



Création intuitive des éléments d'un paysage

Marie-Paule Cani

Univ. Grenoble-Alpes, CNRS & Inria



COLLÈGE
DE FRANCE
—1530—



Organisation du cours

« Façonner l'imaginaire »

Partie 1 : Création numérique 3D

- Modélisation géométrique constructive : choix d'une représentation
- Sculpture virtuelle: des modèles d'argile aux déformations de l'espace
- Modélisation 3D à partir de dessins 2D
- Réutilisation et transfert des modèles 3D

Partie 2 : Mondes virtuels animés

- **Cours 5 : Création intuitive des éléments d'un paysage**
Séminaire : Génération procédurale de mondes virtuels. Eric Galin
- Animation efficace de phénomènes naturels : des détails qui s'adaptent
- Humains et créatures virtuelles : animation par habillages successifs
- Vers une animation expressive – marier réalisme et contrôle ?

Motivation

Modélisation expressive

- Créer → métaphore de dessin
- Déformer → métaphore de sculpture
- Ré-utiliser → adaptation au contexte



@Eric Bruneton, Inria Grenoble

Mondes virtuels, paysages

- Multitudes d'éléments : impossible de les dessiner tous !
- Règles de cohérence : biologiques, géologiques, statistiques...

Comment adapter les méthodes expressives ?

Modélisation procédurale

Règles assurant la cohérence + rapidité de création

- **Standard** : 650 artistes pendant deux ans pour *La reine des neiges*
- **Procédural** : Une personne le soir pendant six mois pour *Rama*



[*Rama*, Eric Bruneton 2006
Siggraph electronic theatre]
@ACM

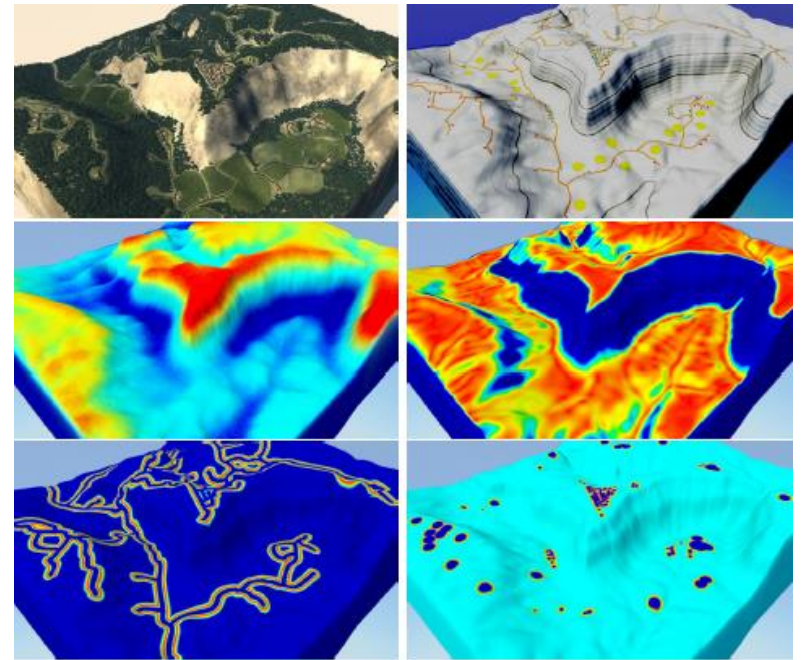


Exemple de modélisation procédurale

Génération de villages

1. « Semer » des maisons et étendre les routes en alternance

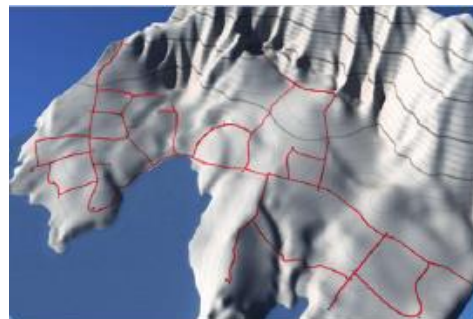
- Maisons : processus aléatoire
 - proba de se fixer : carte d'intérêt
- Routes : rôle de connecteur
 - dépendance à la pente
 - réutilisation et cycles



Domination / Pente,
Accessibilité / Socialisation



Sans



Avec

Exemple de modélisation procédurale

Génération de villages

2. Parcelles de terrain : conquête de territoire pour chaque bâtiment
3. Génération de bâtiments 3D adaptés au terrain



Beaux résultats mais *contrôle indirect* et *modification difficile* !

[Emilien,
Bernhardt,
Peytavie,
Cani, Galin
2012]



Modélisation « expressive » des éléments d'un paysage

1. Combiner dessin et génération procédurale
Nuages [Wither et al, SBIM 2008]
2. Dessin multi-résolution et lois biologiques
Arbres [Wither et al, EG 2009]
3. Dessiner des silhouettes pour sculpter un paysage
Montagnes [Tasse et al, Graphics Interface 2014]
4. Peindre, déformer et combiner des distributions d'éléments
« **World-brush** » [Emilien et al, 2015]

Modélisation de nuages

Forme complexe, détails multi-résolution

Lois de formation difficiles à contrôler

- Mécanique des fluides, thermodynamique
- Processus chaotique (fct conditions initiales)



[Bouthors 2008] @ACM

Modélisation procédurale existante (cumulus)

- Union d'ellipsoïdes de tailles variées, aléatoires ou créés à la main
- Bruit aléatoire haute fréquence pour ajouter des détails fins

Plusieurs heures pour créer un nuage !

✓ *Nuages : combiner dessin et méthode procédurale*

✓ *Arbres*

✓ *Montagnes*

✓ *World-brush*

Dessiner un nuage ?

Représenter une silhouette simplifiée

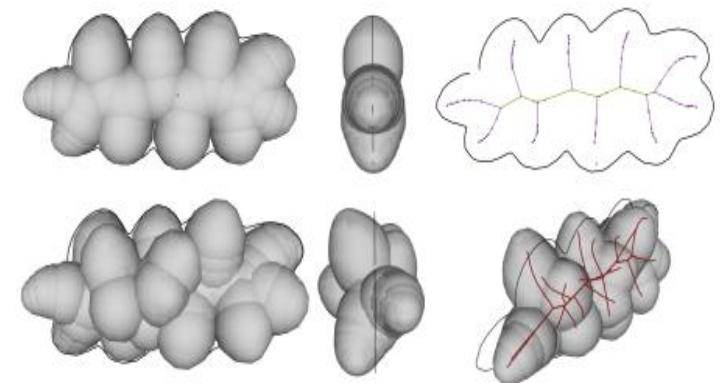
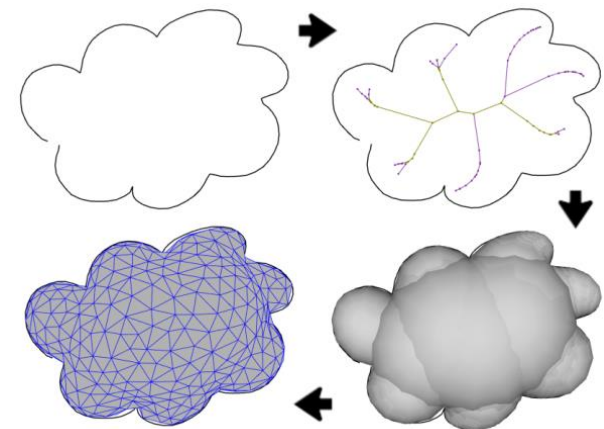
- Forme 3D plausible qui lui correspond ?

Méthode naïve par squelette (« Matisse »)

- Résultat irréaliste !

Solution

- Dupliquer les branches terminales
- Rotations aléatoires autour de leur axe
- Ajouter du bruit procédural



✓ *Nuages : combiner dessin et procédural*

✓ *Arbres*

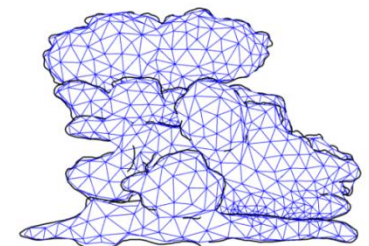
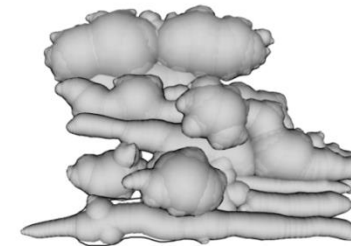
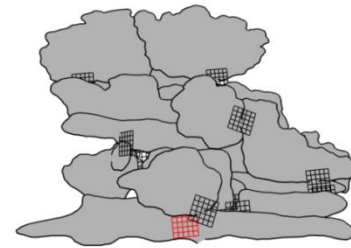
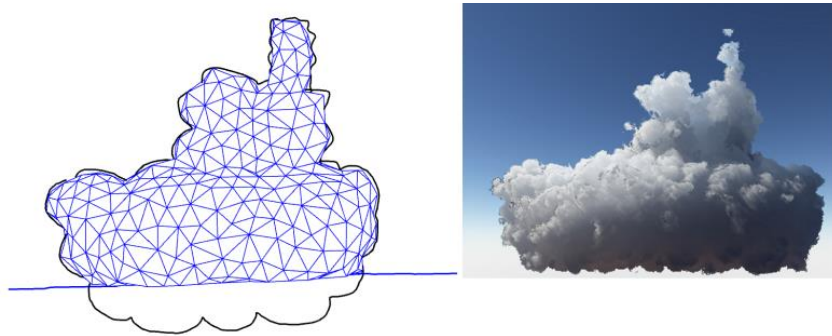
✓ *Montagnes*

✓ *World-brush*

Finition et rendu [Wither 2008]

Application : nuages complexes en moins de trois minutes

- Possibilité de combiner plusieurs plans de dessin
- Ajout d'un plan de coupe en bas



Solution simple mais inspirante :

Ajout automatique de détails non dessinés, mais similaires

✓ Nuages : combiner dessin et procédural

✓ **Arbres : dessin multi-résolution**

✓ Montagnes

✓ World-brush

Arbres d'après croquis

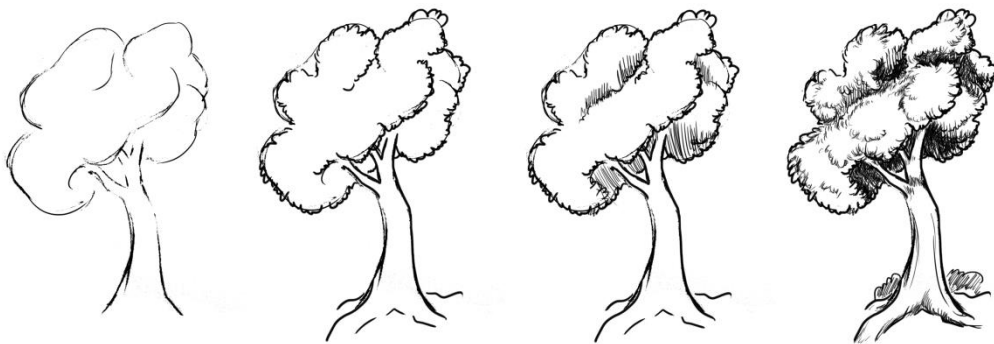
Motivations

- Besoin de contrôler une forme spécifique
- Lois biologiques et statistiques à respecter
- Trop long de dessiner les branches et feuilles

Inspiration : dessins d'artistes et de botanistes



@Y. Caraglio, CIRAD



Ces dessins sont multi-résolution !

