

Partie C — thème 2

Traitement de la clarté et du contraste d'une image monochrome

Caractéristiques psychovisuelles d'intensité lumineuse

- ▶ pour une image couleur : composante achromatique (Y , L , V , etc)
- ▶ critères d'appréciation principalement subjectifs : dépendent de l'objectif recherché



1. Caractéristiques psychovisuelles d'intensité lumineuse

1.1. Clarté d'une image monochrome

- ▶ caractérise une **intensité lumineuse relative** perçue

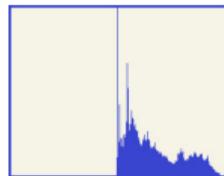


image claire ou sombre ?

- ▶ assimilable à la **moyenne** μ_I de l'image I

$$\mu_I = \frac{1}{N} \sum_{p \in D} I(p) = \sum_{i=0}^{I_{max}} h'(i) \times i$$

1. Caractéristiques psychovisuelles d'intensité lumineuse

1.1. Clarté d'une image monochrome

- ▶ caractérise une **intensité lumineuse relative** perçue

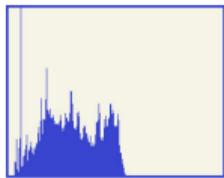
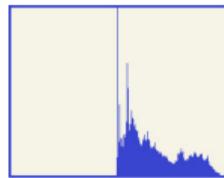


image sombre



image claire



- ▶ assimilable à la **moyenne** μ_I de l'image I

$$\mu_I = \frac{1}{N} \sum_{p \in D} I(p) = \sum_{i=0}^{I_{\max}} h'(i) \times i$$

1. Caractéristiques psychovisuelles d'intensité lumineuse

1.1. Clarté d'une image monochrome

- ▶ caractérise une **intensité lumineuse relative** perçue



- ▶ assimilable à la **moyenne** μ_I de l'image I

$$\mu_I = \frac{1}{N} \sum_{p \in D} I(p) = \sum_{i=0}^{I_{\max}} h'(i) \times i$$

1.2. Contraste d'une image monochrome

- ▶ caractérise la facilité à distinguer les éléments d'une image (objets adjacents, fond)



image faiblement contrastée *image fortement contrastée*

- ▶ assimilable à l'écart type σ_I de l'image I

$$\sigma_I = \sqrt{V_I} \quad \text{avec} \quad V_I = \frac{1}{N} \sum_{p \in D} (I(p) - \mu_I)^2 = \sum_{i=0}^{I_{\max}} h'(i) \times (i - \mu)^2$$

- ▶ prise en compte de la **loi de Weber** : une faible variation de luminosité est
 - ▶ *significative en faible luminosité*
 - ▶ *négligeable en forte luminosité*
- ▶ peut se traduire par le ratio :

$$\frac{\text{différence de luminosité}}{\text{luminosité moyenne}}$$

- ▶ ratio *amplitude moyenne* (approximé par Michelson en 1927) :

$$\frac{\frac{\max(I) - \min(I)}{2}}{\frac{\max(I) + \min(I)}{2}} = \frac{\max(I) - \min(I)}{\max(I) + \min(I)}$$

- ▶ prise en compte de la **loi de Weber** : une faible variation de luminosité est
 - ▶ *significative en faible luminosité*
 - ▶ *négligeable en forte luminosité*
- ▶ peut se traduire par le ratio :

$$\frac{\text{différence de luminosité}}{\text{luminosité moyenne}}$$

- ▶ ratio $\frac{\text{amplitude}}{\text{moyenne}}$ (approximé par Michelson en 1927) :

$$\frac{\frac{\max(I) - \min(I)}{2}}{\frac{\max(I) + \min(I)}{2}} = \frac{\max(I) - \min(I)}{\max(I) + \min(I)}$$

○ **Contraste global vs contraste local**

- ▶ le contraste exprime une variation : on peut le considérer **globalement** ou **localement**



fort contraste global



fort contraste local

- ▶ contraste entre p et $V(p)$: $\frac{|I(p) - m(V(p))|}{m(V(p))}$ ou $m(R)$ est la moyenne sur R
- ▶ alternative : privilégier la luminosité des **contours** (notion de *piqué* en photographie)

$$m(R) = \frac{\sum_{p \in R} \|\nabla I(p)\| I(p)}{\sum_{p \in R} \|\nabla I(p)\|}$$

○ **Contraste global vs contraste local**

- ▶ le contraste exprime une variation : on peut le considérer **globalement** ou **localement**



fort contraste global



faible contraste local

- ▶ contraste entre p et $V(p)$: $\frac{|I(p) - m(V(p))|}{m(V(p))}$ ou $m(R)$ est la moyenne sur R
- ▶ alternative : privilégier la luminosité des **contours** (notion de *piqué* en photographie)

$$m(R) = \frac{\sum_{p \in R} \|\nabla I(p)\| I(p)}{\sum_{p \in R} \|\nabla I(p)\|}$$

○ **Contraste global vs contraste local**

- ▶ le contraste exprime une variation : on peut le considérer **globalement** ou **localement**



fort contraste global



fort contraste local

- ▶ contraste entre p et $V(p)$: $\frac{|I(p) - m(V(p))|}{m(V(p))}$ ou $m(R)$ est la moyenne sur R
- ▶ alternative : privilégier la luminosité des **contours** (notion de *piqué* en photographie)

$$m(R) = \frac{\sum_{p \in R} \|\nabla I(p)\| I(p)}{\sum_{p \in R} \|\nabla I(p)\|}$$

○ **Contraste global vs contraste local**

- ▶ le contraste exprime une variation : on peut le considérer **globalement** ou **localement**



fort contraste global



fort contraste local

- ▶ contraste entre p et $V(p)$: $\frac{|I(p) - m(V(p))|}{m(V(p))}$ ou $m(R)$ est la moyenne sur R
- ▶ alternative : privilégier la luminosité des contours (notion de *piqué* en photographie)

$$m(R) = \frac{\sum_{p \in R} \|\nabla I(p)\| I(p)}{\sum_{p \in R} \|\nabla I(p)\|}$$

○ **Contraste global vs contraste local**

- ▶ le contraste exprime une variation : on peut le considérer **globalement** ou **localement**



fort contraste global

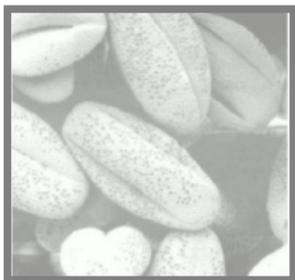


fort contraste local

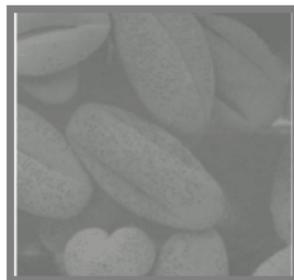
- ▶ contraste entre p et $V(p)$: $\frac{|I(p) - m(V(p))|}{m(V(p))}$ ou $m(R)$ est la moyenne sur R
- ▶ alternative : privilégier la luminosité des **contours** (notion de *piqué* en photographie)

$$m(R) = \frac{\sum_{p \in R} \|\nabla I(p)\| I(p)}{\sum_{p \in R} \|\nabla I(p)\|}$$

★ Histogrammes caractéristiques



J



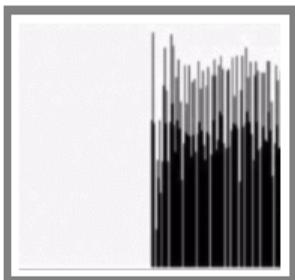
K



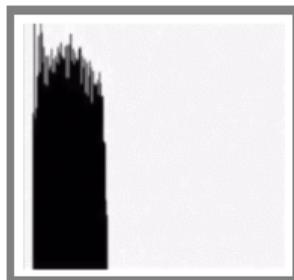
L



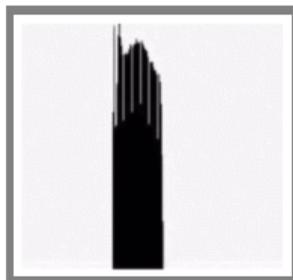
M



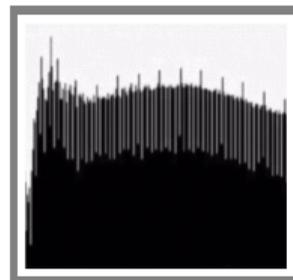
1



2



3



4

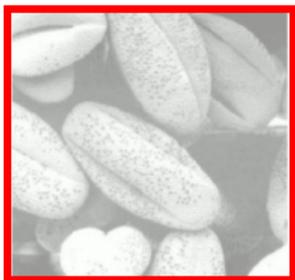
A : J↔2 K↔3 L↔4 M↔1

B : J↔2 K↔1 L↔3 M↔4

C : J↔1 K↔4 L↔3 M↔2

D : J↔1 K↔3 L↔4 M↔2

★ Histogrammes caractéristiques



J



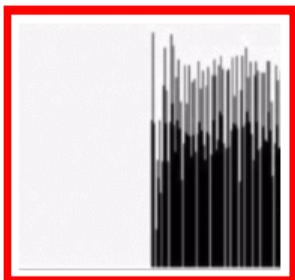
K



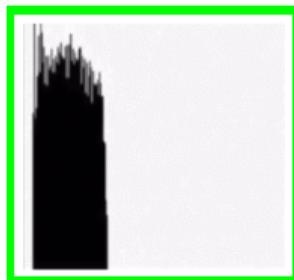
L



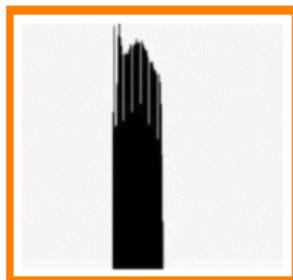
M



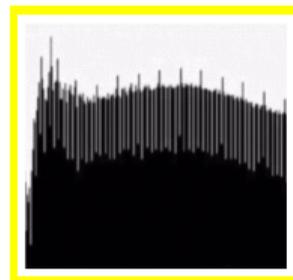
1



2



3



4

A : J↔2 K↔3 L↔4 M↔1

B : J↔2 K↔1 L↔3 M↔4

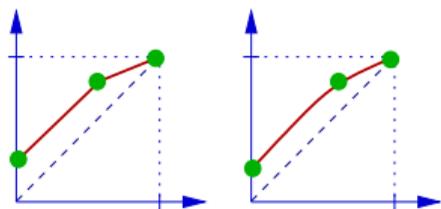
C : J↔1 K↔4 L↔3 M↔2

D : J↔1 K↔3 L↔4 M↔2

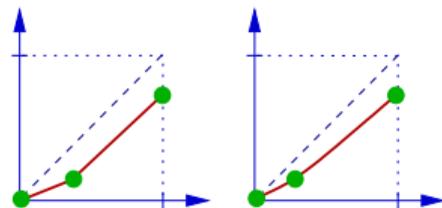
2. Édition des caractéristiques d'intensité

2.1. Transformations ponctuelles définies par leur graphe (curve/courbe)

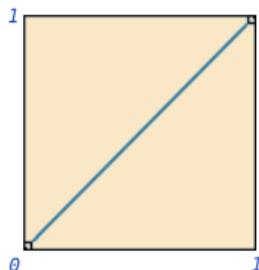
- Graphes des transformations ponctuelles de clarté



éclaircissement



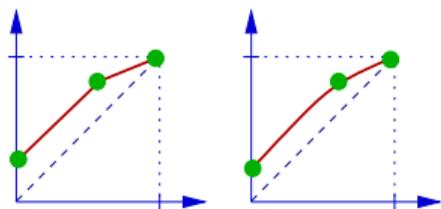
assombrissement



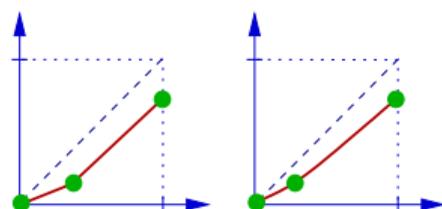
2. Édition des caractéristiques d'intensité

2.1. Transformations ponctuelles définies par leur graphe (curve/courbe)

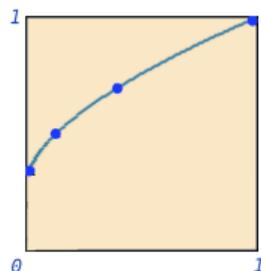
- Graphes des transformations ponctuelles de clarté



éclaircissement



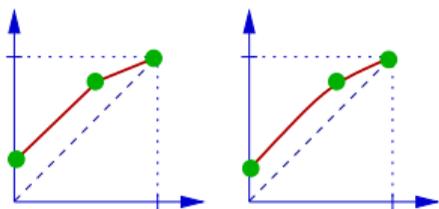
assombrissement



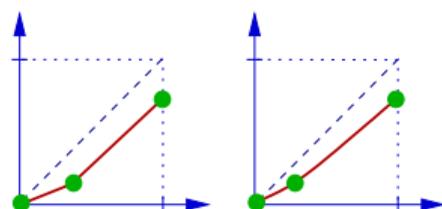
2. Édition des caractéristiques d'intensité

2.1. Transformations ponctuelles définies par leur graphe (curve/courbe)

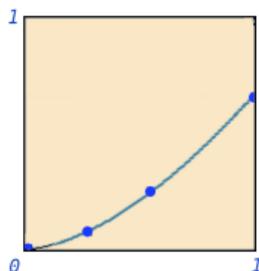
- Graphes des transformations ponctuelles de clarté



éclaircissement

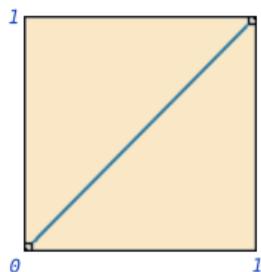


assombrissement



○ Correction par une fonction en loi de puissance (image normalisée)

- ▶ rappel : par convention on choisit $\Psi_\gamma(I) = I^{\frac{1}{\gamma}}$
 - ▶ $\gamma < 1$: assombrissement
 - ▶ $\gamma > 1$: éclaircissement
- ▶ $\Psi(1) = 1^{\frac{1}{\gamma}} = 1$: conservation des zones très claires
- ▶ $\Psi(0) = 0^{\frac{1}{\gamma}} = 0$: conservation des zones très sombres

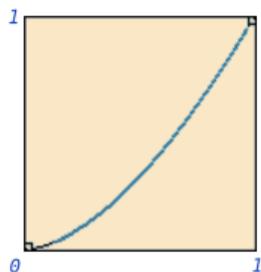


$$\gamma = 1$$



○ Correction par une fonction en loi de puissance (image normalisée)

- ▶ rappel : par convention on choisit $\Psi_\gamma(I) = I^{\frac{1}{\gamma}}$
 - ▶ $\gamma < 1$: *assombrissement*
 - ▶ $\gamma > 1$: *éclaircissement*
- ▶ $\Psi(1) = 1^{\frac{1}{\gamma}} = 1$: conservation des zones très claires
- ▶ $\Psi(0) = 0^{\frac{1}{\gamma}} = 0$: conservation des zones très sombres

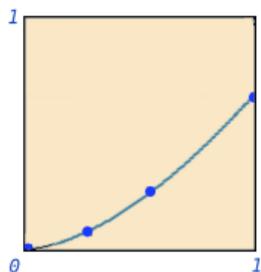


$\gamma = 0.5$



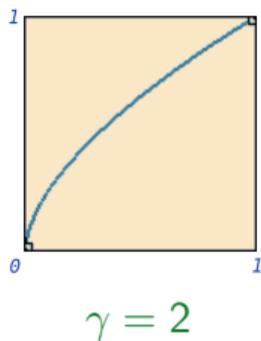
○ Correction par une fonction en loi de puissance (image normalisée)

- ▶ rappel : par convention on choisit $\Psi_{\gamma}(I) = I^{\frac{1}{\gamma}}$
 - ▶ $\gamma < 1$: *assombrissement*
 - ▶ $\gamma > 1$: *éclaircissement*
- ▶ $\Psi(1) = 1^{\frac{1}{\gamma}} = 1$: conservation des zones très claires
- ▶ $\Psi(0) = 0^{\frac{1}{\gamma}} = 0$: conservation des zones très sombres



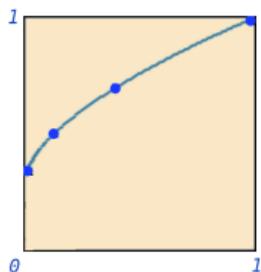
○ Correction par une fonction en loi de puissance (image normalisée)

- ▶ rappel : par convention on choisit $\Psi_\gamma(I) = I^{\frac{1}{\gamma}}$
 - ▶ $\gamma < 1$: assombrissement
 - ▶ $\gamma > 1$: éclaircissement
- ▶ $\Psi(1) = 1^{\frac{1}{\gamma}} = 1$: conservation des zones très claires
- ▶ $\Psi(0) = 0^{\frac{1}{\gamma}} = 0$: conservation des zones très sombres

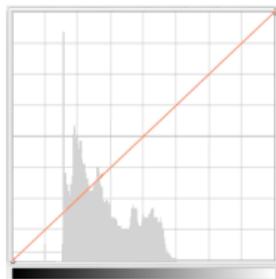
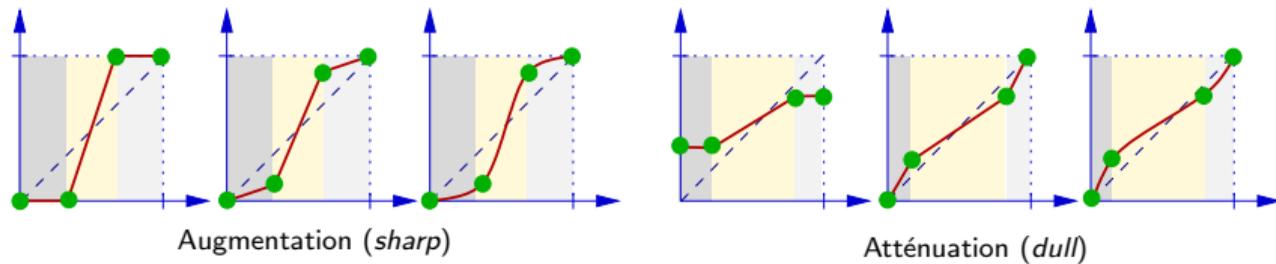


○ Correction par une fonction en loi de puissance (image normalisée)

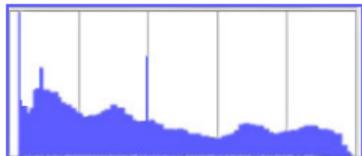
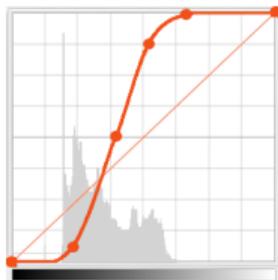
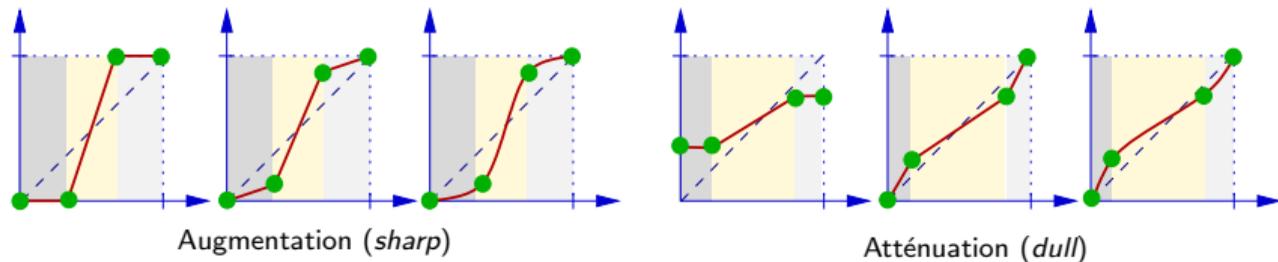
- ▶ rappel : par convention on choisit $\Psi_\gamma(I) = I^{\frac{1}{\gamma}}$
 - ▶ $\gamma < 1$: assombrissement
 - ▶ $\gamma > 1$: éclaircissement
- ▶ $\Psi(1) = 1^{\frac{1}{\gamma}} = 1$: conservation des zones très claires
- ▶ $\Psi(0) = 0^{\frac{1}{\gamma}} = 0$: conservation des zones très sombres



Graphes des transformations globales de contraste

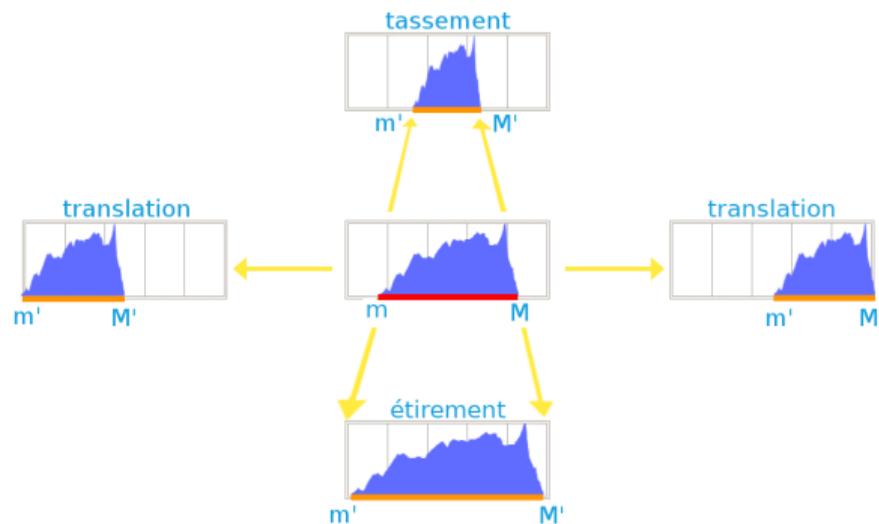


Graphes des transformations globales de contraste



2.2. Transformation linéaire des niveaux de gris (level)

- ▶ translation + étirement/tassement d'histogramme

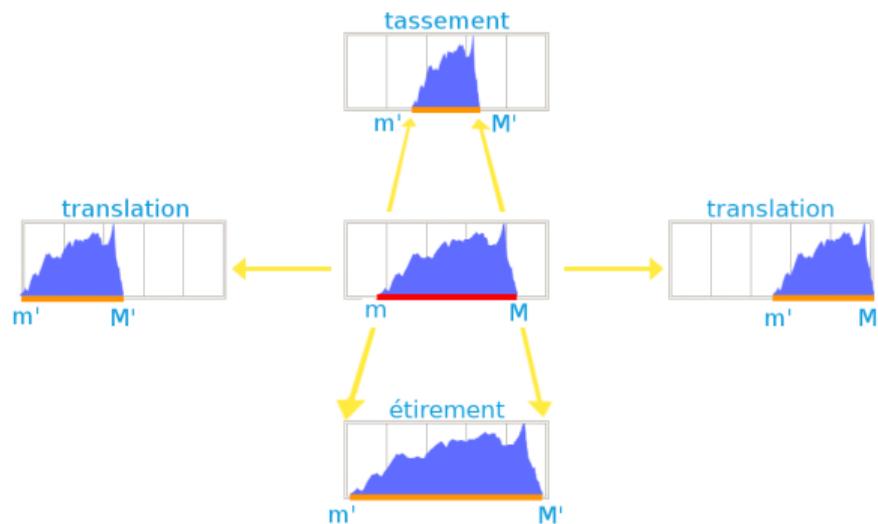


- ▶ projection d'un intervalle $[m, M]$ de niveaux d'un canal sur un intervalle $[m', M']$:

$i \in [m, M]$	$i' = \frac{i - m}{M - m} \times (M' - m') + m'$	$i' \in [0, M - m]$
----------------	--	---------------------

2.2. Transformation linéaire des niveaux de gris (level)

- ▶ translation + étirement/tassement d'histogramme

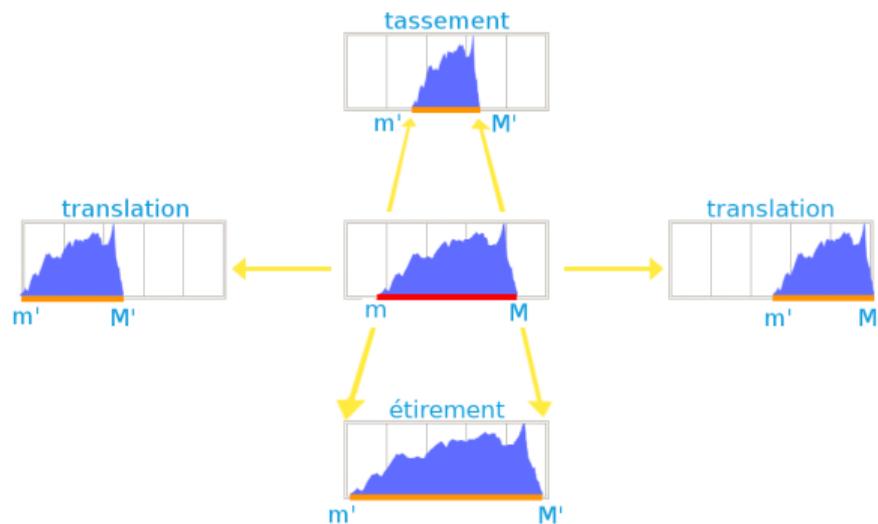


- ▶ projection d'un intervalle $[m, M]$ de niveaux d'un canal sur un intervalle $[m', M']$:

