

Les textures

GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique
Jean-François Lalonde

Crédit photo: Enchantedgal-Stock, [deviantart.com](https://www.deviantart.com), merci à Derek Hoiem



Les textures

Introduction aux textures

GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique
Jean-François Lalonde

Crédit photo: Enchantedgal-Stock, [deviantart.com](https://www.deviantart.com), merci à Derek Hoiem

Qu'est-ce qu'une texture?



Qu'est-ce qu'une texture?



Qu'est-ce qu'une texture?



stuff vs things

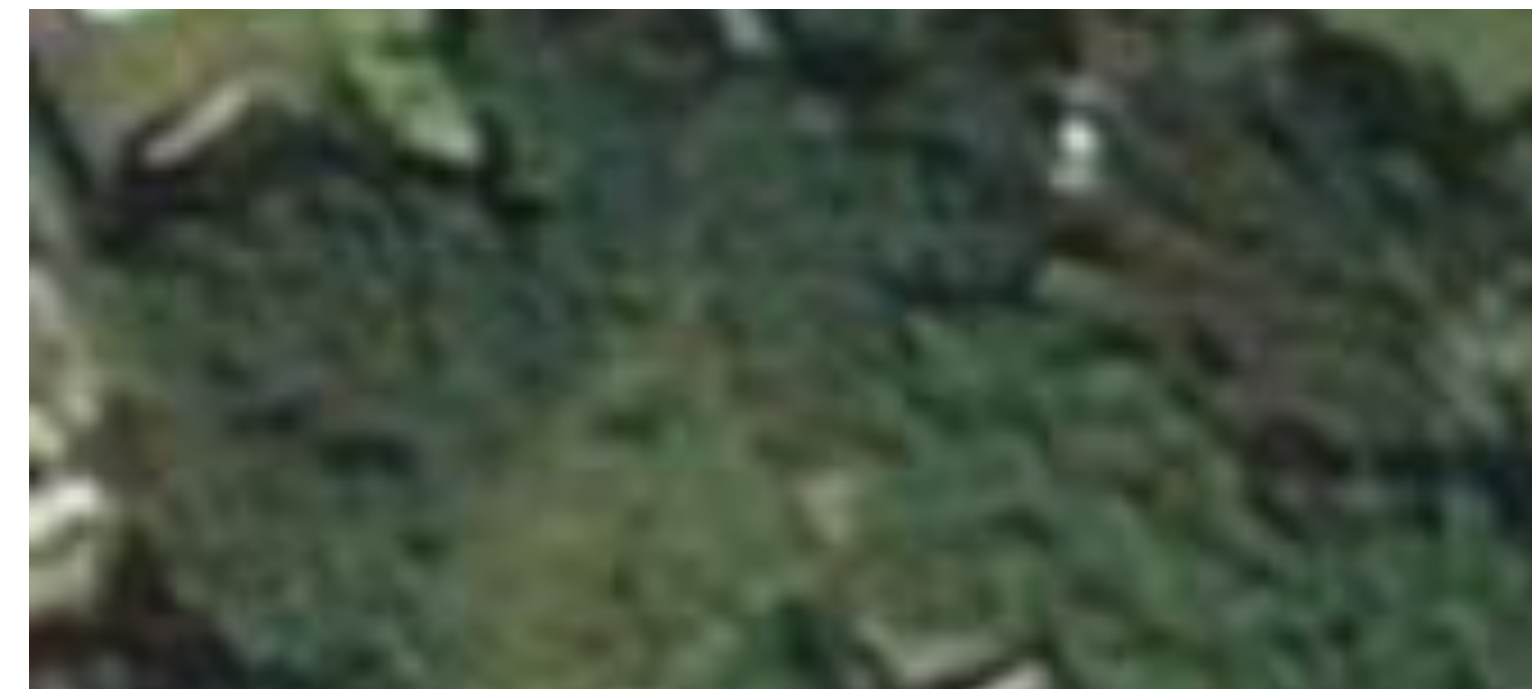
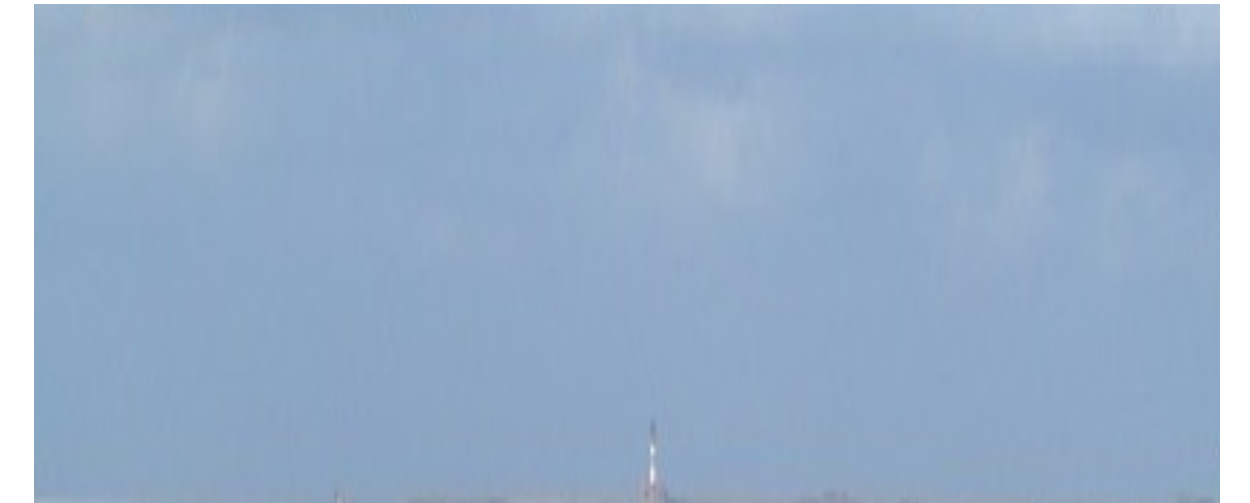
Thing (objets)

Objet qui possède une taille et une forme spécifiques

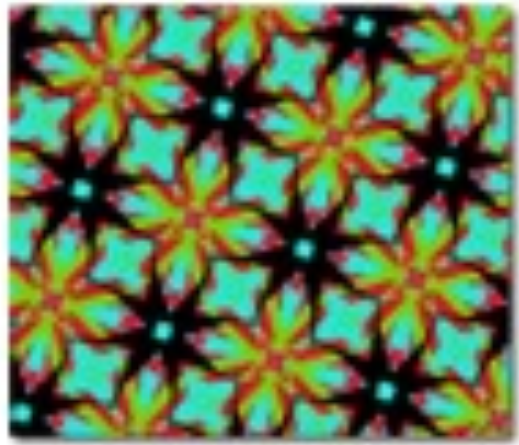


Stuff (choses)

Matériau défini par une distribution relativement homogène de propriétés, sans toutefois posséder de forme ou de taille spécifique

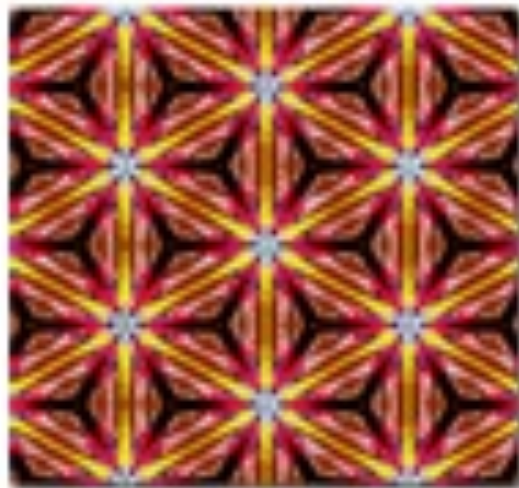
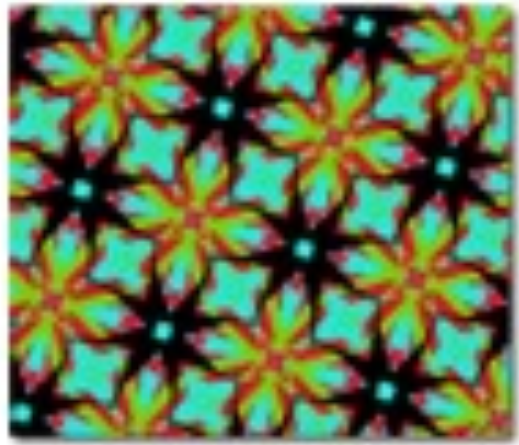


Types de textures



Régulières

Types de textures

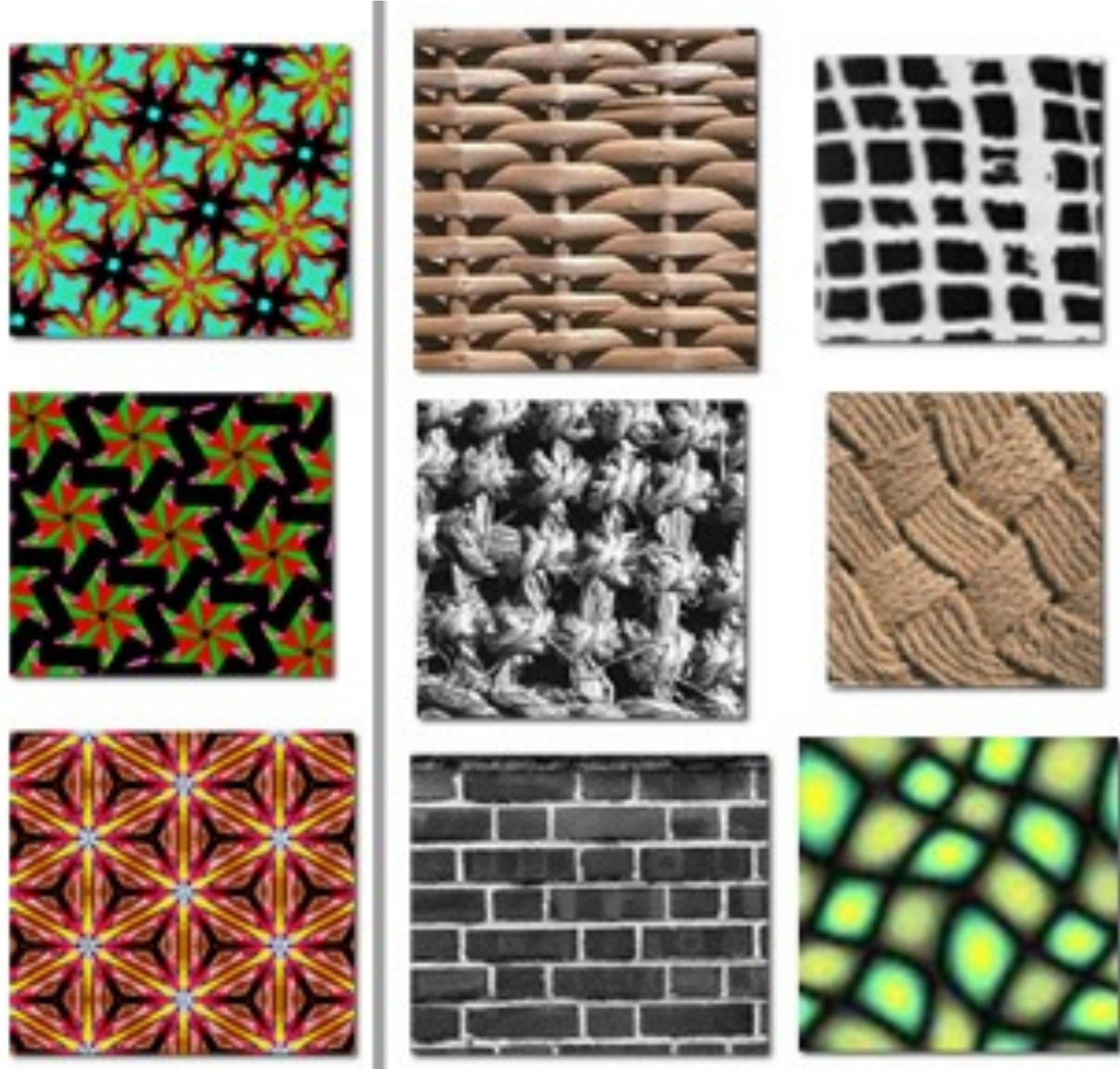


Régulières



Stochastiques

Types de textures



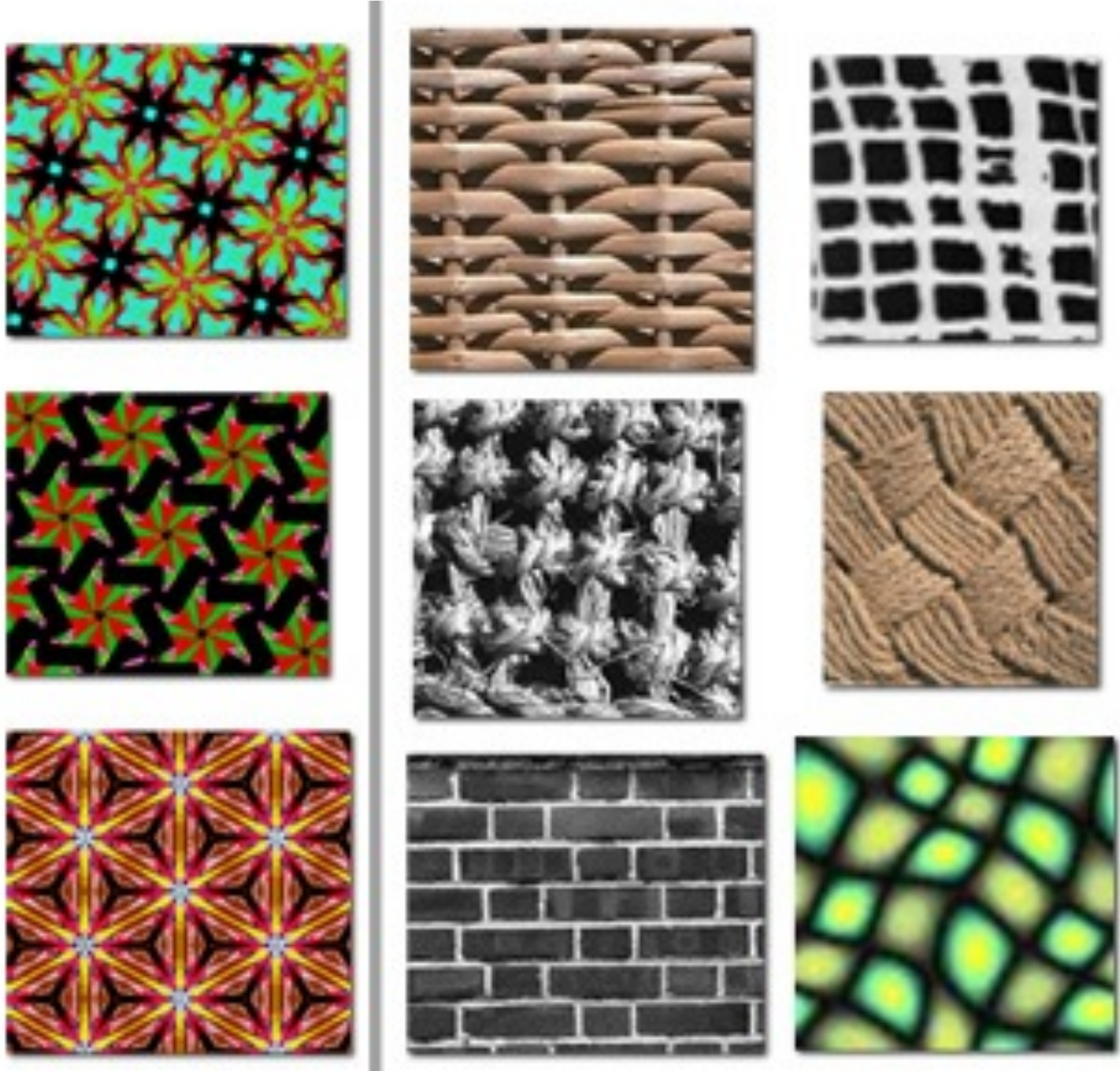
Régulières

Quasi-régulières



Stochastiques

Types de textures



Régulières

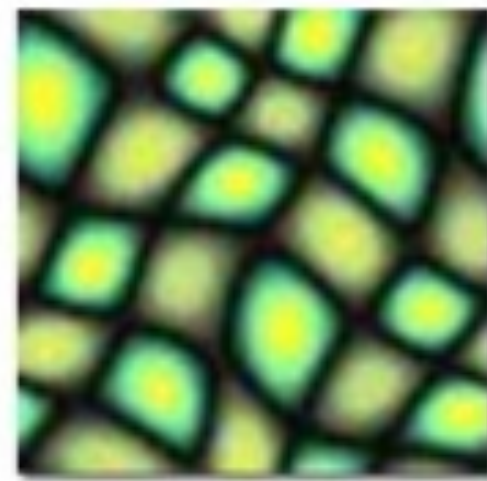
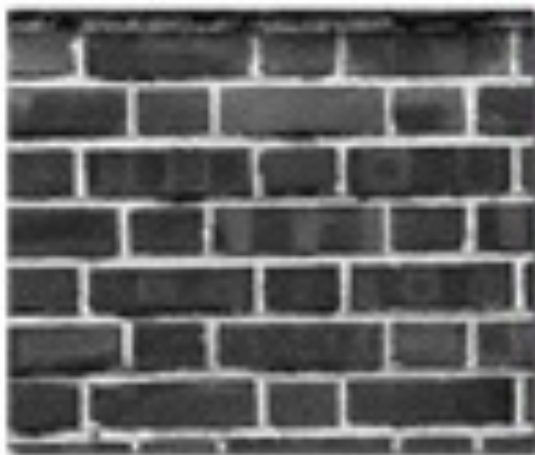
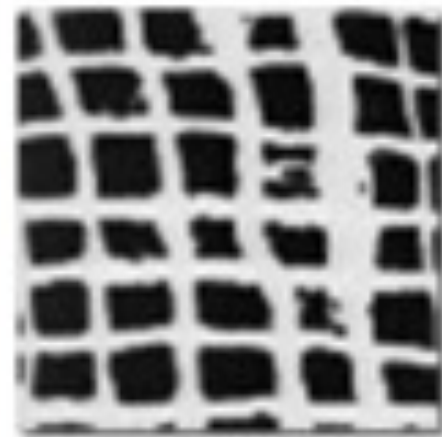
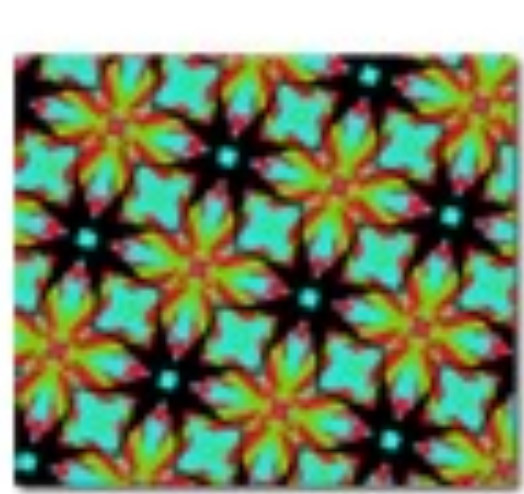
Quasi-régulières



Quasi-stochastiques

Stochastiques

Types de textures



Régulières

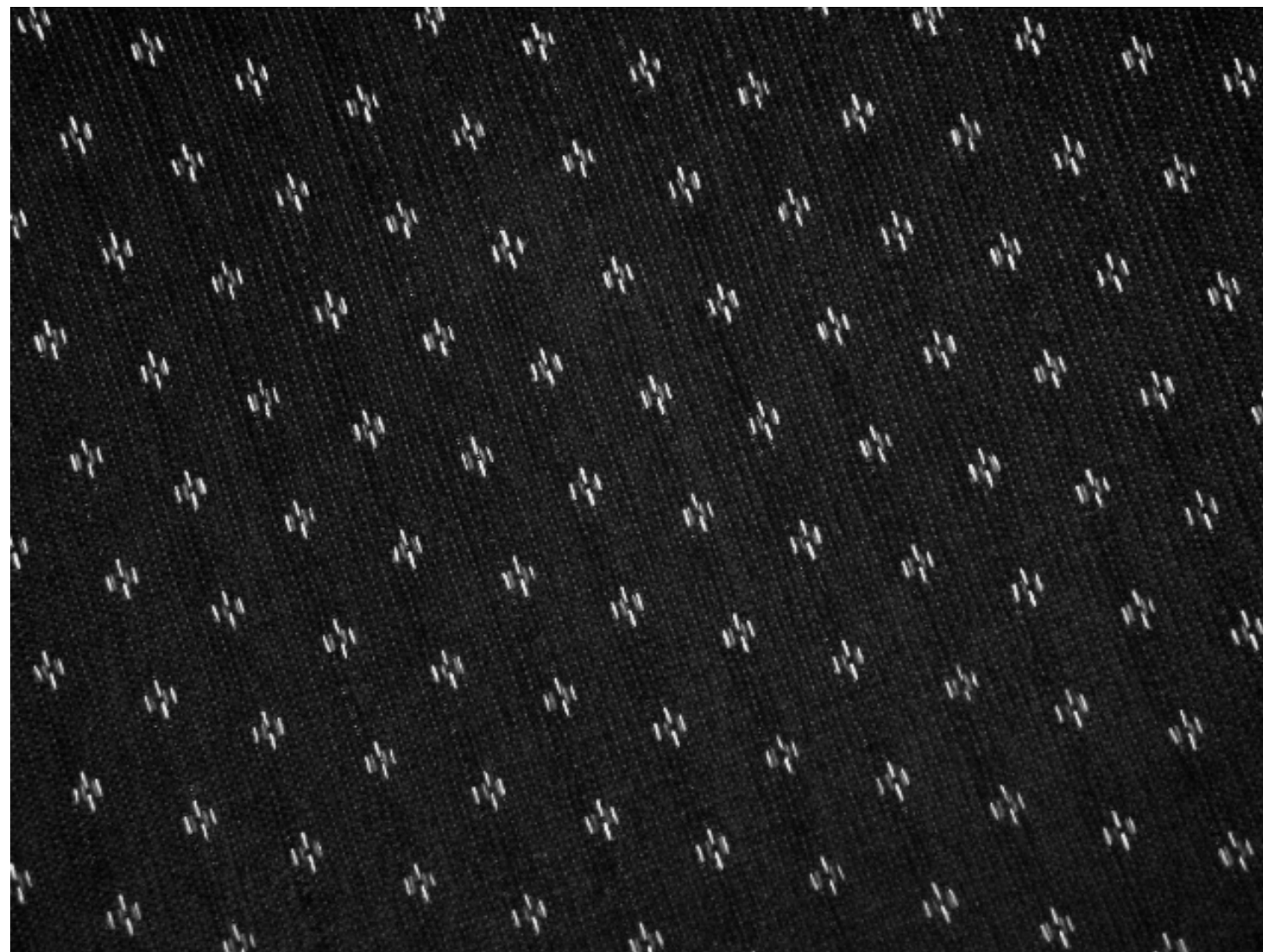
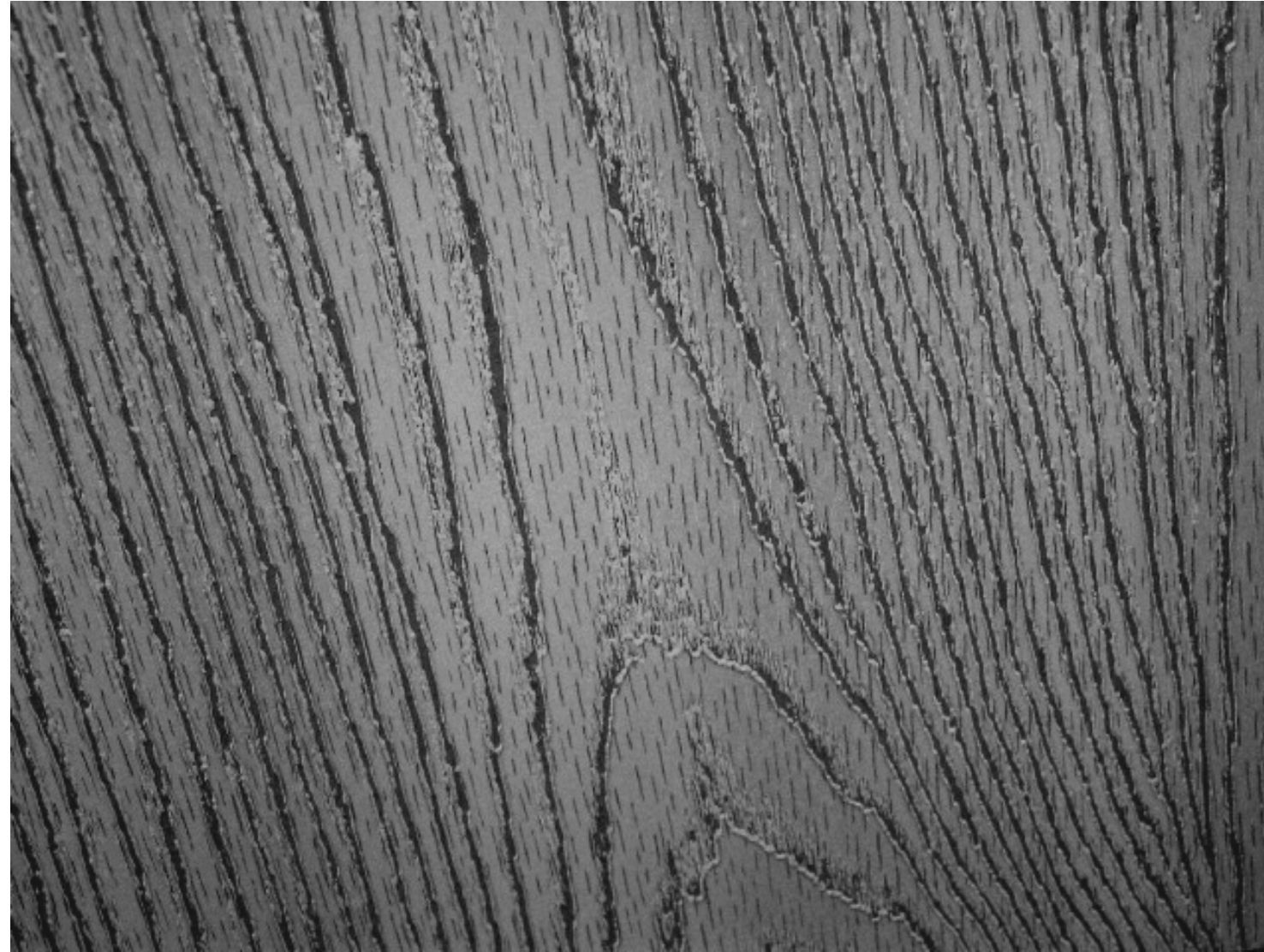
Quasi-régulières

Irrégulières

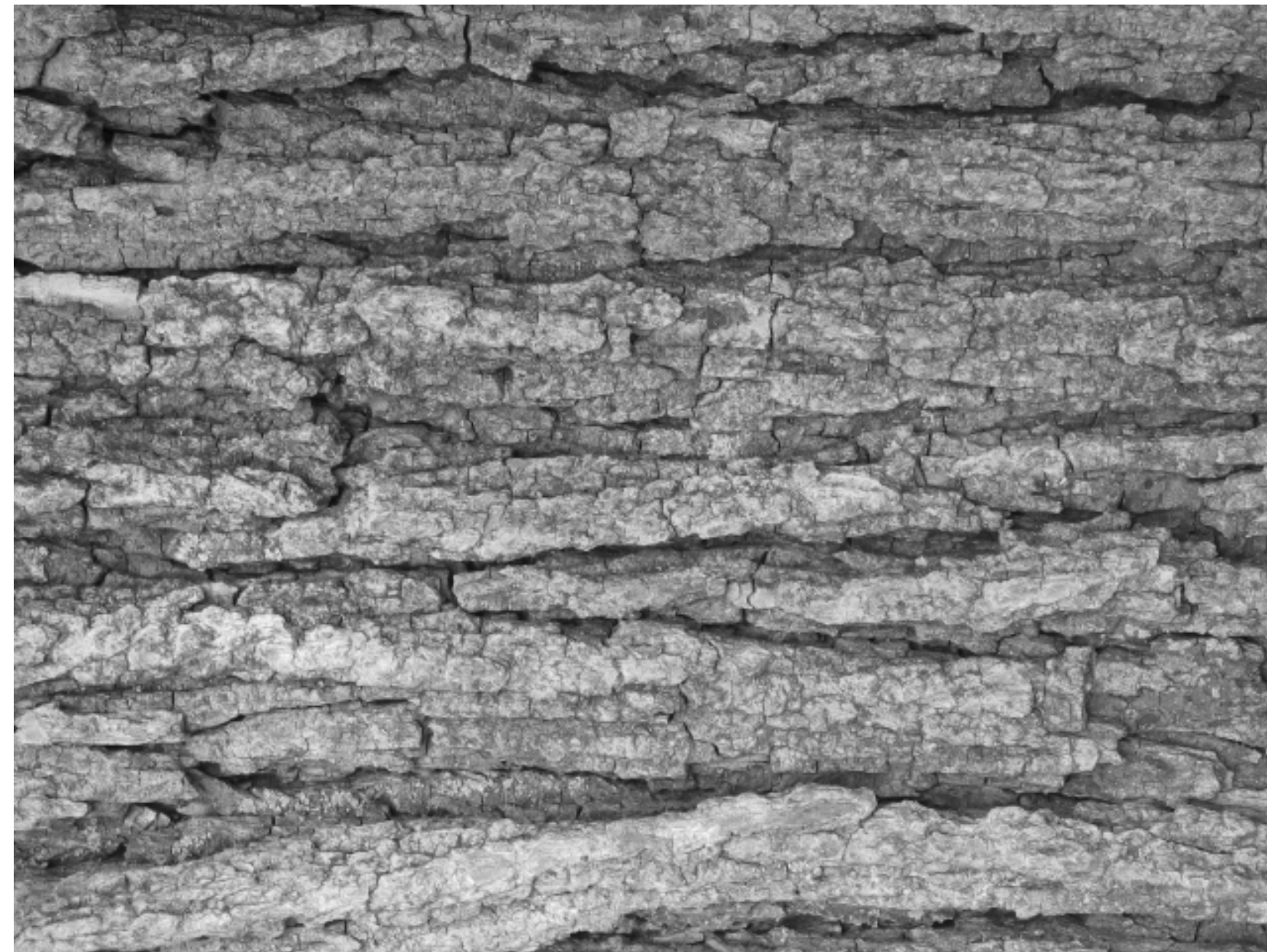
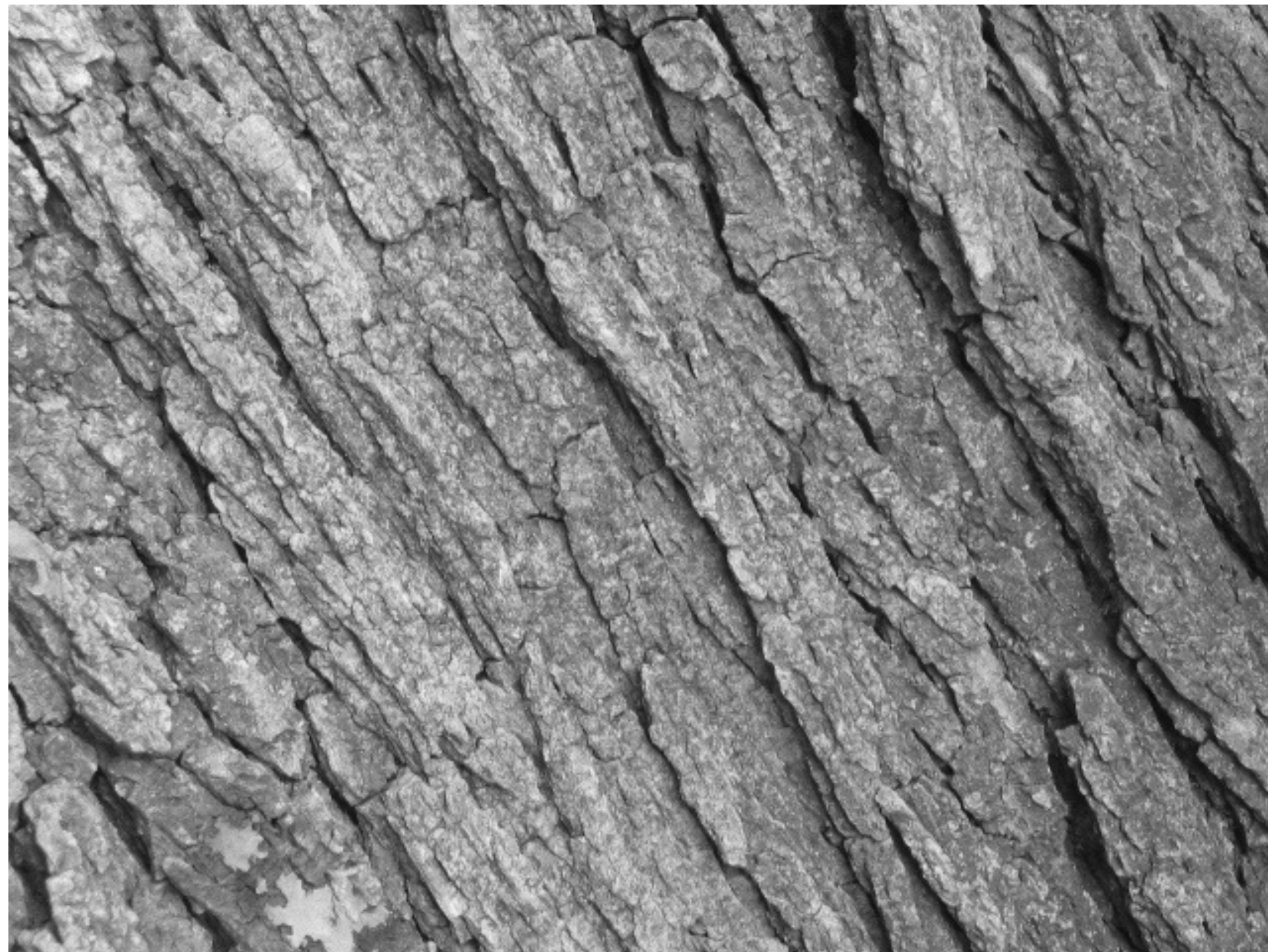
Quasi-stochastiques

Stochastiques

Textures : surfaces



Textures : orientation



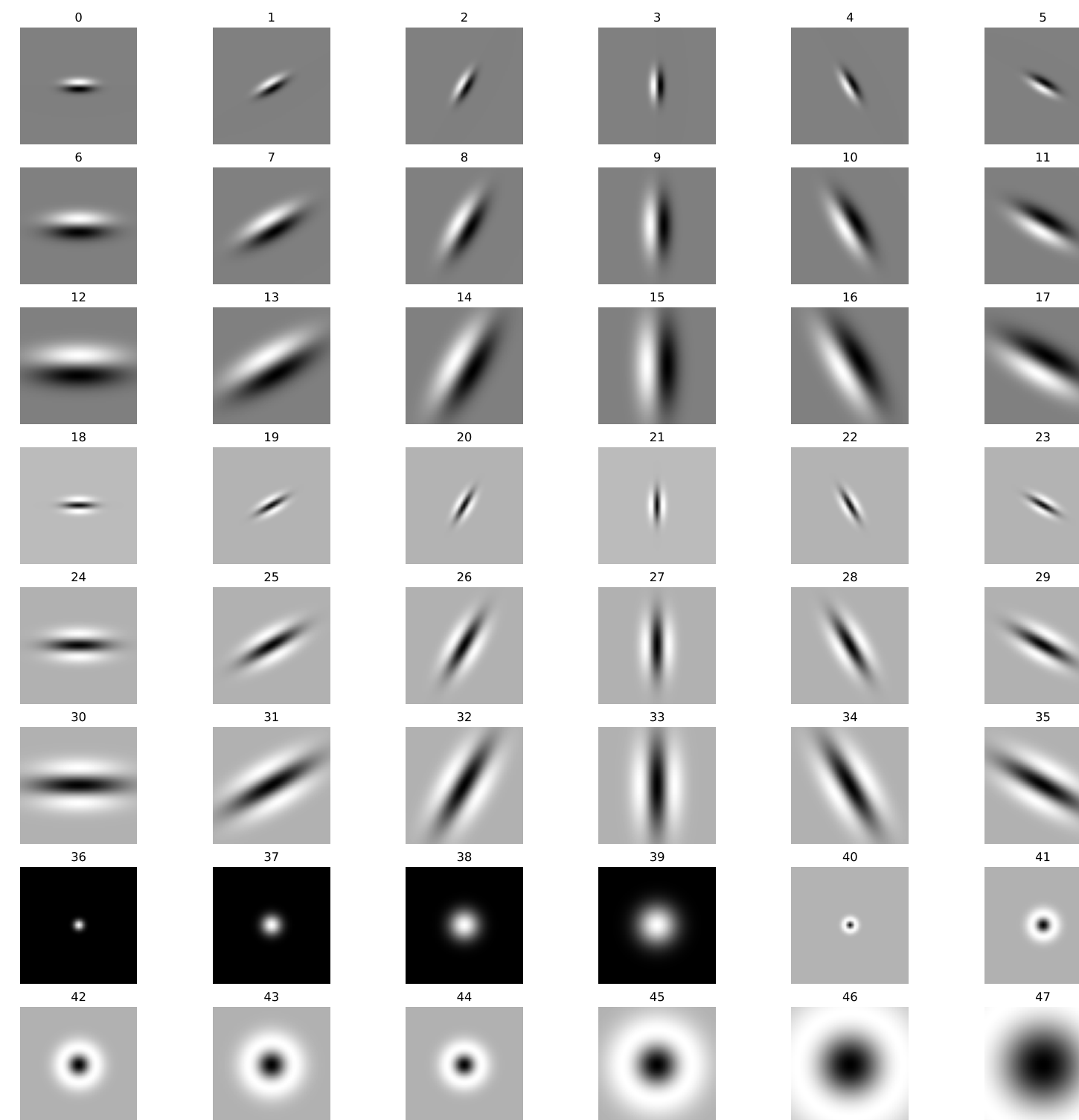
Textures : échelle



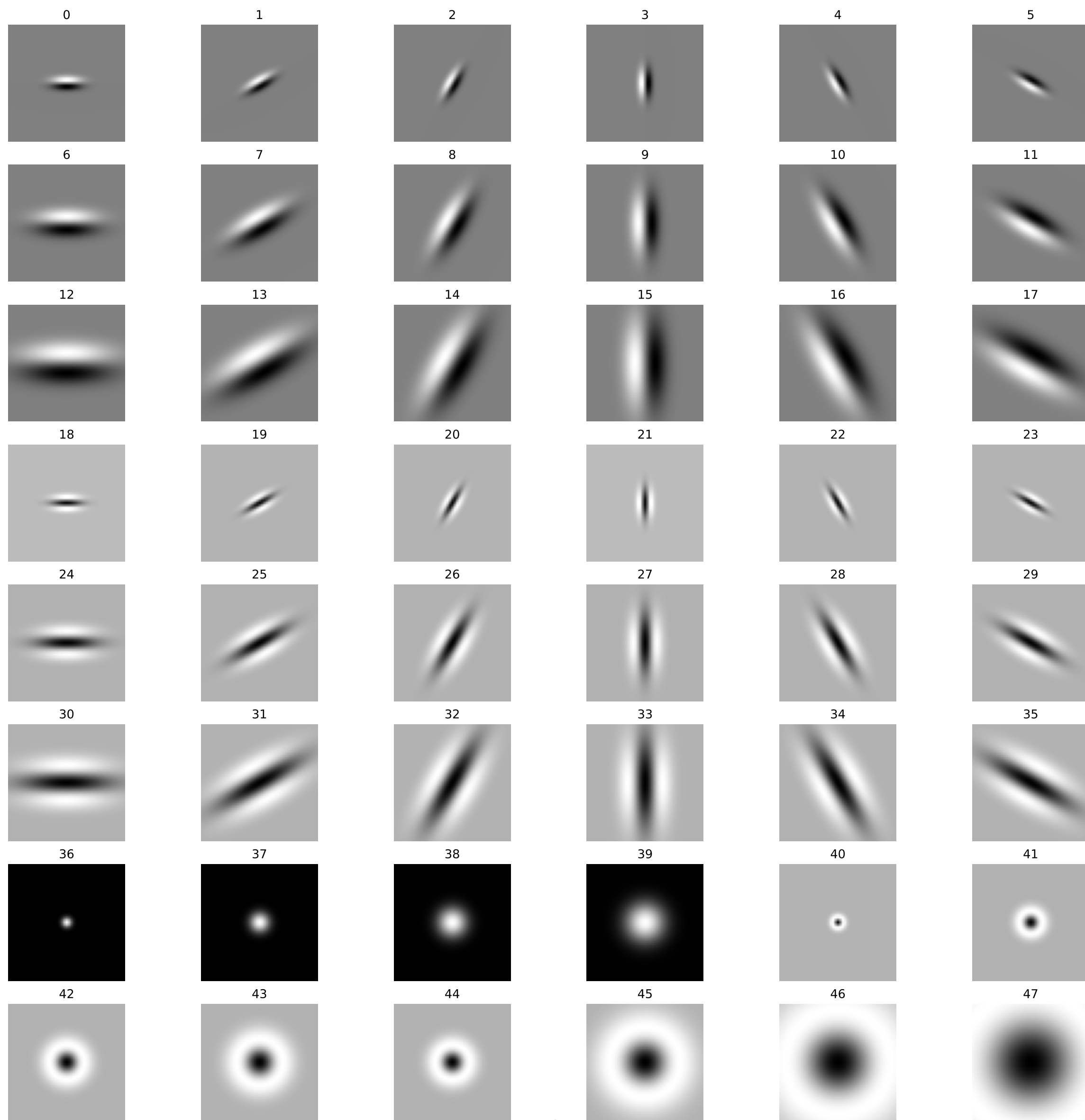
Comment peut-on la représenter?

