

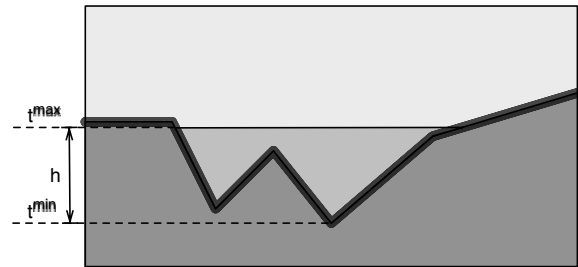


Figure 7: Paramètres du modèle de sédimentation.

La sédimentation est définie par cinq paramètres : un préfixe pour désigner les différents morceaux créés par la sédimentation, une zone de sédimentation délimitée par deux arêtes, une date de début t_{begin} , une date de fin t_{end} et une hauteur h . Ce modèle simplifié considère que la vitesse de sédimentation est constante (ie. : $v = \frac{h}{t_{end} - t_{begin}}$).

Le traitement de ce phénomène s'effectue en deux étapes :

1. recherche des minima locaux sur la zone de sédimentation (Figure 8a) ;
2. ajout des événements de créations d'interfaces aux temps calculés pour chaque minimum (i.e. instant de l'arrivée du niveau de sédimentation à la hauteur du minimum).

L'événement de création d'interface insère une arête dans la face à sédimenter au niveau du minimum courant (Figure 8b). Les extrémités de l'arête sont plongées par une

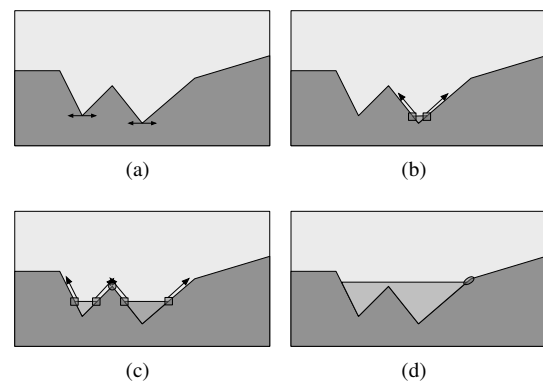


Figure 8: Étapes d'une sédimentation. (a) Recherche des minima locaux. (b) Création de la première face et glissement de ses extrémités. (c) Création d'une nouvelle face et glissement de ses extrémités. (d) Fusion des deux blocs avec glissement des extrémités.

fonction d'interpolation des coordonnées du minimum courant et du prochain point par rapport à la vitesse de sédimentation. Deux nouveaux événements de collisions sont générés s'il est prévu que les extrémités des arêtes touchent les prochains sommets dans le futur.

L'événement généré peut être traité de deux façons suivant le contexte local. Soit l'arête suivante est issue de la sédimentation courante (Figure 8c), soit elle ne l'est pas (Figure 8d). Dans le premier cas, les deux arêtes sont désidentifiées du bord courant et sont fusionnées. Il en résulte une fusion des faces. Dans le second cas, le sommet mobile passe au delà du sommet qu'il touche puis glisse sur l'arête suivante (modification du plongement). La collision avec l'autre extrémité de l'arête est ajoutée à la file des événements. Ce processus se répète jusqu'à la fin du phénomène de sédimentation.

4.2. Modèle d'érosion

L'érosion est l'ensemble des processus de dégradation et de transformation du relief.

Pour simplifier le paramétrage de ce phénomène, le profil de l'érosion est en forme de cuve. La forme n'a ici pas d'incidence sur le traitement. L'érosion débute par la déformation de la surface délimitée par deux arêtes. Si la surface d'érosion touche une autre surface s , celle-ci est modifiée en suivant le profil de la surface d'érosion (Figure 9).

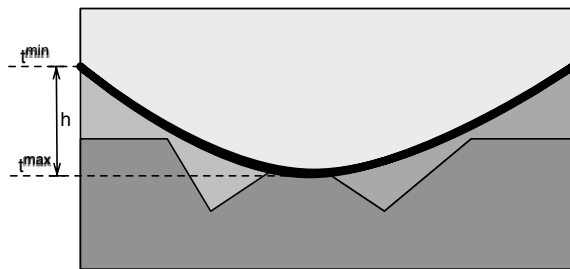


Figure 9: Paramètres du modèle d'érosion.

L'érosion est définie par quatre paramètres : la zone d'érosion délimitée par deux arêtes, une date de début t_begin , une date de fin t_end et une hauteur h .

