

# Modèle d'animation basé sur des structures topologiques

Pierre-François Léon   Xavier Skapin   Philippe Meseure

Laboratoire Signal, Image et Communications  
Équipe Modélisation Géométrique et Animation  
Université de Poitiers

11 juillet 2006



# Plan

- 1 Introduction
  - Contexte
  - Objectifs
- 2 Modèle d'animation (2D)
  - Modèle keyframe
  - Opérations topologiques
- 3 Exemple d'application : géologie
  - Modélisation des événements géologiques
  - Construction d'un script
- 4 Conclusion et perspectives

# Plan

- 1 Introduction
  - Contexte
  - Objectifs
- 2 Modèle d'animation (2D)
  - Modèle keyframe
  - Opérations topologiques
- 3 Exemple d'application : géologie
  - Modélisation des événements géologiques
  - Construction d'un script
- 4 Conclusion et perspectives

# Contexte

## Modélisation géométrique pour l'animation

- Contrôle de l'animation (bas niveau / haut niveau) ?
- Modèle d'animation nD basé sur l'évolution de structures topologiques ?

# Objectifs

## Décrire l'évolution structurelle des objets à travers le temps

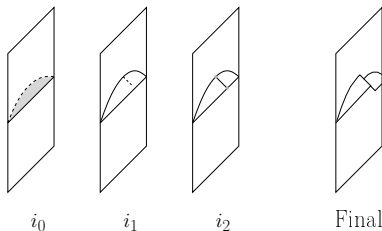
- Définir les opérations topologiques définissant des évolutions précises
- Combiner ces opérations à la demande pour créer des animations spécifiques
- Fournir un contrôle haut niveau à l'utilisateur final

# Plan

- 1 Introduction
  - Contexte
  - Objectifs
- 2 Modèle d'animation (2D)
  - Modèle keyframe
  - Opérations topologiques
- 3 Exemple d'application : géologie
  - Modélisation des événements géologiques
  - Construction d'un script
- 4 Conclusion et perspectives

# Modèle keyframe

- Succession d'images-clefs correspondant aux modifications topologiques



- Construction de l'animation :
  - 1 Duplication de la frame ( $i_k$ )  $\rightarrow$  frame ( $i_{k+1}$ )
  - 2 Modifications topologiques de la frame ( $i_{k+1}$ )
  - 3 Passage de  $i_k$  à  $i_{k+1}$  par interpolation des plongements

$\Rightarrow$  Animation par script : succession de duplications de frames et d'opérations topologiques

# Opérations actuellement définies

## Méthodologie :

- Étude d'événements liés à différents contextes pour déterminer les opérations sous-jacentes
  - réutilisation des opérations à d'autres contextes
- 1 Contraction d'arête en sommet
  - 2 Suppression d'arête
  - 3 Éclatement de sommets en arête
  - 4 Éclatement de chemin d'arêtes en face
  - 5 Identification de sommets



# Opérations actuellement définies

Méthodologie :

- Étude d'événements liés à différents contextes pour déterminer les opérations sous-jacentes
  - réutilisation des opérations à d'autres contextes
- 1 Contraction d'arête en sommet
  - 2 Suppression d'arête
  - 3 Éclatement de sommets en arête
  - 4 Éclatement de chemin d'arêtes en face
  - 5 Identification de sommets

# Opérations actuellement définies

Méthodologie :

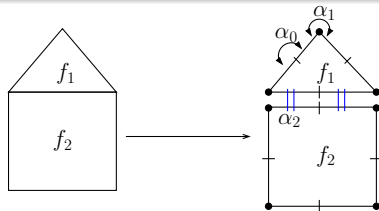
- Étude d'événements liés à différents contextes pour déterminer les opérations sous-jacentes
  - réutilisation des opérations à d'autres contextes
- 1 Contraction d'arête en sommet
  - 2 Suppression d'arête
  - 3 Éclatement de sommets en arête
  - 4 Éclatement de chemin d'arêtes en face
  - 5 Identification de sommets

# G-Cartes

## Definition

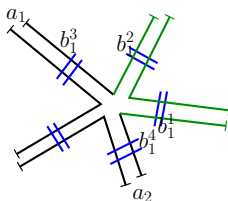
Une G-Carte de dimension  $n$ , ou  $n$ -G-Carte est un  $(n + 2)$ -uplet  $G = (B, \alpha_0, \dots, \alpha_n)$  tel que :

