



Tatouage : invisibilité et robustesse

Philippe Carré

philippe.carre@univ-poitiers.fr

XLIM, UMR 7252, Université de Poitiers

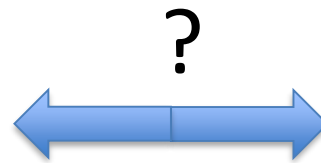
Pascal Lefèvre XLIM, Philippe Gaborit XLIM

David Alleysson Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition



Proposition

Tatouage



Invisibilité,
Sécurité,
Robustesse

Couleur
Perception



Introduction : tatouage

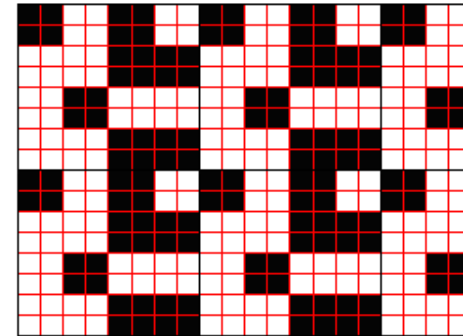
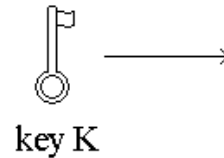
Insérer une empreinte binaire dans une image

- *Applications :*
Droits d'auteurs
Authentification
Indexation

...

- *Attaques :*

1. Bienveillantes (issues du traitement d'image : compression, filtrages, attaques géométriques ...)
2. Malveillantes



mark M

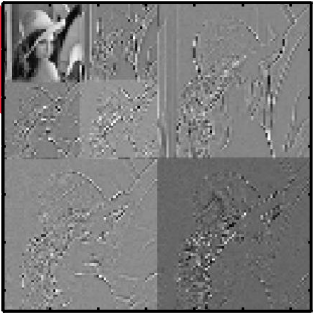
Compromis entre invisibilité, robustesse et sécurité

problème: évaluation de la dégradation d'une image

fonction de l'application



Espace transformée ?



Ondelette ?

- Utiliser une stratégie spatiale : la notion de contexte locale
- Choisir une/des bandes de fréquence : la robustesse à certaines attaques, le contrôle de l'invisibilité
- Construction d'une représentation hiérarchisée
- Invariance (?)



Approche additive

sites porteurs

Bruit Gaussien

Insertion

$$x_i = (x_0)_i + \rho |(x_0)_i| w_i$$

Attaque

$$y = A(x)$$

Variante

Détection

$$C(y, w) = \frac{\langle y, w \rangle}{\|y\| \|w\|}$$

Définition du seuil en fonction de la probabilité de fausse alarme

$$C(y, w) > T$$



Modification des coefficients par étalement de spectre

Sites d'insertion

Vecteur correspondant à la porteuse

$$\mathbf{y}_j = \mathbf{x}_j + \sum_{i=0}^{N_c-1} s(\mathbf{m}_j(i), \mathbf{x}_j) \mathbf{u}_i$$

Définition de la stratégie de modulation

Détection par corrélation

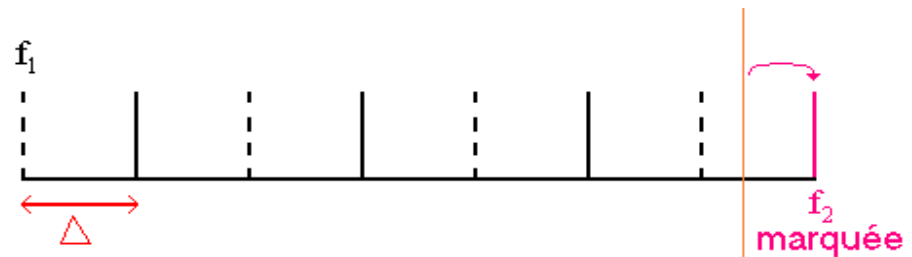
Sécurité, contrôle de l'invisibilité



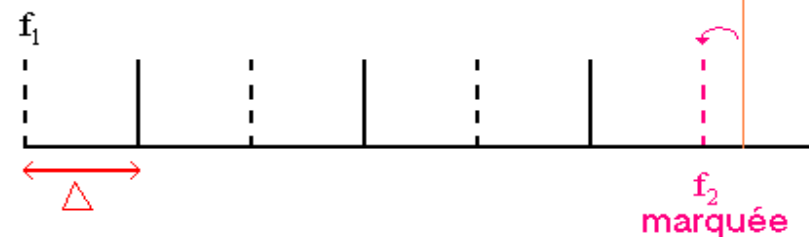
QIM : quantization index modulation

- Insertion d'un bit sur un site (par exemple pixel ou coefficient d'ondelettes)
- Quantification en fonction de la valeur à cacher
- Force de marquage : pas de quantification

Intégration d'un bit de valeur '1'



Intégration d'un bit de valeur '-1'



Lattice QIM

Chen and Wornell 2001

Ensemble de coefficients

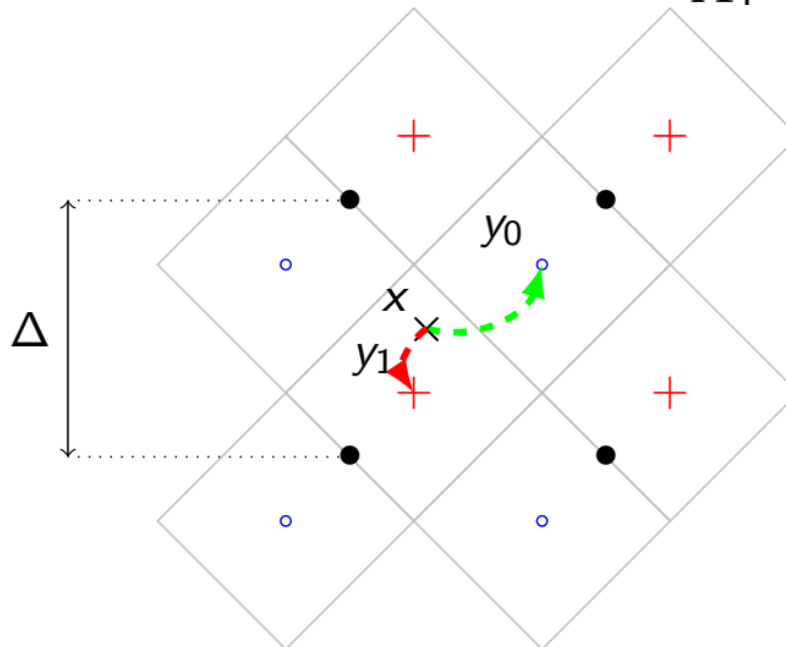
$$y = Q_m(x, \Delta) = \left\lfloor \frac{x}{\Delta} \right\rfloor \Delta + (-1)^{m+1} \frac{\Delta}{4}$$