Le traitement de ce phénomène s'effectue en trois étapes :

1. rééchantillonnage de la surface d'érosion (Figure 10a) ;
2. calcul et mise à jour des plongements des sommets définissant la surface d'érosion (Figure 10a) ;
3. recherche de la première collision entre la surface d'érosion et le reste du modèle, puis création de l'événement correspondant (Figure 10b).

L'événement de collision (Figure 10c) dépend du contexte : soit la surface d'érosion est "prioritaire" et érode les surfaces qu'elle touche, soit elle n'est pas "prioritaire"

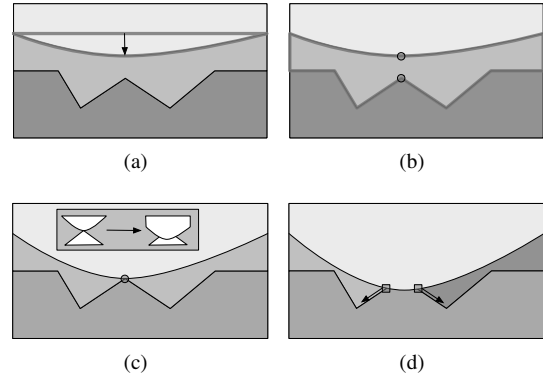


Figure 10: Étapes d'une érosion. (a) Rééchantillonnage de la surface d'érosion et changement du plongement des sommets. (b) Recherche de la date la plus proche de collision. (c) À l'instant de la collision, traitement de l'événement suivant le contexte, ici la surface d'érosion est prioritaire sur le reste. (d) La surface d'érosion a érodé le pic : une nouvelle face est créée et les points de contacts glissent.

et elle est scindée en plusieurs morceaux lors de la collision. Cette notion de priorité est explicitée dans [Per98] et adaptée à la modélisation informatiques de structures géologiques dans [BPRS01]. Dans notre exemple, une fois traités, les points de contacts de la surface érodée glissent le long de la surface d'érosion. Une nouvelle recherche de la plus proche intersection dans les deux nouvelles faces est réalisée. Les points qui glissent génèrent également des événements de collisions entre le point de contact et les sommets de la surface d'érosion (Figure 10d).

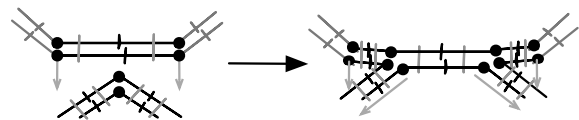


Figure 11: Traitement de la collision entre une arête d'érosion et un sommet du modèle au niveau topologique et géométrique. Les flèches correspondent aux trajectoires des sommets.

La figure 11 illustre un exemple de traitement de collision entre une arête appartenant à la surface d'érosion a et un sommet du modèle s . Deux nouveaux sommets sont insérés sur l'arête a , les arêtes incidentes au sommet s sont déliées, et liées aux sommets précédemment insérés. Il faut ensuite affecter un plongement aux nouveaux sommets, qui va correspondre au point d'intersection de l'arête a toujours en mouvement et des arêtes qui étaient liées à s .

4.3. Résultats

L'écriture de scénarii d'animation passe par l'intermédiaire de script. Voici une ébauche de langage adaptée à la géologie permettant de construire le chenal simple de la figure 12 :

```
a = creerAnimation(8, 6, 0);
a.ajouter(creerChenal(0, "profil_7.v", "C1"));
a.ajouter(creerSedimentation(10, 20, 3, "Sed01",
"border_left_0", left,
"border_right_1", left);
a.ajouter(creerErosion(30, 40, 3,
"Sed01_0", begin, "Sed01_0"));
```

Ce script crée une nouvelle animation de taille 8×6 , définit la première image-clef à la date 0 et positionne le profil de chenal C1 (Figure 12a). Ensuite, il ajoute une période de sédimentation de la date 10 à 20 pour une hauteur totale de 3. Cette sédimentation affecte toute la scène (du bord gauche au bord droit) et crée des interfaces disjointes dont la désignation est préfixée par *Sed01*. Ce phénomène a pour effet de créer deux nouvelles interfaces *Sed01_0* et *Sed01_1* dont les extrémités glissent le long du bord de C1 (Figure 12b). Au niveau du pic, *Sed01_0* et *Sed01_1* se rencontre et fusionnent en *Sed01_0* (Figure 12c). Enfin, le script ajoute une période d'érosion de la date 30 à 40 pour une hauteur totale de 3 appliquée à l'interface *Sed01_0*. Ce phénomène a pour effet d'échantillonner la surface d'érosion en affectant des trajectoires aux nouveaux sommets (Figure 12d). Le moteur de collision prédit une collision entre la surface d'érosion et le pic de C1. La collision est traitée en donnant la priorité à la surface d'érosion (Figure 12e).

