Comparaison d'images binaires reposant sur une mesure locale des dissimilarités Application à la classification

Étienne Baudrier

CReSTIC

vendredi 9 décembre 2005

Contexte

- programme national de numérisation des documents anciens initié en 1998
- numérisation des impressions anciennes ($XVI^e - XIX^e$)
- base d'impressions anciennes numérisées
- piste de recherche pour les chercheurs en histoire du livre
- M.D. Leclerc, *À la recherche du livre perdu : Identification de quelques bois gravés dans la Bibliothèque Bleue de Troyes*, 2000
- outil pour exploiter la base numérique

Contexte

- programme national de numérisation des documents anciens initié en 1998
- numérisation des impressions anciennes ($XVI^e - XIX^e$)
- base d'impressions anciennes numérisées
- piste de recherche pour les chercheurs en histoire du livre
- M.D. Leclerc, *À la recherche du livre perdu : Identification de quelques bois gravés dans la Bibliothèque Bleue de Troyes*, 2000
- outil pour exploiter la base numérique

Contexte

- programme national de numérisation des documents anciens initié en 1998
- numérisation des impressions anciennes ($XVI^e - XIX^e$)
- base d'impressions anciennes numérisées
- piste de recherche pour les chercheurs en histoire du livre
- M.D. Leclerc, *À la recherche du livre perdu : Identification de quelques bois gravés dans la Bibliothèque Bleue de Troyes*, 2000
- outil pour exploiter la base numérique

Contexte

- programme national de numérisation des documents anciens initié en 1998
- numérisation des impressions anciennes ($XVI^e - XIX^e$)
- base d'impressions anciennes numérisées
- piste de recherche pour les chercheurs en histoire du livre
- M.D. Leclerc, *À la recherche du livre perdu : Identification de quelques bois gravés dans la Bibliothèque Bleue de Troyes*, 2000
- outil pour exploiter la base numérique

Comparaison d'images binaires complexes

Problématique de l'application

À partir d'une impression, retrouver les impressions illustrant la même scène (impressions similaires) dans une base numérisée.

Méthodes classiques

- extraction d'attributs
  - couleur
  - texture
  - formes
- $\longrightarrow$ comparaison directe
  - mesures basées sur la différence pixel à pixel
  - mesures basées sur une distance entre ensembles de points
    - distance de Hausdorff
- **comparaison directe**

Méthodes classiques

- extraction d'attributs
  - couleur pauvre pour les images binaires
  - texture
  - formes
- $\longrightarrow$ comparaison directe
  - mesures basées sur la différence pixel à pixel
  - mesures basées sur une distance entre ensembles de points
    - distance de Hausdorff
- **comparaison directe**

Méthodes classiques

- extraction d'attributs
  - couleur pauvre pour les images binaires
  - texture difficile à extraire et complexes
  - formes difficile à extraire et complexes
- $\longrightarrow$ comparaison directe
  - mesures basées sur la différence pixel à pixel
  - mesures basées sur une distance entre ensembles de points
    - distance de Hausdorff
- **comparaison directe**

Méthodes classiques

- extraction d'attributs
  - couleur pauvre pour les images binaires
  - texture difficile à extraire et complexes
  - formes difficile à extraire et complexes
- $\longrightarrow$ comparaison directe
  - mesures basées sur la différence pixel à pixel
  - mesures basées sur une distance entre ensembles de points
    - distance de Hausdorff
- **comparaison directe**

Méthodes classiques

- extraction d'attributs
  - couleur pauvre pour les images binaires
  - texture difficile à extraire et complexes
  - formes difficile à extraire et complexes
- $\longrightarrow$ comparaison directe
  - mesures basées sur la différence pixel à pixel
  - mesures basées sur une distance entre ensembles de points
    - distance de Hausdorff
- **comparaison directe**

Méthodes classiques

- extraction d'attributs
  - couleur pauvre pour les images binaires
  - texture difficile à extraire et complexes
  - formes difficile à extraire et complexes
- $\longrightarrow$ comparaison directe
  - mesures basées sur la différence pixel à pixel
    pauvre pour les images binaires
  - mesures basées sur une distance entre ensembles de points
    - distance de Hausdorff
- **comparaison directe**

Méthodes classiques

- extraction d'attributs
  - couleur pauvre pour les images binaires
  - texture difficile à extraire et complexes
  - formes difficile à extraire et complexes
- $\longrightarrow$ comparaison directe
  - mesures basées sur la différence pixel à pixel
    pauvre pour les images binaires
  - mesures basées sur une distance entre ensembles de points
    - distance de Hausdorff
- comparaison directe

Méthodes classiques

- extraction d'attributs
  - couleur pauvre pour les images binaires
  - texture difficile à extraire et complexes
  - formes difficile à extraire et complexes
- $\longrightarrow$ comparaison directe
  - mesures basées sur la différence pixel à pixel
    pauvre pour les images binaires
  - mesures basées sur une distance entre ensembles de points
    intéressant mais globales
    - distance de Hausdorff
- comparaison directe

Méthodes classiques

- extraction d'attributs
  - couleur pauvre pour les images binaires
  - texture difficile à extraire et complexes
  - formes difficile à extraire et complexes
- $\longrightarrow$ comparaison directe
  - mesures basées sur la différence pixel à pixel
    pauvre pour les images binaires
  - mesures basées sur une distance entre ensembles de points
    intéressant mais globales
    - distance de Hausdorff
- **comparaison directe**

Problématique de recherche

Trouver une méthode de comparaison d'images binaires complexes

- pour évaluer les différences entre les images localement,
- tirer partie des propriétés des images binaires.

1. Introduction
2. Décomposition de l'image : l'analyse multirésolution
   - Cadre théorique
   - Choix de l'opérateur
3. Comparaison basée sur la mesure locale
   - Distance de Hausdorff
   - Définition de la mesure locale à fenêtre
   - Critère d'arrêt
   - Carte des dissimilarité locales
4. Applications
   - La base des impressions anciennes
   - Classification des cartes de dissimilarités locales
   - Résultats
5. Conclusion

Plan

1. Introduction
2. Décomposition de l'image : l'analyse multirésolution
   - Cadre théorique
   - Choix de l'opérateur
3. Comparaison basée sur la mesure locale
   - Distance de Hausdorff
   - Définition de la mesure locale à fenêtre
   - Critère d'arrêt
   - Carte des dissimilarité locales
4. Applications
   - La base des impressions anciennes
   - Classification des cartes de dissimilarités locales
   - Résultats
5. Conclusion

Cadre classique pour les images

- cadre classique : décomposer les images grâce à des filtres linéaires (par convolution)
- Images binaires sont très discontinues (transition 0-1)
- filtres linéaires lissent les transitions. $\longrightarrow$ inadaptés aux images binaires

Cadre classique pour les images

- cadre classique : décomposer les images grâce à des filtres linéaires (par convolution)
- Images binaires sont très discontinues (transition 0-1)
- filtres linéaires lissent les transitions. $\longrightarrow$ inadaptés aux images binaires

Ondelettes morphologiques

- morphologie mathématique adaptée aux images binaires
- non-linéaire
- cadre pas utilisable
- $\longrightarrow$ cadre des ondelettes non-linéaires morphologiques
  Heijmans et Goutsias, *Nonlinear multiresolution signal decomposition schemes - Part II: morphological wavelets*, 2000