Insertion

$$\Lambda_0 = \Delta \mathbb{Z}^L - \frac{\Delta}{4}$$

$$\Lambda_1 = \Delta \mathbb{Z}^L + \frac{\Delta}{4}$$

$x \in \mathcal{C}_x$
 $y_0, y_1 \in \mathcal{C}_y$



x1



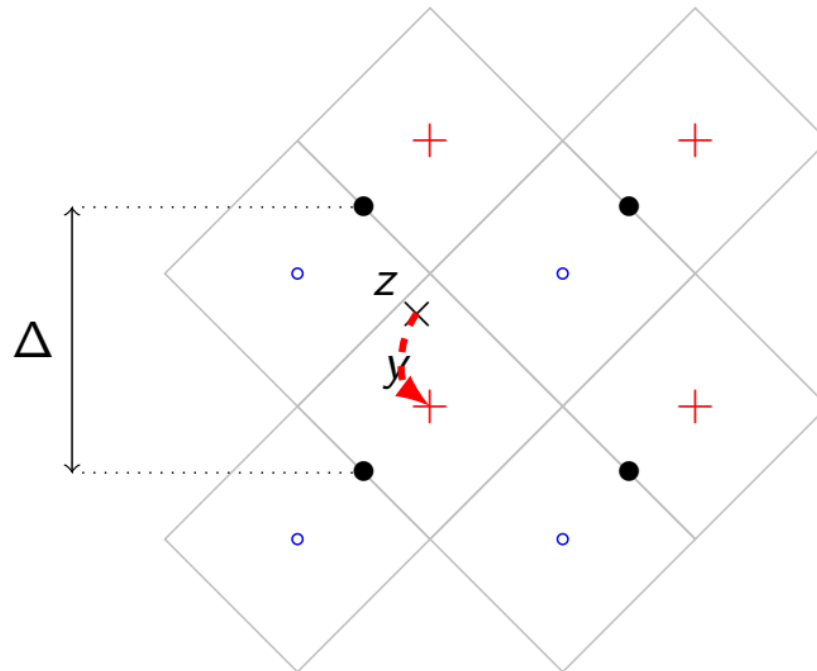
Lattice QIM

Détection

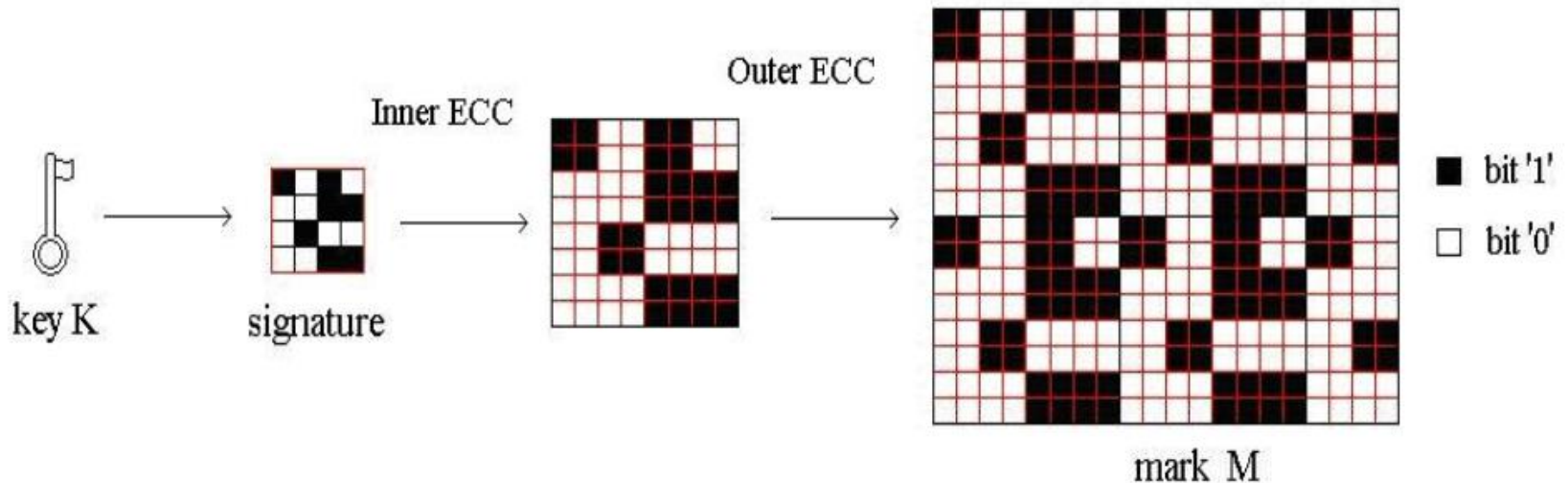
$$\hat{m} = \arg \min_{m \in \{0,1\}} \text{dist}(z, \Lambda_m),$$

$$\text{dist}(z, \Lambda) = \min_{y \in \Lambda} \|z - y\|_2$$

$z \in \mathcal{C}_z$



Insertion d'autres éléments : codes



- Code par répétition : erreur aléatoire
- Hamming et BCH : erreur aléatoire
- List decoding avec Reed-Solomon : erreur par plage

P. Lefèvre, P. Gaborit

Problématique de la couleur

Image originale



Tatouage des 3 composantes R,G,B



Tatouage R

Tatouage G

Tatouage B

Invisibilité
&
Faible robustesse

Visibilité
&
Robustesse

e



BLEU

ROUGE

VERT

Bibliographie tatouage couleur

Non exhaustif

Groupe 1

Modification d'une seule composante couleur

- Composante bleue (Kutter et al. 1997), composantes
- Luminance et Saturation (HSV) (Yu et al. 2001)
- ...

Groupe 2

Approche vectorielle : un pixel couleur est un vecteur

- ACP
- Quantification vectorielle sur des pixels couleur
- Transformée Quaternionique

Groupe 3

Approche image

Approche histogramme couleur (Chareyron et al. 2006)

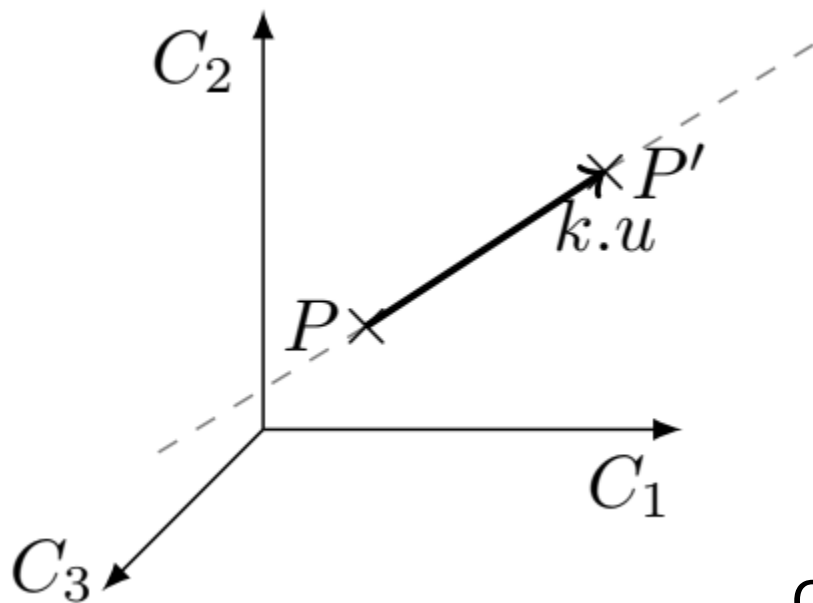
....