$i \in [m, M]$	$i' = \frac{i - m}{M - m} \times (M' - m') + m'$	$i' \in [0, 1]$
----------------	--	-----------------

2.2. Transformation linéaire des niveaux de gris (level)

- ▶ translation + étirement/tassement d'histogramme

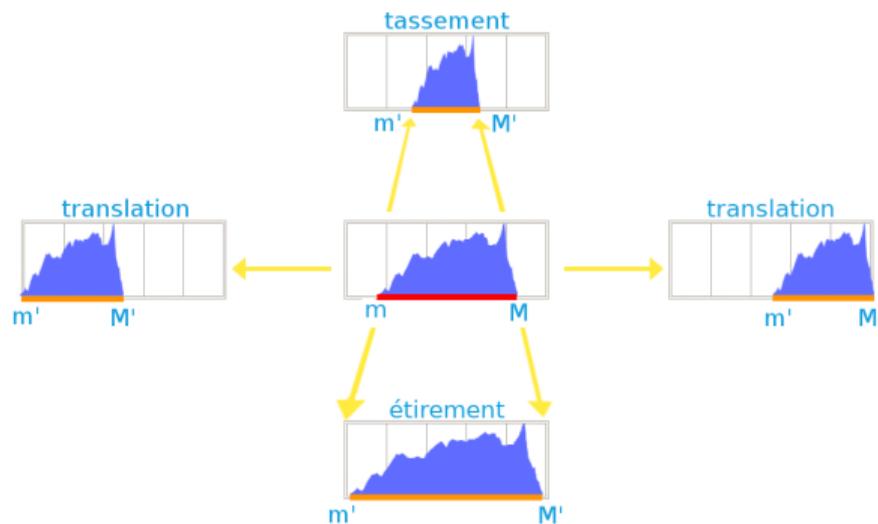


- ▶ projection d'un intervalle $[m, M]$ de niveaux d'un canal sur un intervalle $[m', M']$:

$i \in [m, M]$	$i' = \frac{i - m}{M - m} \times (M' - m') + m'$	$i' \in [0, M' - m']$
----------------	--	-----------------------

2.2. Transformation linéaire des niveaux de gris (level)

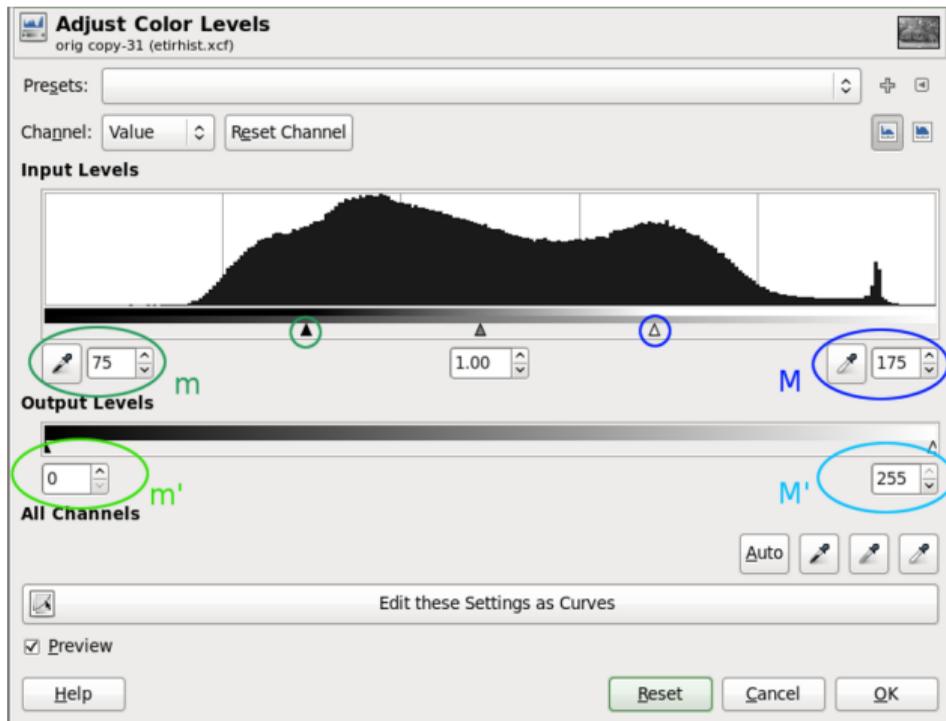
- ▶ translation + étirement/tassement d'histogramme

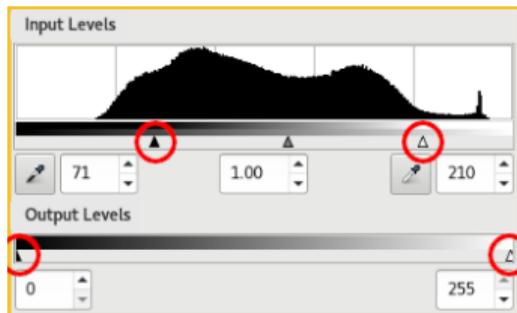


- ▶ projection d'un intervalle $[m, M]$ de niveaux d'un canal sur un intervalle $[m', M']$:

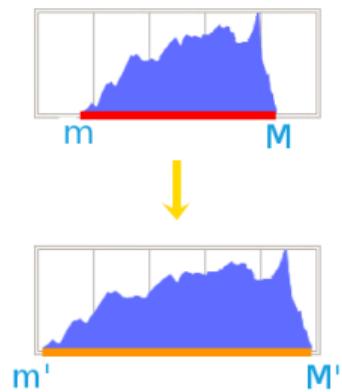
$i \in [m, M]$	$i' = \frac{i - m}{M - m} \times (M' - m') + m'$	$i' \in [m', M']$
----------------	--	-------------------

► fonction *level* (niveau) de Gimp et Photoshop

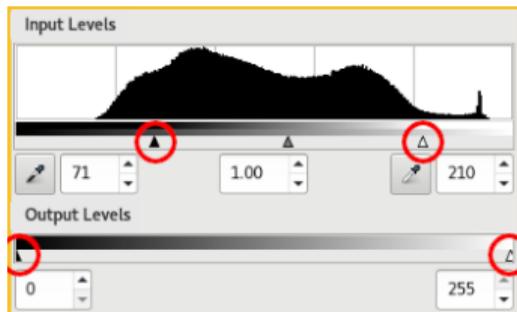




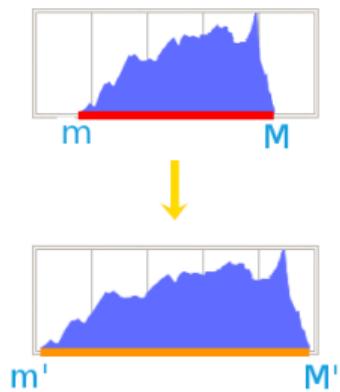
étirement



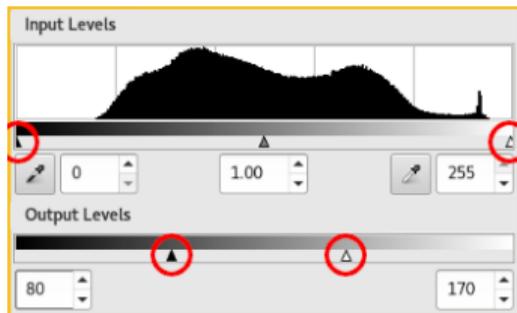
augmentation du contraste



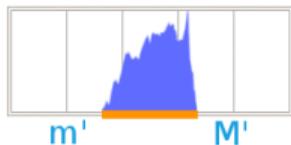
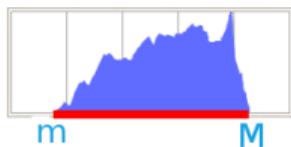
étirement



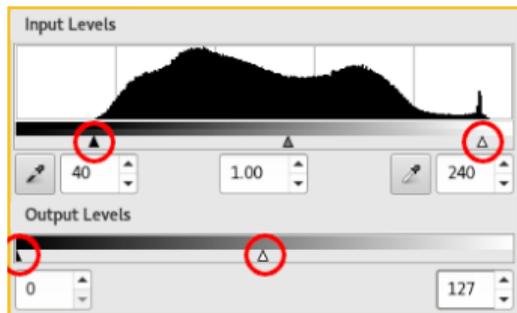
augmentation du contraste



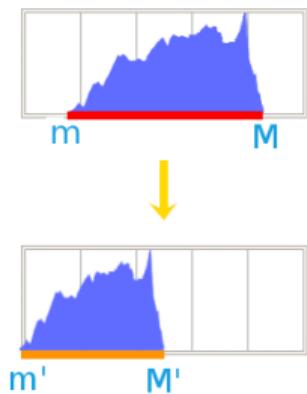
tassement



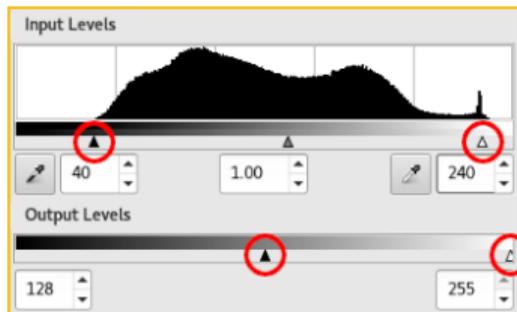
atténuation du contraste



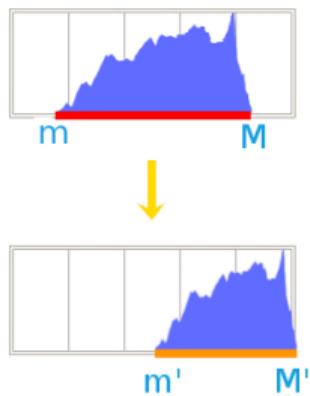
translation (et tassement)



assombrissement (et atténuation du contraste)



translation (et tassement)



éclaircissement (et atténuation du contraste)

► mise en œuvre de la fonction niveau (*level*) : $\Lambda_{m,M,m',M'}$

► troncature entre m et M : $\tau_{m,M}(i) : [0..i_{max}] \longrightarrow [m..M]$

$$\tau_{m,M}(i) = \begin{cases} m & \text{si } i < m \\ M & \text{si } i > M \\ i & \text{sinon.} \end{cases}$$

► normalisation de $[m..M]$ sur $[0, 1]$: $f_{m,M} : [0..i_{max}] \longrightarrow [0, 1]$

$$f_{m,M}(i) = \frac{\tau_{m,M}(i) - m}{M - m}$$

avec $f_{m,m}(i) = 0$ si $i \leq m$ et 1 sinon

► $\Lambda_{m,M,m',M'} : [0..i_{max}] \longrightarrow [m'..M']$

$$\Lambda_{m,M,m',M'}(x) = (M' - m') \times f_{m,M}(x) + m'$$

► combinaison avec une correction par une fonction puissance

$$\Lambda_{m,M,m',M',\gamma}(x) = (M' - m') \times \left(f_{m,M}(x) \right)^{\frac{1}{\gamma}} + m'$$

► mise en œuvre de la fonction niveau (*level*) : $\Lambda_{m,M,m',M'}$

► troncature entre m et M : $\tau_{m,M}(i) : [0..i_{max}] \longrightarrow [m..M]$

$$\tau_{m,M}(i) = \begin{cases} m & \text{si } i < m \\ M & \text{si } i > M \\ i & \text{sinon.} \end{cases}$$

► normalisation de $[m..M]$ sur $[0, 1]$: $f_{m,M} : [0..i_{max}] \longrightarrow [0, 1]$

$$f_{m,M}(i) = \frac{\tau_{m,M}(i) - m}{M - m}$$

avec $f_{m,m}(i) = 0$ si $i \leq m$ et 1 sinon

► $\Lambda_{m,M,m',M'} : [0..i_{max}] \longrightarrow [m'..M']$

$$\Lambda_{m,M,m',M'}(x) = (M' - m') \times f_{m,M}(x) + m'$$

► combinaison avec une correction par une fonction puissance

$$\Lambda_{m,M,m',M',\gamma}(x) = (M' - m') \times \left(f_{m,M}(x) \right)^{\frac{1}{\gamma}} + m'$$

- ▶ mise en œuvre de la fonction niveau (*level*) : $\Lambda_{m,M,m',M'}$

- ▶ troncature entre m et M : $\tau_{m,M}(i) : [0..i_{max}] \longrightarrow [m..M]$

$$\tau_{m,M}(i) = \begin{cases} m & \text{si } i < m \\ M & \text{si } i > M \\ i & \text{sinon.} \end{cases}$$

- ▶ normalisation de $[m..M]$ sur $[0, 1]$: $f_{m,M} : [0..i_{max}] \longrightarrow [0, 1]$

$$f_{m,M}(i) = \frac{\tau_{m,M}(i) - m}{M - m}$$

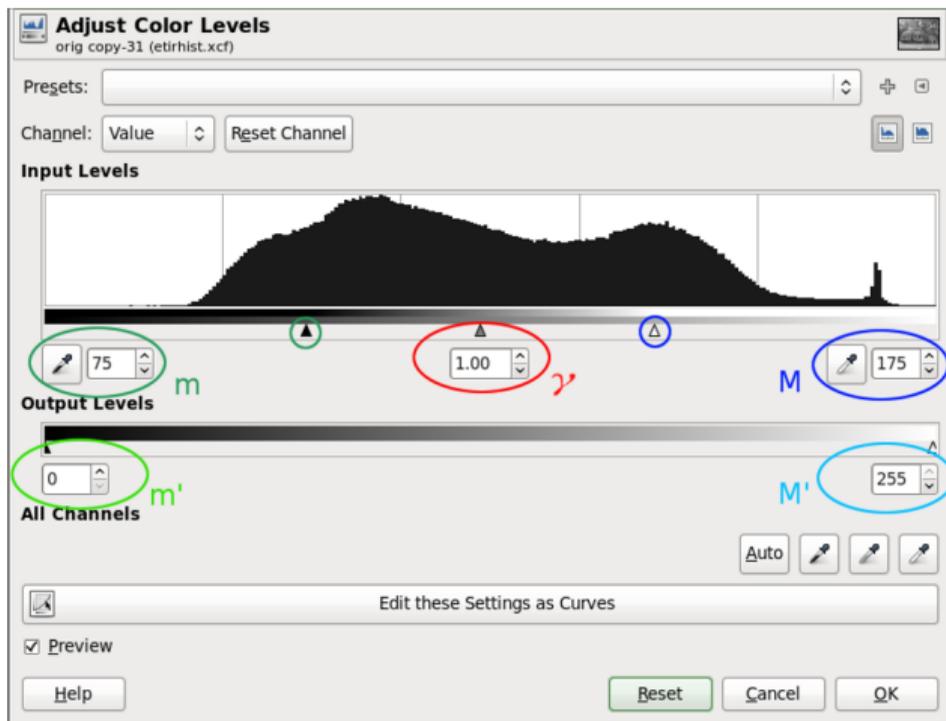
avec $f_{m,m}(i) = 0$ si $i \leq m$ et 1 sinon

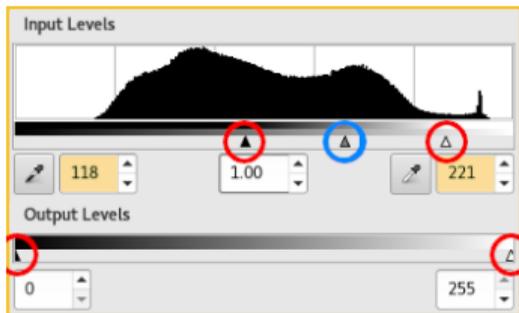
- ▶ $\Lambda_{m,M,m',M'} : [0..i_{max}] \longrightarrow [m'..M']$

$$\Lambda_{m,M,m',M'}(x) = (M' - m') \times f_{m,M}(x) + m'$$

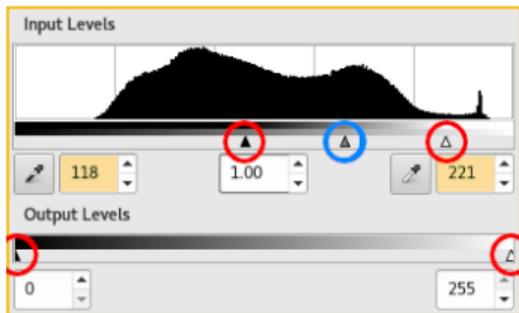
- ▶ combinaison avec une correction par une fonction puissance

$$\Lambda_{m,M,m',M',\gamma}(x) = (M' - m') \times \left(f_{m,M}(x) \right)^{\frac{1}{\gamma}} + m'$$

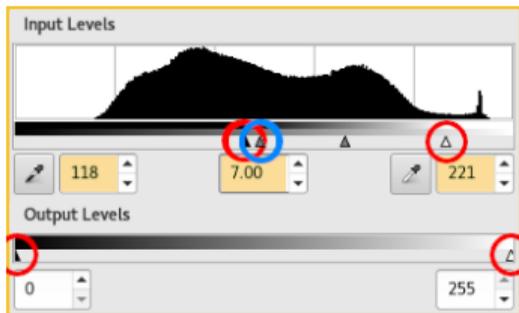




- ▶ étirement (augmentation de contraste)
- ▶ + correction loi de puissance ($\gamma = 7 > 1 \rightarrow$ éclaircissement)

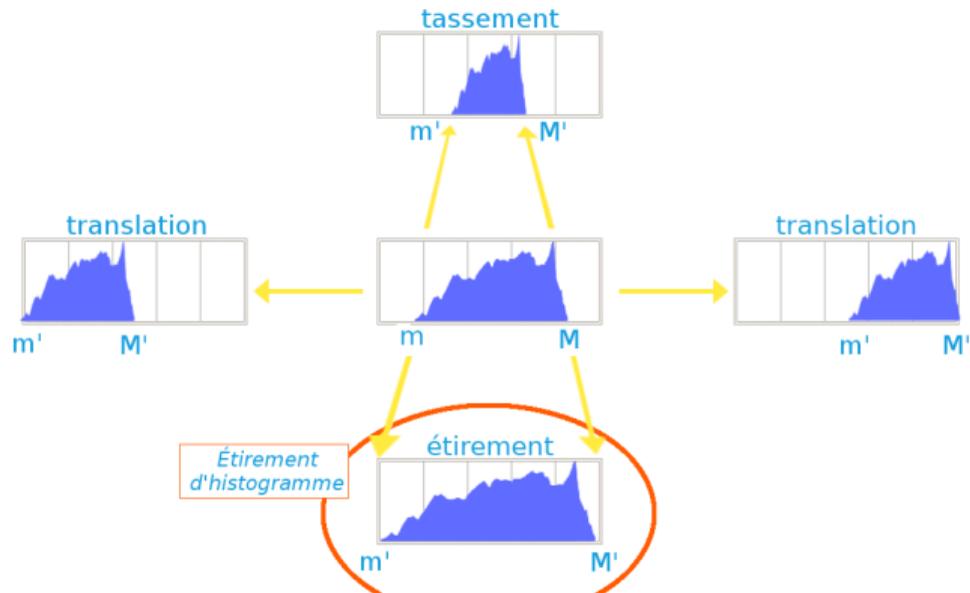


- ▶ étirement (augmentation de contraste)
- ▶ + correction loi de puissance ($\gamma = 7 > 1 \rightarrow$ éclaircissement)

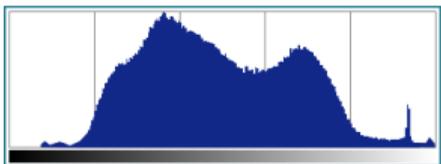
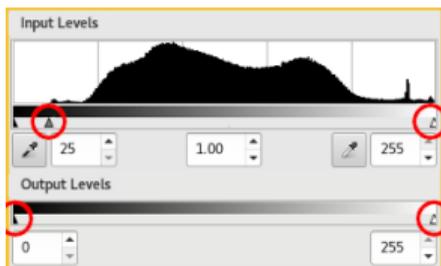


- ▶ étirement (augmentation de contraste)
- ▶ + correction loi de puissance ($\gamma = 7 > 1 \rightarrow$ éclaircissement)

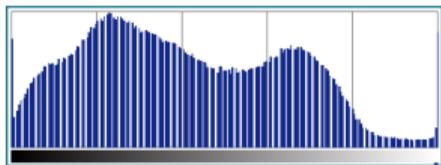
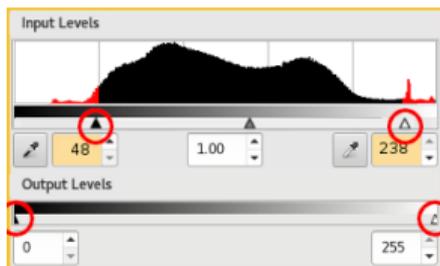
2.3. Normalisation automatique des niveaux de gris



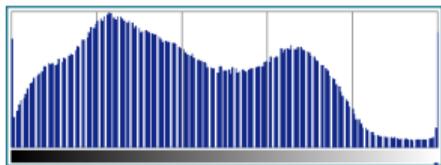
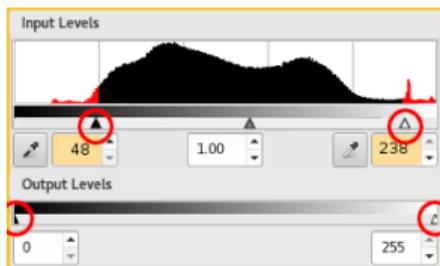
- ▶ rehaussement du contraste par automatisation de l'étirement d'histogramme
 - ▶ $m' = 0$ et $M' = i_{max}$
 - ▶ détermination des valeurs m et M



- ▶ première idée : choisir pour m et M le **minimum** et le **maximum** des niveaux de gris
 ⇒ **peu efficace** s'il y a quelques pixels très sombres et/ou très clairs ($\frac{M-m}{M'-m'} \sim 1$)
- ▶ compromis : réduire l'intervalle $[m, M]$: pertes d'informations extrêmes mais rehaussement plus efficace : sur l'exemple, $m = 48$ et $M = 238$ (voir annexe A)

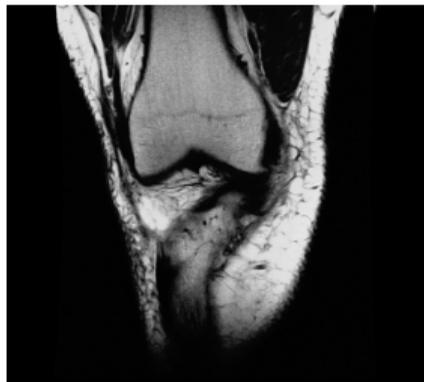


- ▶ première idée : choisir pour m et M le **minimum** et le **maximum** des niveaux de gris
 ⇒ **peu efficace** s'il y a quelques pixels très sombres et/ou très clairs ($\frac{M-m}{M'-m'} \sim 1$)
- ▶ compromis : réduire l'intervalle $[m, M]$: pertes d'informations extrêmes mais rehaussement plus efficace : sur l'exemple, $m = 48$ et $M = 238$ (voir annexe A)

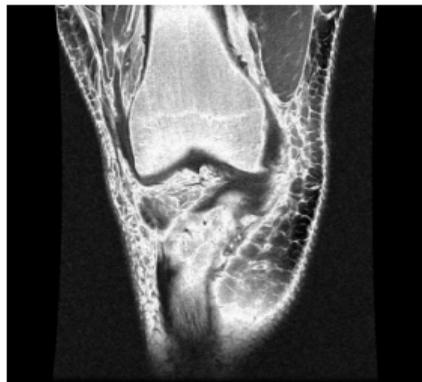


- ▶ première idée : choisir pour m et M le **minimum** et le **maximum** des niveaux de gris
 ⇒ **peu efficace** s'il y a quelques pixels très sombres et/ou très clairs ($\frac{M-m}{M'-m'} \sim 1$)
- ▶ compromis : réduire l'intervalle $[m, M]$: pertes d'informations extrêmes mais rehaussement plus efficace : sur l'exemple, $m = 48$ et $M = 238$ (voir annexe A)

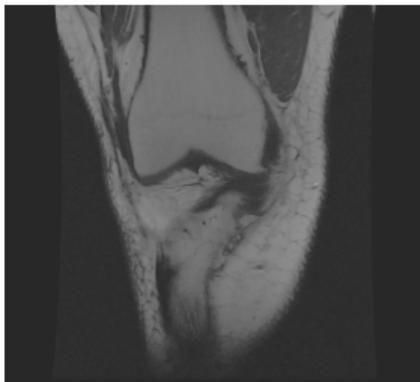
★ Transformations luminosité/contraste



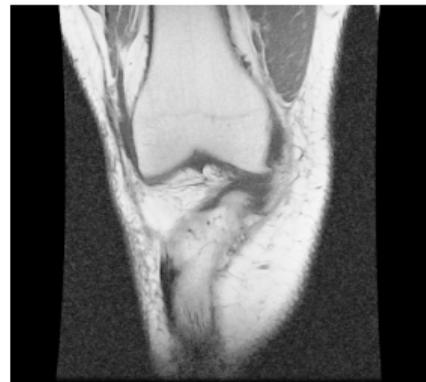
- 1 -



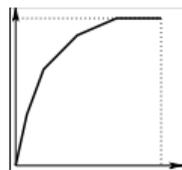
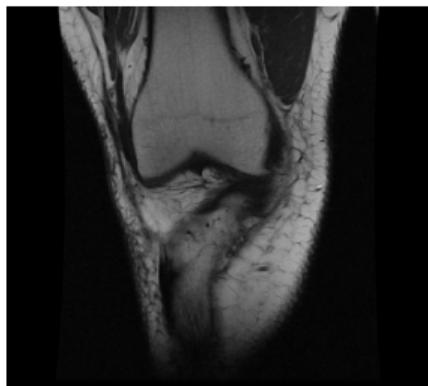
- 2 -