Ondelettes morphologiques

- morphologie mathématique adaptée aux images binaires
- non-linéaire
- cadre pas utilisable
- $\longrightarrow$ cadre des ondelettes non-linéaires morphologiques
  Heijmans et Goutsias, *Nonlinear multiresolution signal decomposition schemes - Part II: morphological wavelets*, 2000

Ondelettes morphologiques

- morphologie mathématique adaptée aux images binaires
- non-linéaire
- cadre pas utilisable
- $\longrightarrow$ cadre des ondelettes non-linéaires morphologiques
  Heijmans et Goutsias, *Nonlinear multiresolution signal decomposition schemes - Part II: morphological wavelets*, 2000

Ondelettes morphologiques

- morphologie mathématique adaptée aux images binaires
- non-linéaire
- cadre pas utilisable
- $\longrightarrow$ cadre des ondelettes non-linéaires morphologiques
  Heijmans et Goutsias, *Nonlinear multiresolution signal decomposition schemes - Part II: morphological wavelets*, 2000

Plan

1. Introduction
2. Décomposition de l'image : l'analyse multirésolution
   - Cadre théorique
   - Choix de l'opérateur
3. Comparaison basée sur la mesure locale
   - Distance de Hausdorff
   - Définition de la mesure locale à fenêtre
   - Critère d'arrêt
   - Carte des dissimilarité locales
4. Applications
   - La base des impressions anciennes
   - Classification des cartes de dissimilarités locales
   - Résultats
5. Conclusion

choix de l'opérateur

filtre doit être croissant et idempotent,

(a) Image binaire originale (400 × 480, échelle 0).

(b) Approximation de l'échelle 1 (200 × 240).

(c) Approximation de l'échelle 2 (100 × 120).

- Filtre de Haar morphologique.
- la conservation du ration noir/blanc (l'auto dualité)
- filtrage puis décimation

Notre constat

L'auto dualité est compatible avec la décimation

choix de l'opérateur

filtre doit être croissant et idempotent,

(d) Image binaire originale (400 × 480, échelle 0).

(e) Approximation de l'échelle 1 (200 × 240).

(f) Approximation de l'échelle 2 (100 × 120).

- Filtre de Haar morphologique.
- la conservation du ration noir/blanc (l'auto dualité)
- filtrage puis décimation

Notre constat

L'auto dualité est compatible avec la décimation

choix de l'opérateur

filtre doit être croissant et idempotent,

(g) Image binaire originale (400 × 480, échelle 0).

(h) Approximation de l'échelle 1 (200 × 240).

(i) Approximation de l'échelle 2 (100 × 120).

- Filtre de Haar morphologique.
- la conservation du ration noir/blanc (l'auto dualité)
- filtrage puis décimation

Notre constat

L'auto dualité est compatible avec la décimation

choix de l'opérateur

filtre doit être croissant et idempotent,

(j) Image binaire originale (400 × 480, échelle 0).

(k) Approximation de l'échelle 1 (200 × 240).

(l) Approximation de l'échelle 2 (100 × 120).

- Filtre de Haar morphologique.
- la conservation du ration noir/blanc (l'auto dualité)
- filtrage puis décimation

Notre constat

L'auto dualité est compatible avec la décimation

Choix de la médiane
Filtre auto-dual.
L'approximation est définie par

$$\begin{aligned} h_a(x)(n) &= \texttt{médian}(x(2n,2n), x(2n,2n), x(2n+1,2n), && (1)\\ &\qquad x(2n,2n+1), x(2n+1,2n+1), && (2)\end{aligned}$$

et d_v, d_h, d_d, les opérateurs de détail vertical, horizontal et diagonal, sont définis par :

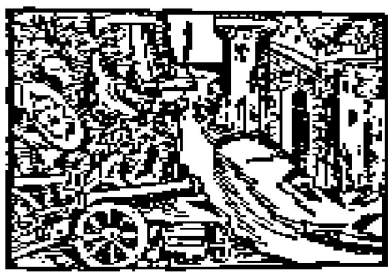
$$\begin{aligned} d_v(x)(n) &= x(2n,2n) \triangle x(2n,2n+1), && (3)\\ d_h(x)(n) &= x(2n,2n) \triangle x(2n+1,2n), && (4)\\ d_d(x)(n) &= x(2n,2n) \triangle x(2n+1,2n+1). && (5)\end{aligned}$$

Exemple

-

(m) Image binaire originale (400×480, échelle 0).

(n) Approximation de l'échelle 1 (200×240).



(o) Approximation de l'échelle 2 (100×120).

(p) Approximation de l'échelle 3 (50×60).

(q) Approximation de l'échelle 4 (25×30).

Figure: Filtre de la médiane morphologique.

Plan

1. Introduction
2. Décomposition de l'image : l'analyse multirésolution
   - Cadre théorique
   - Choix de l'opérateur
3. Comparaison basée sur la mesure locale
   - Distance de Hausdorff
   - Définition de la mesure locale à fenêtre
   - Critère d'arrêt
   - Carte des dissimilarité locales
4. Applications
   - La base des impressions anciennes
   - Classification des cartes de dissimilarités locales
   - Résultats
5. Conclusion

- La carte de dissimilarités locales repose sur une mesure de dissimilarité
- Pour illustrer la construction de la mesure locale et de la carte, on choisit la DH :
  - la carte basée sur la DH donne les meilleurs résultats,
  - permet d'obtenir une expression simple et rapide à calculée.

Distance de Hausdorff

- La distance de Hausdorff (DH) entre deux images A et B non-vides

$$DH(A,B) = \max(h(A,B), h(B,A))$$

avec

$$h(A,B) = \max_{a \in A}(\min_{b \in B} d(b,a))$$

- d distance spatiale sous-jacente, ici $d(a,b) = \|b-a\|_\infty$

Distance de Hausdorff

- La distance de Hausdorff (DH) entre deux images A et B non-vides

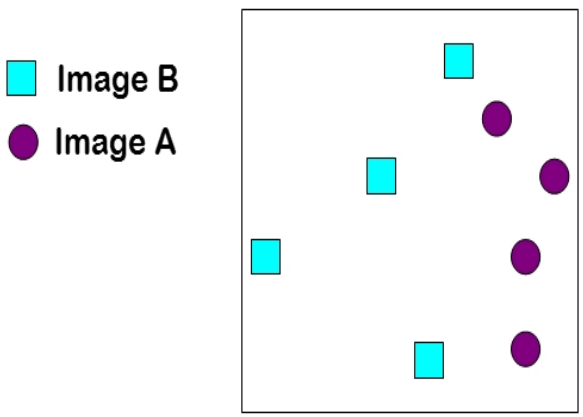
$$DH(A,B) = \max(h(A,B), h(B,A))$$

avec

$$h(A,B) = \max_{a \in A}(\min_{b \in B} d(b,a))$$

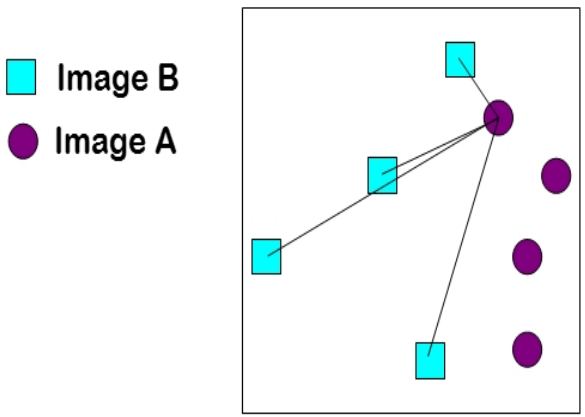
- d distance spatiale sous-jacente, ici $d(a,b) = \|b-a\|_\infty$

