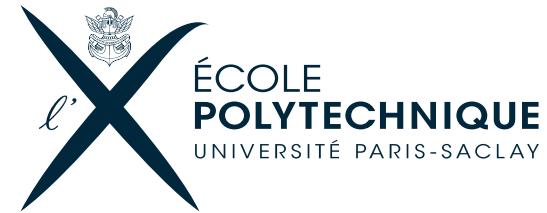


STREAM / LIX



# *Création des mondes virtuels*

## *Objets auto-similaires et distributions d'éléments*

Marie-Paule Cani  
Ecole Polytechnique

*Désir de créer, de représenter ....  
des formes, des mouvements, des mondes*



Dessin, peinture, sculpture...

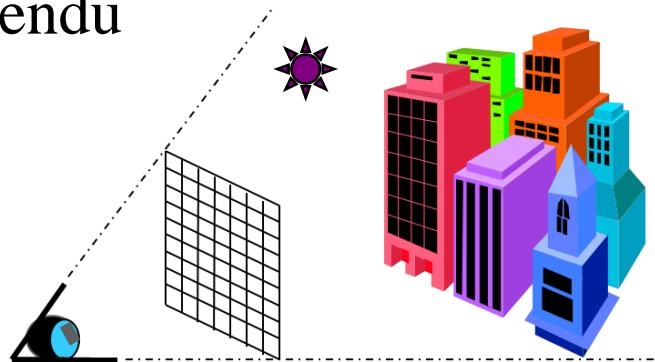
# *Informatique Graphique 3D*

## **Le contraire de « l'imagerie »**

- Part de modèles mathématiques, pour produire des images!

## **Trois étapes**

1. Modélisation géométrique
2. Animation
3. Rendu



# *Informatique graphique 3D*

## *Des mondes virtuels réalistes, et animés*



[Crytek 2008  
Millions de polygones]

Mais comment les créer ?

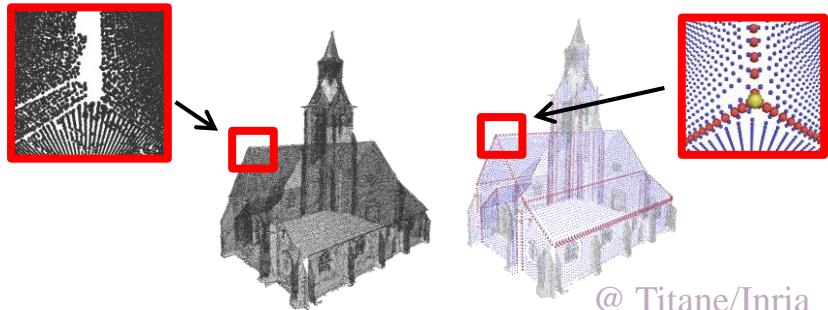
# *Automatiser la création des contenus ?*

## *Reconstruction du réel / Génération procédurale*



@ Morpheo/Inria

- Comment passer à l'échelle ?
- Comment créer du nouveau ?



@ Titane/Inria



@ Grenoble-INP, Lyon1, Inria

- Peut-on tout exprimer par des lois ?
- Quel contrôle ?

# *Creation de contenus 3D*

## *Modélisation interative*

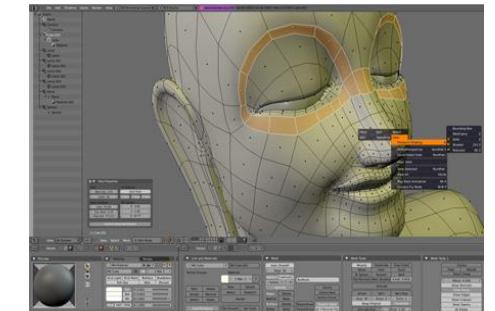
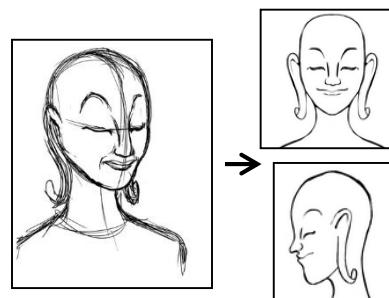
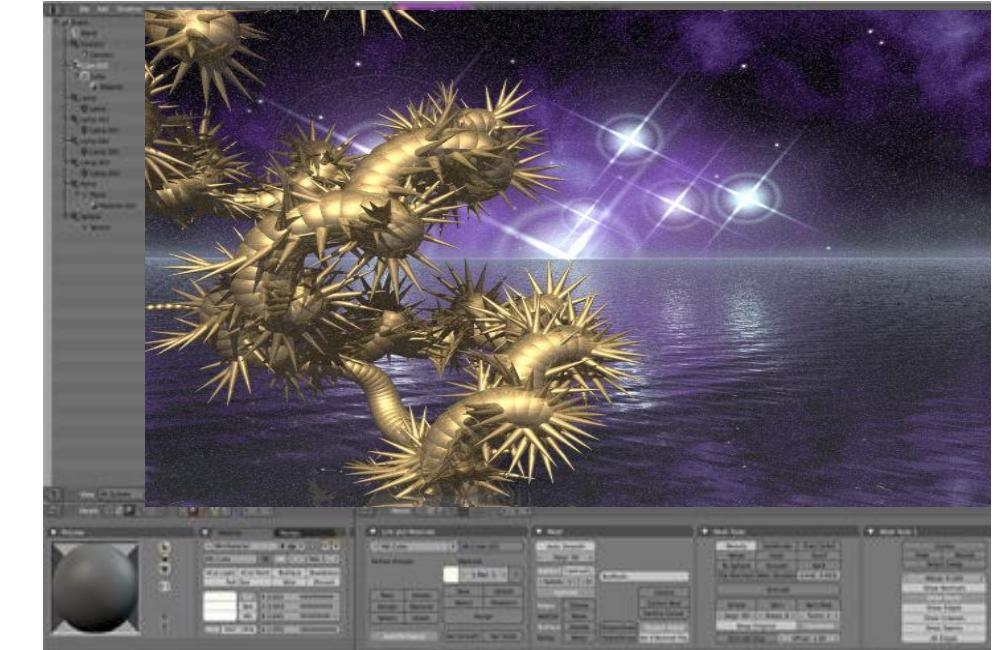
### **Logiciels dédiés**

(Maya, 3DS Max, Blender...)

- Créer chaque élément  
... morceau par morceau
- Les assembler
- Les placer dans le monde virtuel

4 ans de formation nécessaires...

Ne favorise pas la créativité !



# *Créer des formes, des mouvements, des mondes*

## *Vers une modélisation 3D « Expressive »?*



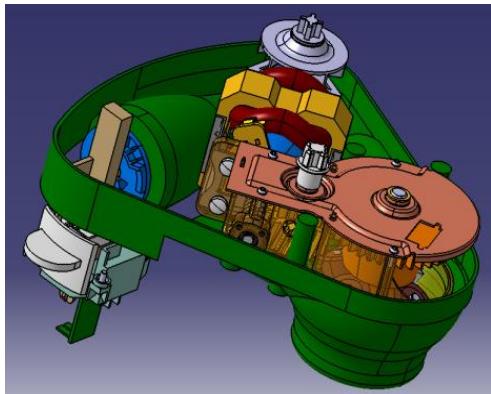
- Media numérique
  - « Dessiner », mais en 3D ?
  - « Sculpter » aussi les mouvements ?
- S'affranchir des contraintes
  - Echelle du support, des doigts, des outils
  - Défaire/refaire... Copier, dupliquer, coller...



# *Ce exposé*

## *Création des mondes virtuels*

- Modélisation 3D « Expressive »
  - Création par gestes + modèles intégrant des connaissances
- Extension aux mondes virtuels
  - Terrains et cascades : Gestes + connaissances
  - Végétation et distribution d’éléments : Apprentissage statistique



*Modélisation expressive*

- ✓ *Quels gestes pour créer en 3D ?*
- ✓ *Extension aux Mondes Virtuels*

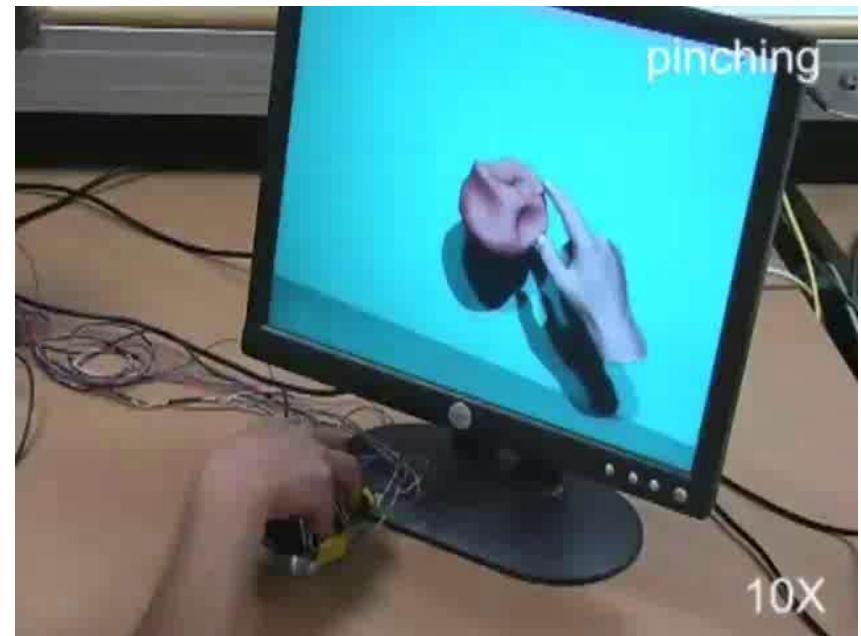
## *Peindre et Sculpter*

### *Premières tentatives : inspirées du réel*

Cave Painting @ACM, 2001



@Grenoble-INP, Inria, 2008



- Peinture en 3D, 2001

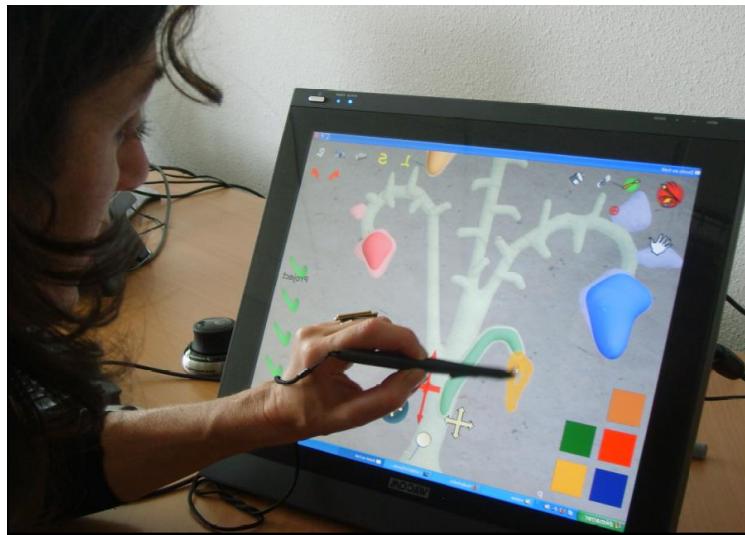
- Argile virtuelle [Kry 2008]