- Calculer les caractéristiques des arêtes à différentes orientations, et à différentes échelles
- Calculer statistiques simples (e.g. moyenne, écart-type, etc.) des réponses

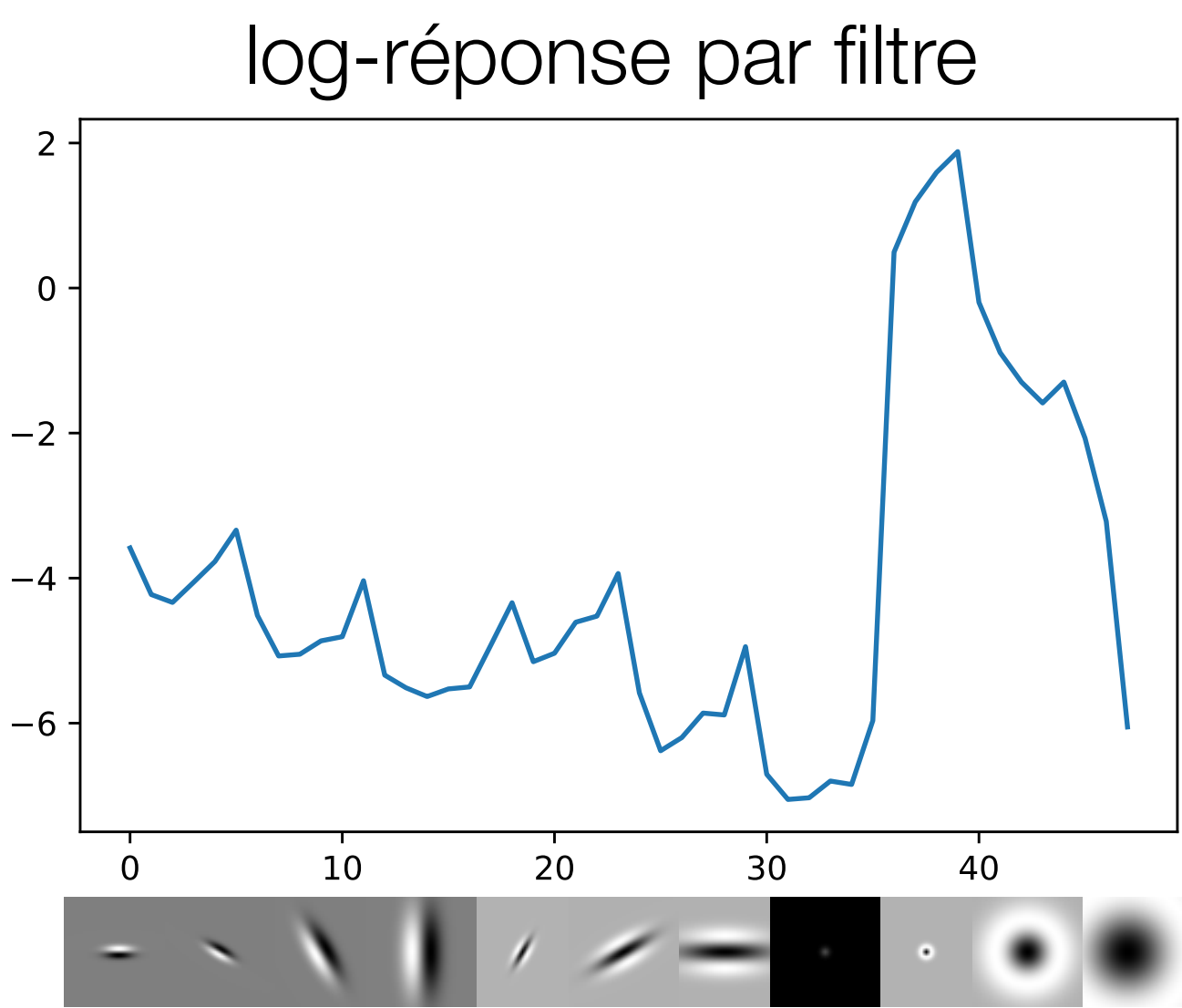
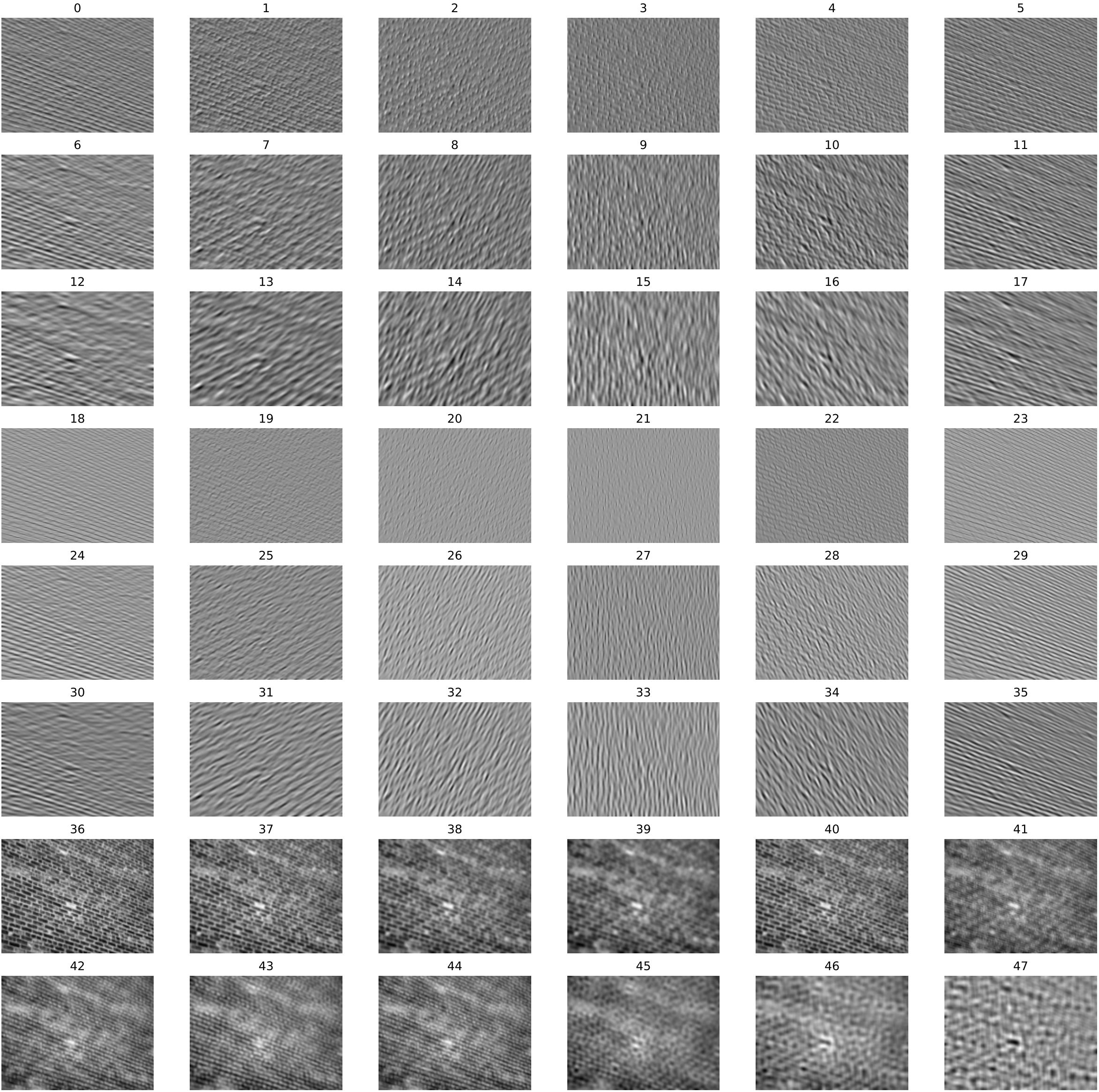
banque de filtres de « Leung-Malik »



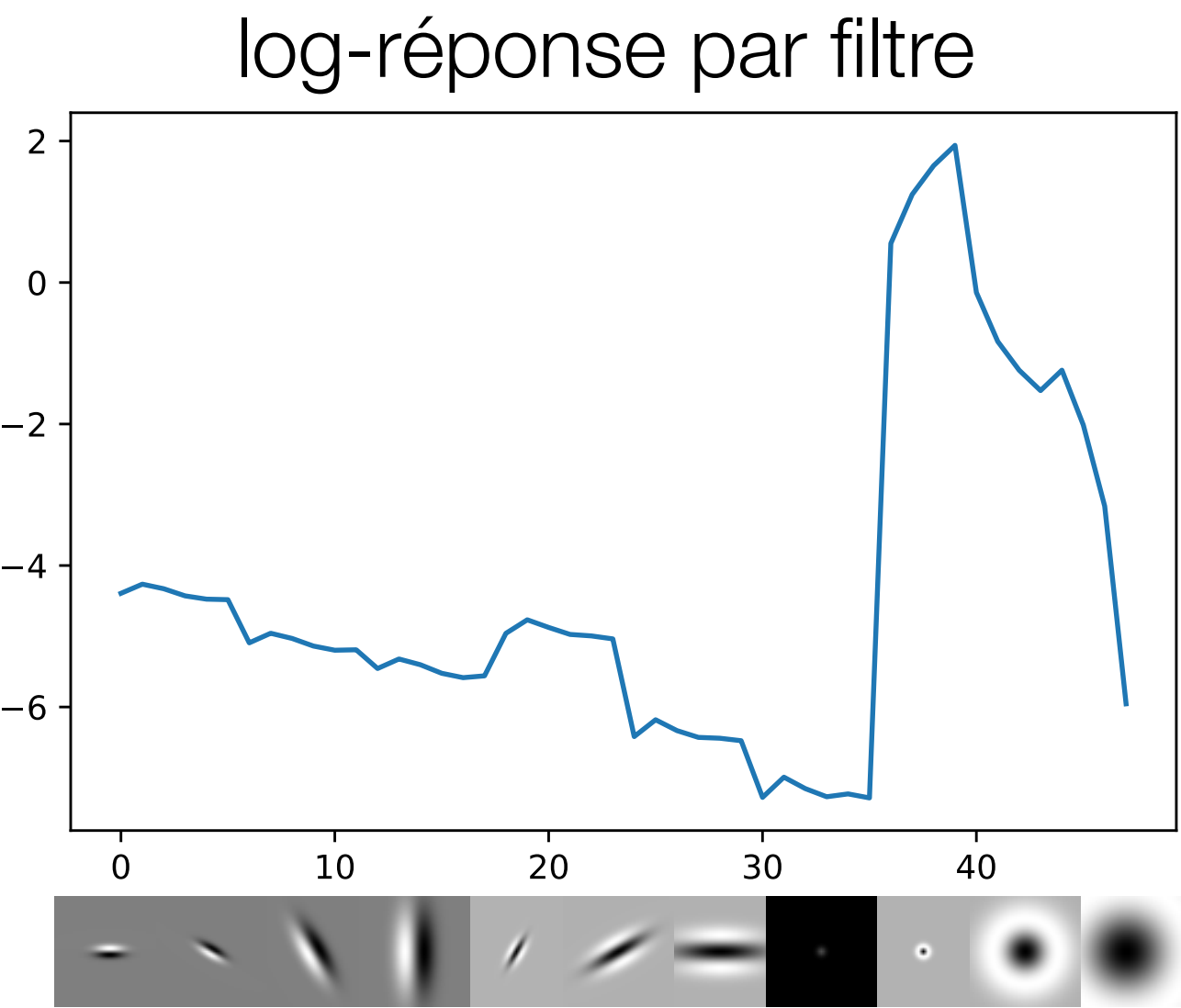
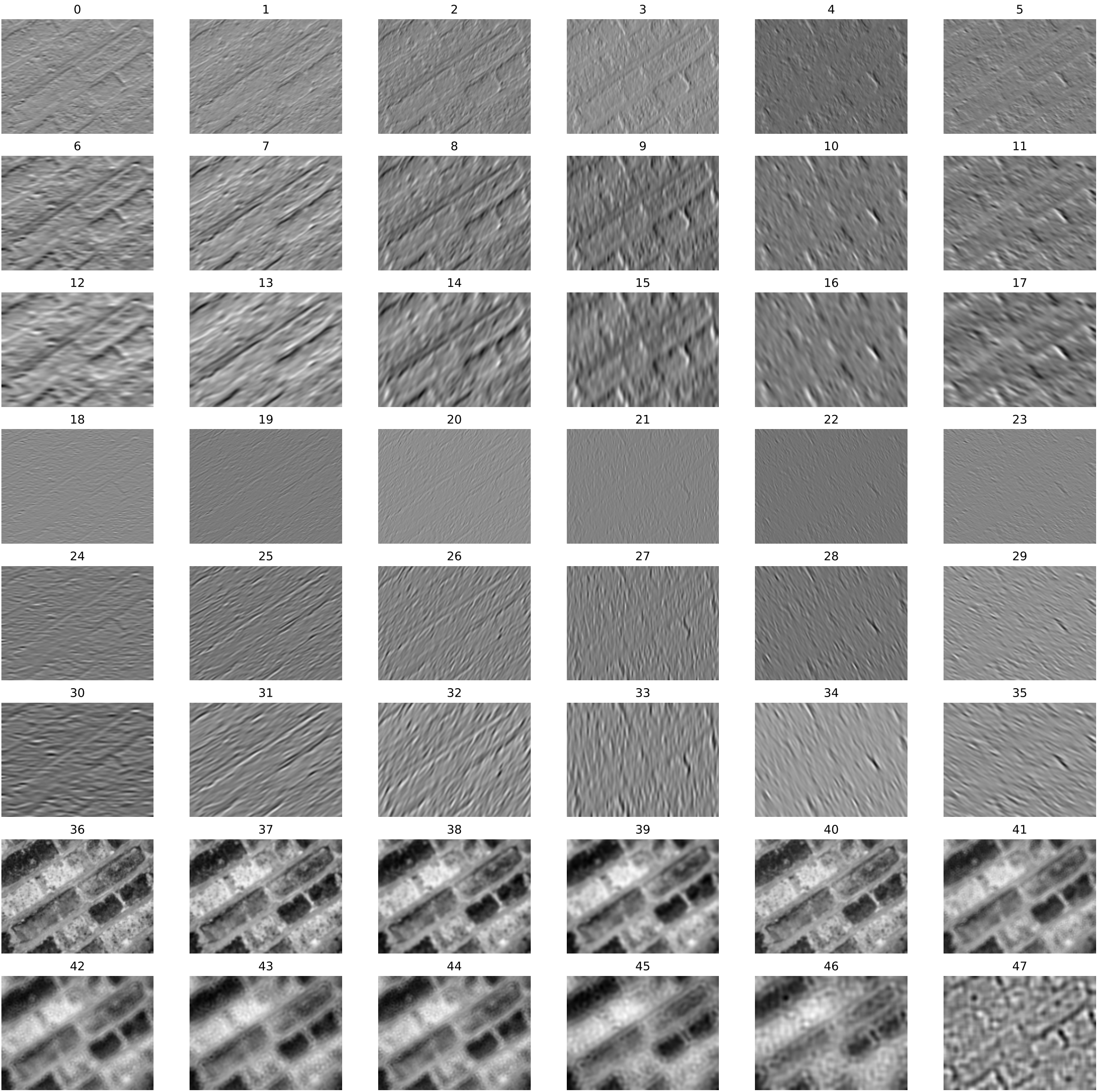
Banque de filtres



Banque de filtres



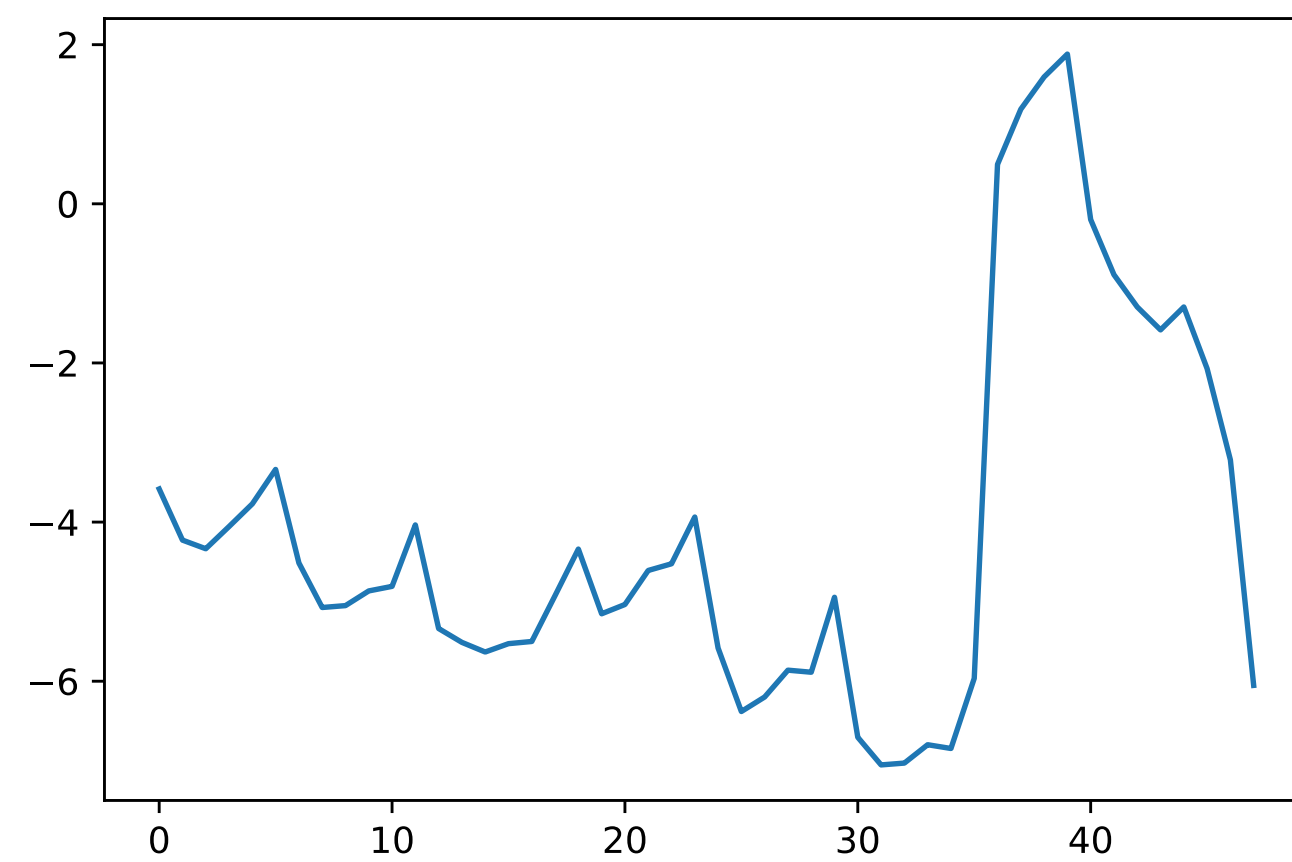
Banque de filtres



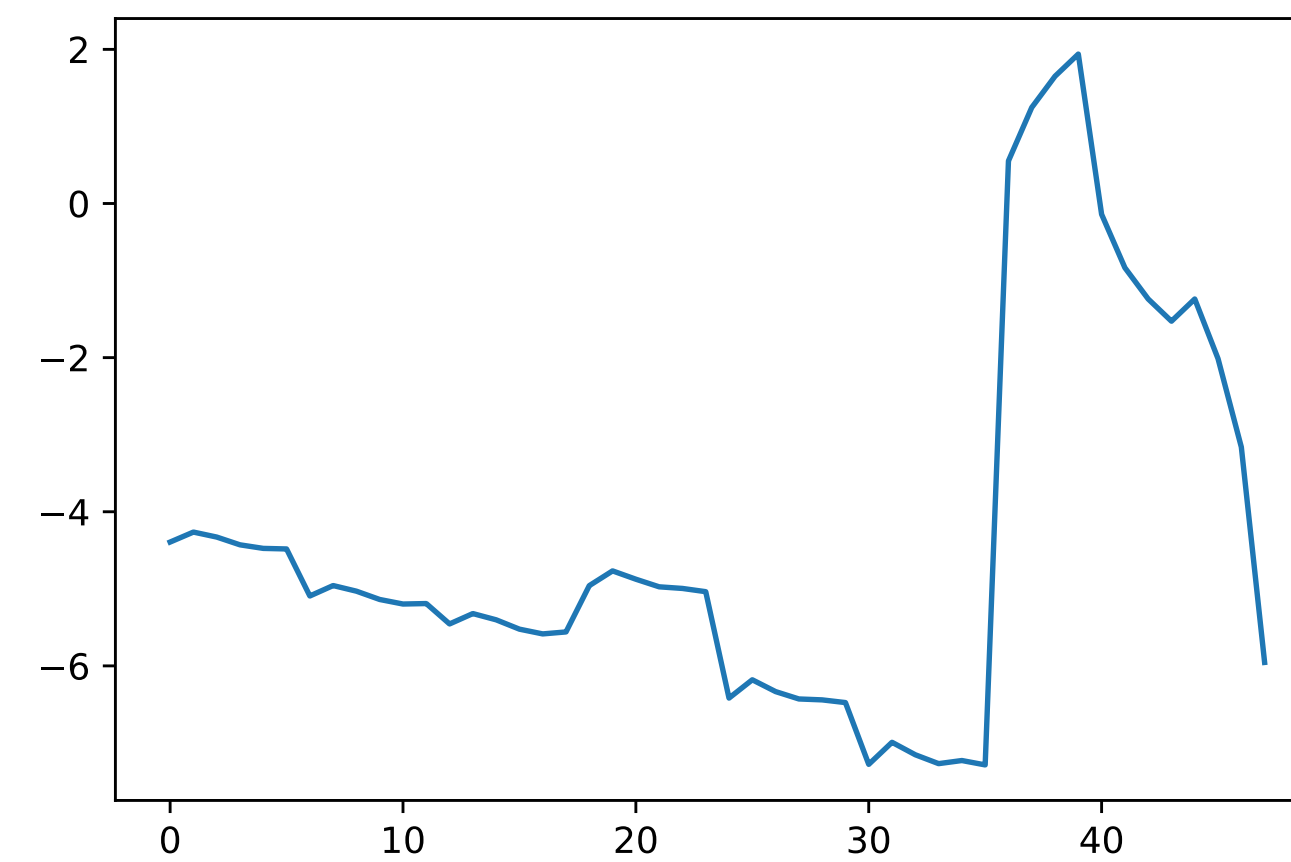
Banque de filtres



log-réponse par filtre

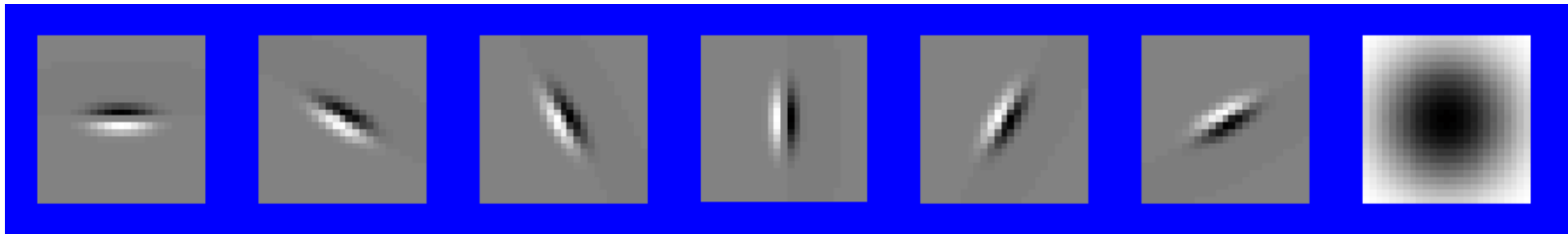


log-réponse par filtre

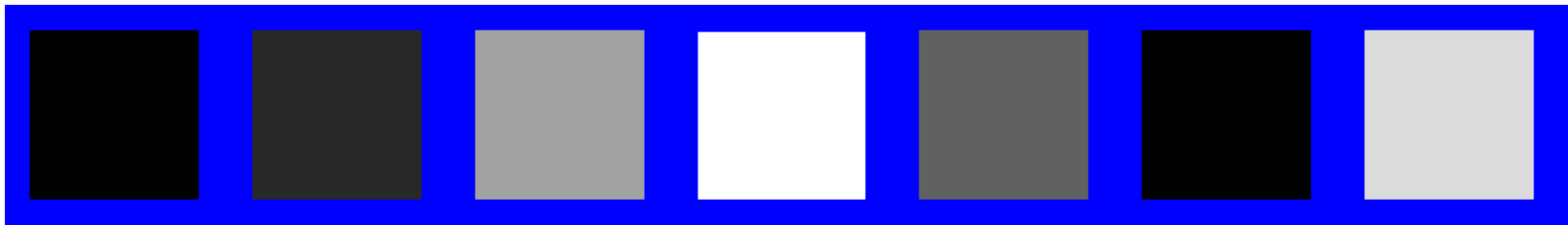


Associez les textures aux filtres

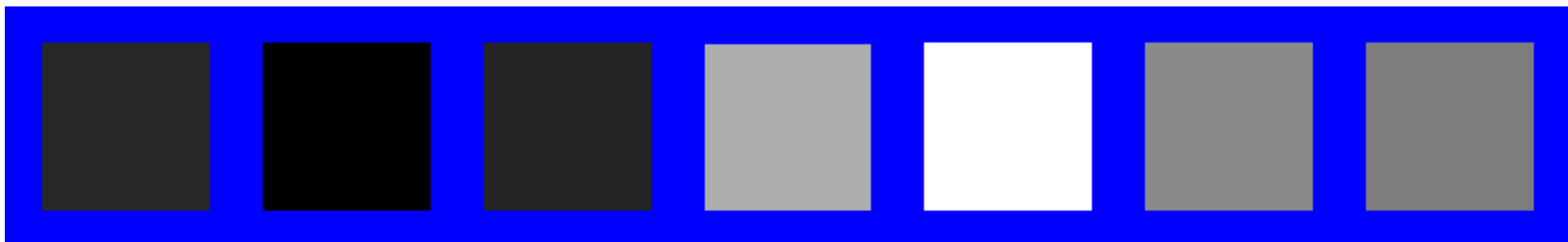
Filtres



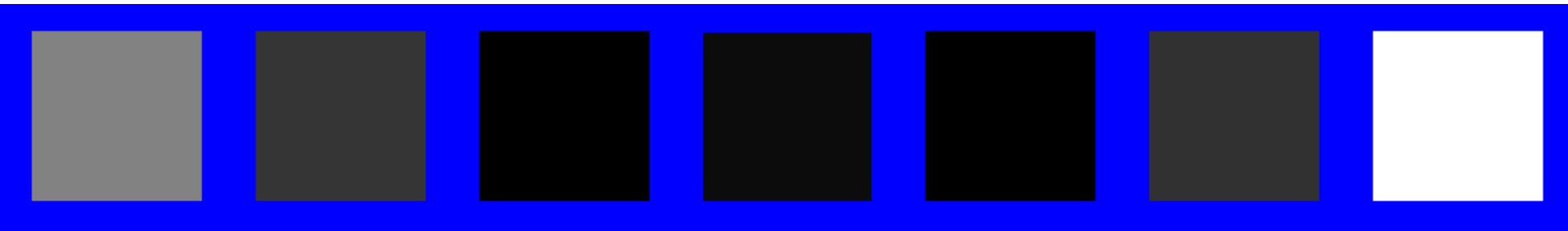
1



2

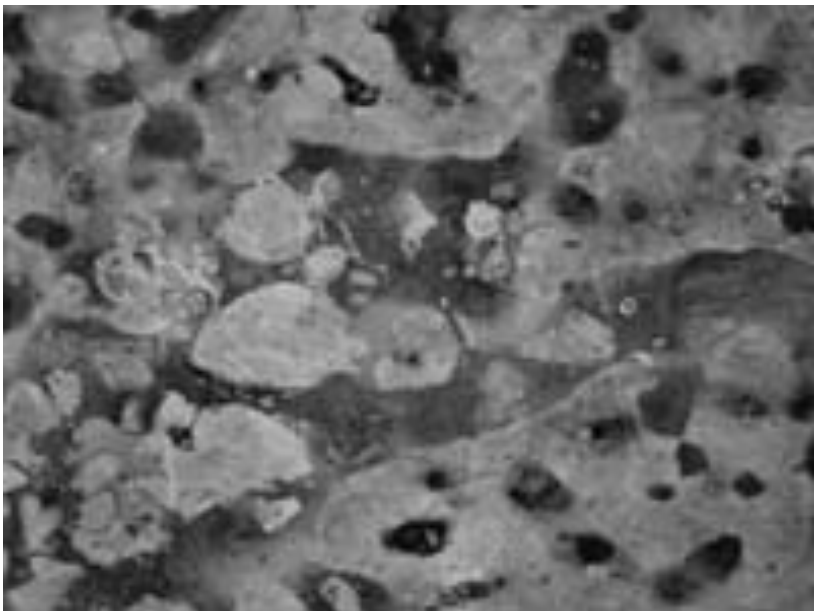


3



Réponse (valeur absolue)

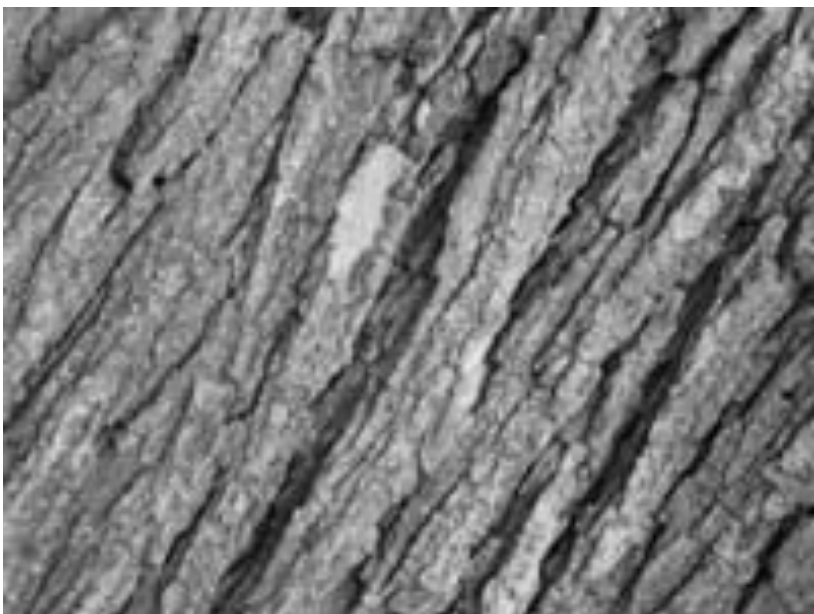
A



B

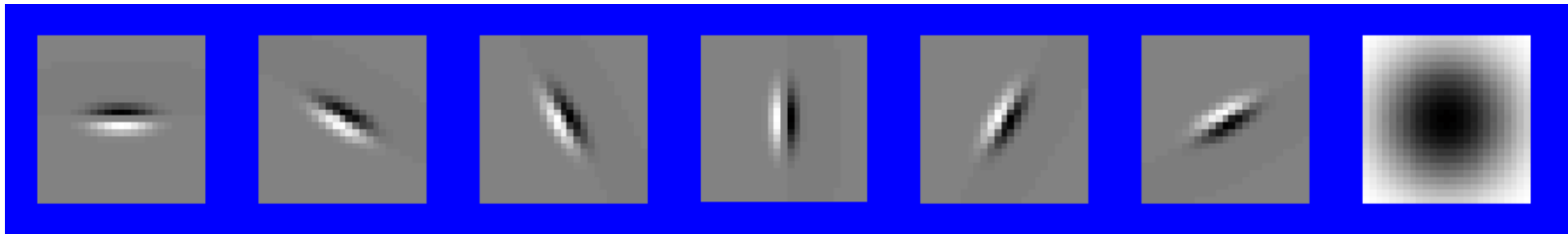


C

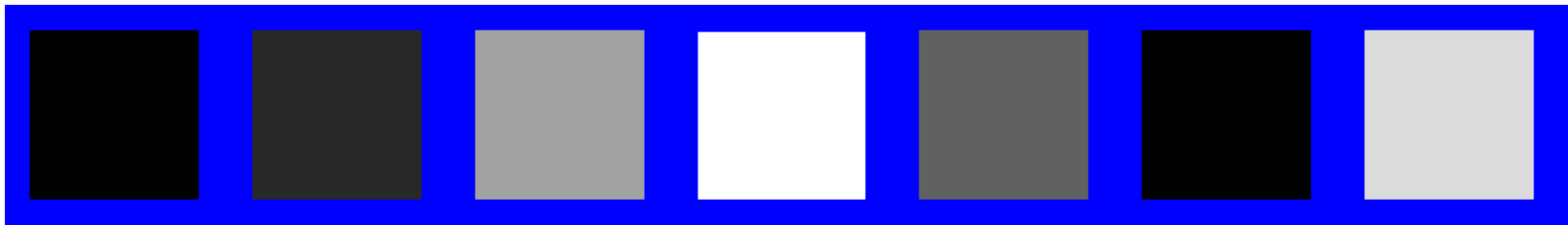


Associez les textures aux filtres

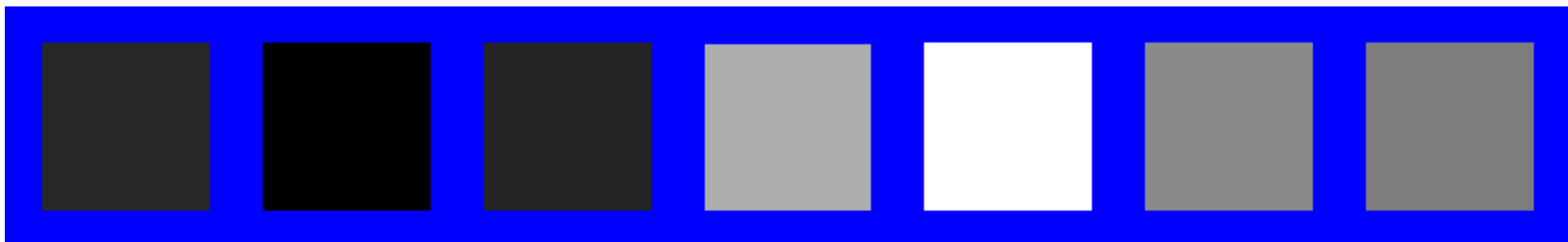
Filtres



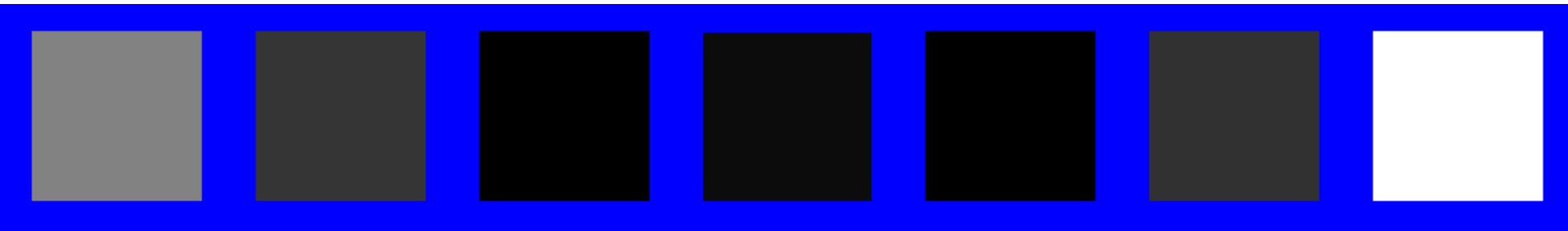
1



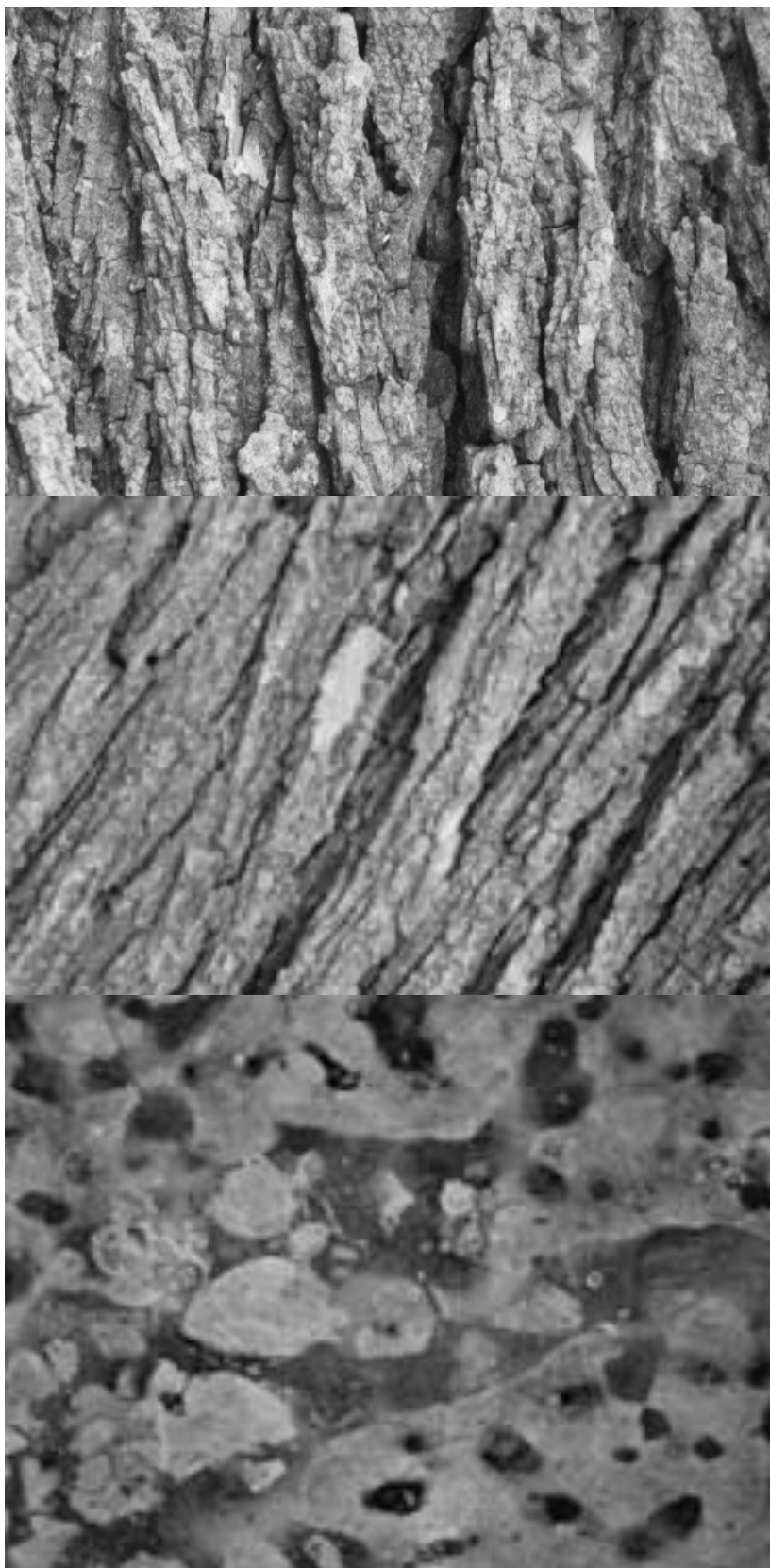
2



3



Réponse (valeur absolue)





Les textures

Synthèse de textures par appariement de statistiques

GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique
Jean-François Lalonde

Crédit photo: Enchantedgal-Stock, [deviantart.com](https://www.deviantart.com), merci à Derek Hoiem

Synthèse de textures

- En entrée : exemple de texture
- But : répliquer l'exemple de la texture sur une plus grande surface



Synthèse de textures

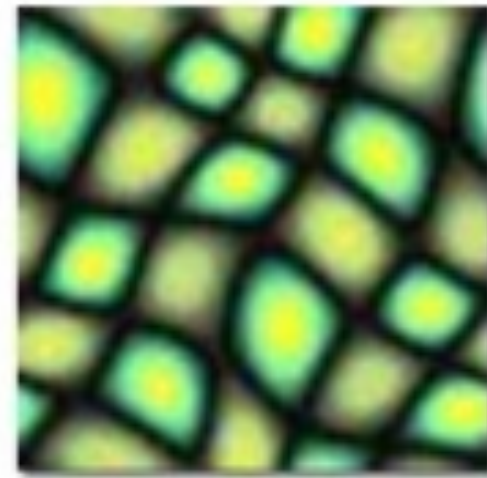
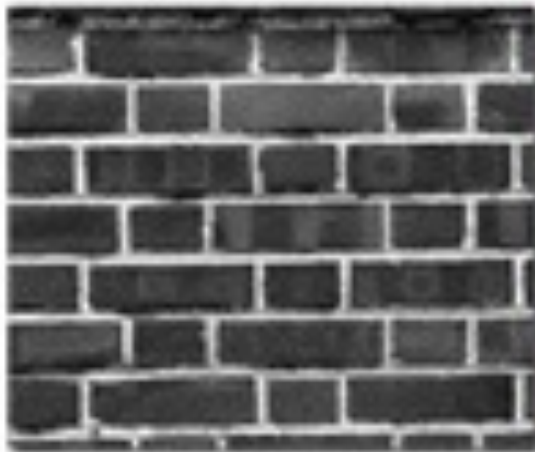
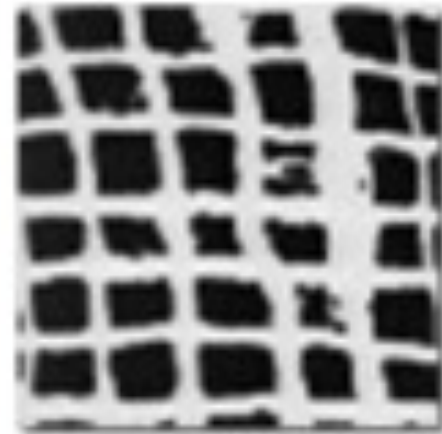
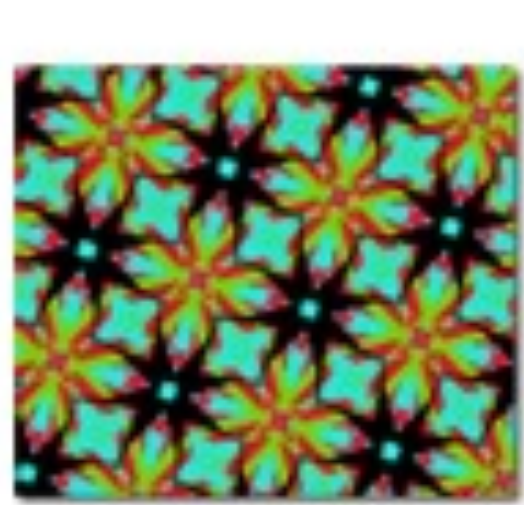
- En entrée : exemple de texture
- But : répliquer l'exemple de la texture sur une plus grande surface



Rappel : types de textures

Défi

Comment modéliser tous ces types de textures?