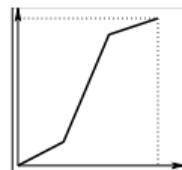
- 3 -



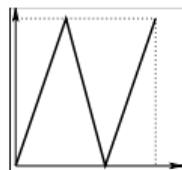
- 4 -



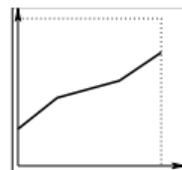
- J -



- K -



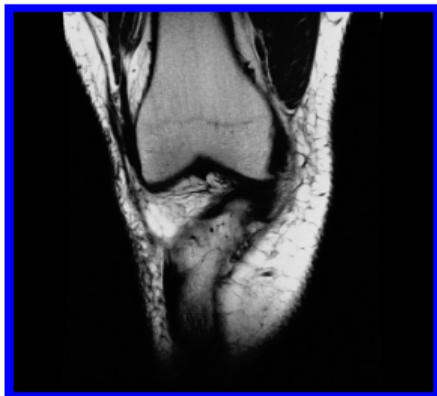
- L -



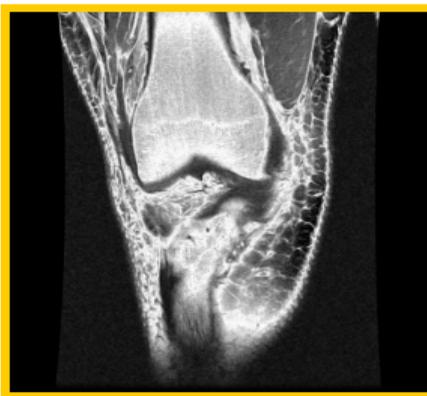
- M -

A	J-4	K-2	L-1	M-3
B	J-1	K-4	L-2	M-3
C	J-4	K-1	L-2	M-3
D	J-3	K-2	L-1	M-4

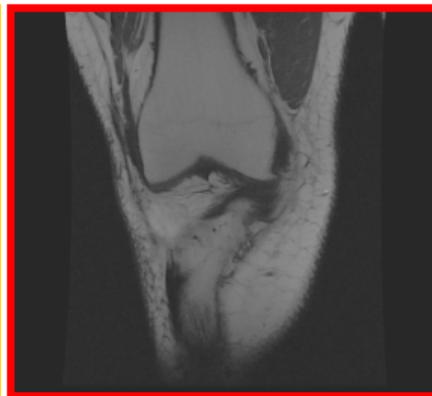
★ Transformations luminosité/contraste



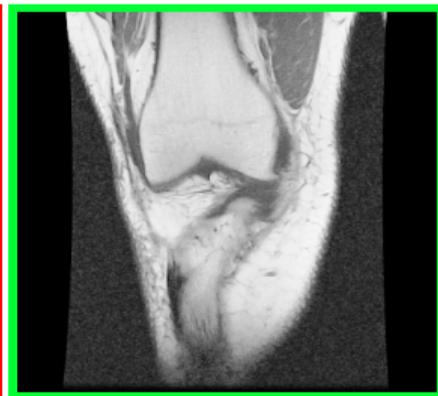
- 1 -



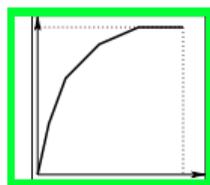
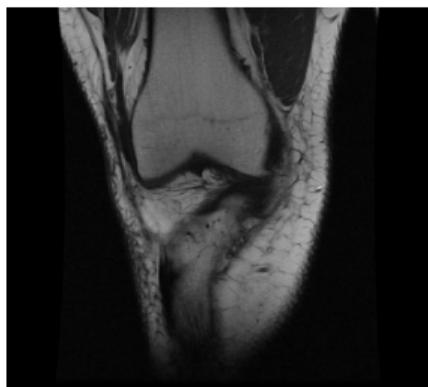
- 2 -



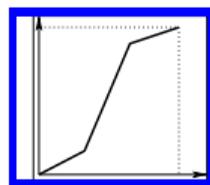
- 3 -



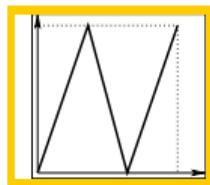
- 4 -



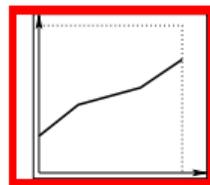
- J -



- K -



- L -



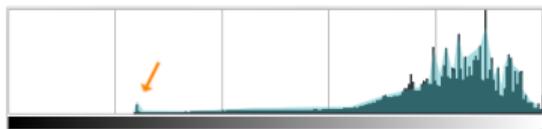
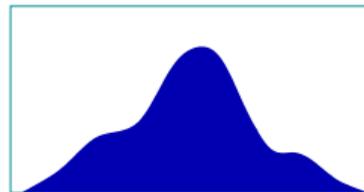
- M -

A	J-4	K-2	L-1	M-3
B	J-1	K-4	L-2	M-3
C	J-4	K-1	L-2	M-3
D	J-3	K-2	L-1	M-4

3. Rehaussement de contraste par transformation d'histogramme

3.1. Méthode fondatrice : aplatissement d'histogramme (Rosenfeld 1982)

- ▶ normalisation (étirement) peu efficace s'il existe une proportion significative de valeurs très claires et très sombres
- ▶ augmentation du contraste \iff rééquilibrage de l'histogramme par redistribution des niveaux de gris



- ▶ cible idéale : histogramme plat

$$\forall i, 0 \leq i \leq i_{max}, h_{I'}(i) = K$$

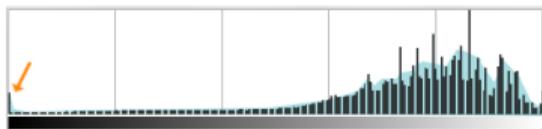
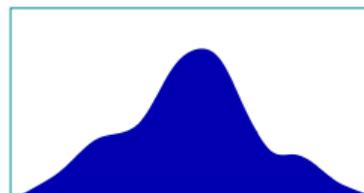
$$\text{avec } K = \left[\frac{\sum_{k=0}^{i_{max}} h(k)}{i_{max}+1} \right]$$



3. Rehaussement de contraste par transformation d'histogramme

3.1. Méthode fondatrice : aplatissement d'histogramme (Rosenfeld 1982)

- ▶ normalisation (étirement) peu efficace s'il existe une proportion significative de valeurs très claires et très sombres
- ▶ augmentation du contraste \iff rééquilibrage de l'histogramme par redistribution des niveaux de gris



- ▶ cible idéale : histogramme plat

$$\forall i, 0 \leq i \leq i_{max}, h_{I'}(i) = K$$

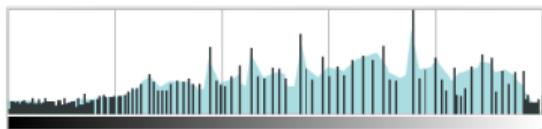
$$\text{avec } K = \left[\frac{\sum_{k=0}^{i_{max}} h(k)}{i_{max}+1} \right]$$



3. Rehaussement de contraste par transformation d'histogramme

3.1. Méthode fondatrice : aplatissage d'histogramme (Rosenfeld 1982)

- ▶ normalisation (étirement) peu efficace s'il existe une proportion significative de valeurs très claires et très sombres
- ▶ augmentation du contraste \iff rééquilibrage de l'histogramme par redistribution des niveaux de gris



- ▶ cible idéale : histogramme plat

$$\forall i, 0 \leq i \leq i_{max}, h_{I'}(i) = K$$

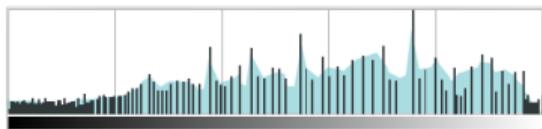
$$\text{avec } K = \left[\frac{\sum_{k=0}^{i_{max}} h(k)}{i_{max}+1} \right]$$



3. Rehaussement de contraste par transformation d'histogramme

3.1. Méthode fondatrice : aplatissage d'histogramme (Rosenfeld 1982)

- ▶ normalisation (étirement) peu efficace s'il existe une proportion significative de valeurs très claires et très sombres
- ▶ augmentation du contraste \iff rééquilibrage de l'histogramme par redistribution des niveaux de gris



- ▶ cible idéale : histogramme plat

$$\forall i, 0 \leq i \leq i_{max}, h_{I'}(i) = K$$

$$\text{avec } K = \left[\frac{\sum_{k=0}^{i_{max}} h(k)}{i_{max}+1} \right]$$

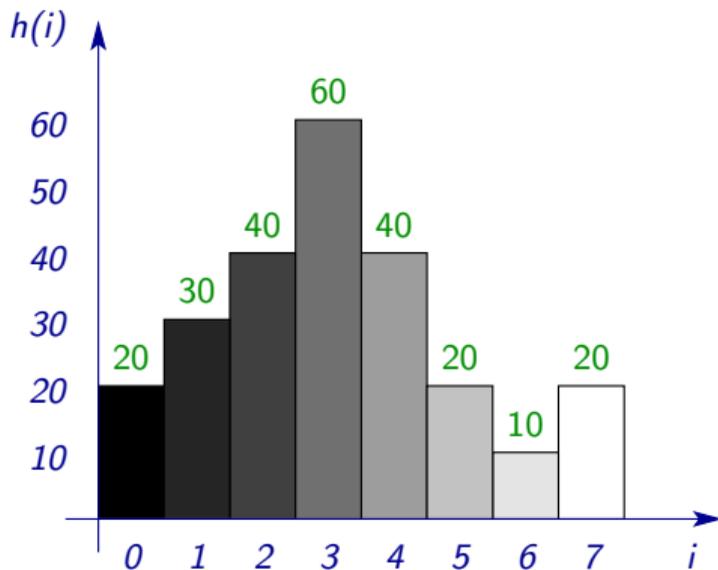


○ Mise en œuvre

- ▶ changer la valeur de certains pixels pour aplatis l'histogramme

taille des classes :

$$\frac{\sum_{k=0}^{i_{\max}} h(k)}{i_{\max}+1} = \frac{240}{8} = 30$$



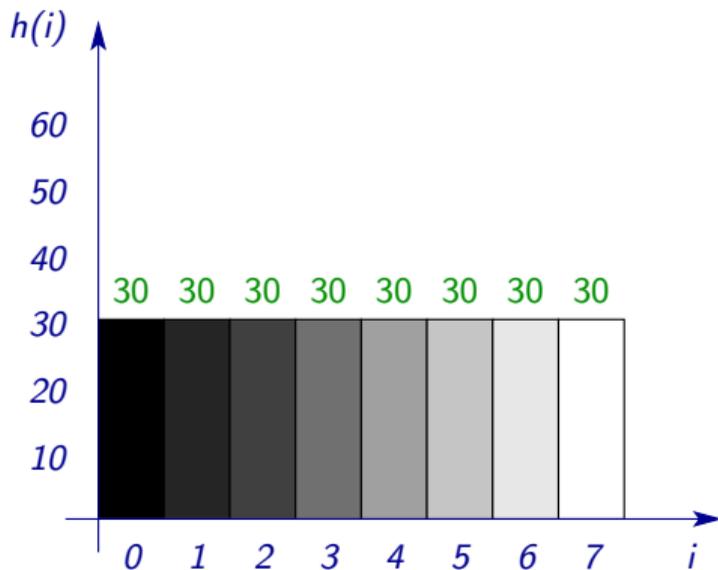
- ▶ construire une liste de modifications de la forme :
pour chaque niveau i : n_i pixels reçoivent la valeur i'
- ▶ $\forall i$ choisir dans l'image les n_i points à modifier

- Mise en œuvre

- ▶ changer la valeur de certains pixels pour aplatis l'histogramme

taille des classes :

$$\frac{\sum_{k=0}^{i_{max}} h(k)}{i_{max}+1} = \frac{240}{8} = 30$$



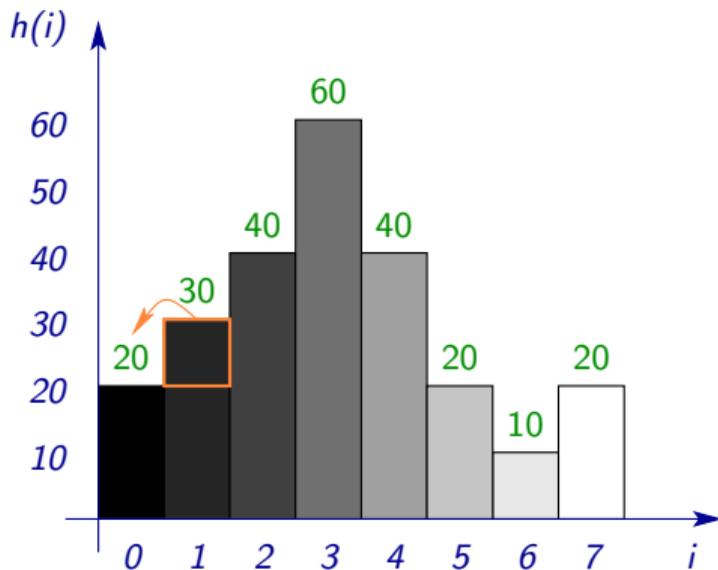
- ▶ construire une liste de modifications de la forme :
pour chaque niveau i : n_i pixels reçoivent la valeur i'
- ▶ $\forall i$ choisir dans l'image les n_i points à modifier

○ Mise en œuvre

- ▶ changer la valeur de certains pixels pour aplatis l'histogramme

taille des classes :

$$\frac{\sum_{k=0}^{i_{max}} h(k)}{i_{max}+1} = \frac{240}{8} = 30$$



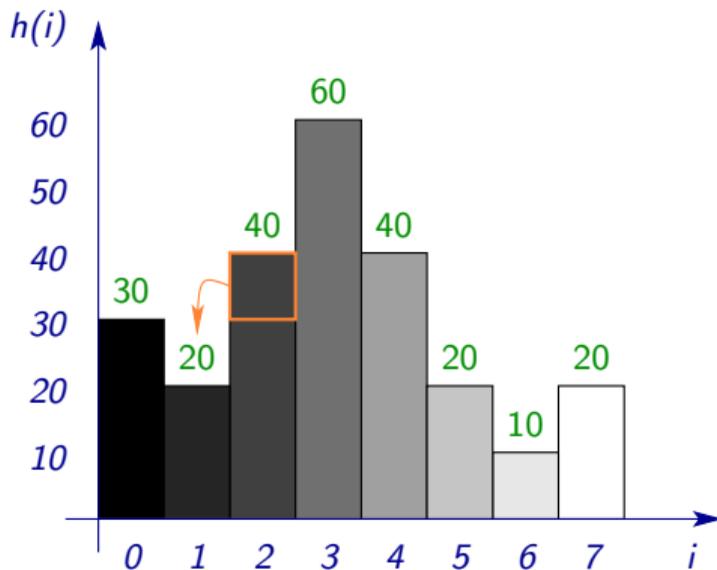
- ▶ construire une liste de modifications de la forme :
pour chaque niveau i : n_i pixels reçoivent la valeur i'
- ▶ $\forall i$ choisir dans l'image les n_i points à modifier

- Mise en œuvre

- ▶ changer la valeur de certains pixels pour aplatis l'histogramme

taille des classes :

$$\frac{\sum_{k=0}^{i_{max}} h(k)}{i_{max}+1} = \frac{240}{8} = 30$$



- ▶ construire une liste de modifications de la forme :

pour chaque niveau i : n_i pixels reçoivent la valeur i'

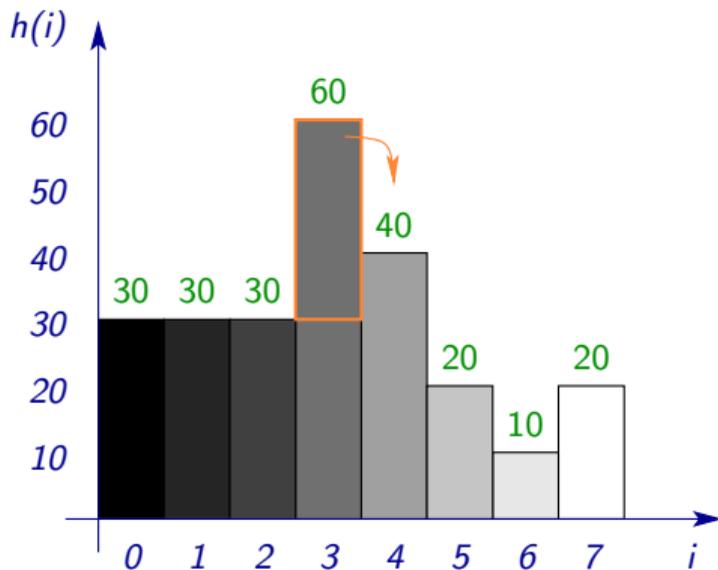
- ▶ $\forall i$ choisir dans l'image les n_i points à modifier

- Mise en œuvre

- ▶ changer la valeur de certains pixels pour aplatis l'histogramme

taille des classes :

$$\frac{\sum_{k=0}^{i_{max}} h(k)}{i_{max}+1} = \frac{240}{8} = 30$$



- ▶ construire une liste de modifications de la forme :

pour chaque niveau i : n_i pixels reçoivent la valeur i'

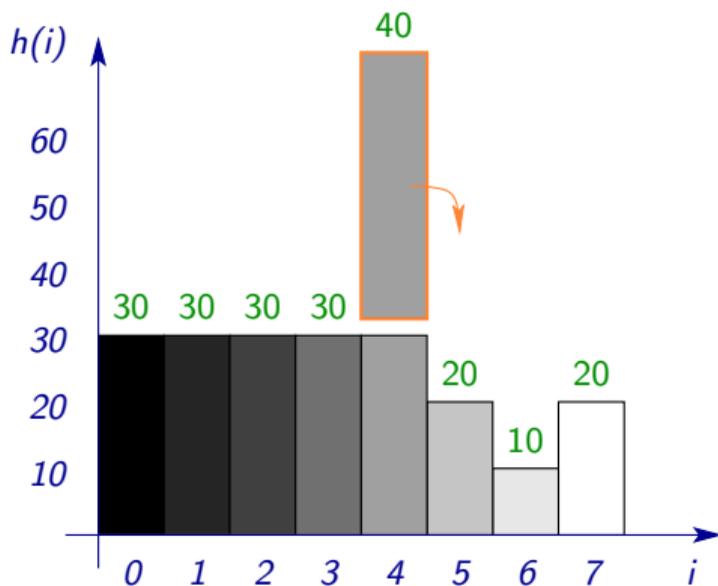
- ▶ $\forall i$ choisir dans l'image les n_i points à modifier

○ Mise en œuvre

- ▶ changer la valeur de certains pixels pour aplatis l'histogramme

taille des classes :

$$\frac{\sum_{k=0}^{i_{max}} h(k)}{i_{max}+1} = \frac{240}{8} = 30$$



- ▶ construire une liste de modifications de la forme :

pour chaque niveau i : n_i pixels reçoivent la valeur i'

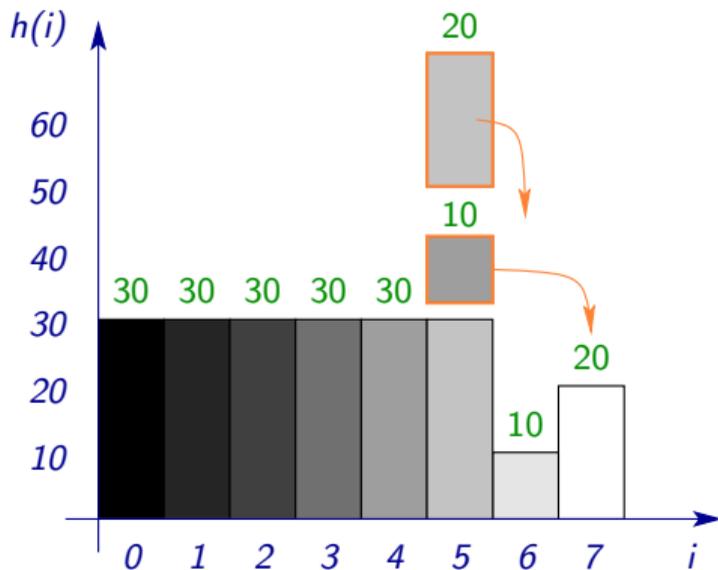
- ▶ $\forall i$ choisir dans l'image les n_i points à modifier

○ Mise en œuvre

- ▶ changer la valeur de certains pixels pour aplatis l'histogramme

taille des classes :

$$\frac{\sum_{k=0}^{i_{max}} h(k)}{i_{max}+1} = \frac{240}{8} = 30$$



- ▶ construire une liste de modifications de la forme :

pour chaque niveau i : n_i pixels reçoivent la valeur i'

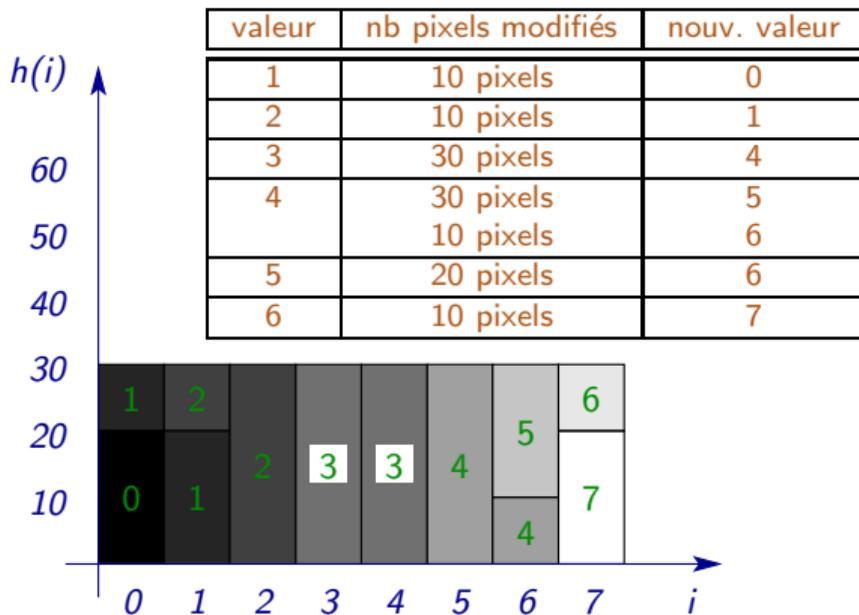
- ▶ $\forall i$ choisir dans l'image les n_i points à modifier

○ Mise en œuvre

- ▶ changer la valeur de certains pixels pour aplatis l'histogramme

taille des classes :

$$\frac{\sum_{k=0}^{i_{max}} h(k)}{i_{max}+1} = \frac{240}{8} = 30$$



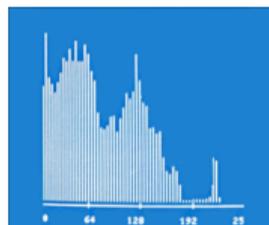
- ▶ construire une liste de modifications de la forme :

pour chaque niveau i : n_i pixels reçoivent la valeur i'

- ▶ $\forall i$ choisir dans l'image les n_i points à modifier

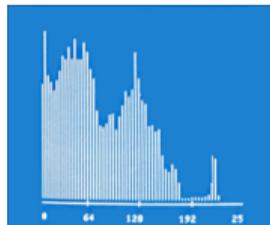
○ Analyse de la méthode

- ▶ efficace et en théorie idéale, mais
 - ▶ dépendante de la stratégie de sélection dans l'image des pixels à modifier
 - ▶ *premiers trouvés* : artefacts
 - ▶ *aléatoire* : plus coûteux, moins d'artefacts, bruit
 - ▶ *points de fort gradient*
 - ▶ *ne pas remodifier* des pixels déjà modifiés
 - ▶ relativement coûteuse et complexe à mettre en œuvre
 - ▶ *sépare* les classes de pixels de l'image
 - ▶ difficilement paramétrable
 - ▶ *ne permet pas de régler l'effet de rehaussement*
 - ▶ *restreinte au traitement global* du contraste
- ▶ approximation de l'appâtissement d'histogramme par une *transformation ponctuelle* : égalisation d'histogramme



○ Analyse de la méthode

- ▶ efficace et en théorie idéale, mais
 - ▶ dépendante de la stratégie de sélection dans l'image des pixels à modifier
 - ▶ *premiers trouvés* : artefacts
 - ▶ *aléatoire* : plus coûteux, moins d'artefacts, bruit
 - ▶ *points de fort gradient*
 - ▶ *ne pas remodifier* des pixels déjà modifiés
 - ▶ relativement coûteuse et complexe à mettre en œuvre
 - ▶ *sépare* les classes de pixels de l'image
 - ▶ difficilement paramétrable
 - ▶ *ne permet pas de régler l'effet de rehaussement*
 - ▶ *restreinte au traitement global* du contraste
- ▶ approximation de l'aplatissement d'histogramme par une *transformation ponctuelle* : égalisation d'histogramme