Exemple de calcul



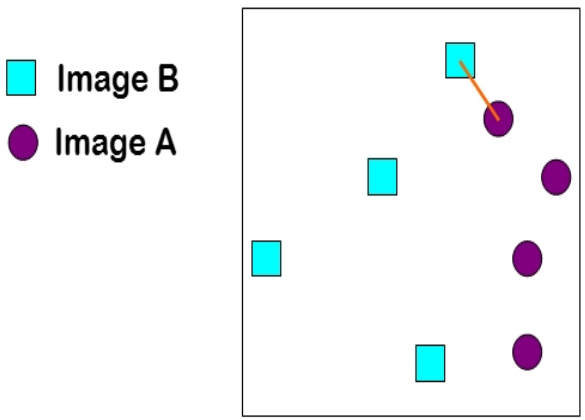
- Calcul de $h(A, B)$
- Calcul de $h(B, A)$
- $DH(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A))$

Exemple de calcul



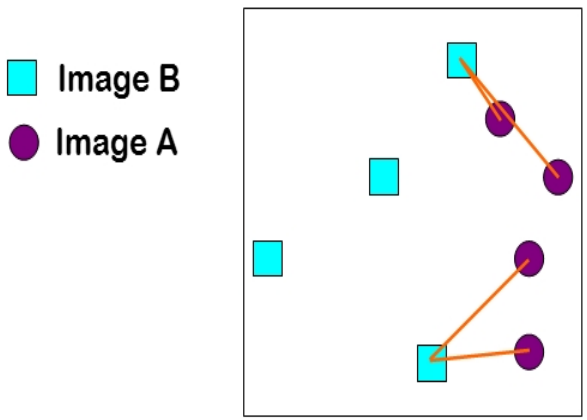
- Calcul de $h(A, B)$
  $d(a, b)$
- Calcul de $h(B, A)$
- $DH(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A))$

Exemple de calcul



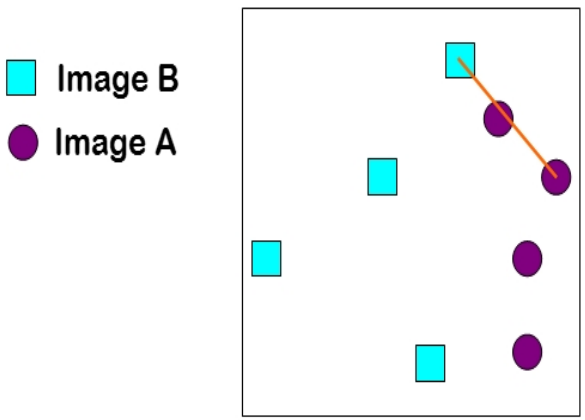
- Calcul de $h(A, B)$
  $\min_{b \in B} d(a, b)$
- Calcul de $h(B, A)$
- $DH(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A))$

Exemple de calcul



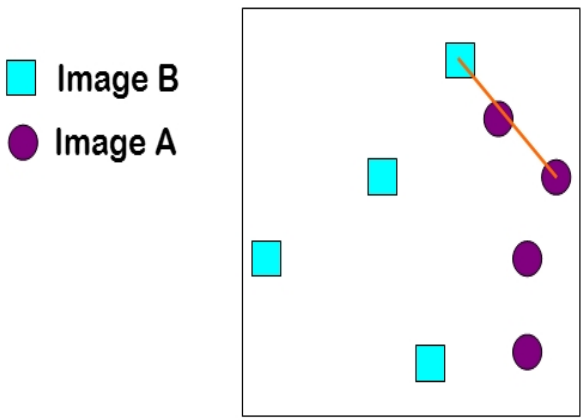
- Calcul de $h(A, B)$
  $\{\min_{b \in B} d(a, b), a \in A\}$
- Calcul de $h(B, A)$
- $DH(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A))$

Exemple de calcul



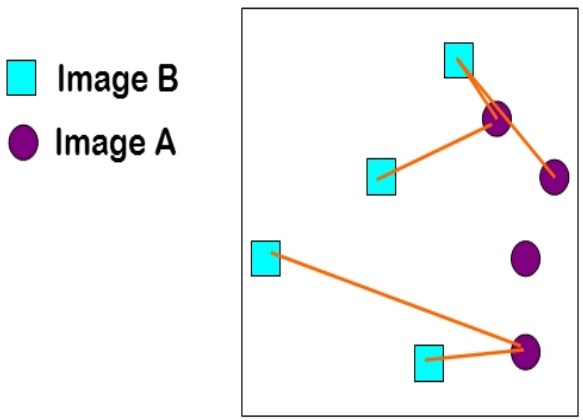
- Calcul de $h(A, B)$
  $h(A, B) = \max_{a \in A}(\min_{b \in B} d(b, a))$
- Calcul de $h(B, A)$
- $DH(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A))$

Exemple de calcul



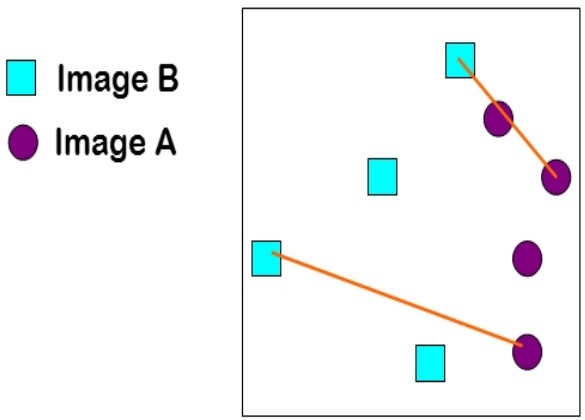
- Calcul de $h(A, B)$
  $h(A, B) = \max_{a \in A}(\min_{b \in B} d(b, a))$
- Calcul de $h(B, A)$
- $DH(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A))$

Exemple de calcul



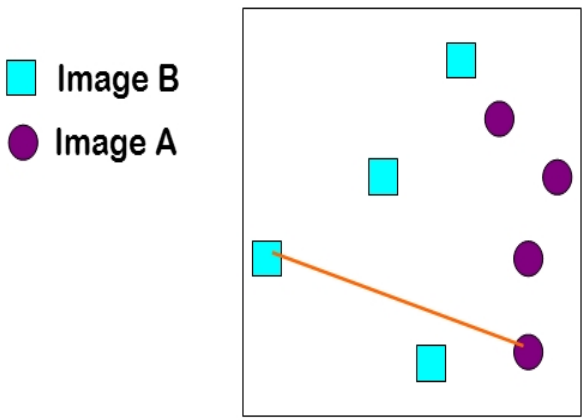
- Calcul de $h(A, B)$
  $h(A, B) = \max_{a \in A}(\min_{b \in B} d(b, a))$
- Calcul de $h(B, A)$
  $\{\min_{a \in A} d(a, b), b \in B\}$
- $DH(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A))$