Régulières

Quasi-régulières

Irrégulières

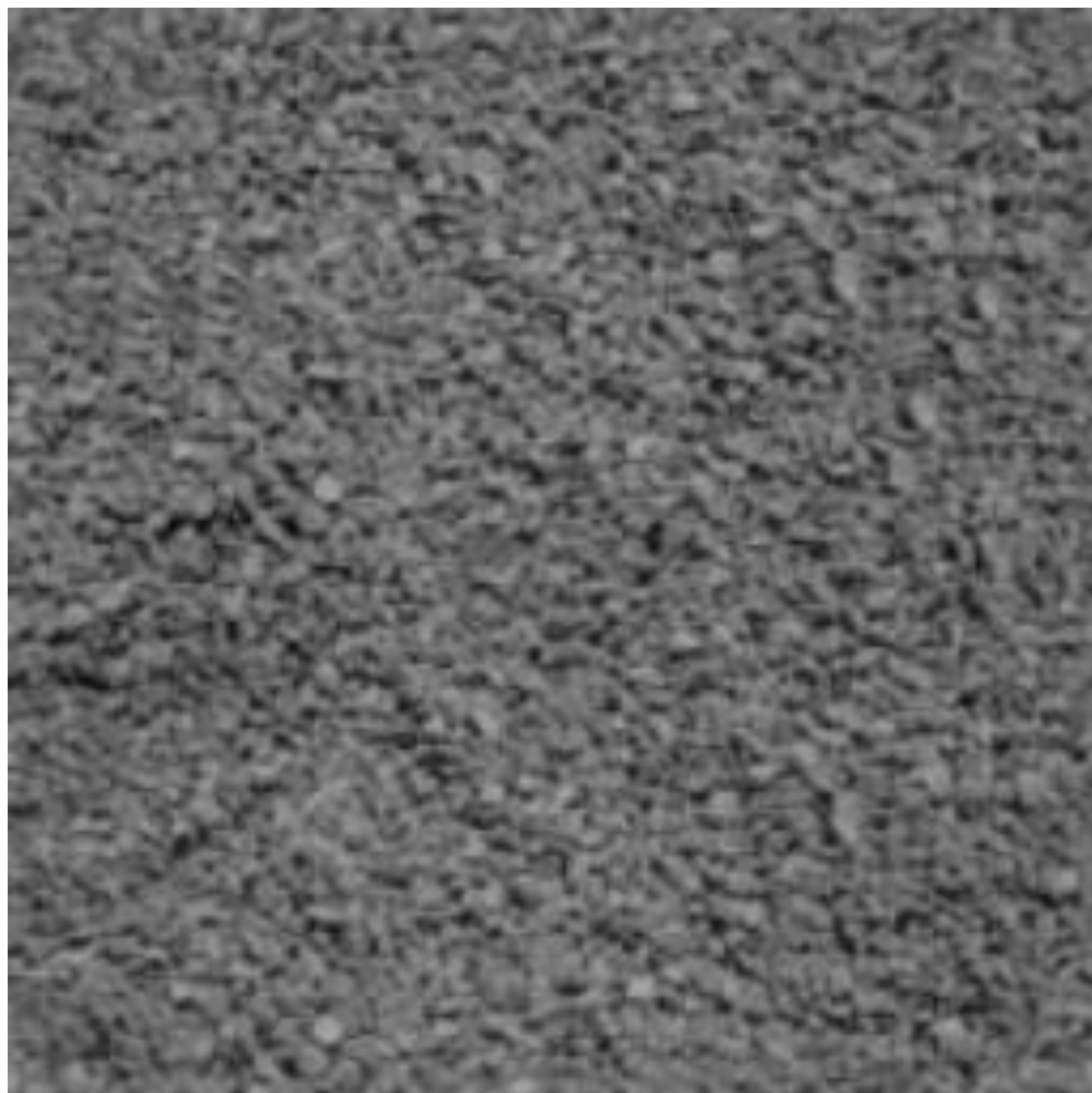
Quasi-stochastiques

Stochastiques

Idée 1 : distribution de probabilités

- Calculer les statistiques de la texture
- Générer une nouvelle texture qui possède les mêmes statistiques

Exemple de texture

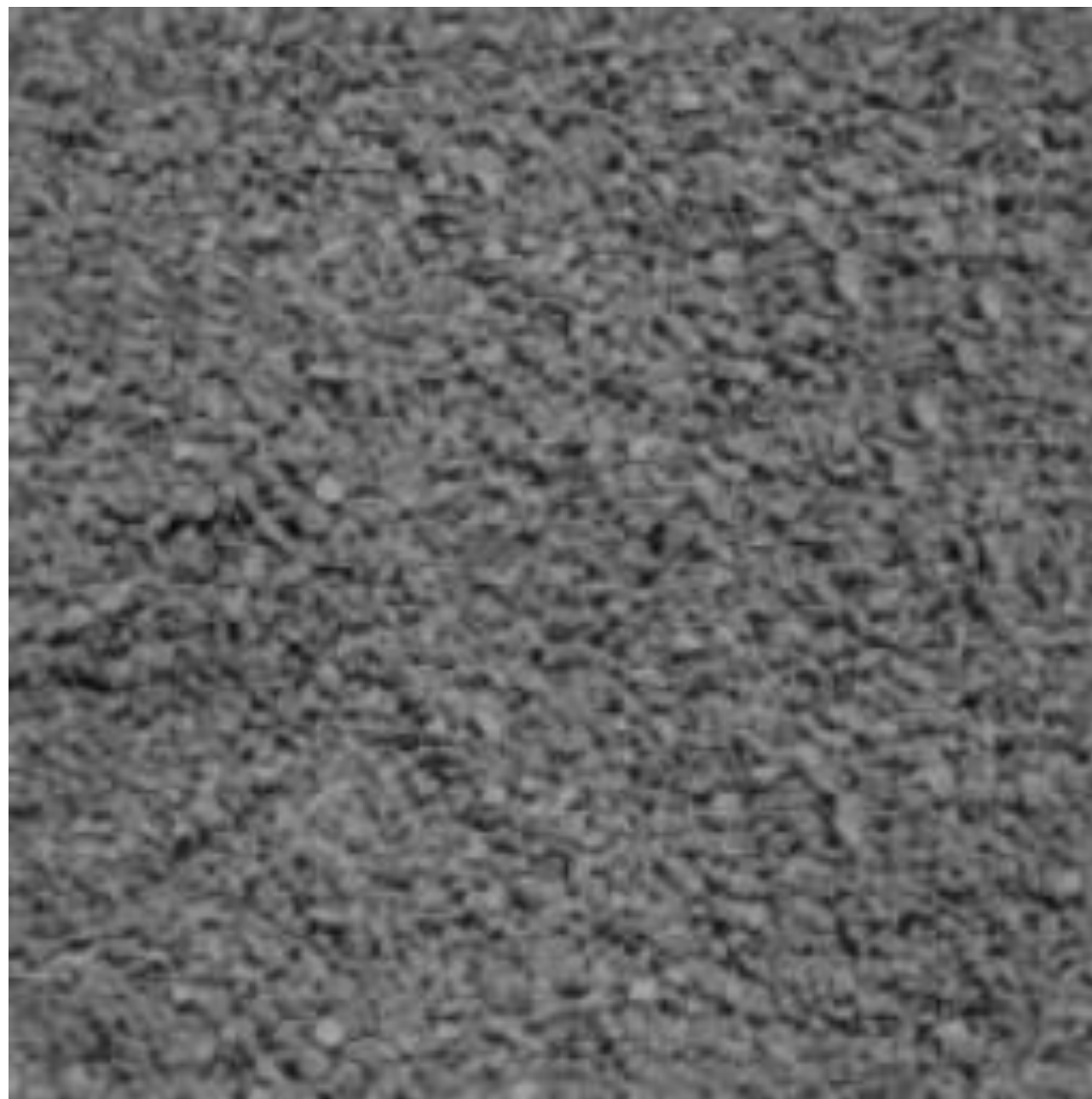


Statistiques
Histogramme de l'image

Statistiques

Histogramme de l'image

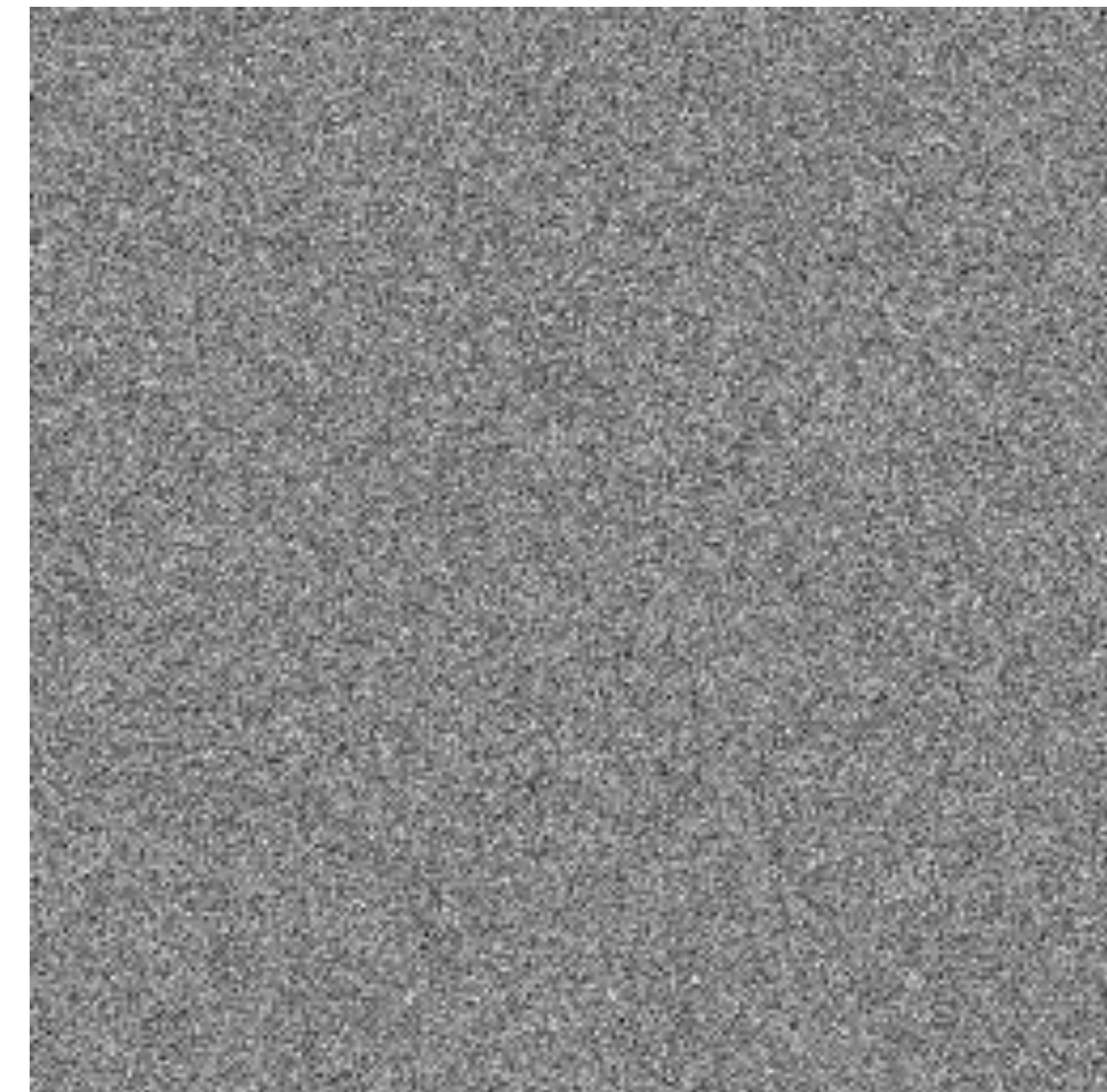
Exemple de texture



Appariement
d'histogramme!



Texture aléatoire



Égalisation d'histogramme : algorithme

Rappel!

- Besoin d'une fonction $f(i)$ qui assigne une intensité i (entre 0 et 255) à une autre intensité

1. Calculer l'histogramme cumulatif $c(i)$

2.
$$f(i) = \frac{c(i) \times 255}{N}$$

Différence?

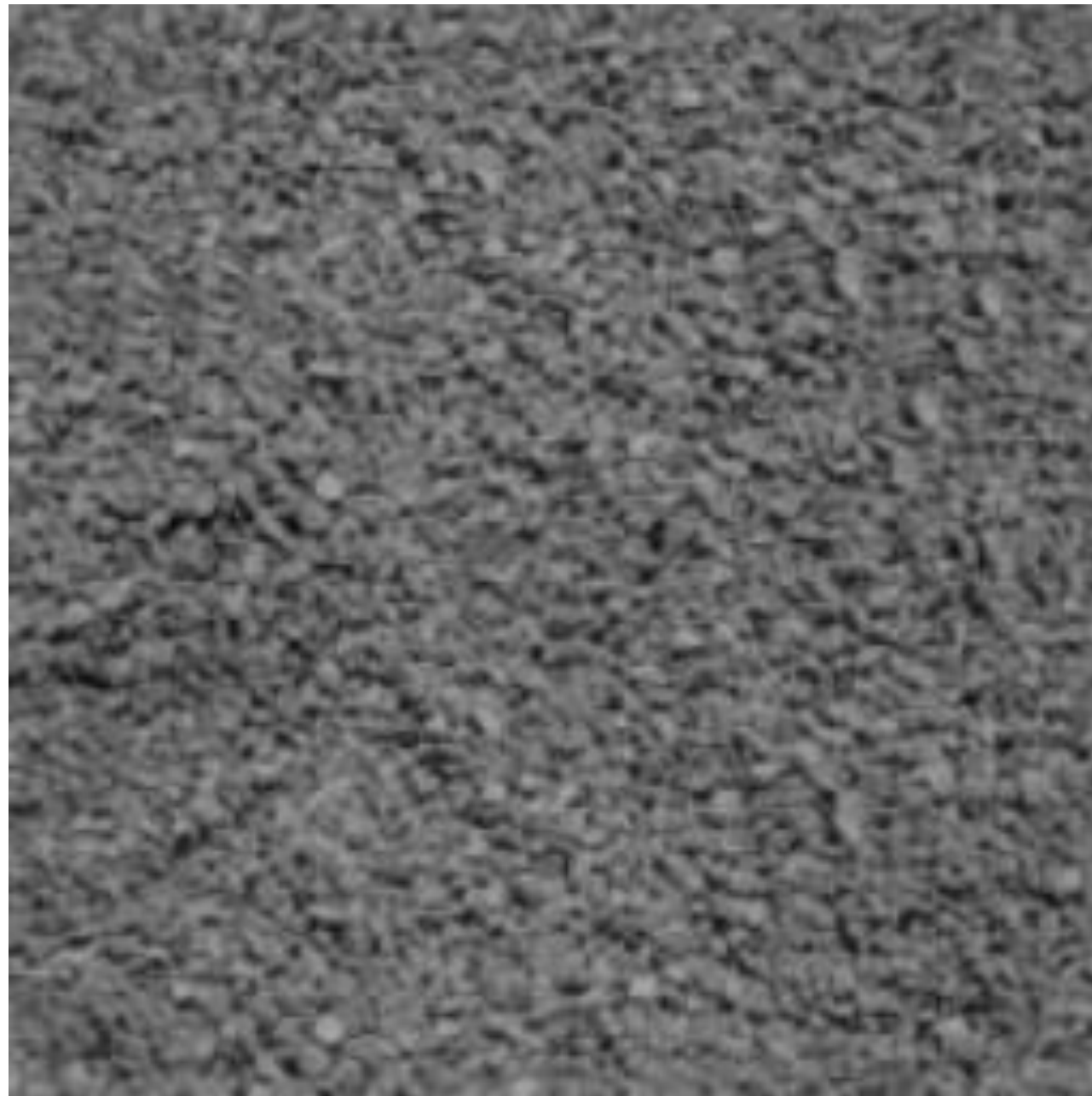
3. Combiner avec l'image originale (pour contrôler le niveau d'égalisation)

$$f(i) = \alpha \frac{c(i)}{N} 255 + (1 - \alpha) i$$

Statistiques

Histogramme de l'image

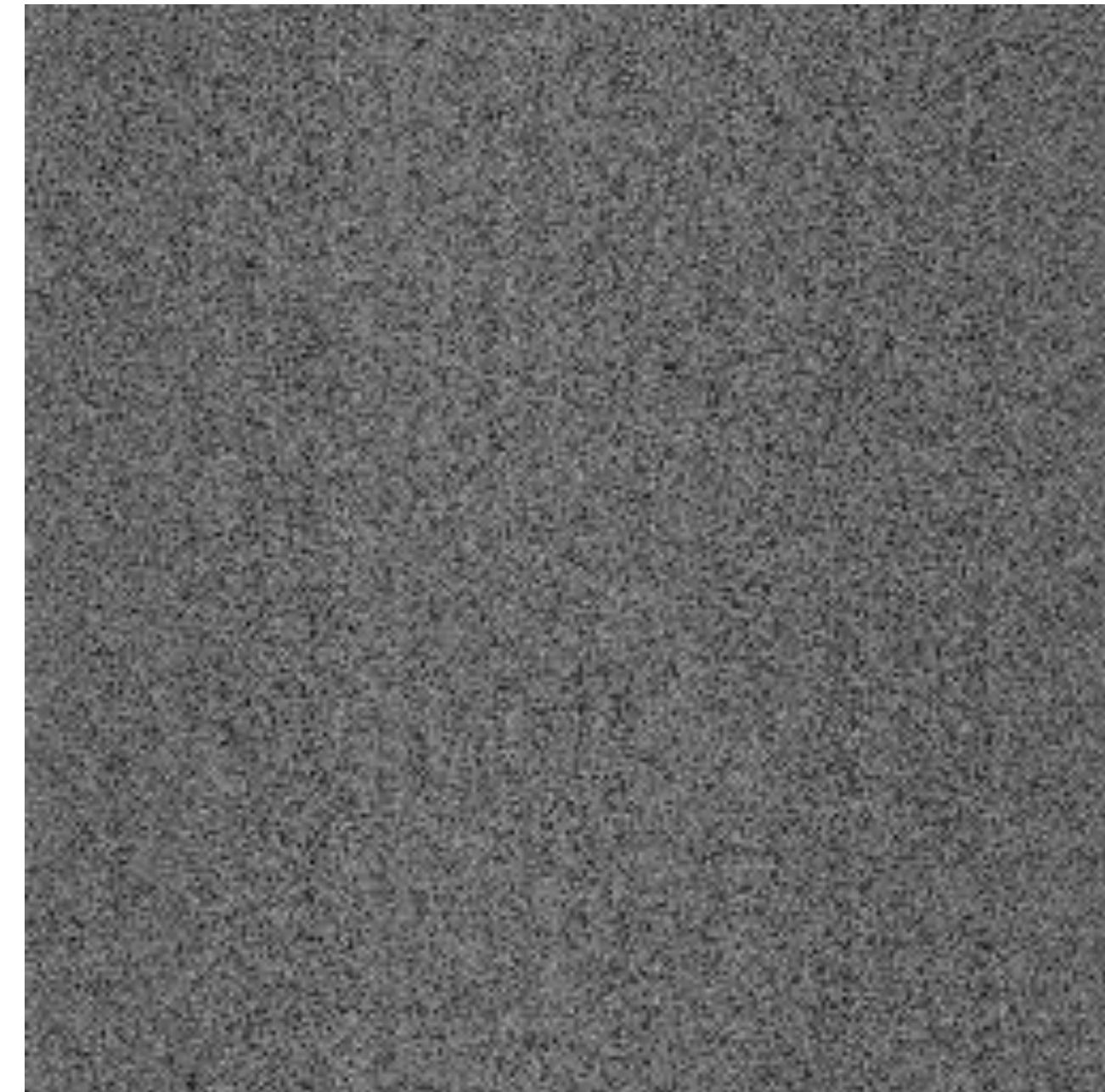
Exemple de texture



Égalisation
d'histogramme!

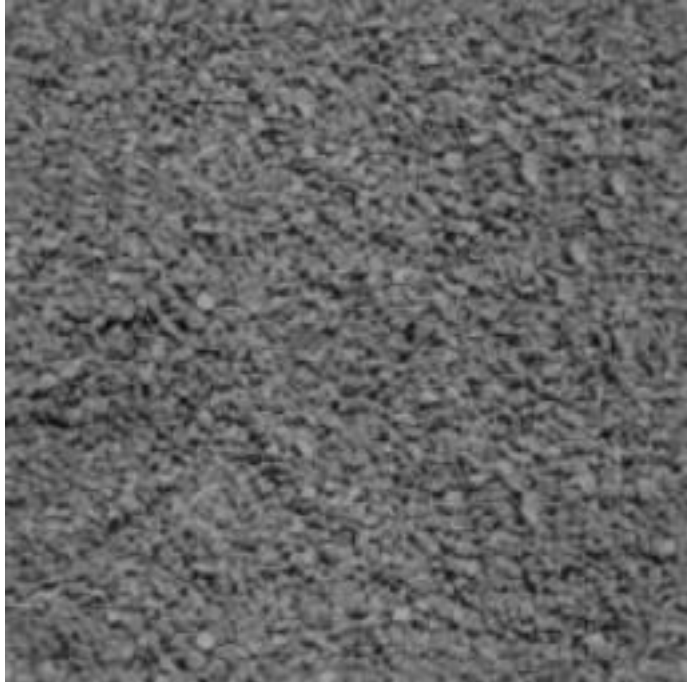
↔

Texture générée

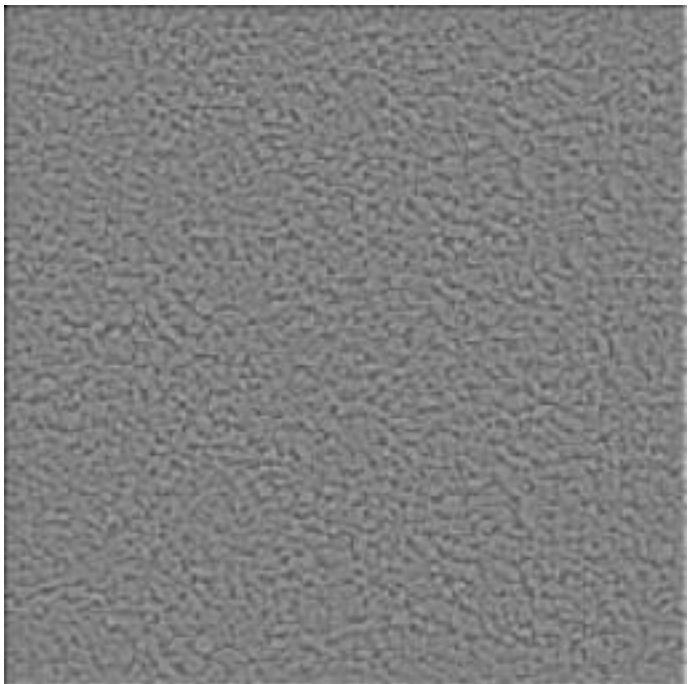


L'histogramme de l'image entière n'est pas suffisamment expressif pour bien représenter une texture.

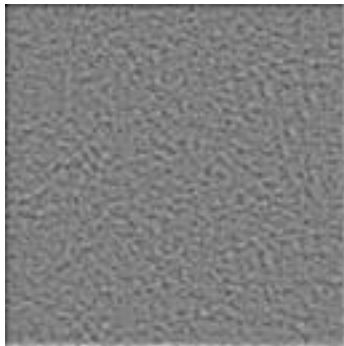
Exemple de texture



Niveau 0



Niveau 1



Niveau 2



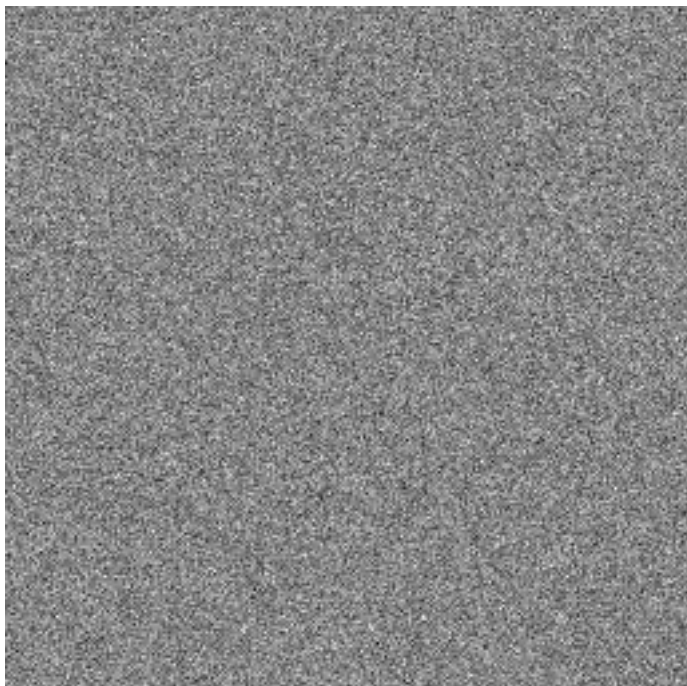
Niveau 3



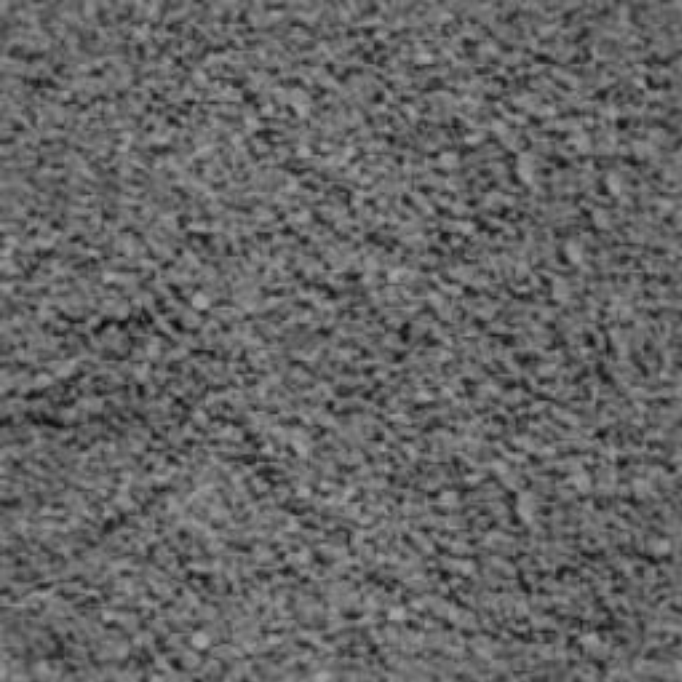
Statistiques

Histogrammes de différentes bandes de fréquences

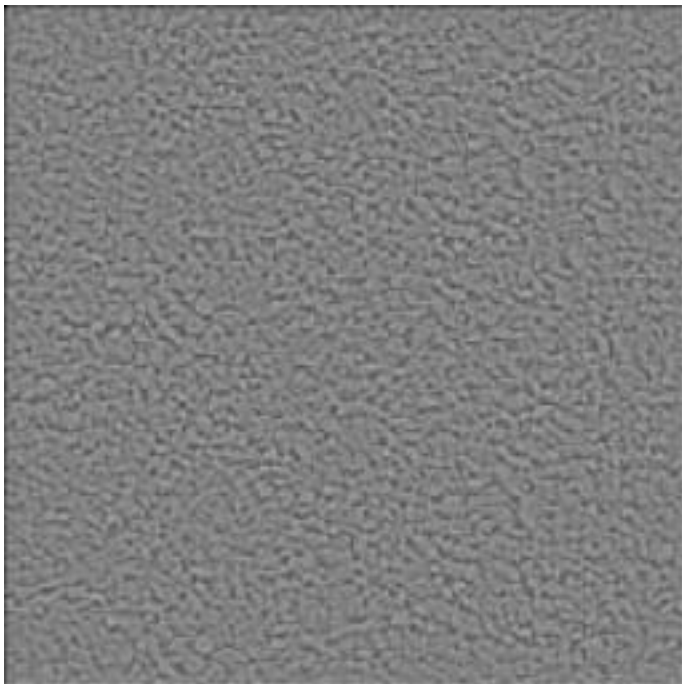
Texture générée



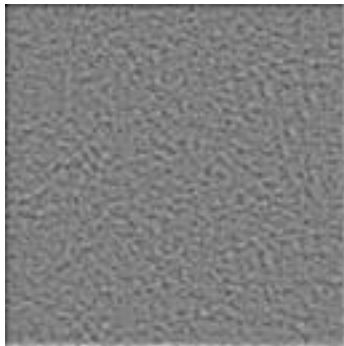
Exemple de texture



Niveau 0



Niveau 1



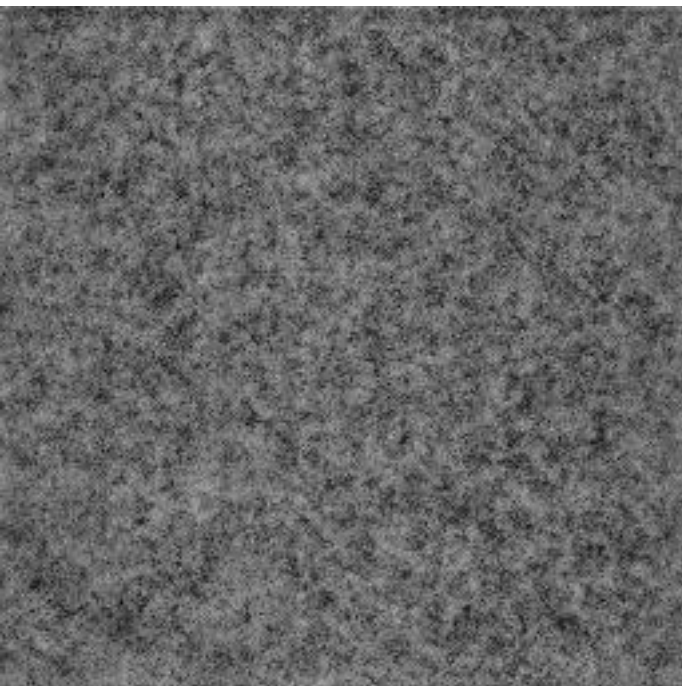
Niveau 2



Niveau 3



Texture générée

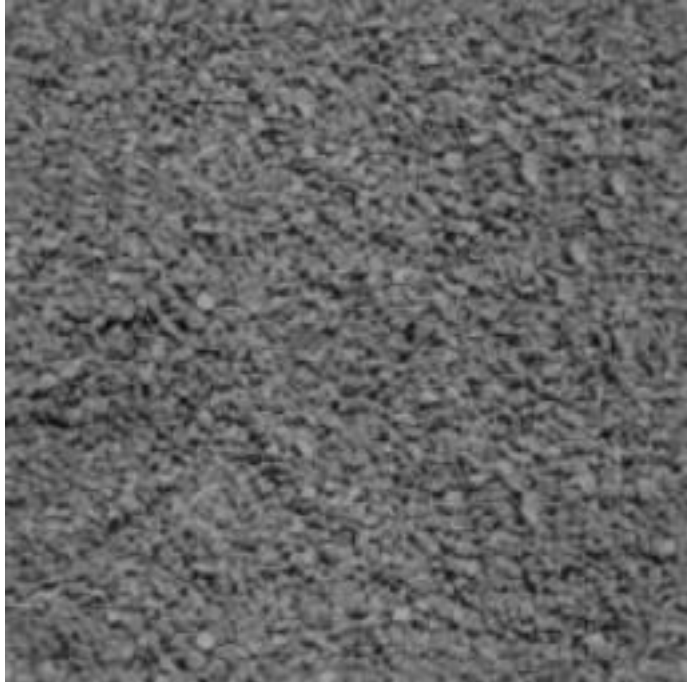


Statistiques

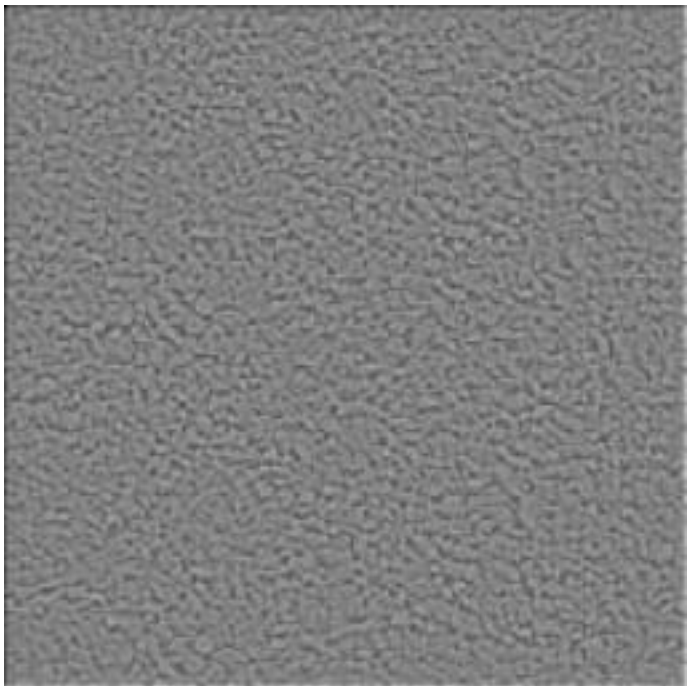
Histogrammes de différentes bandes de fréquences

Après l'itération 1

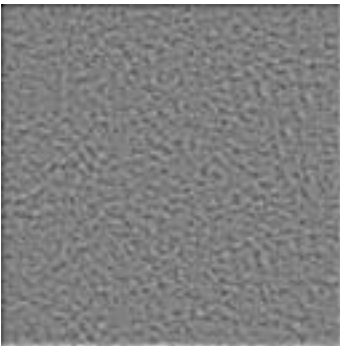
Exemple de texture



Niveau 0



Niveau 1



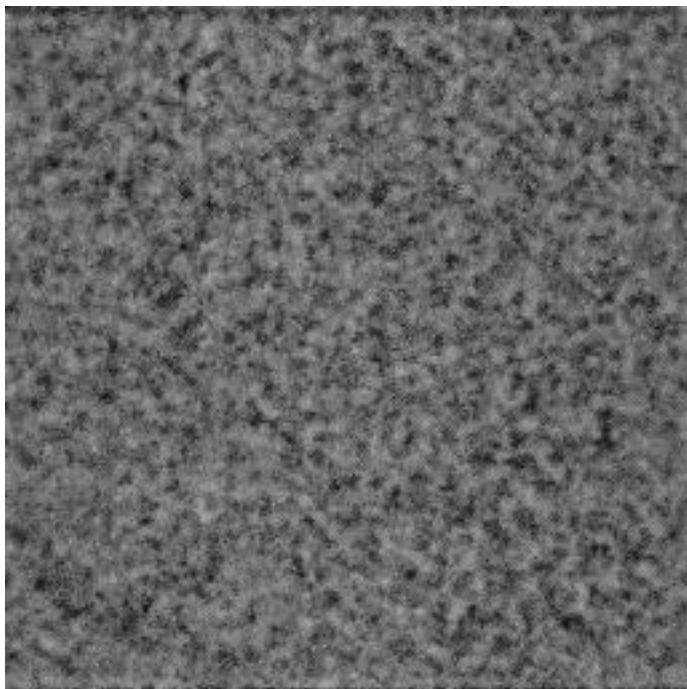
Niveau 2



Niveau 3



Texture générée

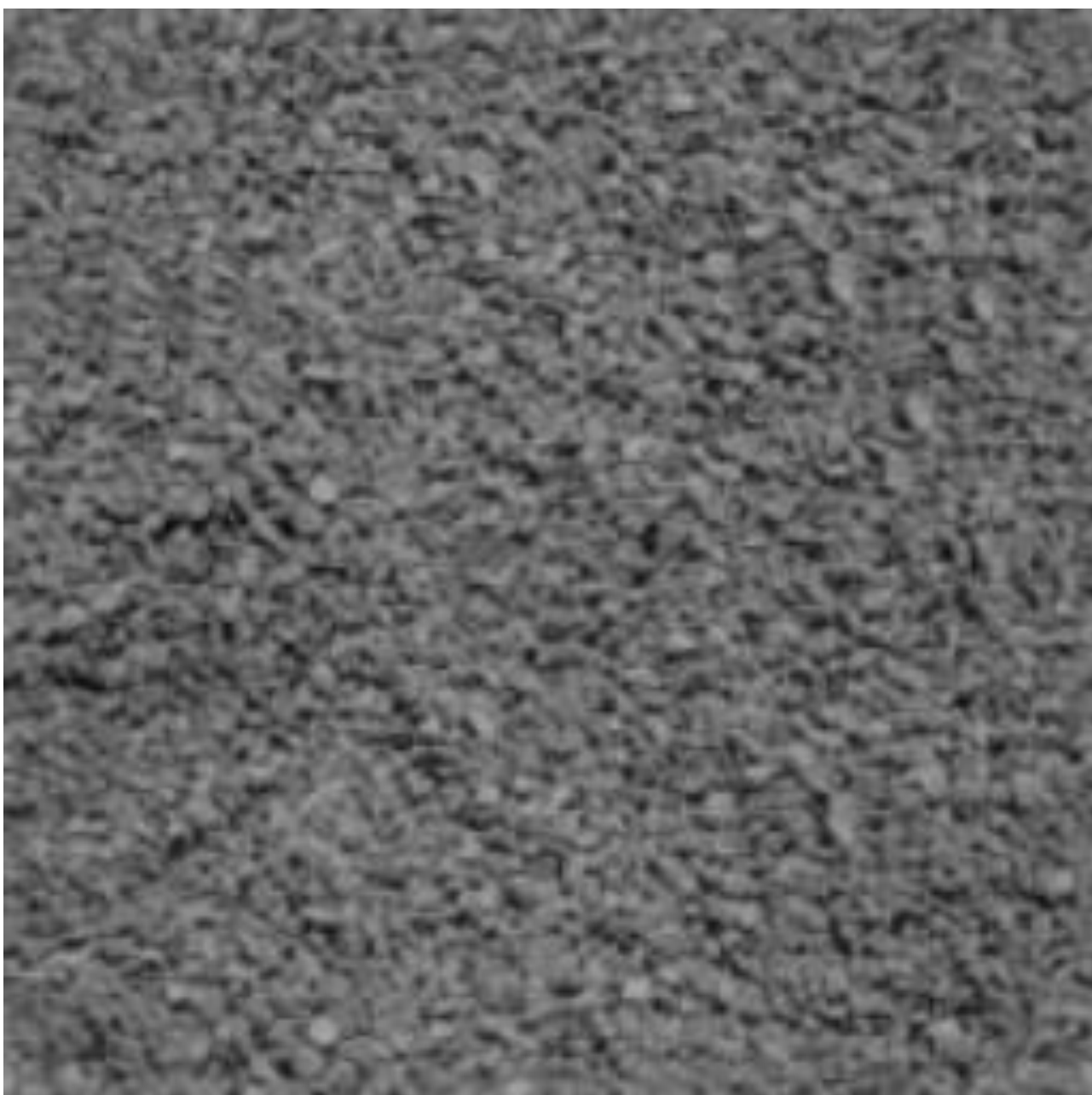
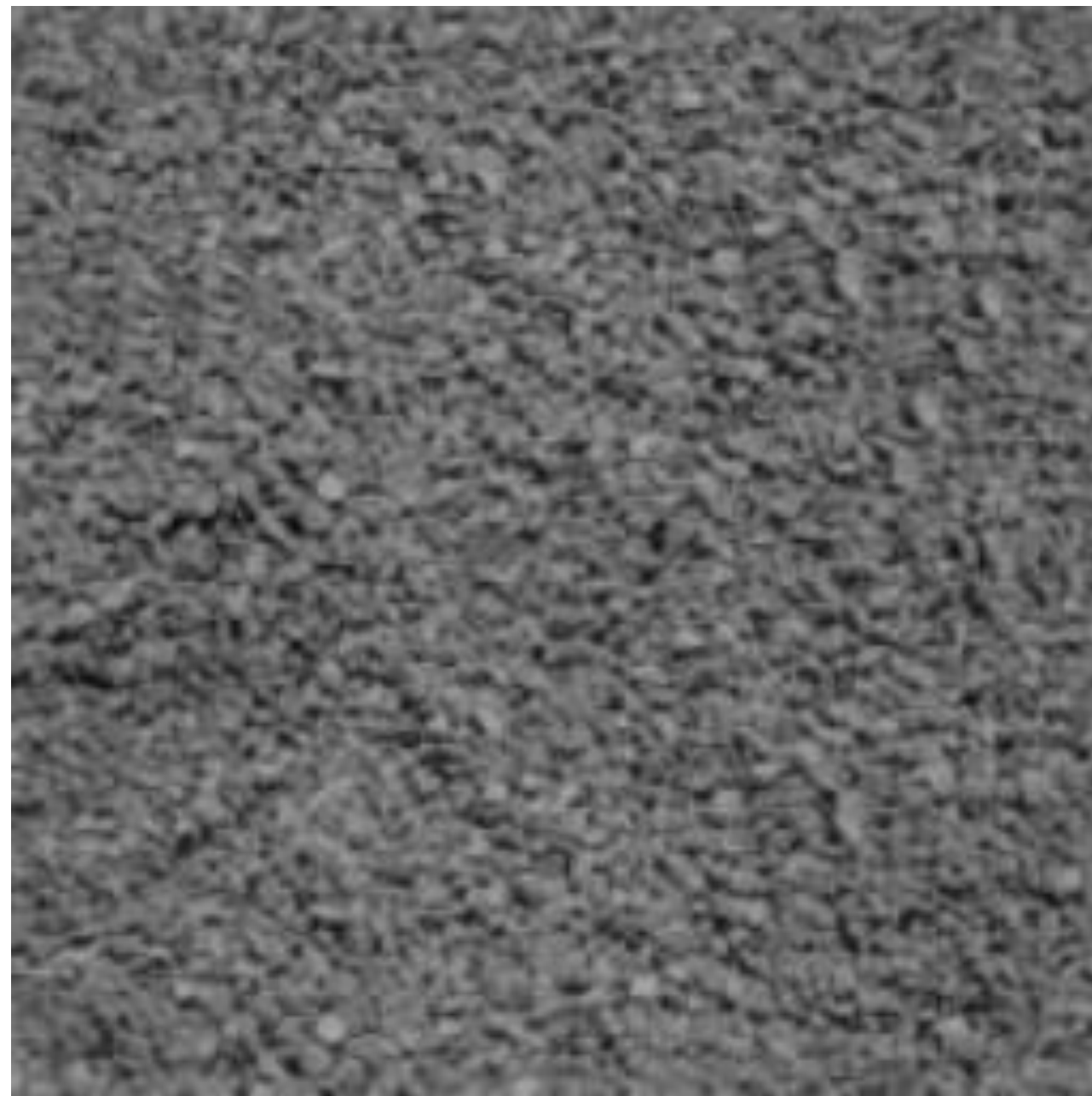