*Modélisation expressive*

- ✓ *Quels gestes pour créer en 3D ?*
- ✓ *Extension aux Mondes Virtuels*

## *Etendre la notion de peinture ?*

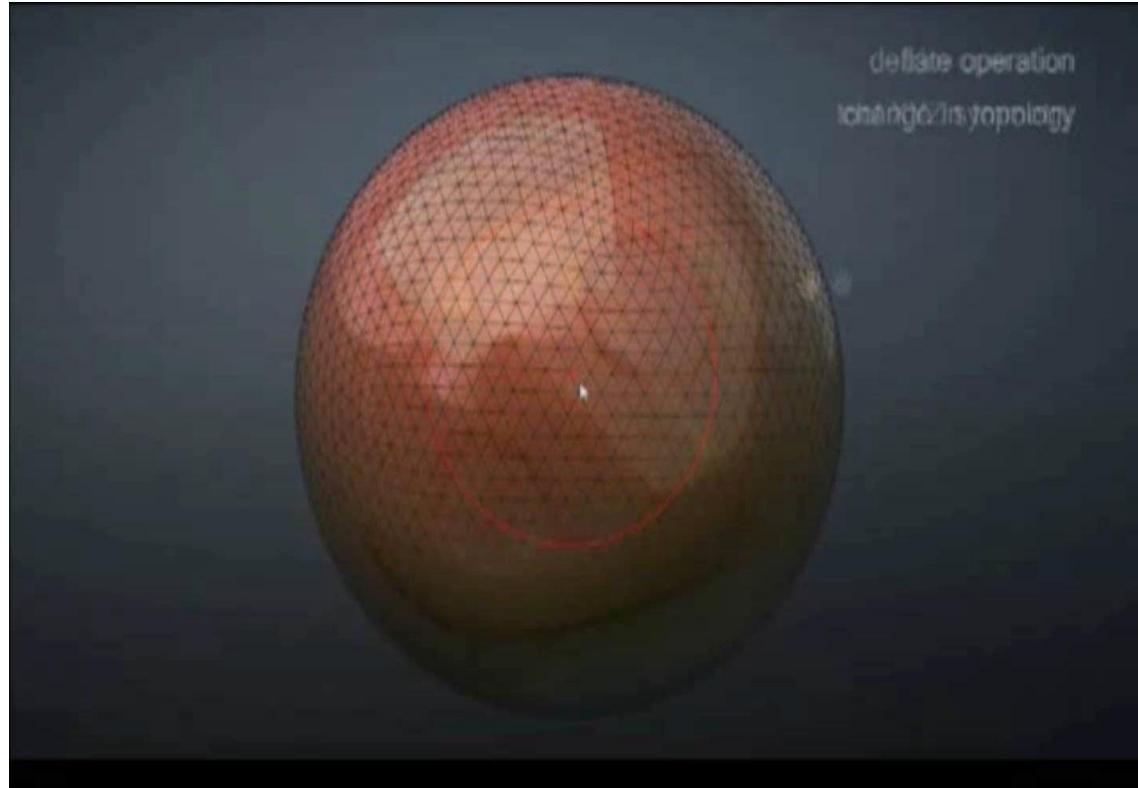
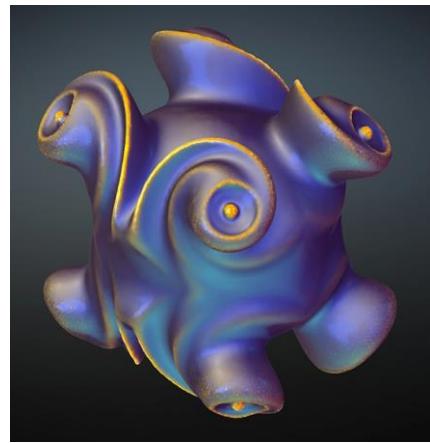
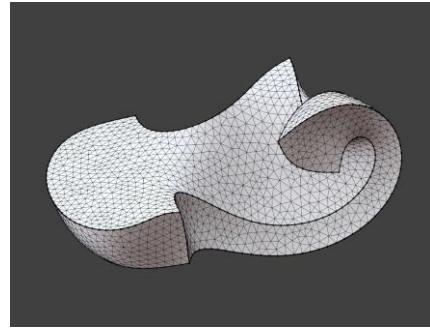
Peindre en 2D pour créer en 3D!



*Modélisation expressive*

- ✓ *Quels gestes pour créer en 3D ?*
- ✓ *Extension aux Mondes Virtuels*

## *Etendre la notion de sculpture ?*



Déformations de l'espace et maillage adaptatif  
[Stanculescu, Chaine, Cani, 2011-2013]

*Modélisation expressive*

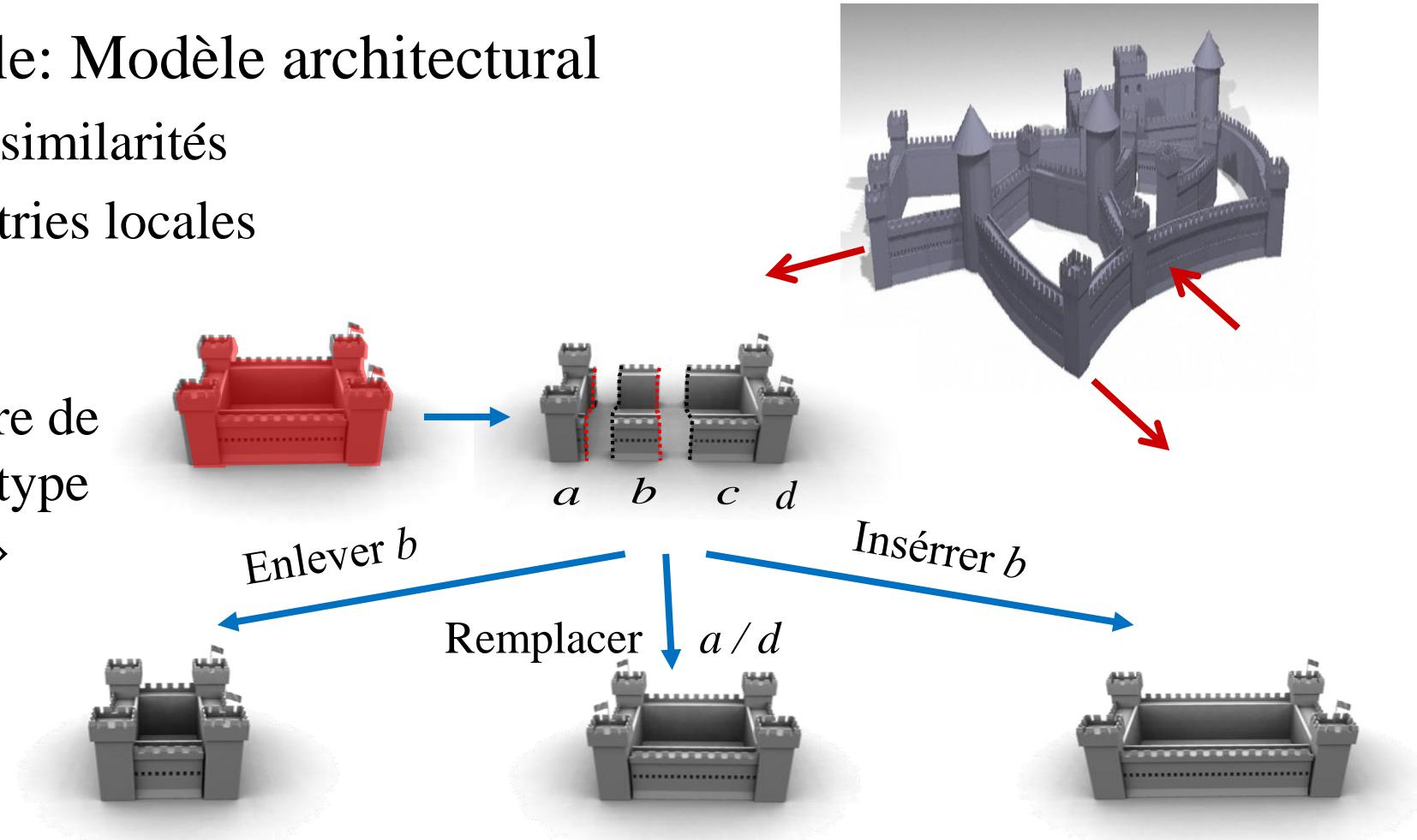
- ✓ *Modèles intégrant des connaissances*
- ✓ *Extension aux Mondes Virtuels*

## *Sculpter un objet structuré?*

Exemple: Modèle architectural

- Auto-similarités
- Symétries locales

Grammaire de  
forme de type  
« puzzle »



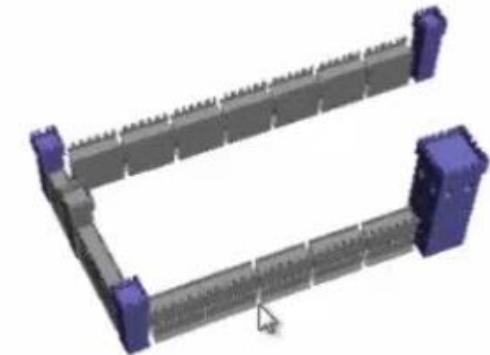
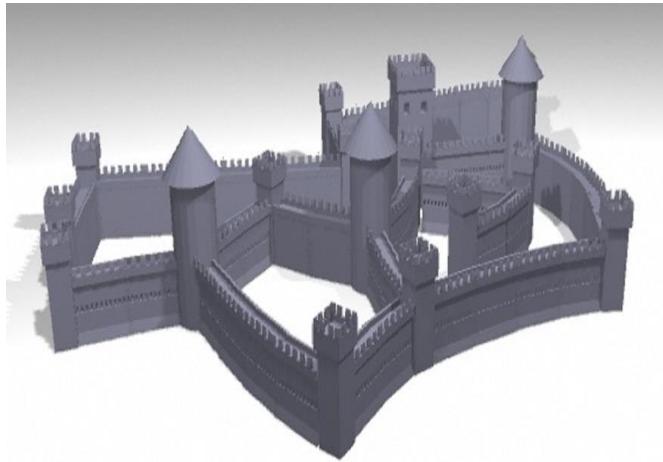
*Modélisation expressive*