✓ *Nuages : combiner dessin et procédural*

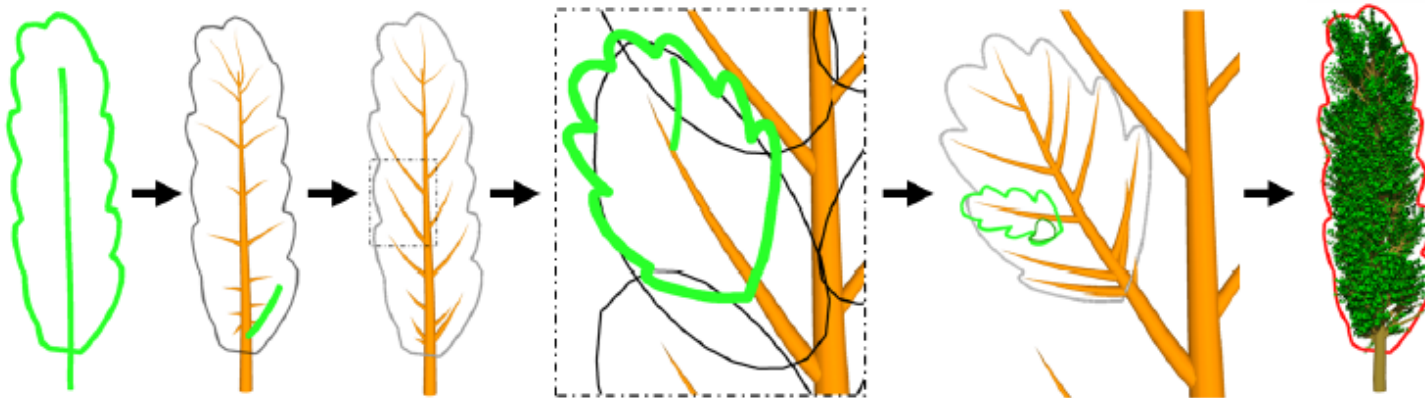
✓ ***Arbres : dessin multi-résolution***

✓ *Montagnes*

✓ *World-brush*

Présentation du système

- **Idée clé : déduire la structure de la silhouette**



- **A résoudre:** Utiliser des règles botaniques et probabilistes pour
 - Inférer les sous-structures à partir des silhouettes
 - Transférer les styles de distribution de sous-branches
 - Placer chaque élément en 3D

✓ Nuages : combiner dessin et procédural

✓ Arbres : dessin multi-résolution

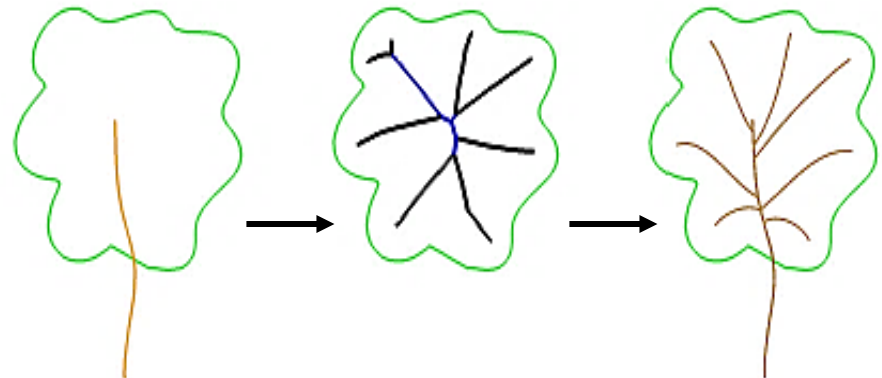
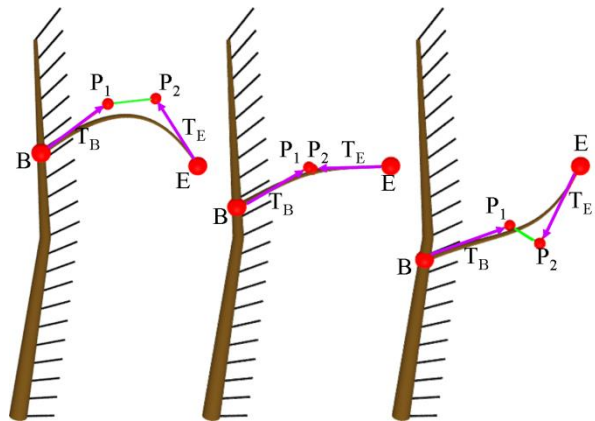
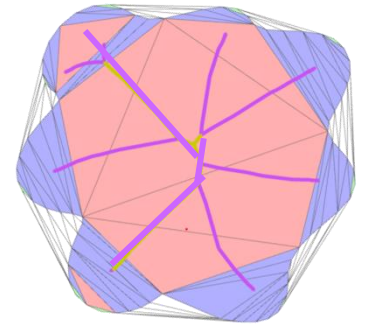
✓ Montagnes

✓ World-brush

Structure d'après la silhouette

Inférer les sous-branches

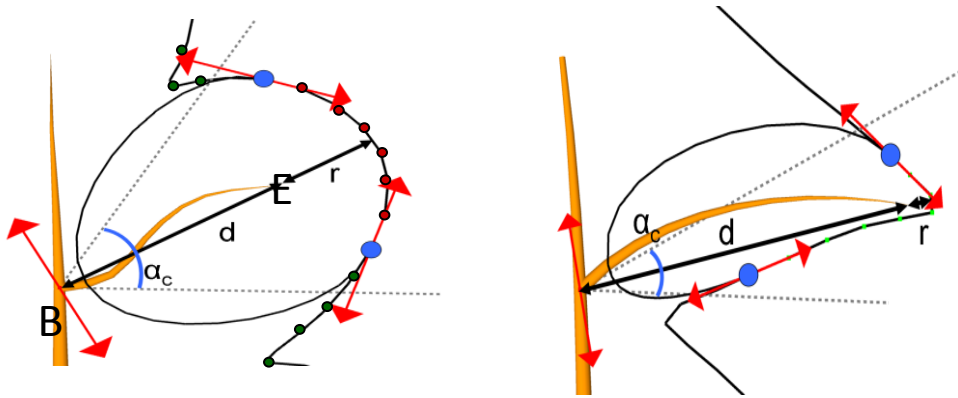
- Analyse de la silhouette par axe médian
 - Pas réaliste pour un arbre! Extrémités correctes
- Connaissances botaniques : angles de branchement
 - Branche la plus courte partant avec un angle donné



- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ **Arbres : distributions multi-résolution**
- ✓ Montagnes
- ✓ World-brush

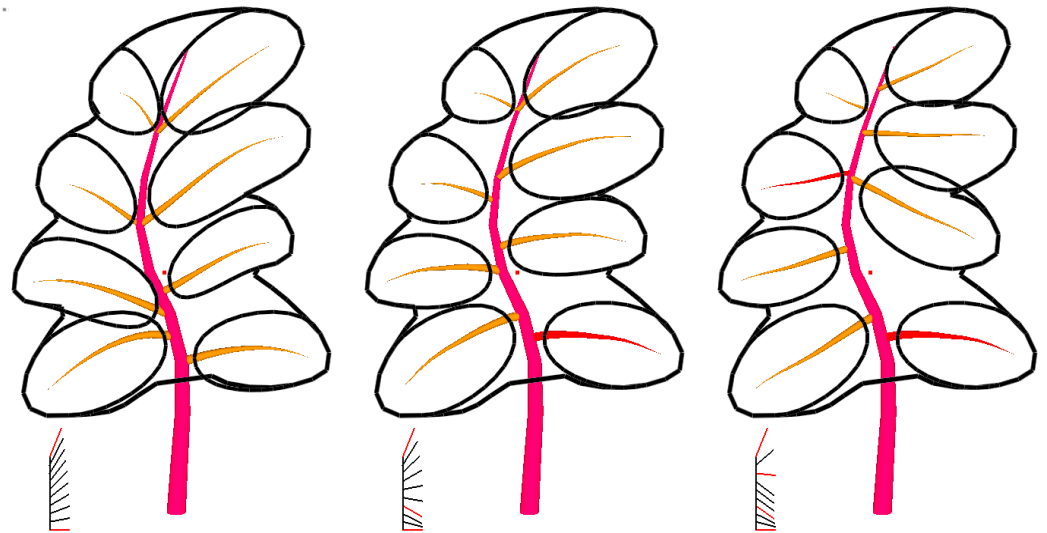
Lignes de construction

- **Inférer les sous-structures (courbes splines)**



- **Edition rapide**

Angles de branchement



✓ Nuages : combiner dessin et procédural

✓ **Arbres : dessin multi-résolution**

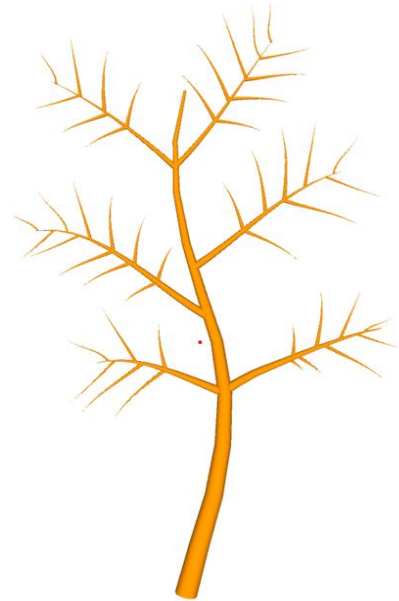
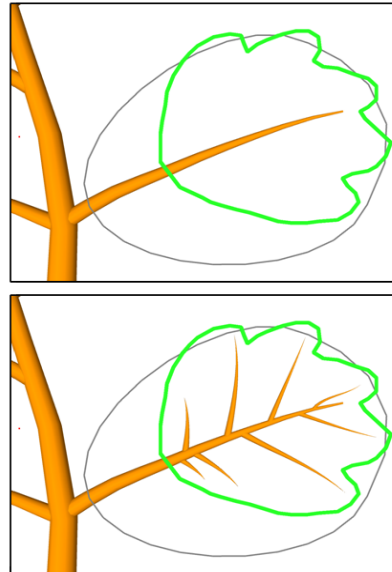
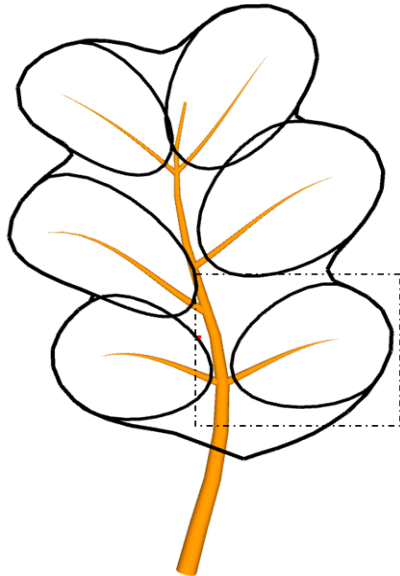
✓ Montagnes

