

Rendu non photoréaliste



Jeudi 15 Février 2007
C.Soler

Introduction

✓ Définir le NPR ?

- rendu "non photoréaliste"
- rendu expressif
 - » peinture, sculpture,
 - toutes expressions artistiques

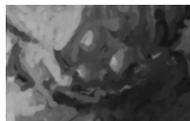
- ➔
- lecture dépendante de notre perception.
 - grande latitude de représentation
 - critères esthétiques



✓ En pratique:

Image 2D
ou
Modèle 3D

➔ Traitement / simulation



Introduction

Générer des illustrations

- projets d'architecture
- présentations stylisées



- ➔
- Control spatial (quantitatif) du détail
 - Adaptation aux objectifs du créateur d'une image
 - Quels sont les éléments importants d'une scène ?

Introduction

Gérer la complexité

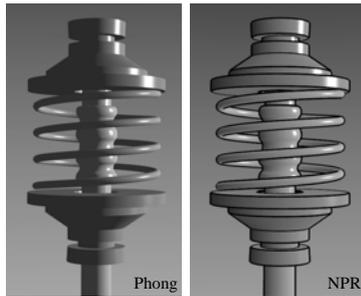
- ✓ Modèles d'arbres (Deussen'99)
 - Complexité suggérée
 - Reconstruction par l'observateur



Introduction

Pour une meilleure compréhension

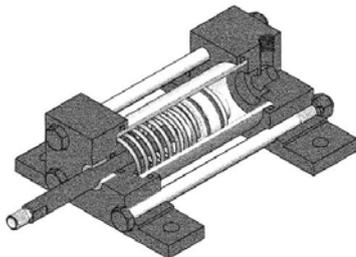
- manuels d'utilisation
- docs techniques



➡ Contrôle qualitatif du détail

Introduction

Pour une meilleure compréhension

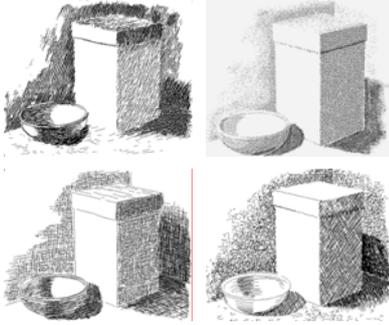


➡ Adapter le rendu à notre mode de perception (ici: la perspective, les matériaux mats)

Introduction

Automatiser le dessin

- dessin assisté
- exploration artistique



- ➔ Décorrélation entre les niveaux de représentation
- Style / contenu

Introduction

Plan

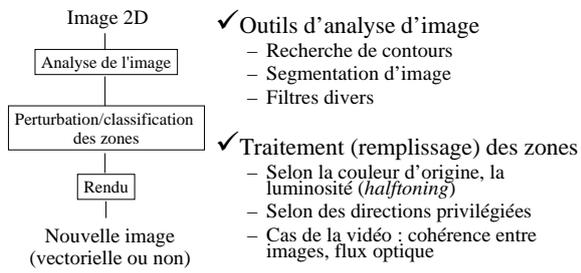
- ✓ Introduction
- ✓ Le pipeline
 - pipeline 2D
 - pipeline 3D
- ✓ Techniques de base
- ✓ Exemples complets
- ✓ Notion de style

Pipeline 2D



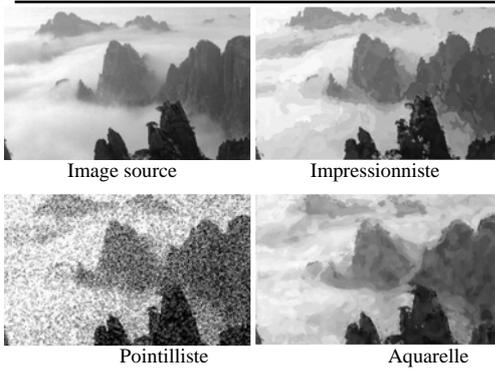
Pipeline 2D

Pipeline 2D



Pipeline 2D

Exemple (A.Hertzmann)