Exemple de calcul



- Calcul de $h(A, B)$
  $h(A, B) = \max_{a \in A}(\min_{b \in B} d(b, a))$
- Calcul de $h(B, A)$
  $h(B, A) = \max_{b \in B}(\min_{a \in A} d(a, b))$
- $DH(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A))$

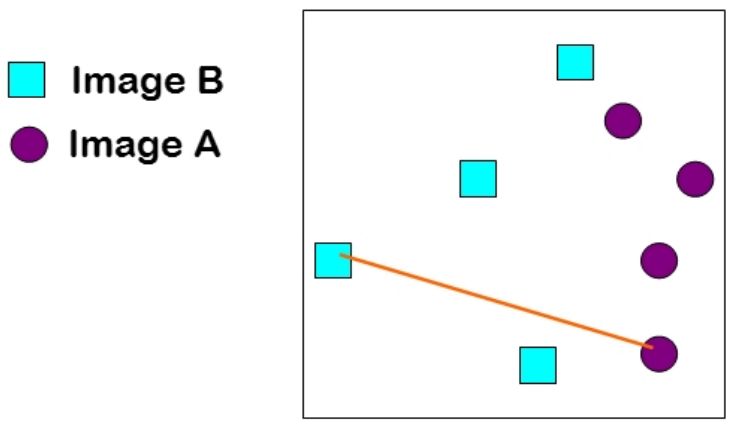
Exemple de calcul



- Calcul de $h(A, B)$
  $h(A, B) = \max_{a \in A}(\min_{b \in B} d(b, a))$
- Calcul de $h(B, A)$
  $h(B, A) = \max_{b \in B}(\min_{a \in A} d(a, b))$
- $DH(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A))$

Distance de Hausdorff

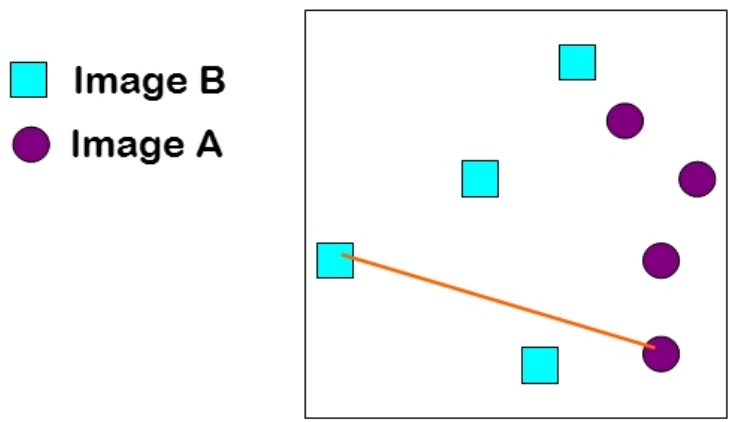
- Avantages :
  - Compare des ensembles de points pas pixel à pixel.
  - Distance max min, pas de mise en correspondance des points.
- Défaut : sensible aux points éloignés
  - Illustration précédente



- Solution : la modifier!

Distance de Hausdorff

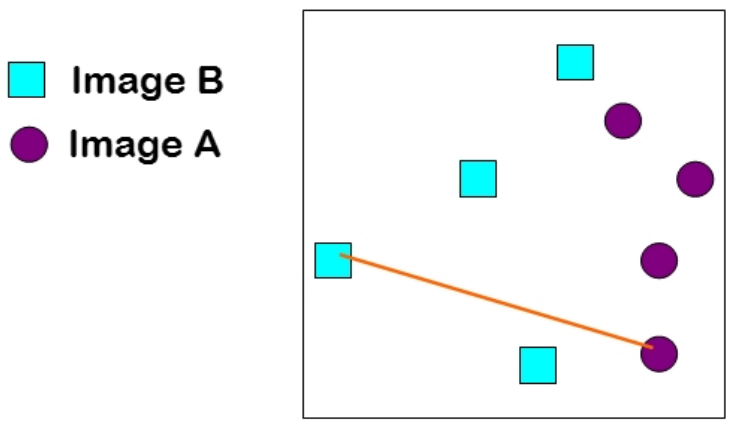
- Avantages :
  - Compare des ensembles de points pas pixel à pixel.
  - Distance max min, pas de mise en correspondance des points.
- Défaut : sensible aux points éloignés
  - Illustration précédente



- Solution : la modifier!

Distance de Hausdorff

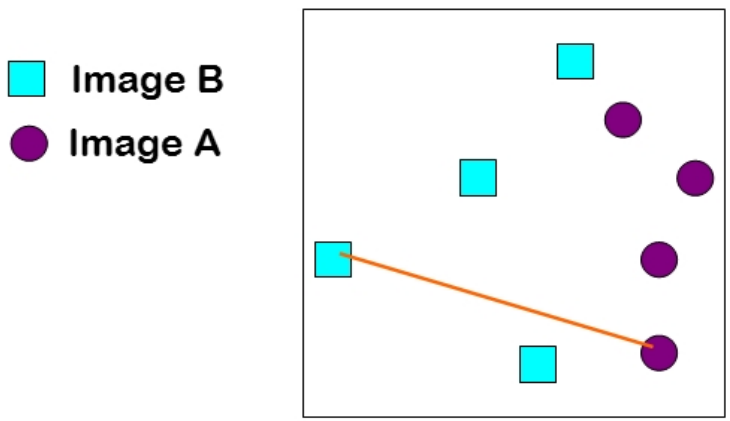
- Avantages :
  - Compare des ensembles de points pas pixel à pixel.
  - Distance max min, pas de mise en correspondance des points.
- Défaut : sensible aux points éloignés
  - Illustration précédente



- Solution : la modifier!

Distance de Hausdorff

- Avantages :
  - Compare des ensembles de points pas pixel à pixel.
  - Distance max min, pas de mise en correspondance des points.
- Défaut : sensible aux points éloignés
  - Illustration précédente



- Solution : la modifier!

Modification de la distance de Hausdorff

- Plusieurs propositions
  - La DH partielle (Huttenlocher *et al*, 93)
  - La DH modifiée (Dubuisson et Jain, 94)
  - La DH pondérée (Lu, 2001)
- Défauts
  - Paramétriques
  - Globales
- Or la distance de Hausdorff est max min, donc atteinte pour au moins un couple de points, mais
  - points marginaux ?
  - atteinte une ou plusieurs fois ?
  - regroupées ou réparties partout?

Modification de la distance de Hausdorff

- Plusieurs propositions
  - La DH partielle (Huttenlocher *et al*, 93)
  - La DH modifiée (Dubuisson et Jain, 94)
  - La DH pondérée (Lu, 2001)
- Défauts
  - Paramétriques
  - Globales
- Or la distance de Hausdorff est max min, donc atteinte pour au moins un couple de points, mais
  - points marginaux ?
  - atteinte une ou plusieurs fois ?
  - regroupées ou réparties partout?