✓ World-brush

Transfert des styles de distribution

Copie entre sous-structures de même niveau

- Partie non-ramifiée de longueur fixe
- Partie ramifiée : même distribution des distances inter-nœuds



✓ Nuages : combiner dessin et procédural

✓ Arbres : dessin multi-résolution

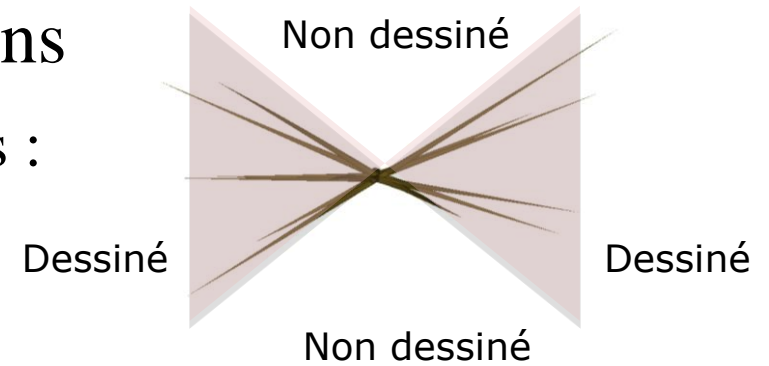
✓ Montagnes

✓ World-brush

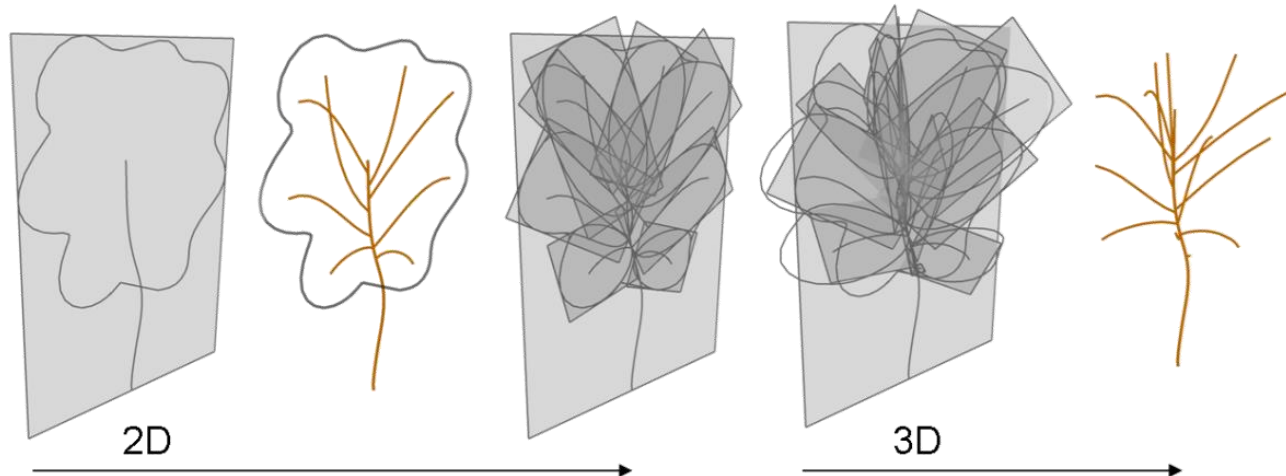
Distribution 3D des branches

- Connaissances sur les représentations

Vue de dessus :



→ Duplication de branches



- ✓ *Nuages* : combiner dessin et procédural
- ✓ **Arbres** : distributions multi-résolution
- ✓ *Montagnes*
- ✓ *World-brush*

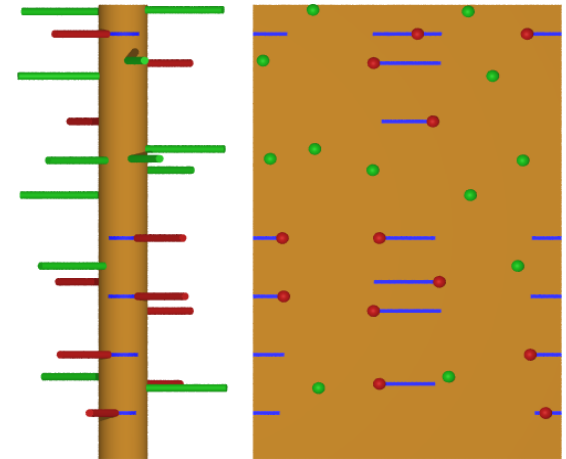
Utilisation de lois botaniques

Distribution 3D des branchements

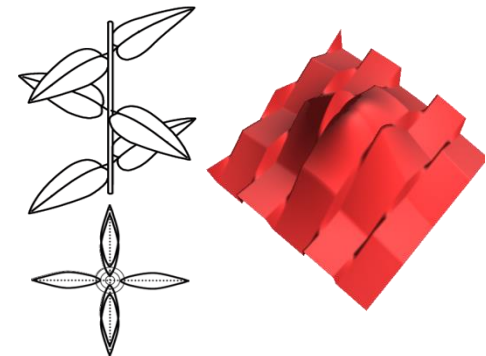
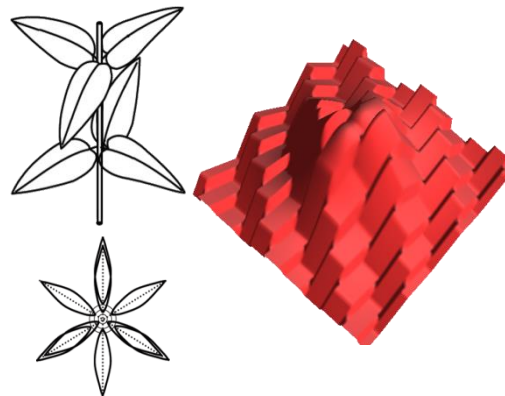
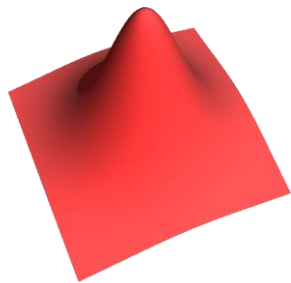
Minimise un coût basé sur des lois botaniques

- Maximiser l'écartement pour + de lumière
- Différentes phylotaxies

(peu de mvt. pour les branches dessinées)

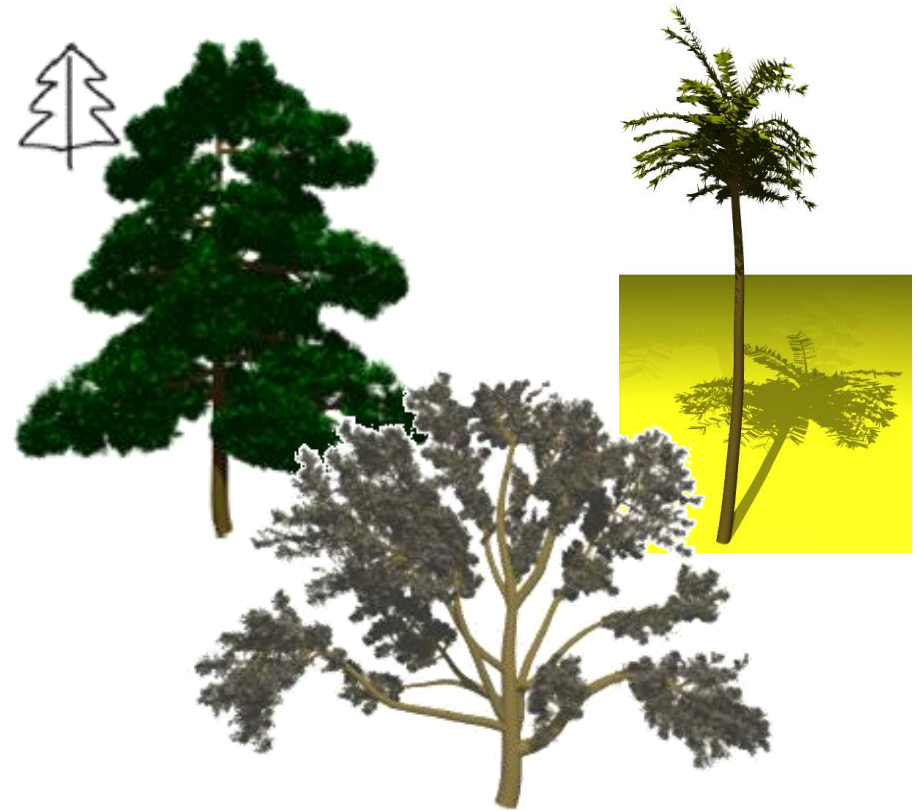
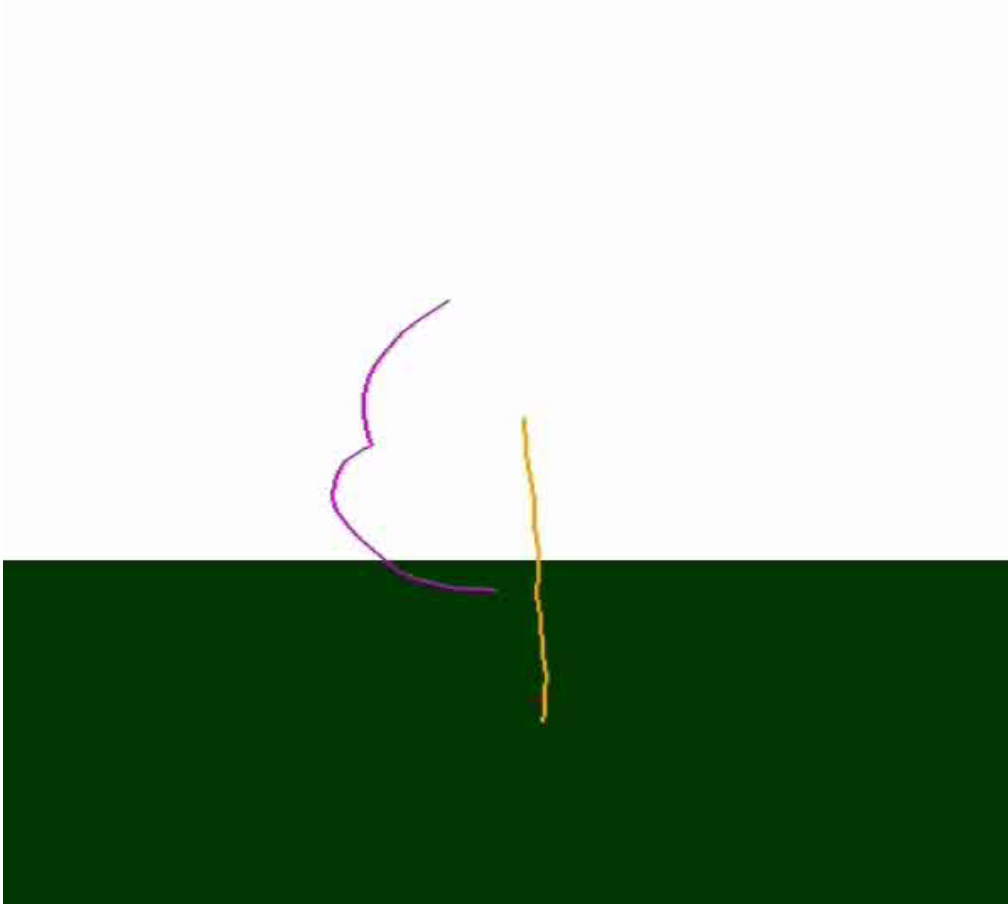