Exemple d'un cadre général : insertion

P : un pixel couleur

Quantification vectorielle selon une direction u_P



$$s = \langle P, u_P \rangle$$

$$s_w = Q_{m(P)}(s, \Delta)$$

LQIM

Quantification couleur

$$P_w = P + (s_w - s).u_P$$

Détection

Pixel de couleur modifiée par tatouage et attaque

$$s_{w,a} = \langle P_{w,a}, u_{P_{w,a}} \rangle$$

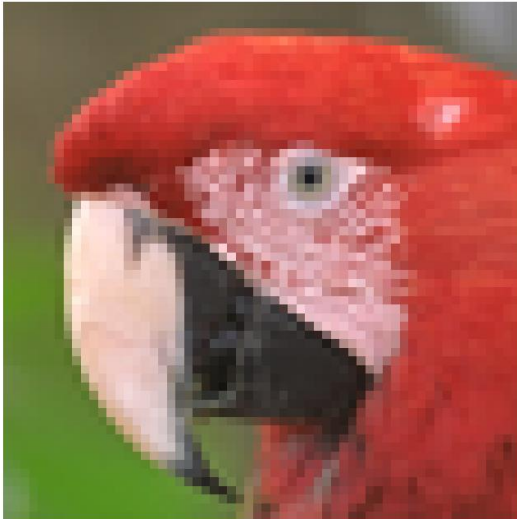
Extraction $\text{Min}(\text{Dist}(\dots))$

Hypothèse

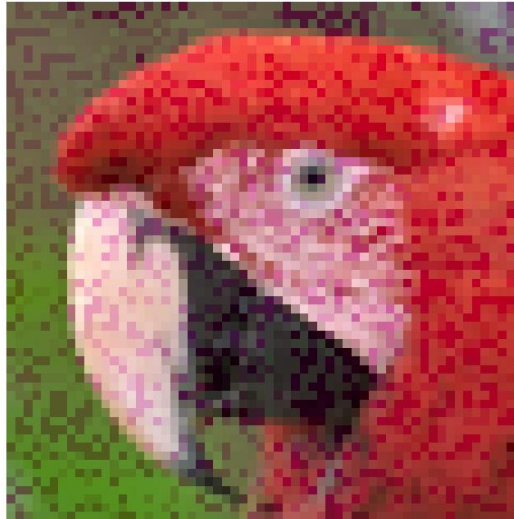
$P_{w,a} - P$ Faible en valeur absolue

u_P $u_{P_{w,a}}$ proches : espace couleur « stable »

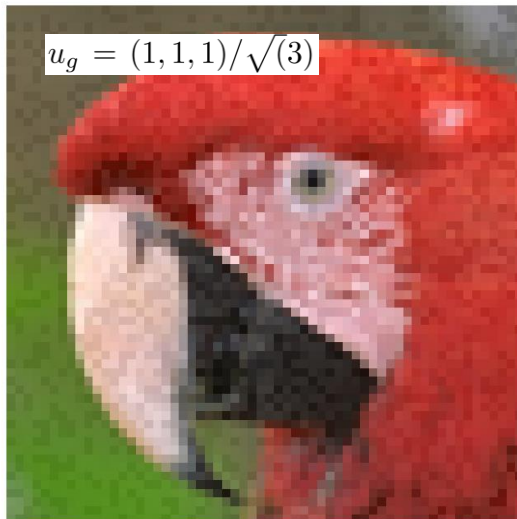
Invisibilité : choix de la direction



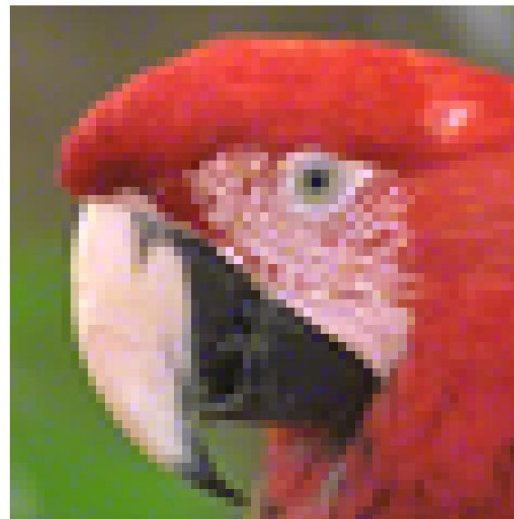
(a) Original image



(b) Random $u_P = u = cst$



(c) Greyscale
 $u_P = u_g = cst$



(d) "Optimal" color adap-
tative direction

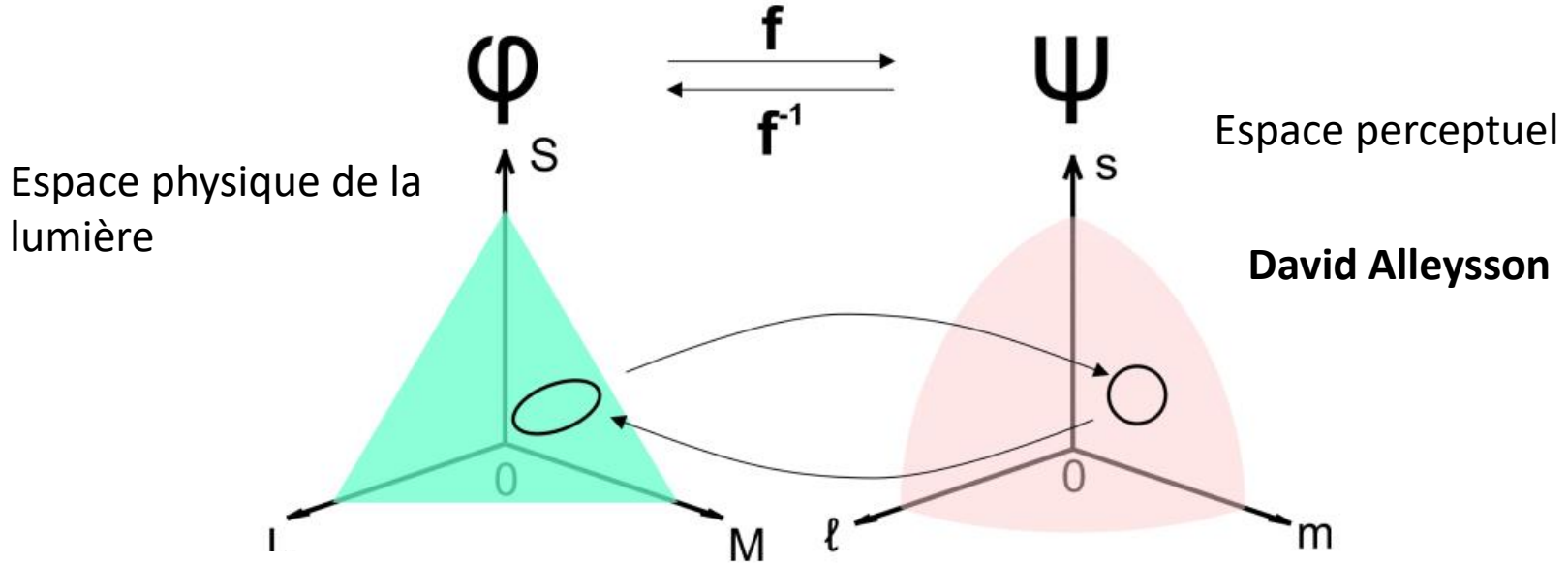


Définition
d'une direction
basée modèle
SVH



Modèle SVH des différences couleur

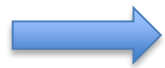
Considérer les espaces couleur comme des espaces Riemanien



$$\langle x, y \rangle = x^t G y$$

G : matrice symétrique définie positive
La métrique résultante de la non linéarité
du système visual humain