Plan

1. Introduction
2. Décomposition de l'image : l'analyse multirésolution
   - Cadre théorique
   - Choix de l'opérateur
3. Comparaison basée sur la mesure locale
   - Distance de Hausdorff
   - Définition de la mesure locale à fenêtre
   - Critère d'arrêt
   - Carte des dissimilarité locales
4. Applications
   - La base des impressions anciennes
   - Classification des cartes de dissimilarités locales
   - Résultats
5. Conclusion

Notre proposition

- Notre solution : rendre la DH locale à travers une fenêtre glissante
  - Nécessite aménagement pour tenir compte de la fenêtre
  - $\longrightarrow$ La nouvelle mesure de la DH à fenêtre fait intervenir la distance au bord de la fenêtre

Notre proposition

- Notre solution : rendre la DH locale à travers une fenêtre glissante
  - Nécessite aménagement pour tenir compte de la fenêtre
  - $\longrightarrow$ La nouvelle mesure de la DH à fenêtre fait intervenir la distance au bord de la fenêtre

Notre proposition

- Notre solution : rendre la DH locale à travers une fenêtre glissante
  - Nécessite aménagement pour tenir compte de la fenêtre
  - $\longrightarrow$ La nouvelle mesure de la DH à fenêtre fait intervenir la distance au bord de la fenêtre

Rappel :
$DH(A,B) = \max(h(A,B), h(B,A))$ avec
$h(A,B) = \max_{a \in A}(\min_{b \in B} d(a,b))$.

Notre version locale à fenêtre :
Soit W une fenêtre sur ces deux images A et B.
$DH_W(A,B) = \max\left(h_W(A,B), h_W(B,A)\right)$ où

- Si $A \neq \emptyset$ et $B \neq \emptyset$,
  $h_W(A,B) =$
  $\max_{a \in A \cap W}\left[\min\left(\min_{b \in B \cap W} d(a,b),\ \min_{w \in Fr(W)} d(a,w)\right)\right]$.
- Si $A \neq \emptyset$ et $B = \emptyset$,
  $h_W(A,B) = \max_{a \in A \cap W}\left[\min_{w \in Fr(W)} d(a,w)\right]$.
- Si $A = \emptyset$ et $\forall B,\ h_W(A,B) = 0$.

Rappel :
$DH(A,B) = \max(h(A,B), h(B,A))$ avec
$h(A,B) = \max_{a \in A}(\min_{b \in B} d(a,b))$.

Notre version locale à fenêtre :
Soit W une fenêtre sur ces deux images A et B.
$DH_W(A,B) = \max\left(h_W(A,B), h_W(B,A)\right)$ où

- Si $A \neq \emptyset$ et $B \neq \emptyset$,
  $h_W(A,B) =$
  $\max_{a \in A \cap W} \left[\min\left(\min_{b \in B \cap W} d(a,b),\ \min_{w \in Fr(W)} d(a,w)\right)\right]$.
- Si $A \neq \emptyset$ et $B = \emptyset$,
  $h_W(A,B) = \max_{a \in A \cap W} \left[\min_{w \in Fr(W)} d(a,w)\right]$.
- Si $A = \emptyset$ et $\forall B,\ h_W(A,B) = 0$.

Rappel :
$DH(A,B) = \max(h(A,B), h(B,A))$ avec
$h(A,B) = \max_{a \in A}(\min_{b \in B} d(a,b))$.

Notre version locale à fenêtre :
Soit W une fenêtre sur ces deux images A et B.
$DH_W(A,B) = \max\left(h_W(A,B), h_W(B,A)\right)$ où

- Si $A \neq \emptyset$ et $B \neq \emptyset$,
  $h_W(A,B) =$
  $\max_{a \in A \cap W}\left[\min\left(\min_{b \in B \cap W} d(a,b), \min_{w \in Fr(W)} d(a,w)\right)\right]$.
- Si $A \neq \emptyset$ et $B = \emptyset$,
  $h_W(A,B) = \max_{a \in A \cap W}\left[\min_{w \in Fr(W)} d(a,w)\right]$.
- Si $A = \emptyset$ et $\forall B,\ h_W(A,B) = 0$.

Rappel :
$DH(A,B) = \max(h(A,B), h(B,A))$ avec
$h(A,B) = \max_{a \in A}(\min_{b \in B} d(a,b))$.

Notre version locale à fenêtre :
Soit W une fenêtre sur ces deux images A et B.
$DH_W(A,B) = \max\left(h_W(A,B), h_W(B,A)\right)$ où

- Si $A \neq \emptyset$ et $B \neq \emptyset$,
  $h_W(A,B) =$
  $\max_{a \in A \cap W}\left[\min\left(\min_{b \in B \cap W} d(a,b), \min_{w \in Fr(W)} d(a,w)\right)\right]$.
- Si $A \neq \emptyset$ et $B = \emptyset$,
  $h_W(A,B) = \max_{a \in A \cap W}\left[\min_{w \in Fr(W)} d(a,w)\right]$.
- Si $A = \emptyset$ et $\forall B$, $h_W(A,B) = 0$.

Rappel :
$DH(A,B) = \max(h(A,B), h(B,A))$ avec
$h(A,B) = \max_{a \in A}(\min_{b \in B} d(a,b))$.

Notre version locale à fenêtre :
Soit W une fenêtre sur ces deux images A et B.
$DH_W(A,B) = \max\left(h_W(A,B), h_W(B,A)\right)$ où

- Si $A \neq \emptyset$ et $B \neq \emptyset$,
  $h_W(A,B) =$
  $\max_{a \in A \cap W}\left[\min\left(\min_{b \in B \cap W} d(a,b), \min_{w \in Fr(W)} d(a,w)\right)\right]$.
- Si $A \neq \emptyset$ et $B = \emptyset$,
  $h_W(A,B) = \max_{a \in A \cap W}\left[\min_{w \in Fr(W)} d(a,w)\right]$.
- Si $A = \emptyset$ et $\forall B$, $h_W(A,B) = 0$.

Propriétés de la mesure locale à fenêtre

- DH_W est croissante en fonction de la taille de la fenêtre : Soit V et W deux fenêtres tels que $V \subset W$ alors

$$DH_V(A, B) \leqslant DH_W(A, B).$$

- DH_W majorée par la mesure de la DH globale et l'atteint pour W assez grand.

Plan

1. Introduction
2. Décomposition de l'image : l'analyse multirésolution
   - Cadre théorique
   - Choix de l'opérateur
3. Comparaison basée sur la mesure locale
   - Distance de Hausdorff
   - Définition de la mesure locale à fenêtre
   - Critère d'arrêt
   - Carte des dissimilarité locales
4. Applications
   - La base des impressions anciennes
   - Classification des cartes de dissimilarités locales
   - Résultats
5. Conclusion

Critère d'arrêt

- Principe : mesurer la dissimilarité locale
  - Locale : implique le pixel central de la fenêtre
  - Fenêtre adaptée à la taille des traits constituant la dissimilarité (grande pour traits grossiers)

Critère

Tant que la DH_W est maximale dans la fenêtre, la fenêtre W est agrandie.