Processus de Gibbs



- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ **Arbres : distributions multi-résolution**
- ✓ Montagnes
- ✓ World-brush

Résultats [Wither et al 2009]



✓ *Nuages* : combiner dessin et procédural

✓ ***Arbres*** : dessin multi-résolution

✓ *Montagnes*

✓ *World-brush*

Résultats [Wither et al 2009]



- ✓ *Nuages : combiner dessin et procédural*
- ✓ *Arbres : dessin multi-résolution*
- ✓ ***Montagnes : sculpter avec des silhouettes***
- ✓ *World-brush*

Dessiner des montagnes

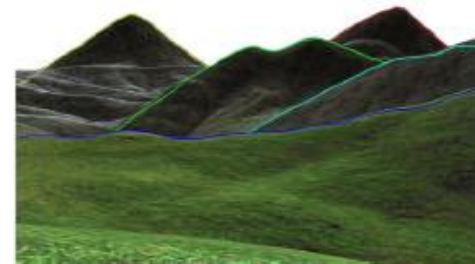
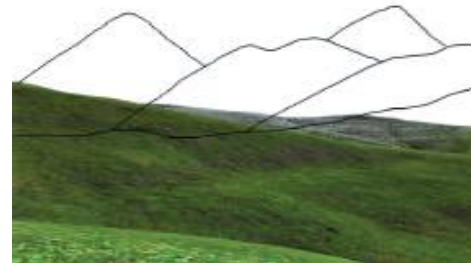
Créer un terrain pour l'arrière plan dans un film

- Difficile de peindre une carte d'élévation !
- Bien plus facile de dessiner des silhouettes

Terrain plausible correspondant ?

Difficultés

- Silhouettes non planes
- Croquis avec jonctions « en T »
- Détails du terrain non représentés

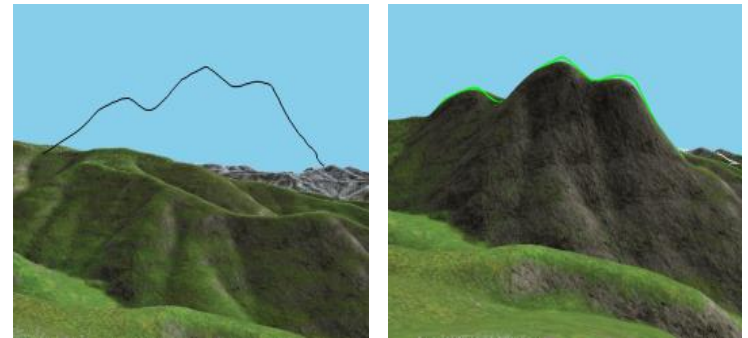


- ✓ *Nuages : combiner dessin et procédural*
- ✓ *Arbres : dessin multi-résolution*
- ✓ ***Montagnes : sculpter avec des silhouettes***
- ✓ *World-brush*

Notre solution

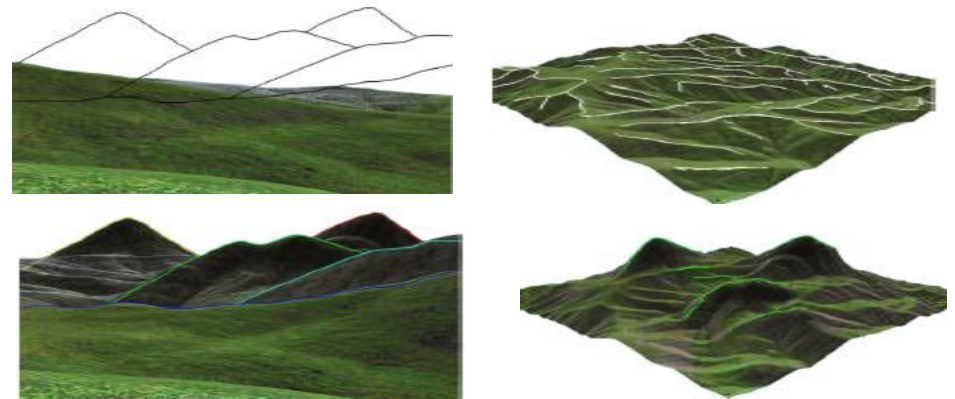
Sculpter un terrain existant

- Utiliser le croquis pour le déformer
« Tirer » certaines silhouettes
- Résultat non plan : plus réaliste
- Richesse des détails conservée



Problèmes à résoudre

- Analyse d'un croquis complexe
- Mise en correspondance
- Déformation



- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ Arbres : dessin multi-résolution
- ✓ **Montagnes : sculpter avec des silhouettes**
- ✓ World-brush

Analyse d'un croquis complexe

Algorithme de balayage

- de gauche à droite, ordonner le traits en profondeur

Traits à ordonner

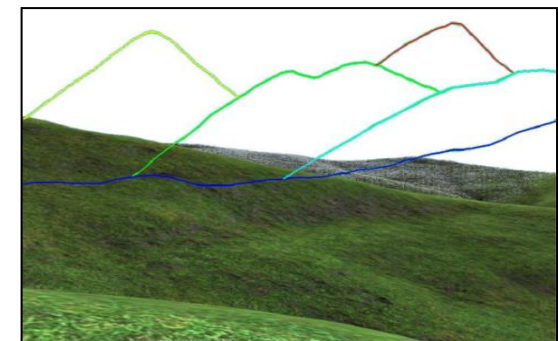
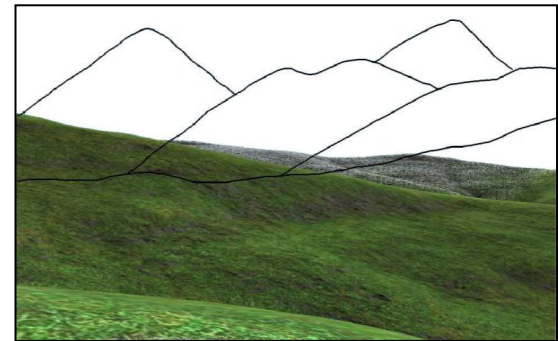
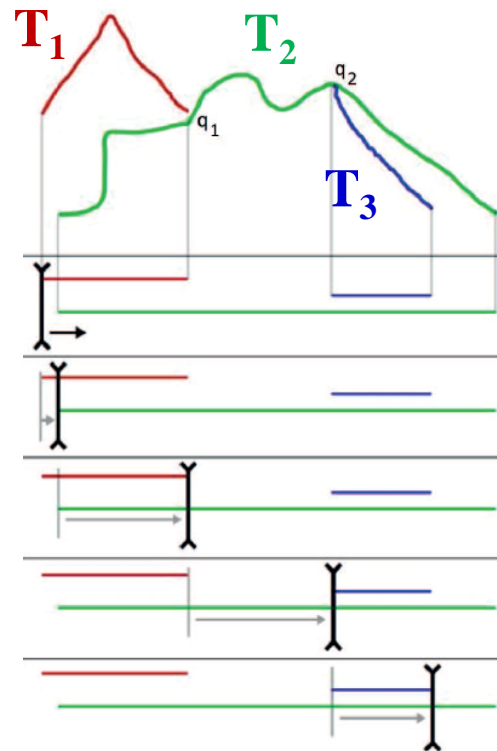
Début T_1

T_2 devant T_1

Fin T_1 caché par T_2

T_3 devant T_2

Fin T_3 devant T_2

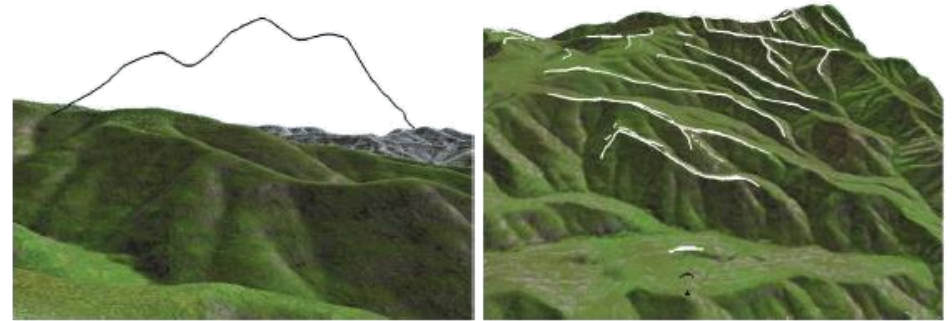


- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ Arbres : dessin multi-résolution
- ✓ **Montagnes : sculpter avec des silhouettes**
- ✓ World-brush