G dépend du stimulus physique x et de l'état d'adaptation de l'observateur x_0 , donc $G(x; x_0)$



Photorécepteurs : non linéarité

La loi de Naka-Rushton (cinétique des photorécepteurs)

Le comportement d'un photorécepteur en fonction de deux constantes α_x et X_0 fixées par des conditions environnementales et par l'état du SVH

Modèle biologique

- La perception est un phénomène non linéaire.
→ Modèle du photorécepteur (cônes L , M et S de la rétine humaine).

$$\text{Perçu } x = \frac{\alpha X}{X + X_0} \quad (1)$$

Reçu (lumière)

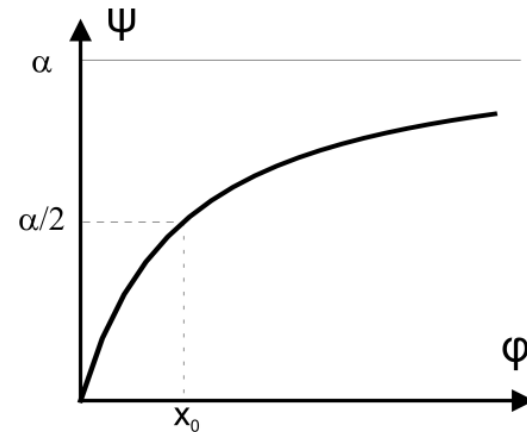
x : espace d'excitation, X : espace de transduction
 α , X_0 : constantes

x représente la réponse électrique du cône en fonction de X le niveau d'excitation du cône produit par la lumière et X_0 l'état d'adaptation

Modèle trichromatique

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Perçu} \\ l = \alpha_L \frac{L^{\text{reçu}}}{L + L_0} \\ m = \alpha_M \frac{M}{M + M_0} \\ s = \alpha_S \frac{S}{S + S_0} \end{array} \right.$$

3 familles de cônes



5: Non linear perceptual function.

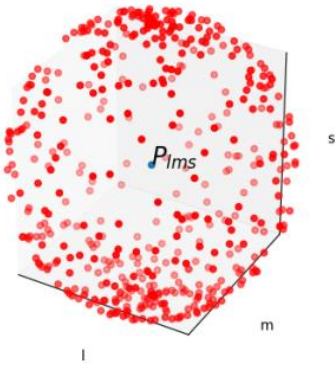
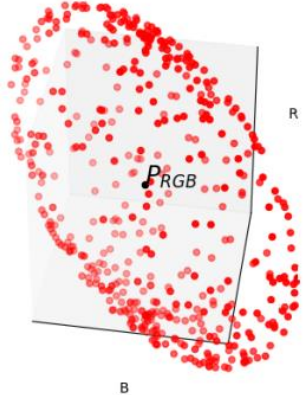
$x = [L; M; S]$ and $x_0 = [L_0; M_0; S_0]$ sont respectivement les coordonnées du stimulus physique et de l'adaptation de l'observateur

$y = [l; m; s]$ est l'encodage du stimulus physique x par le système visual humain

Influence sur l'évaluation de la distorsion

Le phénomène de distorsion peut être observé en construisant une sphère S centrée en $P_{lms} = (l_c; m_c; s_c)$ définie dans l'espace lms

$$\begin{cases} l = r \cos(u) \cos(v) + l_c \\ m = r \sin(u) \cos(v) + m_c \\ s = r \sin(v) + s_c \end{cases} \left(-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}, -\pi \leq \phi \leq \pi \right) \rightarrow \begin{cases} L = \frac{(r \cos(u) \cos(v) + l_c)L_0}{\alpha_L - r \cos(u) \cos(v) - l_c} \\ M = \frac{(r \sin(u) \cos(v) + m_c)M_0}{\alpha_M - r \sin(u) \cos(v) - m_c} \\ S = \frac{(r \sin(v) + s_c)S_0}{\alpha_S - r \sin(v) - s_c} \end{cases}$$

Distorsion	Sphère lms	Ellipsoïde dans RGB
		
Numérique	constant	non constant*
Psychovisuel	constant	constant

Le chemin de just noticeable difference (JND) dans l'espace physique est complexe du fait de la non linéarité

Approximation

\mathcal{P} , un contour d'égal discrimination autour d'un point $(l_c; m_c; s_c)$ est une sphère de rayon 1.

$$S = \{y \in \mathcal{P} \mid dy^t dy = 1, dy = [\ell - \ell_c, m - m_c, s - s_c]\}$$

En general on considère que lorsque la variation de la quantité "physique" est petite la variation de la perception est petite aussi.

David Alleysson

Développement limité

Jacobienne de la non linéarité

$$y = f(x) \xrightarrow{\text{diff}} dy = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial L} & \frac{\partial f_1}{\partial M} & \frac{\partial f_1}{\partial S} \\ \frac{\partial f_2}{\partial L} & \frac{\partial f_2}{\partial M} & \frac{\partial f_2}{\partial S} \\ \frac{\partial f_3}{\partial L} & \frac{\partial f_3}{\partial M} & \frac{\partial f_3}{\partial S} \end{bmatrix}}_{f'} dx \rightarrow \begin{bmatrix} \frac{\alpha_L L_0}{(L_c + L_0)^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\alpha_M M_0}{(M_c + M_0)^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\alpha_S S_0}{(S_c + S_0)^2} \end{bmatrix}$$