Pipeline 2D

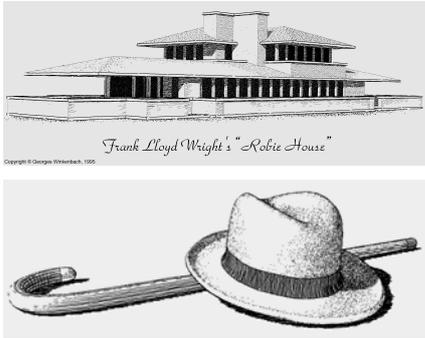
Pipeline 2D

- ✓ Applications:
 - Filtres (photoshop)
- ✓ Techniques associées
 - Gravure
 - Fusain
 - Peinture
 - Encre



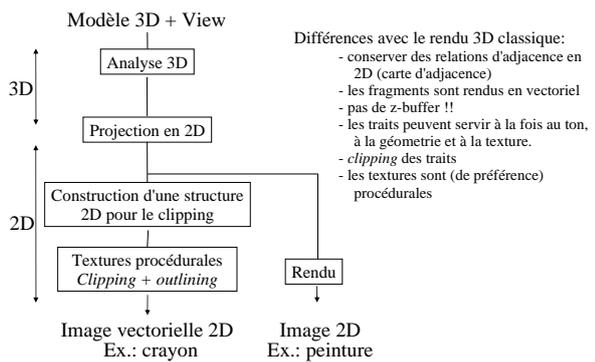
Pipeline 2D

Pipeline 3D



Introduction

Pipeline 3D



Pipeline 3D

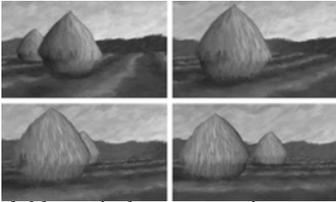
Utilisation d'informations 3D

- ✓ Utilisation des informations 3D
 - Calcul des ombres
 - » analytique ? (BSP,...)
 - Détection des parties cachées
 - » BSP
 - Lignes particulières
 - » silhouettes, crêtes, ...
 - Normales
 - » traitement de l'éclairage
 - Paramétrisation
 - » gestion de la densité des primitives accrochées au modèle 3D

Pipeline 3D

La cohérence temporelle

- ✓ Dans les scènes dynamiques, concurrence entre:
 - Utiliser des primitives fondamentalement 2D
 - Conserver une sensation 3D
 - » Continuité dans l'affichage des primitives (taille, nombre)
 - » Coherence du positionnement (pb. d'hystérésis)



- ✓ Pas soluble, mais des compromis sont possibles

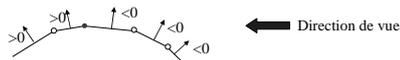
Pipeline 3D

Plan

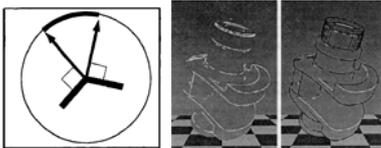
- ✓ Introduction
- ✓ Le pipeline
- ✓ Techniques de base
 - Détection de silhouettes
 - Rendu par traits
 - Peinture
 - Modèles d'éclairage
- ✓ Exemples complets
- ✓ Notion de style

Détection de silhouettes (*Software*)

- ✓ Utilisation des normales
 - Une arête est sur la silhouette si les normales des faces adjacentes ne sont pas vues dans le même sens:



- Mesure des écarts d'orientation des normales (crêtes):



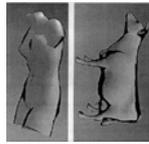
Détection de silhouettes

Techniques de base

Détection de silhouettes (*Hardware*)

✓ Méthodes *hardware*

- *Environment mapping*
 - » Pas terrible, mais bon effet artistique



- *Stencil buffer #1*

- » Afficher 4 fois la scène dans le *stencil buffer* en décalant de 1 pixel en x et y et en incrémentant le *stencil buffer* à chaque passe
- » Utiliser le *stencil* comme masque pour afficher là où sa valeur est 2 ou 3 (bit 1)

(Ne détecte pas les lignes intérieures)

- *Stencil buffer #2*

- » Dessiner les polygones dans le *frame buffer*
 - » Dessiner les contours des polygones de devant dans le *stencil*
 - » Utiliser le *stencil* comme masque pour les contours des polygones de derrière.
- (Détecte les lignes intérieures)

Détection de silhouettes

Techniques de base

Rendu par traits (*strokes*)

✓ Caractéristiques:

- Facilité d'expression
- Simplicité (artistique...)
- Précision
- Multiplicité d'usage du trait
 - » un même trait peut servir aux formes, ton, style ou texture
 - » les traits ne sont pas indépendants

✓ Données de départ:

- Modèle 3D
- Image



Rendu par traits

Techniques de base

De l'usage des traits

✓ Uniformité

Distance et taille proche

✓ Leur type renseigne sur:

La texture de l'objet,

- les détails composant la texture doivent être suggérés.