- $B$  est un ensemble fini de brins ;
- $\alpha_0 \dots \alpha_n$  sont des involutions sur  $B$  ;
- $\alpha_i \alpha_j$  est une involution pour  $0 \leq i < i + 2 \leq j \leq n$ .



exemple d'une 2-G-Carte  $G = (B, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2)$

# Éclatement d'un sommet en arête

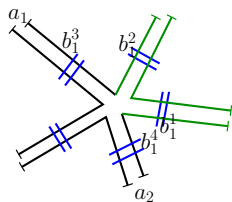


$B, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$

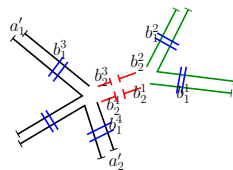
Pré-conditions :

- $\exists p > 0, b_1^1 = b_1^2(\alpha_2\alpha_1)^p\alpha_2$
- $b_1^3 = b_1^2\alpha_1, b_1^4 = b_1^1\alpha_1$

# Éclatement d'un sommet en arête



$B, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$



$B', \alpha'_0, \alpha'_1, \alpha'_2$

Pré-conditions :

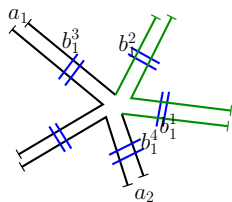
- $\exists p > 0, b_1^1 = b_1^2(\alpha_2\alpha_1)^p\alpha_2$
- $b_1^3 = b_1^2\alpha_1, b_1^4 = b_1^1\alpha_1$

Post-conditions :

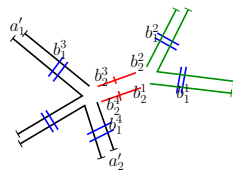
- $B' = B \cup \{b_2^1, b_2^2, b_2^3, b_2^4\}$
- $\forall b \in B, b\alpha'_0 = b\alpha_0$

- $\forall b \in B - \{b_1^1, b_1^2, b_1^3, b_1^4\}, b\alpha'_1 = b\alpha_1$
- $\forall b \in B, b\alpha'_2 = b\alpha_2$
- $b_2^1\alpha'_0 = b_2^4, b_2^2\alpha'_0 = b_2^3$
- $\forall i \in 1, \dots, 4, b_2^i\alpha'_1 = b_2^i$
- $b_2^1\alpha'_2 = b_2^2, b_2^3\alpha'_2 = b_2^4$

# Éclatement d'un sommet en arête



$B, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$



$B', \alpha'_0, \alpha'_1, \alpha'_2$

Pré-conditions :

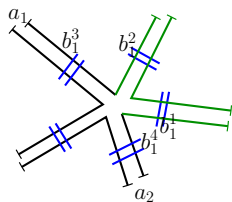
- $\exists p > 0, b_1^1 = b_1^2(\alpha_2\alpha_1)^p\alpha_2$
- $b_1^3 = b_1^2\alpha_1, b_1^4 = b_1^1\alpha_1$

Post-conditions :

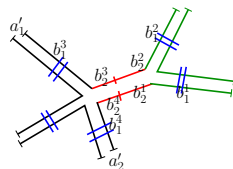
- $B' = B \cup \{b_2^1, b_2^2, b_2^3, b_2^4\}$
- $\forall b \in B, b\alpha'_0 = b\alpha_0$

- $\forall b \in B - \{b_1^1, b_1^2, b_1^3, b_1^4\}, b\alpha'_1 = b\alpha_1$
- $\forall b \in B, b\alpha'_2 = b\alpha_2$
- $b_2^1\alpha'_0 = b_2^4, b_2^2\alpha'_0 = b_2^3$
- $\forall i \in 1, \dots, 4, b_2^i\alpha'_1 = b_2^i$
- $b_2^1\alpha'_2 = b_2^2, b_2^3\alpha'_2 = b_2^4$

# Éclatement d'un sommet en arête



$B, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$



$B', \alpha'_0, \alpha'_1, \alpha'_2$

Pré-conditions :

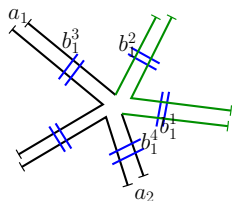
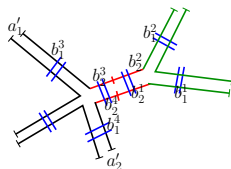
- $\exists p > 0, b_1^1 = b_1^2(\alpha_2\alpha_1)^p\alpha_2$
- $b_1^3 = b_1^2\alpha_1, b_1^4 = b_1^1\alpha_1$