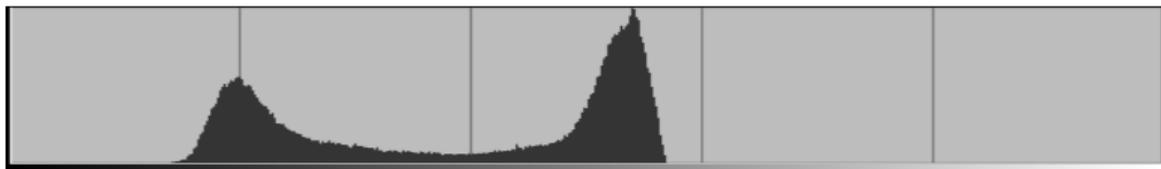


4. Égalisation d'histogramme

4.1. Principe de la méthode

- ▶ I : image **monochrome**
- ▶ N pixels de valeur entre 0 et M
- ▶ h_I : histogramme de I
- ▶ trouver une transformation **ponctuelle** EH_I
tq $h_{EH_I(I)} \simeq \text{constante}$
- ▶ solution : **histogramme normalisé cumulé**
(noté ici \bar{h}' pour simplifier les notations)

$$EH_I(i) = M \times \bar{h}'_I(i)$$

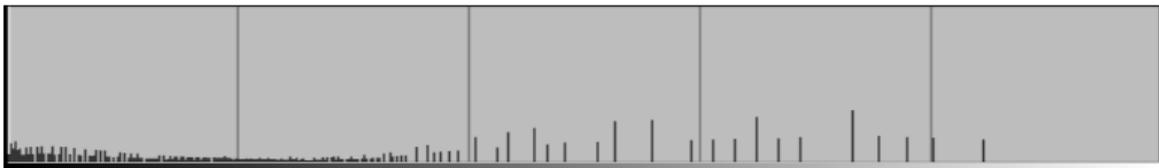


4. Égalisation d'histogramme

4.1. Principe de la méthode

- ▶ I : image **monochrome**
- ▶ N pixels de valeur entre 0 et M
- ▶ h_I : histogramme de I
- ▶ trouver une transformation **ponctuelle** EH_I
tq $h_{EH_I(I)} \simeq \text{constante}$
- ▶ solution : **histogramme normalisé cumulé**
(noté ici \bar{h}' pour simplifier les notations)

$$EH_I(i) = M \times \bar{h}'_I(i)$$



égalité

4. Égalisation d'histogramme

4.1. Principe de la méthode

- ▶ I : image **monochrome**
- ▶ N pixels de valeur entre 0 et M
- ▶ h_I : histogramme de I
- ▶ trouver une transformation **ponctuelle** EH_I
tq $h_{EH_I(I)} \simeq \text{constante}$
- ▶ solution : **histogramme normalisé cumulé**
(noté ici \bar{h}' pour simplifier les notations)

$$EH_I(i) = M \times \bar{h}'_I(i)$$



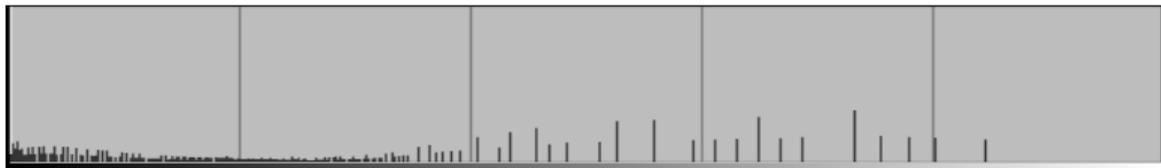
normalisation

4. Égalisation d'histogramme

4.1. Principe de la méthode

- ▶ I : image **monochrome**
- ▶ N pixels de valeur entre 0 et M
- ▶ h_I : histogramme de I
- ▶ trouver une transformation **ponctuelle** EH_I
tq $h_{EH_I(I)} \simeq \text{constante}$
- ▶ solution : **histogramme normalisé cumulé**
(noté ici \bar{h}' pour simplifier les notations)

$$EH_I(i) = M \times \bar{h}'_I(i)$$



égalité

○ Construction de la transformation EH_I

1. histogramme $h(i)$: nombre de points de niveau i

$$h_I(i) = \sum_{\substack{p \in D \\ I(p)=i}} 1$$

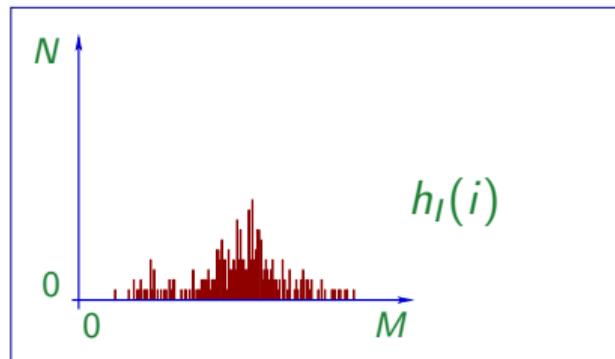
2. histogramme normalisé cumulé $\bar{h}'(i)$: proportion de points de niveau $\leq i$

$$\bar{h}'_I(i) = \sum_{j=0}^i \frac{h(j)}{N}$$

▶ $\bar{h}'(M) = 1$

3. étirement de $\bar{h}'(i)$ sur $[0..M]$

▶ $EH_I(i) = [M \times \bar{h}'_I(i)]$



○ Construction de la transformation EH_I

1. histogramme $h(i)$: nombre de points de niveau i

$$h_I(i) = \sum_{\substack{p \in D \\ I(p)=i}} 1$$

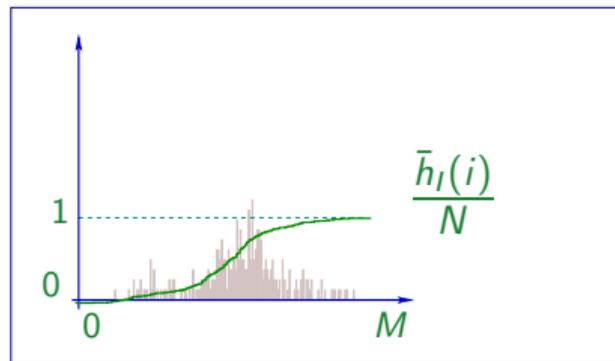
2. histogramme normalisé cumulé $\bar{h}'(i)$: proportion de points de niveau $\leq i$

$$\bar{h}'_I(i) = \sum_{j=0}^i \frac{h(j)}{N}$$

▶ $\bar{h}'(M) = 1$

3. étirement de $\bar{h}'(i)$ sur $[0..M]$

▶ $EH_I(i) = [M \times \bar{h}'_I(i)]$



○ Construction de la transformation EH_I

1. histogramme $h(i)$: nombre de points de niveau i

$$h_I(i) = \sum_{\substack{p \in D \\ l(p)=i}} 1$$

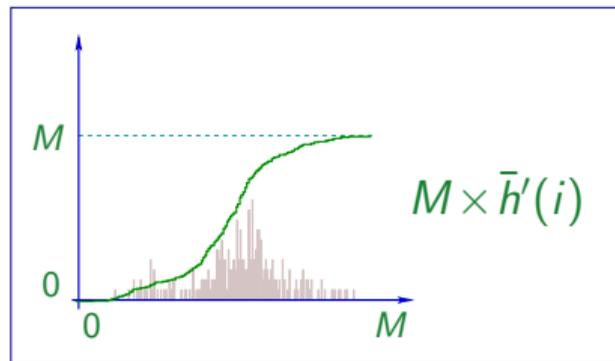
2. histogramme normalisé cumulé $\bar{h}'(i)$: proportion de points de niveau $\leq i$

$$\bar{h}'_I(i) = \sum_{j=0}^i \frac{h(j)}{N}$$

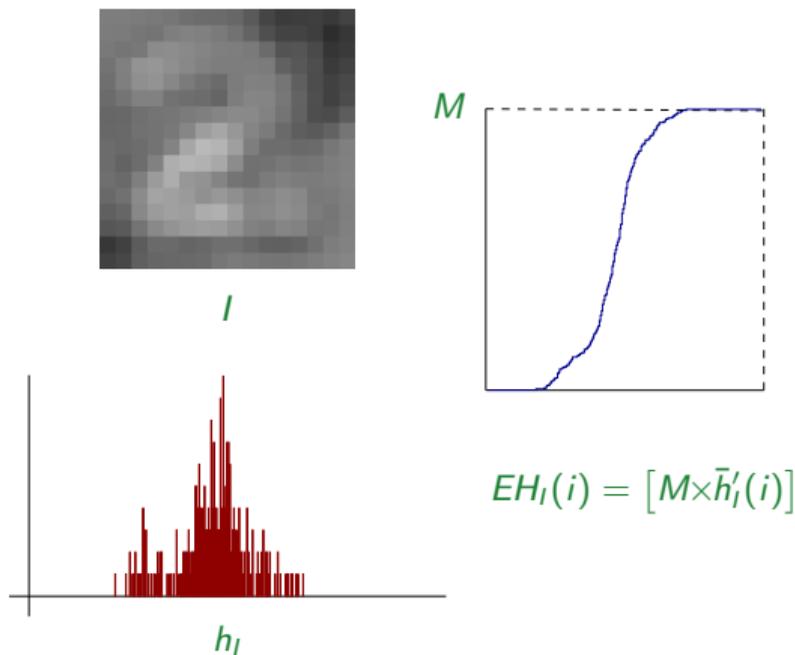
▶ $\bar{h}'(M) = 1$

3. étirement de $\bar{h}'(i)$ sur $[0..M]$

▶ $EH_I(i) = [M \times \bar{h}'_I(i)]$

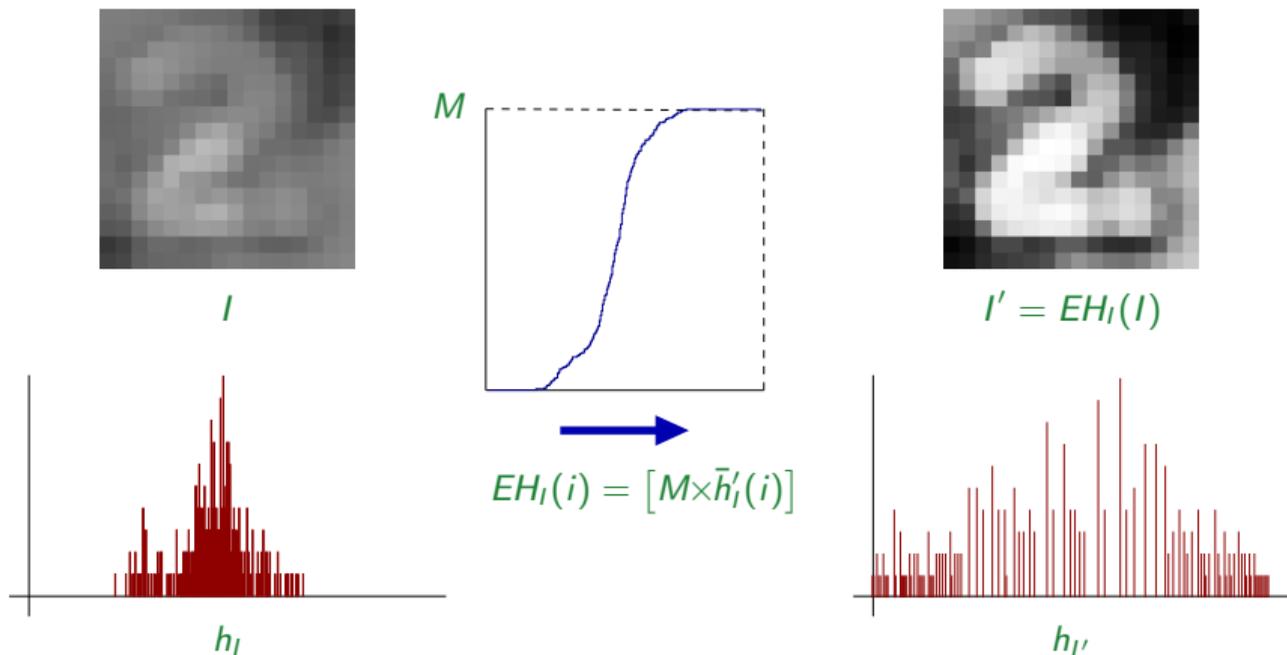


○ Vérification de l'efficacité de l'algorithme



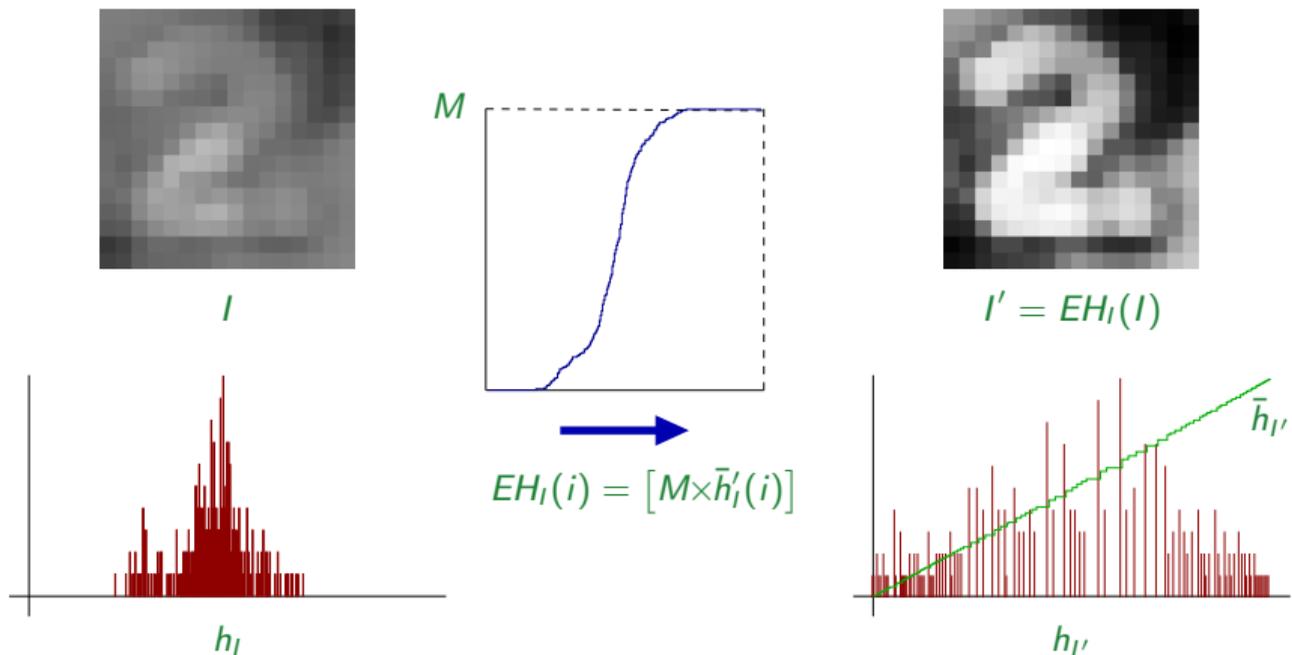
- ▶ si h'_I est proche de l'histogramme plat (fonction constante $f(x) = c$)
alors \bar{h}'_I doit être proche de l'identité (intégrale $\int f(x)dx = \int c dx = x$)

○ Vérification de l'efficacité de l'algorithme



- ▶ si h'_I est proche de l'histogramme plat (fonction constante $f(x) = c$)
alors \bar{h}'_I doit être proche de l'identité (intégrale $\int f(x)dx = \int c dx = x$)

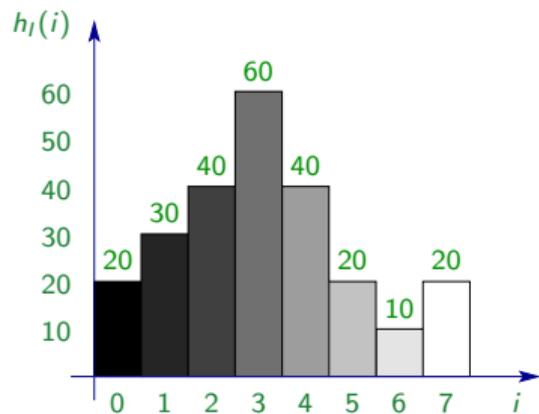
○ Vérification de l'efficacité de l'algorithme



- ▶ si h'_I est proche de l'histogramme plat (fonction constante $f(x) = c$)
alors $\bar{h}_{I'}$ doit être proche de l'identité (intégrale $\int f(x)dx = \int c dx = x$)

4.2. Exemple

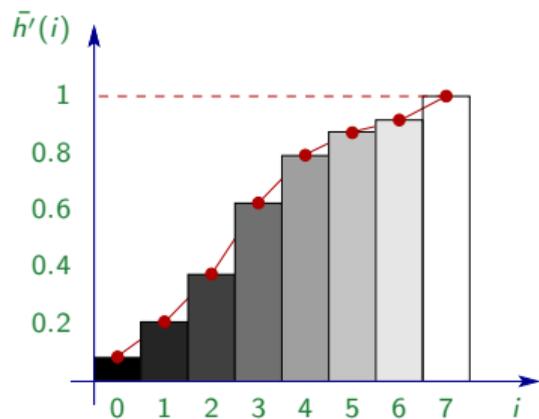
► $M = 7$ et $N = 240$



l	h_l	\bar{h}'_l	$\times M$	$l' = EH_l(i)$	$h_{l'}$	$\bar{h}_{l'}$
0	20	0.083	0.581	1	0	0
1	30	0.208	1.456	1	50	50
2	40	0.375	2.628	3	0	50
3	60	0.6828	4.375	4	40	90
4	40	0.792	5.544	6	60	150
5	20	0.875	6.128	6	0	150
6	10	0.917	6.419	6	70	220
7	20	1	7	7	20	240

4.2. Exemple

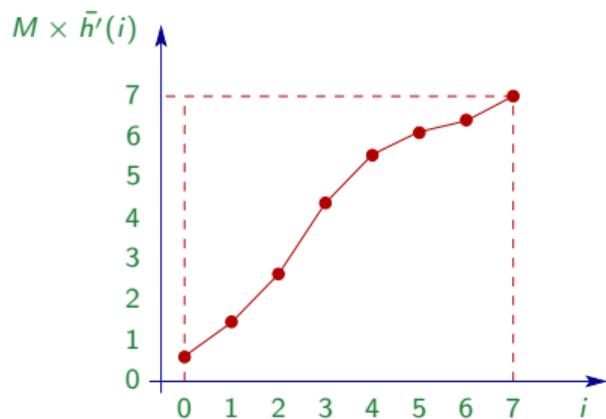
► $M = 7$ et $N = 240$



l	h_l	\bar{h}'_l	$\times M$	$l' = EH_l(i)$	$h_{l'}$	$\bar{h}_{l'}$
0	20	0.083	0.581	1	0	0
1	30	0.208	1.456	1	50	50
2	40	0.375	2.628	3	0	50
3	60	0.6828	4.375	4	40	90
4	40	0.792	5.544	6	60	150
5	20	0.875	6.128	6	0	150
6	10	0.917	6.419	6	70	220
7	20	1	7	7	20	240

4.2. Exemple

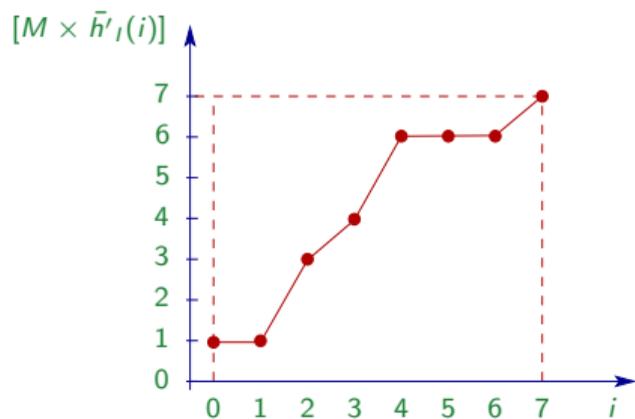
► $M = 7$ et $N = 240$



l	h_l	\bar{h}'_l	$\times M$	$l' = EH_l(i)$	$h_{l'}$	$\bar{h}_{l'}$
0	20	0.083	0.581	1	0	0
1	30	0.208	1.456	1	50	50
2	40	0.375	2.628	3	0	50
3	60	0.6828	4.375	4	40	90
4	40	0.792	5.544	6	60	150
5	20	0.875	6.128	6	0	150
6	10	0.917	6.419	6	70	220
7	20	1	7	7	20	240

4.2. Exemple

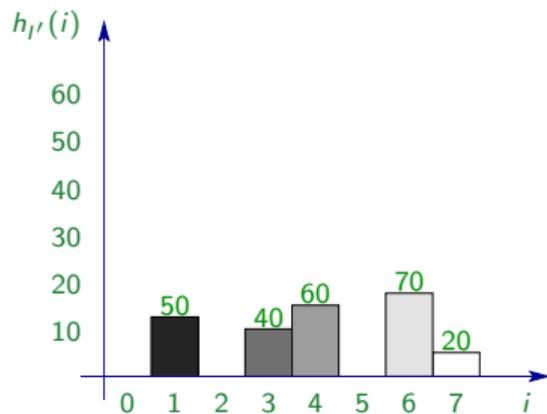
► $M = 7$ et $N = 240$



l	h_l	\bar{h}'_l	$\times M$	$l' = EH_l(i)$	$h_{l'}$	$\bar{h}_{l'}$
0	20	0.083	0.581	1	0	0
1	30	0.208	1.456	1	50	50
2	40	0.375	2.628	3	0	50
3	60	0.6828	4.375	4	40	90
4	40	0.792	5.544	6	60	150
5	20	0.875	6.128	6	0	150
6	10	0.917	6.419	6	70	220
7	20	1	7	7	20	240

4.2. Exemple

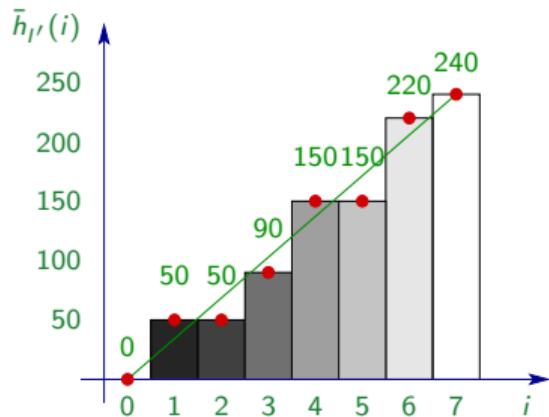
► $M = 7$ et $N = 240$



l	h_l	\bar{h}'_l	$\times M$	$l' = EH_l(i)$	$h_{l'}$	$\bar{h}_{l'}$
0	20	0.083	0.581	1	0	0
1	30	0.208	1.456	1	50	50
2	40	0.375	2.628	3	0	50
3	60	0.6828	4.375	4	40	90
4	40	0.792	5.544	6	60	150
5	20	0.875	6.128	6	0	150
6	10	0.917	6.419	6	70	220
7	20	1	7	7	20	240

4.2. Exemple

► $M = 7$ et $N = 240$



l	h_l	\bar{h}'_l	$\times M$	$l' = EH_l(i)$	$h_{l'}$	$\bar{h}_{l'}$
0	20	0.083	0.581	1	0	0
1	30	0.208	1.456	1	50	50
2	40	0.375	2.628	3	0	50
3	60	0.6828	4.375	4	40	90
4	40	0.792	5.544	6	60	150
5	20	0.875	6.128	6	0	150
6	10	0.917	6.419	6	70	220
7	20	1	7	7	20	240

★ Égalisation d'histogramme

La transformation EH_I égalisant l'histogramme d'une image monochrome I est définie par :

$$EH_I(i) = \left[i_{max} \times \sum_{j=0}^i h'(j) \right]$$

où h' est l'histogramme normalisé de I .

A	EH_I est toujours une transformation ponctuelle ($\forall I$)
B	On peut trouver des images I pour lesquelles EH_I est ponctuelle
C	EH_I est une transformation locale (non ponctuelle)

★ Égalisation d'histogramme

La transformation EH_i égalisant l'histogramme d'une image monochrome I est définie par :

$$EH_I(i) = \left[i_{max} \times \sum_{j=0}^i h'(j) \right]$$

où h' est l'histogramme normalisé de I .

A	EH_I est toujours une transformation ponctuelle ($\forall I$)
B	On peut trouver des images I pour lesquelles EH_I est ponctuelle
C	EH_I est une transformation locale (non ponctuelle)

★ Égalisation d'histogramme

La transformation EH_I égalisant l'histogramme d'une image monochrome I est définie par :

$$EH_I(i) = \left[i_{max} \times \sum_{j=0}^i h'(j) \right]$$

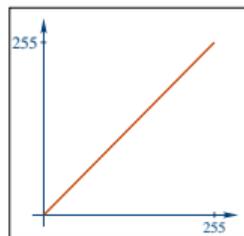
où h' est l'histogramme normalisé de I .