✓ *Modèles intégrant des connaissances*

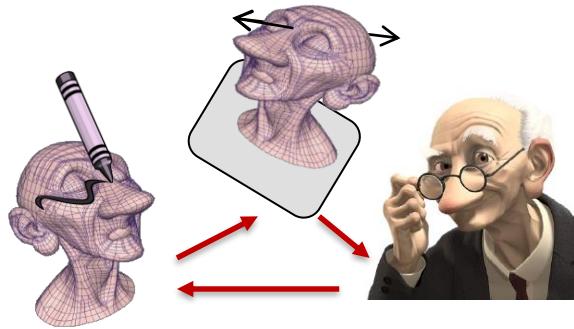
*Extension aux Mondes Virtuels*

## *Sculpter un objet structuré*

- Appeler les « mutations » en fonction des déformations



[A. Milliez, M. Wand, M.-P. Cani, H.-P. Seidel, Eurographics 2013]



# *Modélisation expressive... Extension aux mondes virtuels ?*

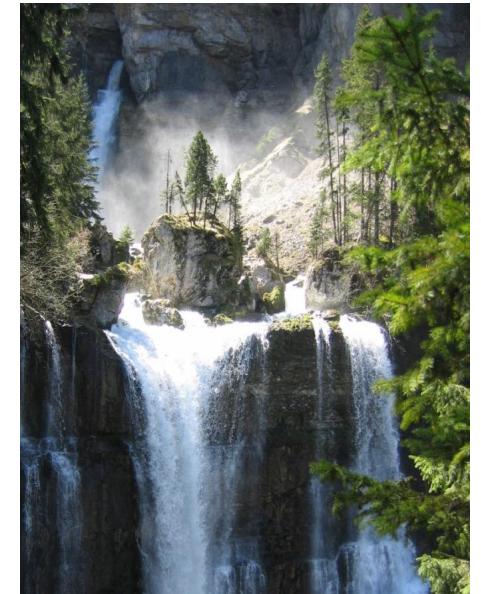
## Spécificités

*Multitude d'éléments + règles à respecter*

- ✓ Formes : Lois de la biologie, géologie, statique
- ✓ Mouvements : Lois de la dynamique, interactions

*Etendre la modélisation expressive?*

1. Terrains et cours d'eau : Combiner contrôle et aide au réalisme
2. Végétation : Créer et contrôler des distributions d'éléments



- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

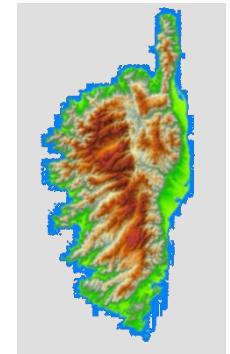
# *Les montagnes*

## *Comment permettre un design expressif?*

**Très difficile!**

- Forme complexe multi-échelle, lois à respecter
- Besoin de contrôle depuis un point de vue spécifique!

Carte de hauteur



**Idées**

- Dessiner “à la première personne”
- Déformation minimale d’un terrain existant!

**Extension de la modélisation par croquis**

- Silhouettes non planes
- Graphes avec points de jonction
- Mise en correspondance

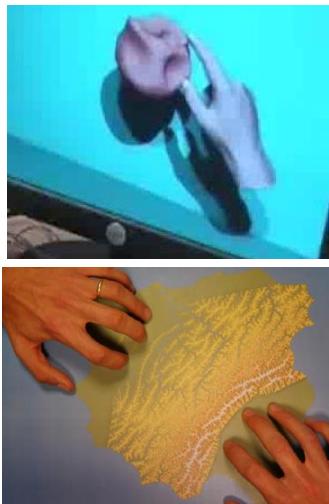
[Tasse et al, GI 2014]



✓ Modélisation expressive

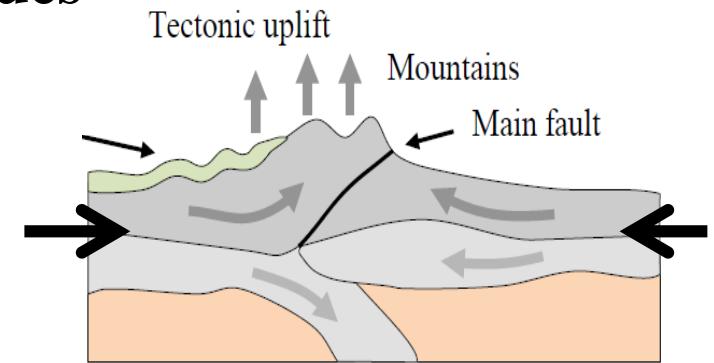
✓ Extension: Mondes Virtuels

# Sculpter des montagnes?



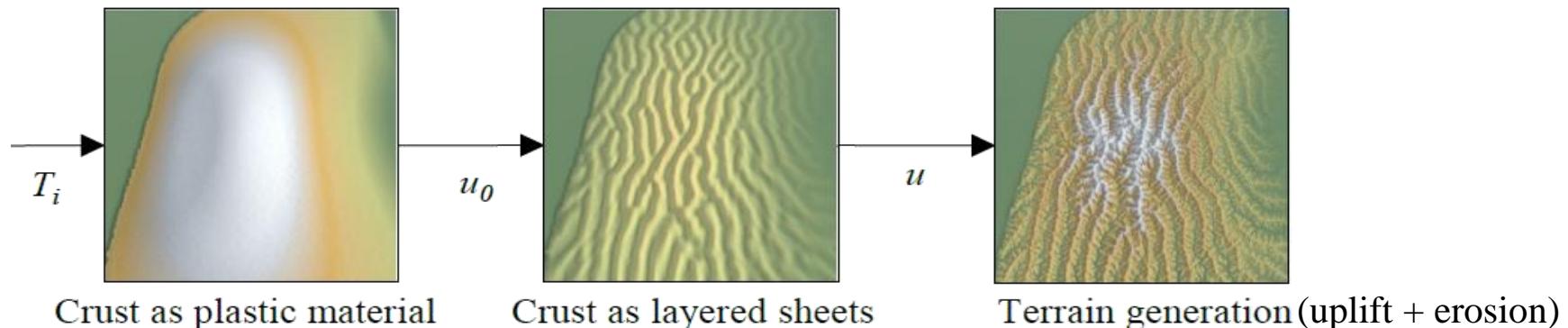
## Collisions de plaques tectoniques

- Volume constant
- Plis,  $\neq$  longueurs d'onde
- Croissance et érosion



## Modèle volumique de croute terrestre

- Un modèle à couche qui couple les phénomènes



- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

## *Sculpter des montagnes*

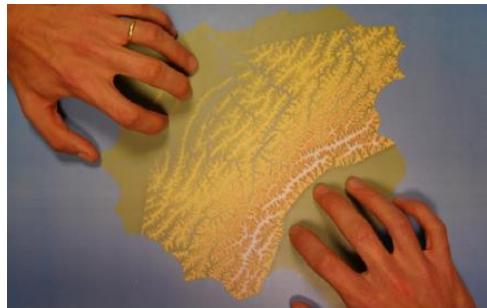


Table Multi-touch

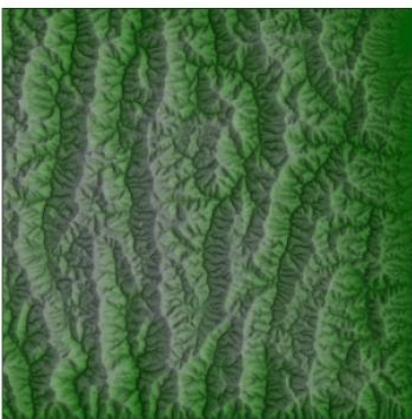
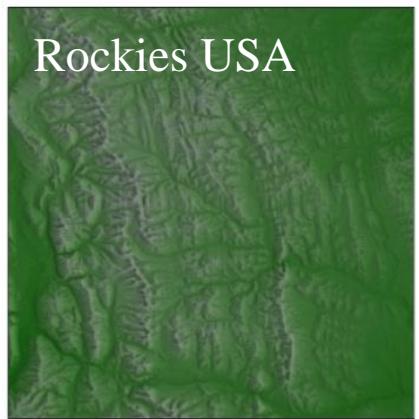
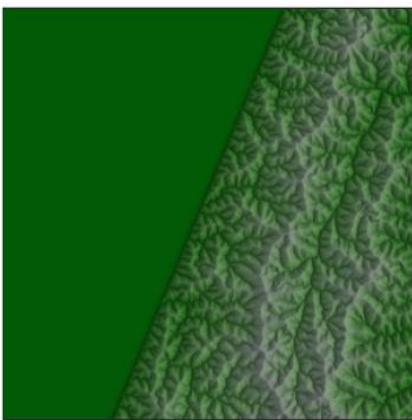


Couches géologiques visibles



[Cordonnier, IEEE TVGC 2018]

# *Validation du modèle*



Terrains réels – Résultats

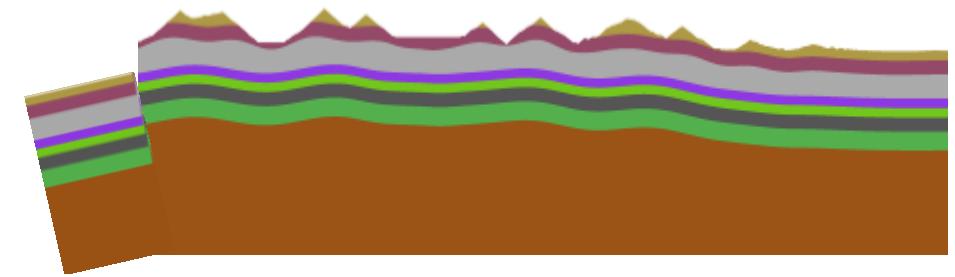


Photo réelle

Résultat

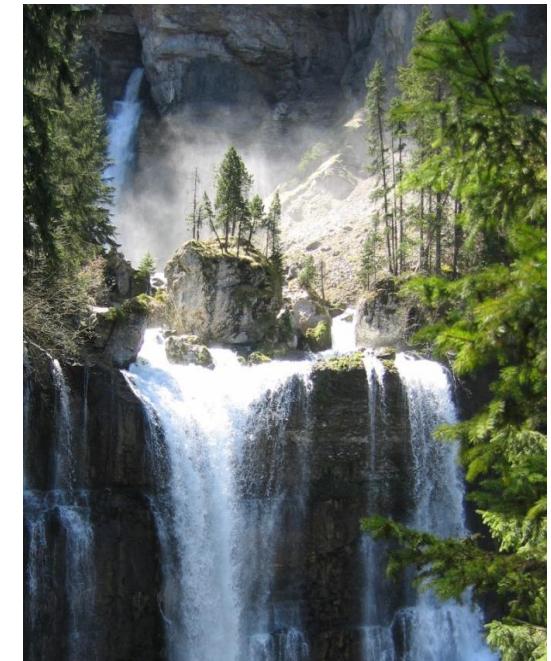
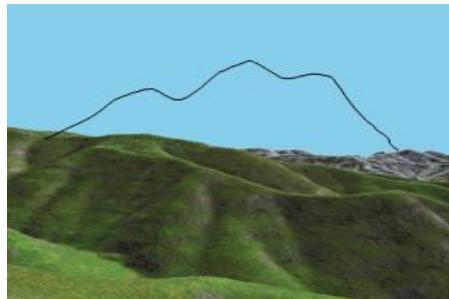
- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

## *Réalisme et contrôle?*

# *Créer des terrains avec réseaux de rivières*

### *Objectifs*

- Rivières et chutes d'eau realists
- Contrôle intuitif par l'utilisateur



Dessiner des montagnes... Trop indirect!