Statistiques

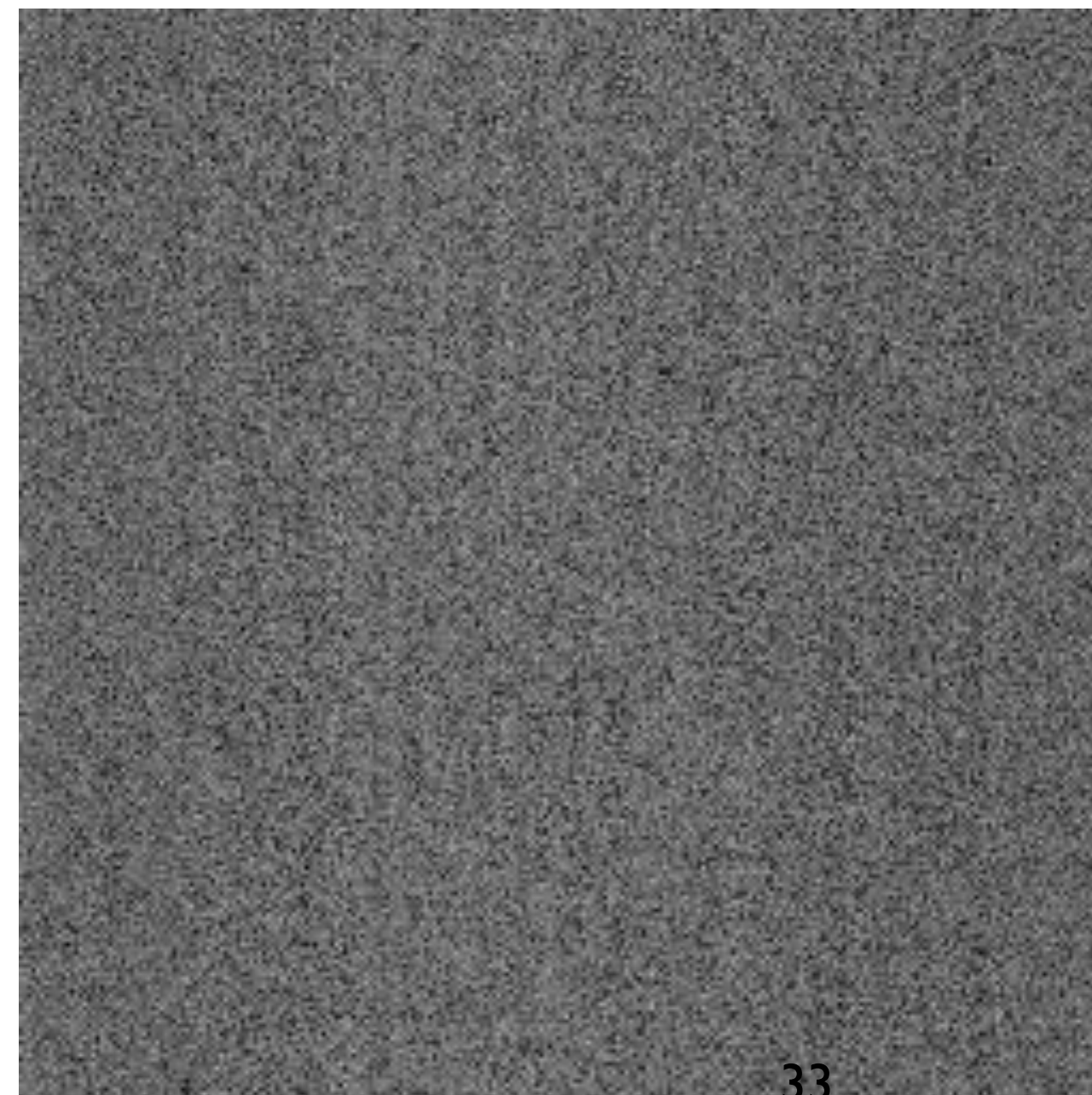
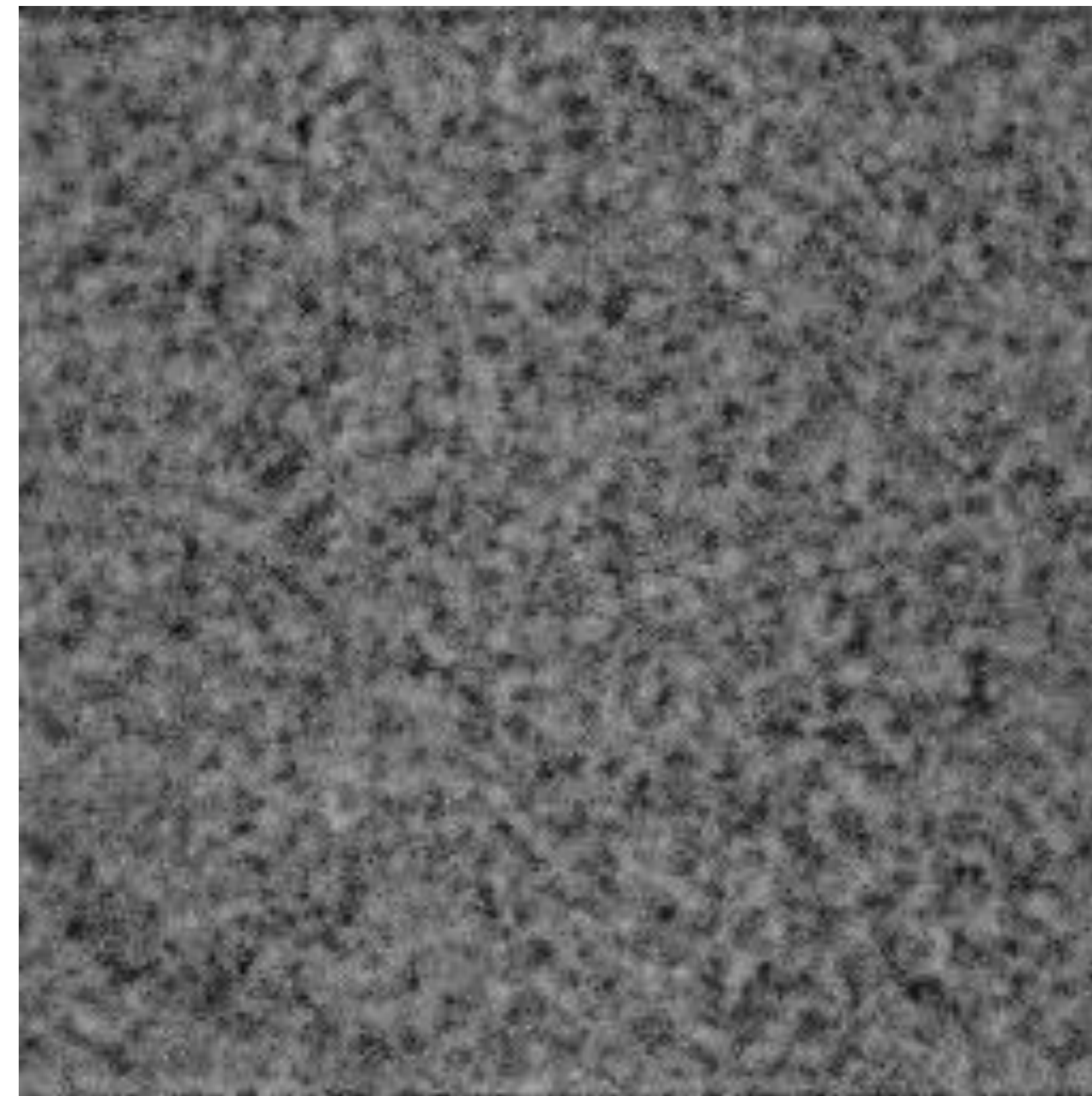
Histogrammes de différentes bandes de fréquences

Après l'itération 5

Exemple de texture



Texture générée



Appariement de pyramides

Appariement d'histogramme

Statistiques

Histogrammes de différentes
bandes de fréquences

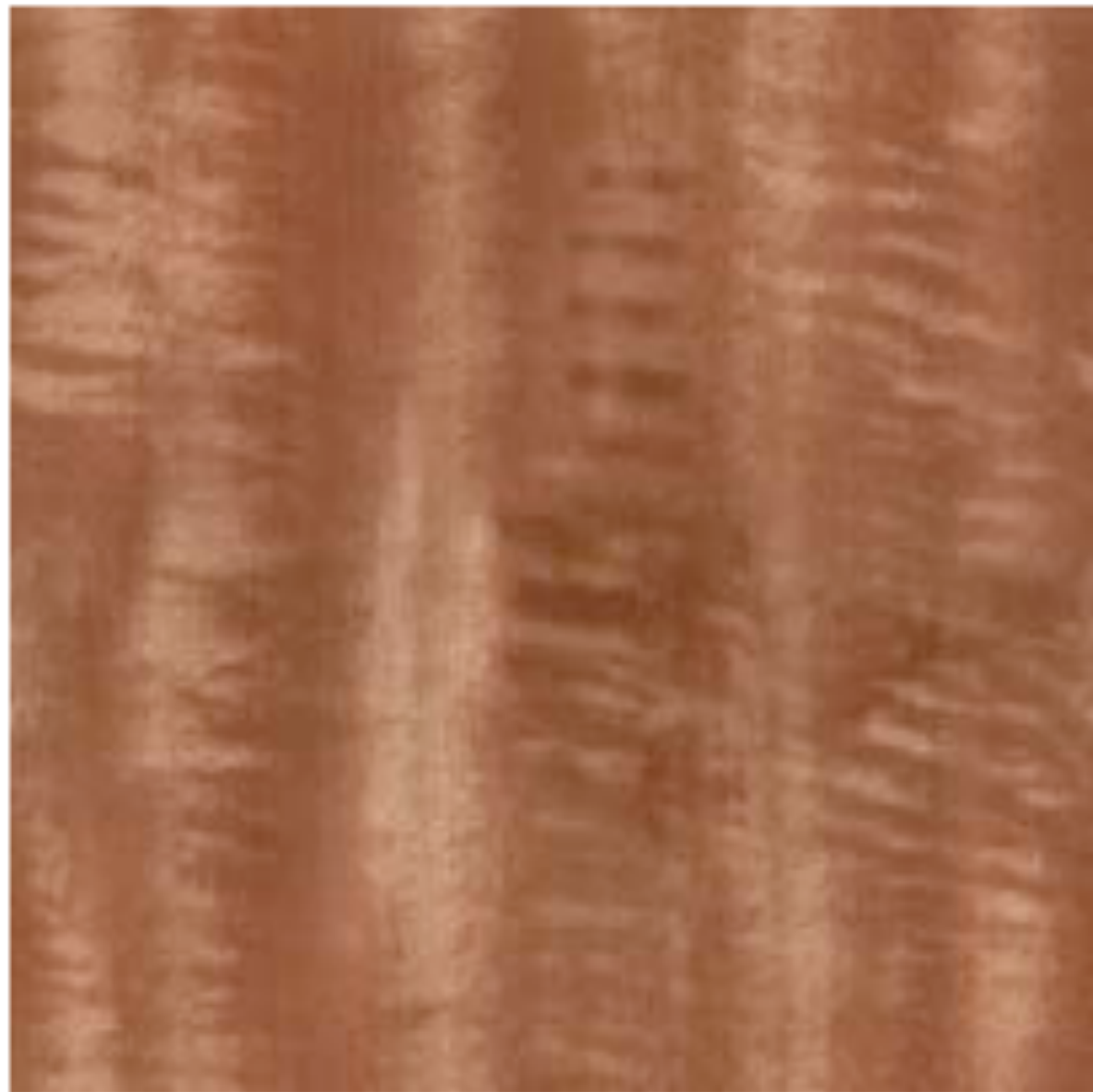
Synthèse de texture par appariement d'histogrammes

[Heeger et Bergen 1995]

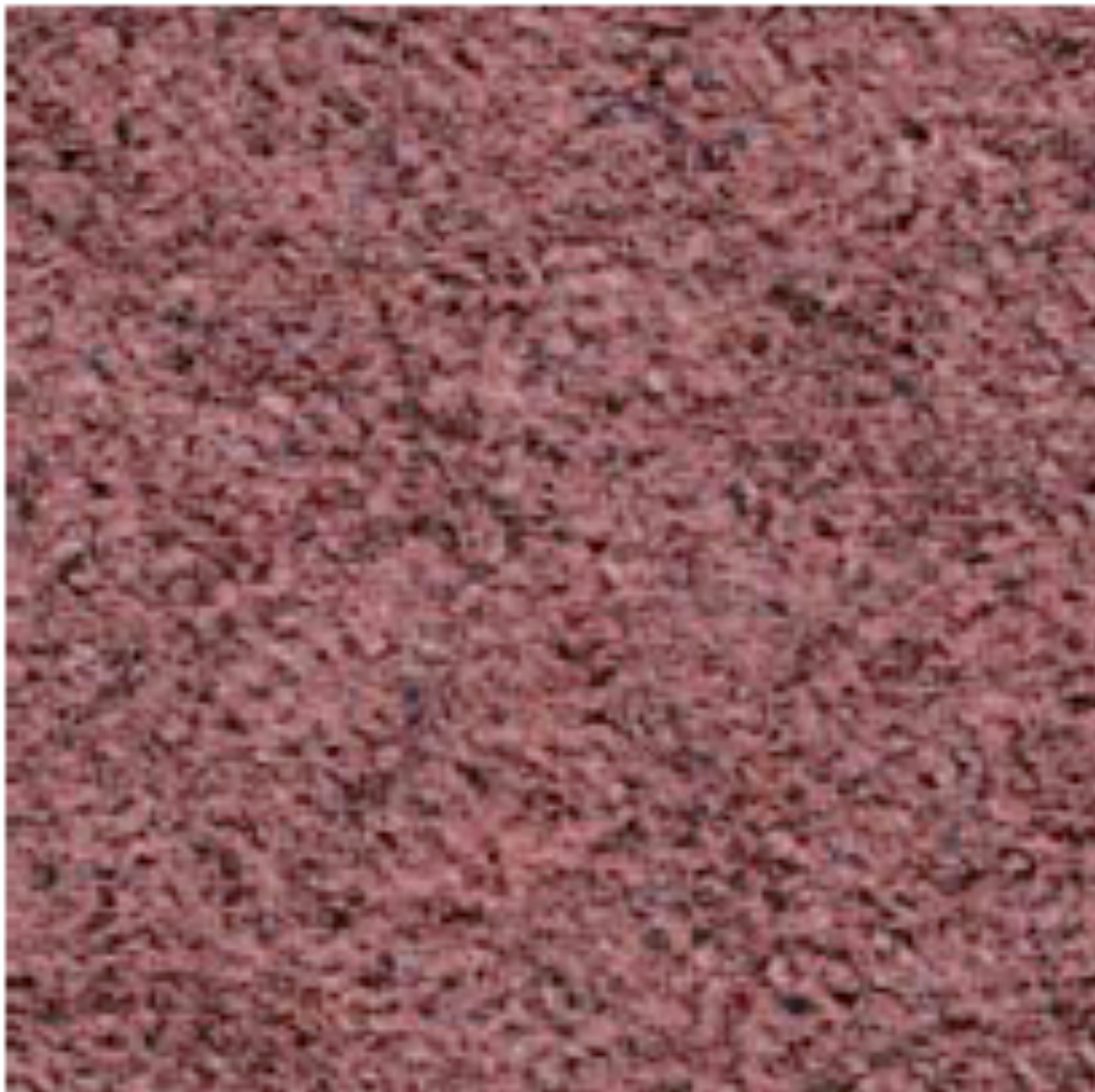
- Initialiser : image générée = image de bruit aléatoire
- Apparier l'histogramme de l'image générée avec celui de la texture d'exemple
- Calculer la pyramide laplacienne de l'exemple
- Pour N itérations :
 - Calculer la pyramide laplacienne de l'image générée
 - Pour tous les niveaux de la pyramide :
 - Apparier l'histogramme de l'image générée avec celui de l'exemple
 - Reconstruire l'image générée à partir de sa pyramide
 - Apparier l'histogramme de l'image générée avec celui de l'exemple à nouveau

Résultats (tirés de l'article)

Entrée

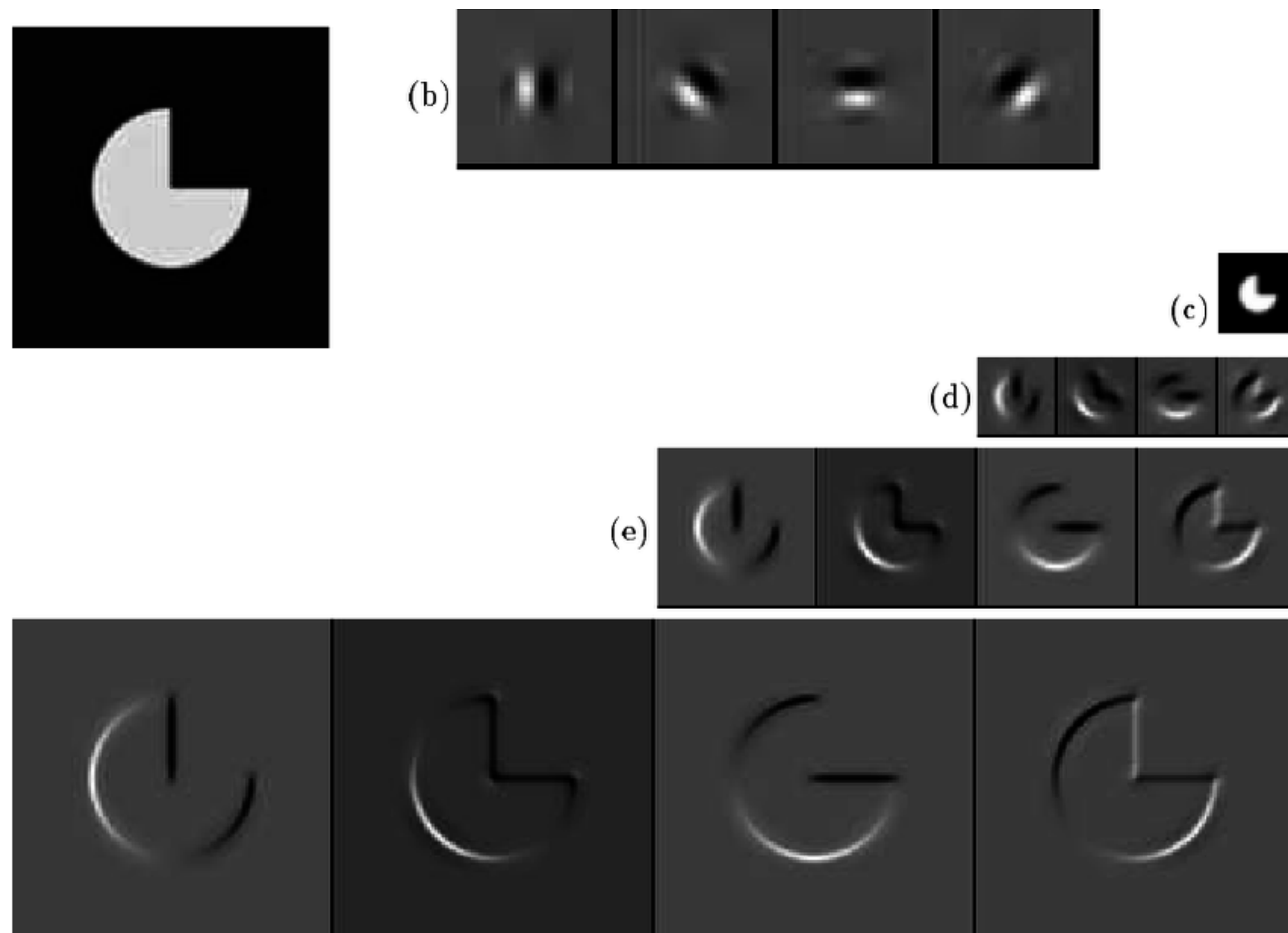


Sortie



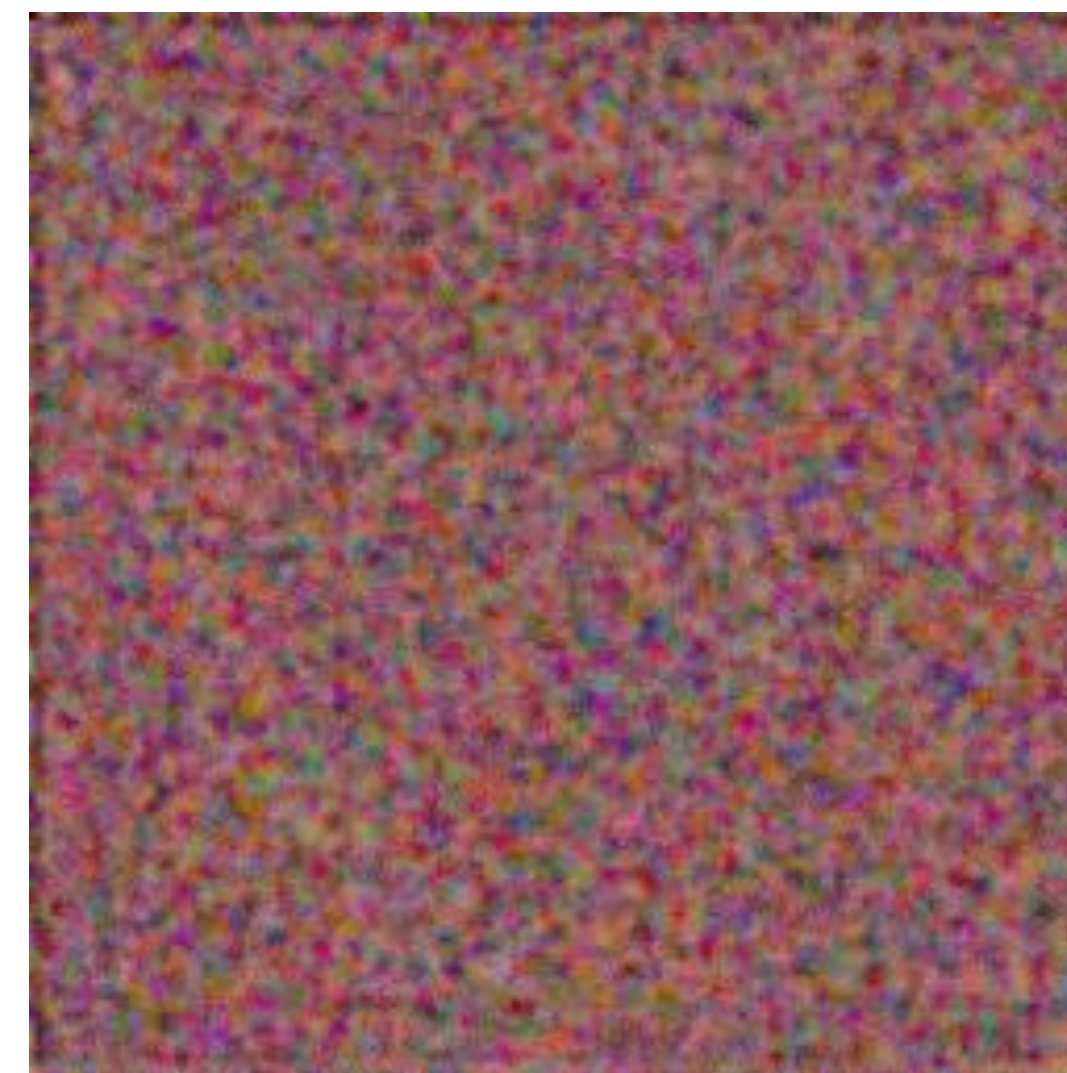
Considérations pratiques

La plupart des résultats de l'articles sont générés avec une pyramide « orientable » (*steerable pyramid*)



Appliquer l'algorithme indépendamment sur chaque canal de couleur ne fonctionne pas!
L'article propose de représenter la couleur par ses composantes principales.

Chaque canal



Composantes principales





Les textures

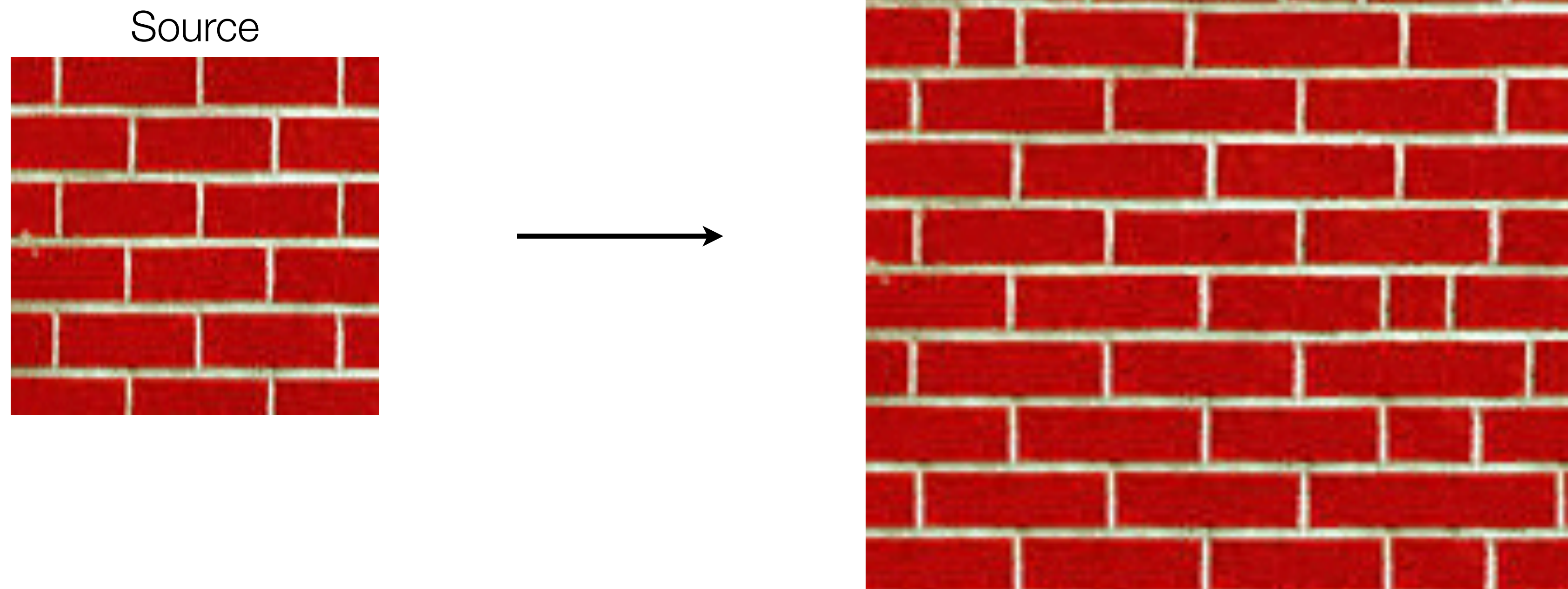
Synthèse de texture par échantillonnage non-paramétrique

GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique
Jean-François Lalonde

Crédit photo: Enchantedgal-Stock, [deviantart.com](https://www.deviantart.com), merci à Derek Hoiem

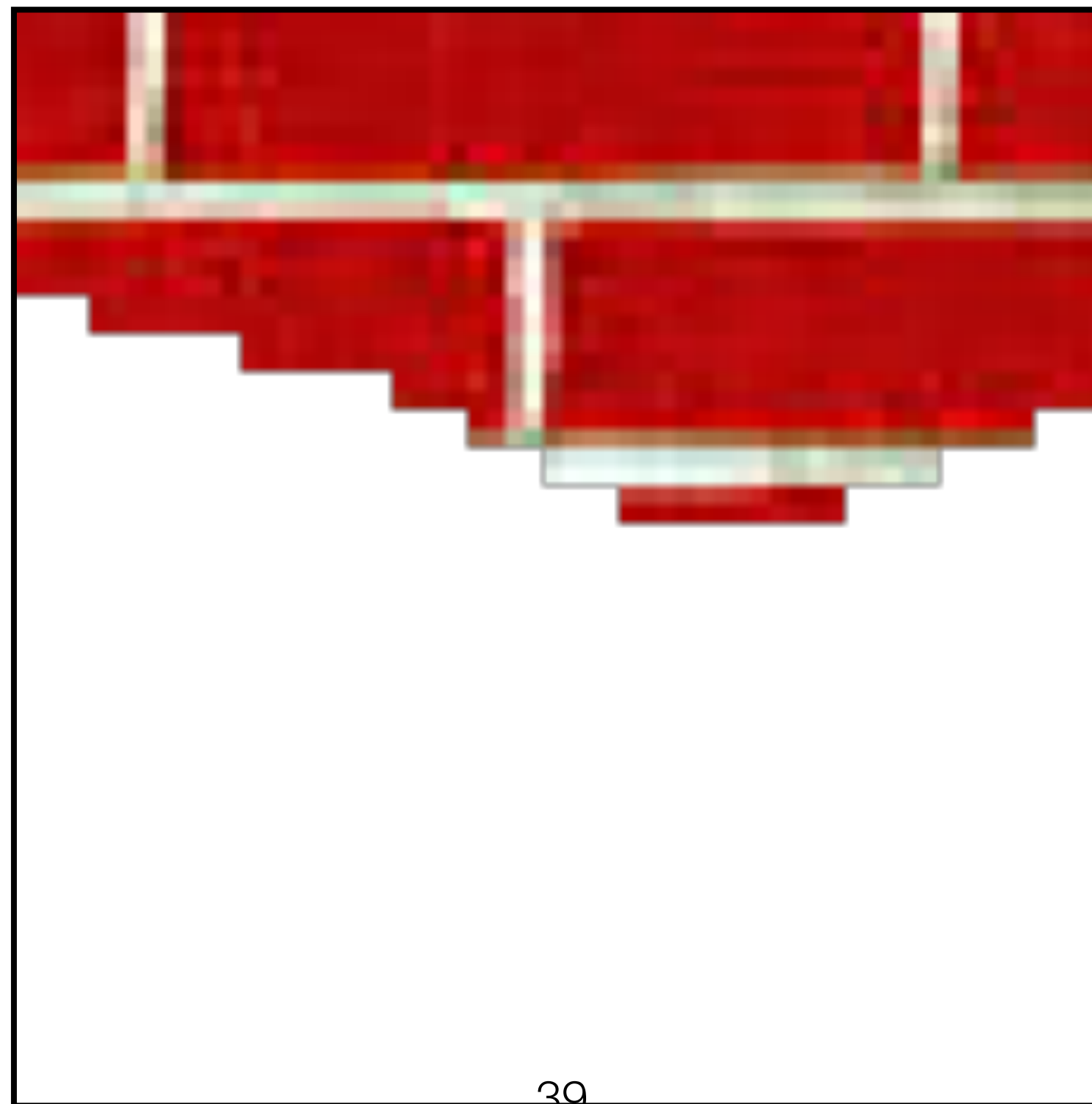
Synthèse de textures

- En entrée : exemple de texture
- But : répliquer l'exemple de la texture sur une plus grande surface



Idée : échantillonner l'image

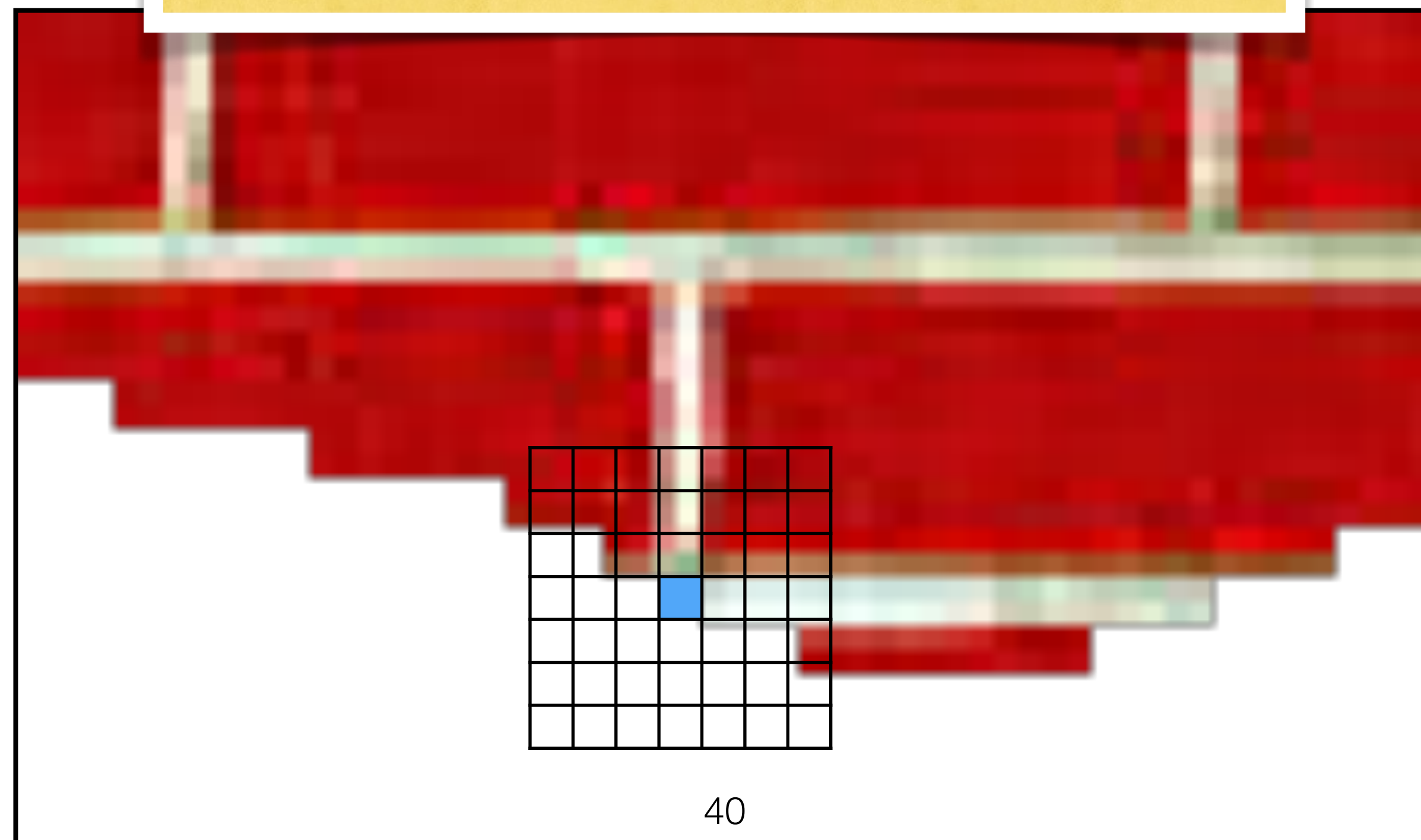
- On remplit l'image un pixel à la fois
- Comment faire pour déterminer la valeur de ce pixel?



Idée : échantillonner l'image

- Faisons l'hypothèse que la valeur d'un pixel ne dépend que de celles de ses voisins

Hypothèse de Markov!



Cette idée vient de loin...

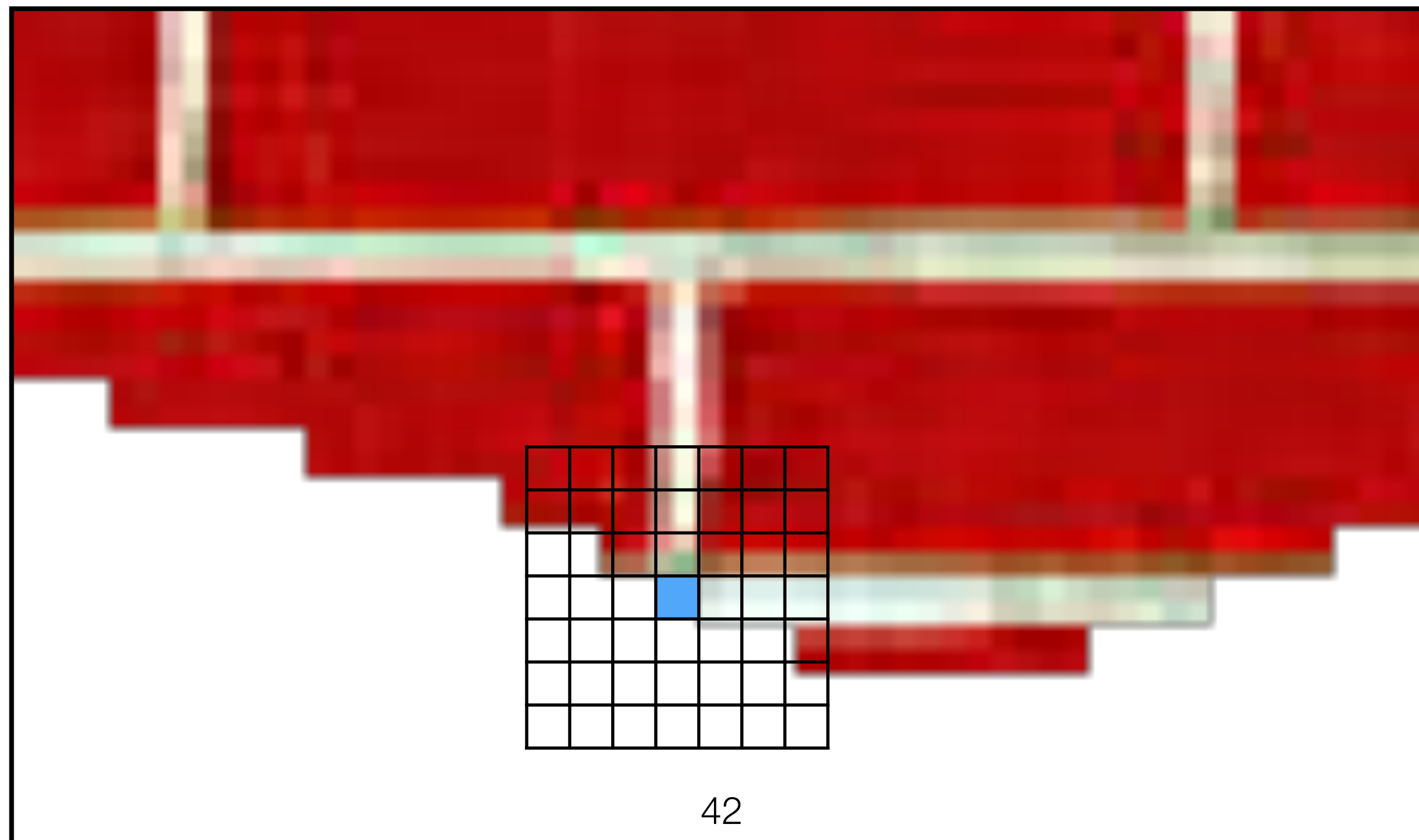
- Shannon et la théorie de l'information (1948)
- Générer des phrases (en anglais) en modélisant la probabilité de chaque mot étant donné les n mots précédents:
 - $P(\text{mot} \mid n \text{ mots précédents})$ — ça vous rappelle quelque chose?
- Valeur de n plus grande = phrases plus structurées

« *I spent an interesting evening recently with a grain of salt.* »

(exemple du faux utilisateur Mark V Shaney sur net.singles)

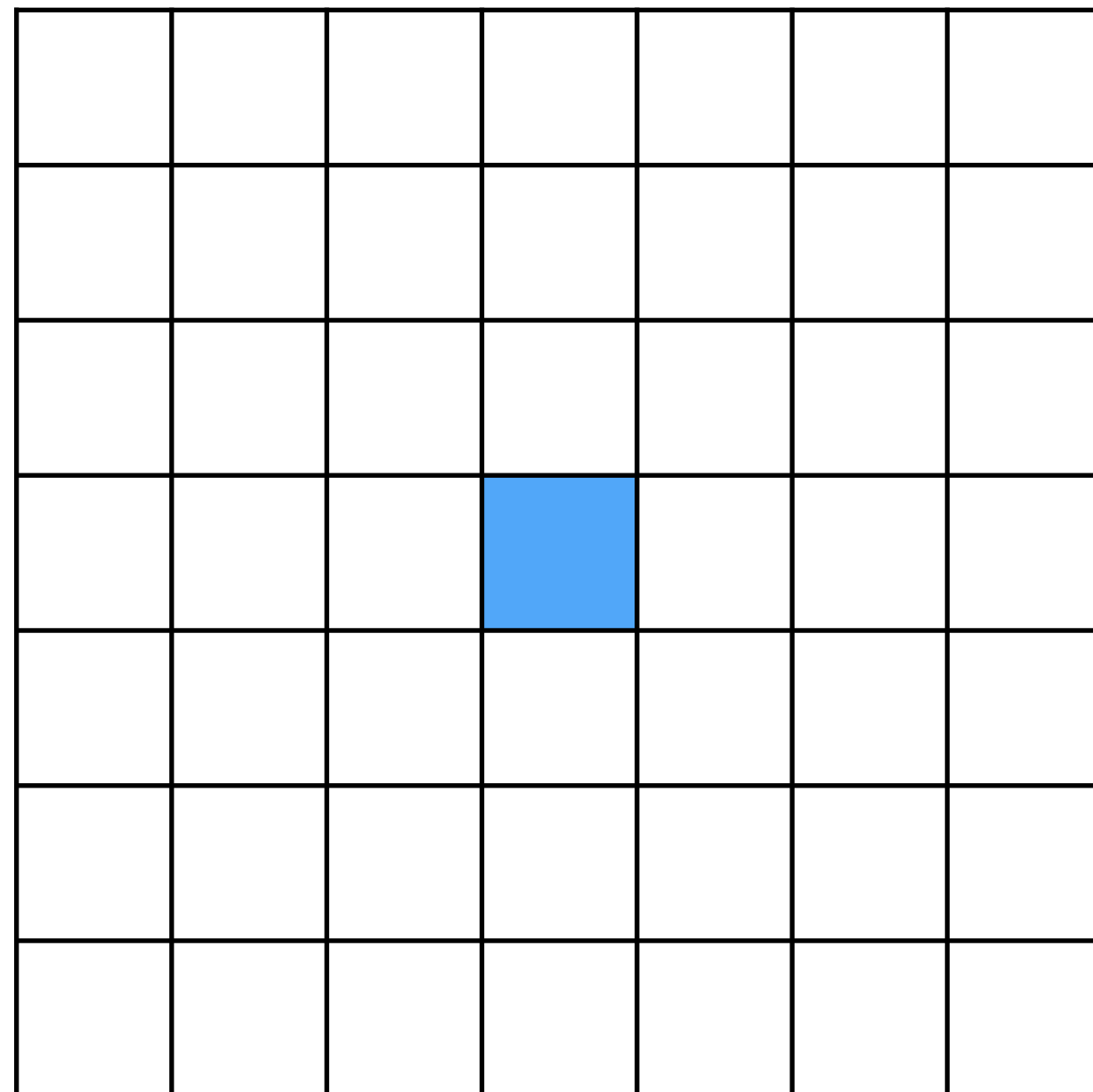
Hypothèse de Markov en 2D

- Considérons la distribution de probabilité $P(\mathbf{p}|N(\mathbf{p}))$
- Trouvons la valeur la plus probable $\arg \max_{\mathbf{p}} P(\mathbf{p}|N(\mathbf{p}))$
- Est-ce que c'est possible?



Hypothèse de Markov en 2D

- Combien y a-t-il de dimensions dans $P(\mathbf{p}|N(\mathbf{p}))$?