Post-conditions :

- $B' = B \cup \{b_2^1, b_2^2, b_2^3, b_2^4\}$
- $\forall b \in B, b\alpha'_0 = b\alpha_0$

- $\forall b \in B - \{b_1^1, b_1^2, b_1^3, b_1^4\}, b\alpha'_1 = b\alpha_1$
- $\forall b \in B, b\alpha'_2 = b\alpha_2$
- $b_2^1\alpha'_0 = b_2^4, b_2^2\alpha'_0 = b_2^3$
- $\forall i \in 1, \dots, 4, b_2^i\alpha'_1 = b_2^i$
- $b_2^1\alpha'_2 = b_2^2, b_2^3\alpha'_2 = b_2^4$

# Éclatement d'un sommet en arête


 $B, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ 

 $B', \alpha'_0, \alpha'_1, \alpha'_2$ 

Pré-conditions :

- $\exists p > 0, b_1^1 = b_1^2(\alpha_2\alpha_1)^p\alpha_2$
- $b_1^3 = b_1^2\alpha_1, b_1^4 = b_1^1\alpha_1$

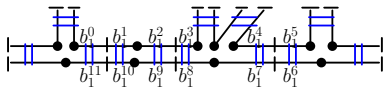
Post-conditions :

- $B' = B \cup \{b_2^1, b_2^2, b_2^3, b_2^4\}$
- $\forall b \in B, b\alpha'_0 = b\alpha_0$

- $\forall b \in B - \{b_1^1, b_1^2, b_1^3, b_1^4\}, b\alpha'_1 = b\alpha_1$
- $\forall b \in B, b\alpha'_2 = b\alpha_2$
- $b_2^1\alpha'_0 = b_2^4, b_2^2\alpha'_0 = b_2^3$
- $\forall i \in 1, \dots, 4, b_2^i\alpha'_1 = b_2^i$
- $b_2^1\alpha'_2 = b_2^2, b_2^3\alpha'_2 = b_2^4$



# Éclatement d'un chemin d'arêtes en face

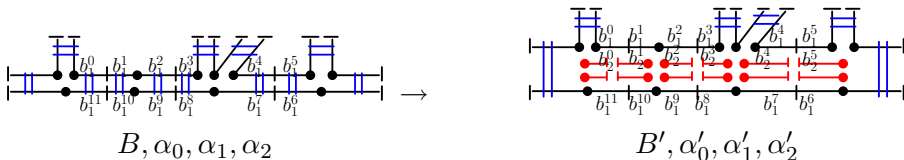


$$B, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$$

Pré :

- $\mathcal{C} = \{b_1^0, \dots, b_1^{2k+1}\} \subset B$
- $\mathcal{C}' = \{b_1^{2k+2}, \dots, b_1^{4k+3}\} \subset B$  tq :
  - $\mathcal{C} \cap \mathcal{C}' = \emptyset$
  - $\forall i \in [2k+2 \dots 4k+3],$   
 $b_1^i = b_1^{i-(2k+2)} \alpha_2$

# Éclatement d'un chemin d'arêtes en face



Pré :

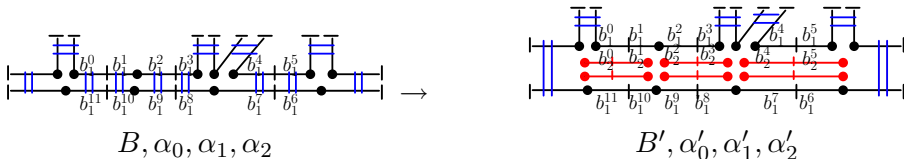
- $\mathcal{C} = \{b_1^0, \dots, b_1^{2k+1}\} \subset B$
- $\mathcal{C}' = \{b_1^{2k+2}, \dots, b_1^{4k+3}\} \subset B$  tq :
  - $\mathcal{C} \cap \mathcal{C}' = \emptyset$
  - $\forall i \in [2k+2 \dots 4k+3],$   
 $b_1^i = b_1^{i-(2k+2)} \alpha_2$

Post :