A	EH_I est toujours une transformation ponctuelle ($\forall I$)
B	On peut trouver des images I pour lesquelles EH_I est ponctuelle
C	EH_I est une transformation locale (non ponctuelle)

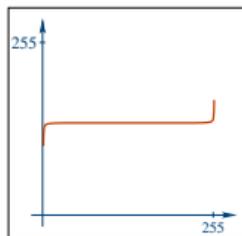
★ Égalisation d'histogramme

$$EH_I(i) = \left[i_{max} \times \sum_{j=0}^i h'(j) \right]$$

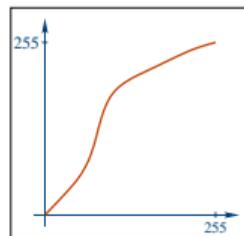
Parmi les graphes ci-dessous, lesquels peuvent être le graphe d'une égalisation d'histogramme EH_i ?



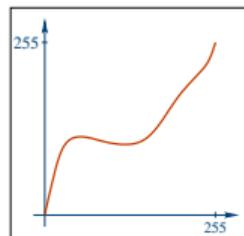
Ψ_1



Ψ_2



Ψ_3



Ψ_4

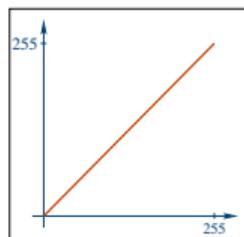
A	<i>tous</i>
C	<i>seulement Ψ_3 et Ψ_4</i>

B	<i>seulement Ψ_1 et Ψ_3</i>
D	<i>seulement Ψ_1, Ψ_2 et Ψ_3</i>

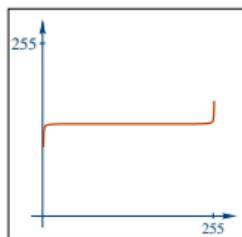
★ Égalisation d'histogramme

$$EH_I(i) = \left[i_{max} \times \sum_{j=0}^i h'(j) \right]$$

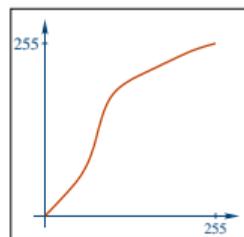
Parmi les graphes ci-dessous, lesquels peuvent être le graphe d'une égalisation d'histogramme EH_i ?



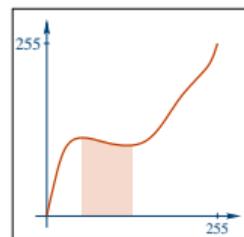
Ψ_1



Ψ_2



Ψ_3



Ψ_4

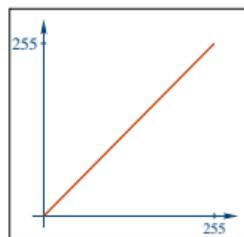
A	<i>tous</i>
C	<i>seulement Ψ_3 et Ψ_4</i>

B	<i>seulement Ψ_1 et Ψ_3</i>
D	<i>seulement Ψ_1, Ψ_2 et Ψ_3</i>

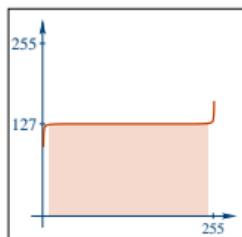
★ Égalisation d'histogramme

$$EH_I(i) = \left[i_{max} \times \sum_{j=0}^i h'(j) \right]$$

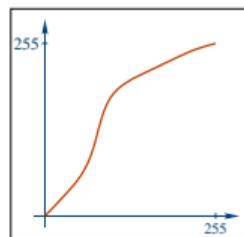
Parmi les graphes ci-dessous, lesquels peuvent être le graphe d'une égalisation d'histogramme EH_i ?



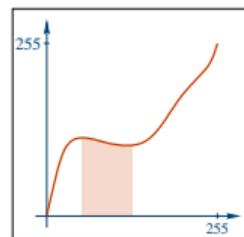
Ψ_1



Ψ_2



Ψ_3



Ψ_4

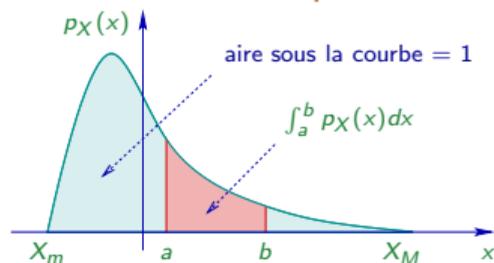
A	<i>tous</i>
C	<i>seulement Ψ_3 et Ψ_4</i>

B	<i>seulement Ψ_1 et Ψ_3</i>
D	<i>Ψ_2 : peu probable</i>

4.3. Justification

- On utilise un résultat de probabilités continues

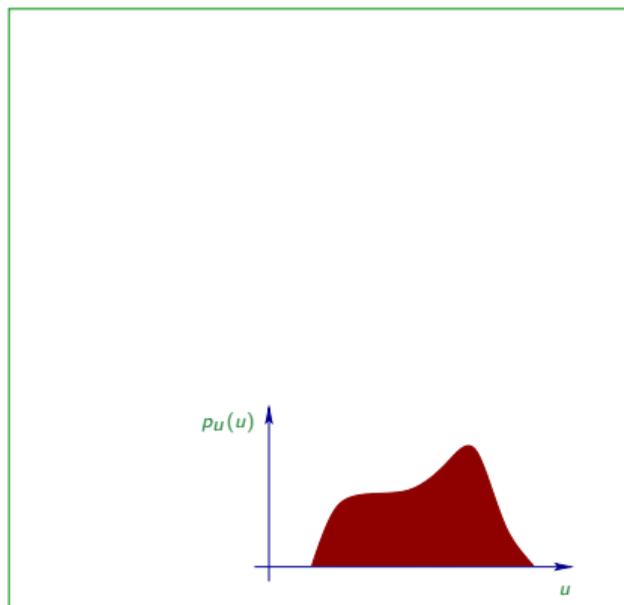
- ▶ variable aléatoire continue X sur $[X_m, X_M]$
- ▶ caractérisée par sa fonction de densité de probabilité $p_X(x)$



- ▶ permet de calculer de la probabilité que X soit dans $[a, b]$

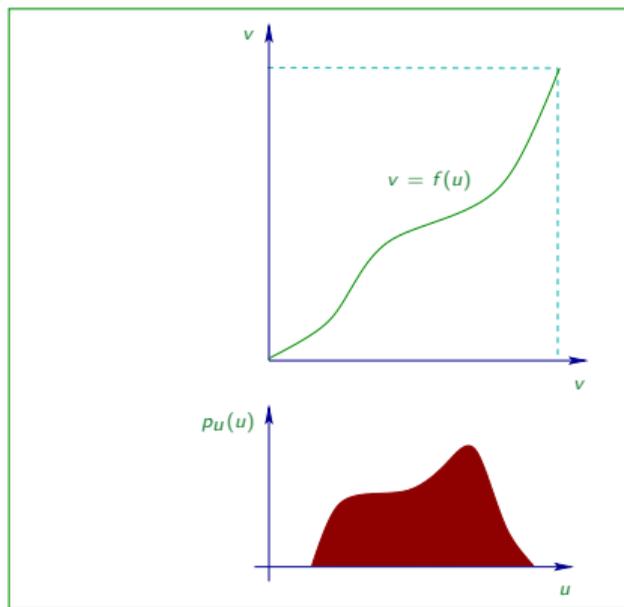
$$p\{X \in [a, b]\} = \int_a^b p_X(x) dx$$

- ▶ u : variable aléatoire continue
- ▶ $p_u(u)$: la densité de probabilité de u
- ▶ $f(x)$: une fonction dérivable
- ▶ $v = f(u)$
- ▶ $p_v(v)$: la densité de probabilité de v



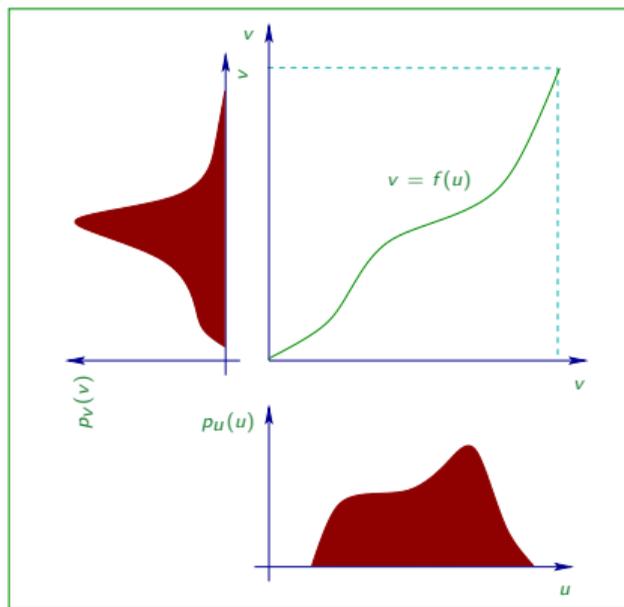
- ▶ comment exprimer $f(x)$ en fonction de p_u et de p_v ?
- ▶ $p_v(v)dv = p_u(u)du$
 $p_v(v) = p_u(u) \left| \frac{du}{dv} \right|$

- ▶ u : variable aléatoire continue
- ▶ $p_u(u)$: la densité de probabilité de u
- ▶ $f(x)$: une fonction dérivable
- ▶ $v = f(u)$
- ▶ $p_v(v)$: la densité de probabilité de v



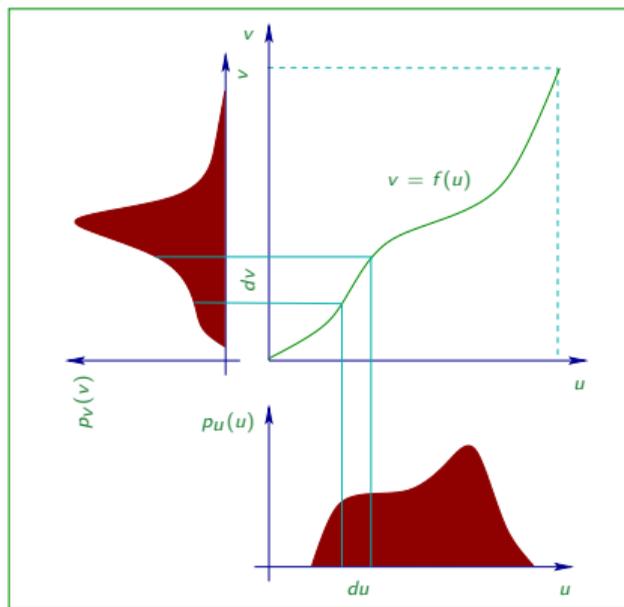
- ▶ comment exprimer $f(x)$ en fonction de p_u et de p_v ?
- ▶ $p_v(v)dv = p_u(u)du$
 $p_v(v) = p_u(u) \left| \frac{du}{dv} \right|$

- ▶ u : variable aléatoire continue
- ▶ $p_u(u)$: la densité de probabilité de u
- ▶ $f(x)$: une fonction dérivable
- ▶ $v = f(u)$
- ▶ $p_v(v)$: la densité de probabilité de v



- ▶ comment exprimer $f(x)$ en fonction de p_u et de p_v ?
- ▶ $p_v(v)dv = p_u(u)du$
- ▶ $p_v(v) = p_u(u) \left| \frac{du}{dv} \right|$

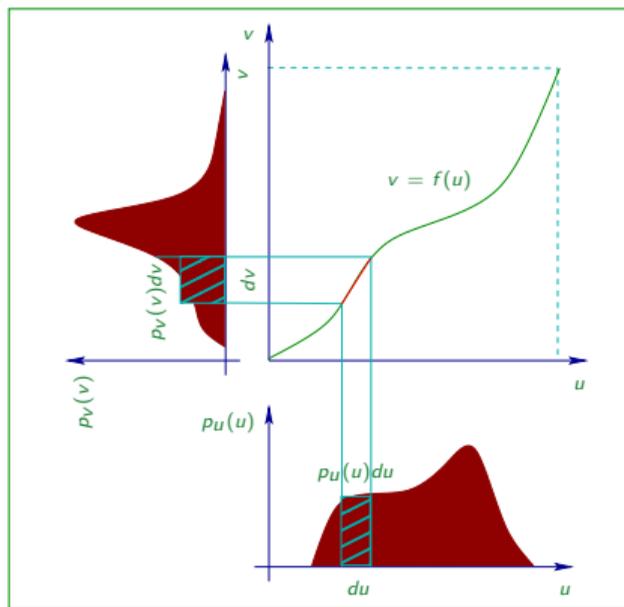
- ▶ u : variable aléatoire continue
- ▶ $p_u(u)$: la densité de probabilité de u
- ▶ $f(x)$: une fonction dérivable
- ▶ $v = f(u)$
- ▶ $p_v(v)$: la densité de probabilité de v



- ▶ comment exprimer $f(x)$ en fonction de p_u et de p_v ?
- ▶ $p_v(v)dv = p_u(u)du$

$$p_v(v) = p_u(u) \left| \frac{du}{dv} \right|$$

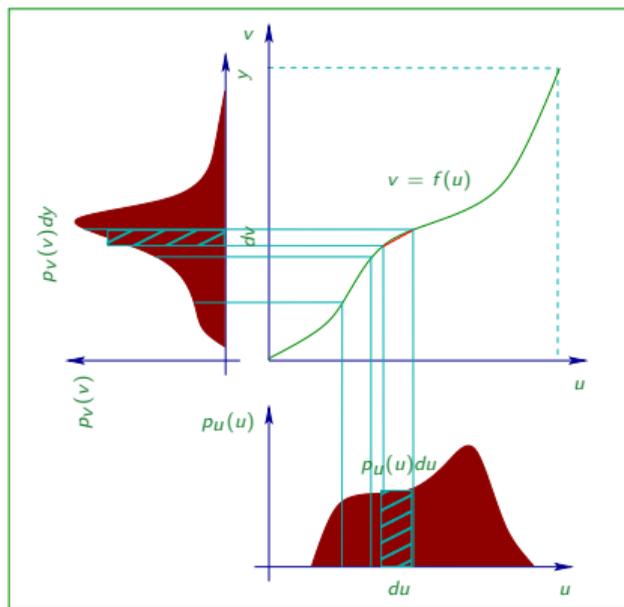
- ▶ u : variable aléatoire continue
- ▶ $p_u(u)$: la densité de probabilité de u
- ▶ $f(x)$: une fonction dérivable
- ▶ $v = f(u)$
- ▶ $p_v(v)$: la densité de probabilité de v



- ▶ comment exprimer $f(x)$ en fonction de p_u et de p_v ?
- ▶ $p_v(v)dv = p_u(u)du$

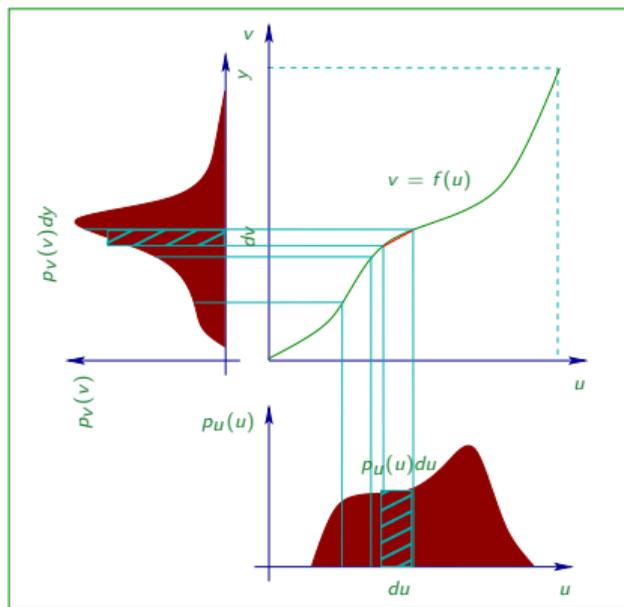
$$p_v(v) = p_u(u) \left| \frac{du}{dv} \right|$$

- ▶ u : variable aléatoire continue
- ▶ $p_u(u)$: la densité de probabilité de u
- ▶ $f(x)$: une fonction dérivable
- ▶ $v = f(u)$
- ▶ $p_v(v)$: la densité de probabilité de v



- ▶ comment exprimer $f(x)$ en fonction de p_u et de p_v ?
- ▶ $p_v(v)dv = p_u(u)du$
- ▶ $p_v(v) = p_u(u) \left| \frac{du}{dv} \right|$

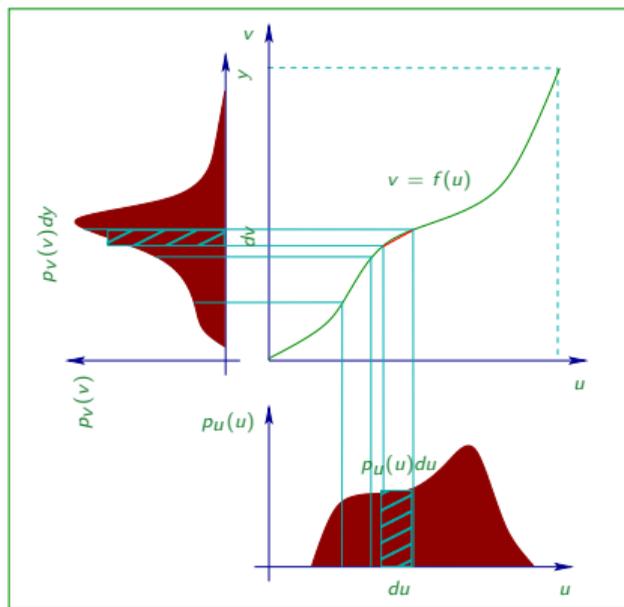
- ▶ u : variable aléatoire continue
- ▶ $p_u(u)$: la densité de probabilité de u
- ▶ $f(x)$: une fonction dérivable
- ▶ $v = f(u)$
- ▶ $p_v(v)$: la densité de probabilité de v



- ▶ comment exprimer $f(x)$ en fonction de p_u et de p_v ?
- ▶ $p_v(v)dv = p_u(u)du$

$$p_v(v) = p_u(u) \left| \frac{du}{dv} \right| = p_u(u) \times \left| \frac{du}{df(u)} \right|$$

- ▶ u : variable aléatoire continue
- ▶ $p_u(u)$: la densité de probabilité de u
- ▶ $f(x)$: une fonction dérivable
- ▶ $v = f(u)$
- ▶ $p_v(v)$: la densité de probabilité de v



- ▶ comment exprimer $f(x)$ en fonction de p_u et de p_v ?
- ▶ $p_v(v)dv = p_u(u)du$

$$p_v(v) = p_u(u) \left| \frac{du}{dv} \right| = p_u(u) \times \left| \frac{du}{df(u)} \right| = p_u(u) \times \frac{1}{|f'(u)|}$$

$$p_v(v) = \frac{p_u(u)}{|f'(u)|}$$

- ▶ correspondance entre densités de probabilité et images :

$$\begin{array}{ll} I \leftrightarrow u & EH_I(I) \leftrightarrow f(u) \\ h'_I \leftrightarrow p_u & h'_{I'} \leftrightarrow p_v \end{array}$$

- ▶ pour que $h'_{I'}$ soit plat, c.à.d pour que $p_v = \frac{p_u(u)}{|f'(u)|} = cte$, il suffit de poser

$$f'(u) = K \times p_u(u)$$

- ▶ les solutions $f(u)$ sont donc de la forme :

$$f(u) = K \int_0^u p_u(x) dx$$

ce qui justifie de prendre :

$$EH_I(i) = \left[M \sum_0^i h'_I(i) \right] = [M \times \bar{h}'_I(i)]$$

$$p_v(v) = \frac{p_u(u)}{|f'(u)|}$$

- ▶ correspondance entre densités de probabilité et images :

$$\begin{array}{ll} I \leftrightarrow u & EH_I(I) \leftrightarrow f(u) \\ h'_I \leftrightarrow p_u & h'_{I'} \leftrightarrow p_v \end{array}$$

- ▶ pour que $h'_{I'}$ soit plat, c.à.d pour que $p_v = \frac{p_u(u)}{|f'(u)|} = cte$, il suffit de poser

$$f'(u) = K \times p_u(u)$$

- ▶ les solutions $f(u)$ sont donc de la forme :

$$f(u) = K \int_0^u p_u(x) dx$$

ce qui justifie de prendre :

$$EH_I(i) = \left[M \sum_0^i h'_I(i) \right] = [M \times \bar{h}'_I(i)]$$

$$p_v(v) = \frac{p_u(u)}{|f'(u)|}$$

- ▶ correspondance entre densités de probabilité et images :

$$\begin{array}{ll} I \leftrightarrow u & EH_I(I) \leftrightarrow f(u) \\ h'_I \leftrightarrow p_u & h'_{I'} \leftrightarrow p_v \end{array}$$

- ▶ pour que $h'_{I'}$ soit plat, c.à.d pour que $p_v = \frac{p_u(u)}{|f'(u)|} = cte$, il suffit de poser

$$f'(u) = K \times p_u(u)$$

- ▶ les solutions $f(u)$ sont donc de la forme :

$$f(u) = K \int_0^u p_u(x) dx$$

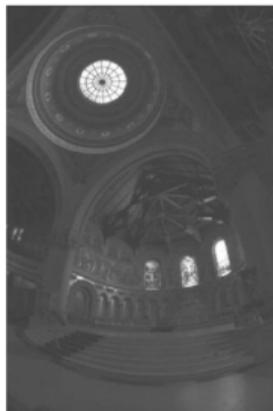
ce qui justifie de prendre :

$$EH_I(i) = \left[M \sum_0^i h'_I(i) \right] = [M \times \bar{h}'_I(i)]$$

4.4. Paramétrage de l'égalisation d'histogramme

○ Limites de la méthode générale

- ▶ l'égalisation d'histogramme présente plusieurs défauts :
 - ▶ *modification exagérée du contraste et/ou de la clarté*
 - ▶ *parties sombres « bouchées », parties claires « brûlées »*
 - ▶ *amplification du bruit*

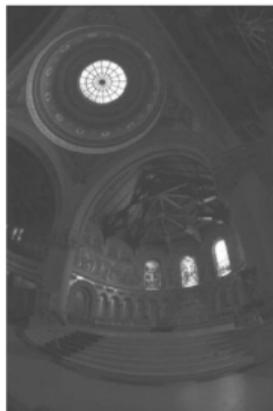


- ▶ recherche de paramétrages pour atténuer les défauts
 - ▶ *modification de l'histogramme avant calcul de l'histogramme cumulé*
 - ▶ *restriction du domaine de calcul de l'histogramme,*
 - ▶ *etc.*

4.4. Paramétrage de l'égalisation d'histogramme

○ Limites de la méthode générale

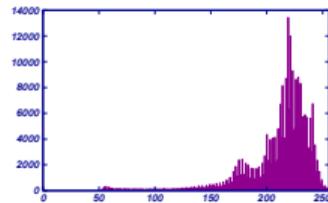
- ▶ l'égalisation d'histogramme présente plusieurs défauts :
 - ▶ *modification exagérée du contraste et/ou de la clarté*
 - ▶ *parties sombres « bouchées », parties claires « brûlées »*
 - ▶ *amplification du bruit*



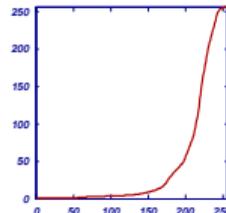
- ▶ recherche de paramétrages pour atténuer les défauts
 - ▶ *modification de l'histogramme avant calcul de l'histogramme cumulé*
 - ▶ *restriction du domaine de calcul de l'histogramme,*
 - ▶ *etc.*

○ Exemple 1 : atténuation de l'effet de rehaussement

I

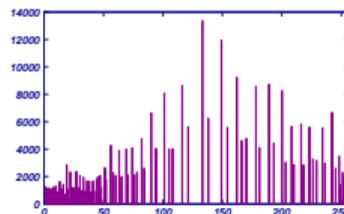


h_I

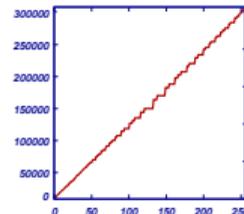


EH_I

$I' = EH_I(I)$



$h_{I'}$

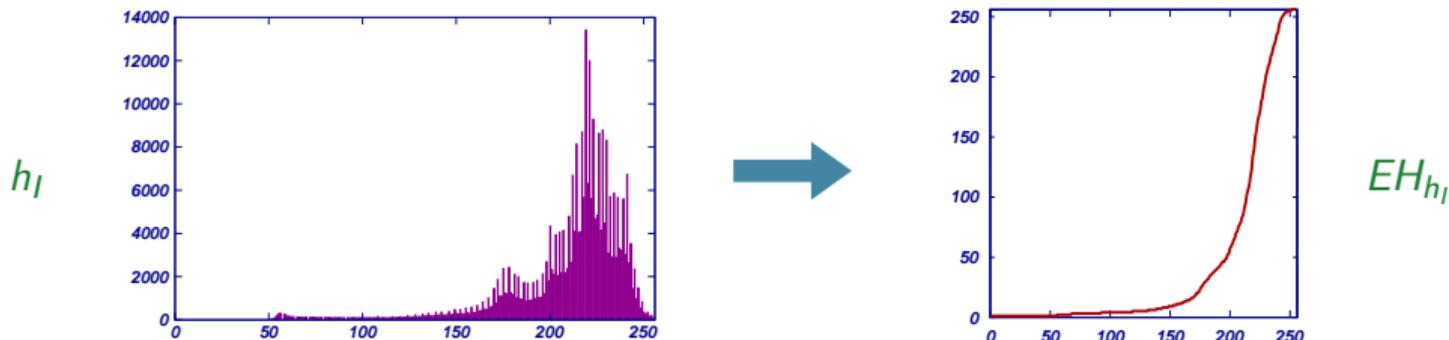


$\bar{h}_{I'}$

- ▶ exemple d'image I pour laquelle l'EH produit des zones sont trop sombres
- ▶ objectif : rechercher un résultat intermédiaire entre I et $EH_I(I)$