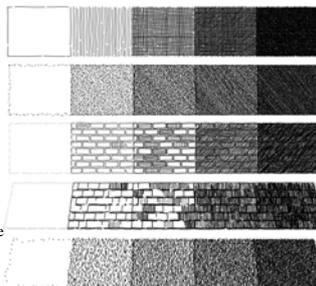
La nature,

- Horizontaux sur objets horizontaux
- Droits pour les vitres
- Tordus pour les vieux matériaux

- L'absence de détails indique un matériau lisse.

L'éclairage,

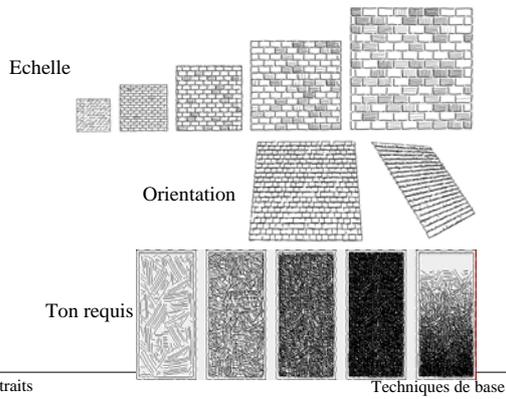
- la densité des traits doit rendre compte du ton.



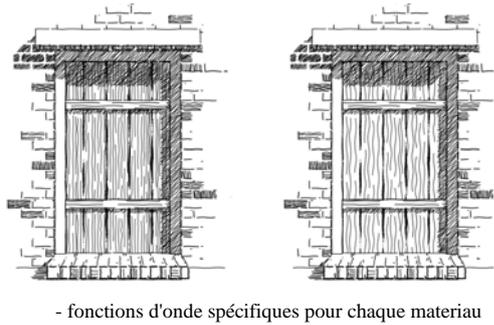
Rendu par traits

Techniques de base

Utilisation de textures avec priorité



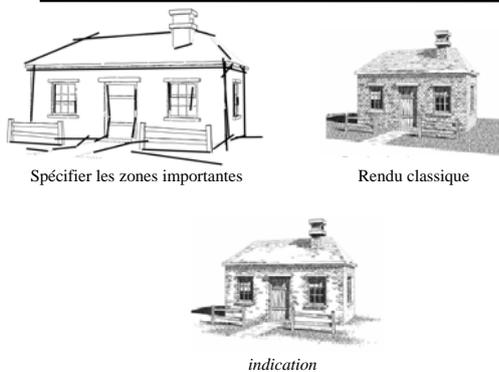
Textures procedurales



Rendu par traits

Techniques de base

Indication (allègement)



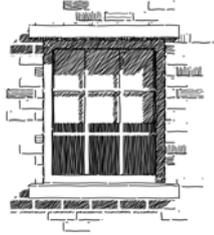
Rendu par traits

Techniques de base

Direction d'éclairage



- ✓ La direction des traits donne la direction de l'éclairage
- ✓ Elagage des contours

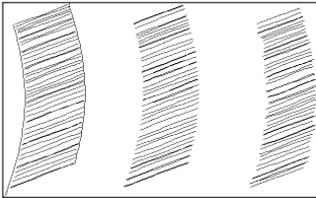


Rendu par traits

Techniques de base

Clipping

- ✓ Une découpe trop lisse donne un aspect non naturel



Rendu par traits

Techniques de base

Peinture

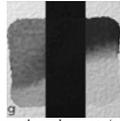
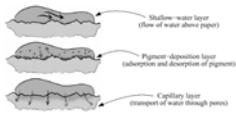
- ✓ Techniques de remplissage
 - simulations physiques
 - particules
 - filtres
- ✓ Paramètres supplémentaires:
 - média (papier, verre...)
 - outils (pinceaux, ...)
 - propriétés physiques des pigments