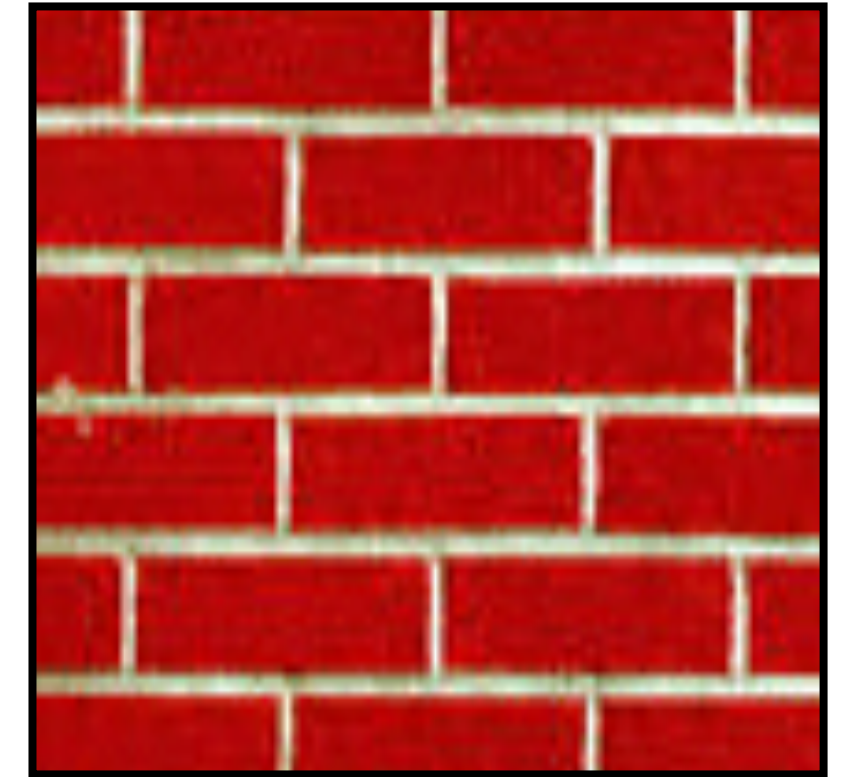


Impensable en pratique!

Solution?

- Plutôt que de calculer $P(\mathbf{p}|N(\mathbf{p}))$, utiliser l'image source et trouver des endroits similaires à $N(\mathbf{p})$

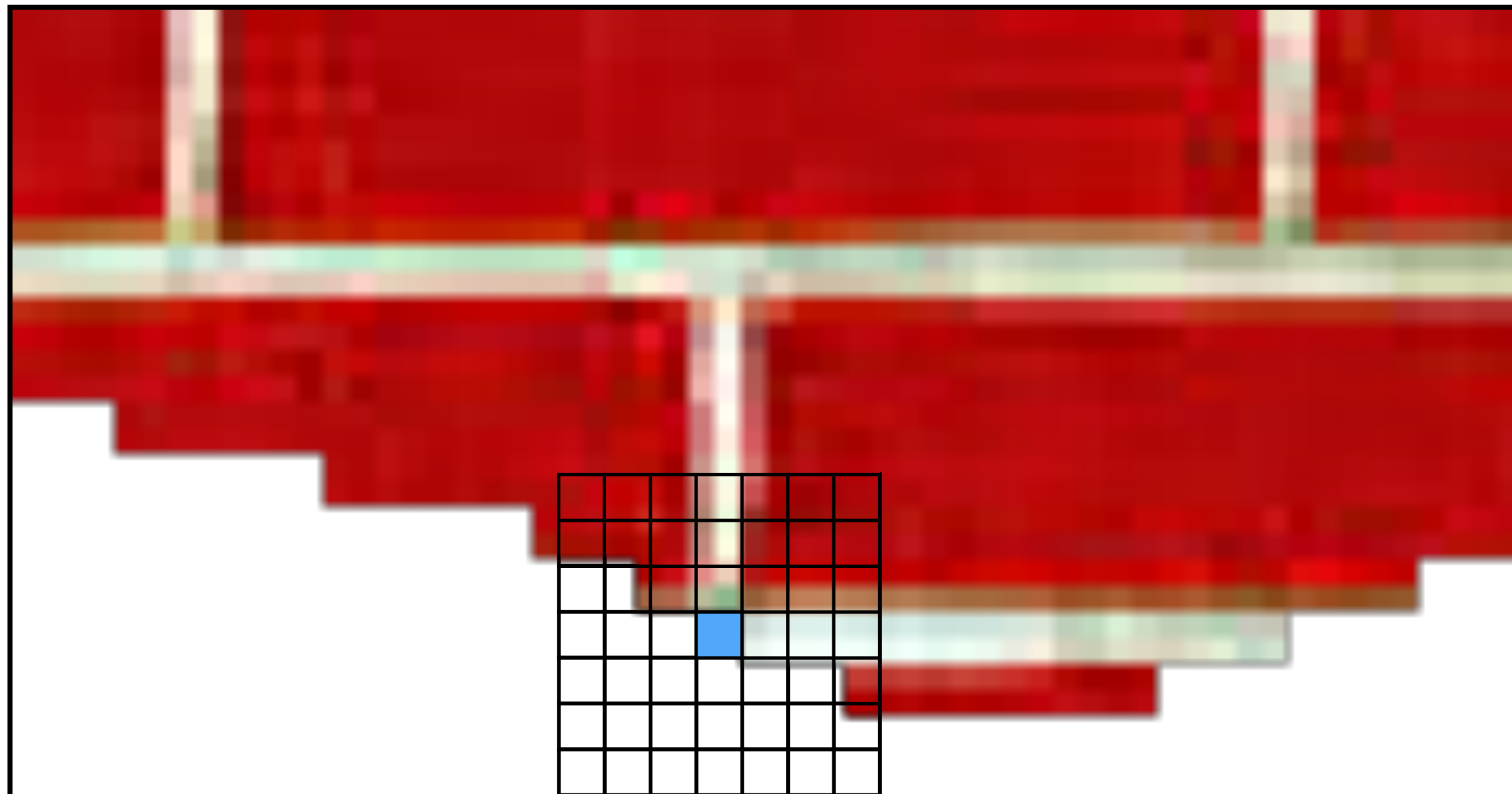
Source



Solution?

- Plutôt que de calculer $P(\mathbf{p}|N(\mathbf{p}))$, utiliser l'image source et trouver des endroits similaires à $N(\mathbf{p})$

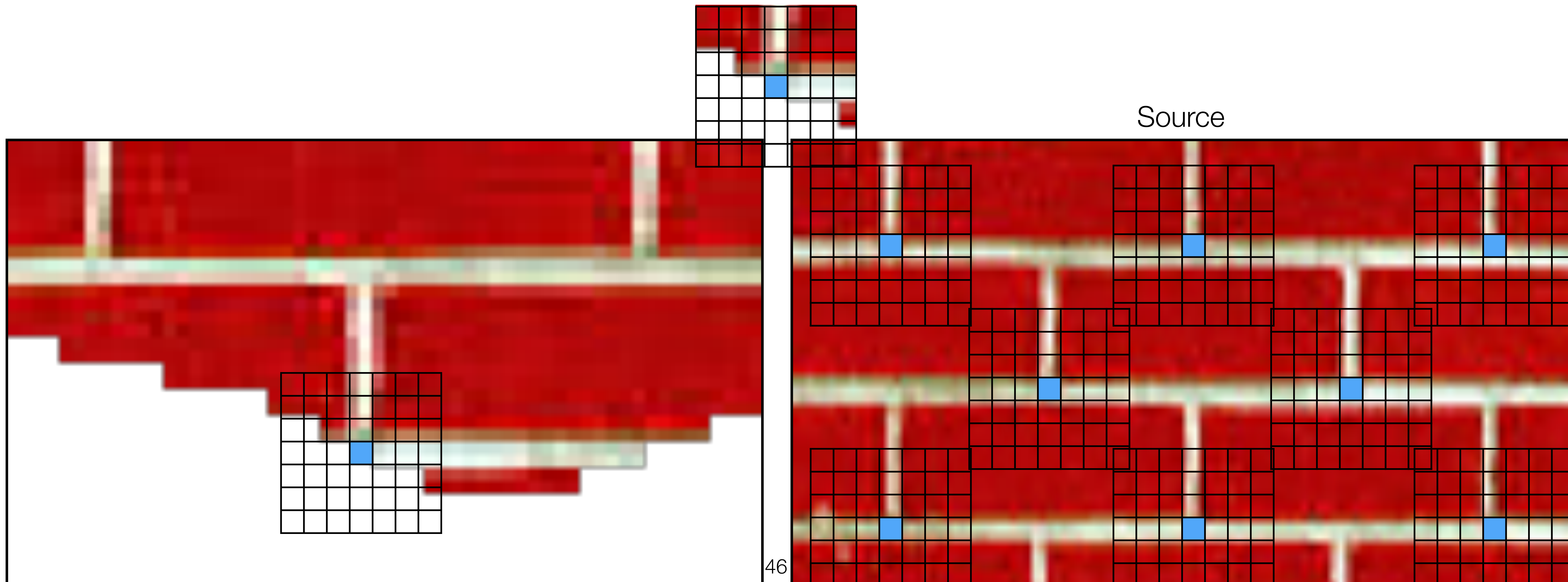
Source



Solution?

Comment?

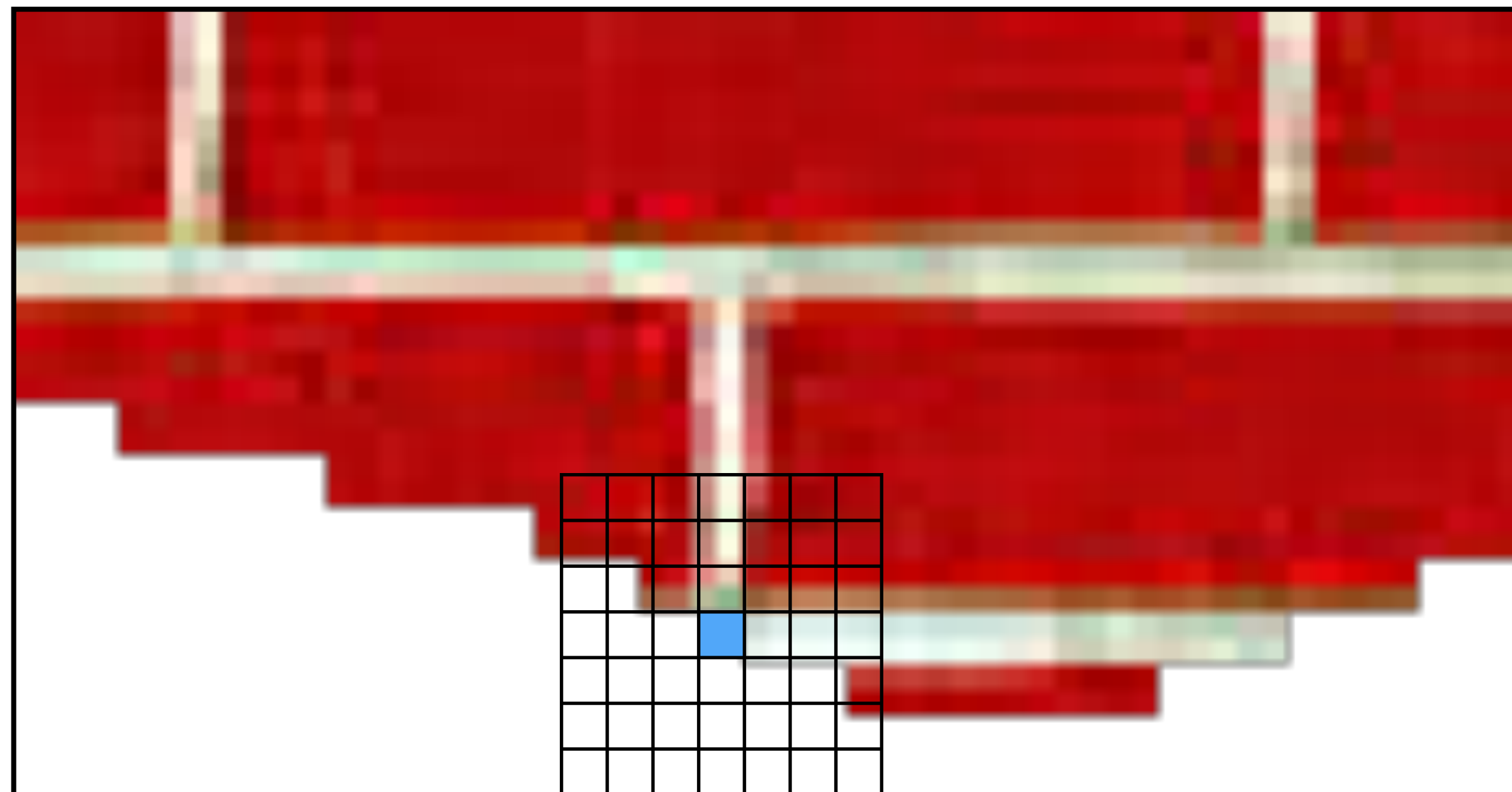
- Plutôt que de calculer $P(\mathbf{p}|N(\mathbf{p}))$, utiliser l'image source et trouver des endroits similaires à $N(\mathbf{p})$



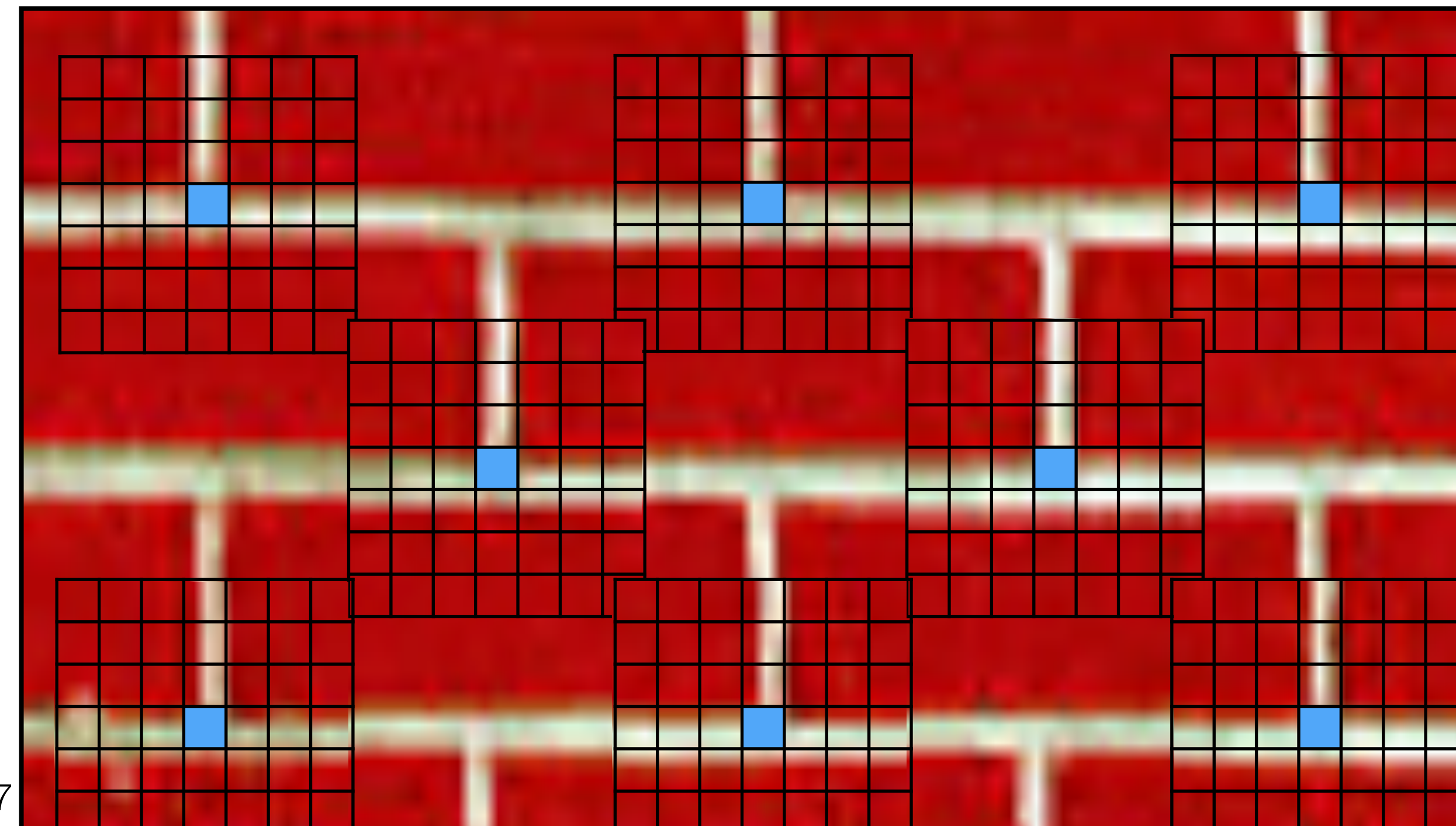
Solution?

Comment?

- Plutôt que de calculer $P(\mathbf{p}|N(\mathbf{p}))$, utiliser l'image source et trouver des endroits similaires à $N(\mathbf{p})$



Source



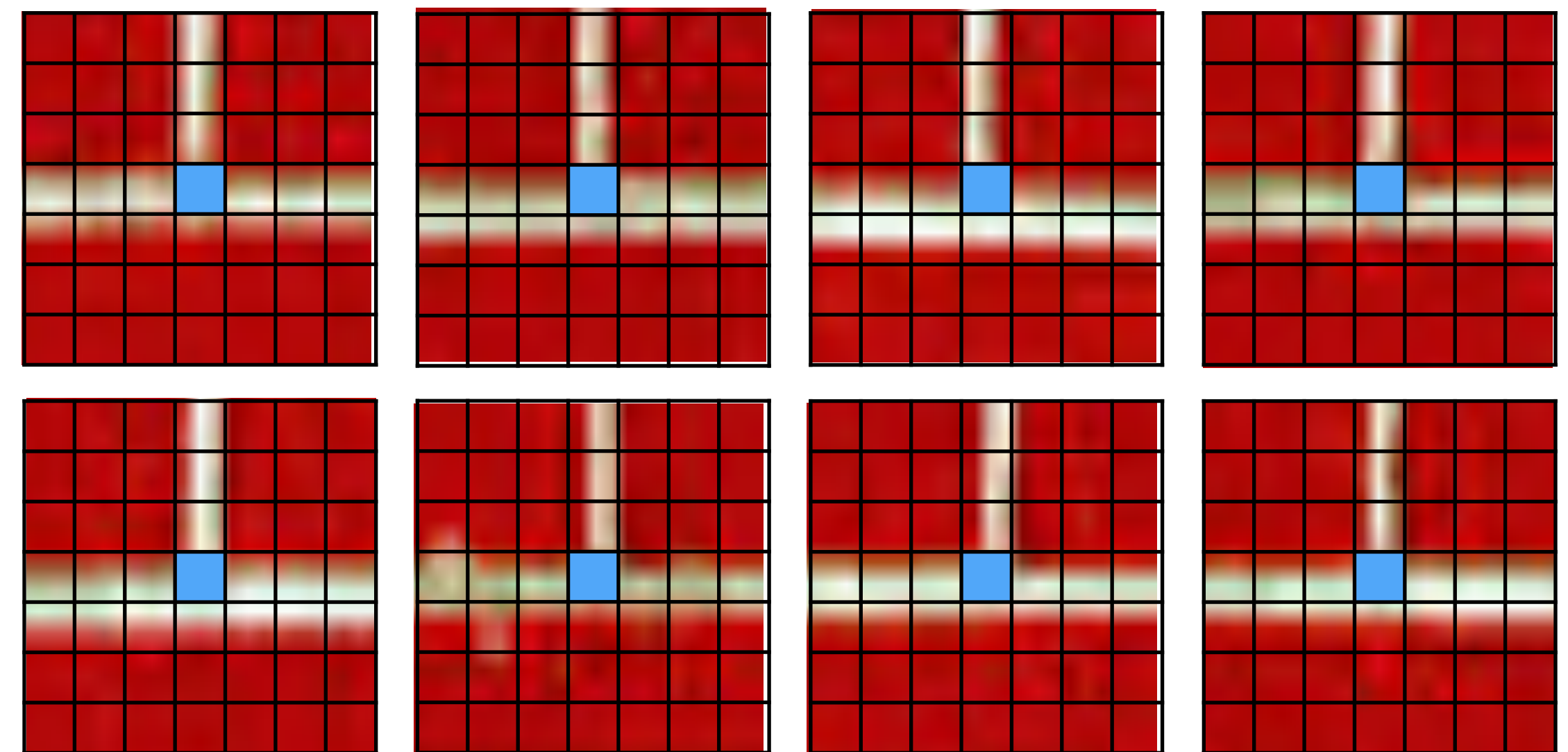
Solution?

Approximation de

$$P(\mathbf{p} | N(\mathbf{p}))$$

par échantillonnage non-paramétrique

- En pratique:
 - trouver les k voisinages les plus similaires
 - sélectionner aléatoirement (pourquoi pas moyenne?)



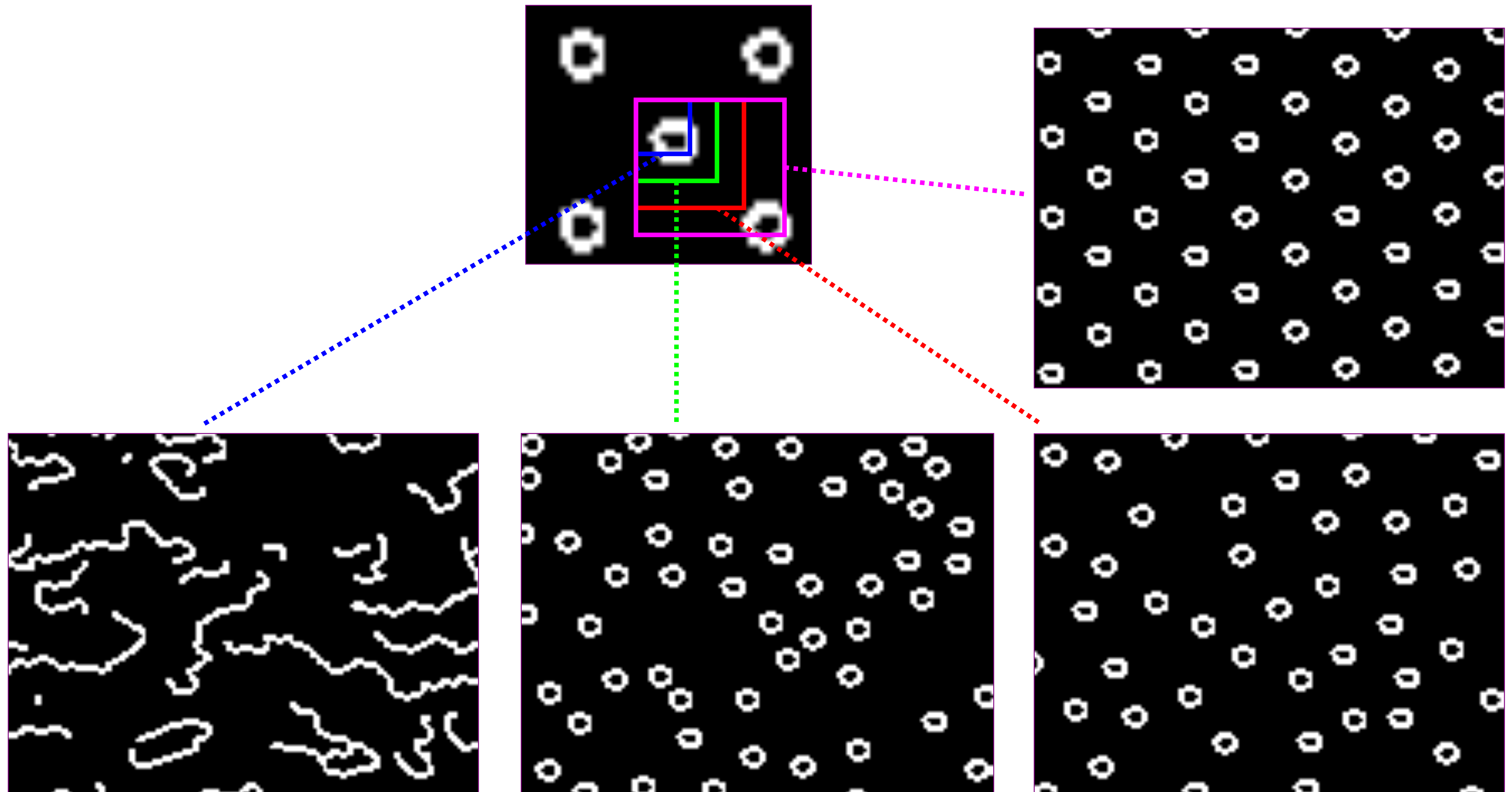
Source



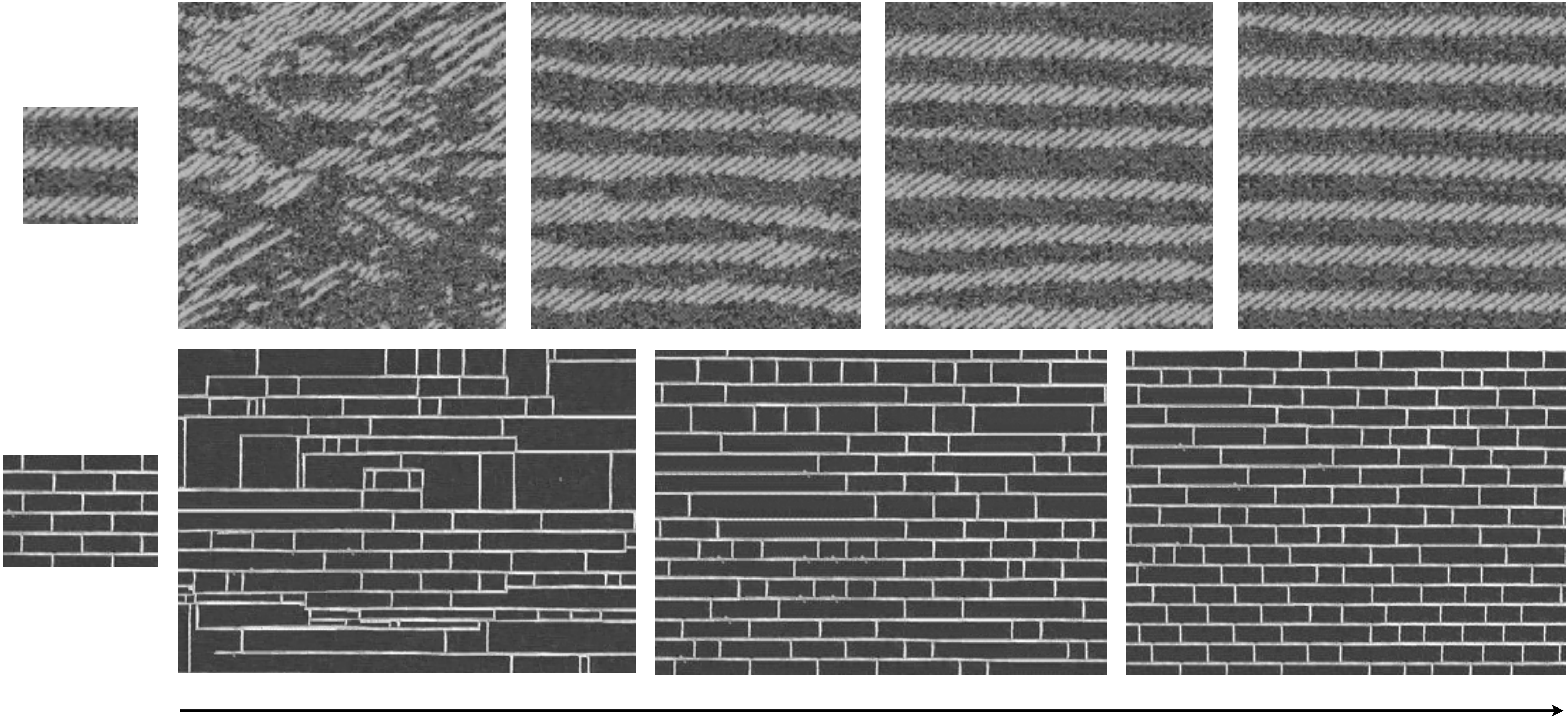
Détails

- Comment apparier les voisinages?
 - Somme des différences au carré (avec pondération gaussienne pour donner plus d'importance aux pixels plus proches)
- Dans quel ordre?
 - Pixels qui ont le plus de voisins en premier
 - Si on part de 0, commencer avec un endroit sélectionné aléatoirement
- De quelle taille devraient être les fenêtres?

Taille de la fenêtre



Taille de la fenêtre

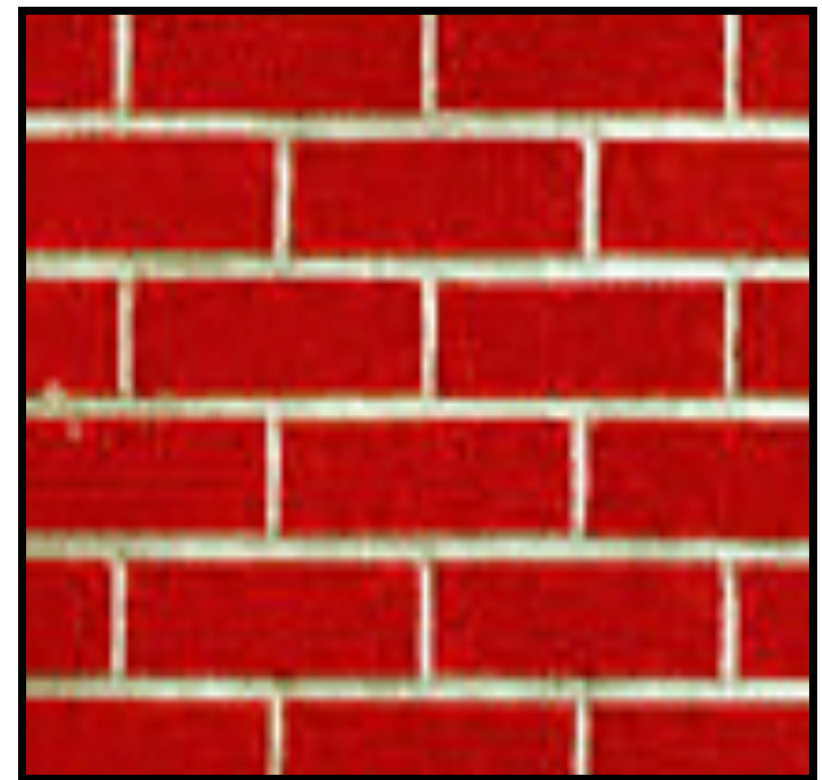


Taille

Algorithme : échantillonnage non-paramétrique

- Tant que l'image de destination n'est pas remplie :
 - Trouver, dans l'image de destination, le pixel inconnu qui a le plus de voisins;
 - Trouver, dans l'image source, les N pixels dont le voisinage est le plus similaire à celui du pixel inconnu
 - Somme des différences au carré, pondérée par gaussienne
 - Sélectionner aléatoirement parmi les pixels semblables, et copier sa valeur dans l'image.

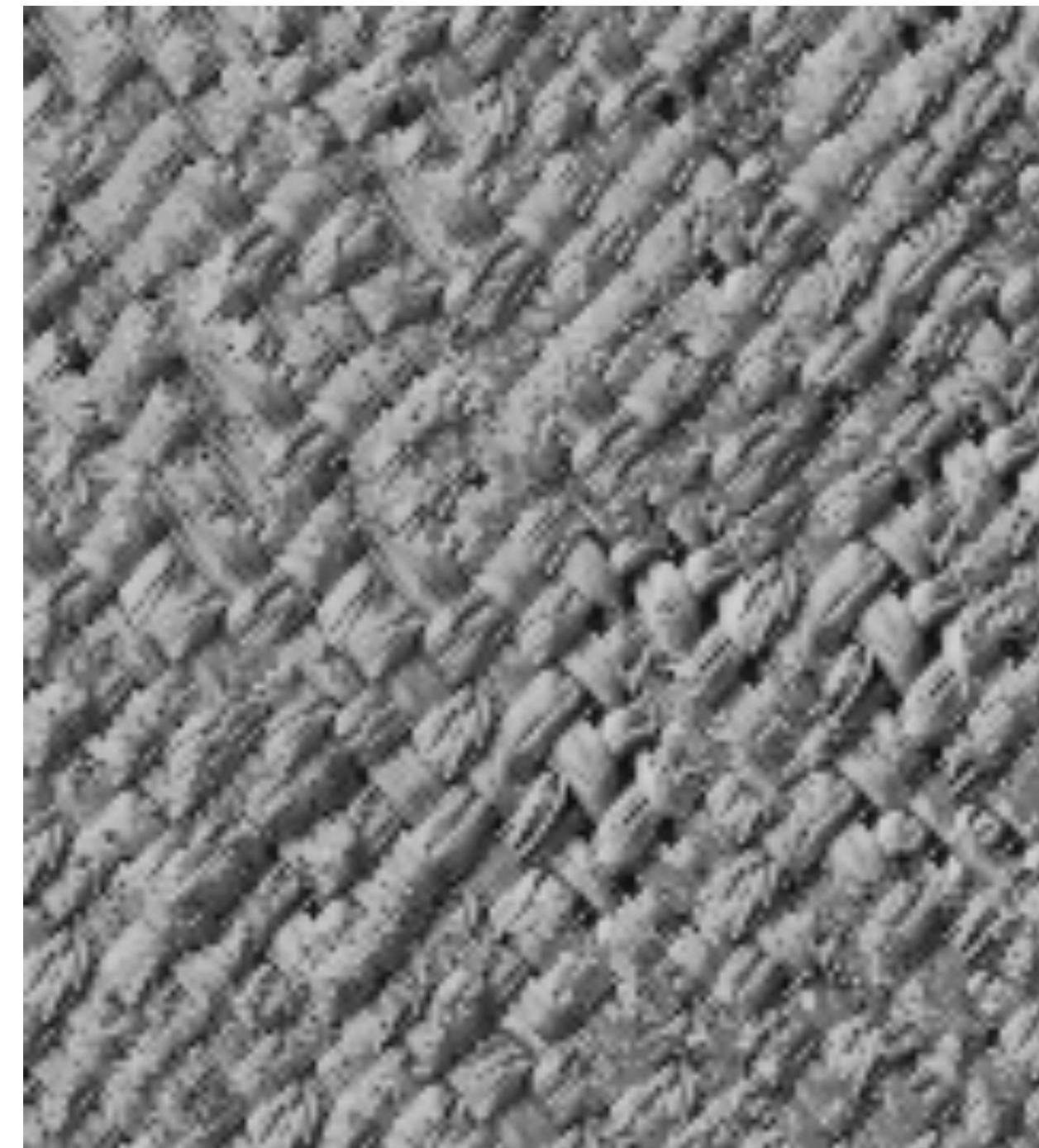
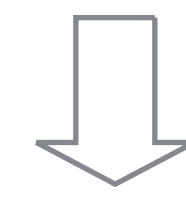
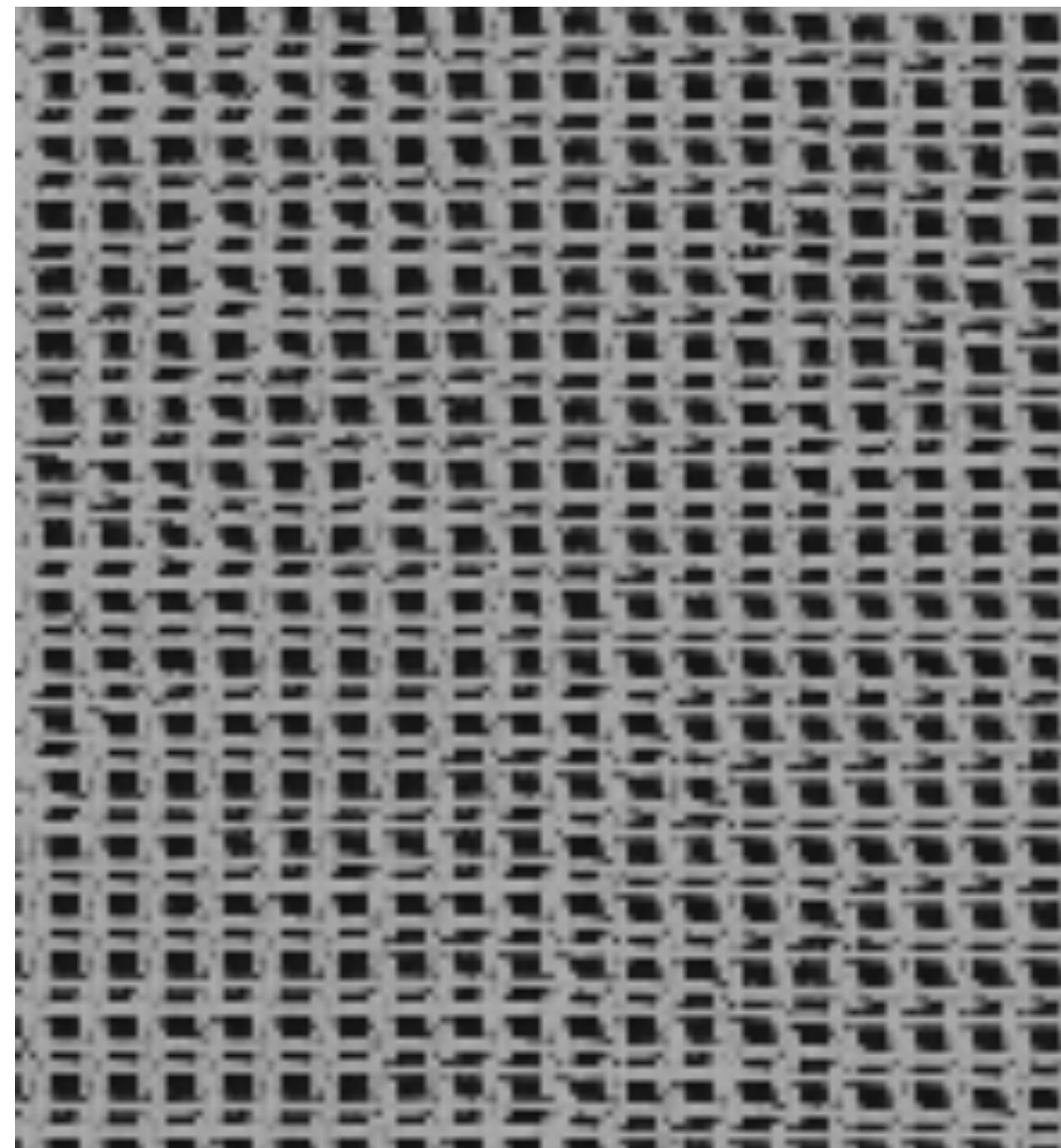
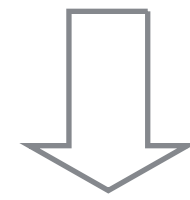
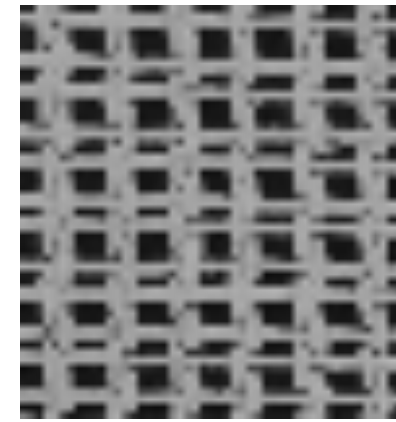
Source



Destination

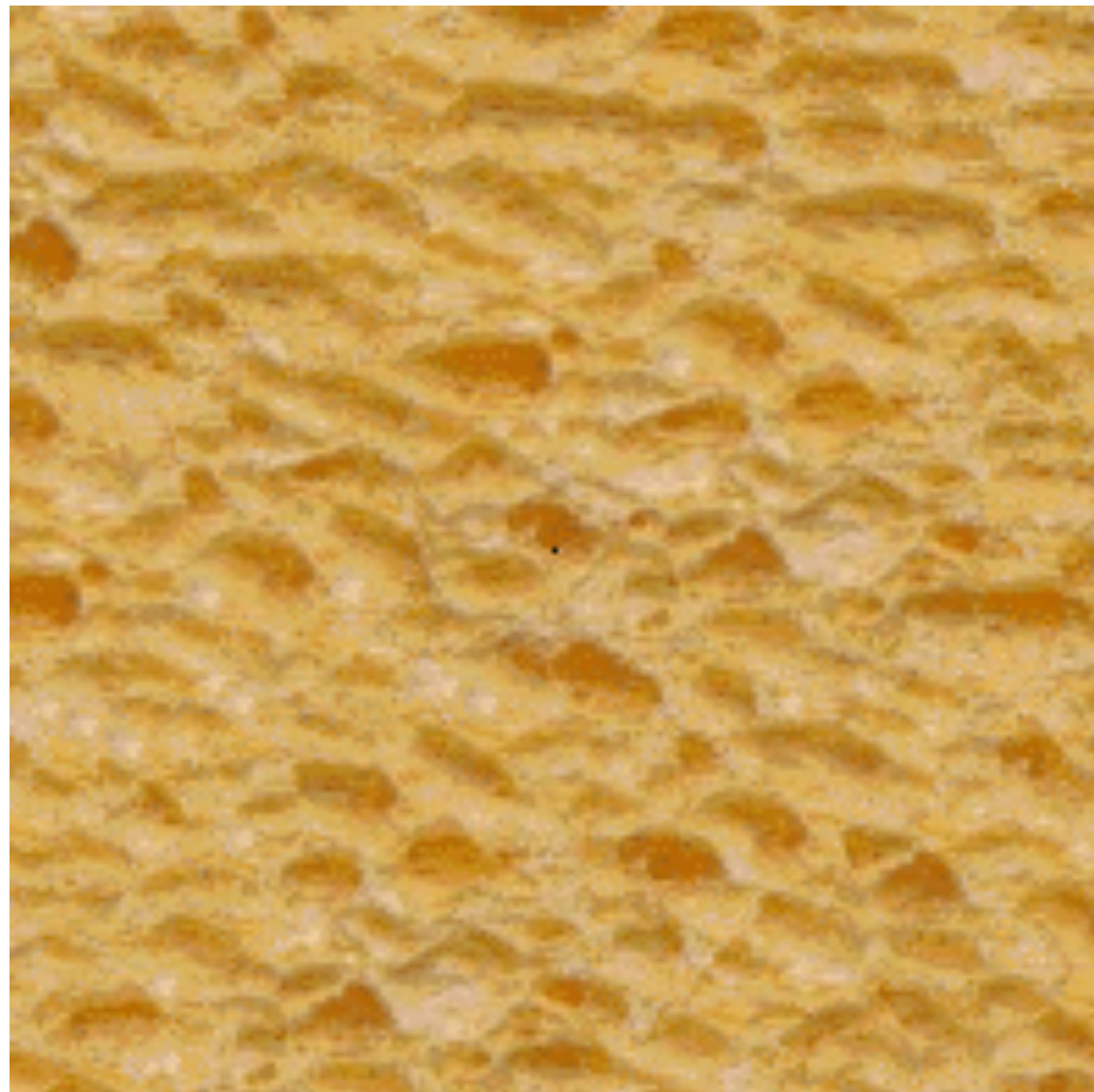
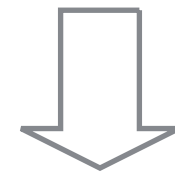