- mise en œuvre : lissage gaussien G_σ de h_I avant le calcul de l'histogramme cumulé

$$I \longrightarrow h_I \longrightarrow h_G = G_\sigma * h_I \longrightarrow \bar{h}'_G \longrightarrow EH_{h_G}$$

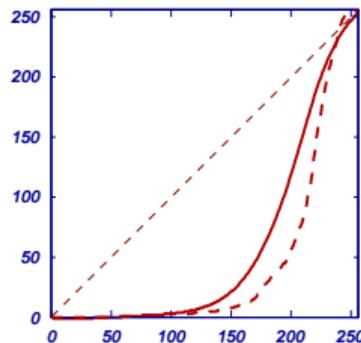
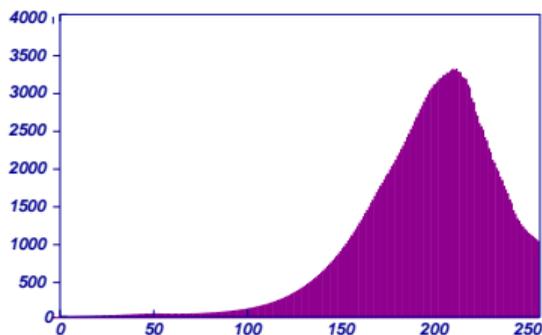


- σ permet de régler le niveau du rehaussement :
 - $\sigma \nearrow : h_G \rightarrow cte$ (moyenne des valeurs)
 - l'histogramme cumulé tend vers la fonction identité (intégrale de la fonction constante)
- l'effet de rehaussement de contraste diminue lorsque σ augmente

- mise en œuvre : lissage gaussien G_σ de h_I avant le calcul de l'histogramme cumulé

$$I \longrightarrow h_I \longrightarrow h_G = G_\sigma * h_I \longrightarrow \bar{h}'_G \longrightarrow EH_{h_G}$$

$G_{32} * h_I$

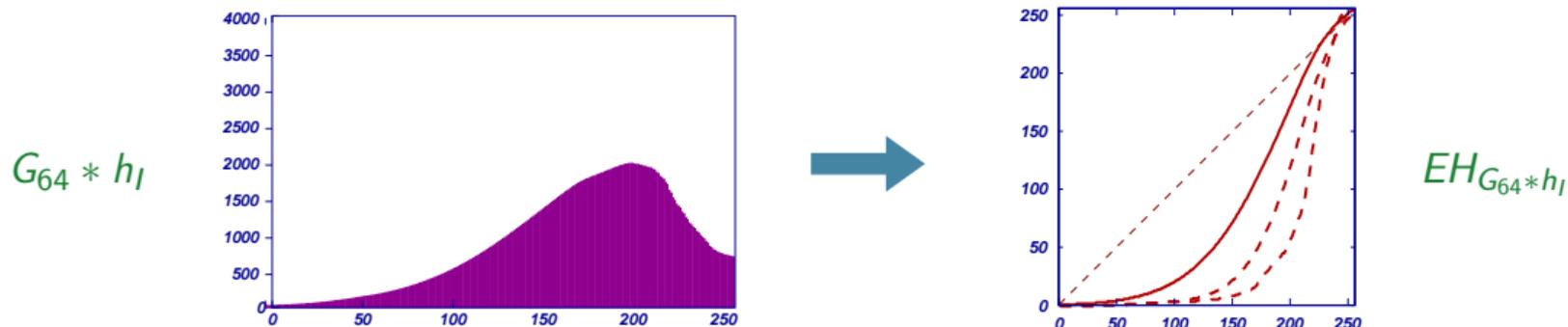


$EH_{G_{32} * h_I}$

- σ permet de régler le niveau du rehaussement :
 - $\sigma \nearrow : h_G \rightarrow cte$ (moyenne des valeurs)
 - l'histogramme cumulé tend vers la fonction identité (intégrale de la fonction constante)
- l'effet de rehaussement de contraste diminue lorsque σ augmente

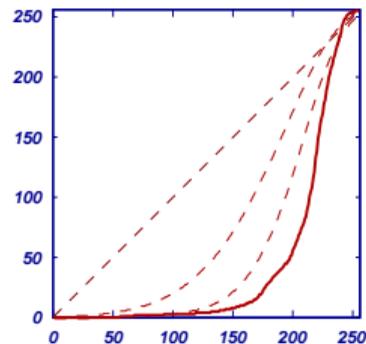
- mise en œuvre : lissage gaussien G_σ de h_I avant le calcul de l'histogramme cumulé

$$I \longrightarrow h_I \longrightarrow h_G = G_\sigma * h_I \longrightarrow \bar{h}'_G \longrightarrow EH_{h_G}$$



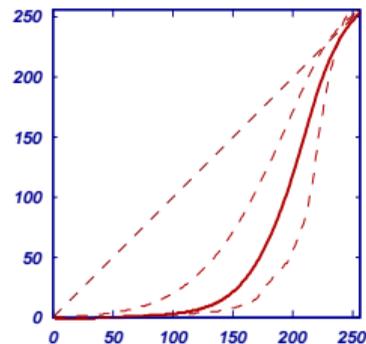
- σ permet de régler le niveau du rehaussement :
 - $\sigma \nearrow : h_G \rightarrow cte$ (moyenne des valeurs)
 - l'histogramme cumulé tend vers la fonction identité (intégrale de la fonction constante)
- l'effet de rehaussement de contraste diminue lorsque σ augmente

- ▶ exemples d'égalisations d'histogramme construites avec $G_\sigma * h_I$



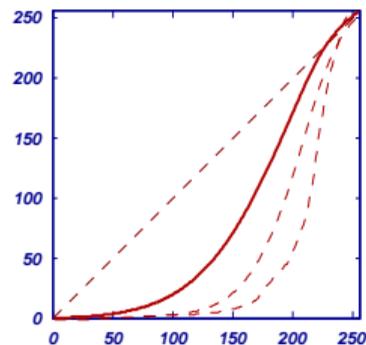
$$\sigma = 0$$

- ▶ exemples d'égalisations d'histogramme construites avec $G_\sigma * h_I$



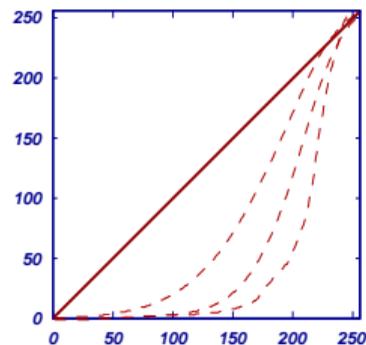
$$\sigma = 32$$

- exemples d'égalisations d'histogramme construites avec $G_\sigma * h_I$



$$\sigma = 64$$

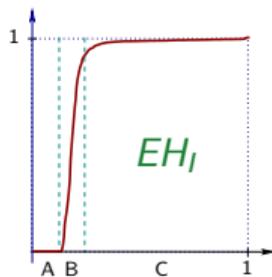
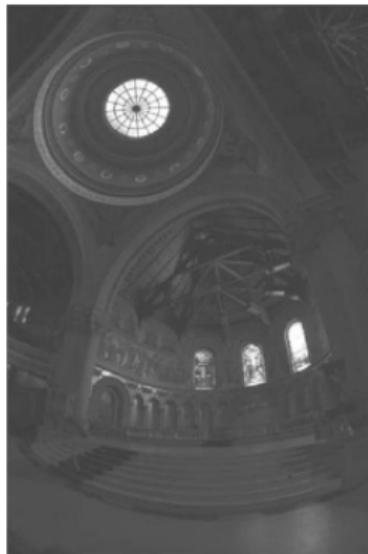
- exemples d'égalisations d'histogramme construites avec $G_\sigma * h_I$



$$\sigma = +\infty$$

○ Exemple 2 : limitation du rehaussement de contraste

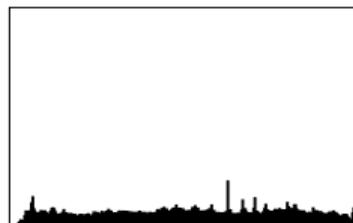
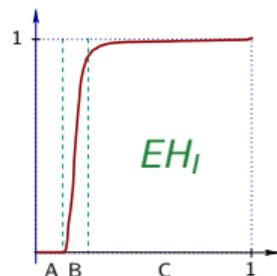
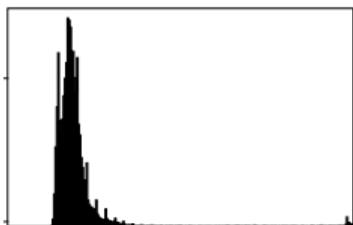
- ▶ exemples de zones claires « brûlées » par un rehaussement trop important



- *graphe de la transformation ponctuelle EH_1*
- *atténuation : parties A et C*
- *rehaussement : partie B*



- ▶ limitation de l'effet par contrôle de la **pen**te de la transformation



$$\alpha_1 < \frac{d(EH_i(i))}{di} < \alpha_2, \quad \forall i \in [0..255]$$

- ▶ retour à la formulation continue de l'**histogramme cumulé** :

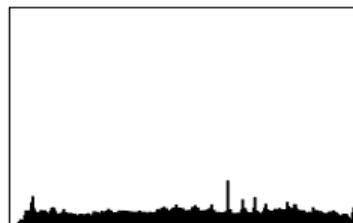
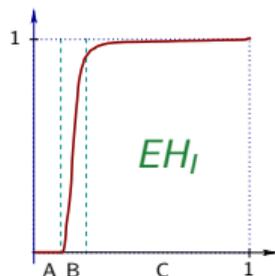
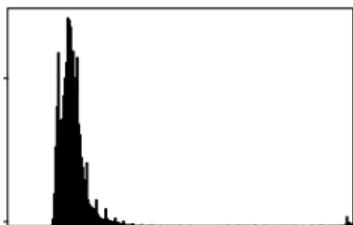
$$EH_i(i) = k \int_0^i h'(j) dj$$

$$\frac{d(EH_i(i))}{di} = \frac{d(k \int_0^i h'(j) dj)}{di} = kh'(i)$$

- ▶ cela revient simplement à satisfaire la condition :

$$\alpha_1 < h'(i) < \alpha_2, \quad \forall i \in [0..255]$$

- ▶ limitation de l'effet par contrôle de la **pen**te de la transformation



$$\alpha_1 < \frac{d(EH_I(i))}{di} < \alpha_2, \quad \forall i \in [0..255]$$

- ▶ retour à la formulation continue de l'**histogramme cumulé** :

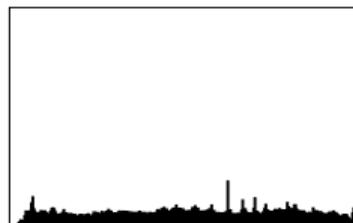
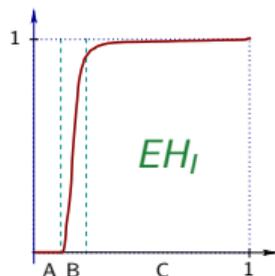
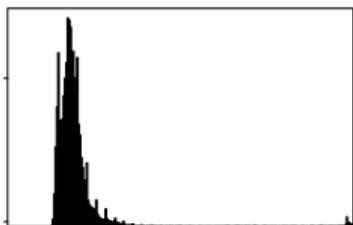
$$EH_I(i) = k \int_0^i h'(j) dj$$

$$\frac{d(EH_I(i))}{di} = \frac{d(k \int_0^i h'(j) dj)}{di} = kh'(i)$$

- ▶ cela revient simplement à satisfaire la condition :

$$\alpha_1 < h'(i) < \alpha_2, \quad \forall i \in [0..255]$$

- ▶ limitation de l'effet par contrôle de la **pen**te de la transformation



$$\alpha_1 < \frac{d(EH_I(i))}{di} < \alpha_2, \quad \forall i \in [0..255]$$

- ▶ retour à la formulation continue de l'**histogramme cumulé** :

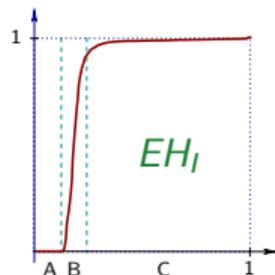
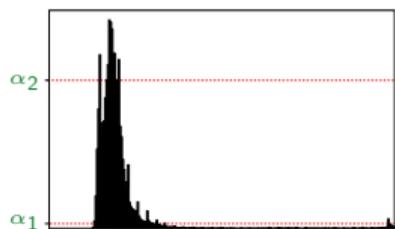
$$EH_I(i) = k \int_0^i h'(j) dj$$

$$\frac{d(EH_I(i))}{di} = \frac{d(k \int_0^i h'(j) dj)}{di} = kh'(i)$$

- ▶ cela revient simplement à satisfaire la condition :

$$\alpha_1 < h'(i) < \alpha_2, \quad \forall i \in [0..255]$$

- ▶ limitation de l'effet par contrôle de la **pen**te de la transformation



$$\alpha_1 < \frac{d(EH_I(i))}{di} < \alpha_2, \quad \forall i \in [0..255]$$

- ▶ retour à la formulation continue de l'**histogramme cumulé** :

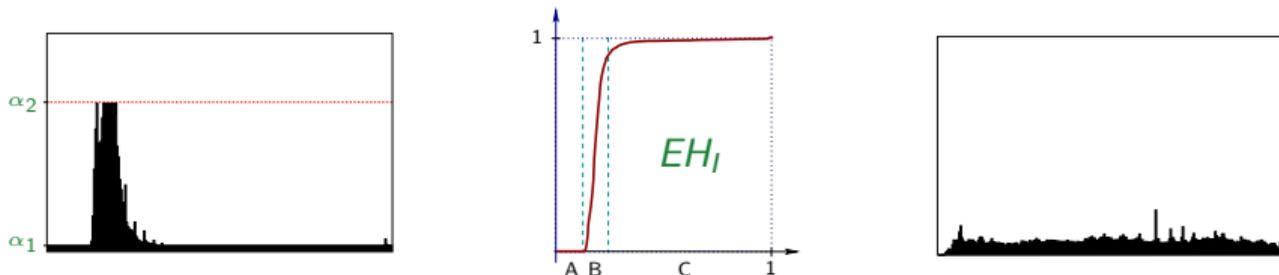
$$EH_I(i) = k \int_0^i h'(j) dj$$

$$\frac{d(EH_I(i))}{di} = \frac{d(k \int_0^i h'(j) dj)}{di} = kh'(i)$$

- ▶ cela revient simplement à satisfaire la condition :

$$\alpha_1 < h'(i) < \alpha_2, \quad \forall i \in [0..255]$$

- ▶ limitation de l'effet par contrôle de la **pen**te de la transformation



$$\alpha_1 < \frac{d(EH_I(i))}{di} < \alpha_2, \quad \forall i \in [0..255]$$

- ▶ retour à la formulation continue de l'**histogramme cumulé** :

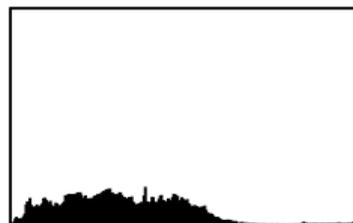
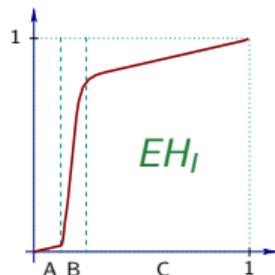
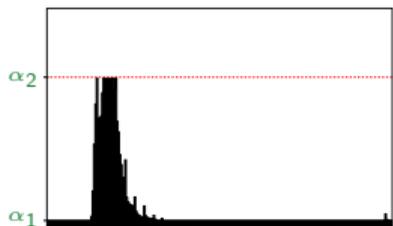
$$EH_I(i) = k \int_0^i h'(j) dj$$

$$\frac{d(EH_I(i))}{di} = \frac{d(k \int_0^i h'(j) dj)}{di} = kh'(i)$$

- ▶ cela revient simplement à satisfaire la condition :

$$\alpha_1 < h'(i) < \alpha_2, \quad \forall i \in [0..255]$$

- ▶ limitation de l'effet par contrôle de la **pen**te de la transformation



$$\alpha_1 < \frac{d(EH_I(i))}{di} < \alpha_2, \quad \forall i \in [0..255]$$

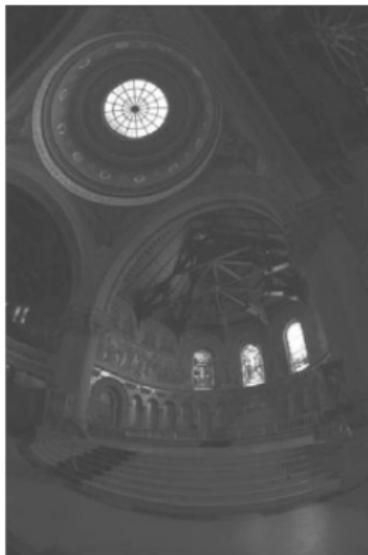
- ▶ retour à la formulation continue de l'**histogramme cumulé** :

$$EH_I(i) = k \int_0^i h'(j) dj$$

$$\frac{d(EH_I(i))}{di} = \frac{d(k \int_0^i h'(j) dj)}{di} = kh'(i)$$

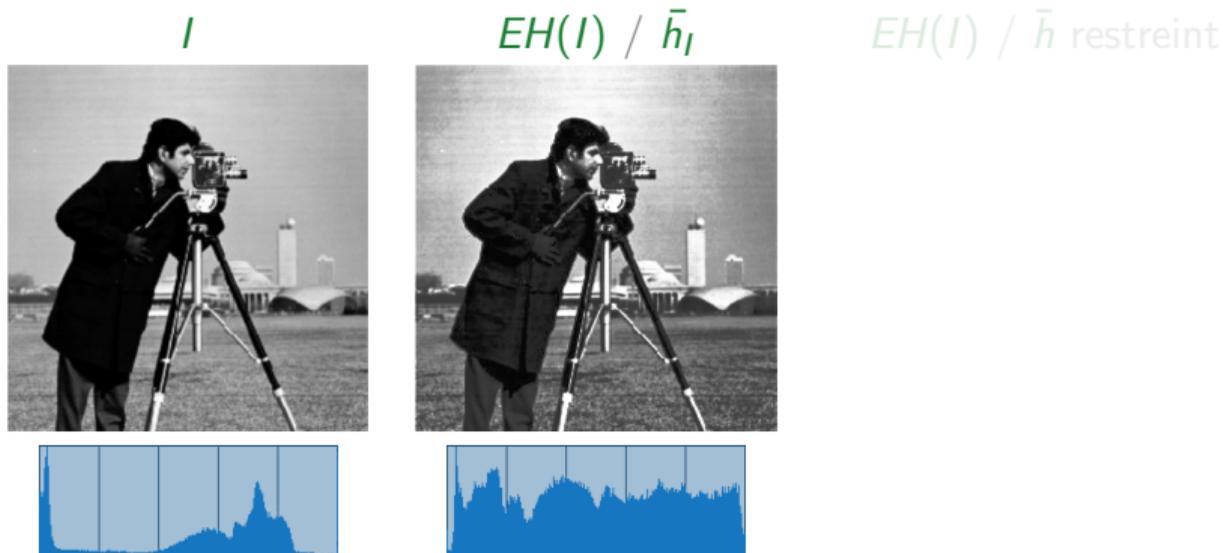
- ▶ cela revient simplement à satisfaire la condition :

$$\alpha_1 < h'(i) < \alpha_2, \quad \forall i \in [0..255]$$



○ Exemple 3 : compromis contraste / bruit

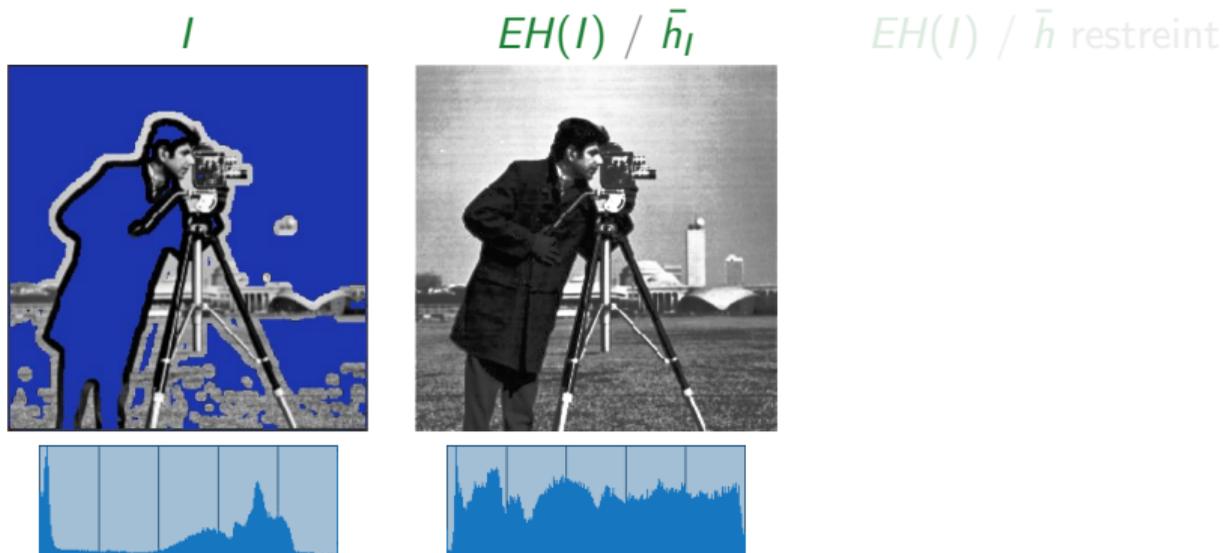
- ▶ l'EH de l'image de gauche accentue le bruit (tramage horizontal) du ciel
- ▶ stratégie pour réduire l'amplification du bruit : restriction de l'histogramme cumulé aux zones de fort gradient



- ▶ *écarte les pics de l'histogramme en préservant sa forme*
- ▶ *augmente le contraste entre les « plages » de niveaux de gris*

○ Exemple 3 : compromis contraste / bruit

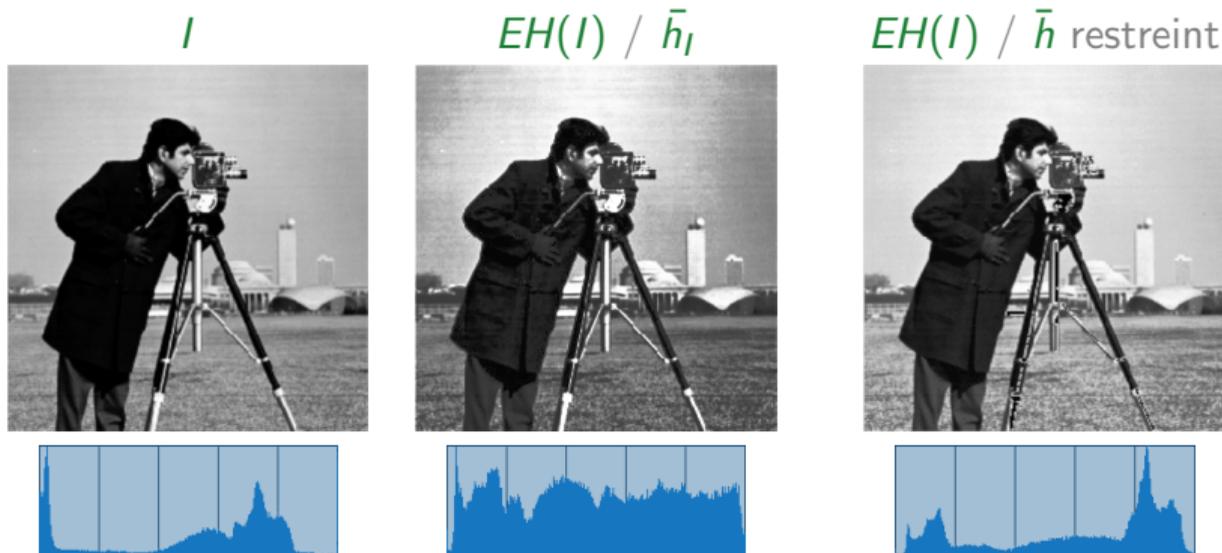
- ▶ l'EH de l'image de gauche accentue le bruit (tramage horizontal) du ciel
- ▶ stratégie pour réduire l'amplification du bruit : restriction de l'histogramme cumulé aux zones de fort gradient