On veut le lien du perceptuel vers le physique

physique \downarrow perceptuel

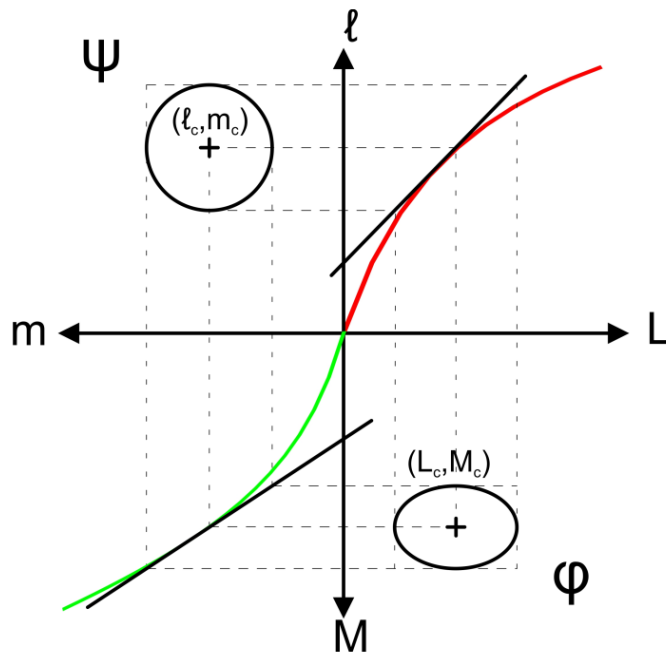
$$dy = J(x_c, x_0) dx \iff dx = J^{-1}(x_c, x_0) dy$$

Définition du lieu d'isosensibilité

$$S = \{y \in \mathcal{P} \mid dy^t dy = 1, dy = [\ell - \ell_c, m - m_c, s - s_c]\} \quad dx = J^{-1}(x_c, x_0) dy$$

Un cercle dans l'espace perceptuel correspond à une ellipse dans l'espace physique

$$E = \{x \in \mathcal{E} \mid dx^t G dx = 1, G = J(x_c, x_0)^{-t} J(x_c, x_0)^{-1}\}$$



$$G = \begin{bmatrix} \frac{(L_c + L_0)^4}{\alpha_L^2 L_0^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{(M_c + M_0)^4}{\alpha_M^2 M_0^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(S_c + S_0)^4}{\alpha_S^2 S_0^2} \end{bmatrix}$$

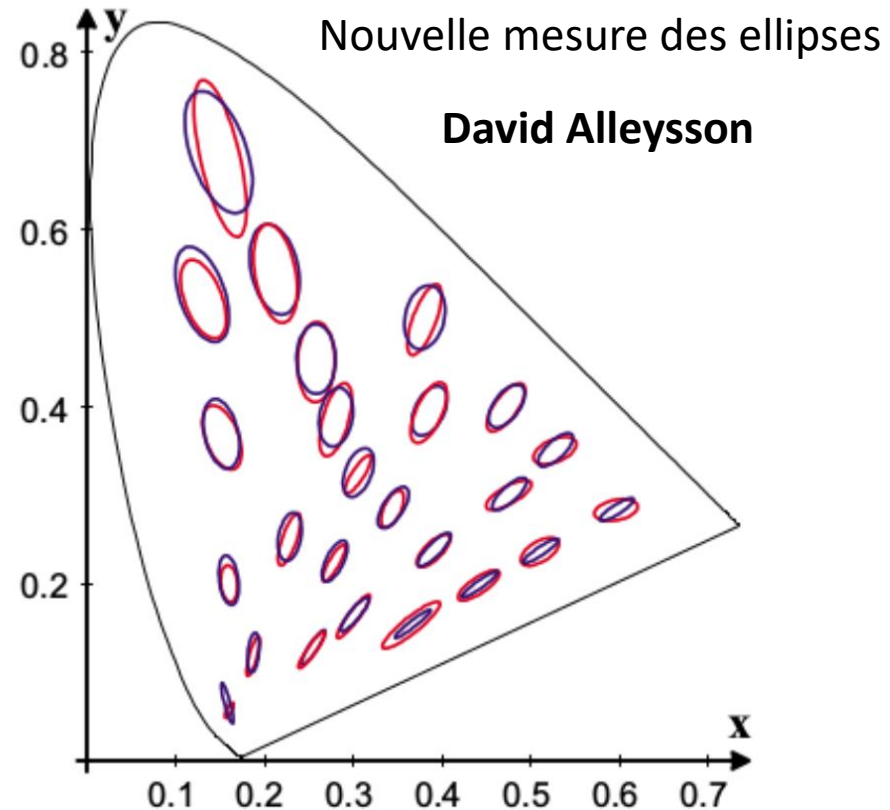
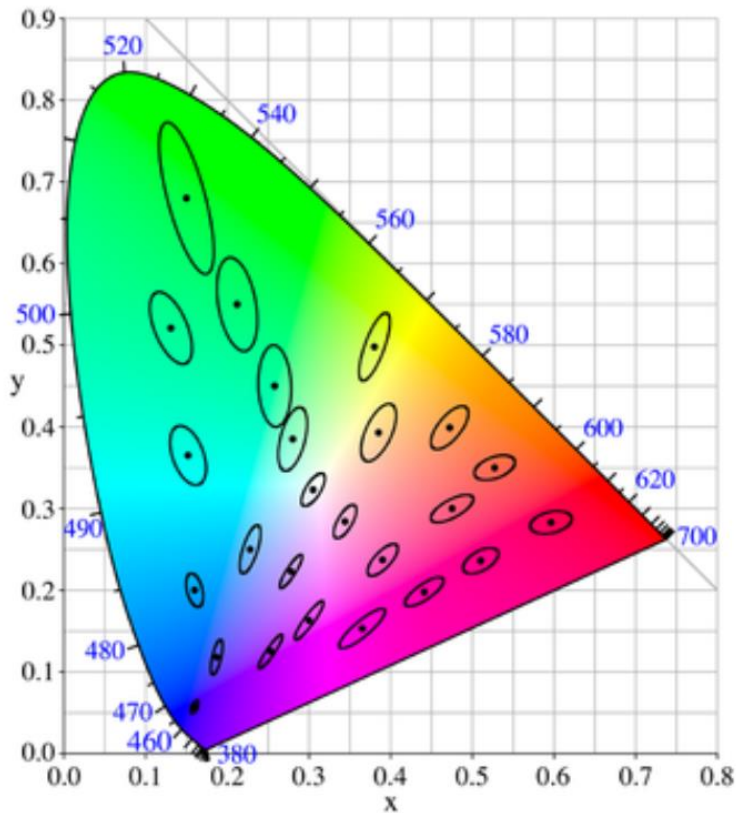
David Alleysson

Il faut définir les paramètres de G

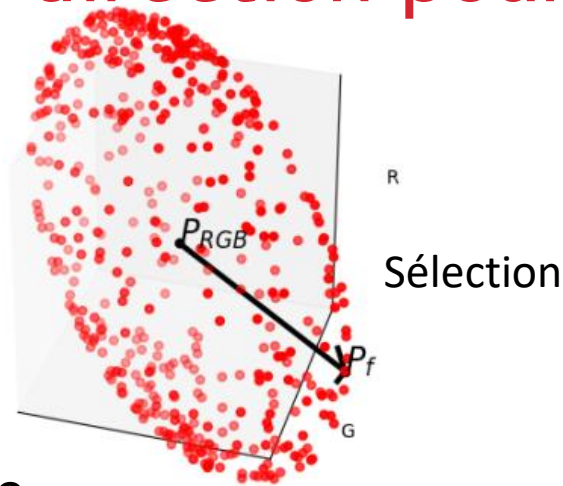
Le paramétrage

Pour une couleur donnée, MacAdam a mesuré les couleurs pour lesquelles les différences sont juste détectables (JND)