Résultats

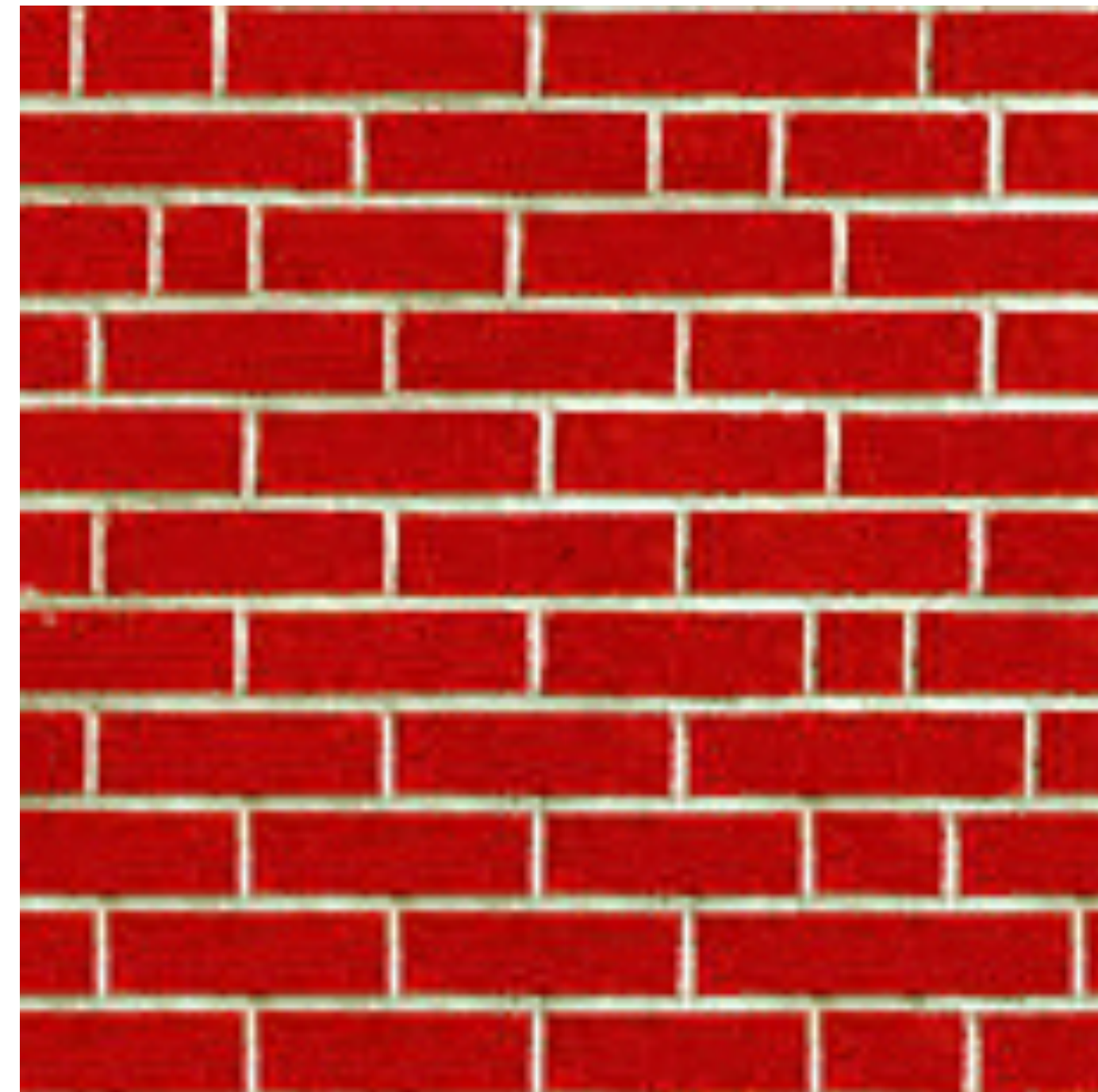
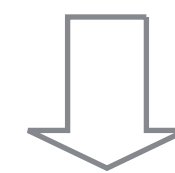
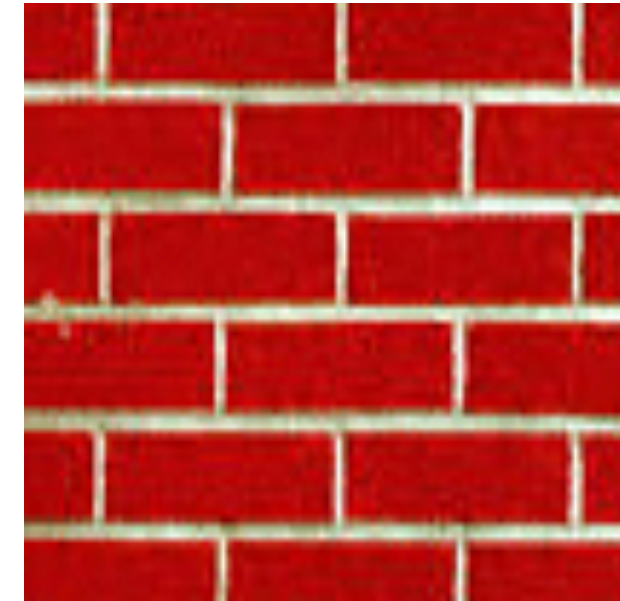


Résultats

pain

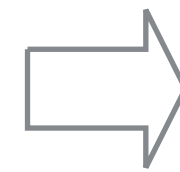


briques



En hommage à Shannon

coming in the unsensational
r Dick Gephardt was fair
rful riff on the looming
nly asked, "What's your
tions?" A heartfelt sigh
story about the emergen
es against Clinton. "Boy
g people about continuin
ardt began, patiently obs
s, that the legal system h
g with this latest tanger

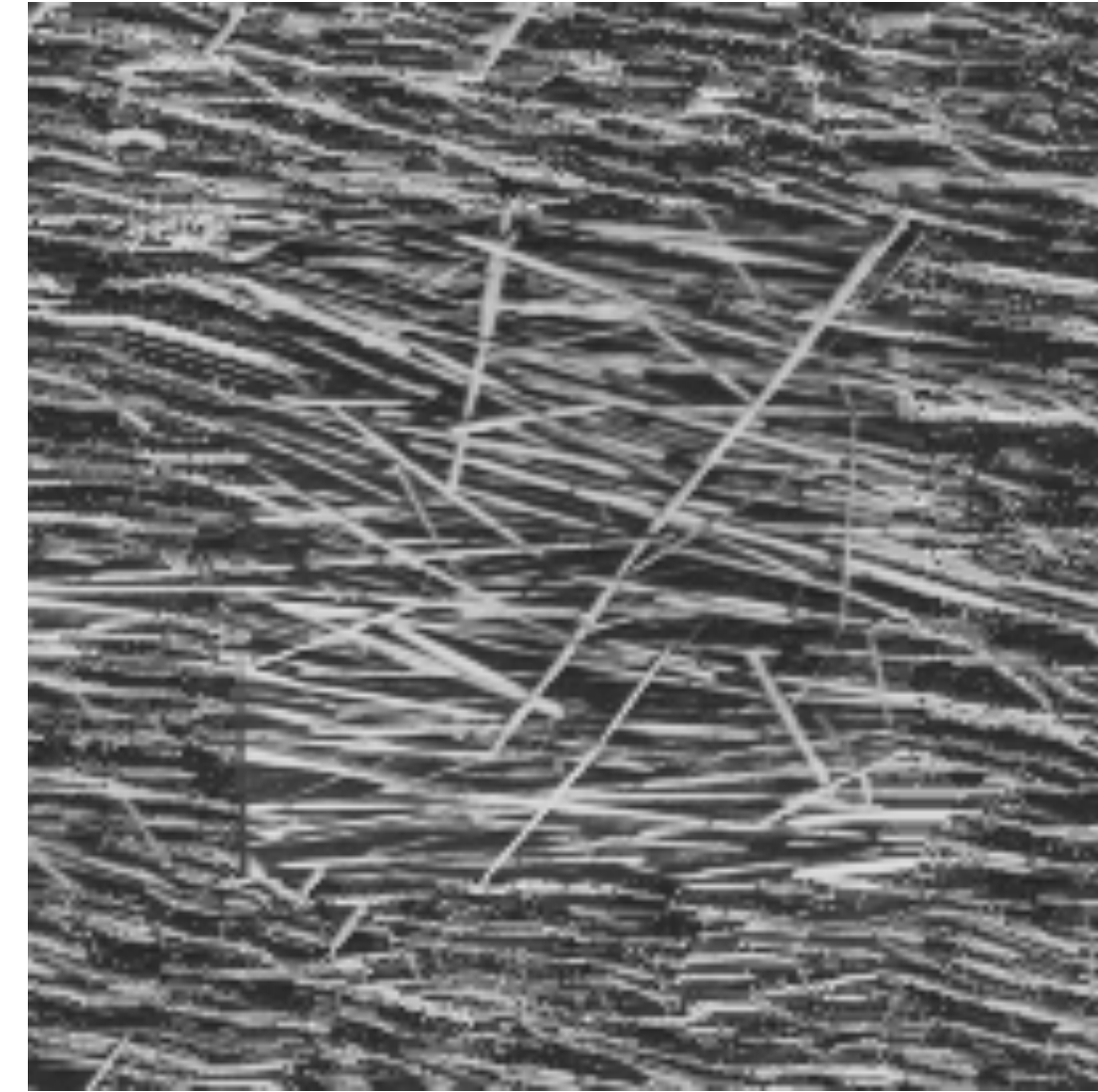
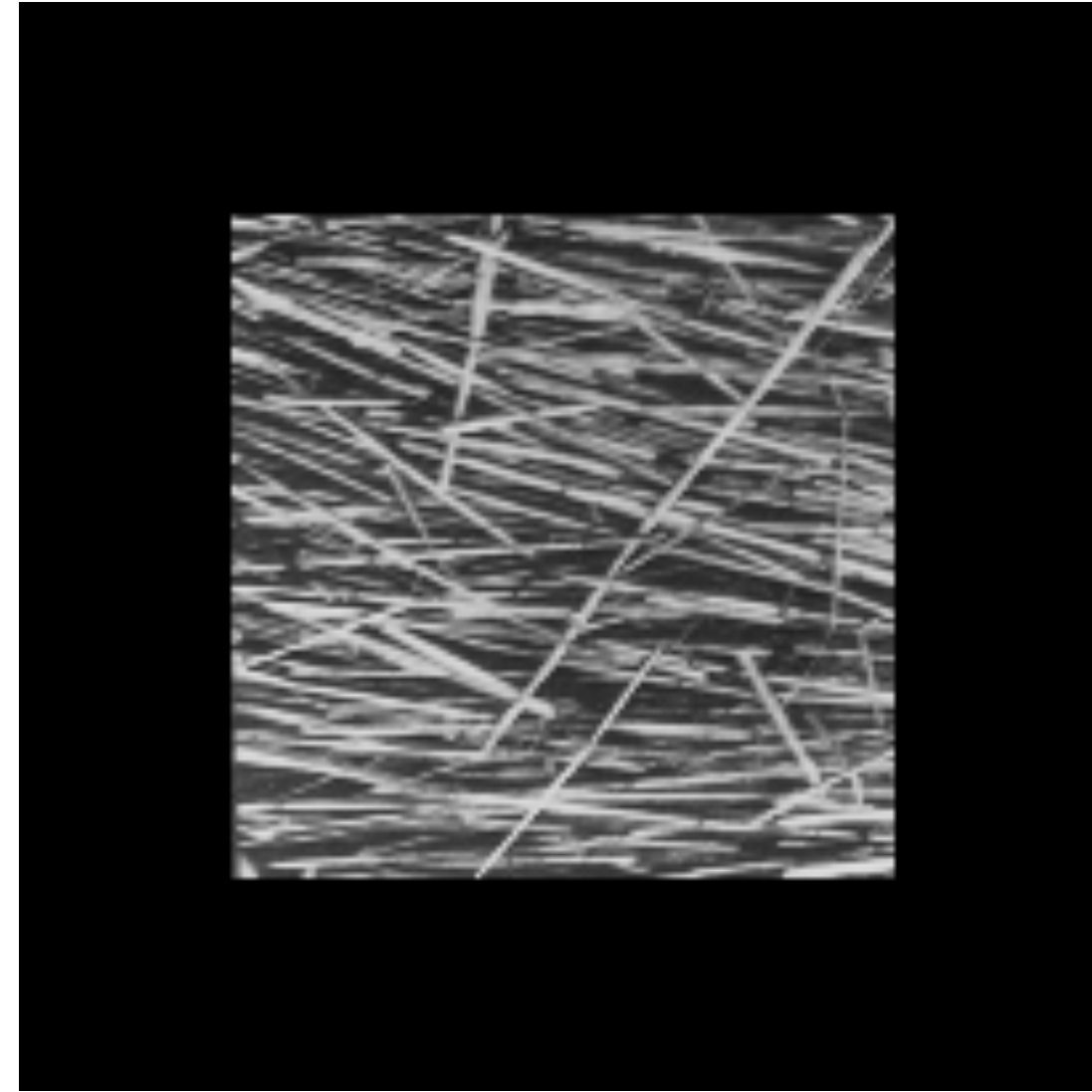


ithaim, them. "Whnephartfe lartifelintomimer
fel ck Clirtioout omaim thartfelins.f out s anent
the ry onst wartfe lck Gephtoomimeationl sigab
Chiooufit Clinut Clil riff on. hat's yordn, parut tly
ons ycontonsteht wasked, paim t sahe loo riff on l
nskoneploourtfeas leil A nst Clit, "Wleontongal s
k Cirtioouirtfepe ong pme abegal fartfenstemem
tiensteneltorydt telemephminsberdt was agemer
ff ons artientont Cling peme as artfe atich, "Boui s
nal s fartfelt sig pedrtldt ske abounutie aboutioo
tfeoneewas yow aboronthardt thatins fain, ped, '
ains, them, pabout wasy arfuit coutly d, l n A h
le emthrdngbooreme agas fa bontinsyst Clinut
ory about continst Clipeopinst Cloke agatiff out C
stome zinemen tly ardt beoraboul n, thenly as t C
cons fairmeme Diontont wat coutlyohgans as fan
ien, phrtfaul, "Wbout cout congagal comininga
mifmst Cliiy abon al coountha.emungairt tf oun
The looorysta loontieph. intly on, theoplegatick C
rul fatiezontly atie Diontiomt wal s f t begae ener
nthahgat's enenhhmas fan. "intchthorw ahons v

Remplissons les trous



Extrapolation



Résumé

- La synthèse de texture par échantillonnage non-paramétrique
 - Méthode simple
 - Résultats surprenants
 - ... mais extrêêêêêêément lent!

Les textures

Synthèse de texture par courtepoin

GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique
Jean-François Lalonde

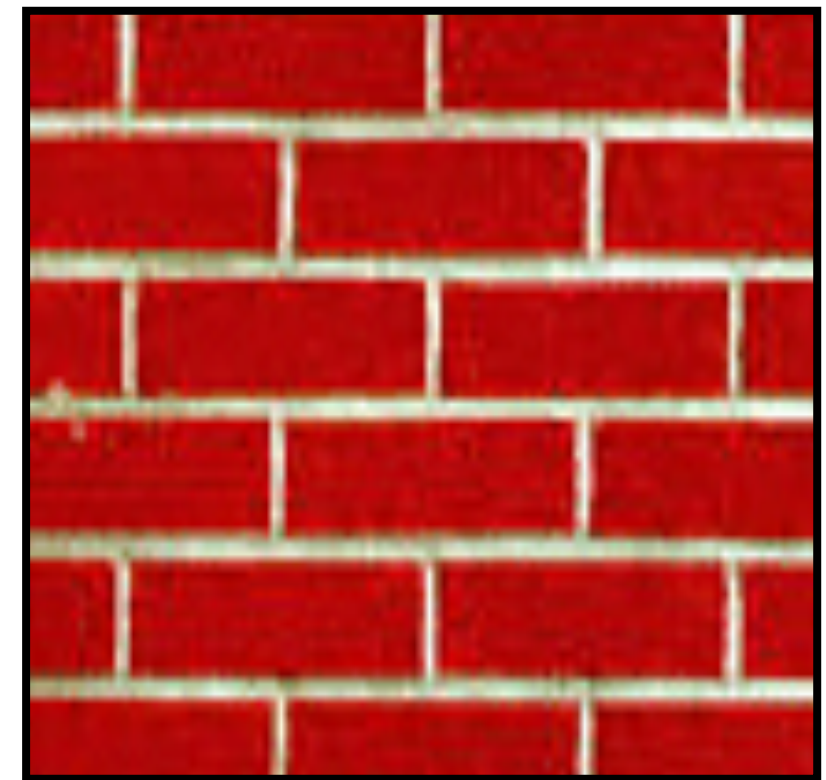
Crédit photo: Enchantedgal-Stock, [deviantart.com](https://www.deviantart.com), merci à Derek Hoiem

Rappel

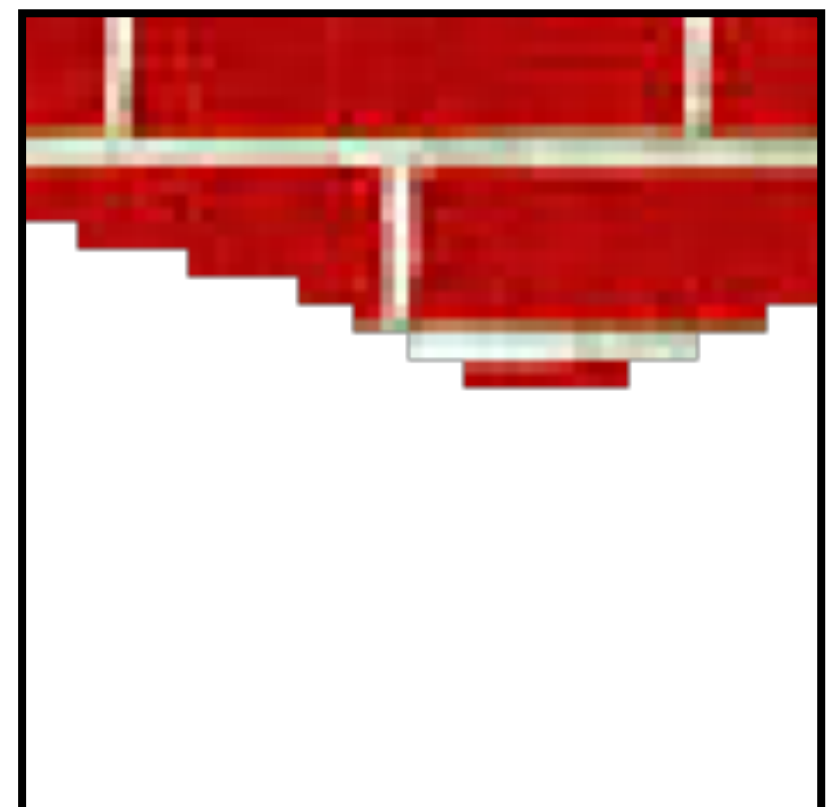
Algorithme : échantillonnage non-paramétrique

- Tant que l'image de destination n'est pas remplie :
 - Trouver, dans l'image de destination, le pixel inconnu qui a le plus de voisins;
 - Trouver, dans l'image source, les N pixels dont le voisinage est le plus similaire à celui du pixel inconnu
 - Somme des différences au carré, pondérée par gaussienne
 - Sélectionner aléatoirement parmi les pixels semblables, et copier sa valeur dans l'image.

Source



Destination

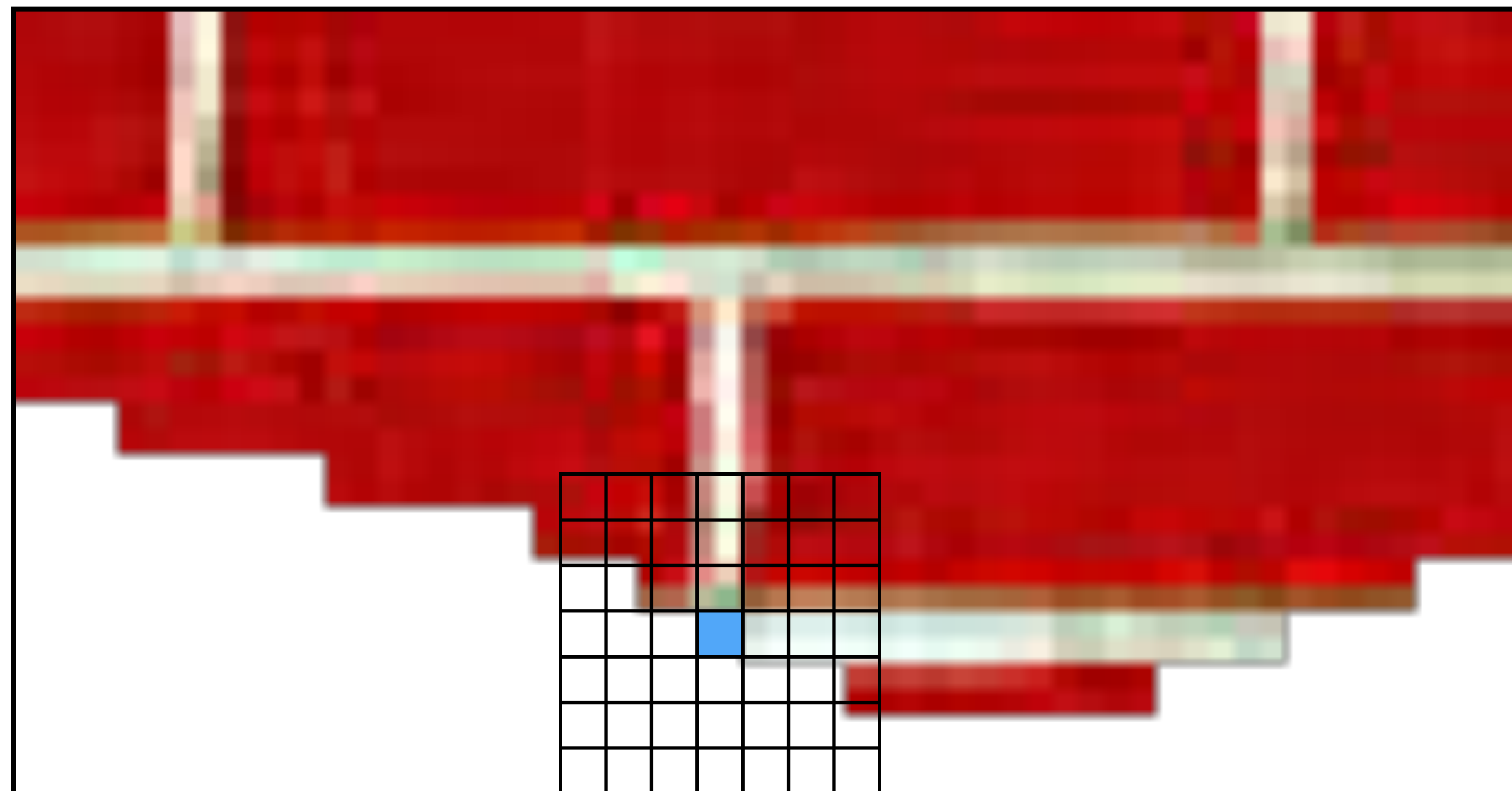


Très lent!

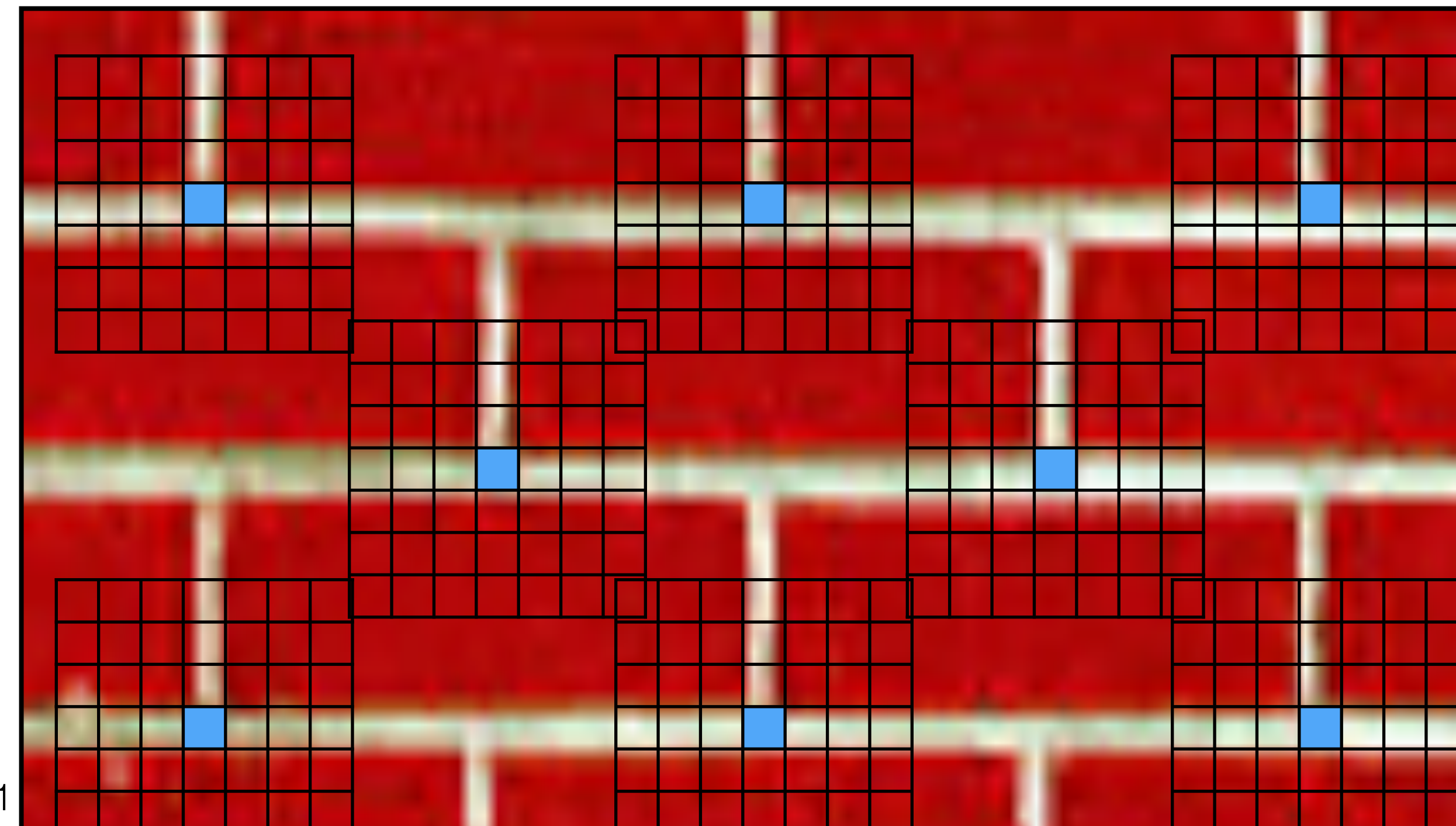
Synthèse d'un pixel à la fois...

