

Compte rendu : Bruits à variation spatiale en temps réel

Arthur Chateauneuf

April 16, 2025

Contents

1 Introduction

1.1 Contexte du stage

...

1.2 Présentation du sujet et des problématiques

...

1.2.1 Processus Stochastique

...

3 Spike Noise: Approche cas par cas

3.1 Concept

1.2.2 Variation Spatiale

...

1.2.3 Temps réel: utilisations et implications

...

1.2.4 Parrallélisation

1.2.5 Complexité mémoirelle et calculatoire sur GPU

3.2 Non Stationarité

1.2.6 Intégration analytique

2 Travaux précédents

...

2.1 State of the Art in Procedural Noise Functions

...

2.2 Random Phase Textures: Theory and Synthesis

3.3 Intégration

...

2.3 Cyclostationary Gaussian noise: theory and synthesis

...

4 Mappage procédural de priorité : Approche générale de mélange

4.1 Mélange de texture : concept et introduction

La création d'environnements virtuels peut nécessiter des transitions d'aspects sur une même surface. Cependant, les besoins et les restrictions ne permettent pas tout le temps de pouvoir réaliser cet effet manuellement. Dans ce cadre, un mélange est utilisé afin d'utiliser plusieurs textures sur la surface.

Un mélange entre plusieurs textures est composé d'une fonction d'influence (ou transparence) pour chaque entrée, notée α_x pour l'entrée x , ainsi que d'une fonction de mélange, notée M . Un tel processus crée une donnée de sortie résultant d'un mélange biaisé entre toute ces entrées. Le biais du mélange est dicté par la fonction d'influence. Ce dernier doit être borné, de plus, la somme de l'influence de toutes les entrées doit être constante.

$$\alpha_{x_0} \in [0, 1] \quad (1)$$

$$\sum_i \alpha_{x_i} = 1 \quad (2)$$

Lorsque l'influence d'une entrée tend vers le maximum, la fonction de mélange doit alors tendre vers cette entrée.

$$\lim_{\alpha_{x_0} \rightarrow 1} M(x_0, \alpha_{x_0}, \dots, x_n, \alpha_{x_n}) = x_0 \quad (3)$$

La forme la plus répandue de cette opération est le mélange linéaire s'exprimant sous la forme :

$$M^L = \alpha_{x_0} x_0 + \dots + \alpha_{x_n} x_n \quad (4)$$

Si l'on considère les entrées comme des variables aléatoires V_i possédant une espérance $\mathbb{E}[V_i]$ nous pouvons alors utiliser un mélange préservant la variance [FS18], s'exprimant :

$$M^{cov} = M^L(\mathbb{E}[V_0], \alpha_{V_0}, \dots) + \frac{\sum \alpha_{V_i} (V_i - \mathbb{E}[V_i])}{\sqrt{\sum \alpha_{V_i}^2}} \quad (5)$$

Si les entrées possèdent une distribution gaussiennes, l'histogramme de ces dernières est alors également préservé. Maintenir les propriétés statistiques des entrées permet une meilleure qualité visuelle du mélange, en évitant les biais visibles sur une transition.

Dans le cas d'un mélange entre deux entrées, nous ne notons qu'un seul biais $A = \alpha_{x_1}$ car le second peut être déduit de façon triviale par $\alpha_{x_0} = 1 - \alpha_{x_1}$. La fonction de mélange respecte alors les propriétés :

$$\lim_{A \rightarrow 0} M(x_0, x_1, A) = x_0 \quad (6)$$

$$\lim_{A \rightarrow 1} M(x_0, x_1, A) = x_1 \quad (7)$$

Tous les états possibles du mélange peuvent ainsi être représentés par une seule fonction d'influence.