Paramétrage pour approximer les courbes JND

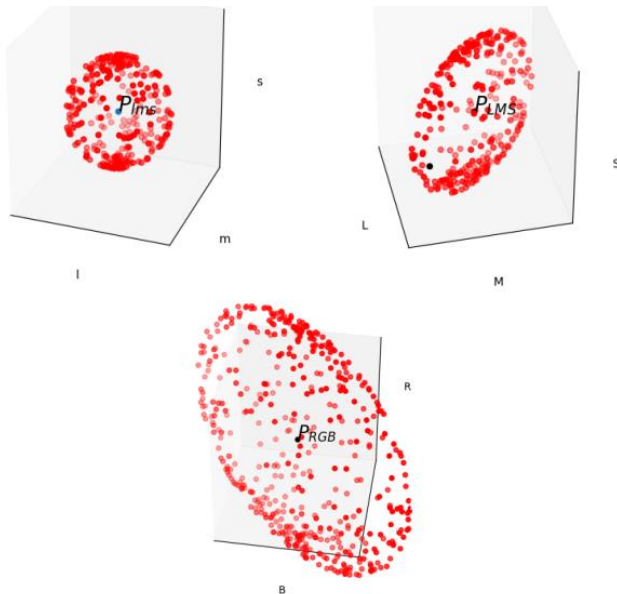


Choix de la direction pour un pixel



Sélection

Approximation numérique



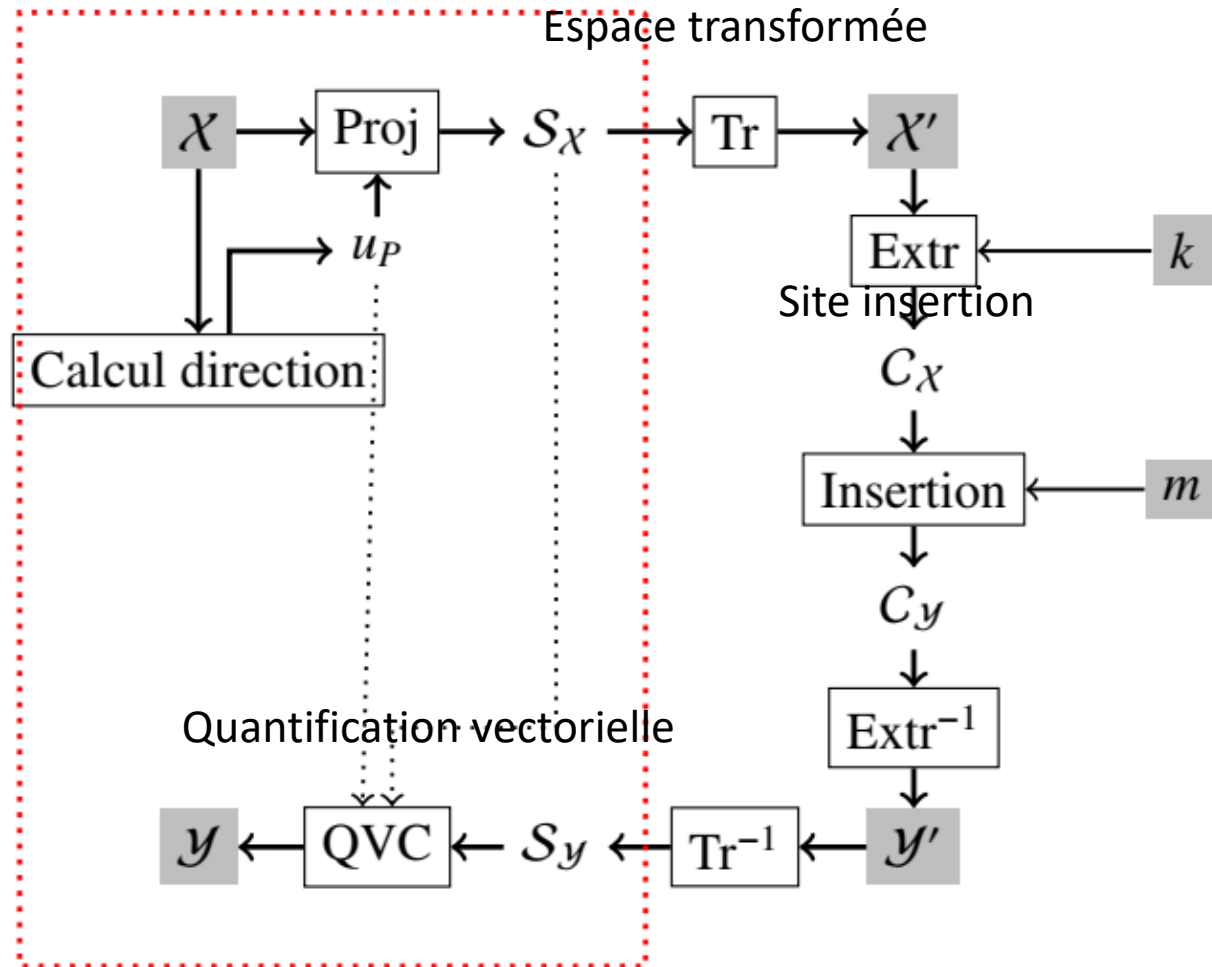
Approximation DL

$$E = \{x \in \mathcal{E} \mid dx^t G dx = 1, G = J(x_c, x_0)^{-t} J(x_c, x_0)^{-1}\}$$