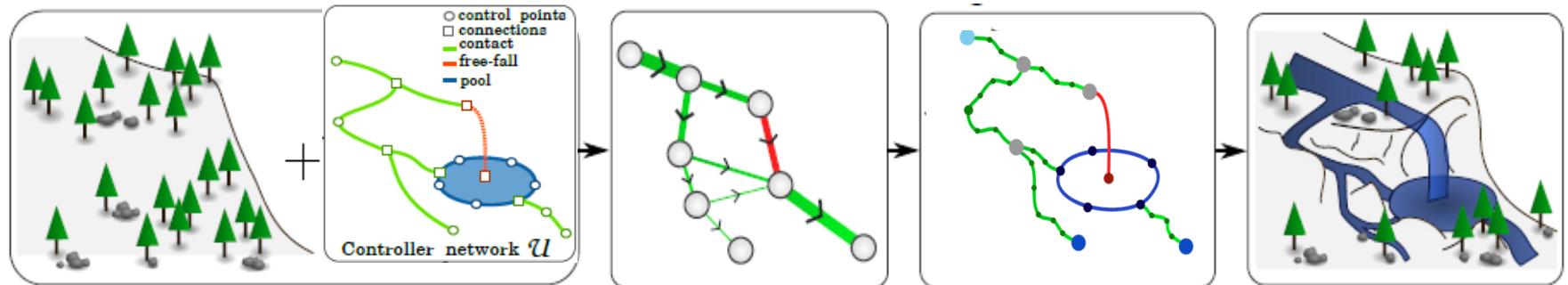
- ✓ Modélisation expressive
- ✓ Extension: Mondes Virtuels

*Idée clé*

## *Ce sont les cours d'eau qui vont sculpter le terrain!*

Combiner contrôle et génération procédurale

1. L'utilisateur dessine un réseau
2. Calcul de débits valides
3. L'utilisateur choisit un type de trajectoire
4. Déformation du terrain, ajout de détails



- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

## *Spécifier les rivières*

La montagne est  
« sculptée »  
automatiquement

Elle garde sa  
cohérence!



[Emilien Poulin Cani, CGF 2015]

- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

## *Cas de la végétation*

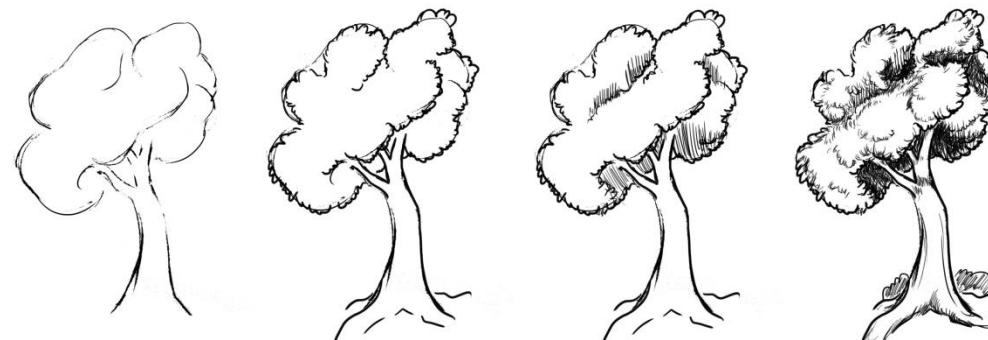
### *Trop de choses à spécifier ?*

#### *Exemple : Modélisation d'un arbre*

- Besoin de contrôler sa forme spécifique
- Lois biologiques et statistiques à respecter
- Trop long de dessiner chaque branche, chaque feuille !



#### *Inspiration*



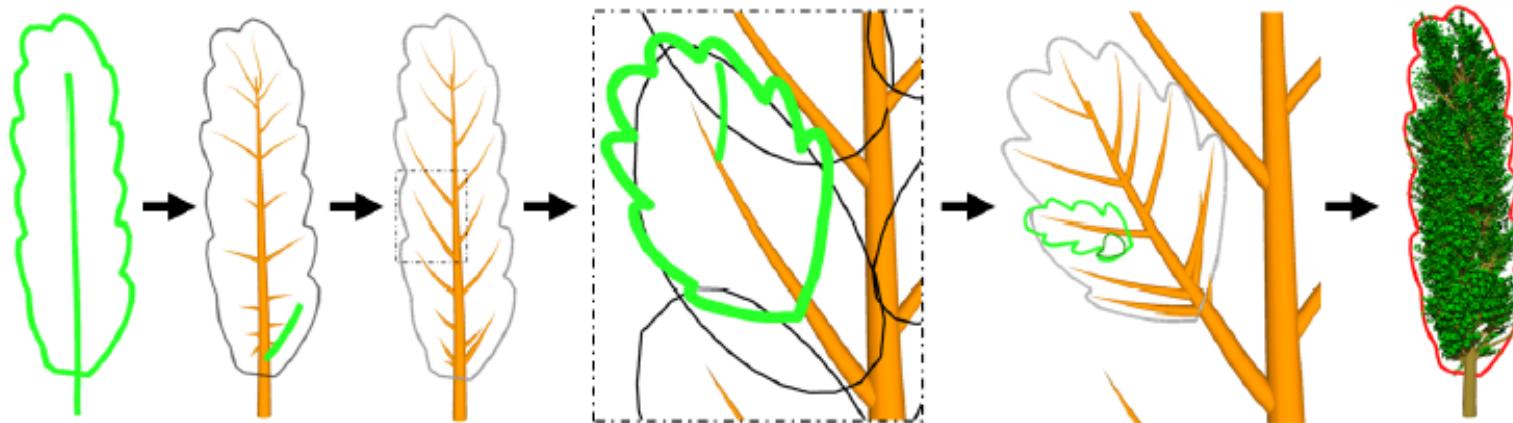
#### *Idée*

Combiner dessin multi-résolution et génération procédurale!

- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

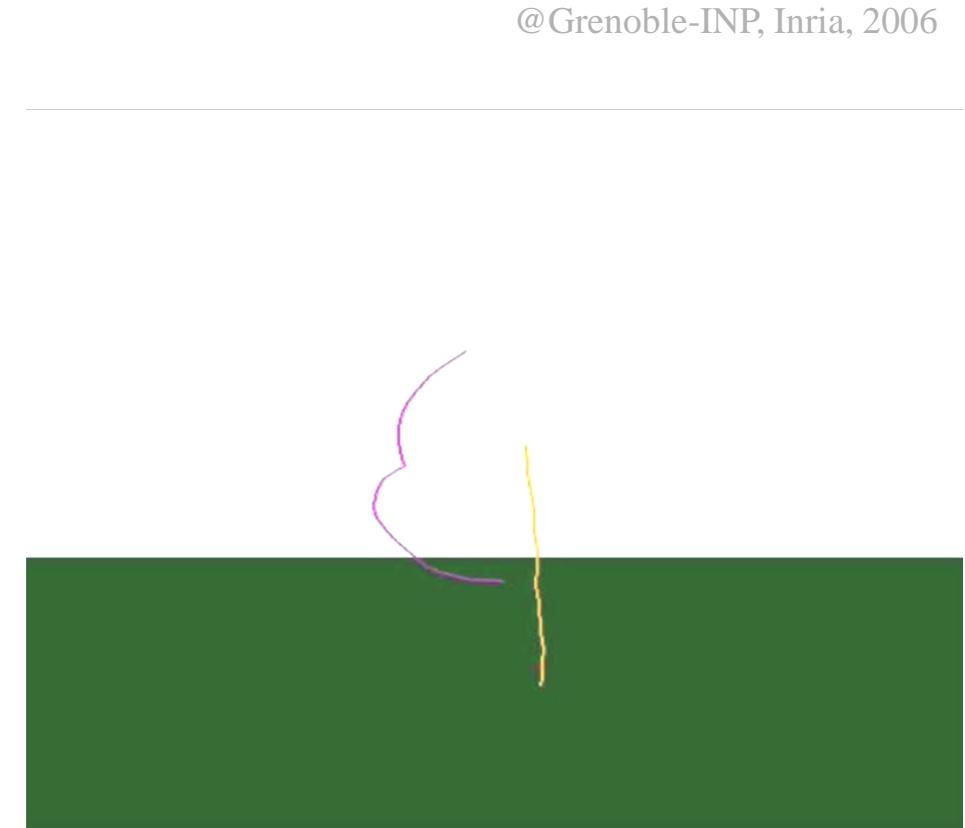
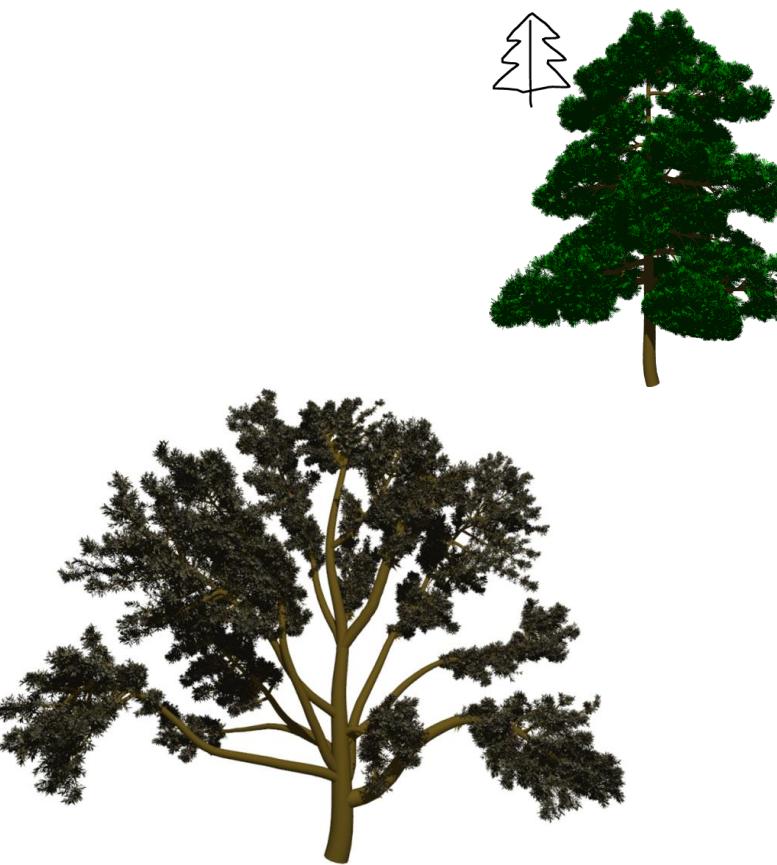
## *Créer un arbre par dessin 2D ?*