Choix des éléments à déplacer

Pré-calcul de lignes clés

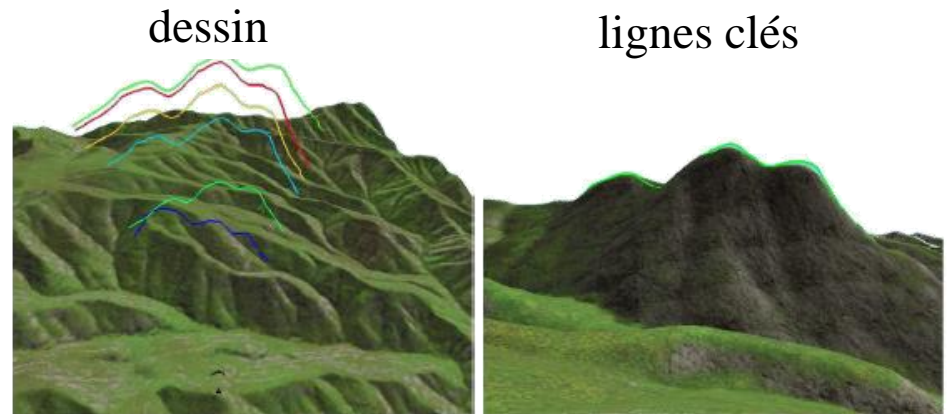
- silhouettes (vue du dessin)
- lignes de crêtes



Pour chaque trait du dessin

Pour chaque ligne clé

- Evaluer *le coût associé*
(distance entre lignes, vue dessin)



Algo : Séparation et évaluation progressive (branch & bound)

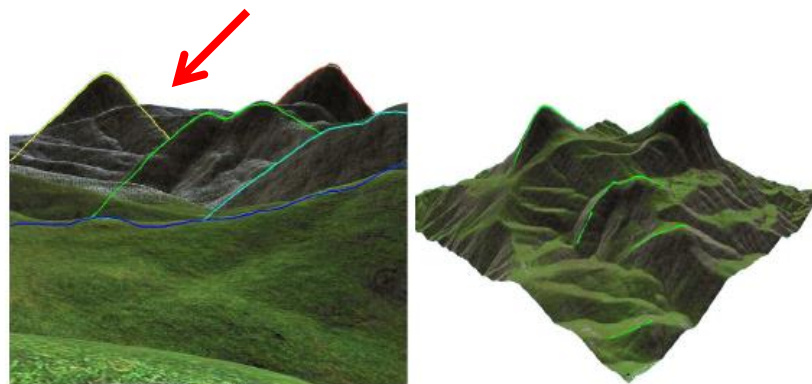
Association qui minimise le coût en respectant l'ordre des traits !

- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ Arbres : dessin multi-résolution
- ✓ **Montagnes : sculpter avec des silhouettes**
- ✓ World-brush

Déformation du terrain

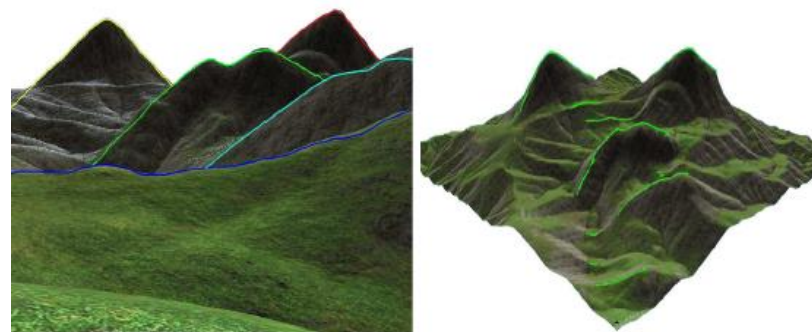
Propagation des déplacements

- Diffusion des *variations* d'altitude
(solveur de Poisson multi-grille)
- + plus plausible que diffuser des altitudes
- d'autres silhouettes peuvent apparaître...



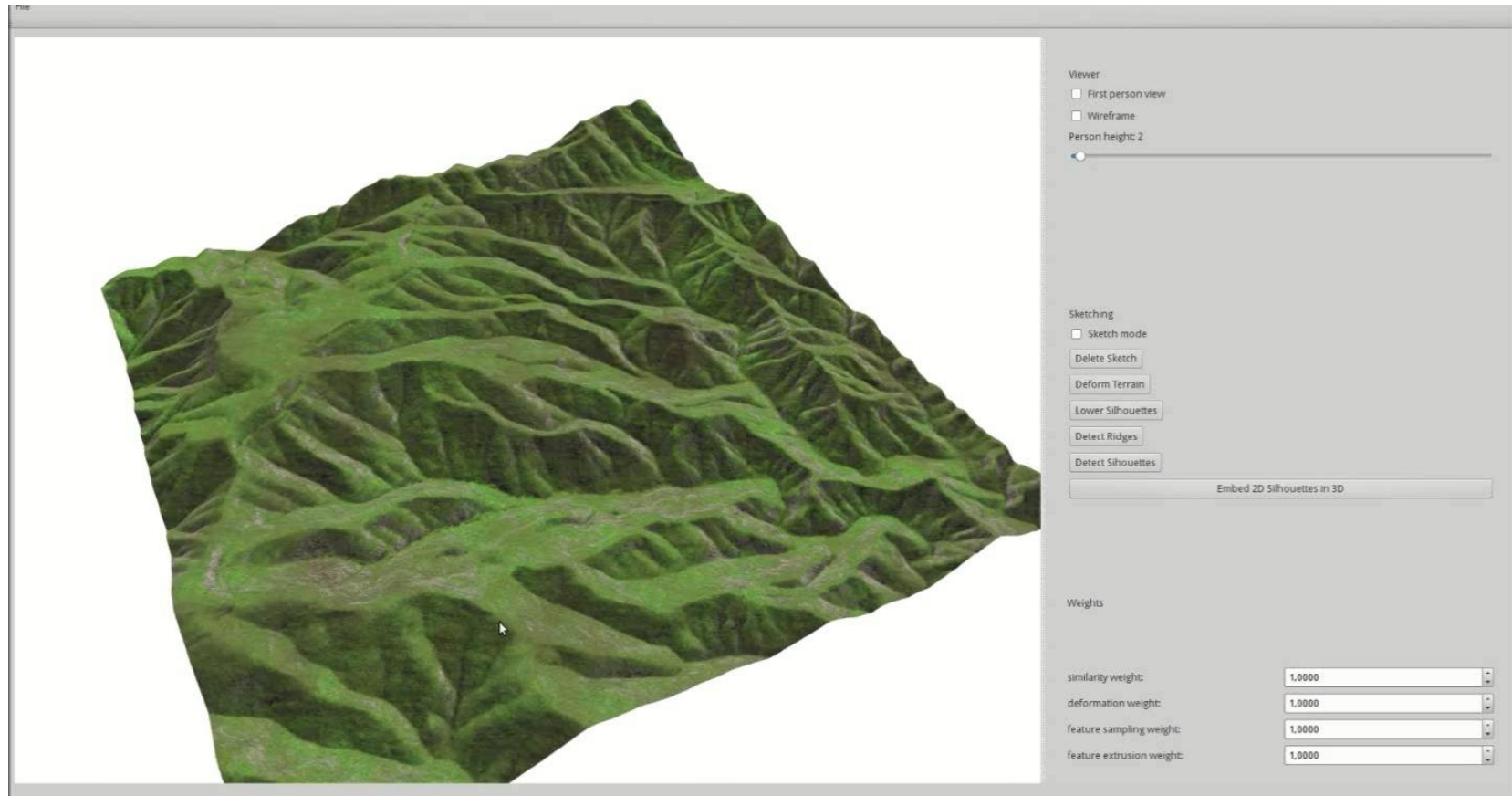
Descente des silhouettes non-désirées

- Ajout de déplacements
- Résoudre à nouveau (itérer...)



- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ Arbres : dessin multi-résolution
- ✓ **Montagnes : sculpter avec des silhouettes**
- ✓ World-brush

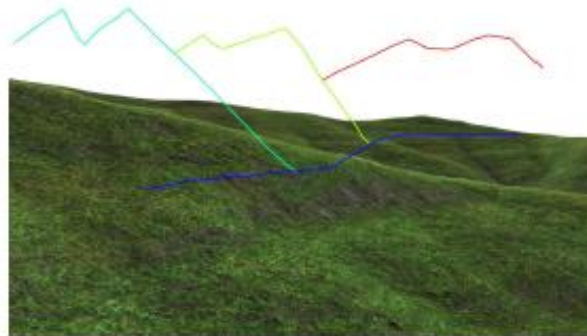
Résultats [Tasse 2014]



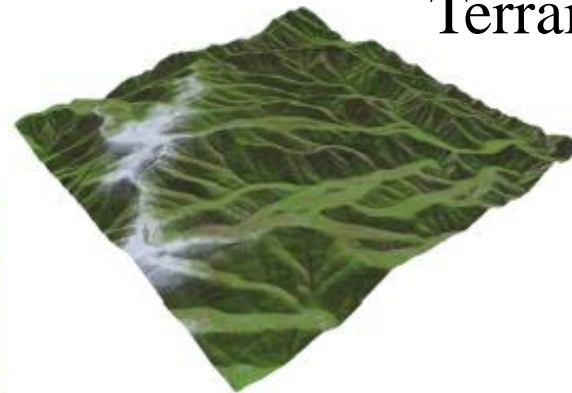
- ✓ *Nuages : combiner dessin et procédural*
- ✓ *Arbres : dessin multi-résolution*
- ✓ ***Montagnes : sculpter avec des silhouettes***
- ✓ *World-brush*

Résultats [Tasse 2014]

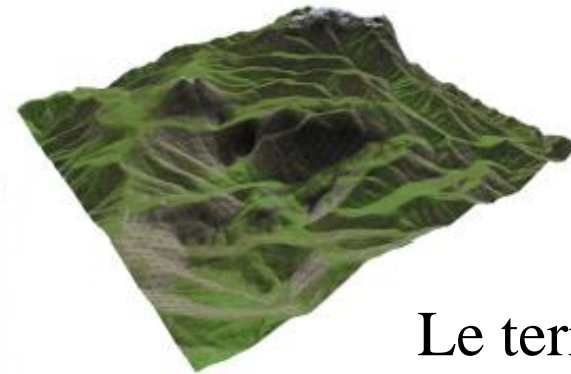
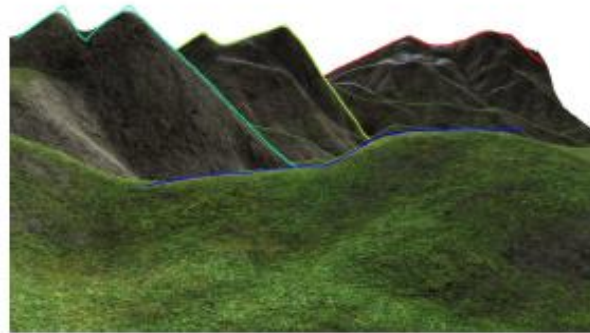
Dessin
ordonné en
profondeur