Observation

- Les pixels voisins sont fortement corrélés

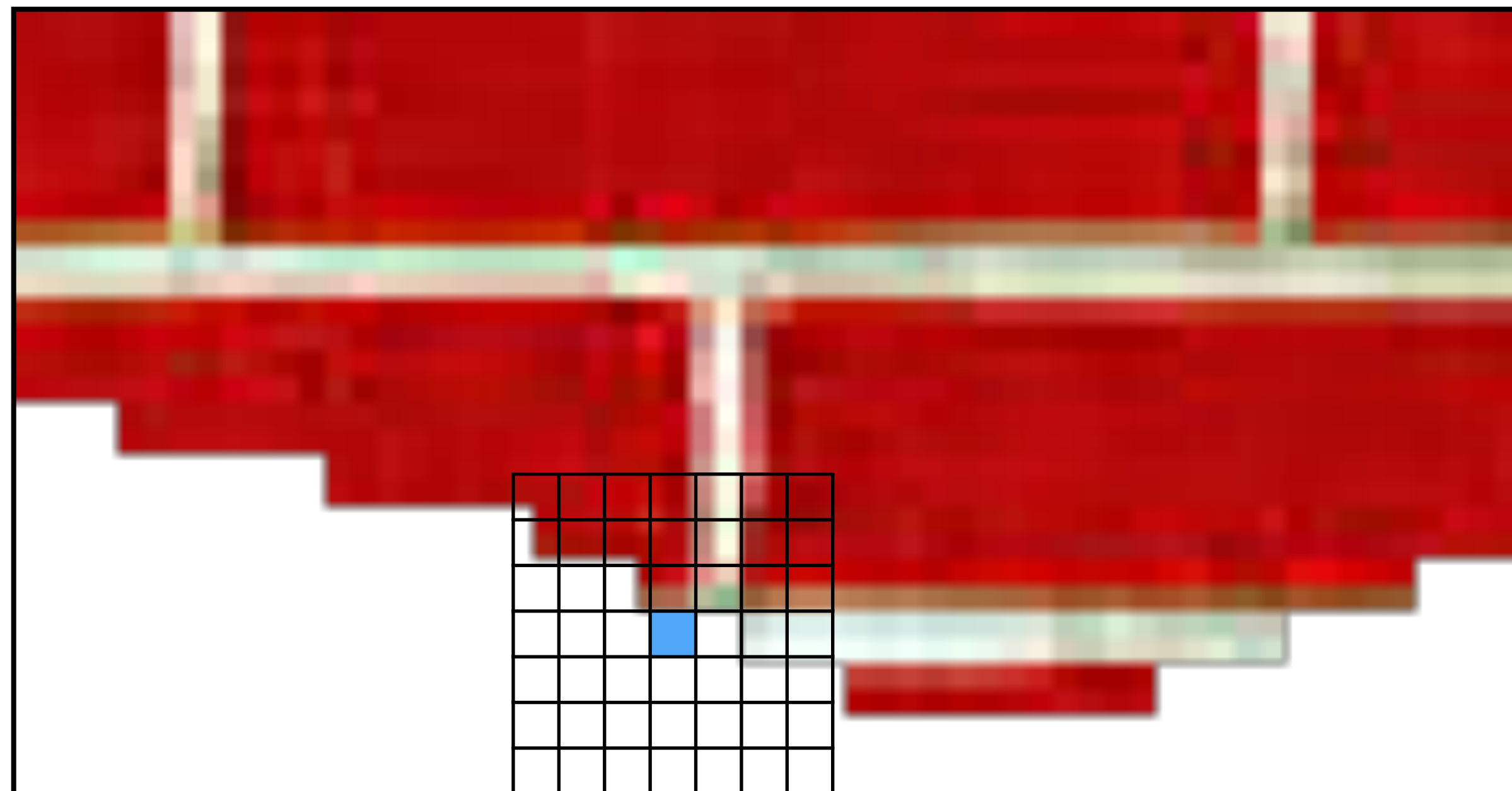


Source

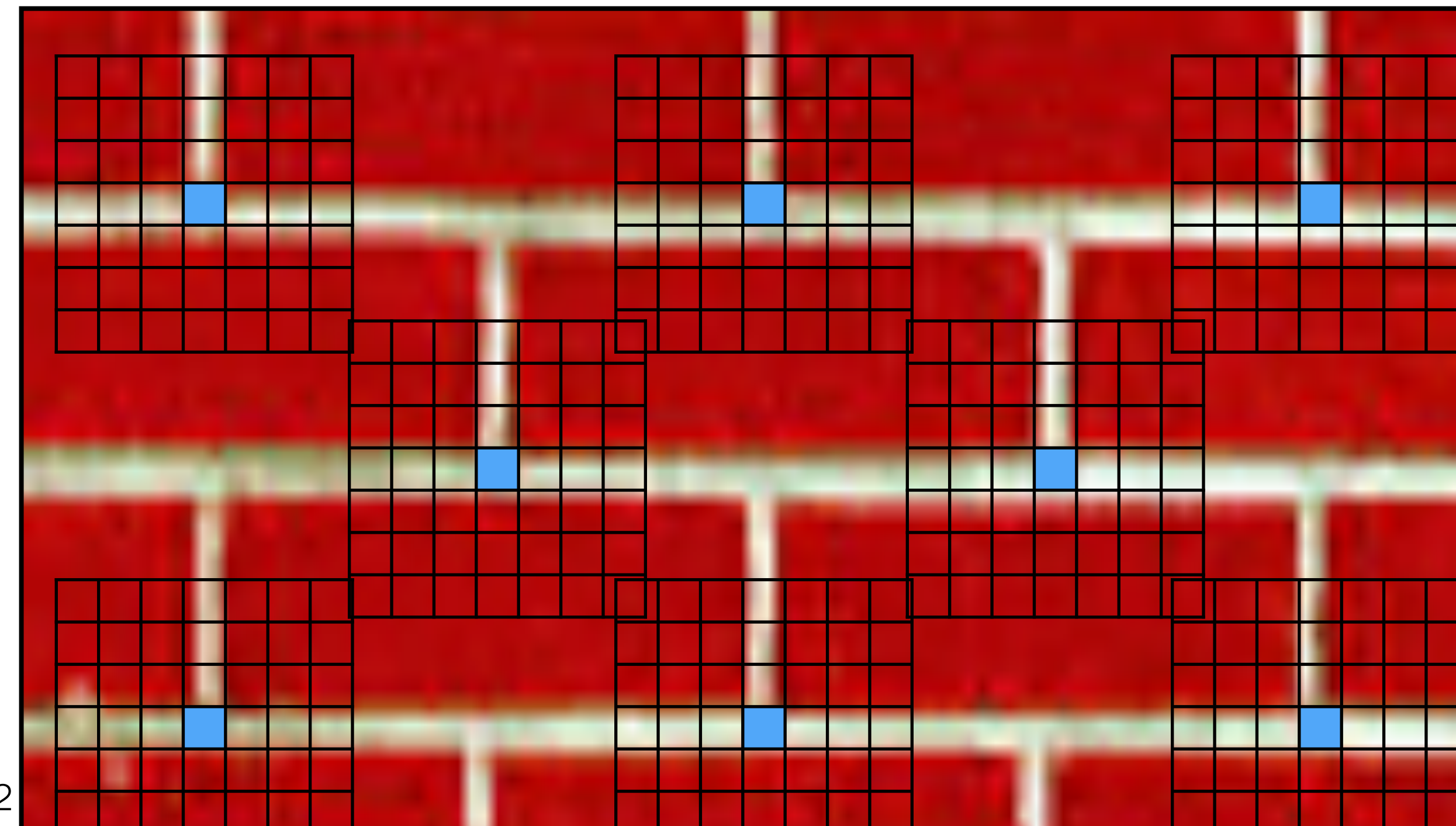


Observation

- Les pixels voisins sont fortement corrélés

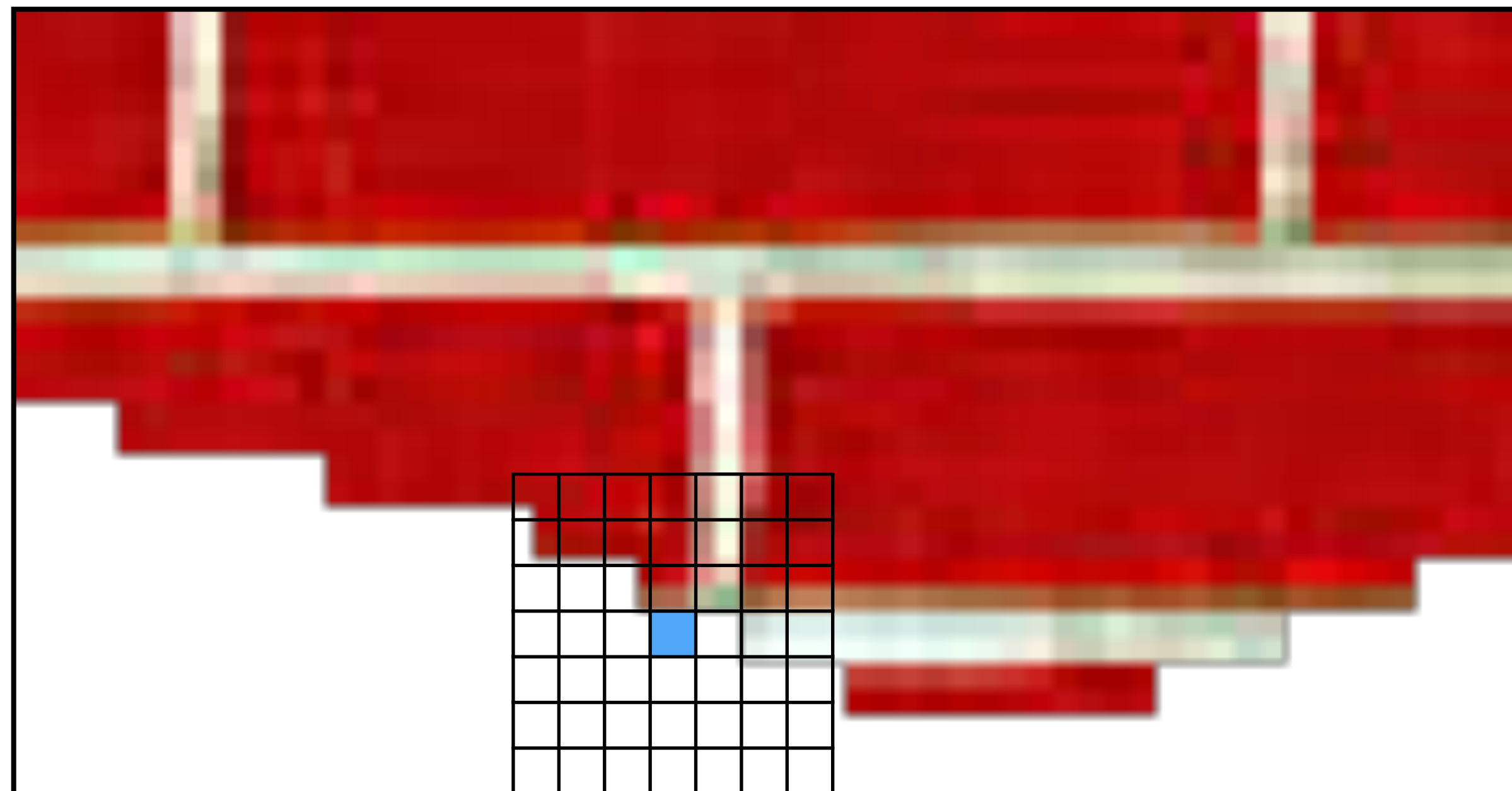


Source

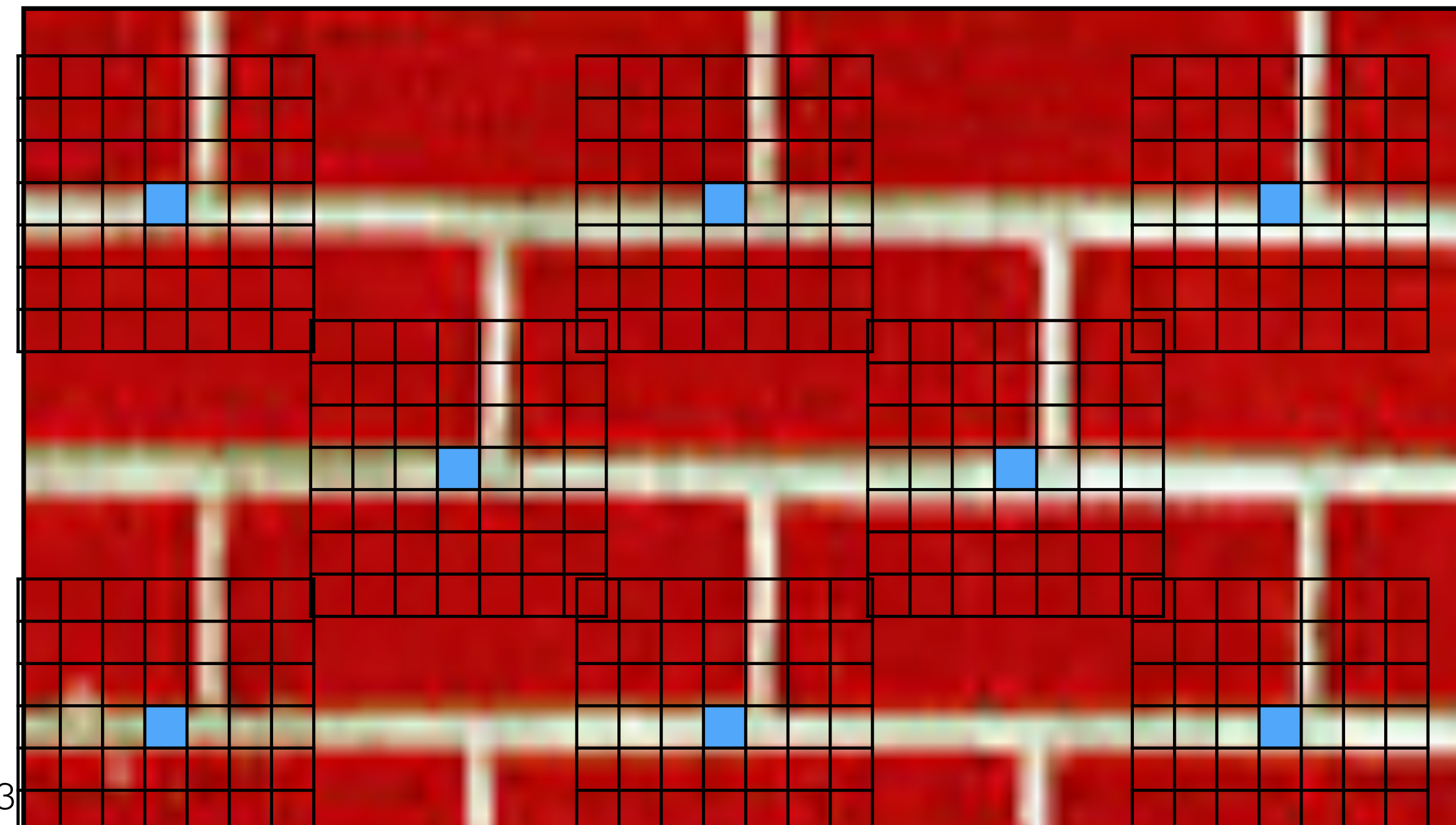


Observation

- Les pixels voisins sont fortement corrélés

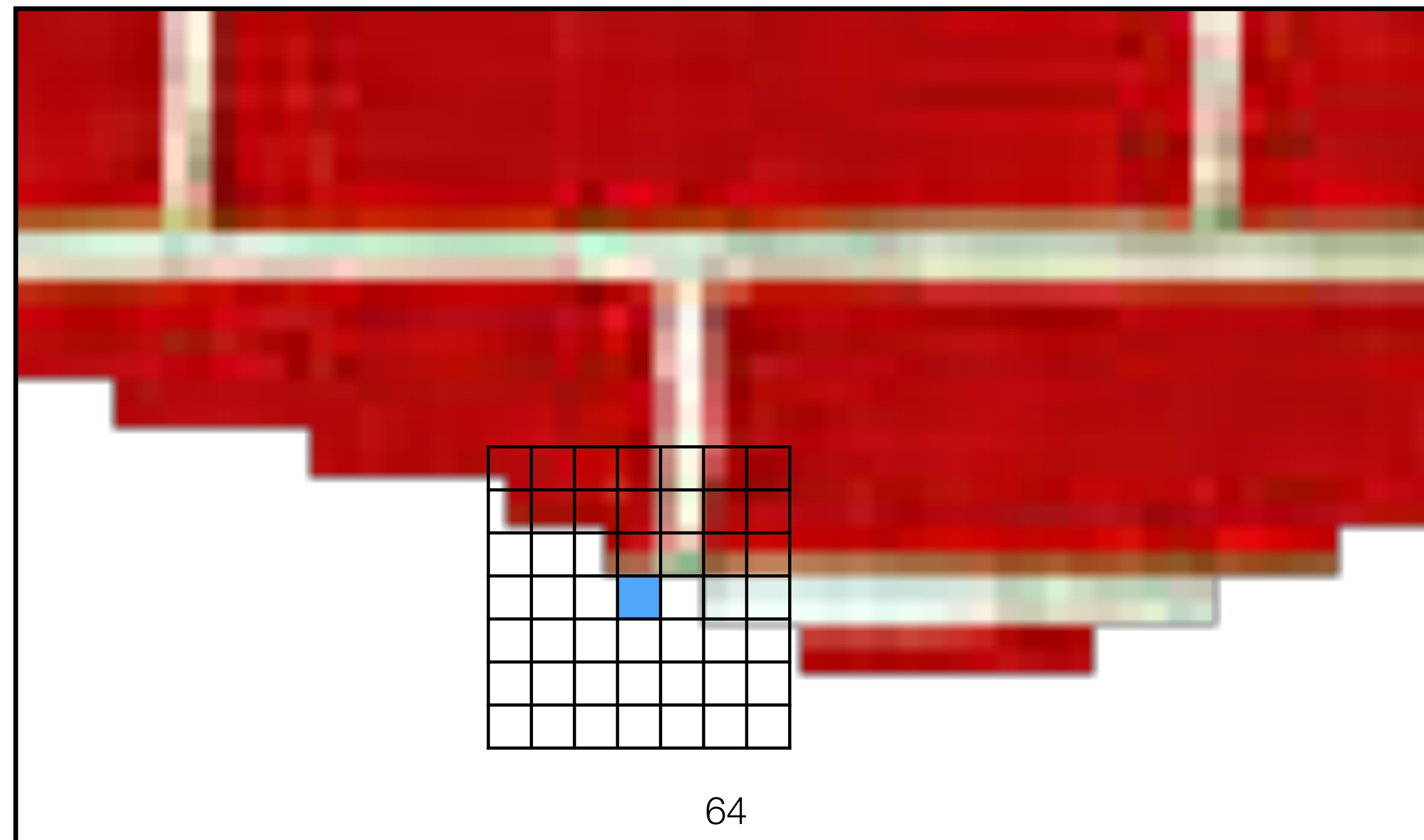


Source



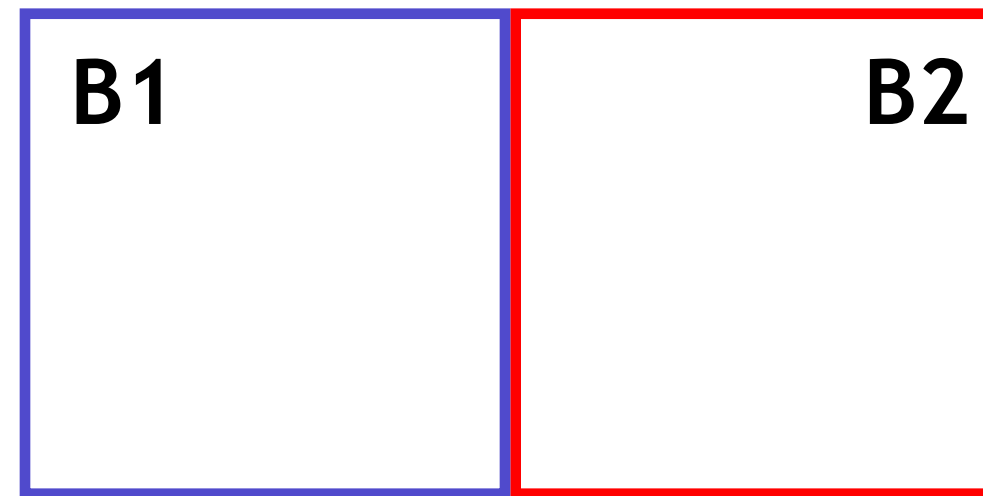
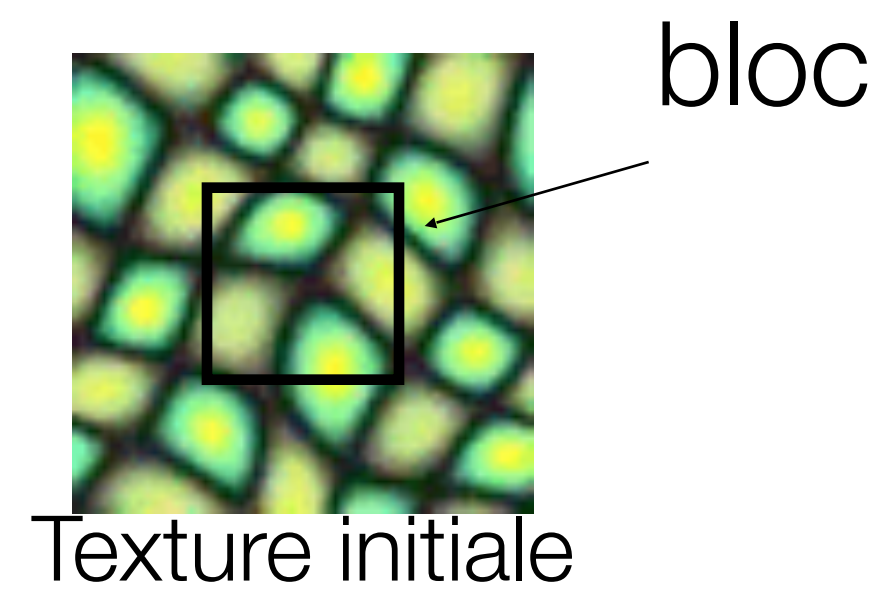
Idée

- Plutôt que de synthétiser un *pixel* à la fois, on synthétise un *bloc de pixels* à la fois

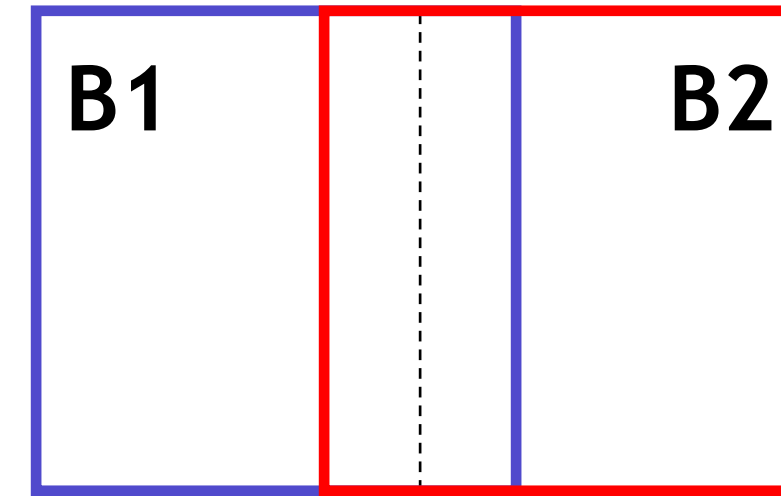


Synthèse par courtepointe

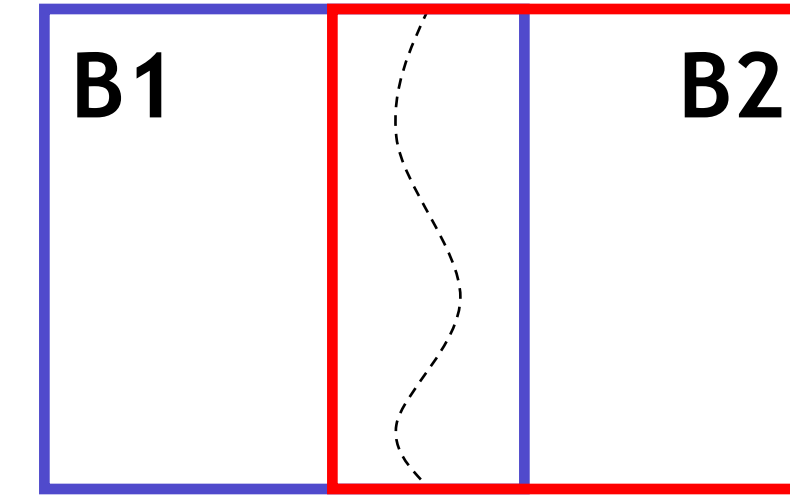




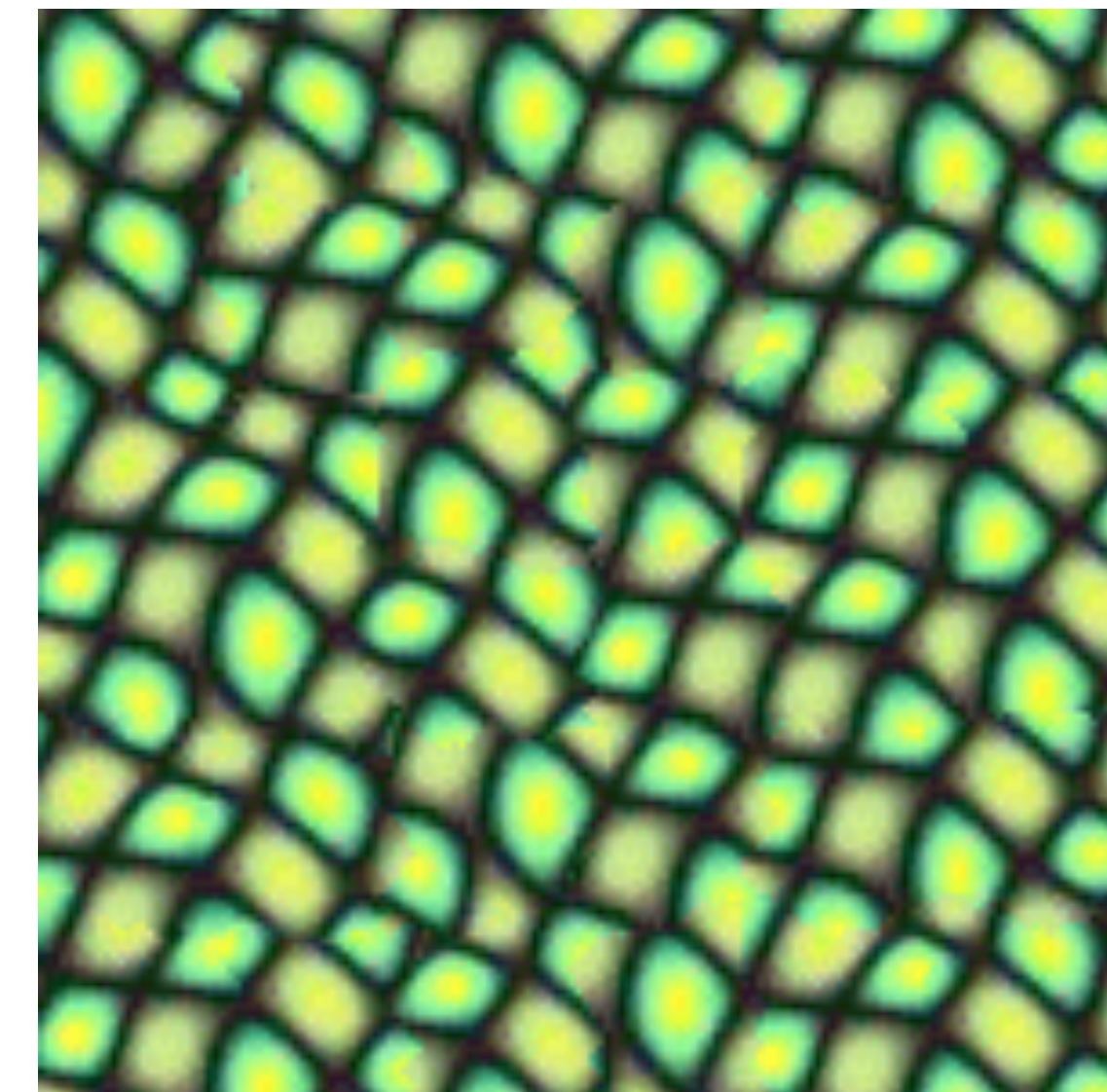
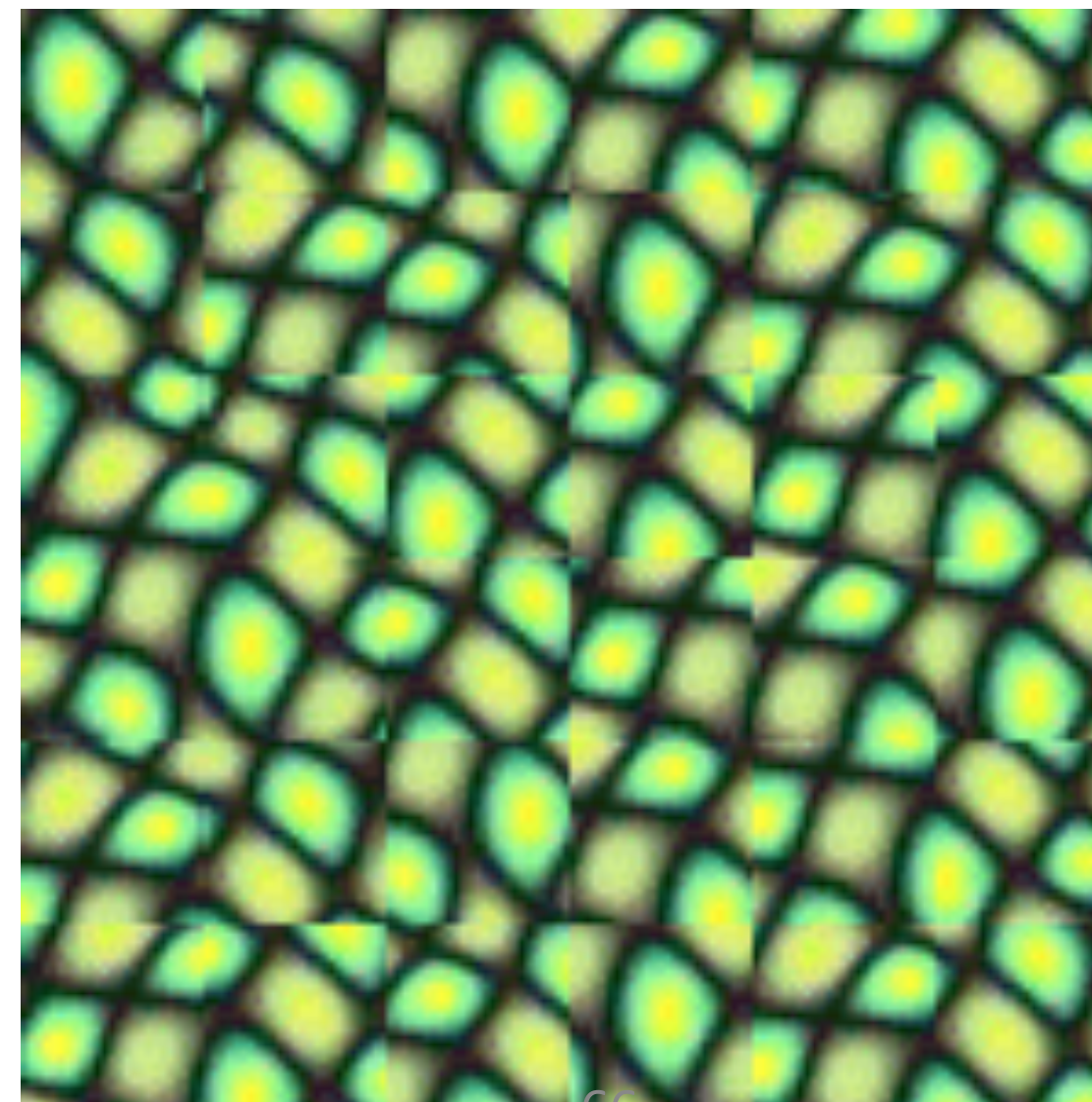
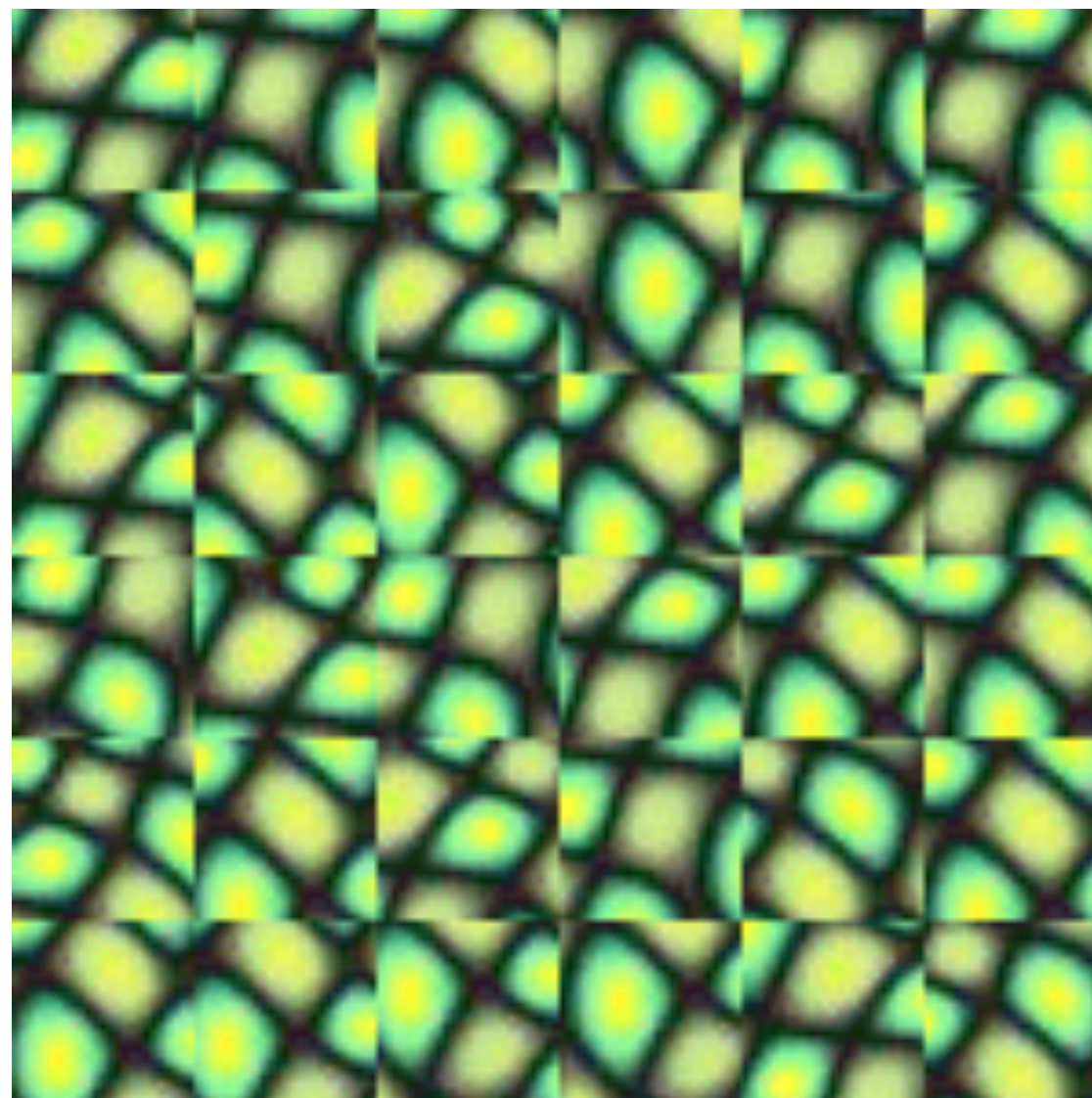
Placement des blocs aléatoire



Blocs voisins se chevauchent

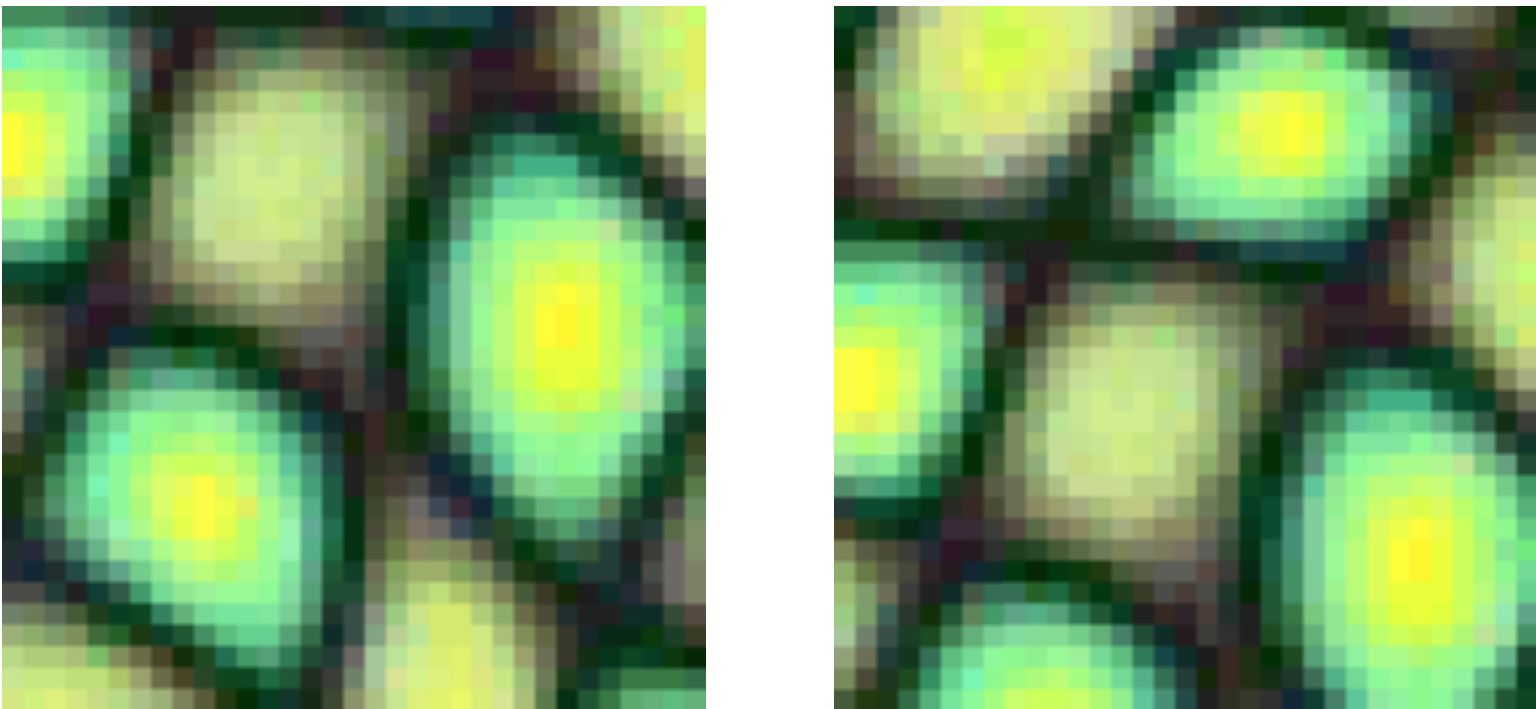


Coupure minimisant les discontinuités

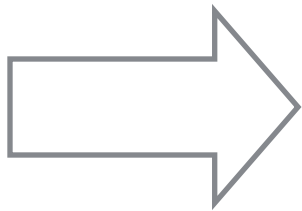
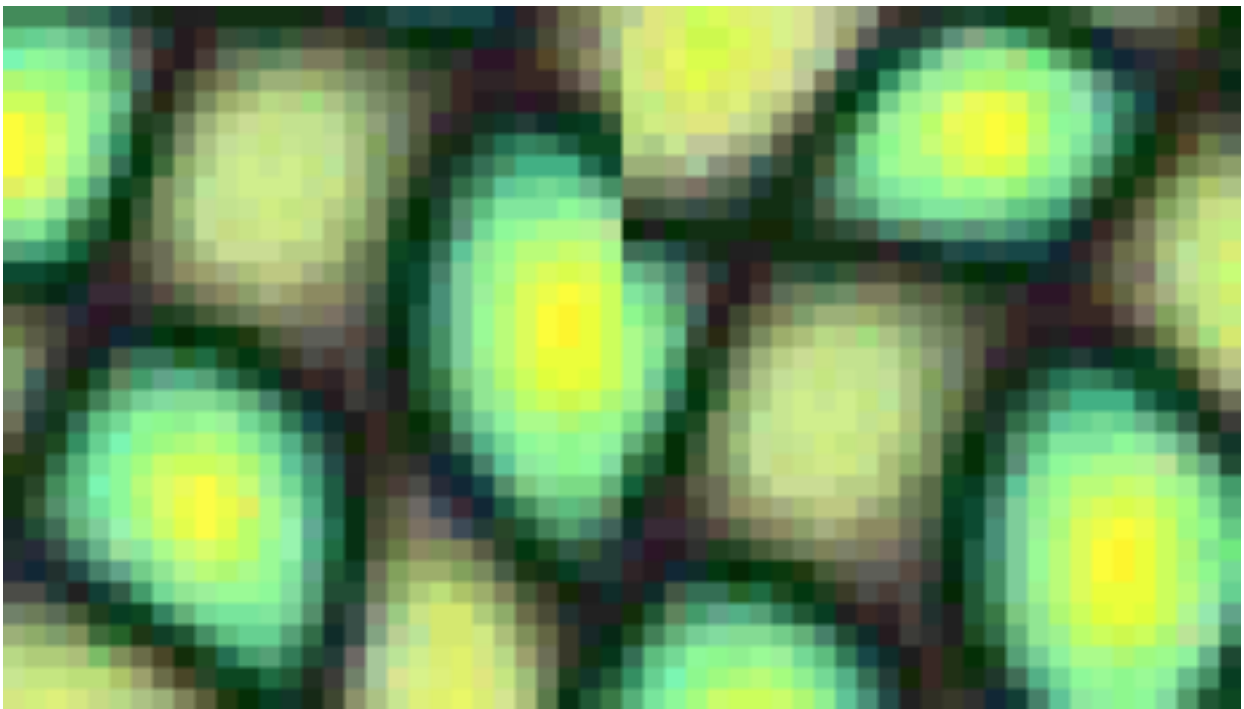


Coupure minimisant les discontinuités

blocs se chevauchant

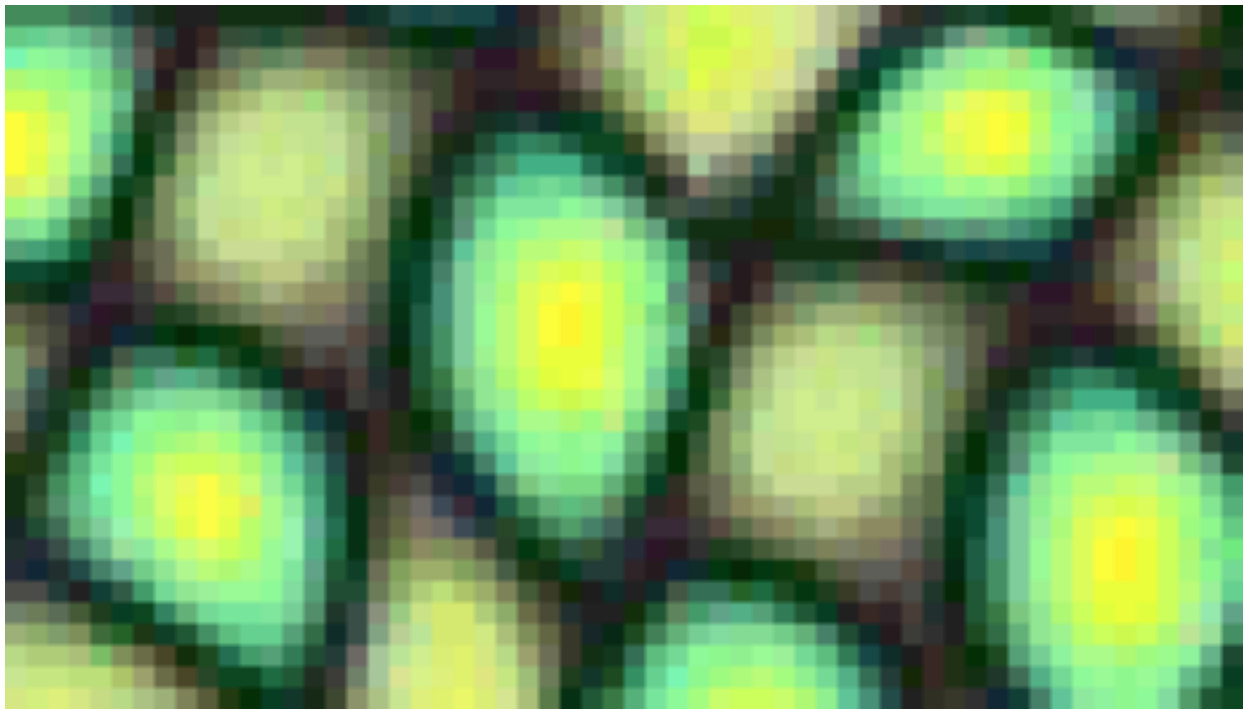


discontinuité verticale



$$\left[\begin{array}{c} \text{---} \end{array} \right]^2 = \text{erreur de chevauchement}$$