- Déduire la structure de la silhouette
- Compéter les informations manquantes
  - Règles biologiques et probabilistes



- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

## *Créer un arbre par dessin 2D?*



@Grenoble-INP, Inria, 2006

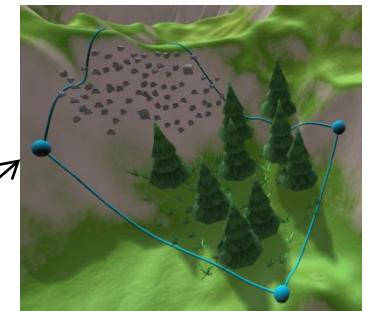
- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

## *Peindre des mondes?*

**Couleur** = {Statistiques de distributions d'éléments}]

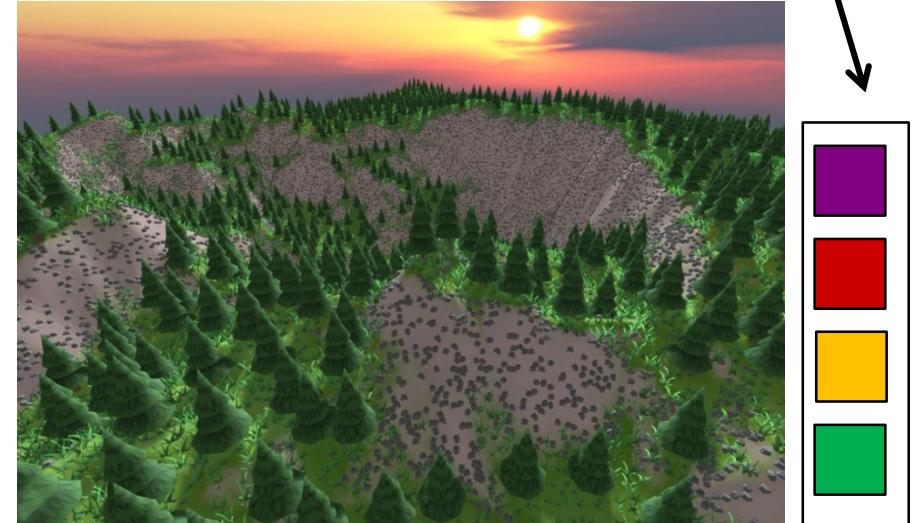
- ✓ Apprises sur des échantillons créés ou importés
- ✓ Ajoutées à une « palette »

Sélection



### Variété d'outils

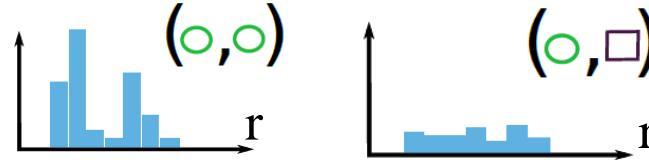
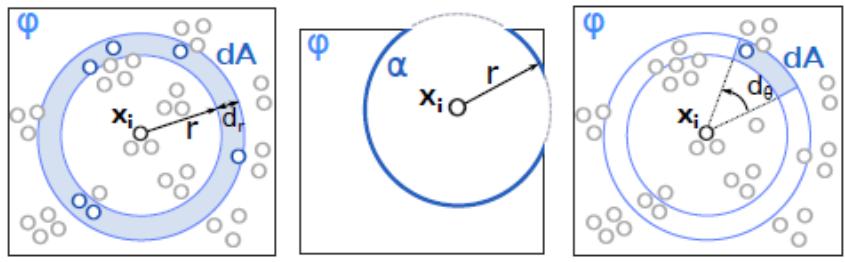
- Pipette (« apprendre »)
- Pinceau (reproduire)
- Dégradé entre deux couleurs
- Déplacer ou étirer des parties



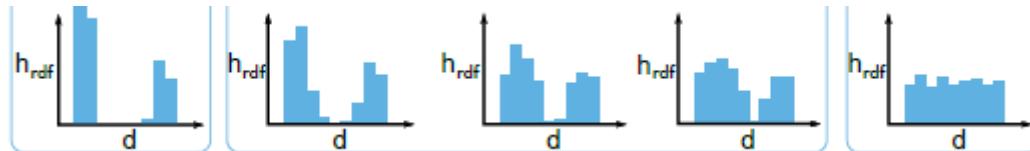
- ✓ Modélisation expressive
- ✓ Extension: Mondes Virtuels

## *Peindre des mondes ?*

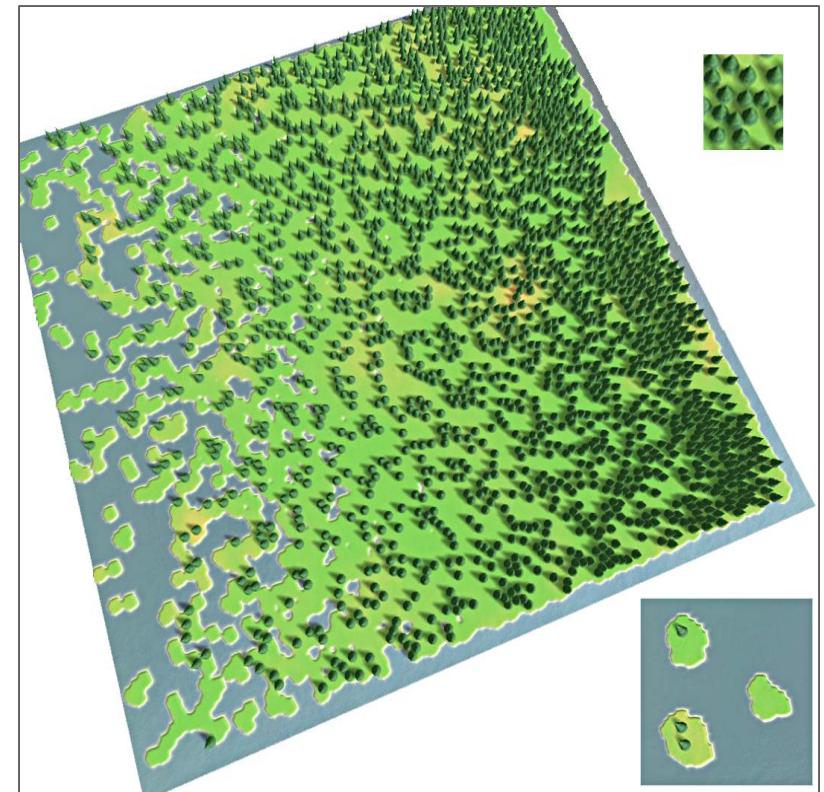
- Outil « pipette »



- Outil « gradient »