Peinture

Techniques de base

Exemple: aquarelle (Curtis'97)

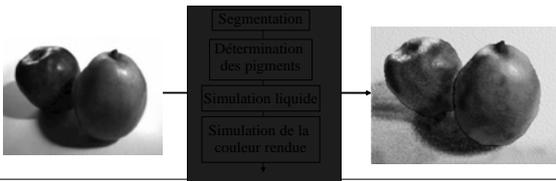
✓ **Eléments de simulation**



Diffusion liquide et dépôt de pigments

Interaction pigments/papier

✓ **Processus complet:**

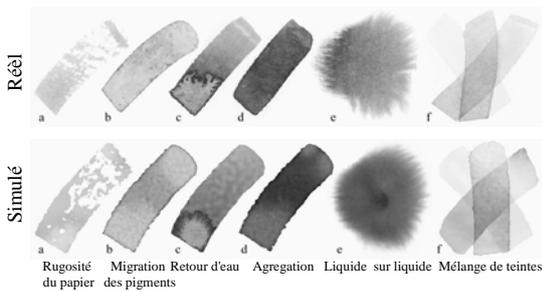


Peinture

Techniques de base

Aquarelle (Curtis'97)

✓ **Simulation physique de l'interaction papier/peinture.**

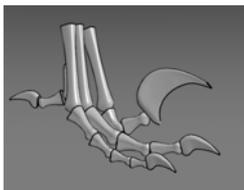


Peinture

Techniques de base

Modèles d'éclairage (Gooch'98)

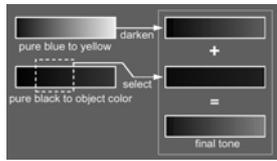
- ✓ **Variation couleurs chaudes/couleurs froides**
 - très faible dynamique d'intensité
- ✓ **Non-physique**
 - métal rendu comme très anisotrope
 - pas d'ombres
- ✓ **Conçu pour faire ressortir les détails**
 - silhouettes/discontinuités en noir



Modèles d'éclairage

Techniques de base

Modèles d'éclairage (Gooch'98)



Modèle de Phong

$$I = k_d(k_a + \max(0, i \cdot n))$$



Nouveau modèle

$$c = (1 + i \cdot n) / 2$$

$$I = c(k_{blue} + \alpha k_d) + (1 - c)(k_{yellow} + \beta k_d)$$



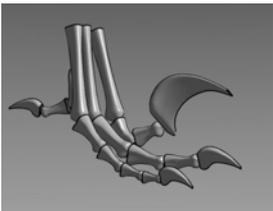
Modèles d'éclairage

Techniques de base

Modèle d'éclairage



Diffus
(Phong, $k_d = 1, k_a = 0$)

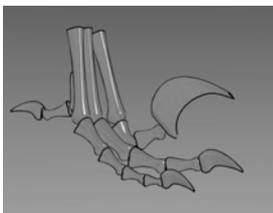


Modèle de Phong + silhouette
($k_d = 0.5, k_s = 0.1$)