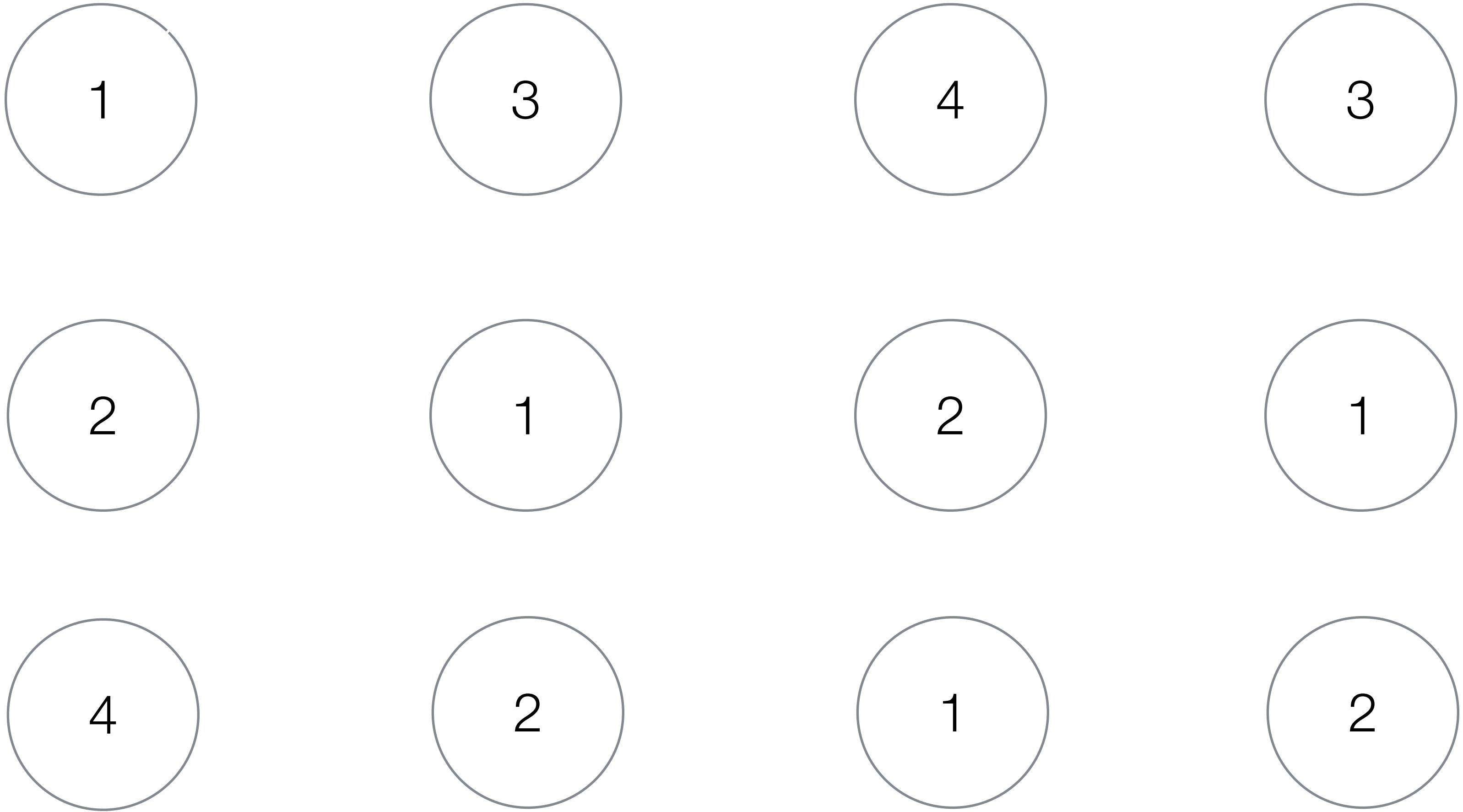
erreur de chevauchement



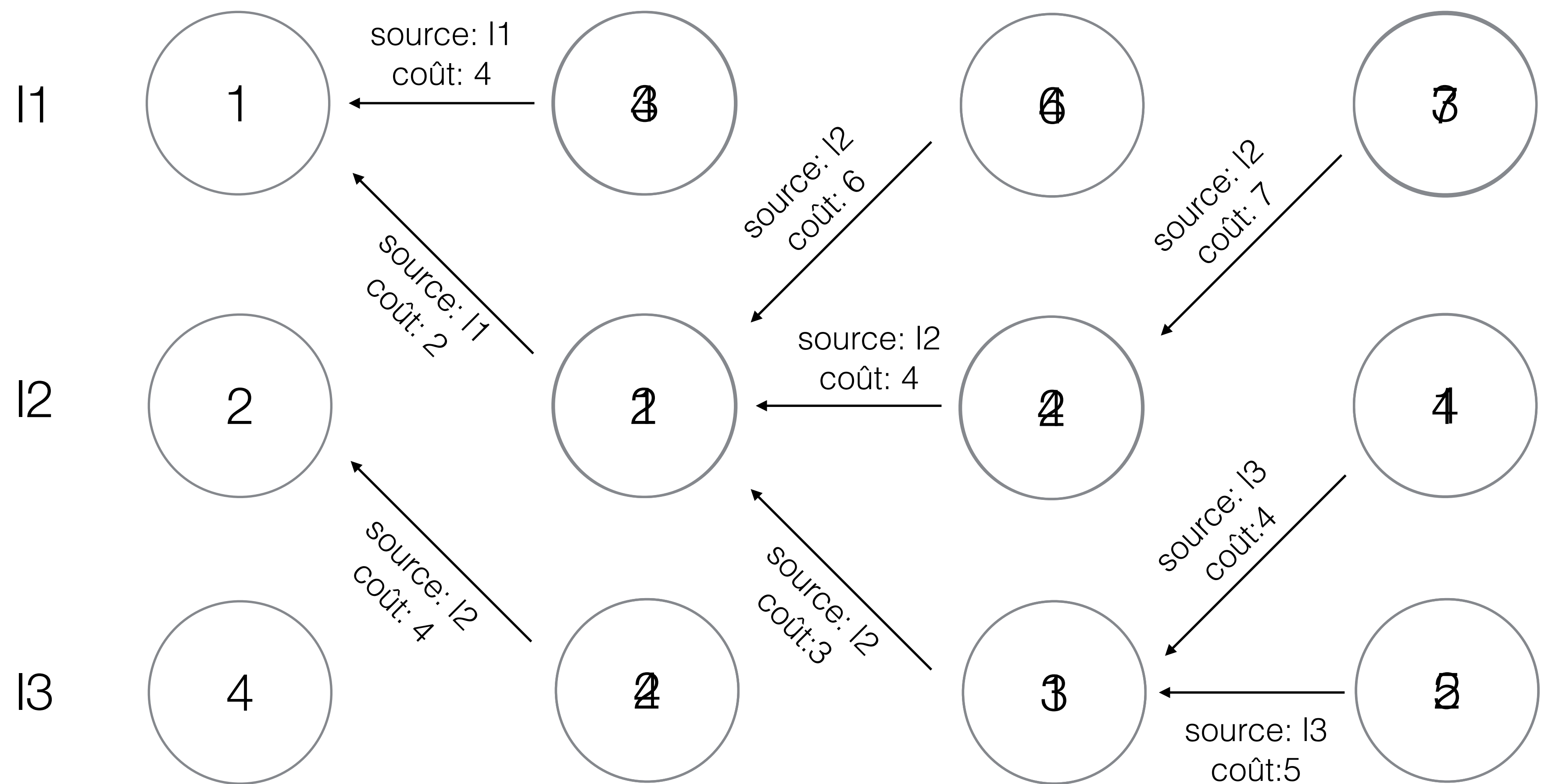
erreur minimale

Trouver le chemin au coût minimum

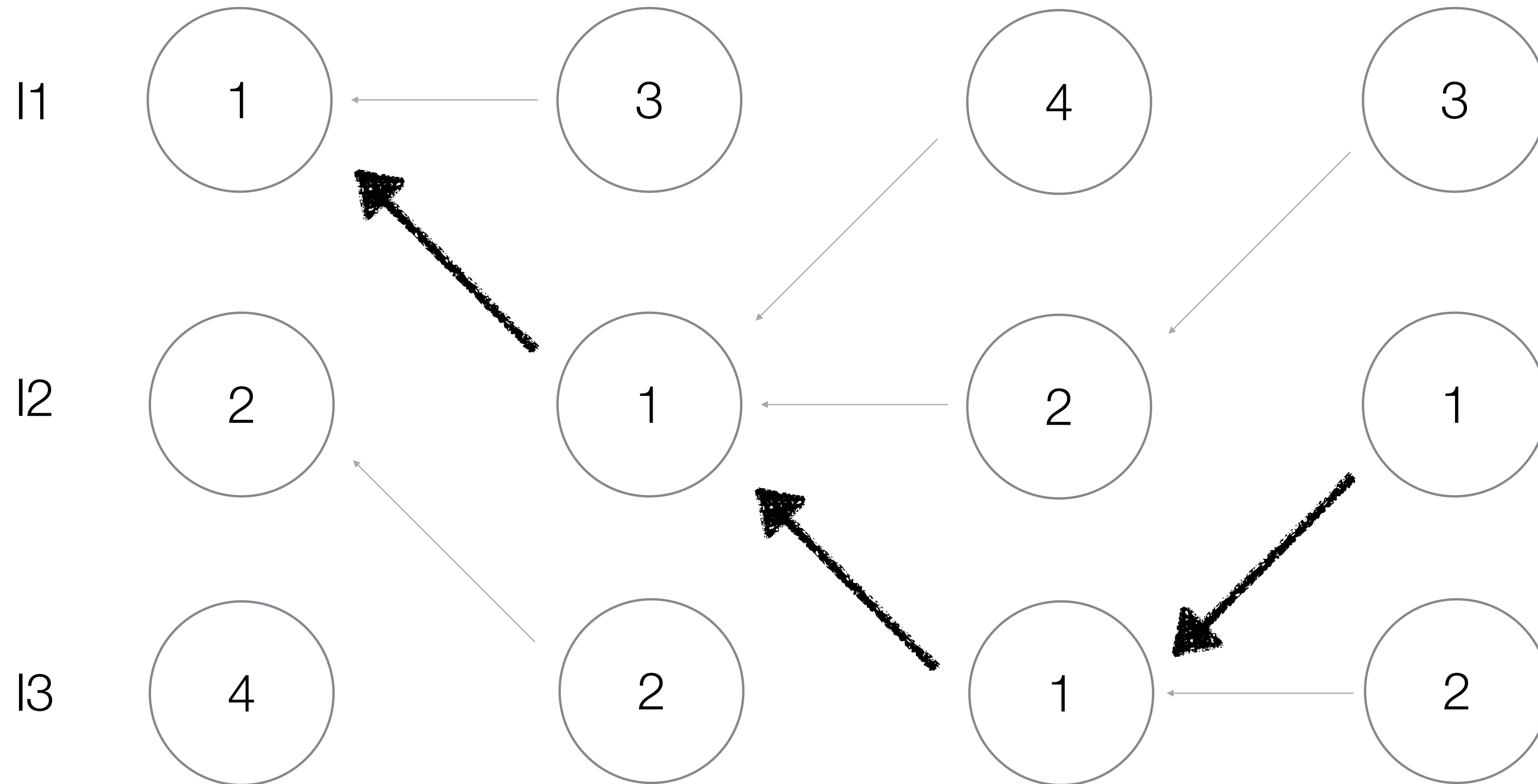
Coût de passer par ce pixel



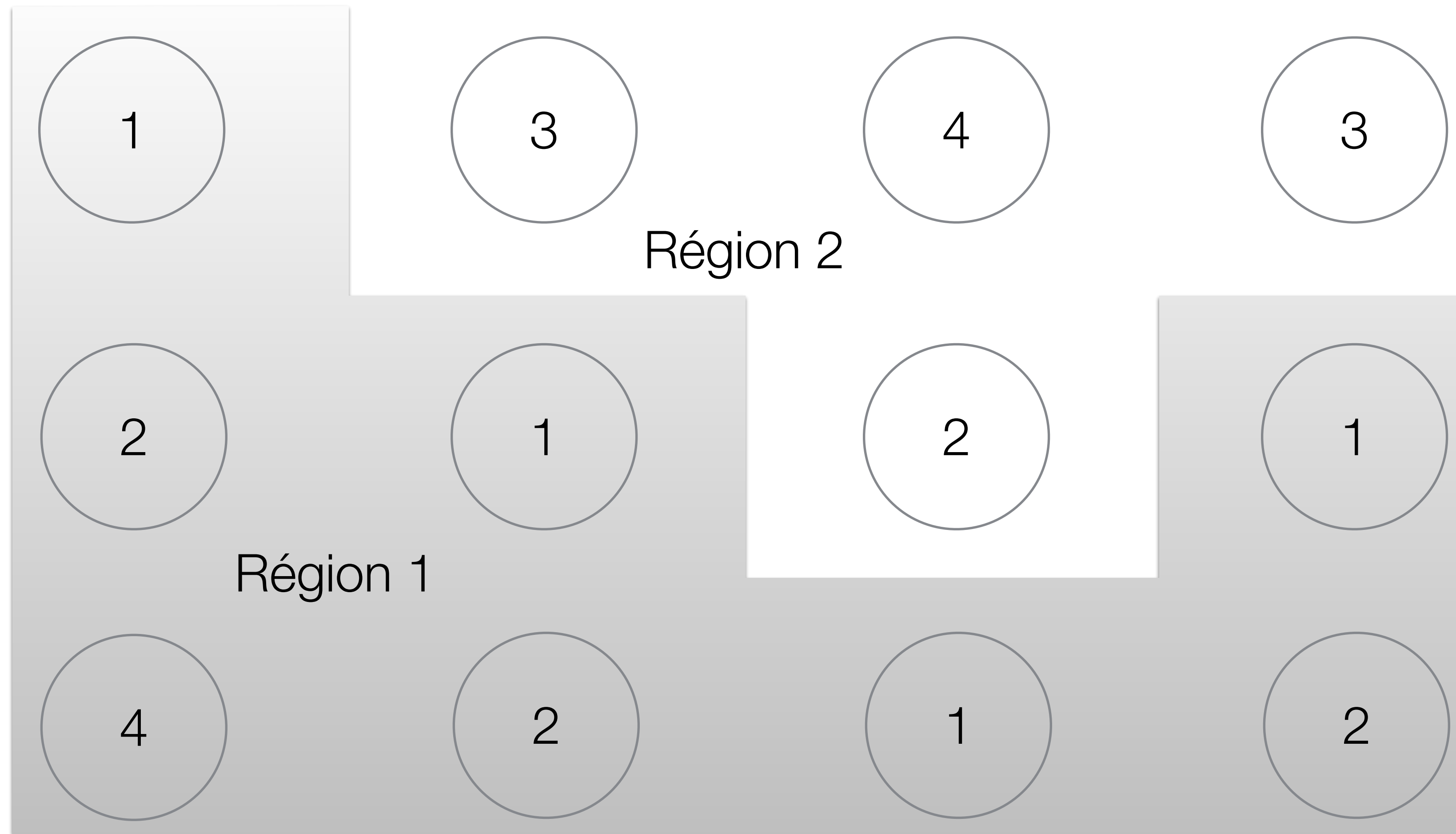
Trouver le chemin au coût minimum

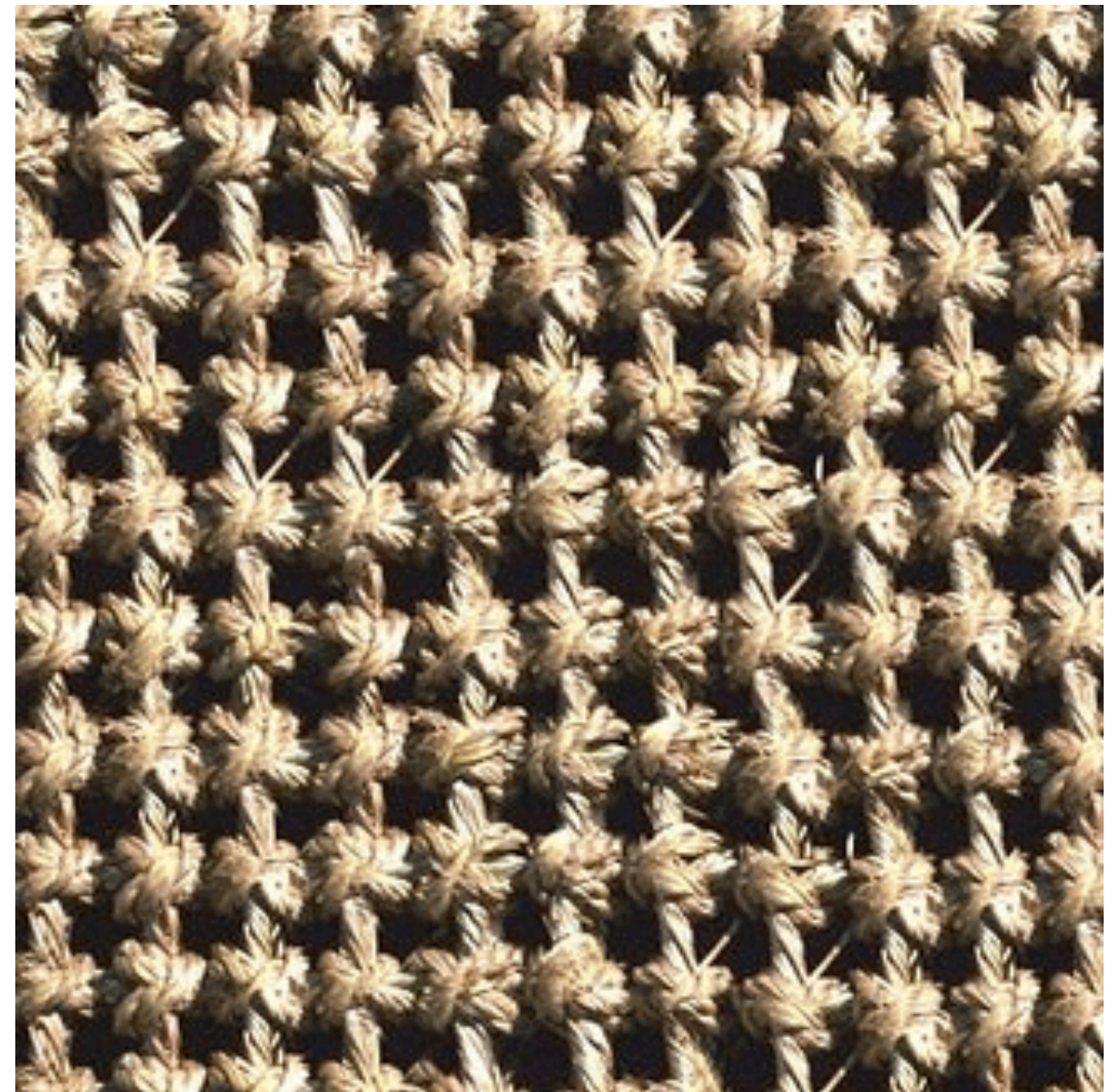
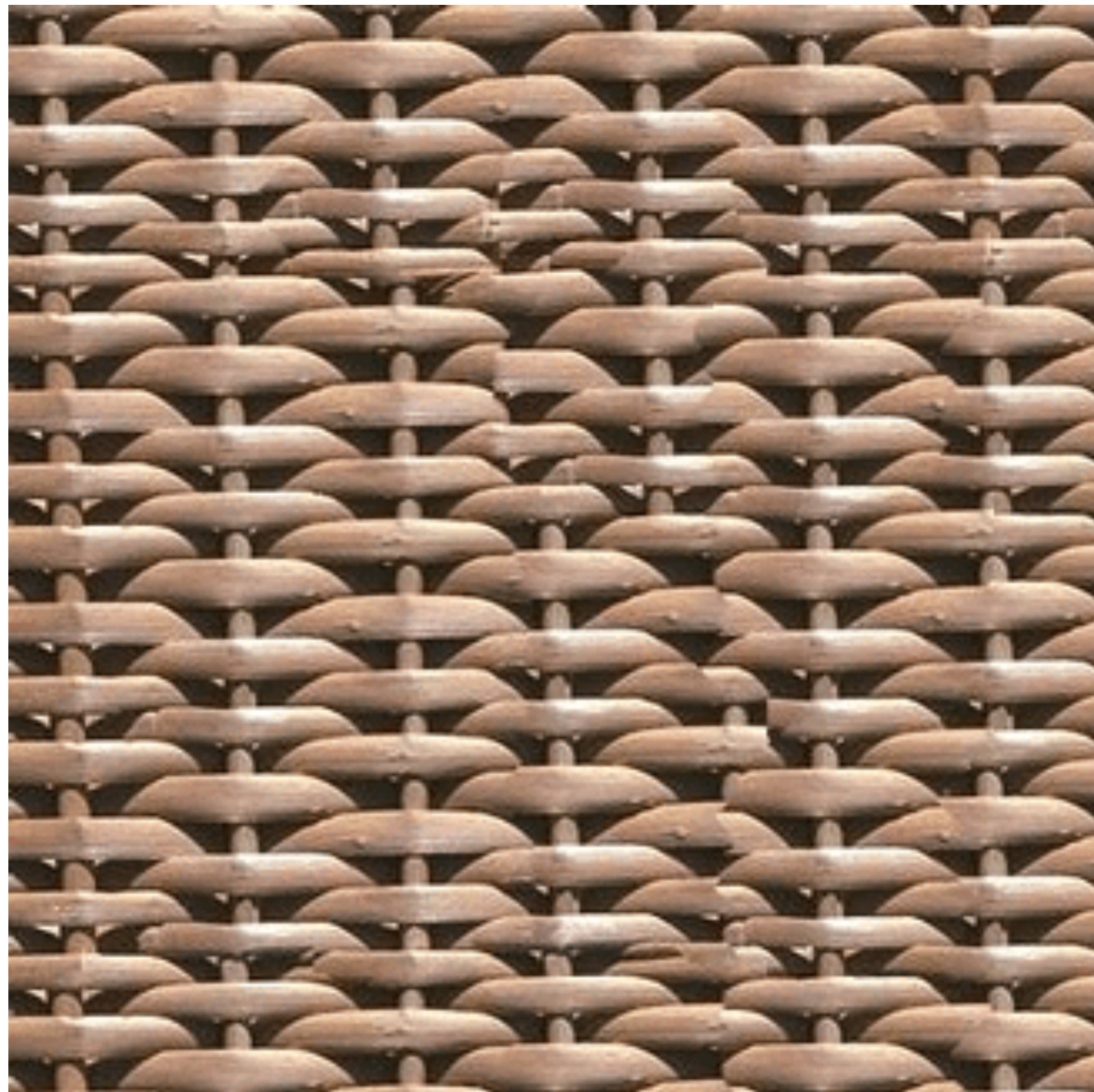
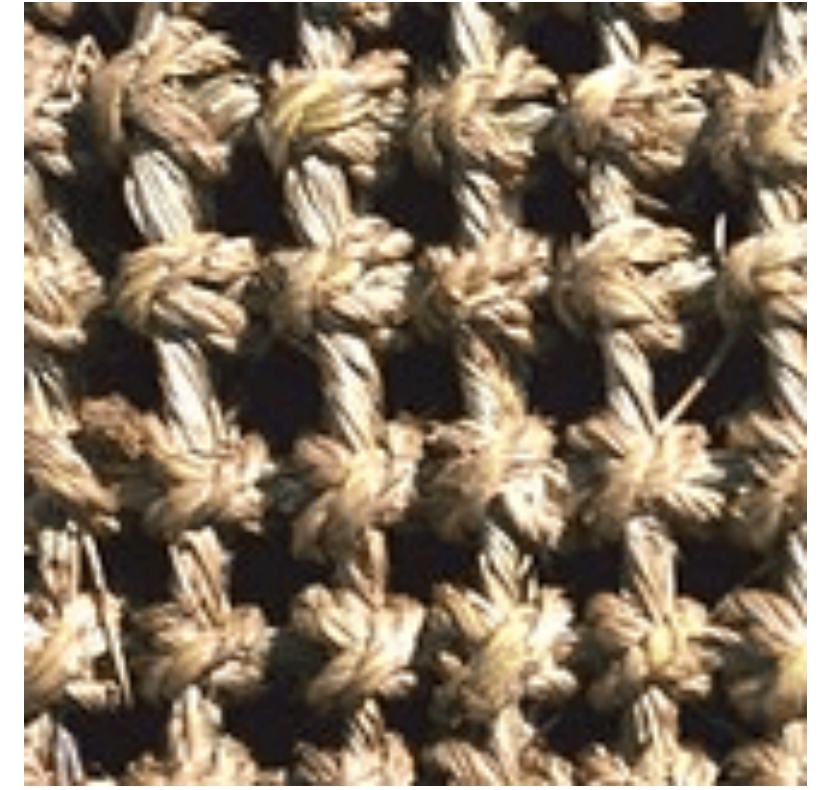
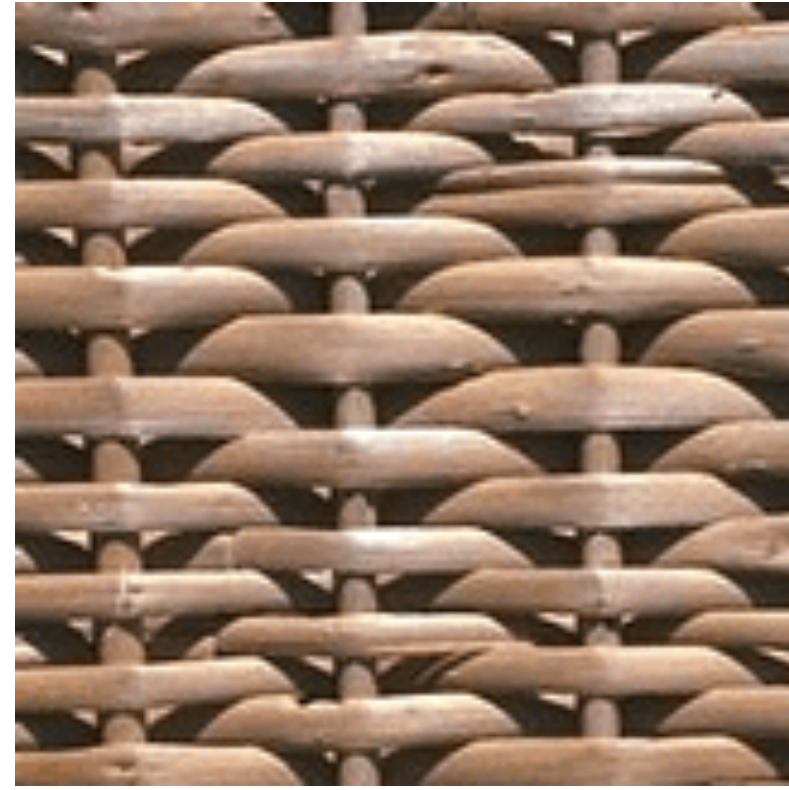


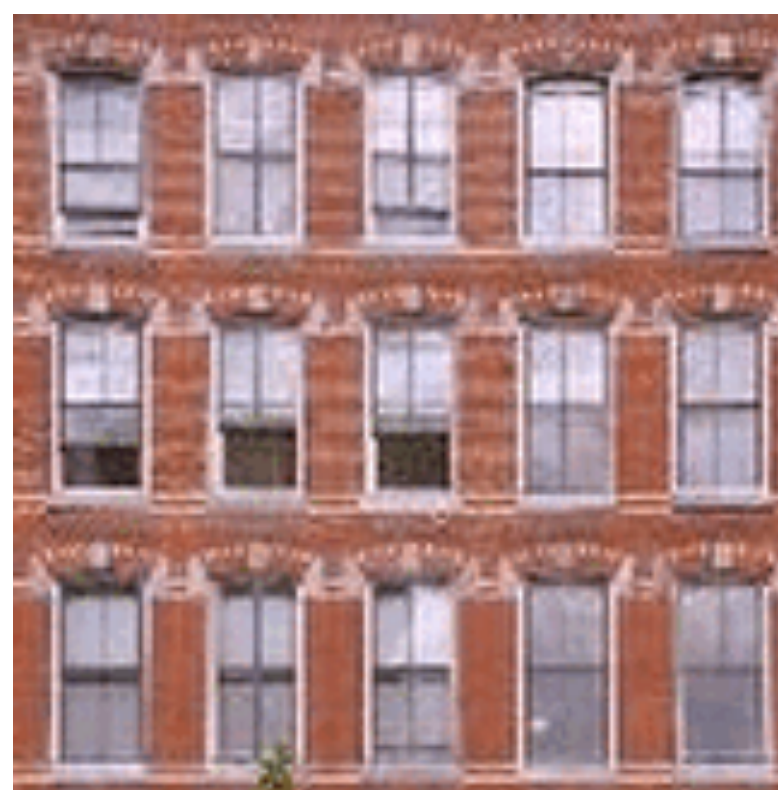
Trouver le chemin au coût minimum



Trouver le chemin au coût minimum



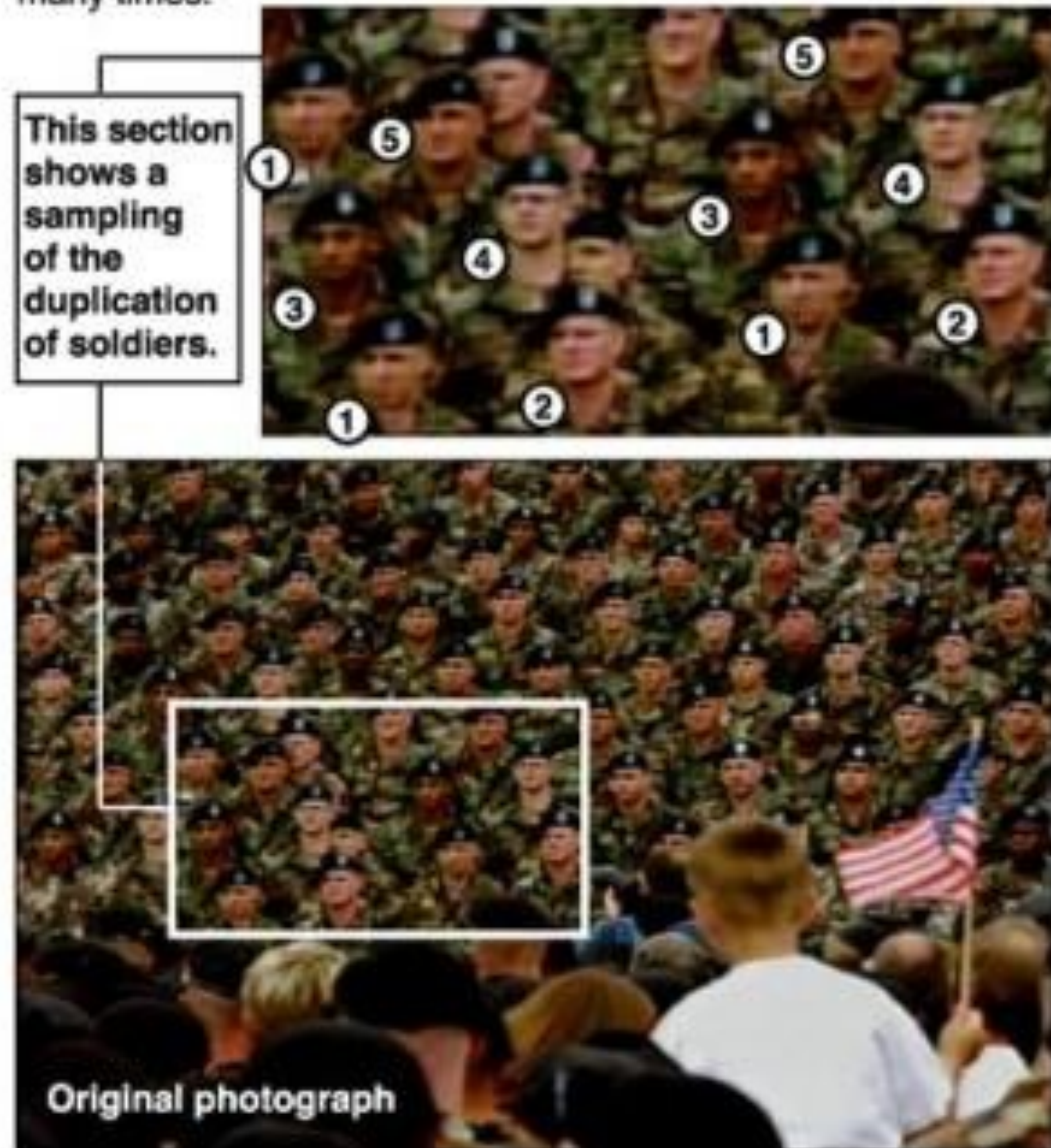




Synthèse de texture politique!

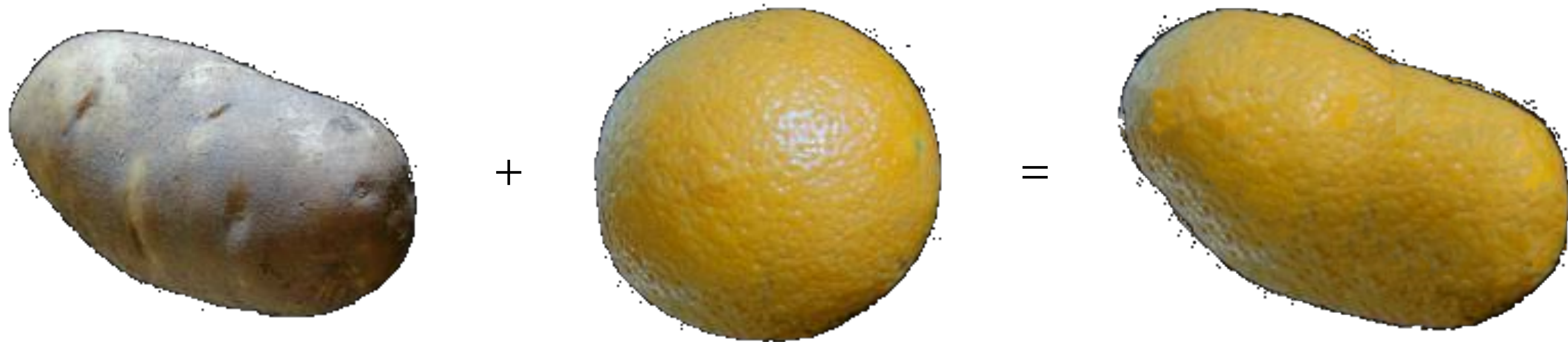
Bush campaign digitally altered TV ad

President Bush's campaign acknowledged Thursday that it had digitally altered a photo that appeared in a national cable television commercial. In the photo, a handful of soldiers were multiplied many times.



Transfert de textures

- Représenter un objet à partir d'un autre



Transfert de textures

Contrainte



Exemple de texture

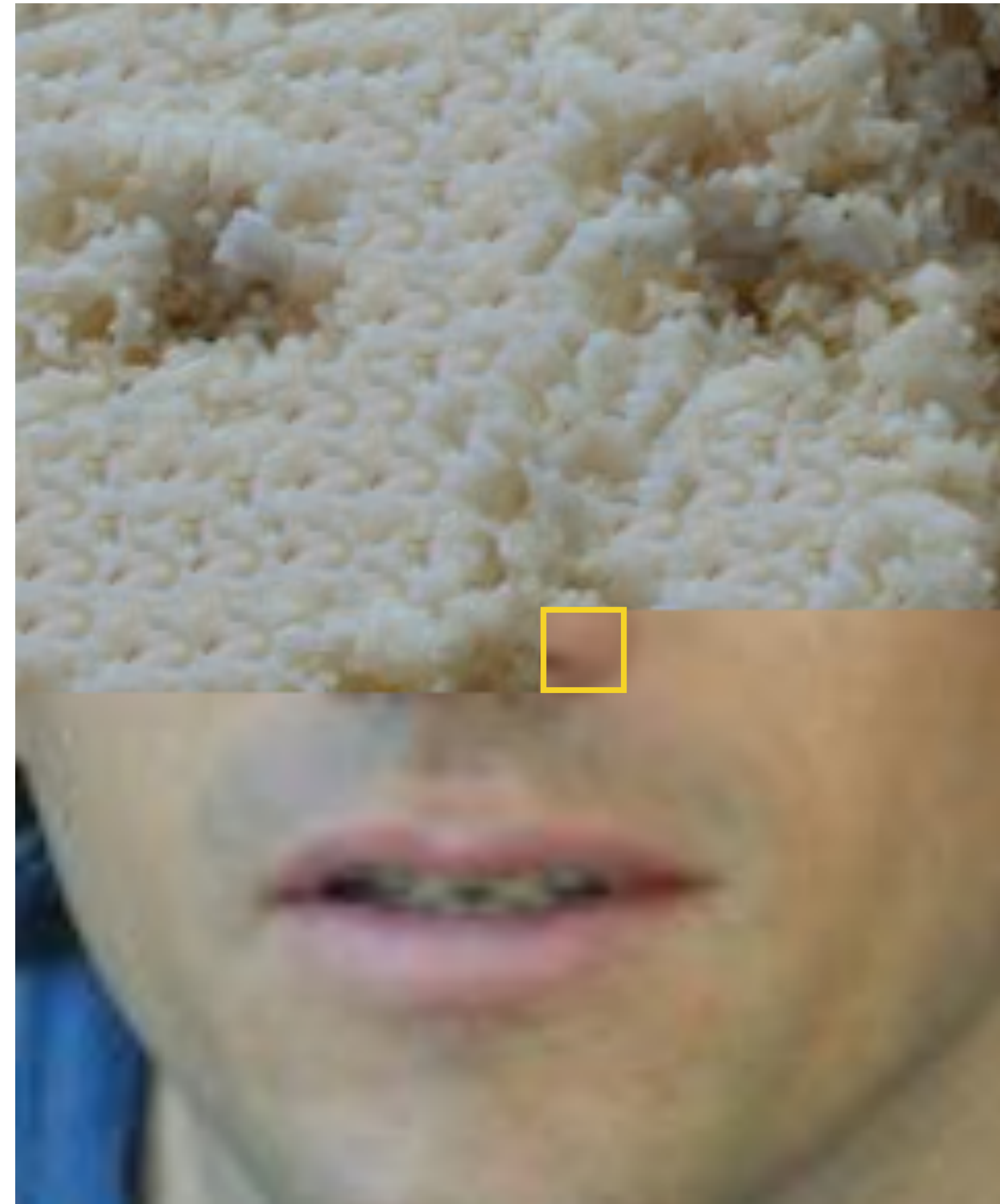


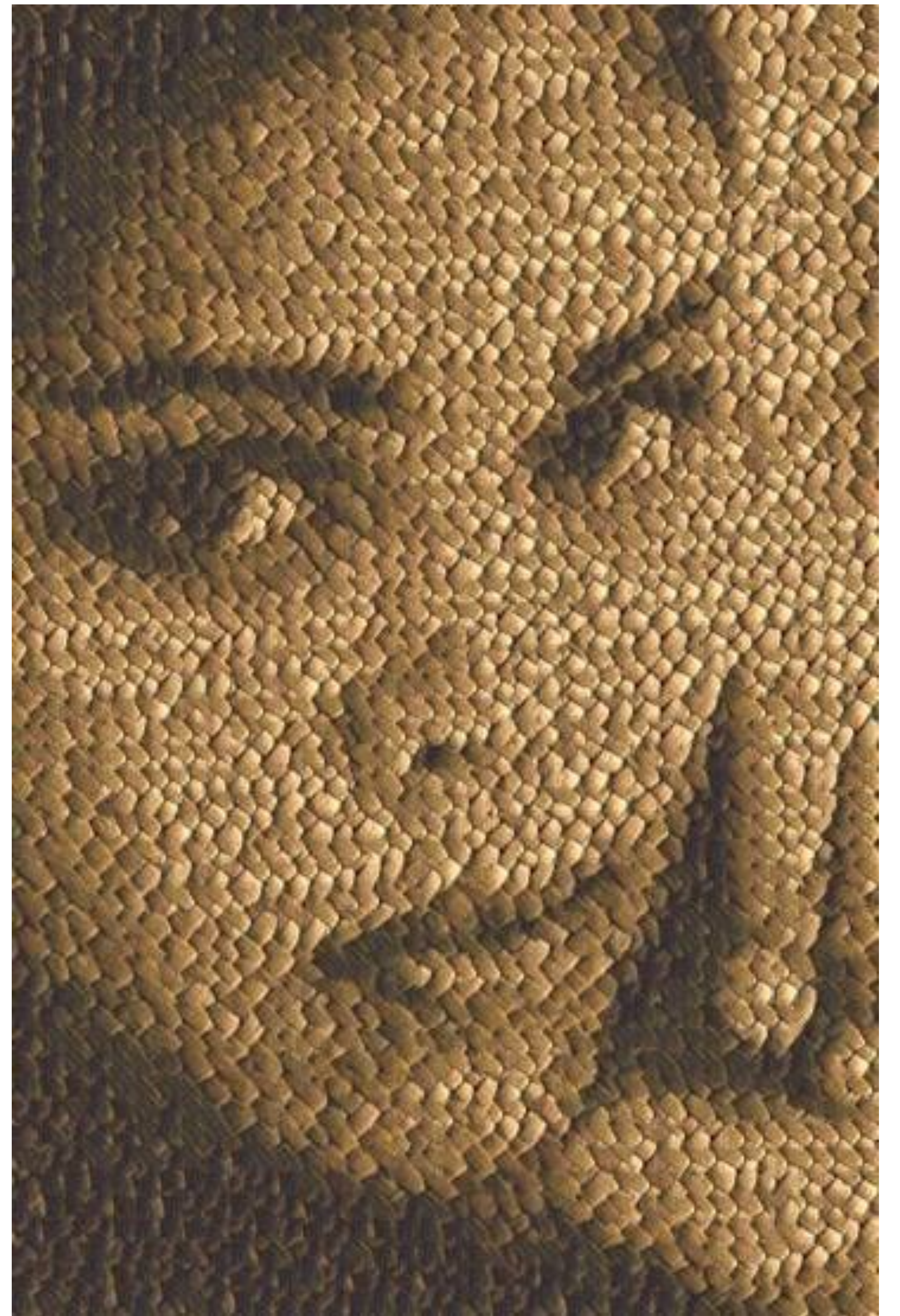
Résultat



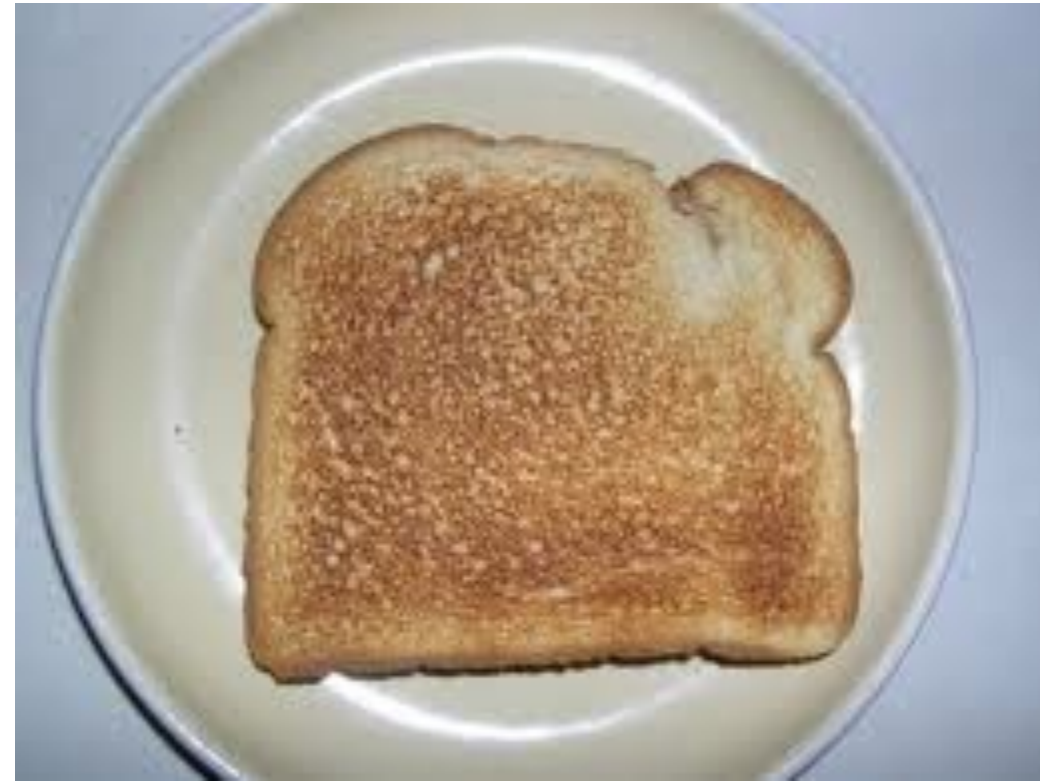
Transfert de texture

- Contrainte additionnelle:
 - Les blocs de texture devraient être similaires à l'image
ex: SDC sur la luminance





Le Pain Sacré



+



Les textures

Synthèse de texture par appariement de blocs

GIF-4105/7105 Photographie Algorithmique
Jean-François Lalonde

Crédit photo: Enchantedgal-Stock, [deviantart.com](https://www.deviantart.com), merci à Derek Hoiem







Appariement de blocs : *PatchMatch* [Barnes et al. 2009]

Image originale



Région masquée

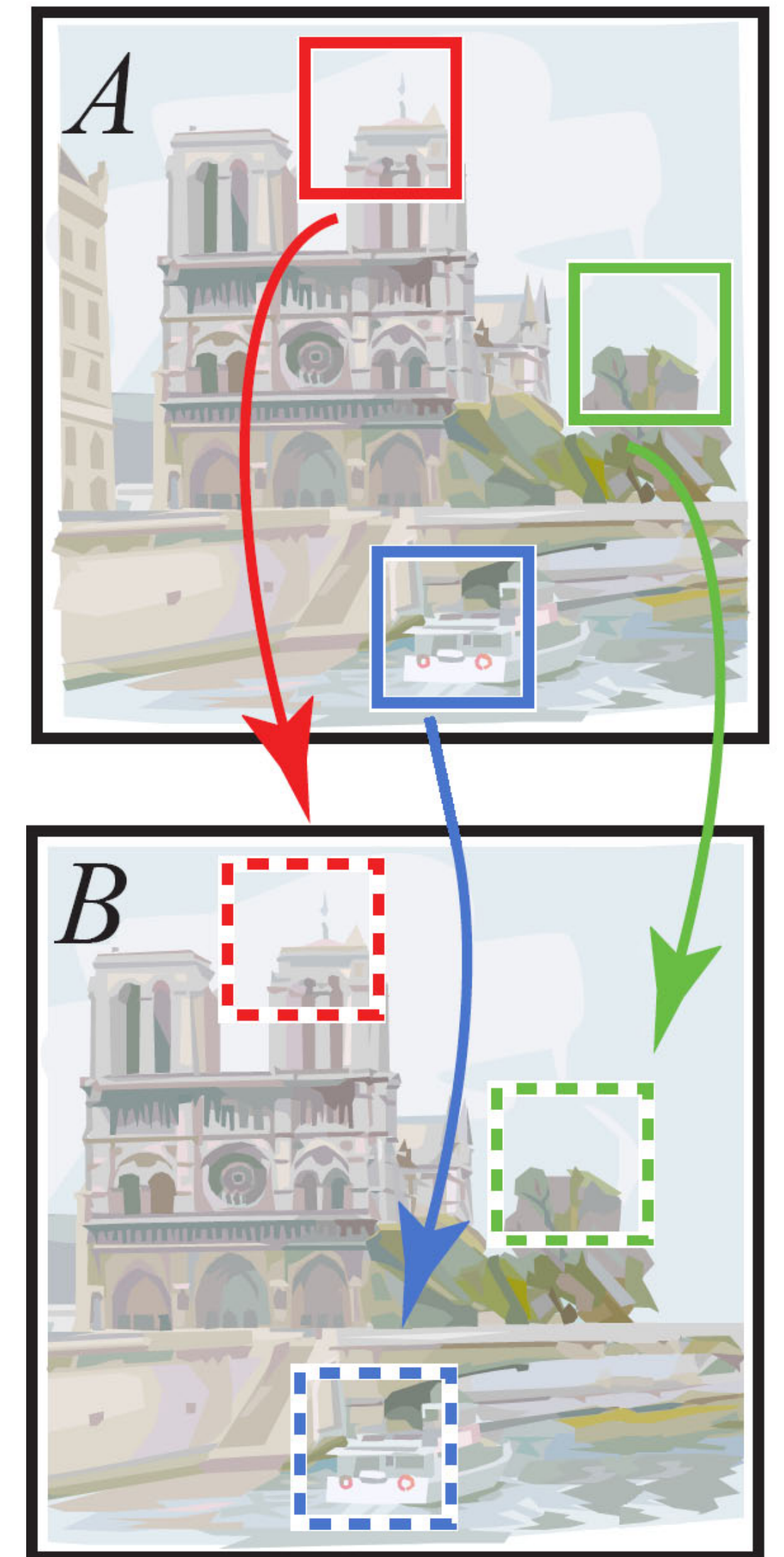


Résultat (agrandi)



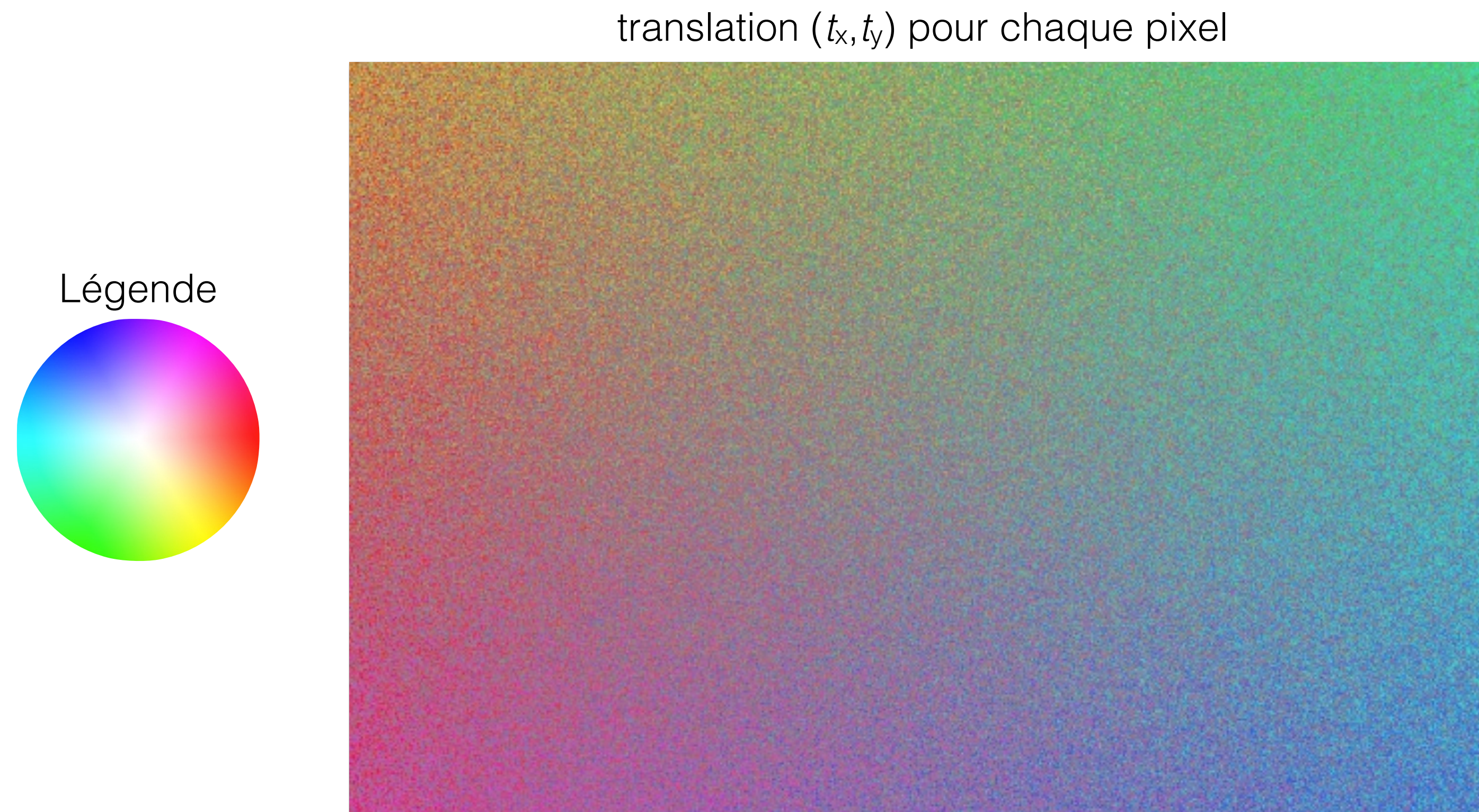
PatchMatch [Barnes et al. 2009]

- Algorithme semi-aléatoire pour trouver les correspondances entre les blocs d'une image *de façon très rapide*
- Définition du problème:
 - Nous avons deux images, A et B.
 - Pour chaque bloc dans l'image A, calculer la translation (t_x, t_y) qui entre ce bloc et son plus proche voisin dans l'image B
 - Nous avons donc une translation (t_x, t_y) pour chaque pixel



PatchMatch [Barnes et al. 2009]

Idée #1 : une translation **aléatoire** devrait bien fonctionner pour **certains pixels**



PatchMatch [Barnes et al. 2009]

Idée #1 : une translation **aléatoire** devrait bien fonctionner pour **certains pixels**



PatchMatch [Barnes et al. 2009]

Idée #2 : les **voisins** sont **cohérents**



PatchMatch [Barnes et al. 2009]

Idée #2 : les **voisins** sont **cohérents**

Le plus proche voisin d'un bloc centré à (x, y) devrait être un bon indice pour trouver le plus proche voisin du bloc à $(x+1, y)$



PatchMatch [Barnes et al. 2009]

Idée #2 : les **voisins** sont **cohérents**



Le plus proche voisin d'un bloc centré à (x, y) devrait être un bon indice pour trouver le plus proche voisin du bloc à $(x+1, y)$

- Boucler sur chaque pixel :
 - Regarder le voisin à droite : si le bloc à sa droite est un meilleur candidat pour le bloc courant, alors remplacer le voisin du bloc courant. Sinon, garder le résultat précédent.
 - Répéter l'opération avec le voisin en haut.
- À la prochaine itération, utiliser les voisins en bas et à droite

Amélioration itérative [Barnes et al. 2009]

But: reconstruire l'image A à partir de l'image B

initialisation

1/4 de l'itération 1

fin itération 1

fin itération 5

image A



image B