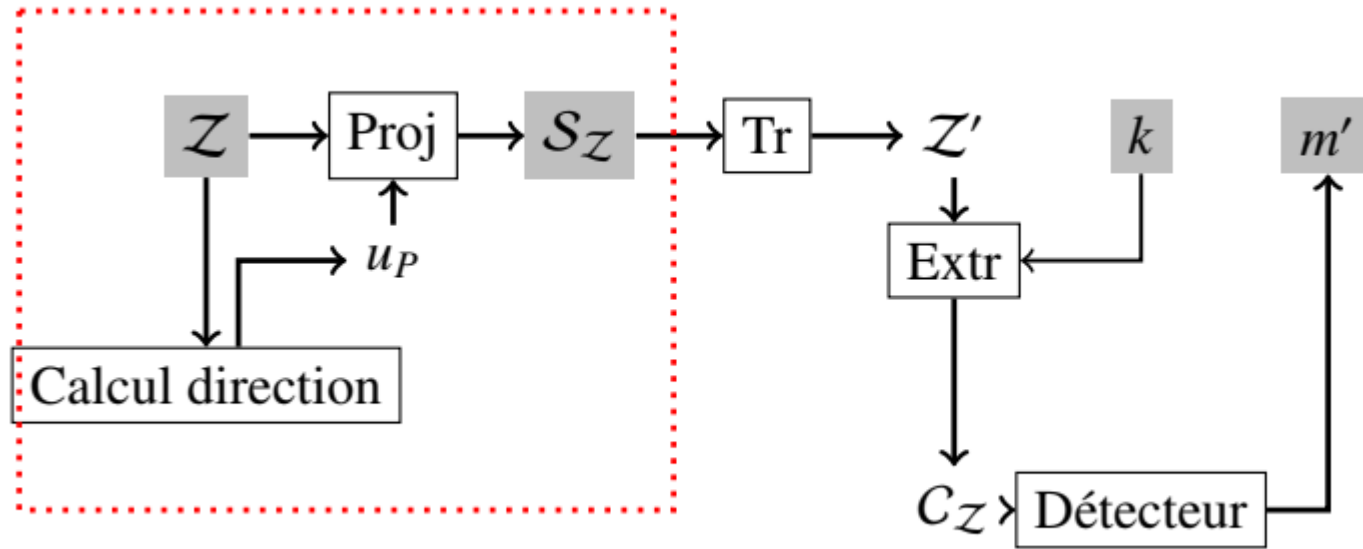
Grand axe de l' ellipsoïde

Figure 6: De la gauche vers la droite. Représentations d'une sphère dans l'espace lms , d'un ellipsoïde issu de la conversion de la sphère lms dans l'espace LMS et de l'ellipsoïde correspondante dans l'espace couleur RGB .

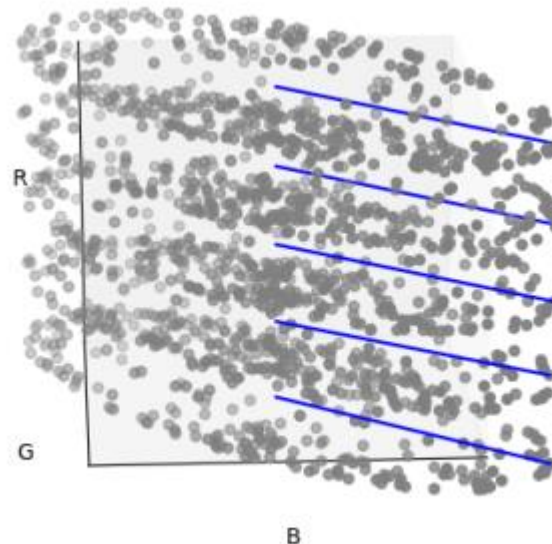
Schéma de tatouage



Détection



Stabilité de l'espace couleur



invisibilité

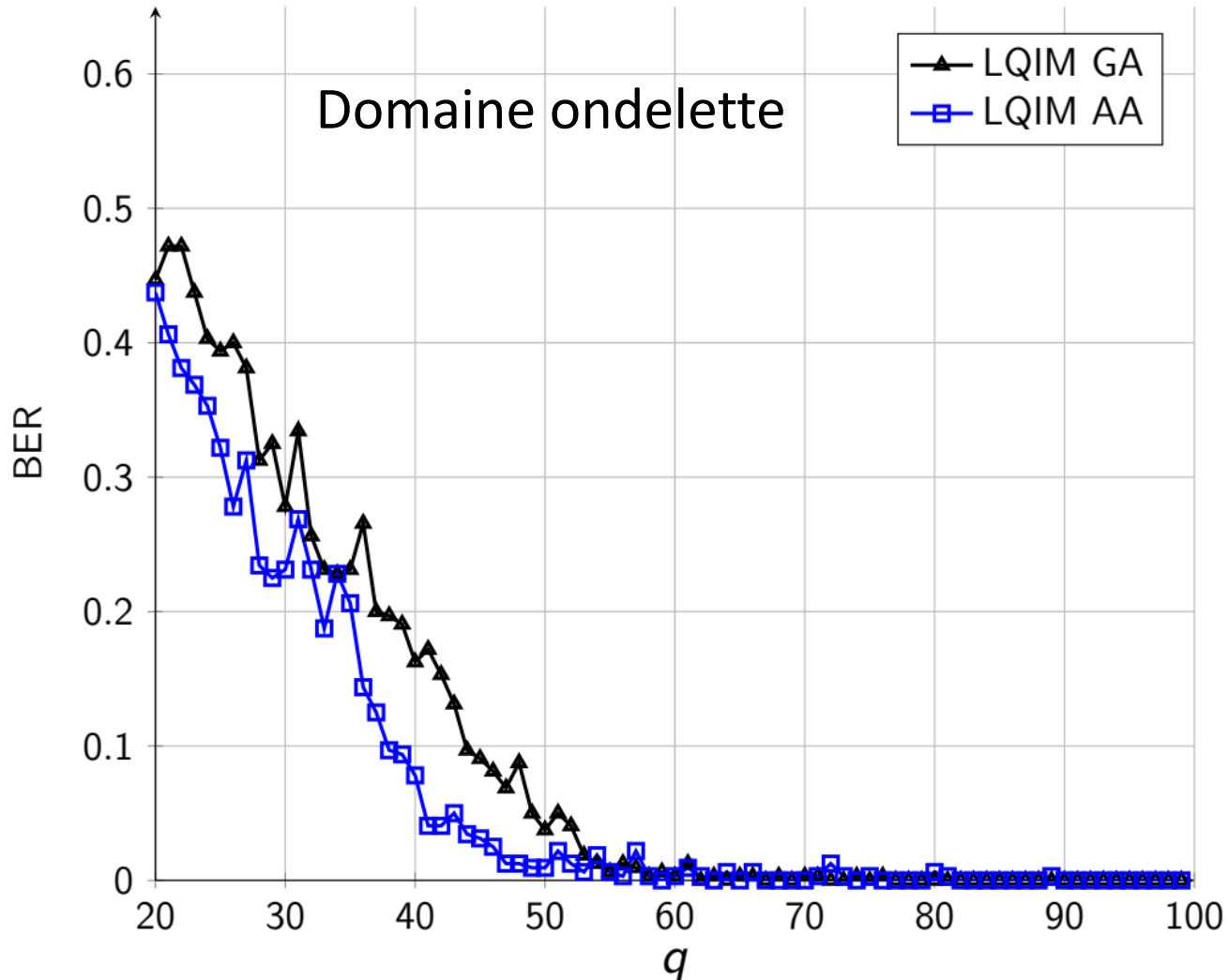
Gris vs adaptatif : distorsion numérique égale