- $B' = B \cup \{b_2^0, \dots, b_2^{4k+3}\}$

- $\forall b \in B, b\alpha'_0 = b\alpha_0$  et  $b\alpha'_1 = b\alpha_1$
- $\forall b \in B - (\mathcal{C} \cup \mathcal{C}'), b\alpha'_2 = b\alpha_2$
- $b_2^{2a} \alpha'_0 = b_2^{2a+1}$  ( $0 \leq a < 2k+1$ )
- $b_2^{2a+1} \alpha'_1 = b_2^{(2a+2) \bmod (4k+4)}$   
 $(0 \leq a \leq 2k+1)$
- $b_2^i \alpha'_2 = b_1^i$  ( $0 \leq i \leq 4k+3$ )

# Éclatement d'un chemin d'arêtes en face



Pré :

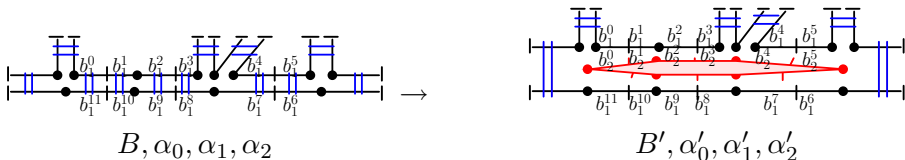
- $\mathcal{C} = \{b_1^0, \dots, b_1^{2k+1}\} \subset B$
- $\mathcal{C}' = \{b_1^{2k+2}, \dots, b_1^{4k+3}\} \subset B$  tq :
  - $\mathcal{C} \cap \mathcal{C}' = \emptyset$
  - $\forall i \in [2k+2 \dots 4k+3],$   
 $b_1^i = b_1^{i-(2k+2)} \alpha_2$

Post :

- $B' = B \cup \{b_2^0, \dots, b_2^{4k+3}\}$

- $\forall b \in B, b\alpha'_0 = b\alpha_0$  et  $b\alpha'_1 = b\alpha_1$
- $\forall b \in B - (\mathcal{C} \cup \mathcal{C}'), b\alpha'_2 = b\alpha_2$
- $b_2^{2a} \alpha'_0 = b_2^{2a+1}$  ( $0 \leq a < 2k+1$ )
- $b_2^{2a+1} \alpha'_1 = b_2^{(2a+2) \bmod (4k+4)}$   
 $(0 \leq a \leq 2k+1)$
- $b_2^i \alpha'_2 = b_1^i$  ( $0 \leq i \leq 4k+3$ )

# Éclatement d'un chemin d'arêtes en face



Pré :

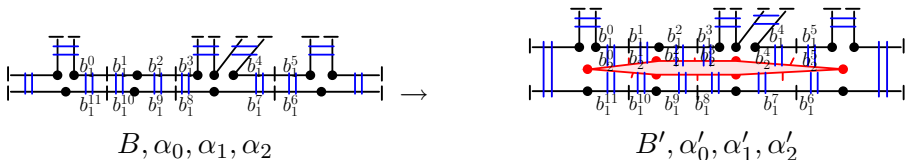
- $\mathcal{C} = \{b_1^0, \dots, b_1^{2k+1}\} \subset B$
- $\mathcal{C}' = \{b_1^{2k+2}, \dots, b_1^{4k+3}\} \subset B$  tq :
  - $\mathcal{C} \cap \mathcal{C}' = \emptyset$
  - $\forall i \in [2k+2 \dots 4k+3],$   
 $b_1^i = b_1^{i-(2k+2)} \alpha_2$

Post :

- $B' = B \cup \{b_2^0, \dots, b_2^{4k+3}\}$

- $\forall b \in B, b\alpha'_0 = b\alpha_0$  et  $b\alpha'_1 = b\alpha_1$
- $\forall b \in B - (\mathcal{C} \cup \mathcal{C}'), b\alpha'_2 = b\alpha_2$
- $b_2^{2a} \alpha'_0 = b_2^{2a+1}$  ( $0 \leq a < 2k+1$ )
- $b_2^{2a+1} \alpha'_1 = b_2^{(2a+2) \bmod (4k+4)}$   
 $(0 \leq a \leq 2k+1)$
- $b_2^i \alpha'_2 = b_1^i$  ( $0 \leq i \leq 4k+3$ )

# Éclatement d'un chemin d'arêtes en face



Pré :

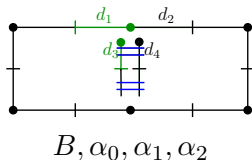
- $\mathcal{C} = \{b_1^0, \dots, b_1^{2k+1}\} \subset B$
- $\mathcal{C}' = \{b_1^{2k+2}, \dots, b_1^{4k+3}\} \subset B$  tq :
  - $\mathcal{C} \cap \mathcal{C}' = \emptyset$
  - $\forall i \in [2k+2 \dots 4k+3],$   
 $b_1^i = b_1^{i-(2k+2)} \alpha_2$