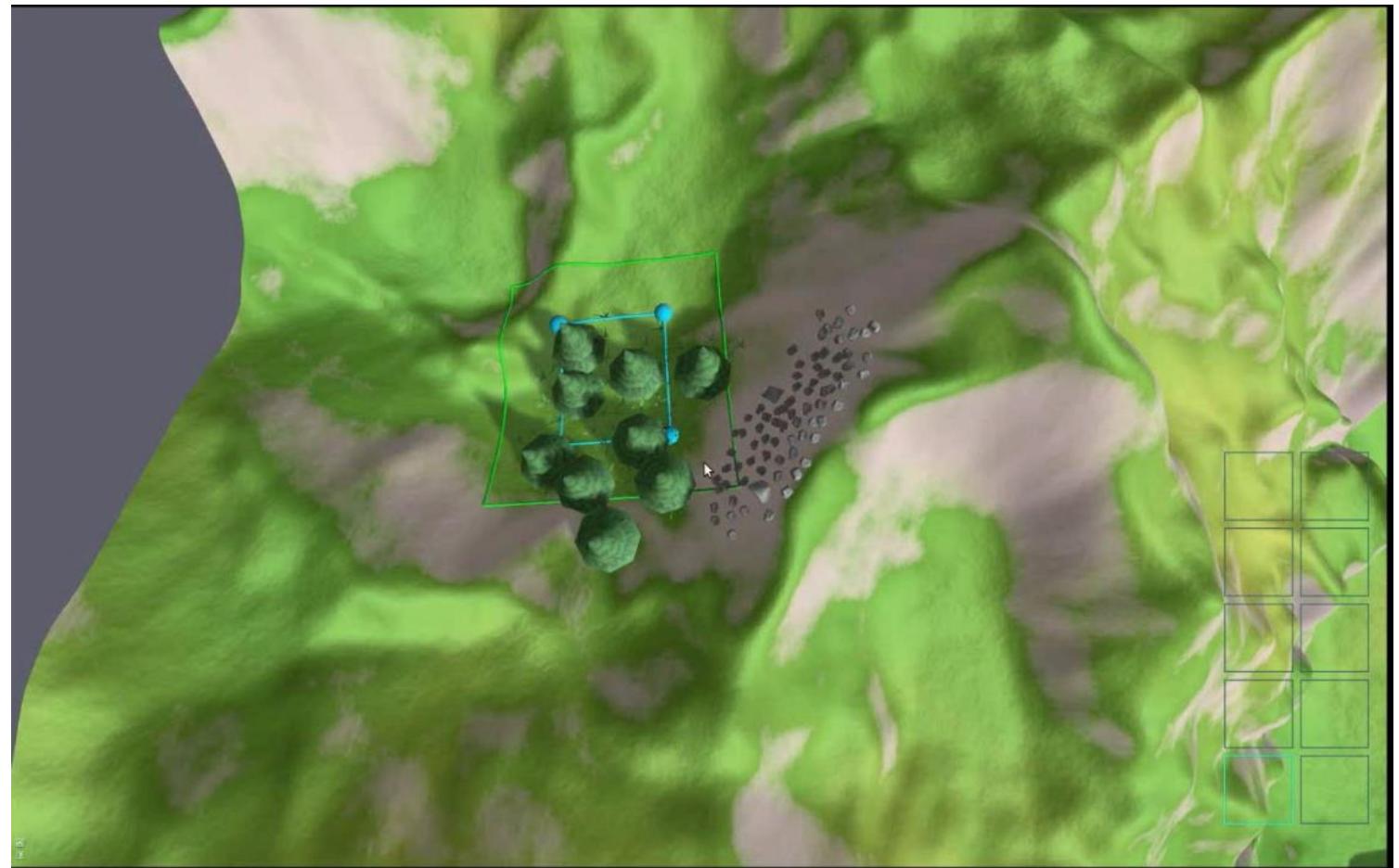


Transport de masse pour interpoler



- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

## *Peindre des mondes?*



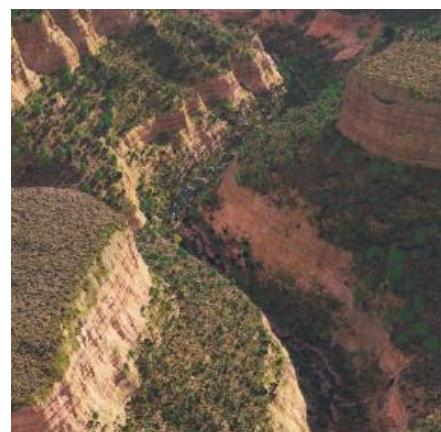
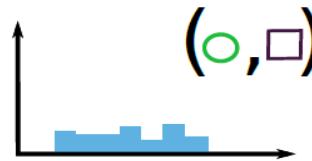
[Emilien, Cani, Benes, Siggraph 2015]

- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

# *Application*

## *Modélisation d'écosystèmes à grande échelle*

- Typologie du terrain
- Mini simulations
- Apprendre les statistiques (disques)!
- Edition de haut niveau: jeunesse, densité...

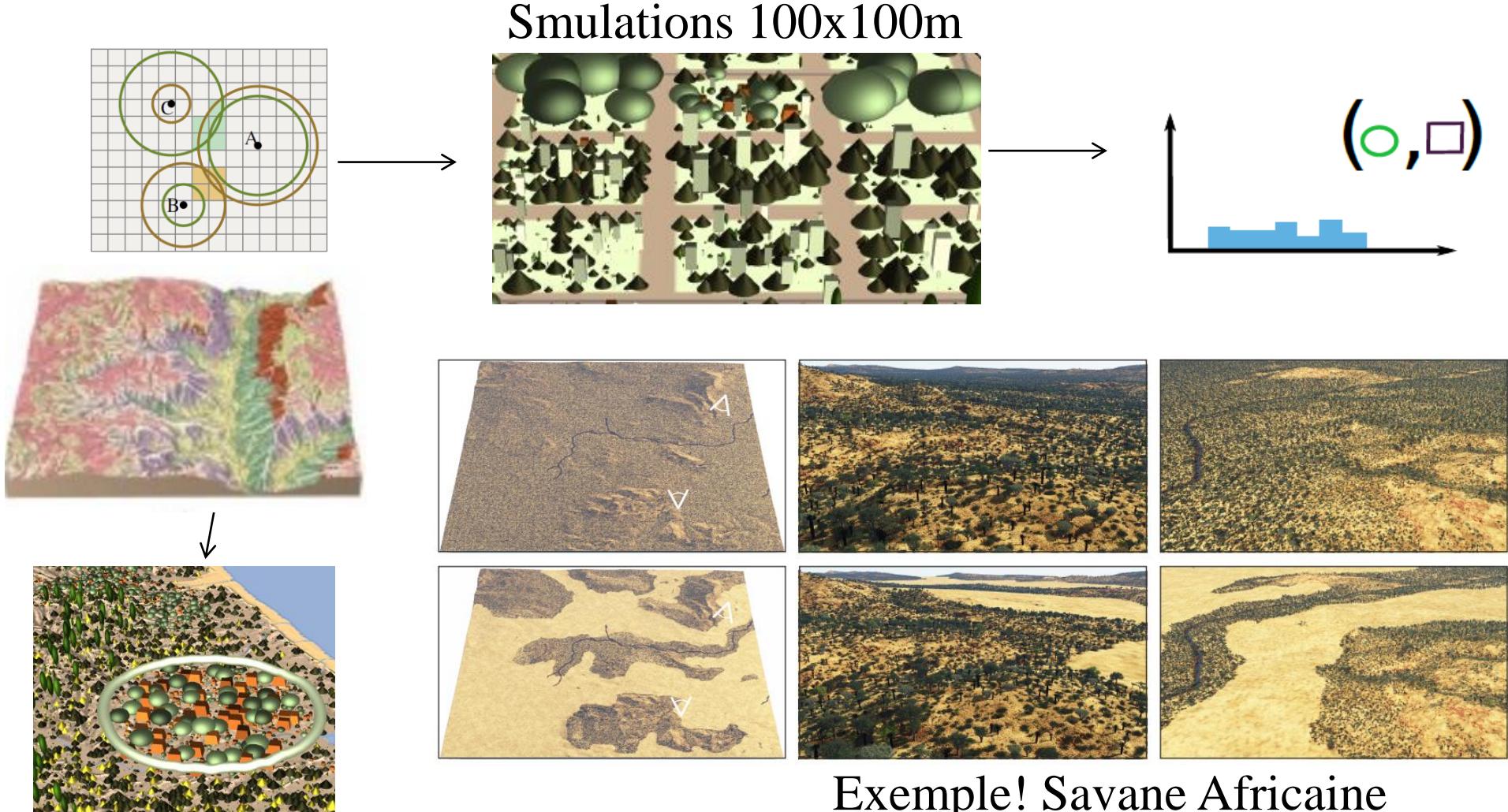


*[Gain, Long, Cordonnier, Cani, EG2017]*

- ✓ Modélisation expressive
- ✓ Extension: Mondes Virtuels

*Ecobrush*

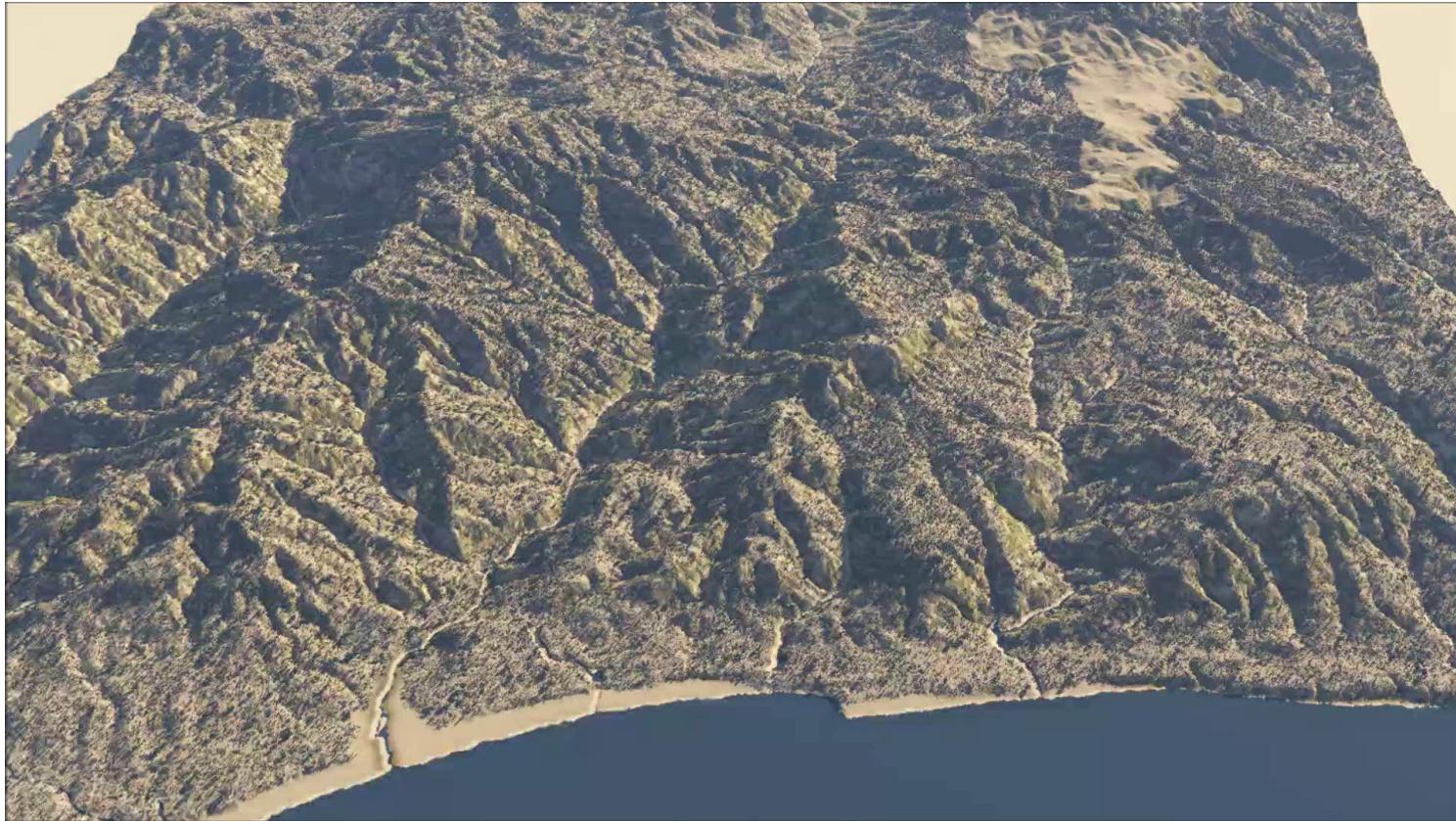
# *Design d'écosystèmes à grande échelle*



- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

# *Application*

## *Modélisation d'écosystèmes à grande échelle*



*[Gain, Long, Cordonnier, Cani, EG2017]*

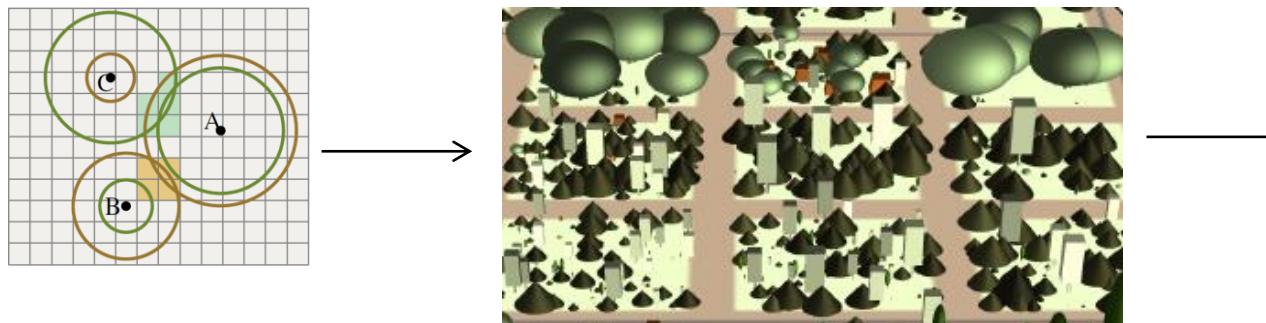
- ✓ Modélisation expressive
- ✓ Extension: Mondes Virtuels

# Challenge

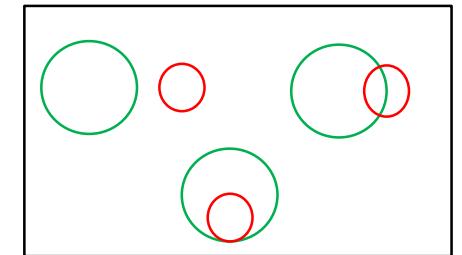
## Apprendre des distributions de disques!