4.2 L'opérateur Mix Max

Romain Fournier et Basile Sauvage ont présentés en 2024 l'opérateur d'influence de mélange MixMax [HN24]. Ce dernier répond à un besoin d'obtenir en temps réel des transitions de textures à la fois nettes et sensibles à leur contenu. Cette méthode se base sur l'existence d'une carte de priorité, donnée pour chaque entrées. Ce mélange est analytiquement filtrable, paramétrable et s'exprime sous la forme :

$$A = \Phi \frac{(S_0(\mathbb{P}) + P_0(\mathbb{P})) - (S_1(\mathbb{P}) + P_1(\mathbb{P}))}{\sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_1^2 + \lambda_0^2 + \lambda_1^2}} \quad (8)$$

Avec $S_i(\mathbb{P})$ la moyenne de l'entrée i sur la zone \mathbb{P} , $P_i(\mathbb{P})$ la moyenne de la carte de priorité de l'entrée i sur la même zone, σ_i l'écart-type de l'entrée i , λ_i le décalage de la variance de l'entrée i (utilisée afin de contrôler la netteté de la transition) et Φ un facteur de lissage calculé à partir de la différence entre les priorités (en application, il est approximé à partir d'une loi gaussienne).

4.3 Apports pour les processus stochastiques en niveau de gris

Une transition entre des processus stochastiques procéduraux permet de créer une infinité de bruits variant spatialement. Cependant, les mélanges existants pour ces processus, comme l'influence linéaire, apportent une pauvre qualité visuelle. L'application d'un mélange sensible au contenu dans ce cadre permettrait d'obtenir des résultats temps réels similaires à celle de l'opérateur Mix-Max tout en exploitant les priorités de tels processus, notamment en étant non borné. Un tel apport, à notre connaissance, n'a encore jamais été étudié.

Dans le papier de Fournier et Sauvage, cette fonction d'influence n'est utilisée que sur des textures matricielles possédant une carte de priorité déjà existante. Nous proposons une fonction de calcul temps réel de la priorité d'un processus stochastique, ainsi qu'un nouvel opérateur d'influence inspiré des principes du Mix-Max plus adapté à notre cas d'utilisation.