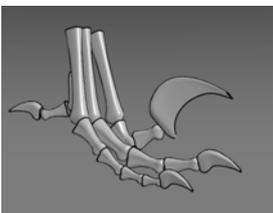
Modèles d'éclairage

Techniques de base

Modèle d'éclairage



Luminance uniforme
+ highlights

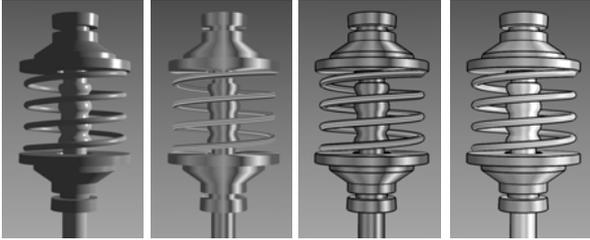


Luminance augmentée
+ highlight

Modèles d'éclairage

Techniques de base

Rendu métallique



Phong

Métal

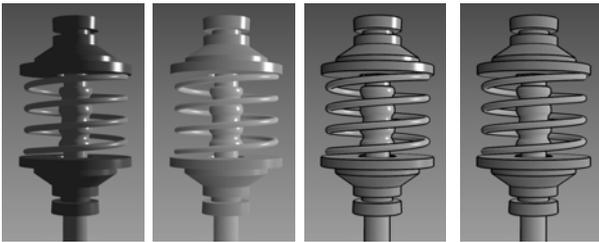
Métal
+silhouette

id. plus
chaud/froid

Modèles d'éclairage

Techniques de base

Métal coloré



Phong

Nouveau
modèle

...avec
silhouette

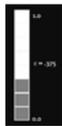
Approximation
OpenGL (1997)

Modèles d'éclairage

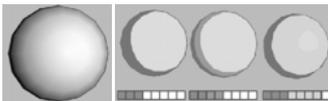
Techniques de base

Rendu *cartoon*

- ✓ Utiliser une texture ID comme *look-up table*



- ✓ Utiliser le $\cos(t)$ comme coordonnée de texture
– Pas de filtrage



Modèles d'éclairage

Techniques de base

Plan

- ✓ Introduction
- ✓ Le pipeline
- ✓ Techniques de base
- ✓ Exemples complets
- ✓ Notion de style

Dessin au trait (Salisbury'95)

- ✓ L'utilisateur fournit l'orientation des traits
- ✓ Utilisation du gradient d'éclairage pour les objets simples.



Image



Détection de discontinuités

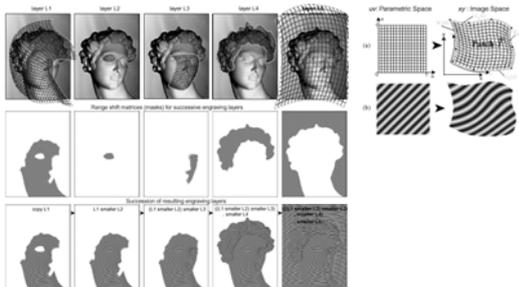


Crayon selon le gradient de l'éclairage

Exemples

Gravure (Ostromoukhov'99)

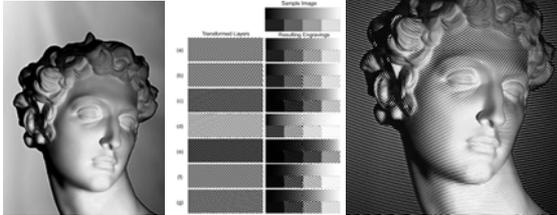
- ✓ Découpage en régions (manuel)
- ✓ Gravure de chaque région
- ✓ Mélange pour image finale



Exemples

Gravure (Ostromoukhov'99)

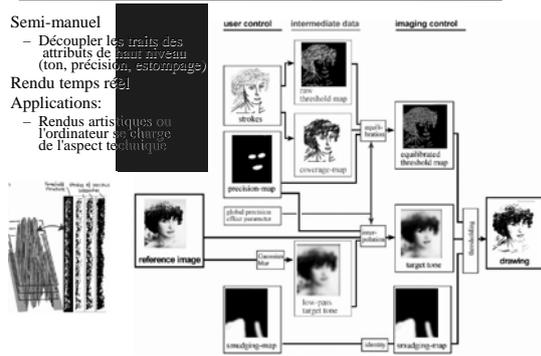
- ✓ Orientation:
 - Déformation du masque
- ✓ Trame:
 - Opérations entre deux masques orientés différemment
- ✓ Ton
 - Le ton est obtenu grâce aux paramètres des fonctions des masques



Exemples

Autre exemple de système (Durand'01)

- ✓ Semi-manuel
 - Découpler les traits des attributs de haut niveau (ton, précision, estompage)
- ✓ Rendu temps réel!
- ✓ Applications:
 - Rendus artistiques ou techniques ou l'ordinateur se charge de l'aspect technique