Robustesse Jpeg

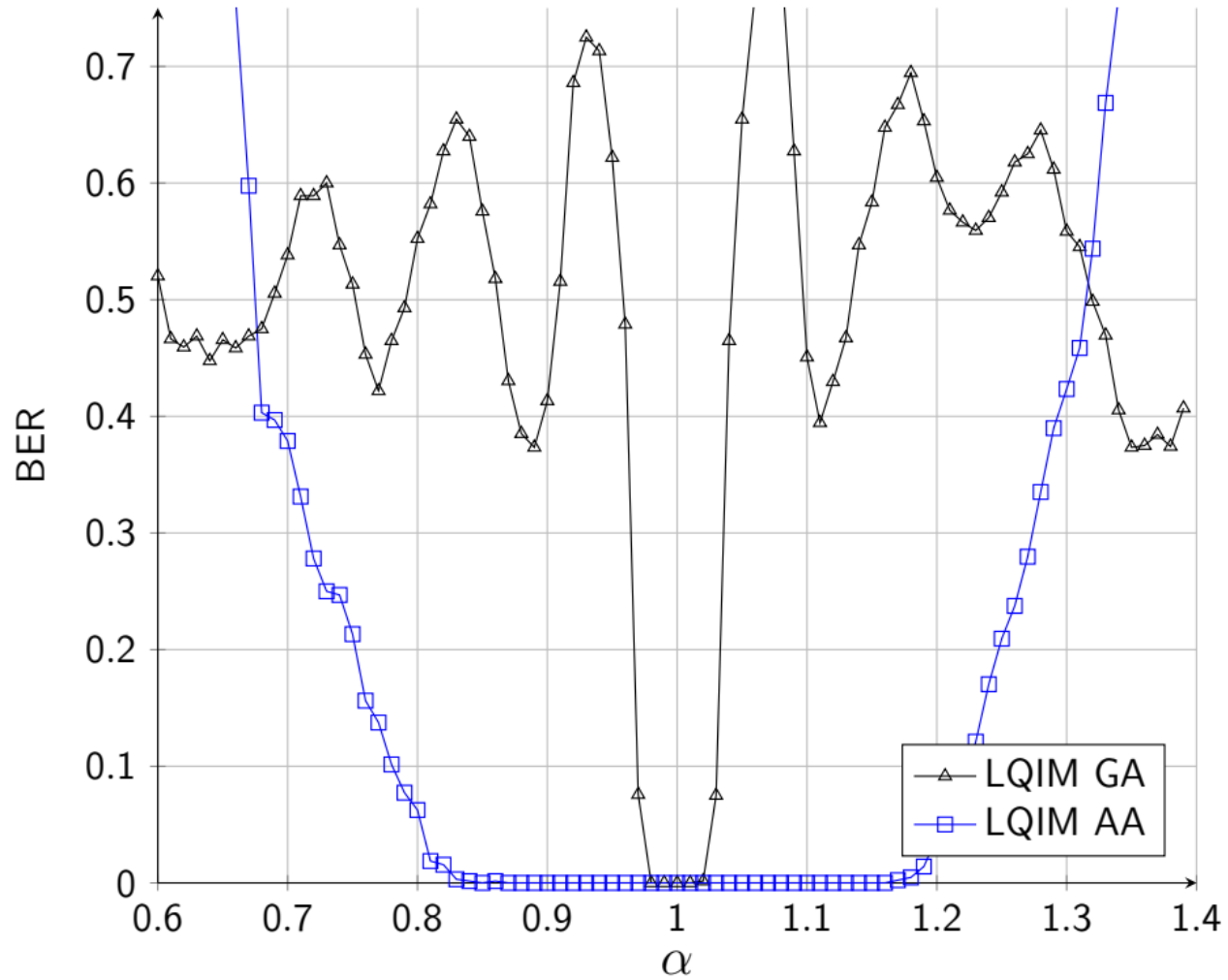
Message de taille $n = 128$ bits

taux d'erreur binaire moyens (100 répétitions pour le même pas de quantification)



Modification contraste

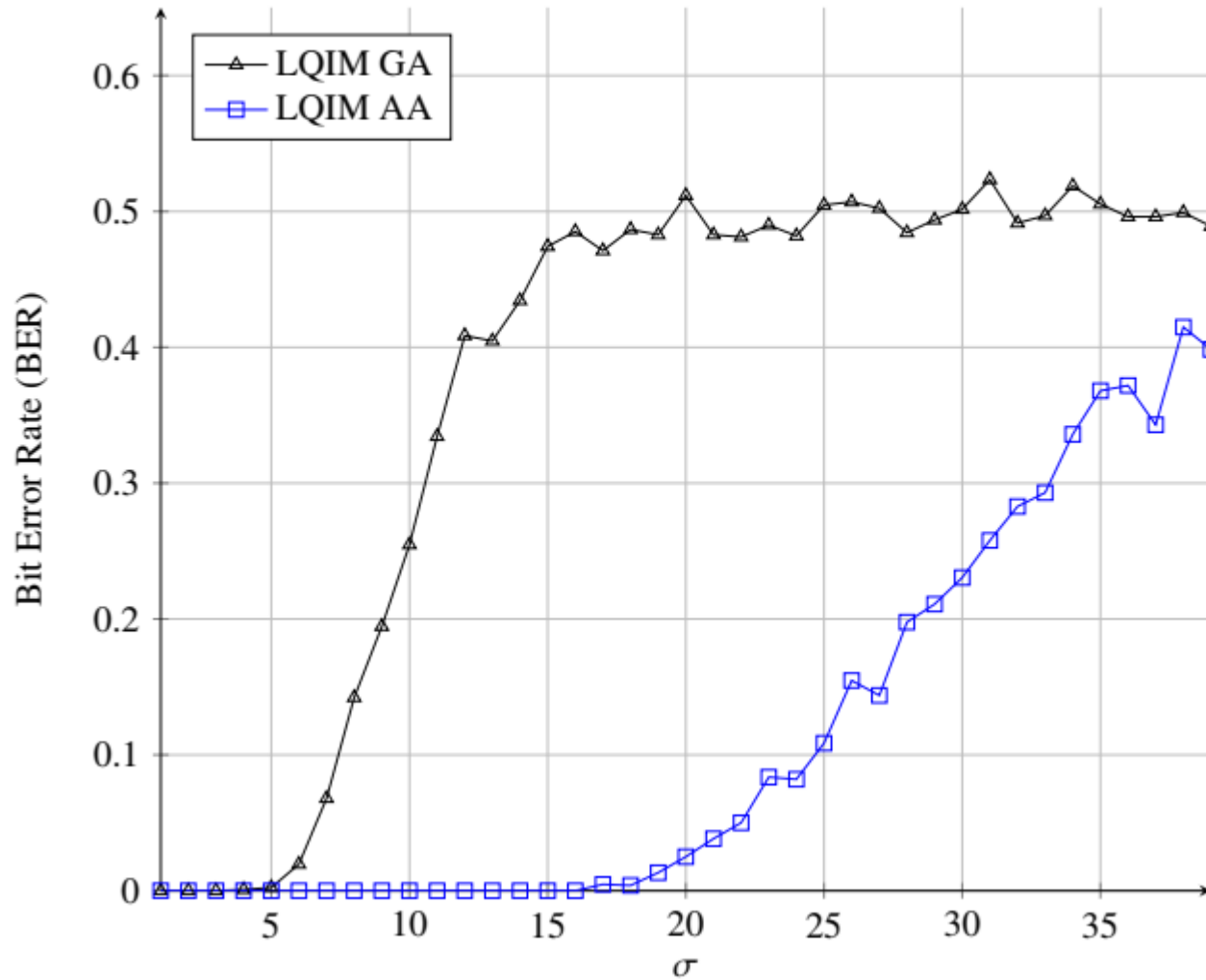
Domaine spatial



$$y = \alpha x$$

Bruit

Taux d'erreur binaire dans le domaine spatial



Bilan

- Insertion d'une dimension SVH
- Gain en invisibilité
- Gain en robustesse
- Adaptation à tout schéma classique
- Etape 0.0