Terrain initial



Résultat
depuis le
point de vue
choisi

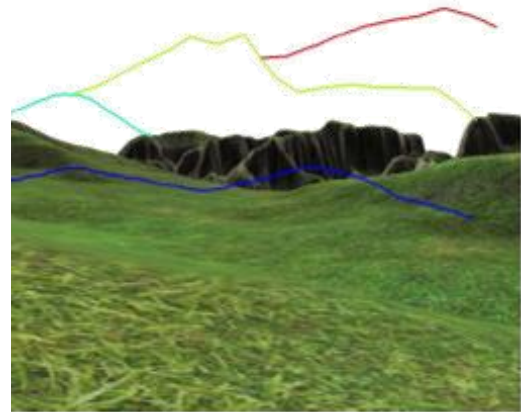


Le terrain reste
plausible

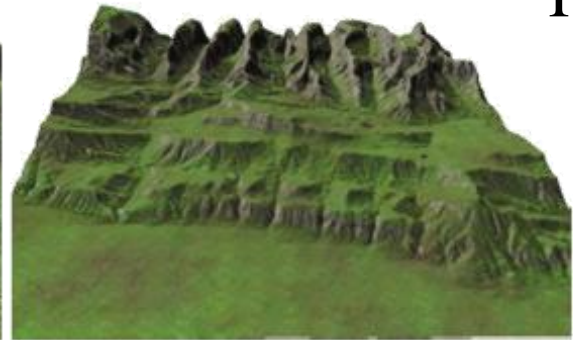
- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ Arbres : dessin multi-résolution
- ✓ **Montagnes : sculpter avec des silhouettes**
- ✓ World-brush

Résultats [Tasse 2014]

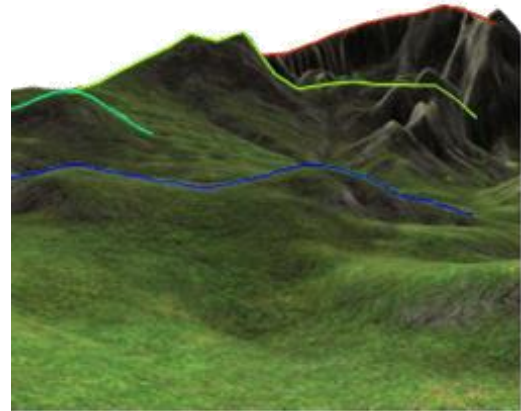
Dessin
ordonné en
profondeur



Terrain initial



Résultat



Terrain final



- ✓ *Nuages : combiner dessin et procédural*
- ✓ *Arbres : dessin multi-résolution*
- ✓ *Montagnes : sculpter avec des silhouettes*
- ✓ ***World-brush***

« *World-brush* »

Peindre, déformer, combiner des distributions

Éléments d'un monde virtuel

- ✓ Terrain
- ✓ Arbres, maisons : distributions
- ✓ Routes, rivières : graphes



Faciliter leur création et modification interactives ?

- Grand nombre d'éléments
- Distributions et graphes vérifient des règles
- Ils sont corrélés entre eux et avec le terrain

- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ Arbres : dessin multi-résolution
- ✓ Montagnes : sculpter avec des silhouettes
- ✓ **World-brush**

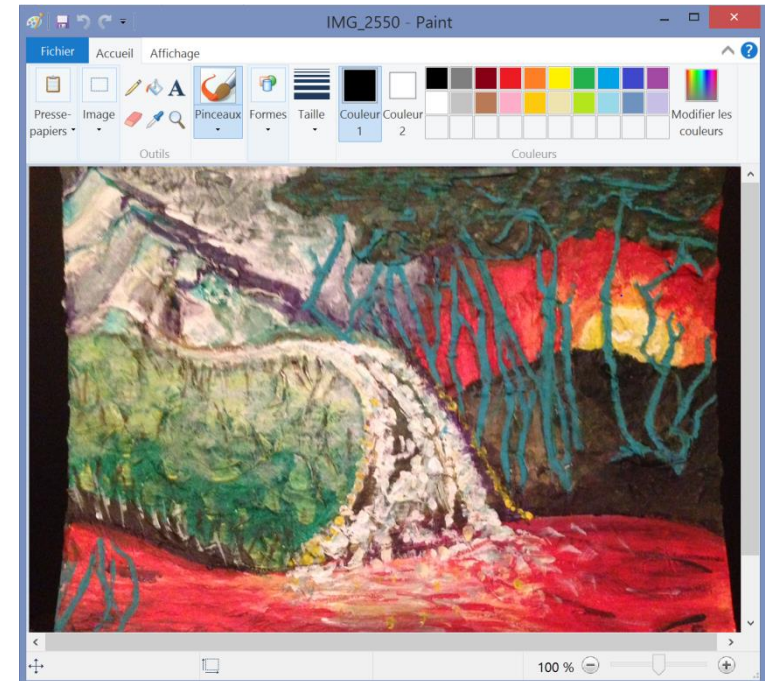
Inspiration

Logiciels de peinture numérique

- Pinceaux de différentes tailles
- Palette de couleurs de base
- Lecture de dessin ou photo existants

Actions avancées

- Pipette pour prendre une couleur
- Sélection et copie d'une région
- Etirer la région
- La recoller et lisser



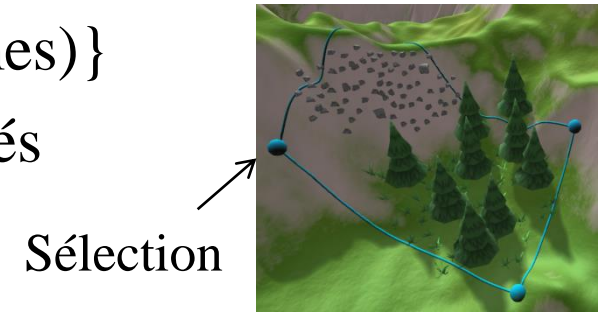
Peut-on étendre cette métaphore aux éléments d'un monde virtuel?

- ✓ *Nuages : combiner dessin et procédural*
- ✓ *Arbres : dessin multi-résolution*
- ✓ *Montagnes : sculpter avec des silhouettes*
- ✓ **World-brush**

Peindre des mondes virtuels ?

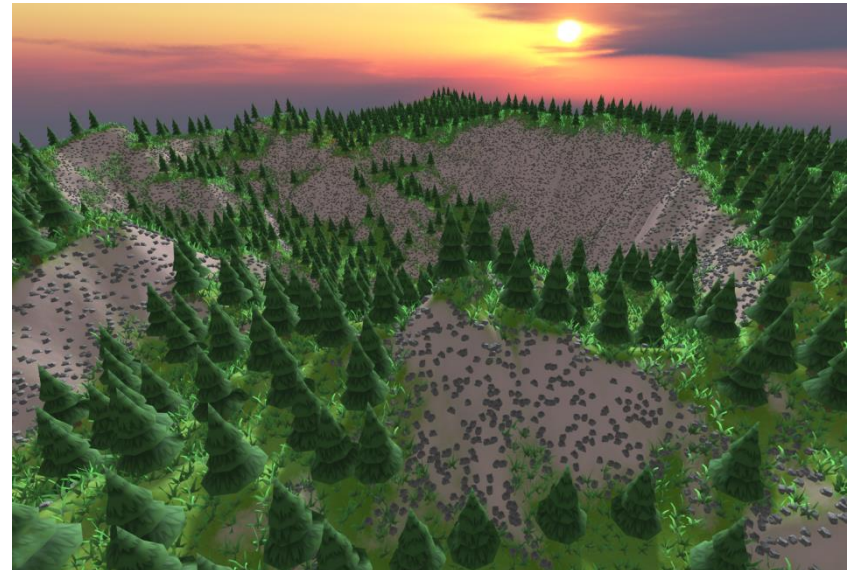
Couleur = {Paramètres statistiques (histogrammes)}

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



Variété d'outils

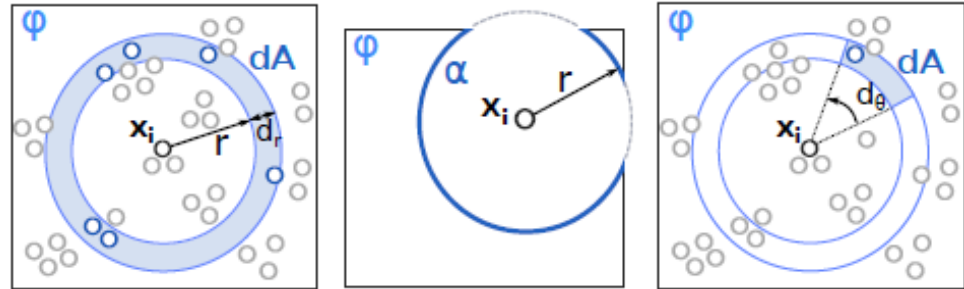
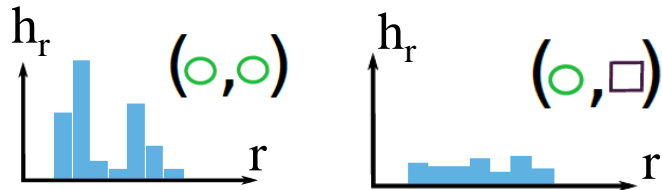
- Pipette
- Pinceau
- Dégradé entre deux couleurs
- Déplacer et coller la sélection
- Etirer la sélection



- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ Arbres : dessin multi-résolution
- ✓ Montagnes : sculpter avec des silhouettes
- ✓ **World-brush**

Apprentissage des histogrammes

Pour les distributions ponctuelles (arbres, maisons...)