Exemples

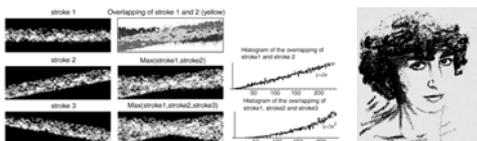
... (Durand'01) 2/2

- ✓ Croisement de traits:
 - On utilise le max \rightarrow histogramme pas équilibré
- ✓ Équilibrage de l'histogramme
 - Pour conserver un ton constant dans les zones de croisement de traits.

$$P(X < x) = \int_0^x H(t) dt = x$$

$$P(\max(X_1, \dots, X_n) < x) = x^n$$

- Pour équilibrer, on utilise donc $\max(X_1, \dots, X_n)^n$



Exemples

Surfaces paramétriques (Winkenback)

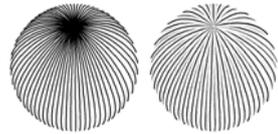
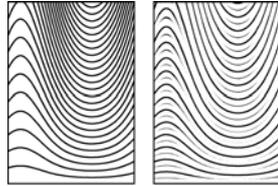
- ✓ On veut une intensité uniforme en traçant les courbes iso-paramétriques

Transformation entre l'espace (u,v) et l'espace projete:

$$M(u,v) = \begin{bmatrix} X(u,v) \\ Y(u,v) \end{bmatrix}$$

- ✓ Procédure:
 - Calculer le *stretching*
 - En déduire l'espacement maximum des courbes (u,v)
 - Tracer ces courbes en adaptant leur largeur pour respecter le ton voulu (uniforme, ou non)

- ✓ Applications:
 - Tracer des surfaces paramétriques en respectant un ton cible



Exemples

Surfaces paramétriques (Winkenback)

- ✓ Calcul du "*stretching*"

- Jacobien de M:

$$J(u,v) = \begin{bmatrix} \frac{\partial X}{\partial u} & \frac{\partial X}{\partial v} \\ \frac{\partial Y}{\partial u} & \frac{\partial Y}{\partial v} \end{bmatrix}$$

- La droite $\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} + c = 0$ se transforme en $\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} J^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + c = 0$

- La distance entre $ax + by + c = 0$ et $ax + by + c + \varepsilon = 0$ est

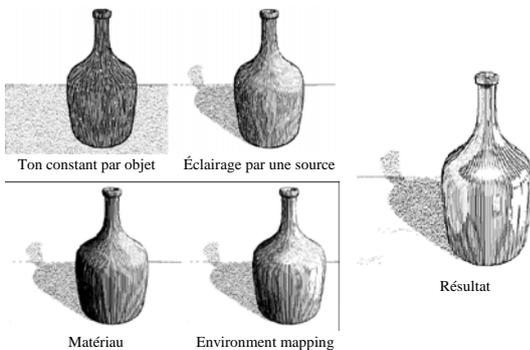
$$d = \frac{\varepsilon}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

- Le *stretching* est donc $\theta = \frac{\left\| \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} J^{-1} \right\|}{\sqrt{a^2 + b^2}}$

(= approx. affine de la déformation en un point. Dépend de la direction, en particulier)

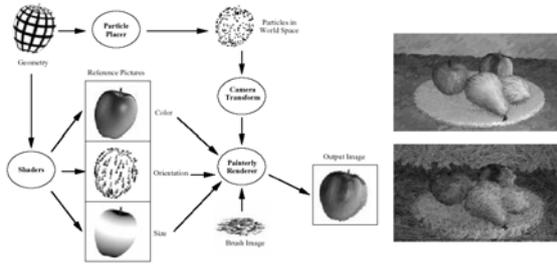
Exemples

Rendu



Exemples

Painterly rendering for animation (Meyer)



✓ Assure la cohérence temporelle durant l'animation

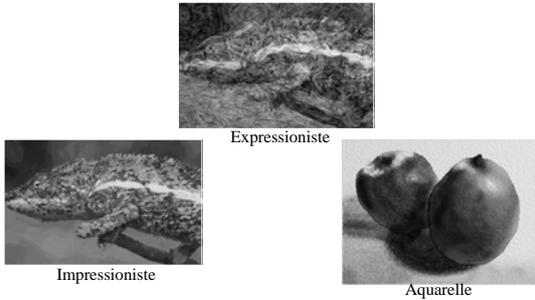
Exemples

Plan

- ✓ Introduction
- ✓ Le pipeline
- ✓ Techniques de base
- ✓ Exemples complets
- ✓ Notion de style

Notion de style

✓ Réduire le style à un ensemble de paramètres ??