### Problèmes

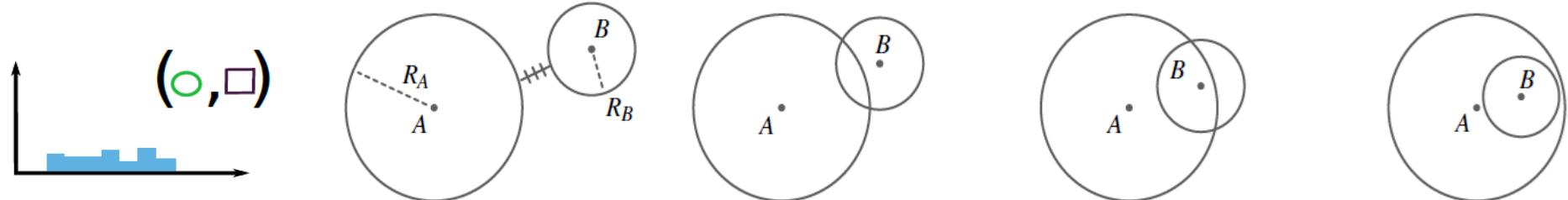
- La position et la taille d'un arbre sont corrélés
- Il faut apprendre si les canopées se recouvrent



Comment représenter ces trois situations?

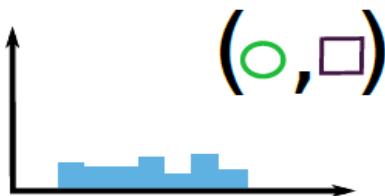


Solution d'écobrush : 3 “bins” ajoutés à l'histogramme



- ✓ Modélisation expressive
- ✓ Extension: Mondes Virtuels

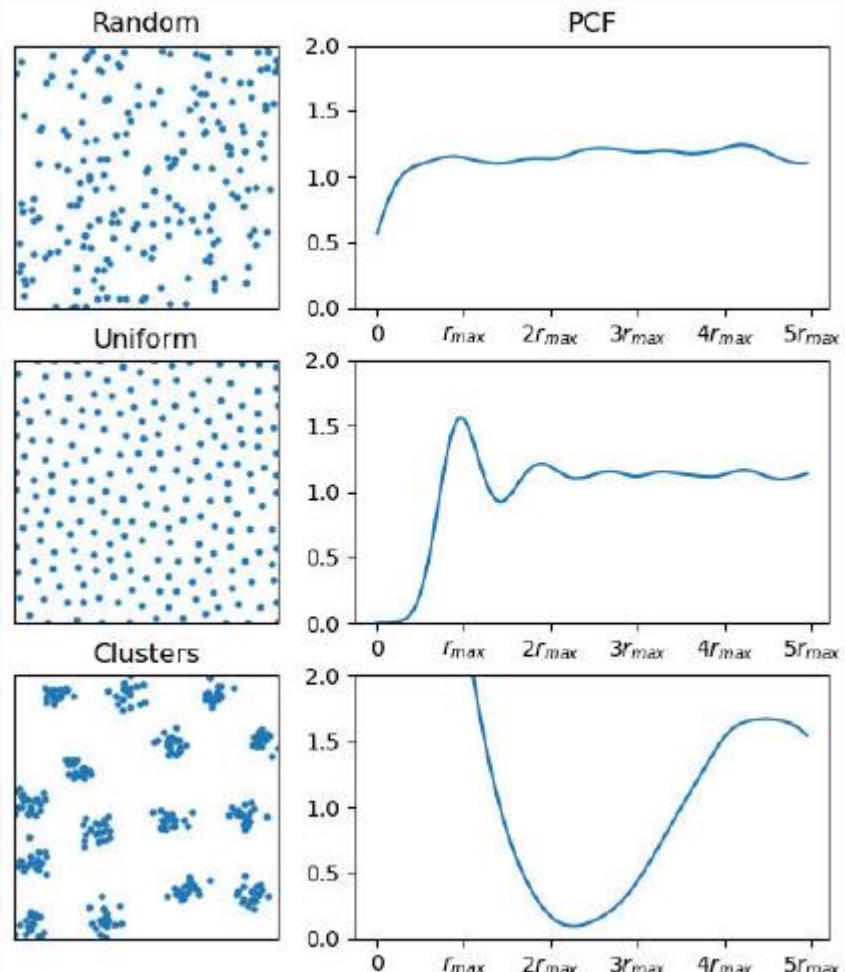
# *Amélioration du modèle statistique? Distributions normalisées*



Remplacé par

PCF (Pair correlation function)

- Représentation continue
- Robuste et intuitif



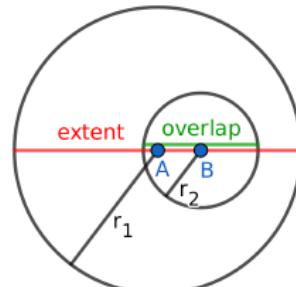
✓ Modélisation expressive

✓ Extension: Mondes Virtuels

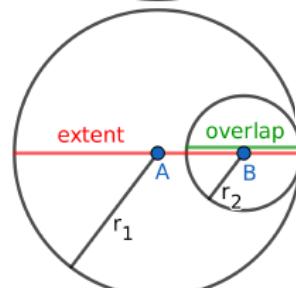
# Amélioration du modèle statistique? Distributions normalisées

## Notre solution:

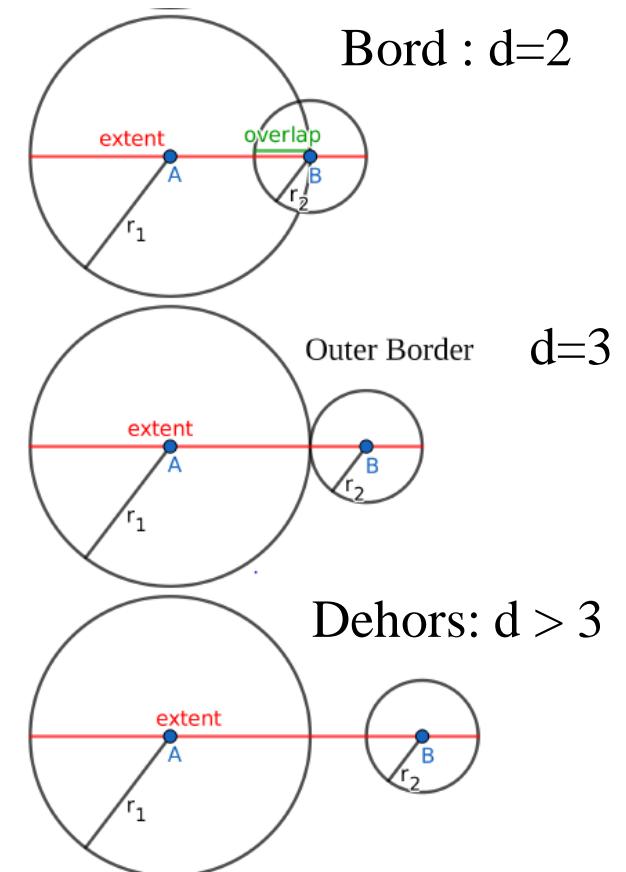
- Métrique normalisée pour les disques
- Distingue les cas perçus similaires



Dedans:  $d < 1$



Tangent  
Interne :  $d = 1$



Outer Border       $d = 3$

Dehors:  $d > 3$

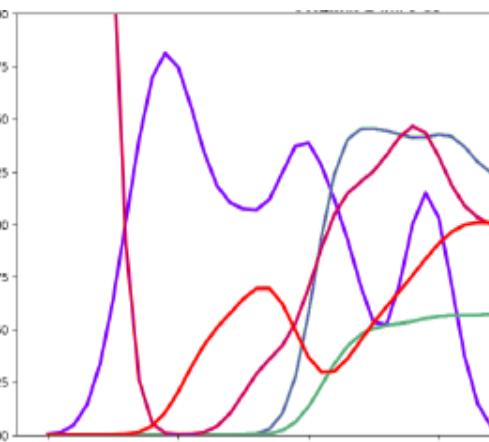
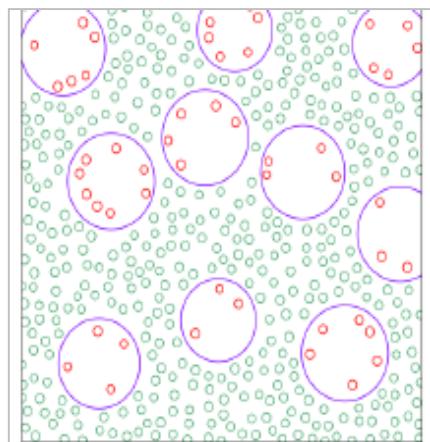
- ✓ Modélisation expressive
- ✓ Extension: Mondes Virtuels

# Résultats

Exemple  
en entrée



Synthèse



PCF normalisées apprises

[Ecormier et al, Eurographics 2019]

- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

# *Travail en cours*

## *Peupler les mondes virtuels!*



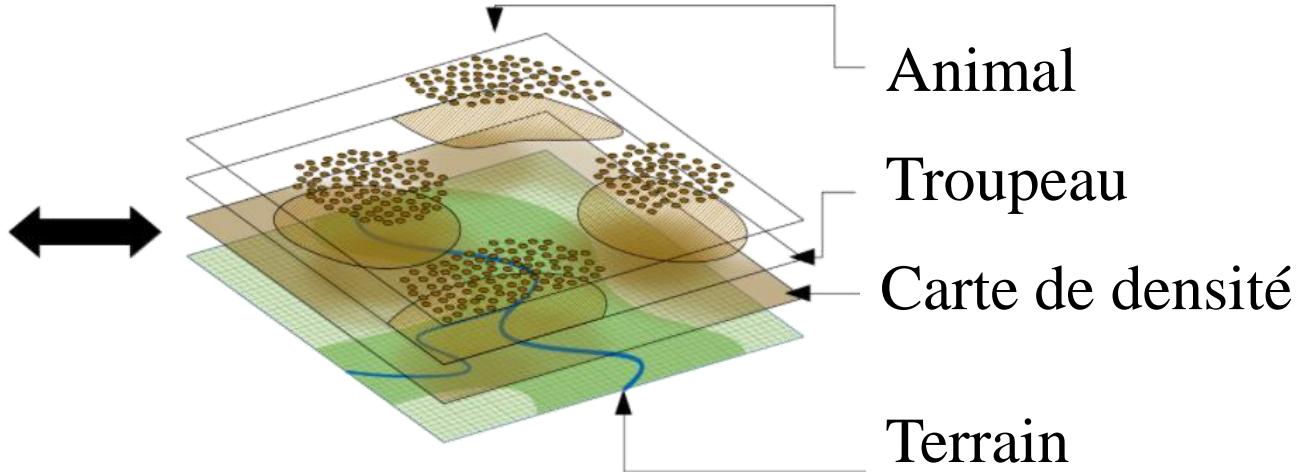
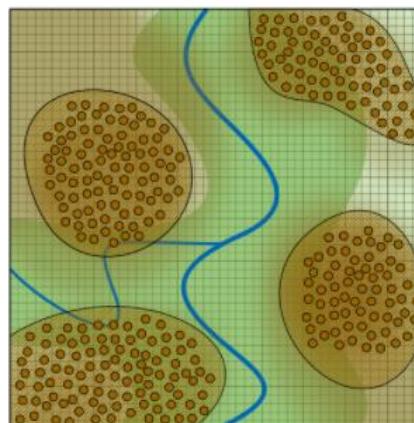
- ✓ *Modélisation expressive*
- ✓ *Extension: Mondes Virtuels*

# *Travail en cours*

## *Peupler les mondes virtuels!*

### **Idée**

- Modélisation multi-échelle
- Apprendre sur des images réelles



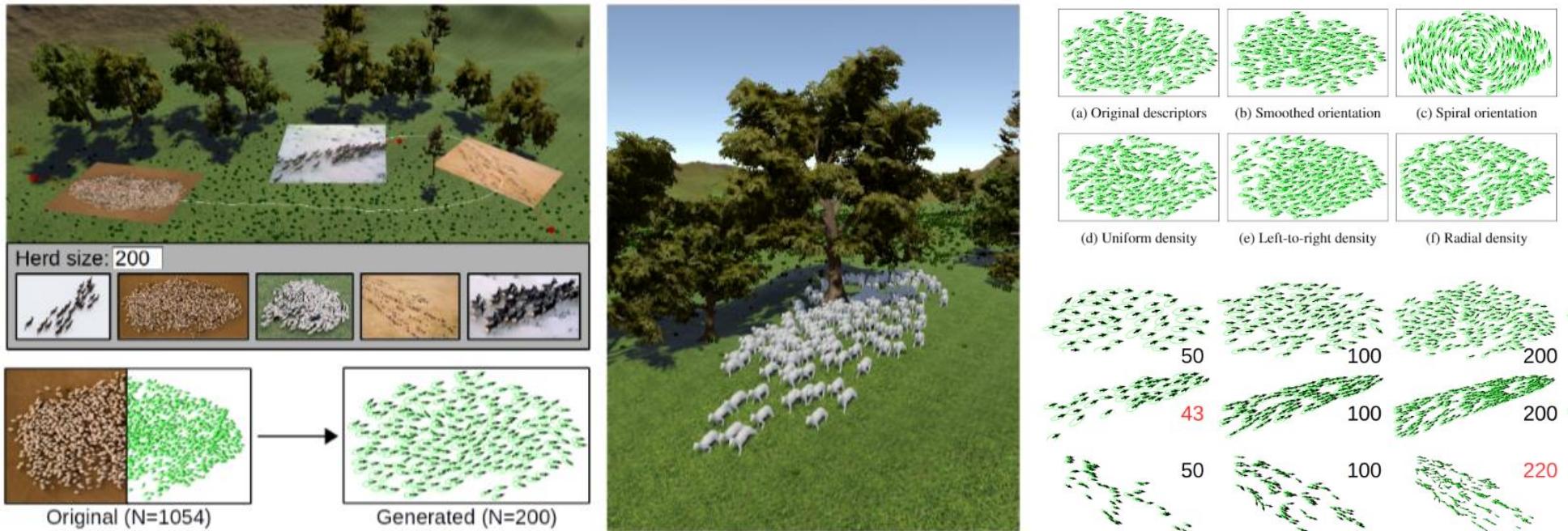
- ✓ Modélisation expressive
- ✓ Extension: Mondes Virtuels

# Travail en cours

## Peupler les mondes virtuels!

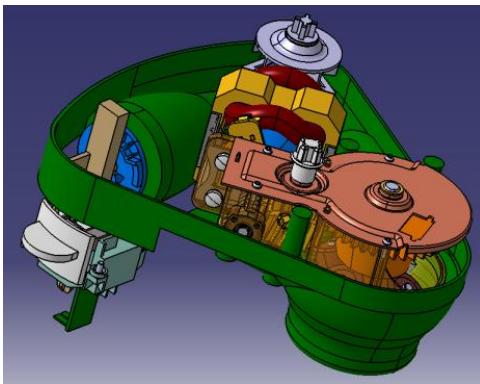
### Image-based Authoring of Herd Animations

[Soumis, Mars 2019]



# *Conclusion : Modélisation expressive*

## *Un nouvel espace des possibles....*



## Matérialiser notre imaginaire !

- Ebaucher, raffiner, tester virtuellement puis fabriquer
- Créer, toucher, explorer des mondes en mouvement...

*Dimension ludique... et formidable outil*

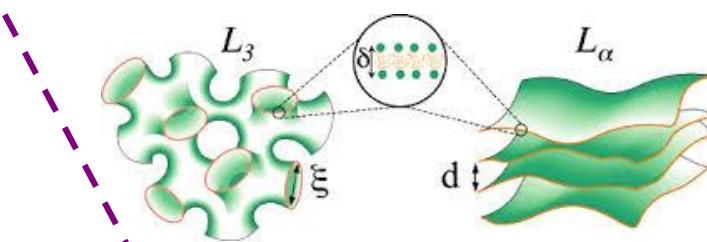
# *Création des mondes virtuels? Aider les scientifiques à materialiser leurs visions!*

Botanique



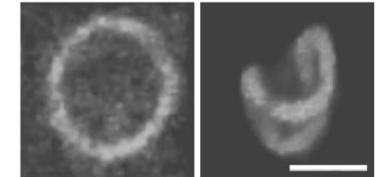
Géologie

*Notre échelle* ↘ *D'autres échelles*



Physico-chimie

Biologie



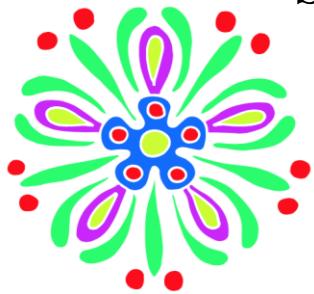
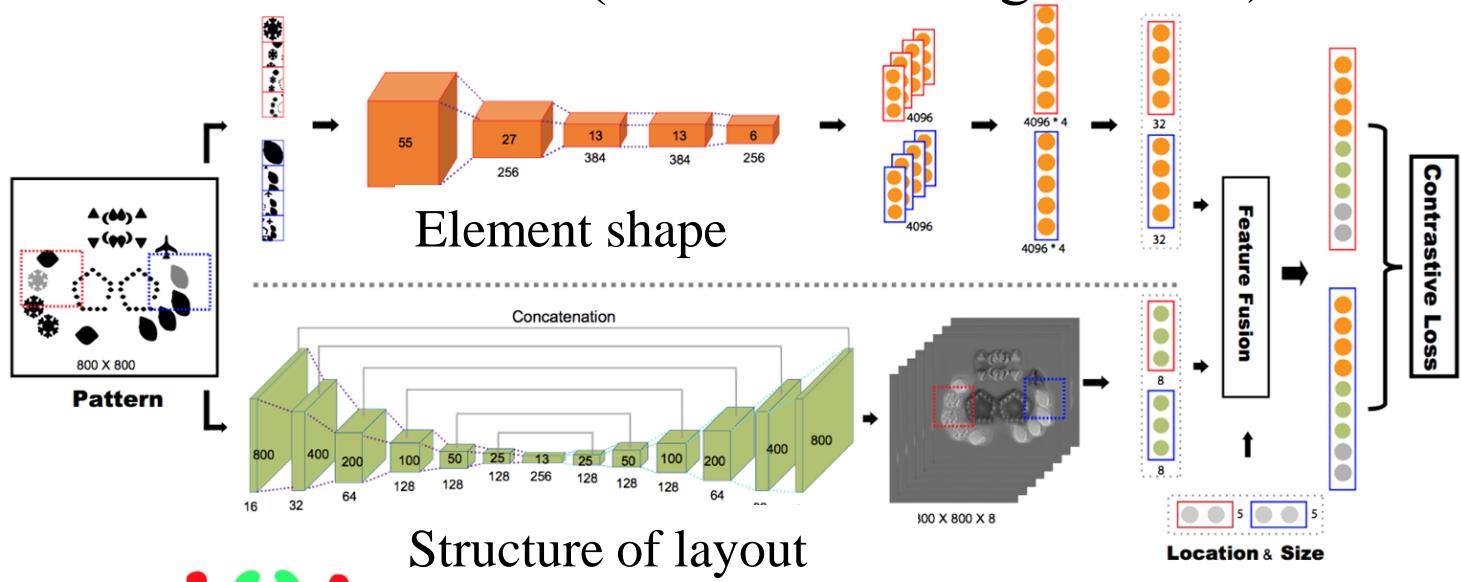
## Système de modélisation du futur

- Distributions multi-échelles de formes 1D, 2D, 3D
- Bougent et se déforment
- Hypothèses à ajouter à la volée!

# *Connaissances et petits exemples* *Utilisation de l'apprentissage profond?*

## Apprendre la perception humaine → Sélection de groupes

- Examples partiellement artificiels (“crowd sourcing” étendu)



Collaboration with SFU & U. Mass  
[Lun et al, Siggraph Asia 2017]

# *Un grand merci*

- A tous mes étudiants et collaborateurs... et à l'auditoire !