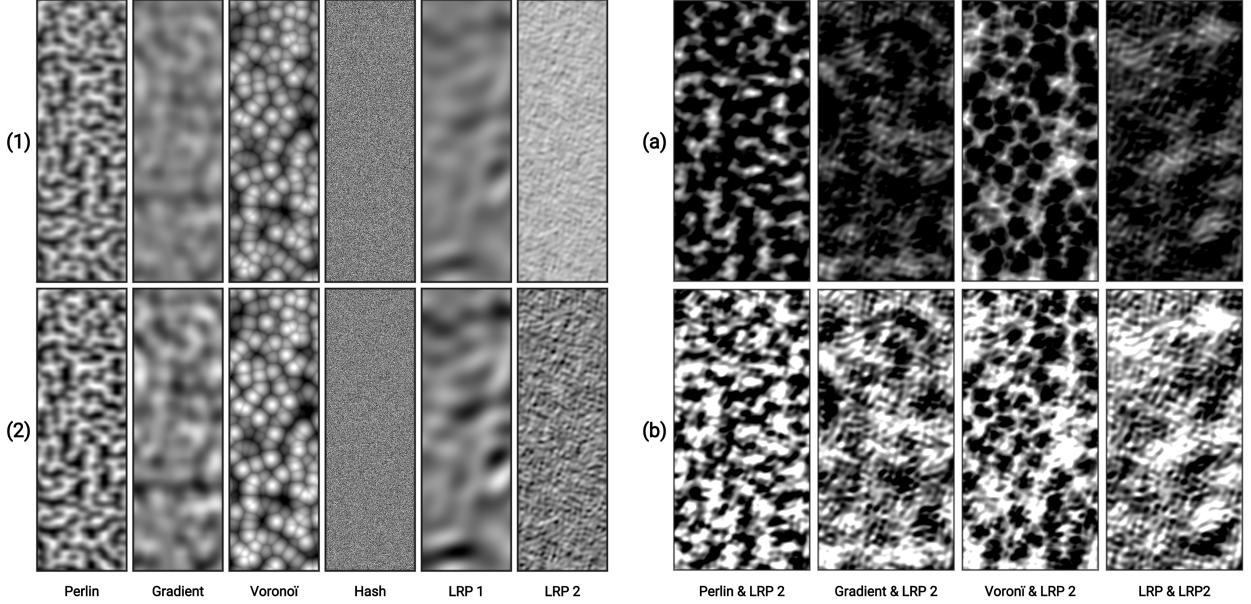


Figure 1: Comparaison entre les processus stochastiques originaux (1) et les résultats donnés par la fonction de priorité (2). Les niveaux de gris originaux (1) sont compris entre 0 (noir) et 1 (blanc) tandis qu'ils sont représentés la ligne (2) dans l'intervalle -1 (noir) à +1 (blanc).

Figure 2: Résultats de notre fonction d'influence avec un biais d'entrée de 0.5 sans correction de la priorité (a) et après réhaussement de la priorité (b). Nous observons à la ligne (b) une fréquence de présence similaires entre les processus, peut importe leur propriétés statistiques.

4.4 Estimation de la priorité d'un processus stochastique

Un processus stochastique possède une intensité à chaque endroit de l'espace, une carte de priorité sensible à ce dernier possèderait une intensité directement corrélée à l'intensité du bruit. Une première approche pourrait être d'utiliser l'intensité du bruit en tant que priorité. Les motifs et composantes du bruit ressortiraient ainsi lors du mélange. Le problème de cette approche est qu'un bruit très lumineux ou très sombre auraient une priorité disproportionnée dans le mélange, comme visible dans la figure ???. Des valeurs extrêmes peuvent même entraîner la carte de priorité à briser les priorités vus à l'équation (??).

Nous proposons une solution, notée \mathcal{P} , de priorité procédurale utilisant les propriétés statistiques d'un processus stochastique donné afin d'en extraire une carte de priorité respectant l'intensité du bruit, le tout en ayant une intensité correctement répartie entre $[-1, 1]$ pour n'importe quelle entrée. Cette méthode s'apparente à l'approximation d'un étalement d'histogramme utilisant l'espérance \mathbb{E} et l'écart-type σ d'une variable aléatoire V .

$$\mathcal{P}^{\pm 1}(V) = \pm \begin{cases} -1, & \text{Si } V < \mathbb{E}[V] - \sqrt{\sigma[V]} \\ +1, & \text{Si } V > \mathbb{E}[V] + \sqrt{\sigma[V]} \\ \frac{V - \mathbb{E}[V]}{\sqrt{\sigma[V]}}, & \text{Sinon} \end{cases} \quad (9)$$

Cette méthode donnera des bornes d'étalements, ie les bornes de l'intervalle d'intensité dans l'entrée qui sera converti à $[-1, 1]$ dans la sortie, centrés sur $\mathbb{E}[V]$ et d'intervalle $2\sqrt{\sigma[V]}$.

$$\lim_{V \rightarrow \mathbb{E}[V] - \sqrt{\sigma[V]}} \mathcal{P}(V) = -1 \quad (10)$$

$$\lim_{V \rightarrow \mathbb{E}[V] + \sqrt{\sigma[V]}} \mathcal{P}(V) = +1$$

Dans la figure ???, nous observons que la correction de contraste obtenue avec cette méthode est équilibré sur tous les processus que nous avons pu tester.



figures/MixMax_Range_Smoothness_Alpha.png

Figure 3: Résultats du mélange entre Voronoï et Local Rando Phase (LRP) en fonction de l'étendue r pour une valeur de lissage de 0 (a), de 0.5 (b) et de 1.0 (c). Les entrées du mélange ont été colorés afin d'améliorer la visibilité. Nous montrons également les résultats de la fonction d'influence dans le quart inférieur des cellules.