- ▶ *écarte les pics de l'histogramme en préservant sa forme*
- ▶ *augmente le contraste entre les « plages » de niveaux de gris*

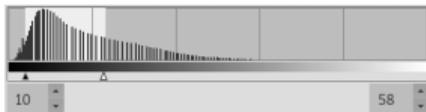
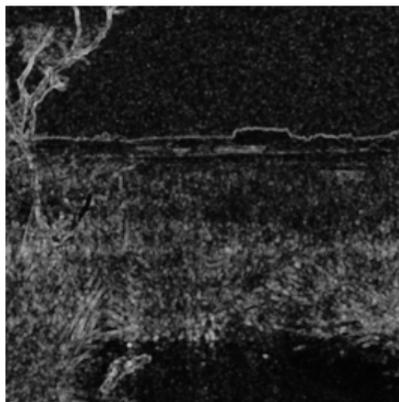
○ Exemple 3 : compromis contraste / bruit

- ▶ l'EH de l'image de gauche accentue le bruit (tramage horizontal) du ciel
- ▶ stratégie pour réduire l'amplification du bruit : restriction de l'histogramme cumulé aux zones de fort gradient



- ▶ écarte les pics de l'histogramme en préservant sa forme
- ▶ augmente le contraste *entre les* « plages » de niveaux de gris

- ▶ construction d'un masque M avec le gradient de Beucher $\delta(I) - \varepsilon(I)$
- ▶ seuillage autour du mode de l'histogramme





bruit faible



$EH_I(I)$ standard



$EH_{M(I)}(I)$ restreint à M



bruit important



$EH_I(I)$ standard



$EH_{M(I)}(I)$ restreint à M

5. Amélioration du contraste local



5.1. Égalisation locale de l'histogramme

- ▶ amélioration du contraste au voisinage de chaque point
- ▶ pour chaque pixel p
 - ▶ calcul de l'histogramme h_p sur un *voisinage* de p
 - ▶ calcul de EH_p à partir de \bar{h}'_p l'*histogramme normalisé cumulé local* à p

$$I'(p) = EH_p(I(P))$$

- ▶ plus *coûteux* : transformation est recalculée pour chaque pixel

▶ exemple :



- ▶ altération importante de l'image
- ▶ mais accroissement de la lisibilité



EH globale



EH locale

- Possibilité de paramétrer la méthode par la taille du voisinage

- ▶ diminution de l'« effet local » en augmentant la taille



global

- Possibilité de paramétrer la méthode par la taille du voisinage

- ▶ diminution de l'« effet local » en augmentant la taille



64 pixels

- Possibilité de paramétrer la méthode par la taille du voisinage

- ▶ diminution de l'« effet local » en augmentant la taille



32 pixels

- Possibilité de paramétrer la méthode par la taille du voisinage

- ▶ diminution de l'« effet local » en augmentant la taille



16 pixels

- Possibilité de paramétrer la méthode par la taille du voisinage

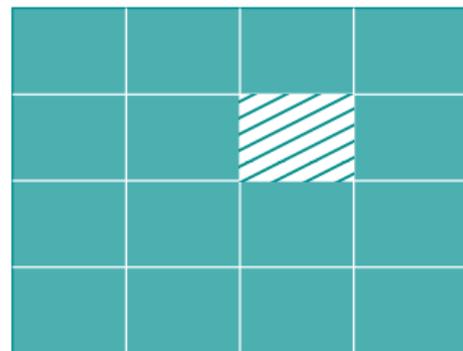
- ▶ diminution de l'« effet local » en augmentant la taille



8 pixels

★ Égalisation d'histogramme par région

On découpe une image en N^2 sous-images et on effectue une égalisation d'histogramme sur chaque bloc. La figure ci-contre illustre une image découpée en 16 blocs ($N = 4$), et l'on peut par exemple appliquer la transformation sur le bloc hachuré indépendamment du reste de l'image.

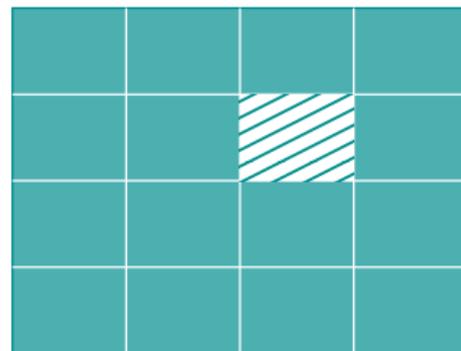


On applique la transformation à chacun des blocs. Lorsque N augmente :

	le coût en temps du traitement	les détails deviennent en général
A	est stable	davantage visibles
B	est stable	moins bien visibles
C	augmente	davantage visibles
D	augmente	moins bien visibles

★ Égalisation d'histogramme par région

On découpe une image en N^2 sous-images et on effectue une égalisation d'histogramme sur chaque bloc. La figure ci-contre illustre une image découpée en 16 blocs ($N = 4$), et l'on peut par exemple appliquer la transformation sur le bloc hachuré indépendamment du reste de l'image.



On applique la transformation à chacun des blocs. Lorsque N augmente :

	le coût en temps du traitement	les détails deviennent en général
A	est stable	davantage visibles
B	est stable	moins bien visibles
C	augmente	davantage visibles
D	augmente	moins bien visibles

★ Égalisation d'histogramme par région



★ Égalisation d'histogramme par région



★ Égalisation d'histogramme par région



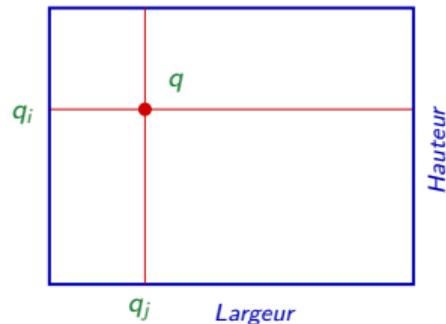
★ Égalisation d'histogramme par région



5.2. Combinaison d'égalisations par secteurs

○ Principe de l'égalisation par secteurs

- ▶ choix d'un point $q = (q_i, q_j)$
- ▶ décomposition de l'image en 4 secteurs relativement à q
- ▶ égalisation d'histogramme effectuée indépendamment sur chaque secteur



I

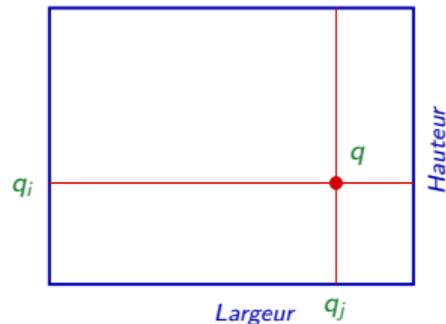


I_q

5.2. Combinaison d'égalisations par secteurs

○ Principe de l'égalisation par secteurs

- ▶ choix d'un point $q = (q_i, q_j)$
- ▶ décomposition de l'image en 4 secteurs relativement à q
- ▶ égalisation d'histogramme effectuée indépendamment sur chaque secteur



I



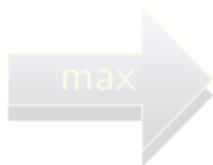
I_q

○ Atténuation des discontinuités de I_q

- ▶ combinaison des images I (autour de la frontière) et I_q (ailleurs)
- ▶ transition pondérée par des fonctions gaussiennes d'amplitude $[0, 1]$
- ▶ autour de la frontière horizontale :

$$G_{\sigma, q_i}(i, j) = \exp\left(-\frac{(i - q_i)^2}{2\sigma^2}\right)$$

- ▶ idem verticalement



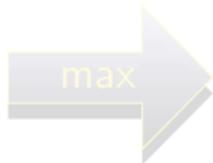
$$\frac{G_{\sigma, q}(i, j)}{\max\left(G_{\sigma, q_i}(i, j), G_{\sigma, q_j}(i, j)\right)}$$

○ Atténuation des discontinuités de I_q

- ▶ combinaison des images I (autour de la frontière) et I_q (ailleurs)
- ▶ transition pondérée par des fonctions gaussiennes d'amplitude $[0, 1]$
- ▶ autour de la frontière horizontale :

$$G_{\sigma, q_i}(i, j) = \exp\left(-\frac{(i - q_i)^2}{2\sigma^2}\right)$$

- ▶ idem verticalement



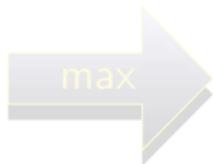
$$\frac{G_{\sigma, q}(i, j)}{\max\left(G_{\sigma, q_i}(i, j), G_{\sigma, q_j}(i, j)\right)}$$

○ Atténuation des discontinuités de I_q

- ▶ combinaison des images I (autour de la frontière) et I_q (ailleurs)
- ▶ transition pondérée par des fonctions gaussiennes d'amplitude $[0, 1]$
- ▶ autour de la frontière horizontale :

$$G_{\sigma, q_i}(i, j) = \exp\left(-\frac{(i - q_i)^2}{2\sigma^2}\right)$$

- ▶ idem verticalement



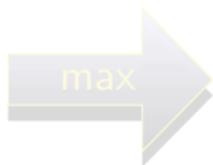
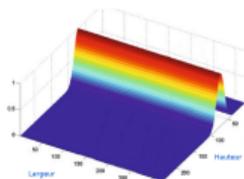
$G_{\sigma, q}(i, j)$
$\max\left(G_{\sigma, q_i}(i, j), G_{\sigma, q_j}(i, j)\right)$

○ Atténuation des discontinuités de I_q

- ▶ combinaison des images I (autour de la frontière) et I_q (ailleurs)
- ▶ transition pondérée par des fonctions gaussiennes d'amplitude $[0, 1]$
- ▶ autour de la frontière horizontale :

$$G_{\sigma, q_i}(i, j) = \exp\left(-\frac{(i - q_i)^2}{2\sigma^2}\right)$$

- ▶ idem verticalement



$$\frac{G_{\sigma, q}(i, j)}{\max(G_{\sigma, q_i}(i, j), G_{\sigma, q_j}(i, j))}$$

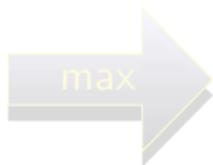
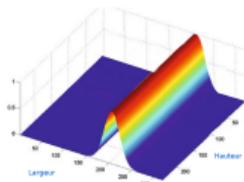
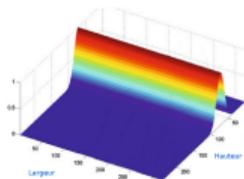


○ Atténuation des discontinuités de I_q

- ▶ combinaison des images I (autour de la frontière) et I_q (ailleurs)
- ▶ transition pondérée par des fonctions gaussiennes d'amplitude $[0, 1]$
- ▶ autour de la frontière horizontale :

$$G_{\sigma, q_i}(i, j) = \exp\left(-\frac{(i - q_i)^2}{2\sigma^2}\right)$$

- ▶ idem verticalement



$$\frac{G_{\sigma, q}(i, j)}{\max(G_{\sigma, q_i}(i, j), G_{\sigma, q_j}(i, j))}$$

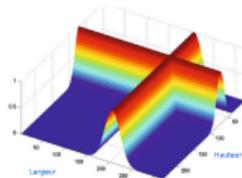
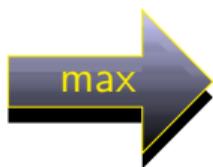
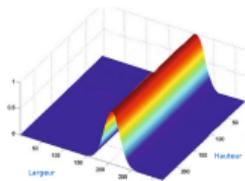
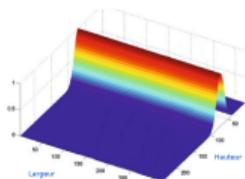


○ Atténuation des discontinuités de I_q

- ▶ combinaison des images I (autour de la frontière) et I_q (ailleurs)
- ▶ transition pondérée par des fonctions gaussiennes d'amplitude $[0, 1]$
- ▶ autour de la frontière horizontale :

$$G_{\sigma, q_i}(i, j) = \exp\left(-\frac{(i - q_i)^2}{2\sigma^2}\right)$$

- ▶ idem verticalement



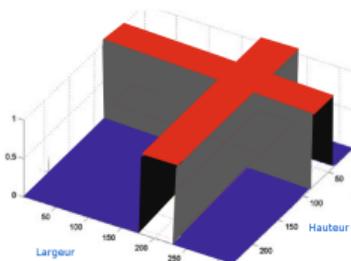
$$\frac{G_{\sigma, q}(i, j)}{\max\left(G_{\sigma, q_i}(i, j), G_{\sigma, q_j}(i, j)\right)}$$

o Mélange de I et I_q pondéré par $G_{\sigma,q}$

I



I_q



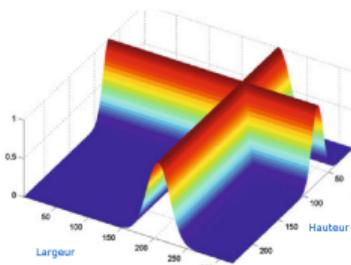
$$Box_q \times I + (1 - Box_q) \times I_q$$

o Mélange de I et I_q pondéré par $G_{\sigma,q}$

I



I_q



$$G_{\sigma,q} \times I + (1 - G_{\sigma,q}) \times I_q$$

○ Combinaison de plusieurs égalisations par secteur



⋮



*moyenne de 50 images sectorisées
aléatoirement et égalisées par secteur*

○ Comparaison avec les égalisations globales et locales



égalité globale



égalité locale



combinaison d'égalisations par secteur

★ Quatre manières d'augmenter le contraste de I



1

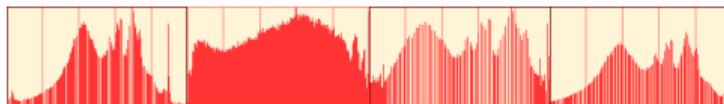
2

3

4

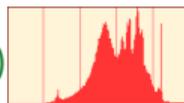


I



- C : transformation de courbe C
- ET : étirement d'histogramme (*auto level*)
- EH : égalisation d'histogramme
- LE : égalisation d'histogramme locale

$H(I)$



C



	1	2	3	4
A	LE	ET	EH	C
B	LE	ET	C	EH
C	ET	LE	EH	C
D	ET	LE	C	EH

★ Quatre manières d'augmenter le contraste de I



1

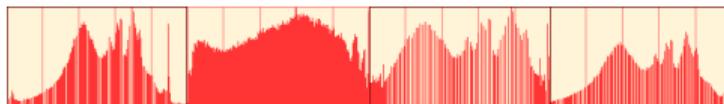
2

3

4

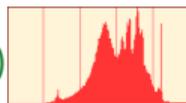


I



- C : transformation de courbe C
- ET : étirement d'histogramme (*auto level*)
- EH : égalisation d'histogramme
- LE : égalisation d'histogramme locale

$H(I)$



C

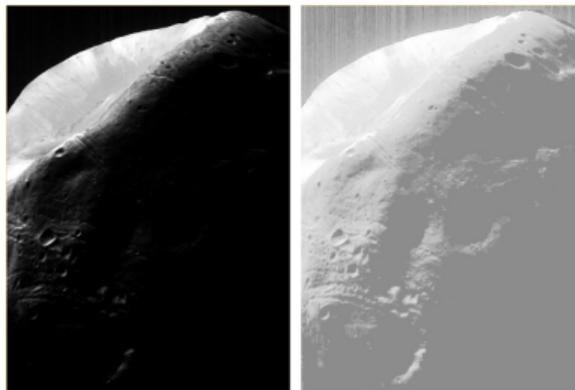
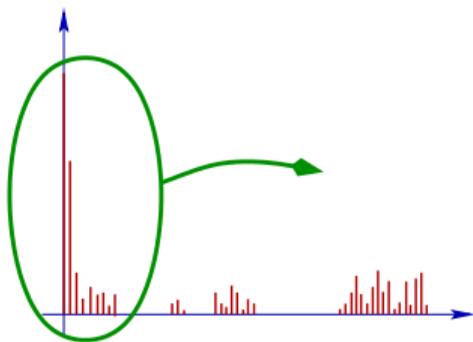


	1	2	3	4
A	LE	ET	EH	C
B	LE	ET	C	EH
C	ET	LE	EH	C
D	ET	LE	C	EH

6. Spécification d'histogramme

○ Alternative à l'égalisation d'histogramme

- ▶ dans des cas extrêmes l'EH peut diminuer le contraste
exemple : plage très sombre de grande taille → un décalage excessif



- ▶ objectif : trouver un compromis entre
 - ▶ *aplatir l'histogramme pour augmenter le contraste*
 - ▶ *préserver la forme générale de l'histogramme*
- ▶ méthode : spécification d'un histogramme cible à partir de h_I

○ Formulation du problème

▶ étant donné :

- ▶ une image I et h_I son histogramme
- ▶ h_s un histogramme spécifié (à partir de h_i)

trouver une transformation Ψ telle que $h_{I'}$, l'histogramme de $I' = \Psi(I)$, soit aussi proche que possible de h_s

▶ solution : en principe on a

$$EH_{I'}(I') \simeq EH_I(I)$$

$$I' \simeq EH_{I'}^{-1}(EH_I(I))$$

$$\Psi = EH_{I'}^{-1} \circ EH_I$$

▶ algorithme :

- ▶ calculer EH_I et $EH_{I'}$ avec respectivement h_I et h_s
- ▶ inverser $EH_{I'}$

○ Formulation du problème

▶ étant donné :

- ▶ une image I et h_I son histogramme
- ▶ h_s un histogramme spécifié (à partir de h_I)

trouver une transformation Ψ telle que $h_{I'}$, l'histogramme de $I' = \Psi(I)$, soit aussi proche que possible de h_s

▶ solution : en principe on a

$$EH_{I'}(I') \simeq EH_I(I)$$

$$I' \simeq EH_{I'}^{-1}(EH_I(I))$$

$$\Psi = EH_{I'}^{-1} \circ EH_I$$

▶ algorithme :

- ▶ calculer EH_I et $EH_{I'}$ avec respectivement h_I et h_s
- ▶ inverser $EH_{I'}$

○ Formulation du problème

▶ étant donné :

- ▶ une image I et h_I son histogramme
- ▶ h_s un histogramme spécifié (à partir de h_i)

trouver une transformation Ψ telle que $h_{I'}$, l'histogramme de $I' = \Psi(I)$, soit aussi proche que possible de h_s

▶ solution : en principe on a

$$EH_{I'}(I') \simeq EH_I(I)$$

$$I' \simeq EH_{I'}^{-1}(EH_I(I))$$

$$\Psi = EH_{I'}^{-1} \circ EH_I$$

▶ algorithme :

- ▶ calculer EH_I et $EH_{I'}$ avec respectivement h_I et h_s
- ▶ inverser $EH_{I'}$

○ Inversion d'un histogramme cumulé

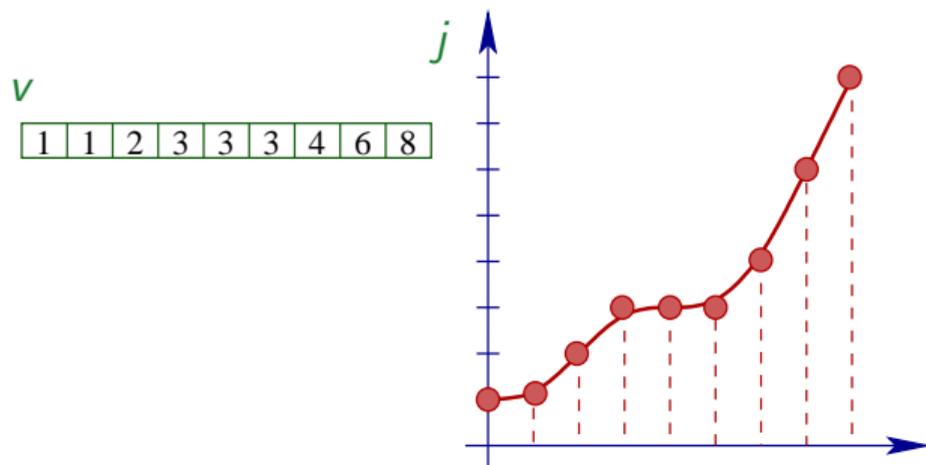
- ▶ inversion d'une fonction croissante entière,

$$f : [0..N - 1] \rightarrow [0..N - 1]$$

- ▶ f codée par un vecteur $v[i] : (v[0], v[1], \dots, v[N - 1])$

- ▶ construction du vecteur v' codant f^{-1}

$\forall j, v'[j] \leftarrow$ le plus petit entier $i \in [0..N - 1]$ tel que $v[i] \geq j$



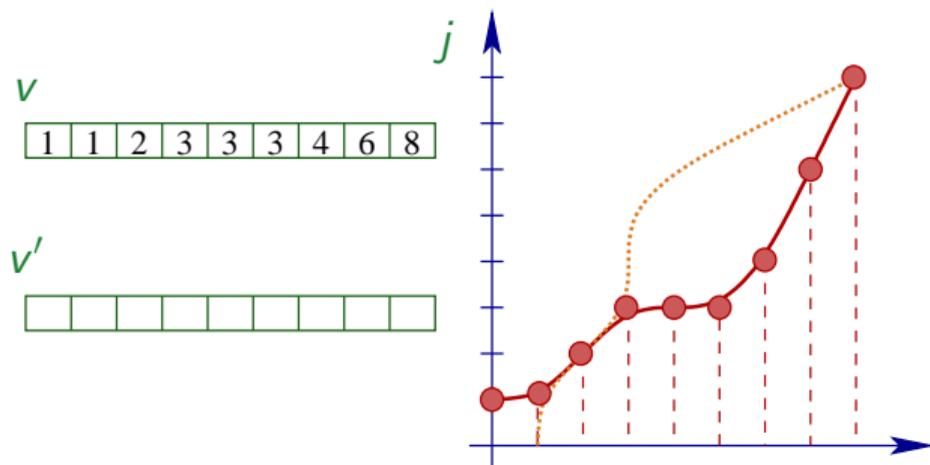
○ Inversion d'un histogramme cumulé

- ▶ inversion d'une fonction croissante entière,

$$f : [0..N - 1] \rightarrow [0..N - 1]$$

- ▶ f codée par un vecteur $v[i] : (v[0], v[1], \dots, v[N - 1])$
- ▶ construction du vecteur v' codant f^{-1}

$\forall j, v'[j] \leftarrow$ le plus petit entier $i \in [0..N - 1]$ tel que $v[i] \geq j$



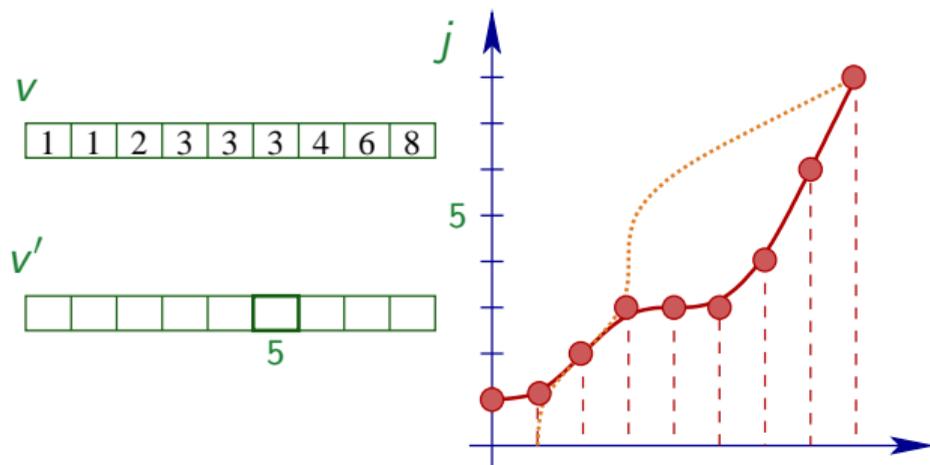
○ Inversion d'un histogramme cumulé

- ▶ inversion d'une fonction croissante entière,

$$f : [0..N - 1] \rightarrow [0..N - 1]$$

- ▶ f codée par un vecteur $v[i] : (v[0], v[1], \dots, v[N - 1])$
- ▶ construction du vecteur v' codant f^{-1}

$\forall j, v'[j] \leftarrow$ le plus petit entier $i \in [0..N - 1]$ tel que $v[i] \geq j$



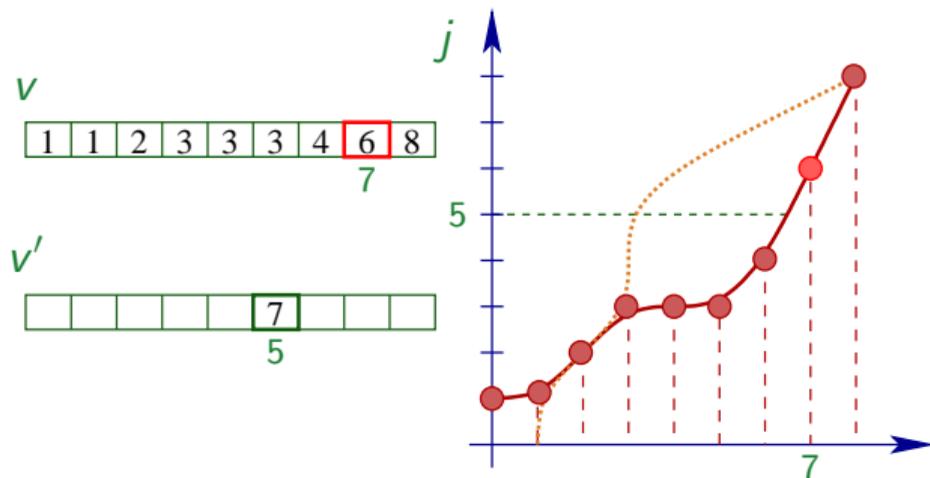
○ Inversion d'un histogramme cumulé

- ▶ inversion d'une fonction croissante entière,

$$f : [0..N - 1] \rightarrow [0..N - 1]$$

- ▶ f codée par un vecteur $v[i] : (v[0], v[1], \dots, v[N - 1])$
- ▶ construction du vecteur v' codant f^{-1}