- **Distribution radiale**

Interactions entre éléments d'un type donné ou entre deux types

- Histogramme du nombre d'élément de T_2
dans des anneaux autour de chaque élément de T_1
- Correction pour tenir compte du petit nombre d'éléments
- Eventuellement histogrammes fonction de l'angle

- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ Arbres : dessin multi-résolution
- ✓ Montagnes : sculpter avec des silhouettes
- ✓ **World-brush**

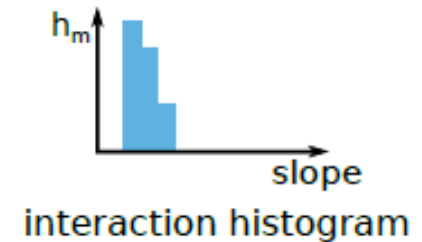
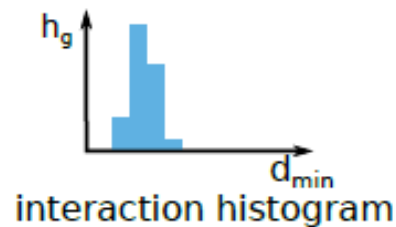
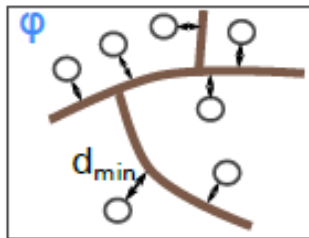
Apprentissage des histogrammes

- *Distance à un graphe*

Histogramme de la plus courte distance des éléments au graphe.

- *Carte*

Histogramme du nombre d'élément pour chaque niveau de pente



Synthèse [Hurtut 2009] : Tirage aléatoire de points

Probabilité de se fixer = produit des histogrammes

- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ Arbres : dessin multi-résolution
- ✓ Montagnes : sculpter avec des silhouettes
- ✓ **World-brush**

Apprentissage des histogrammes

Pour les graphes

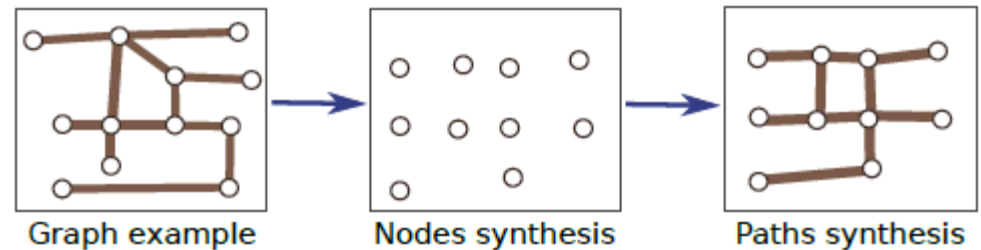
- Distribution des nœuds
- Histogrammes
 - longueurs des arcs
 - angles aux croisements

Synthèse

Génération de sommets

Reconnection progressive

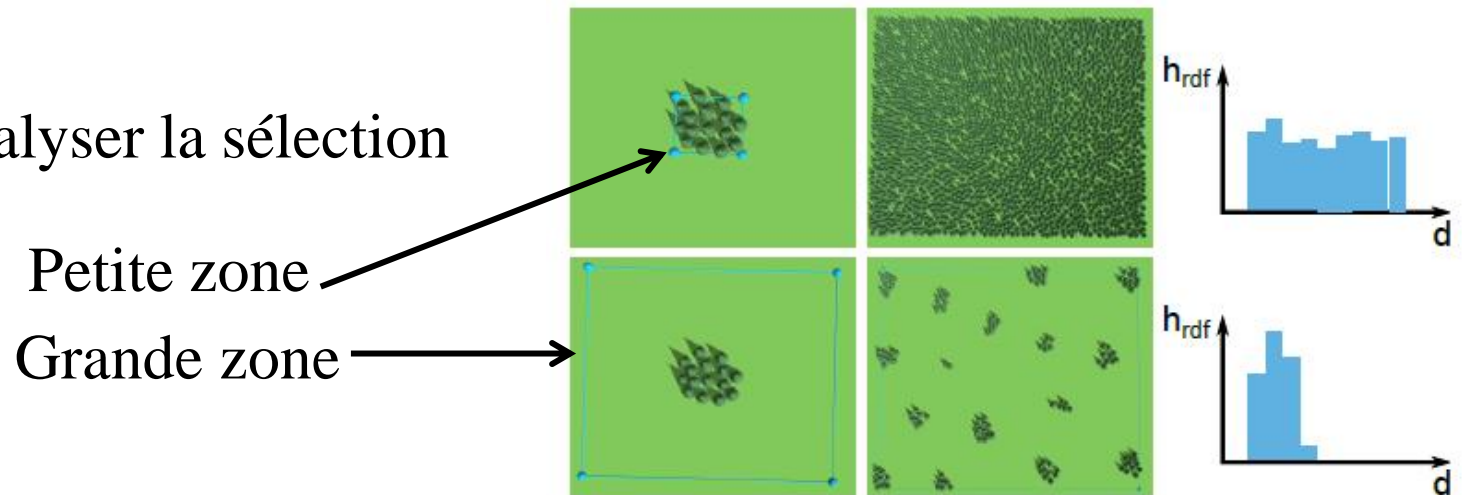
[Aliaga 2008]



- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ Arbres : dessin multi-résolution
- ✓ Montagnes : sculpter avec des silhouettes
- ✓ **World-brush**

Copier coller « intelligent »

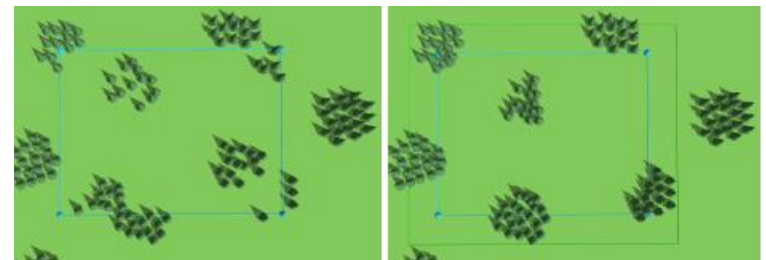
- Copier : analyser la sélection



- Coller avec un bon raccordement

Synthèse de la même « couleur »

Tenir compte d'une région d'influence

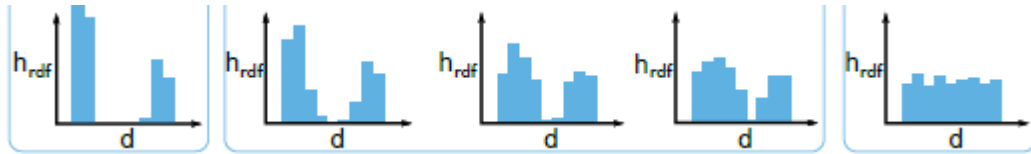


Sans

Avec

- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ Arbres : dessin multi-résolution
- ✓ Montagnes : sculpter avec des silhouettes
- ✓ **World-brush**

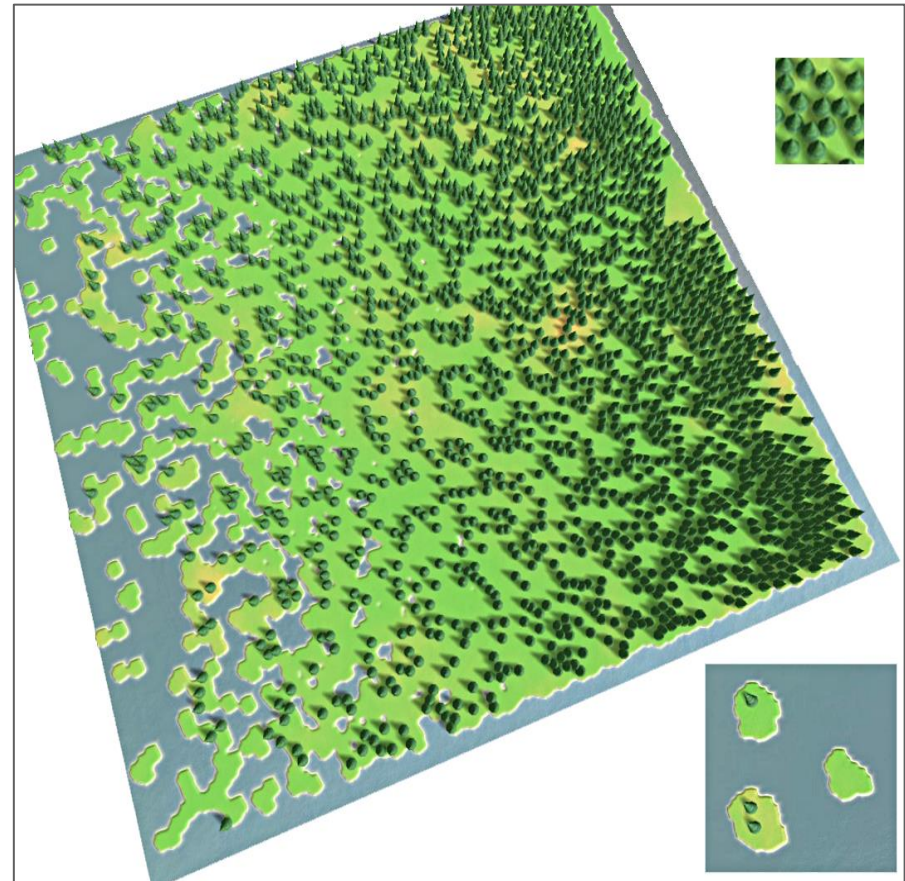
Dégradés entre distributions



- Transport de masse pour interpoler les histogrammes

Niveau perceptuel

- Perçu comme un dégradé !