5. Conclusion

Nous proposons un modèle d'animation 2D basé sur l'évolution dynamique de structures topologiques. Ce modèle est composé d'une suite de 2-g-cartes correspondante à un ensemble de modifications topologiques instantanées. Chaque 2-g-carte possède un système de désignation et de plongement temporel. La description de l'animation est réalisée par des actions entraînant une suite d'événements topologiques. La prévision de collisions détermine les événements de changements topologiques. Chaque événement est traité suivant son contexte local et suivant l'application. Pour illustrer ce modèle, nous avons utilisé le cas de la création de chenaux au travers de la description de deux phénomènes, la sédimentation et l'érosion. Ces phénomènes ont été décomposés en événements locaux de créations et de collisions.

Nous travaillons actuellement sur l'amélioration de nos modèles de sédimentation et d'érosion pour que la construction de chenaux puisse être entièrement contrôlée par le géologue. Puis, en suivant la même méthodologie, nous allons étudier d'autres phénomènes géologiques, comme la création de failles et les glissements de couches du sous-sol : d'une part pour enrichir les possibilités de modélisation de notre application ; et d'autre part pour compléter notre modèle d'animation en intégrant des situations que nous

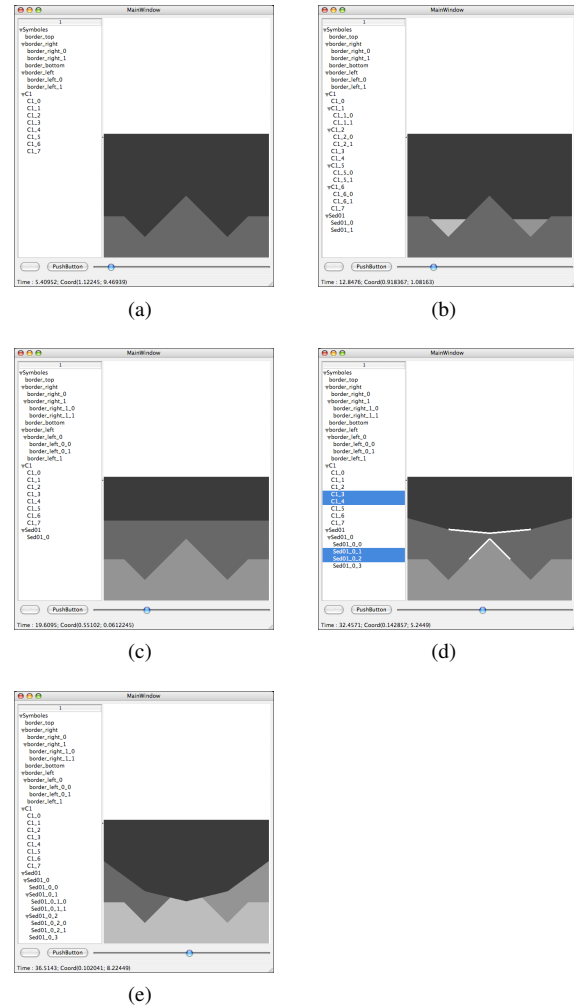


Figure 12: (a) Création d'un chenal à partir d'un profil. (b) Début de sédimentation créant deux blocs disjoints. (c) Fusion des deux blocs. (d) Début de l'érosion et détection de la prochaine collision causée par le phénomène. (e) Résultat après le traitement de la collision entre la surface d'érosion et le pic.

n'avons pas eu l'occasion de rencontrer avec la sédimentation et l'érosion.

Nous souhaitons ensuite formaliser le traitement des événements en nous orientant vers un système de reconnaissance de motifs et de règles de réécritures de graphes [PCLG*07]. Cette approche devrait nous permettre de déterminer plus simplement les actions à réaliser selon le contexte local de l'événement, renforçant ainsi l'indépendance de notre modèle d'animation par rapport à des applications particulières.