Post :

- $B' = B \cup \{b_2^0, \dots, b_2^{4k+3}\}$

- $\forall b \in B, b\alpha'_0 = b\alpha_0$  et  $b\alpha'_1 = b\alpha_1$
- $\forall b \in B - (\mathcal{C} \cup \mathcal{C}'), b\alpha'_2 = b\alpha_2$
- $b_2^{2a} \alpha'_0 = b_2^{2a+1}$  ( $0 \leq a < 2k+1$ )
- $b_2^{2a+1} \alpha'_1 = b_2^{(2a+2) \bmod (4k+4)}$   
 $(0 \leq a \leq 2k+1)$
- $b_2^i \alpha'_2 = b_1^i$  ( $0 \leq i \leq 4k+3$ )

# Identification de sommets



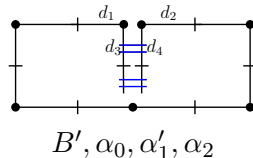
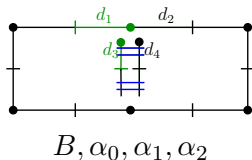
$B, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$

Pré :

- $G = (B, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2)$
- $\forall d \in D$  :
  - $d\alpha_2 \neq d$
  - $d\alpha_0 \neq d$
  - $d(\alpha_1\alpha_2)^2 = d$  ou  $d\alpha_1\alpha_2 = d$

- $d_1\alpha_1 = d_2, d_3\alpha_2 = d_4$
- $d_3\alpha_1 = d_3$  ou  $d_3\alpha_1\alpha_2 = d_3$

# Identification de sommets



Pré :

- $G = (B, \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2)$
- $\forall d \in D$  :
  - $d\alpha_2 \neq d$
  - $d\alpha_0 \neq d$
  - $d(\alpha_1\alpha_2)^2 = d$  ou  $d\alpha_1\alpha_2 = d$

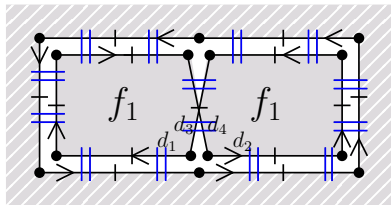
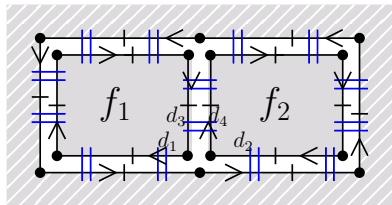
- $d_1\alpha_1 = d_2, d_3\alpha_2 = d_4$
- $d_3\alpha_1 = d_3$  ou  $d_3\alpha_1\alpha_2 = d_3$

Post :

- $\forall d \in B - \{d_1, d_2, d_3, d_4\},$   
 $d\alpha'_1 = d\alpha_1 ;$
- $d_1\alpha'_1 = d_3, d_2\alpha'_1 = d_4.$

# Identification : correction de l'orientation

Il faut que  $d_3 \in \langle \beta_1 \rangle (d_1 \alpha_0)$  avec  $\beta_1 = \alpha_0 \alpha_1$  lors de la deuxième identification.

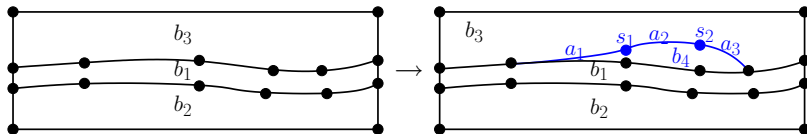




# Plan

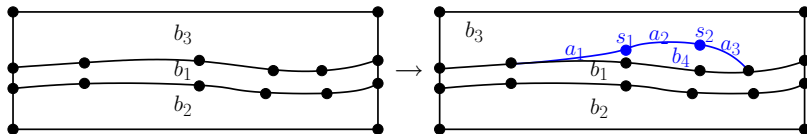
- 1 Introduction
  - Contexte
  - Objectifs
- 2 Modèle d'animation (2D)
  - Modèle keyframe
  - Opérations topologiques
- 3 Exemple d'application : géologie
  - Modélisation des événements géologiques
  - Construction d'un script
- 4 Conclusion et perspectives

# Sédimentation

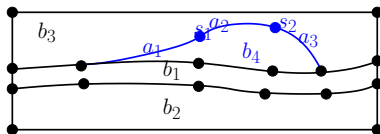


Sédimentation : création d'une nouvelle couche  $b_4$ .