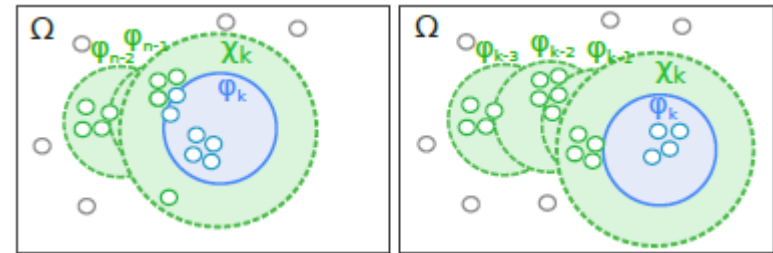


- ✓ Nuages : combiner dessin et procédural
- ✓ Arbres : dessin multi-résolution
- ✓ Montagnes : sculpter avec des silhouettes
- ✓ **World-brush**

Autres outils

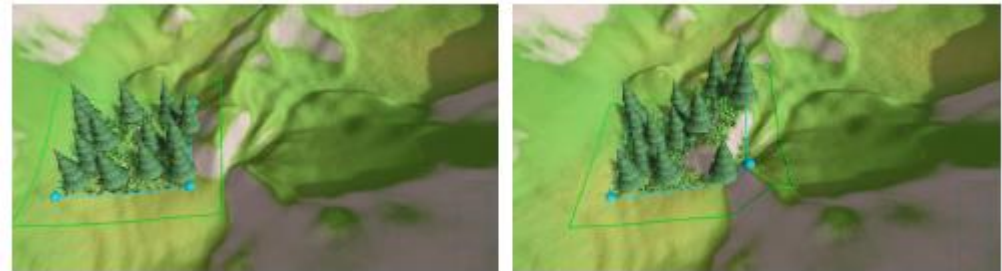
Pinceau

Copies successives en tenant compte de l'existant



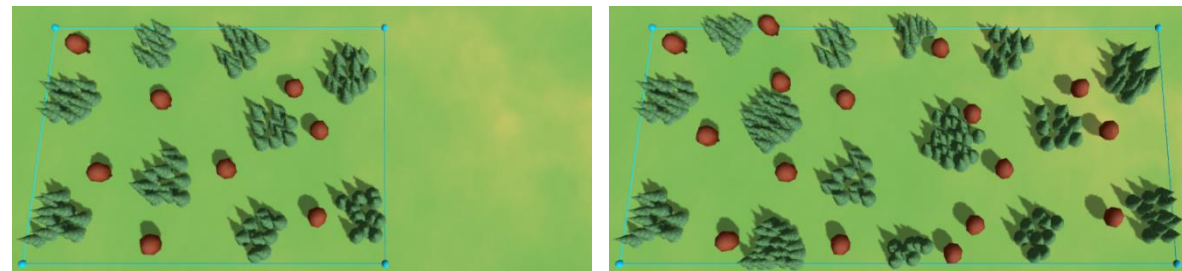
Déplacer

Adaptation au contexte



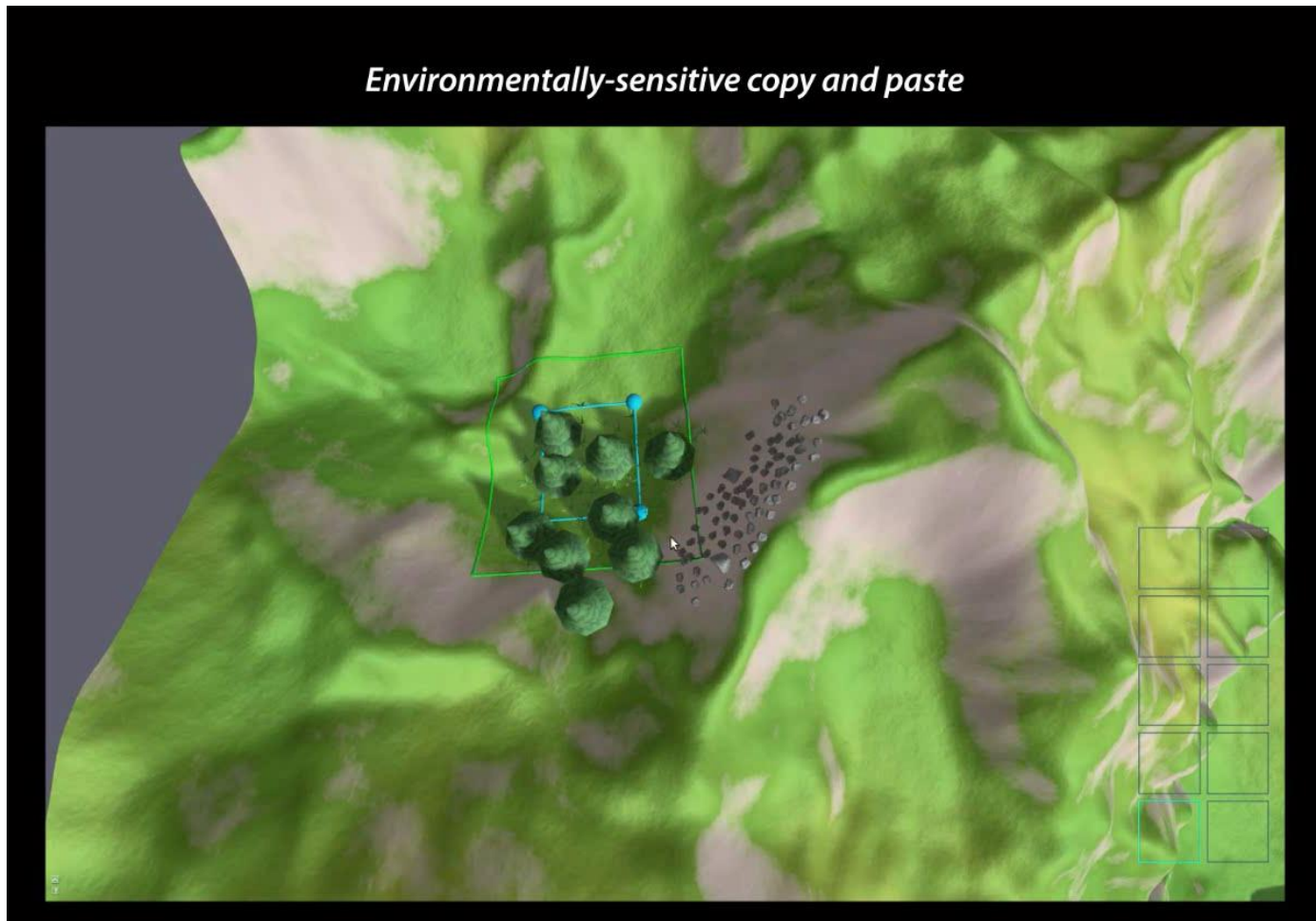
Etirer

Ajouts discrets au centre (« seam-carving »)



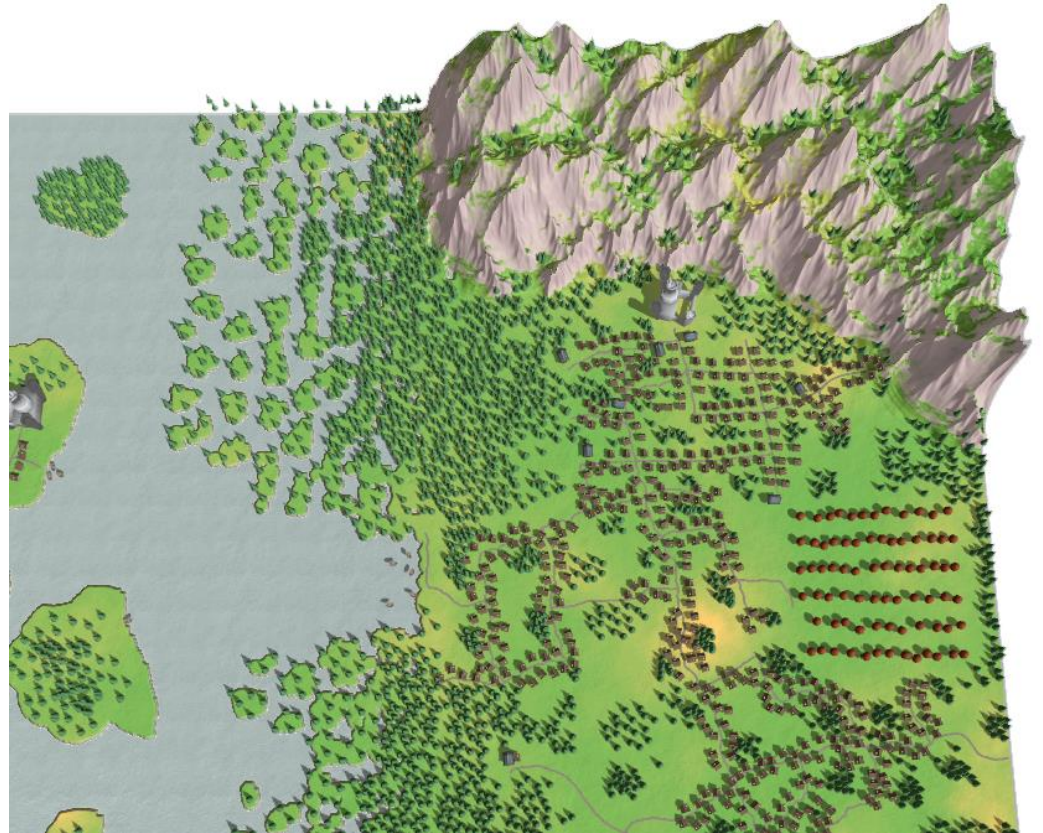
- ✓ *Nuages : combiner dessin et procédural*
- ✓ *Arbres : dessin multi-résolution*
- ✓ *Montagnes : sculpter avec des silhouettes*
- ✓ ***World-brush***

Résultats [Emilien 2015]



- ✓ *Nuages : combiner dessin et procédural*
- ✓ *Arbres : dessin multi-résolution*
- ✓ *Montagnes : sculpter avec des silhouettes*
- ✓ ***World-brush***

Résultats [Emilien 2015]



Conclusion

Création expressive de mondes virtuels

Principes généraux

- Impossibilité de tout spécifier : *chance pour le réalisme !*
 - Le système peut compléter de manière plausible
- Les éléments et leurs interactions répondent à certaines lois
 - Lois données ou apprises sur des exemples
 - Déplacement respectant les contraintes : inspiré du transfert
- Importance des algorithmes de génération procédurale

***Séminaire* : Génération procédurale de mondes virtuels.**

Eric Galin, Université Lumière Lyon 2

Bibliographie

- Emilien, Bernhardt, Peytavie, Cani, Galin (2012). Procedural Generation of Villages on Arbitrary Terrains. *The Visual Computer*, 28(6-8), Springer (CGI'2012).
- Bouthors, Neyret, Max, Bruneton, Crassin (2008). Interactive multiple anisotropic scattering in clouds. *ACM I3D (Interactive 3D graphics and games)*
- Wither, Bouthors, Cani (2008). Rapid sketch-based modelling of clouds. *EG workshop on sketch-based Interfaces & modelling, SBIM*.
- Wither, Boudon, Cani, Godin (2009). Structure from Silhouettes : a New Paradigm for Fast Sketch-based Design of Trees. *Computer Graphics Forum*, 28(2) (EG 2009).
- Tasse, Emilien, Cani, Hahmann (2014). First person sketch-based terrain modelling. *Graphics Interface*.
- Hurtut, Landes, Thollot, Gousseau, Drouillet, Coeurjoly (2009). Appearance guided synthesis of element arrangements by example. In *NPAR*, ACM
- Alliaga, Vanegas, Benes (2008). Interactive example-based urban layout synthesis. *ACM Trans. Graph (SIGGRAPH Asia)* 27(5).
- Emilien, Vimont, Cani, Poulin, Benes (2015). WorldBrush: Interactive Example-based Synthesis of Procedural Virtual Worlds. Submitted for publications.