Nos objectifs à plus long terme sont nombreux : d'abord,

tester et enrichir notre modèle face à de nouveaux contextes d'utilisation en 2D. Puis, étendre le modèle à la 3D : la structuration en modèles structurel, événementiel et sémantique ne changera pas mais nous devons les enrichir pour contrôler les nouveaux cas d'évolutions des structures topologiques qui apparaîtront avec le changement de dimension (par exemple, l'intersection de l'intérieur d'une face avec un sommet). Enfin, l'édition interactive des scénarii pour modifier certains paramètres et rejouer l'évolution du modèle nous intéresse particulièrement. Nous comptons suivre l'approche de la « nomination » [BAMSB05] pour résoudre ce problème.

References

- [BAMSB05] BABA-ALI M., MARCHEIX D., SKAPIN X., BERTRAND Y. : Intégration des opérations de nomination dans un modèle géométrique 3d. In *Journées de l'Association Française d'Informatique Graphique* (November 2005).
- [BPRS01] BRANDEL S., PERRIN M., RAINAUD J.-F., SCHNEIDER S. : Geological interpretation makes earth models easier to build. In *EAGE 63rd Conference, Extended Abstracts* (June 2001).
- [DZ93] DWORKIN P., ZELTER D. : A new model for efficient dynamic simulation. In *EUROGRAPHICS Workshop on Computer Animation and Simulation (EGCAS)* (Barcelone, Sept. 1993), pp. 135–147.
- [Edm60] EDMONDS J. : A combinatorial representation for polyhedral surfaces. In *Notices*, vol. 7. Amer. Math. Soc., 1960.
- [GM01] GIAVITTO J.-L., MICHEL O. : Mgs : a rule-based programming language for complex objects and collections. *Electr. Notes Theor. Comput. Sci.* 59, 4 (2001).
- [GTM*05] GUIMBERTEAU G., TERRAZ O., MÉRILLOU S., GHAZANFARPOUR D., PLEMENOS D. : *Internal wood growth simulation based on subdivided 3D objects*. Tech. rep., Laboratoire MSI, 2005.
- [LFB07] LIENHARDT P., FUCHS L., BERTRAND Y. : *Informatique graphique, modélisation géométrique et animation.*, vol. 1 of *Traitement du Signal et de l'Image*. Hermès, 2007, ch. Modèles topologiques, pp. 49–93. sous la direction de D. Bechmann et B. Péroche.
- [Lie94] LIENHARDT P. : n-dimensional generalised combinatorial maps and cellular quasimanifolds. *International Journal of Computational Geometry and Applications* (1994).
- [Lin68] LINDENMAYER A. : Mathematical models for cellular interactions in development. *Journal of Theoretical Biology* 18 (1968), 280–315.
- [LR79] LINDENMAYER A., ROZENBERG G. : Parallel generation of maps : Developmental systems for cell layers. In *Proceedings of the International Workshop on Graph-Grammars and Their Application to Computer Science and Biology* (London, UK, 1979), Springer-Verlag, pp. 301–316.
- [LSM06] LÉON P., SKAPIN X., MESEURE P. : Topologically-based animation for describing geological evolution. In *International Conference on Computer Vision and Graphics* (September 2006).
- [May67] MAY J.-P. : *Simplicial Objects in Algebraic Topology*, première ed., vol. 11 of *Van Nostrand Mathematical Studies*. Van Nostrand, 1967.
- [PCLG*07] POUURET M., COMET J.-P., LE GALL P., ARNOULD A., MESEURE P. : Topology-based geometric modelling for biological cellular processes. In *1st International conference on Language and Automata Theory and Applications (LATA 2007)* (Tarragona, Spain, Mars 2007). à paraître.
- [Per98] PERRIN M. : Geological consistency : an opportunity for safe surface assembly and quick model exploration. 4–5.
- [PL90] PRUSINKIEWICZ P., LINDENMAYER A. : *The Algorithmic Beauty of Plants (The Virtual Laboratory)*. Springer, October 1990.
- [Prov97] PROVOT X. : Collision and self-collision handling in cloth model dedicated to design garments. *Graphics Interface* (1997), 177–189.
- [Smi06] SMITH C. : *On Vertex-Vertex Systems and Their Use in Geometric and Biological Modelling*. PhD thesis, University of Calgary, April 2006.
- [Wei88] WEILER K. : The radial edge structure : A topological representation for non-manifold geometric boundary modeling. In *Geometric Modeling for CAD Applications : Selected and Expanded Papers from the Ifip Wg 5.2 Working Conference* (1988), Wozny M.-J., McLaughlin H.-W., Encarnação J.-L., (Eds.), Elsevier Science, pp. 3–36.