# Sédimentation

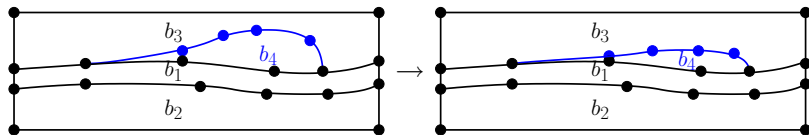


Sédimentation : création d'une nouvelle couche  $b_4$ .



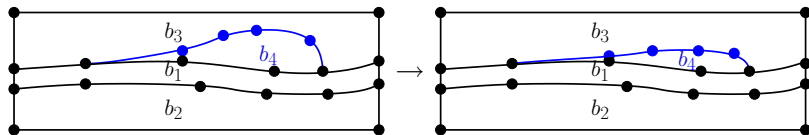
Déformation de l'interface ( $b_3, b_4$ ).

# Érosion

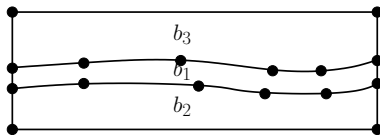


Érosion : déformation de l'interface ( $b_3$ ,  $b_4$ ).

# Érosion

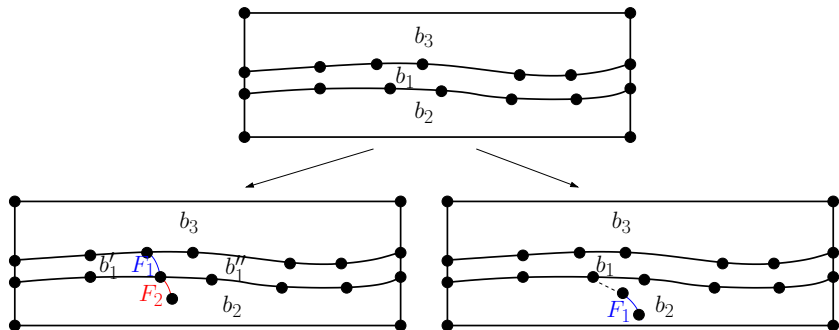


Érosion : déformation de l'interface ( $b_3, b_4$ ).



Disparition de la couche  $b_4$ .

# Faïlle

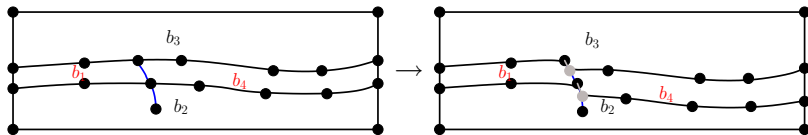


faïlle complète  $F_1$  ;

faïlle pendante  $F_2$ .

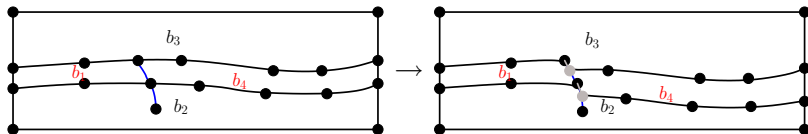
faïlle  $F_1$  débutant dans un bloc.

# Glissement

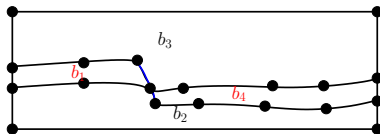


Glissement : mouvement du bloc  $b_4$  par rapport au bloc  $b_1$  le long d'une faille.

# Glissement



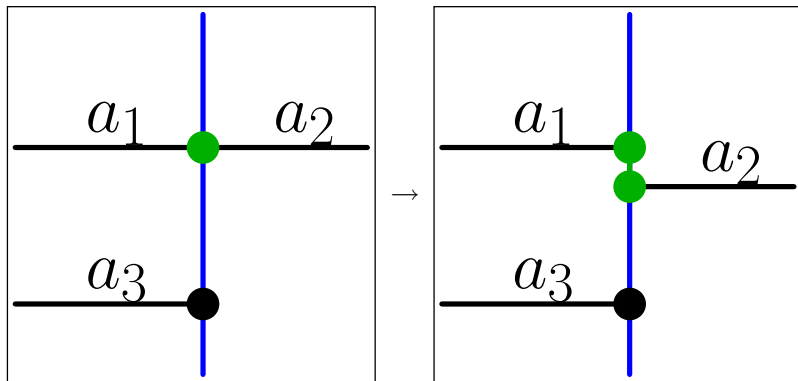
Glissement : mouvement du bloc  $b_4$  par rapport au bloc  $b_1$  le long d'une faille.