Critère d'arrêt

- Principe : mesurer la dissimilarité locale
  - Locale : implique le pixel central de la fenêtre
  - Fenêtre adaptée à la taille des traits constituant la dissimilarité (grande pour traits grossiers)

Critère

Tant que la DH_W est maximale dans la fenêtre, la fenêtre W est agrandie.

La mesure obtenue est appelée $DH_{locale}(x)$.

Critère d'arrêt

- Soit un pixel x fixé

  $n := 1$ *(côté de la fenêtre)*

  Tant que $HD_{Fen_n}(A, B) = val_{max}$

  côté := côté + 1

  Fin Tant que

  Retourner $DH_{locale} = HD_{Fen_{n-1}}(A, B)$

Plan

1. Introduction
2. Décomposition de l'image : l'analyse multirésolution
   - Cadre théorique
   - Choix de l'opérateur
3. Comparaison basée sur la mesure locale
   - Distance de Hausdorff
   - Définition de la mesure locale à fenêtre
   - Critère d'arrêt
   - Carte des dissimilarité locales
4. Applications
   - La base des impressions anciennes
   - Classification des cartes de dissimilarités locales
   - Résultats
5. Conclusion

Définition de la Carte des dissimilarité locales
Soit A et B deux images binaires et X leur support,

la carte des dissimilarités locales

La CDL est définie par

$$CDL \ : \ x \in X \longmapsto DH_{locale}(x) \tag{6}$$

Illustration

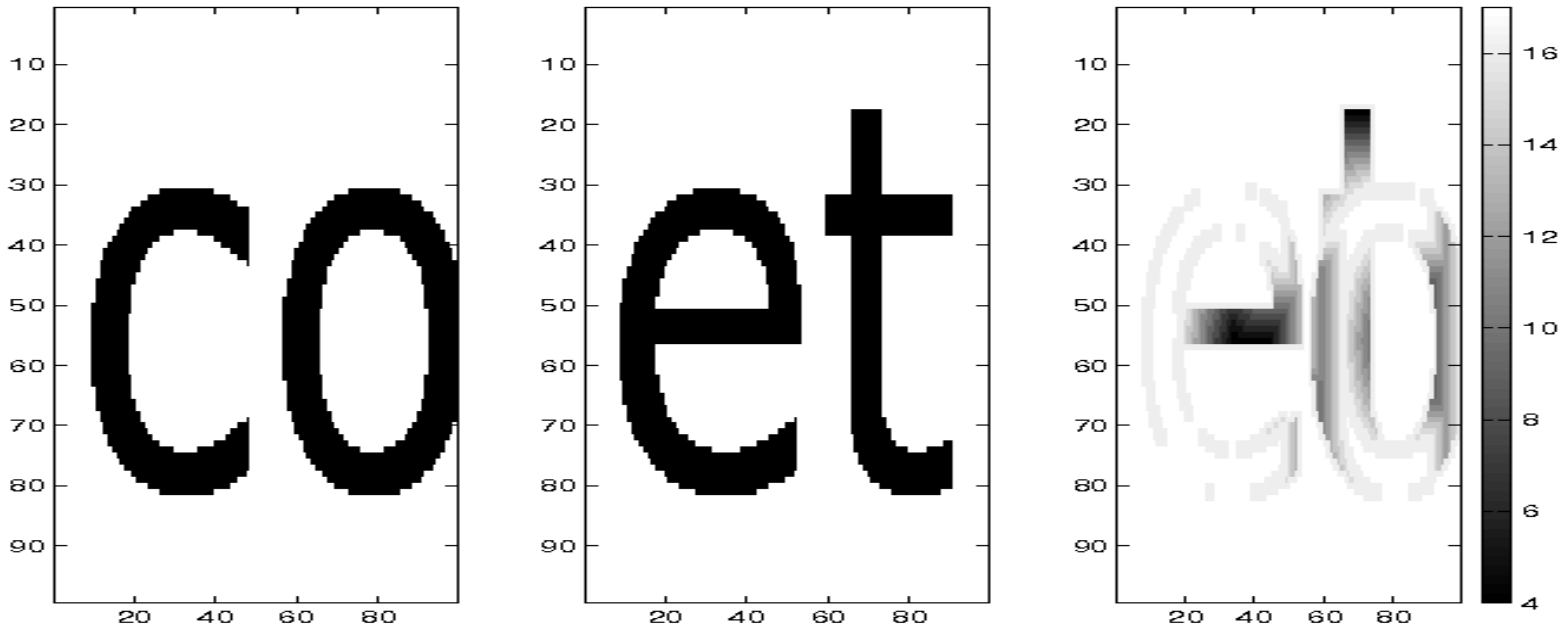


Figure: Les lettres CO et ET et leur CDL illustrant leurs dissimilarités locales.

Cas de la distance de Hausdorff

Expression mathématique de la CDL pour la distance de Hausdorff

$$\forall x \in \mathbb{R}^2, CDL(x) = |A(x) - B(x)| \max(d(x, A), d(x, B)) \quad (7)$$

Complexité : Pour des images de taille $m \times n$,
elle est de l'ordre de $m \times n$.

Cas de la distance de Hausdorff

Expression mathématique de la CDL pour la distance de Hausdorff

$$\forall x \in \mathbb{R}^2, CDL(x) = |A(x) - B(x)| \max(d(x, A), d(x, B)) \quad (7)$$

Complexité : Pour des images de taille $m \times n$,
elle est de l'ordre de $m \times n$.

Cas général

- mesure locale à fenêtre : quelconque (pratiquement)
  - vérifier les propriétés de croissance et de majoration
- même un algorithme pour trouver la meilleure fenêtre
- exemples de mesure de dissimilarité possible
  - la différence simple $\sum_{x \in X} |B(x) - A(x)|$
  - certaines DH modifiées (la DH partielle ...)

Généralisation aux images en niveaux de gris

- dans le cas de la distance de Hausdorff
  $CDL(x) = |A(x) - B(x)| \max(d(x, A), d(x, B))$
- pour les images en niveaux de gris
  - $x \mapsto d(x, A)$ est la Transformée en distance qui est généralisée aux images en niveaux de gris
  - $|A(x) - B(x)|$ reste valable en niveaux de gris

Comparaison entre images

- pas toutes les structures (analyse multirésolution)
- méthode de comparaison : Carte des dissimilarités locales
- **classification**

Plan

1. Introduction
2. Décomposition de l'image : l'analyse multirésolution
   - Cadre théorique
   - Choix de l'opérateur
3. Comparaison basée sur la mesure locale
   - Distance de Hausdorff
   - Définition de la mesure locale à fenêtre
   - Critère d'arrêt
   - Carte des dissimilarité locales
4. Applications
   - La base des impressions anciennes
   - Classification des cartes de dissimilarités locales
   - Résultats
5. Conclusion

- fond important à la MAT
- collaboration entre l'équipe image du CReSTIC, les chercheurs du CEPLECA et la MAT

- fond important à la MAT
- collaboration entre l'équipe image du CReSTIC, les chercheurs du CEPLECA et la MAT

Acquisition

- base en cours de constitution
- base expérimentale constituée avec Alain Robert
- caméra 512×512 et éclairage avec des tubes fluo.
- 68 impressions provenant des livres suivants :
  - *Figures de la Sainte Bible*, (Jean Oudot, 1735; Jean-Antoine Garnier, fin XVIII^e)
  - *L'Histoire des quatre fils d'Aymon*, (F. Chapoulaud, début XIX^e ; Jacques Garrigan, 1784 ; Blocquel-Castiaux, milieu XIX^e ; Pierre Garnier, début XVIII^e ; Nicolas Oudot, 1631 ; Citoyenne Garnier, début XIX^e)

Binarisation

- impressions NB
- impressions numérisées fortement contrastées
- binariser avec un seuillage local de Sauvola-Wolf

$$\tau(x,y) = \mu(x,y) - poids(\mu(x,y) - M)(1 - \frac{\sigma(x,y)}{R}) \quad (8)$$

avec

- $\mu(x,y)$ la moyenne locale,
- $\sigma(x,y)$ l'écart-type local,
- R la gamme dynamique de l'écart-type
- et M le minimum de l'histogramme.