$\forall j, v'[j] \leftarrow$ le plus petit entier $i \in [0..N - 1]$ tel que $v[i] \geq j$



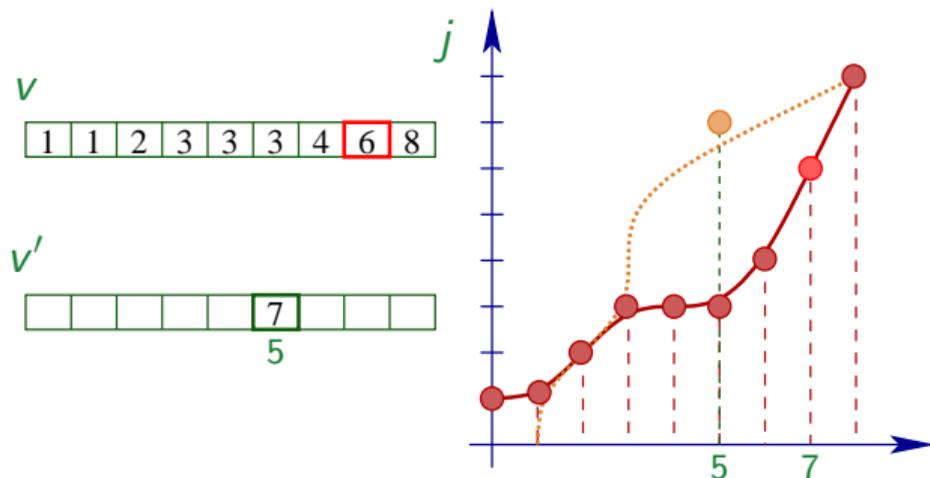
○ Inversion d'un histogramme cumulé

- ▶ inversion d'une fonction croissante entière,

$$f : [0..N - 1] \rightarrow [0..N - 1]$$

- ▶ f codée par un vecteur $v[i] : (v[0], v[1], \dots, v[N - 1])$
- ▶ construction du vecteur v' codant f^{-1}

$\forall j, v'[j] \leftarrow$ le plus petit entier $i \in [0..N - 1]$ tel que $v[i] \geq j$



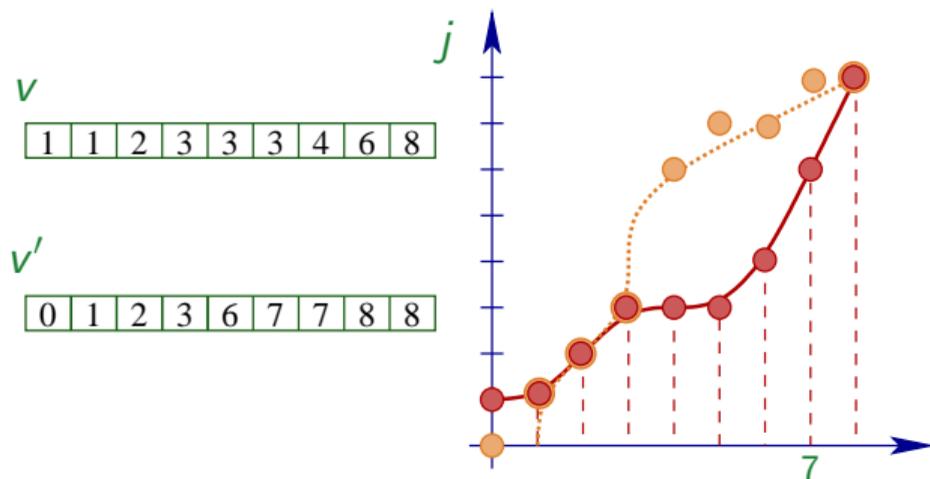
○ Inversion d'un histogramme cumulé

- ▶ inversion d'une fonction croissante entière,

$$f : [0..N - 1] \rightarrow [0..N - 1]$$

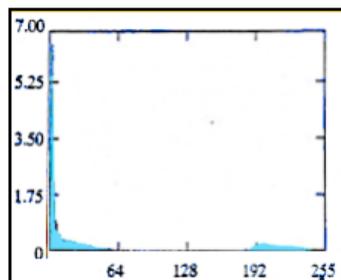
- ▶ f codée par un vecteur $v[i] : (v[0], v[1], \dots, v[N - 1])$
- ▶ construction du vecteur v' codant f^{-1}

$\forall j, v'[j] \leftarrow$ le plus petit entier $i \in [0..N - 1]$ tel que $v[i] \geq j$

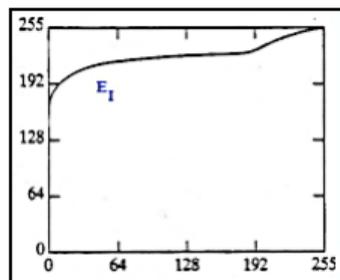


○ Algorithme de calcul de Ψ

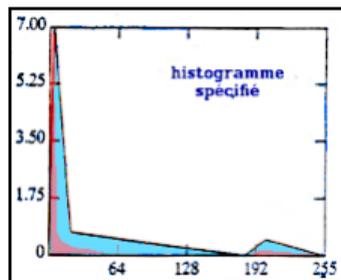
1. construction du vecteur v codant EH_I (à partir de h_I)
2. construction du vecteur v' codant $EH_{I'}$ (à partir de h_S)
3. construction du vecteur v'' inverse de v'
4. la transformation $\Psi(i)$ est codée par $v''[v[i]]$



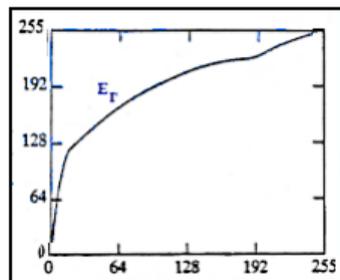
h_I



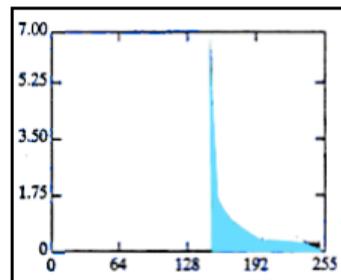
EH_{h_I}



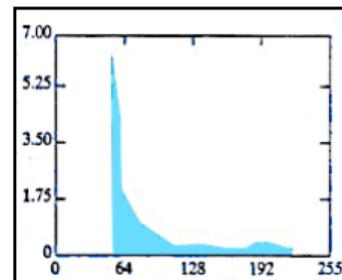
h_S



$EH_{h_{I'}}$



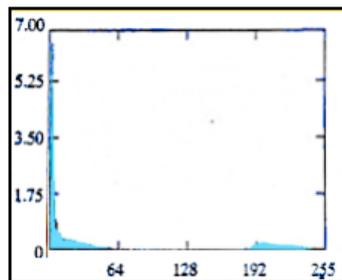
résultat de EH_{h_I}



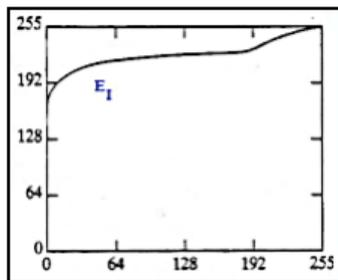
résultat de $EH_{h_{I'}}$

○ Algorithme de calcul de Ψ

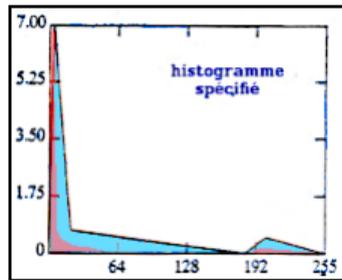
1. construction du vecteur v codant EH_I (à partir de h_I)
2. construction du vecteur v' codant $EH_{I'}$ (à partir de h_S)
3. construction du vecteur v'' inverse de v'
4. la transformation $\Psi(i)$ est codée par $v''[v[i]]$



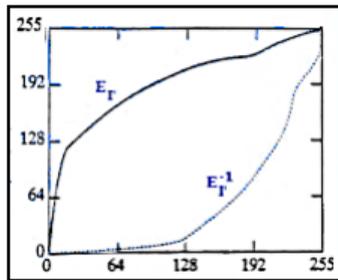
h_I



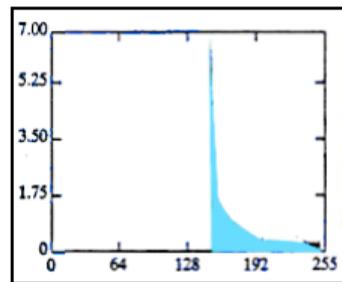
EH_{h_I}



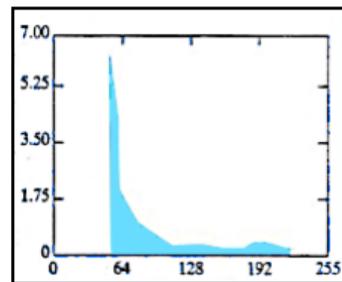
h_S



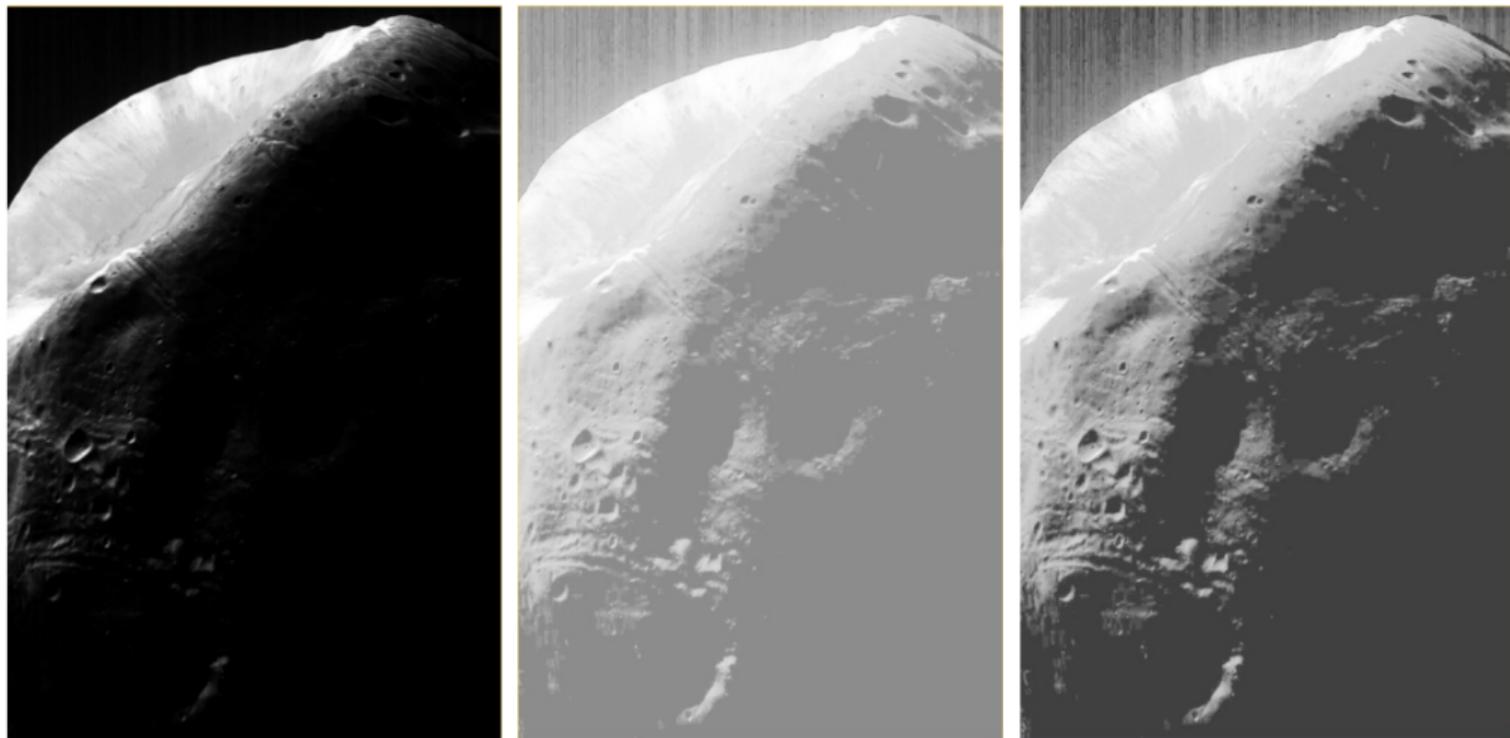
$EH_{h_{I'}}$



résultat de EH_{h_I}



résultat de $EH_{h_{I'}}$



— de gauche à droite : I , $EH_I(I)$, $EH_{I'}(I)$ —

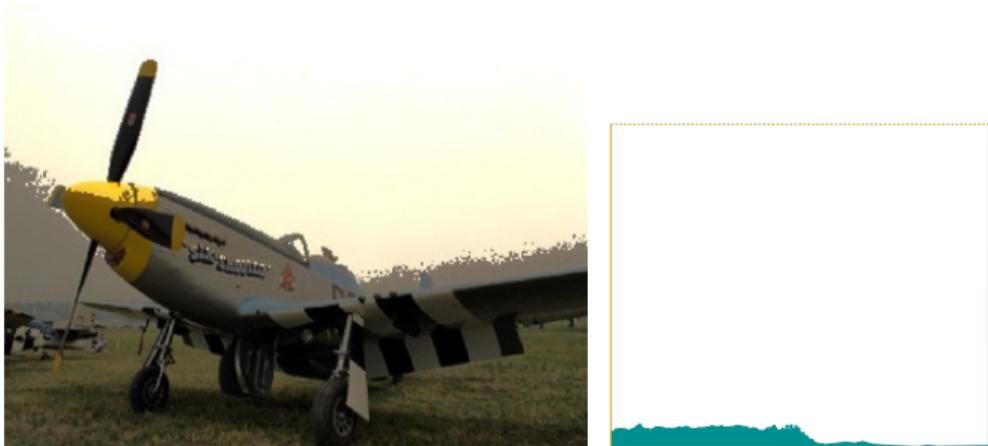
- Exemple de construction automatique de l'histogramme cible



Transformation appliquée à la composante V (HSV)

- ▶ histogramme cible : lissage de l'histogramme original
- ▶ « compromis » entre l'histogramme original et un histogramme équilibré

- Exemple de construction automatique de l'histogramme cible



Transformation appliquée à la composante V (HSV)

- ▶ histogramme cible : lissage de l'histogramme original
- ▶ « compromis » entre l'histogramme original et un histogramme équilibré

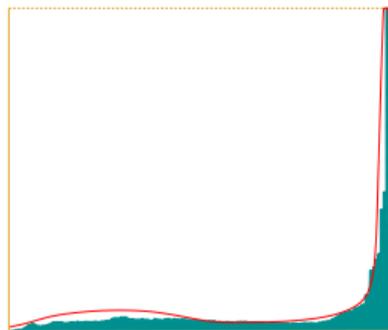
- Exemple de construction automatique de l'histogramme cible



Transformation appliquée à la composante V (HSV)

- ▶ histogramme cible : lissage de l'histogramme original
- ▶ « compromis » entre l'histogramme original et un histogramme équilibré

- Exemple de construction automatique de l'histogramme cible



Transformation appliquée à la composante V (HSV)

- ▶ histogramme cible : lissage de l'histogramme original
- ▶ « compromis » entre l'histogramme original et un histogramme équilibré

ANNEXE A

Détermination des minimum et maximum pour auto-level
(GIMP)

○ Détermination automatique de m et M

▶ heuristique utilisée pour l'exemple précédent (GIMP)

- ▶ *plus petit (resp. plus grand) niveau de gris qui produise une variation significative par rapport à son prédécesseur (resp. successeur)*
- ▶ *cumul des premières (resp. dernières) valeurs de l'histogramme normalisé (pourcentage de la présence de chaque niveau de gris dans l'image)*

$$m = \min \left\{ k, \left| \sum_{i=0}^k h'(i) - \varepsilon \right| < \left| \sum_{i=0}^{k+1} h'(i) - \varepsilon \right| \right\} + 1$$

$$M = \max \left\{ k, \left| \sum_k^{i_{max}} h'(i) - \varepsilon \right| < \left| \sum_{i=k-1}^{i_{max}} h'(i) - \varepsilon \right| \right\} - 1$$

▶ implémentée pour $\varepsilon = 0.006$

- ▶ nous verrons plus loin que cette méthode peut être appliquée aux canaux d'une image RGB pour rééquilibrer les couleurs.

○ Détermination automatique de m et M

▶ heuristique utilisée pour l'exemple précédent (GIMP)

- ▶ *plus petit (resp. plus grand) niveau de gris qui produise une variation significative par rapport à son prédécesseur (resp. successeur)*
- ▶ *cumul des premières (resp. dernières) valeurs de l'histogramme normalisé (pourcentage de la présence de chaque niveau de gris dans l'image)*

$$m = \min \left\{ k, \left| \sum_{i=0}^k h'(i) - \varepsilon \right| < \left| \sum_{i=0}^{k+1} h'(i) - \varepsilon \right| \right\} + 1$$

$$M = \max \left\{ k, \left| \sum_k^{i_{max}} h'(i) - \varepsilon \right| < \left| \sum_{i=k-1}^{i_{max}} h'(i) - \varepsilon \right| \right\} - 1$$

- ▶ implémentée pour $\varepsilon = 0.006$
- ▶ nous verrons plus loin que cette méthode peut être appliquée aux canaux d'une image RGB pour rééquilibrer les couleurs.

ANNEXE B

Rehaussement de contraste sélectif au moyen des caractéristiques statistiques

○ Rehaussement de contraste sélectif

- ▶ traitement paramétré par la **luminosité** et le **contraste**

- ▶ **moyenne** $\mu(I)$ pour estimer la luminosité

$$\mu_I = \sum_i i \times h'(i)$$

- ▶ **écart type** $\sigma(I)$ pour estimer le contraste

$$\sigma_I^2 = \sum_i (i - \mu_I)^2 \times h'(i)$$

- ▶ utilisation de caractéristiques globales et locales :

- ▶ $V(p)$: *voisinage du point p*
 - ▶ $\mu_{V(p)}$: *moyenne calculée sur $V(p)$*
 - ▶ $\sigma_{V(p)}$: *écart type calculé sur $V(p)$*

○ Rehaussement de contraste sélectif

- ▶ traitement paramétré par la **luminosité** et le **contraste**

- ▶ **moyenne** $\mu(I)$ pour estimer la luminosité

$$\mu_I = \sum_i i \times h'(i)$$

- ▶ **écart type** $\sigma(I)$ pour estimer le contraste

$$\sigma_I^2 = \sum_i (i - \mu_I)^2 \times h'(i)$$

- ▶ utilisation de caractéristiques globales et locales :

- ▶ $V(p)$: *voisinage du point p*
 - ▶ $\mu_{V(p)}$: *moyenne calculée sur $V(p)$*
 - ▶ $\sigma_{V(p)}$: *écart type calculé sur $V(p)$*

○ Exemple : éclaircissement des zones sombres et peu contrastées

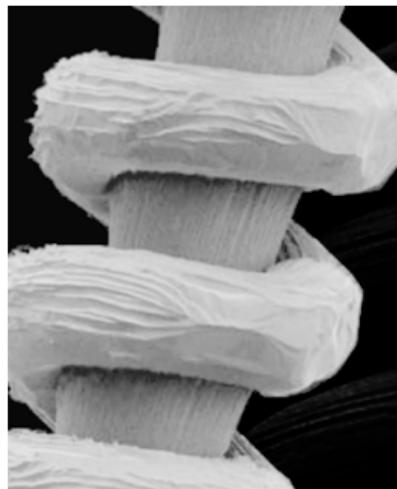
▶ sélection des points

- ▶ des parties **sombres** :

$$\mu_{V(p)} \leq k_0 \mu_I$$

- ▶ et **peu contrastées** :

$$k_1 \sigma_I \leq \sigma_{V(p)} \leq k_2 \sigma_I$$



- ▶ éclaircissement des zones sélectionnées : l'intensité des points retenus est multipliée par un facteur E

$$I'(p) = \begin{cases} E \times I(p) & \text{si } \begin{cases} \mu_{V(p)} \leq k_0 \mu_I \\ k_1 \sigma_I \leq \sigma_{V(p)} \leq k_2 \sigma_I \end{cases} \\ I(p) & \text{sinon} \end{cases}$$

○ Exemple : éclaircissement des zones sombres et peu contrastées

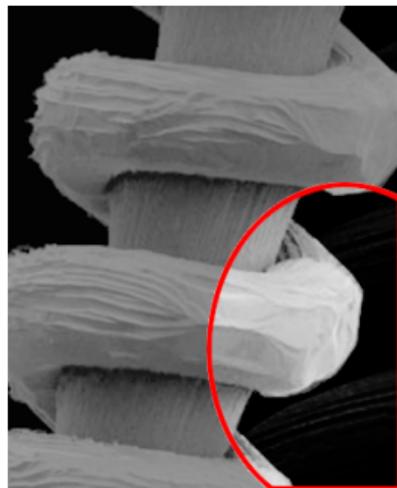
▶ sélection des points

- ▶ des parties sombres :

$$\mu_{V(p)} \leq k_0 \mu_I$$

- ▶ et peu contrastées :

$$k_1 \sigma_I \leq \sigma_{V(p)} \leq k_2 \sigma_I$$



- ▶ éclaircissement des zones sélectionnées : l'intensité des points retenus est multipliée par un facteur E

$$I'(p) = \begin{cases} E \times I(p) & \text{si } \begin{cases} \mu_{V(p)} \leq k_0 \mu_I \\ k_1 \sigma_I \leq \sigma_{V(p)} \leq k_2 \sigma_I \end{cases} \\ I(p) & \text{sinon} \end{cases}$$

○ Exemple : éclaircissement des zones sombres et peu contrastées

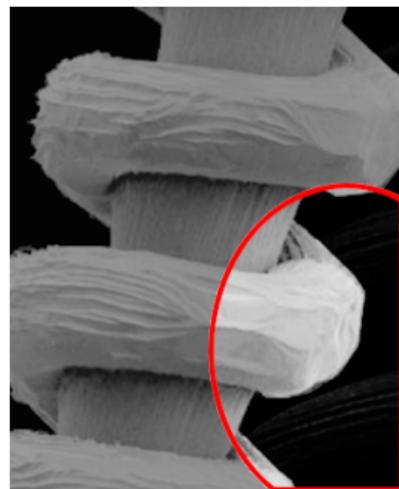
▶ sélection des points

- ▶ des parties **sombres** :

$$\mu_{V(p)} \leq k_0 \mu_I$$

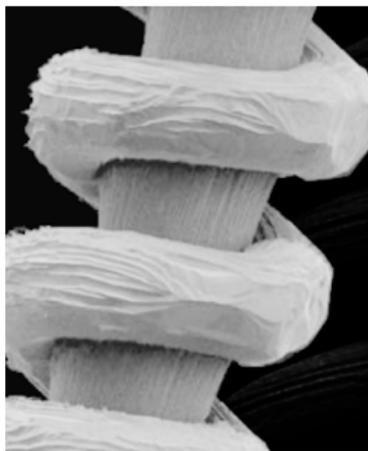
- ▶ et **peu contrastées** :

$$k_1 \sigma_I \leq \sigma_{V(p)} \leq k_2 \sigma_I$$



- ▶ éclaircissement des zones sélectionnées : l'intensité des points retenus est multipliée par un facteur E

$$I'(p) = \begin{cases} E \times I(p) & \text{si } \begin{cases} \mu_{V(p)} \leq k_0 \mu_I \\ k_1 \sigma_I \leq \sigma_{V(p)} \leq k_2 \sigma_I \end{cases} \\ I(p) & \text{sinon} \end{cases}$$



I

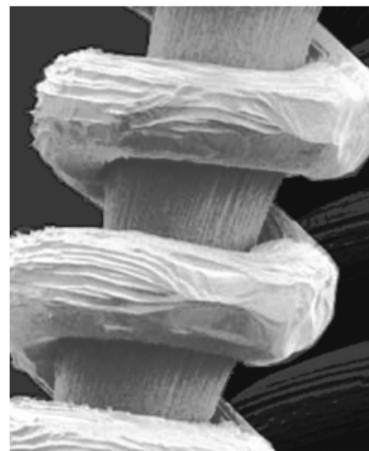


pixels retenus pour :

- ▶ $k_0 = 0.4$
- ▶ $k_1 = 0.02$
- ▶ $k_2 = 0.4$



résultat pour $E = 4$



$EH(I)$