Changement de connectivité entre  $b_1$  et  $b_4$

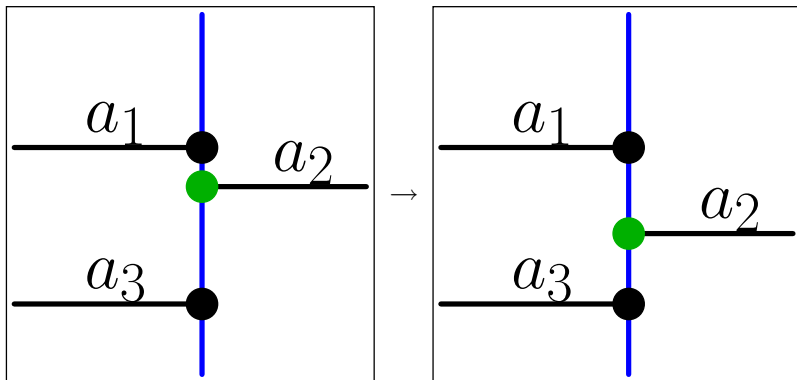


# Glissement : détails



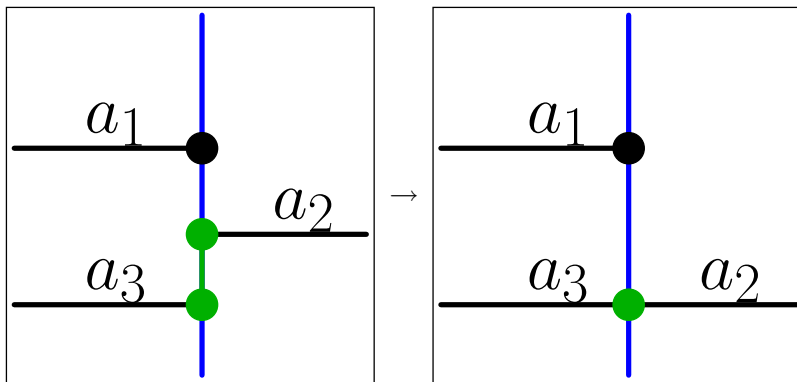
Division du sommet vert.

# Glissement : détails



Translation du sommet vert.

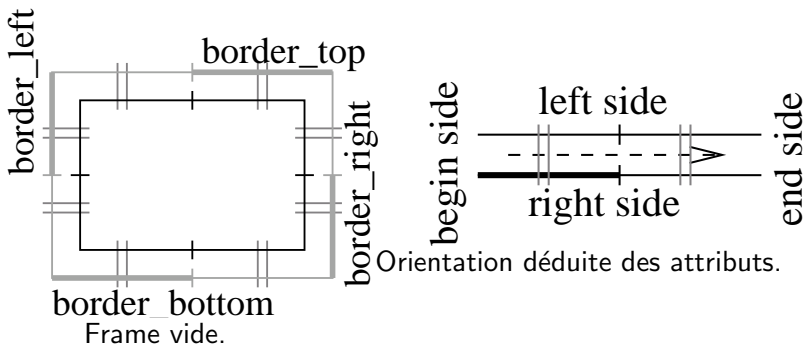
# Glissement : détails



Disparition de l'arête verte.

# Script → extension des G-cartes

- Nommer les objets manipulés (arêtes en 2D)
- Associer des attributs aux brins



## Extrait d'un script

- `animation = CAnimation :new(gmv, width, height)`
- `firstFrame = animation :addFirstDiscretePlane2d(0)`
- `firstFrame :createInterface("new_line")`
- `firstFrame :splitInterface({50}, "border_left")`
- `firstFrame :splitInterface({50}, "border_right")`
- `firstFrame :identification("border_left_1", true, "new_line", true, true)`
- `firstFrame :identification("border_right_1", true, "new_line", false, true)`
- `firstFrame :setSymboleEdgeEmbedding("new_line", function(p, t), t = clamp(t, 0, math.pi * 7) local y = math.sin(p * math.pi * 4) * math.cos(t / 7 * 2) * 4 return width * p, y + height / 2 end)`