Binarisation

- impressions NB
- impressions numérisées fortement contrastées
- binariser avec un seuillage local de Sauvola-Wolf

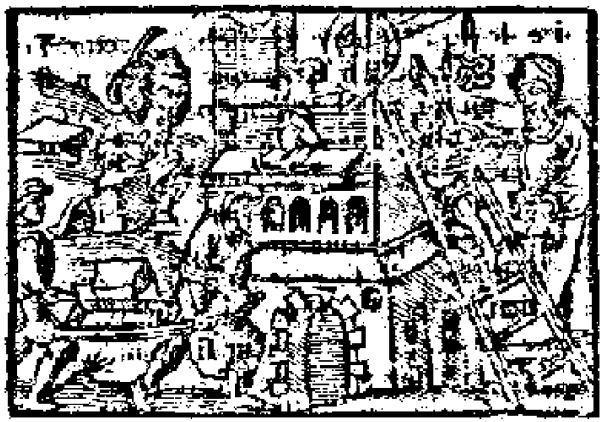
$$\tau(x,y) = \mu(x,y) - \mathit{poids}(\mu(x,y) - M)(1 - \frac{\sigma(x,y)}{R}) \quad (8)$$

avec

- $\mu(x,y)$ la moyenne locale,
- $\sigma(x,y)$ l'écart-type local,
- R la gamme dynamique de l'écart-type
- et M le minimum de l'histogramme.

Exemples (1)

Exemples (2)



Plan

1. Introduction
2. Décomposition de l'image : l'analyse multirésolution
   - Cadre théorique
   - Choix de l'opérateur
3. Comparaison basée sur la mesure locale
   - Distance de Hausdorff
   - Définition de la mesure locale à fenêtre
   - Critère d'arrêt
   - Carte des dissimilarité locales
4. Applications
   - La base des impressions anciennes
   - Classification des cartes de dissimilarités locales
   - Résultats
5. Conclusion

Problème

À partir d'une impression, retrouver les impressions illustrant la même scène (impressions similaires) dans une base numérisée.

- système automatique déterminant à partir de 2 images si elles sont similaires ou non
  - utiliser l'information de la Carte des dissimilarités Locales
  - classer la carte comme "similaire" : dans la classe C_{sim}
  - ou comme "dissimilaire" : dans la classe C_{dissim}
  - délicat $\longrightarrow$ classificateur avec apprentissage

Problème

À partir d'une impression, retrouver les impressions illustrant la même scène (impressions similaires) dans une base numérisée.

- système automatique déterminant à partir de 2 images si elles sont similaires ou non
  - utiliser l'information de la Carte des dissimilarités Locales
  - classer la carte comme "similaire" : dans la classe C_{sim}
  - ou comme "dissimilaire" : dans la classe C_{dissim}
  - délicat $\longrightarrow$ classificateur avec apprentissage

Problème

À partir d'une impression, retrouver les impressions illustrant la même scène (impressions similaires) dans une base numérisée.

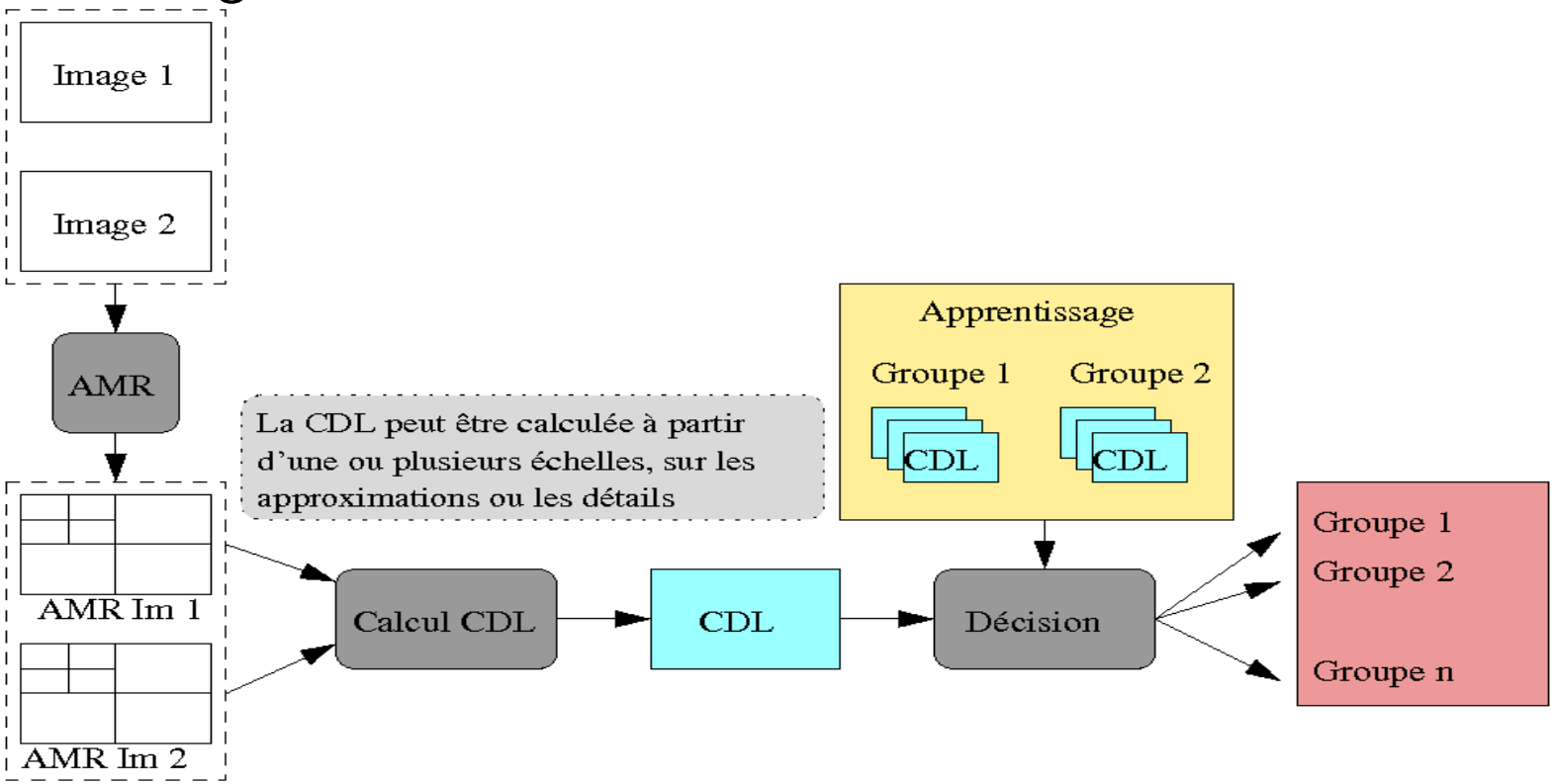
- système automatique déterminant à partir de 2 images si elles sont similaires ou non
  - utiliser l'information de la Carte des dissimilarités Locales
  - classer la carte comme "similaire" : dans la classe C_{sim}
  - ou comme "dissimilaire" : dans la classe C_{dissim}
  - délicat $\longrightarrow$ classificateur avec apprentissage

Problème

À partir d'une impression, retrouver les impressions illustrant la même scène (impressions similaires) dans une base numérisée.