Notion de style

Notion de style

- ✓ Qualité des paramètres de style:
 - Intuitifs
Ne doivent pas faire appel à des connaissances informatiques
Doivent représenter des notions visuelles artistiques,...
 - Consistants
Les mêmes valeurs doivent produire les mêmes effets
 - Robustes
Variation continue et progressive de l'aspect visuel
 - Indépendants
Changer un paramètre ne doit pas modifier les autres.

➡ espace "borné" de possibilités

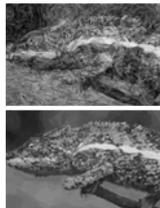
- ✓ Capture du style dans une image ??

Notion de style

Notion de style

- ✓ Exemple de paramètres de style
 - Type de dessin (gravure, aquarelle, huile, sculpture,...)
 - Type des outils (pinceau, brosse, ciseaux,...)
 - Taille et longueur des "traits"
 - Randomisation et variance (des couleurs, des autres paramètres)
 - Espacement

- "Impressionist" — A normal painting style, with no curvature filter, and no random color. $T = 100$, $R = (8,4,2)$, $f = 1$, $f_s = 5$, $a = 1$, $f_c = 1$, $\text{minLength} = 4$, $\text{maxLength} = 16$
- "Expressionist" — Elongated brush strokes. Jitter is added to color value. $T = 50$, $R = (8,4,2)$, $f = 25$, $f_s = 5$, $a = 7$, $f_c = 1$, $\text{minLength} = 10$, $\text{maxLength} = 16$, $j_s = 5$
- "Colorist Wash" — Loose, semi-transparent brush strokes. Random jitter is added to R, G, and B color components. $T = 200$, $R = (8,4,2)$, $f = 1$, $f_s = 5$, $a = 5$, $f_c = 1$, $\text{minLength} = 4$, $\text{maxLength} = 16$, $j_s = j_c = 3$
- "Pointillist" — Densely-placed circles with random hue and saturation. $T = 100$, $R = (4,2)$, $f = 1$, $f_s = 5$, $a = 1$, $f_c = 5$, $\text{minLength} = 0$, $\text{maxLength} = 0$, $j_s = 3$. (This is similar to the Pointillist style provided by [22].)



Notion de style

En guise de conclusion

- ✓ le rendu NPR offre:
 - un spectre de représentations et de styles assez large
 - un choix de l'expressivité
- ✓ il mélange des techniques à la fois 2D et 3D
 - questions de cohérence temporelle
- ✓ problèmes ouverts:
 - représentation/capture du style
 - création de nouveaux *modes de représentation*



Références

Dessin au trait 3D

- Interactive pen and ink illustration.* M.Salisbury. Siggraph'95
- Scale dependent reproduction of pen-and-ink illustrations.* M.Salisbury et al. Siggraph'96
- Rendering parametric surfaces in pen and ink.* G. Winkenback, D.Salesin. Siggraph'96
- Real time hatching.* E.Praun et al. Siggraph'01

Dessin à partir d'une image

- Orientable textures for image-based pen and ink illustration.* M.Salisbury et al.
- Digital facial engraving.* V. Ostromoukhov. Siggraph'99.

Couleur

- A non photorealistic light model for automatic technical illustration.* A.Gooch. Siggraph'98

Techniques de peinture

- Computer generated watercolor.* C.J.Curtis et al. Siggraph'97
- Painterly rendering with curved brush strokes of multiple size.* Siggraph'99
- Painterly rendering for animation.* B. Meier. Siggraph'96
- Stylization and abstraction of photographs.* D. DeCarlo, A. Santella. Sig'02

Silhouettes

- Artistic silhouettes: an hybrid approach.* J.D Northrup, L. Markosian. NPAR 2000
- Real time non photorealistic rendering.* L.Markosian et al.

Divers

- Algorithms for rendering in artistic style.* Aaron Hertzmann, PhD Thesis.
- Interactive technical illustration.* B. Gooch et al. ISD 1999.
- Art based rendering of fur, grass and trees.* M Kovalski et al. Siggraph'99