## Extrait d'un script

- `animation = CAnimation :new(gmv, width, height)`
- `firstFrame = animation :addFirstDiscretePlane2d(0)`
- `firstFrame :createInterface("new_line")`
- `firstFrame :splitInterface({50}, "border_left")`
- `firstFrame :splitInterface({50}, "border_right")`
- `firstFrame :identification("border_left_1", true, "new_line", true, true)`
- `firstFrame :identification("border_right_1", true, "new_line", false, true)`
- `firstFrame :setSymboleEdgeEmbedding("new_line", function(p, t), t = clamp(t, 0, math.pi * 7) local y = math.sin(p * math.pi * 4) * math.cos(t / 7 * 2) * 4 return width * p, y + height / 2 end)`

## Extrait d'un script

- `animation = CAnimation :new(gmv, width, height)`
- `firstFrame = animation :addFirstDiscretePlane2d(0)`
- `firstFrame :createInterface("new_line")`
- `firstFrame :splitInterface({50}, "border_left")`
- `firstFrame :splitInterface({50}, "border_right")`
- `firstFrame :identification("border_left_1", true, "new_line", true, true)`
- `firstFrame :identification("border_right_1", true, "new_line", false, true)`
- `firstFrame :setSymboleEdgeEmbedding("new_line", function(p, t), t = clamp(t, 0, math.pi * 7) local y = math.sin(p * math.pi * 4) * math.cos(t / 7 * 2) * 4 return width * p, y + height / 2 end)`

## Extrait d'un script

- `animation = CAnimation :new(gmv, width, height)`
- `firstFrame = animation :addFirstDiscretePlane2d(0)`
- `firstFrame :createInterface("new_line")`
- `firstFrame :splitInterface({50}, "border_left")`
- `firstFrame :splitInterface({50}, "border_right")`
- `firstFrame :identification("border_left_1", true, "new_line", true, true)`
- `firstFrame :identification("border_right_1", true, "new_line", false, true)`
- `firstFrame :setSymboleEdgeEmbedding("new_line", function(p, t), t = clamp(t, 0, math.pi * 7) local y = math.sin(p * math.pi * 4) * math.cos(t / 7 * 2) * 4 return width * p, y + height / 2 end)`



# Plan

- 1 Introduction
  - Contexte
  - Objectifs
- 2 Modèle d'animation (2D)
  - Modèle keyframe
  - Opérations topologiques
- 3 Exemple d'application : géologie
  - Modélisation des événements géologiques
  - Construction d'un script
- 4 Conclusion et perspectives

# Conclusion

- **Modèle d'animation 2D basé sur les structures topologiques**
- Méthodologie pour étudier des animations liées au contexte
  - énumérations des opérations topologiques sous-jacentes
  - (re)définition de ces opérations
- Combinaison des opérations topologiques sous forme de scripts pour modéliser des animations
  - extension du modèle des G-cartes
  - contrôle précis des animations (bas niveau)

# Conclusion

- Modèle d'animation 2D basé sur les structures topologiques
- Méthodologie pour étudier des animations liées au contexte
  - énumérations des opérations topologiques sous-jacentes
  - (re)définition de ces opérations
- Combinaison des opérations topologiques sous forme de scripts pour modéliser des animations
  - extension du modèle des G-cartes
  - contrôle précis des animations (bas niveau)

# Conclusion

- Modèle d'animation 2D basé sur les structures topologiques
- Méthodologie pour étudier des animations liées au contexte
  - énumérations des opérations topologiques sous-jacentes
  - (re)définition de ces opérations
- Combinaison des opérations topologiques sous forme de scripts pour modéliser des animations
  - extension du modèle des G-cartes
  - contrôle précis des animations (bas niveau)

# Perspectives

- Création d'une librairie d'opérations topologiques adaptées à l'animation
- Amélioration du contrôle des animations haut niveau  $\Rightarrow$  renforcer le suivi des événements ( $\Rightarrow$  nomination)
- Passage à la 3D

# Perspectives

- Création d'une librairie d'opérations topologiques adaptées à l'animation
- Amélioration du contrôle des animations haut niveau  $\Rightarrow$  renforcer le suivi des événements ( $\Rightarrow$  nomination)
- Passage à la 3D

# Perspectives

- Création d'une librairie d'opérations topologiques adaptées à l'animation
- Amélioration du contrôle des animations haut niveau  $\Rightarrow$  renforcer le suivi des événements ( $\Rightarrow$  nomination)
- Passage à la 3D