4.5 Nouvel opérateur d'influence équilibré et paramétrable

Nous proposons un opérateur d'influence \mathcal{A} entre deux processus stochastiques V_0 et V_1 basé sur les principes du MixMax, simplifiant la formule donnée dans le papier original [HN24] grâce aux propriétés obtenues par notre fonction de priorité procédurale.

$$\mathcal{S}_a^b(x) = \begin{cases} 0, & \text{Si } x < a \\ 1, & \text{Si } x > b \\ 3\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^3 & \text{Sinon} \end{cases}$$

$$\mathcal{A}_s^r(V_0, V_1, \alpha) = \mathcal{S}_{-s}^{+s} \left(\frac{\mathcal{P}^{\pm 1}(V_0) + \mathcal{P}^{\pm 1}(V_1)}{2} + \alpha \left(s + \frac{1}{r} \right) \right) \quad (11)$$

Cette fonction utilise un biais linéaire α , une valeur de lissage s strictement positive ainsi qu'un niveau de portée r compris dans l'intervalle $]0, 1]$. Nous montrons l'impact de ces paramètres sur le mélange dans la figure ??.

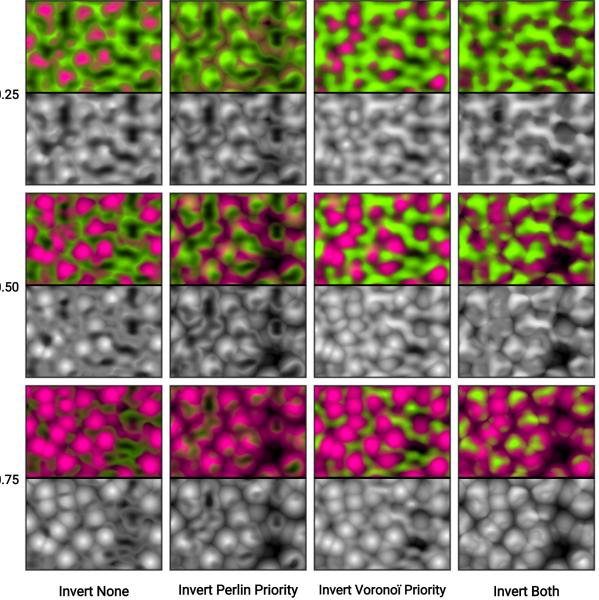


Figure 4: Résultats du mélange entre Voronoï et Perlin en fonction du biais d'entrée α (lignes) et les directives d'inversions de priorités données à la fonction d'influence (colonnes). Nous remarquons que lorsqu'une seule des priorités est inversée, des biais statistiques deviennent visibles.

Chacune des deux fonction de priorité peut être inversée individuellement. Dans le cadre de notre priorité procédurale, cela signifie que les intensités sombres deviendront prioritaires. Les différences visuelles qu'impliquent ces inversions sont visibles sur la figure ??, où nous remarquons que le mélange préserve les mêmes type d'intensité pour chaque bruit lorsqu'une seule des intensités est inversé. Cela entraîne la transition à être plus sombre ou plus lumineuse que la moyenne des intensités des entrées du mélange. Les autres cas d'inversions, quant à eux, gardent un meilleur équilibré de contraste sur la transition.

Pour finir, l'utilisation de la fonction \mathcal{S} , dite de transition douce, permet d'obtenir de meilleures transitions entre les entrées. Cette fonction représente une transition non linéaire entre deux valeurs respectant le principe d'atténuation en sortie et en entrée. Ce principe est régulièrement utilisé dans l'animation ou la création de transitions visuelles. Cette fonction peut être remplacée par n'importe quel autre polynôme respectant les propriétés d'une transition. Cependant, dans notre MixMax, nous utiliseront la fonction \mathcal{S} pour sa pertinence dans la création de transitions nettes.

4.6 Démonstration de l'intégration

References

- [FS18] Romain Fournier and Basile Sauvage. “Mix-Max: A Content-Aware Operator for Real-Time Texture Transitions”. In: (2018). URL: <https://hal.inria.fr/hal-01824773/document>.
- [HN24] Eric Heitz and Fabrice Neyret. “High-Performance By-Example Noise using a Histogram-Preserving Blending Operator”. In: *COMPUTER GRAPHICS forum* (2024). URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/cgf.15193>.