- système automatique déterminant à partir de 2 images si elles sont similaires ou non
  - utiliser l'information de la Carte des dissimilarités Locales
  - classer la carte comme "similaire" : dans la classe C_{sim}
  - ou comme "dissimilaire" : dans la classe C_{dissim}
  - délicat $\longrightarrow$ classificateur avec apprentissage

Schéma global



- Schéma du processus global utilisant l'AMR, la CDL et le module de décision.
- C'est la carte qui est classée, par les images.

Heuristique de la classification

Les cartes des impressions similaires (C_{sim})

- dissimilarités majeurs cantonnées
- fortes valeurs regroupées dans la carte en zones

Heuristique de la classification

Les cartes des impressions similaires (C_{sim})

- dissimilarités majeurs cantonnées
- fortes valeurs regroupées dans la carte en zones

Heuristique de la classification

Les cartes des impressions similaires (C_{sim})

- dissimilarités majeurs cantonnées
- fortes valeurs regroupées dans la carte en zones

Heuristique de la classification

Les cartes des impressions dissimilaires (C_{dissim})

- dissimilarités réparties plus au hasard
- répartition des fortes valeurs relativement aléatoires

Heuristique de la classification

Les cartes des impressions dissimilaires (C_{dissim})

- dissimilarités réparties plus au hasard
- répartition des fortes valeurs relativement aléatoires

Heuristique de la classification

Les cartes des impressions dissimilaires (C_{dissim})

- dissimilarités réparties plus au hasard
- répartition des fortes valeurs relativement aléatoires

En entrée de la classification

1. histogramme de la carte des dissimilarités
   - 92% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité pas utilisée
2. courbe de granulométrie de la carte des dissimilarités
   - 91% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité utilisée en partie
   - information de l'histogramme perdue
3. $\longrightarrow$ la carte toute entière en entrée de la classification
   - carte de haute dimension
   - Classificateur utilisant un Séparateur à Vaste Marge (SVM)

En entrée de la classification

1. histogramme de la carte des dissimilarités
   - 92% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité pas utilisée
2. courbe de granulométrie de la carte des dissimilarités
   - 91% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité utilisée en partie
   - information de l'histogramme perdue
3. $\longrightarrow$ la carte toute entière en entrée de la classification
   - carte de haute dimension
   - Classificateur utilisant un Séparateur à Vaste Marge (SVM)

En entrée de la classification

1. histogramme de la carte des dissimilarités
   - 92% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité pas utilisée
2. courbe de granulométrie de la carte des dissimilarités
   - 91% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité utilisée en partie
   - information de l'histogramme perdue
3. $\longrightarrow$ la carte toute entière en entrée de la classification
   - carte de haute dimension
   - Classificateur utilisant un Séparateur à Vaste Marge (SVM)

En entrée de la classification

1. histogramme de la carte des dissimilarités
   - 92% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité pas utilisée
2. courbe de granulométrie de la carte des dissimilarités
   - 91% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité utilisée en partie
   - information de l'histogramme perdue
3. $\longrightarrow$ la carte toute entière en entrée de la classification
   - carte de haute dimension
   - Classificateur utilisant un Séparateur à Vaste Marge (SVM)

En entrée de la classification

1. histogramme de la carte des dissimilarités
   - 92% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité pas utilisée
2. courbe de granulométrie de la carte des dissimilarités
   - 91% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité utilisée en partie
   - information de l'histogramme perdue
3. $\longrightarrow$ la carte toute entière en entrée de la classification
   - carte de haute dimension
   - Classificateur utilisant un Séparateur à Vaste Marge (SVM)

En entrée de la classification

1. histogramme de la carte des dissimilarités
   - 92% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité pas utilisée
2. courbe de granulométrie de la carte des dissimilarités
   - 91% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité utilisée en partie
   - information de l'histogramme perdue
3. $\longrightarrow$ la carte toute entière en entrée de la classification
   - carte de haute dimension
   - Classificateur utilisant un Séparateur à Vaste Marge (SVM)

En entrée de la classification

1. histogramme de la carte des dissimilarités
   - 92% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité pas utilisée
2. courbe de granulométrie de la carte des dissimilarités
   - 91% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité utilisée en partie
   - information de l'histogramme perdue
3. $\longrightarrow$ la carte toute entière en entrée de la classification
   - carte de haute dimension
   - Classificateur utilisant un Séparateur à Vaste Marge (SVM)

En entrée de la classification

1. histogramme de la carte des dissimilarités
   - 92% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité pas utilisée
2. courbe de granulométrie de la carte des dissimilarités
   - 91% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité utilisée en partie
   - information de l'histogramme perdue
3. $\longrightarrow$ la carte toute entière en entrée de la classification
   - carte de haute dimension
   - Classificateur utilisant un Séparateur à Vaste Marge (SVM)

En entrée de la classification

1. histogramme de la carte des dissimilarités
   - 92% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité pas utilisée
2. courbe de granulométrie de la carte des dissimilarités
   - 91% de cartes bien classées en moyenne
   - répartition spatiale de la carte de dissimilarité utilisée en partie
   - information de l'histogramme perdue
3. $\longrightarrow$ la carte toute entière en entrée de la classification
   - carte de haute dimension
   - Classificateur utilisant un Séparateur à Vaste Marge (SVM)

Protocole expérimental

- base expérimentale de 68 impressions
- fournit 2278 cartes de dissimilarités
- répartition :
  - 125 comparent des impressions illustrant la même scène (C_{sim})
  - 2153 comparent des impressions illustrant des scènes différentes (C_{dissim})
- protocole
  - 50 cartes pour chaque classe en apprentissage
  - 75 cartes pour C_{sim} et 200 pour C_{dissim} en test

Plan

1. Introduction
2. Décomposition de l'image : l'analyse multirésolution
   - Cadre théorique
   - Choix de l'opérateur
3. Comparaison basée sur la mesure locale
   - Distance de Hausdorff
   - Définition de la mesure locale à fenêtre
   - Critère d'arrêt
   - Carte des dissimilarité locales
4. Applications
   - La base des impressions anciennes
   - Classification des cartes de dissimilarités locales
   - Résultats
5. Conclusion

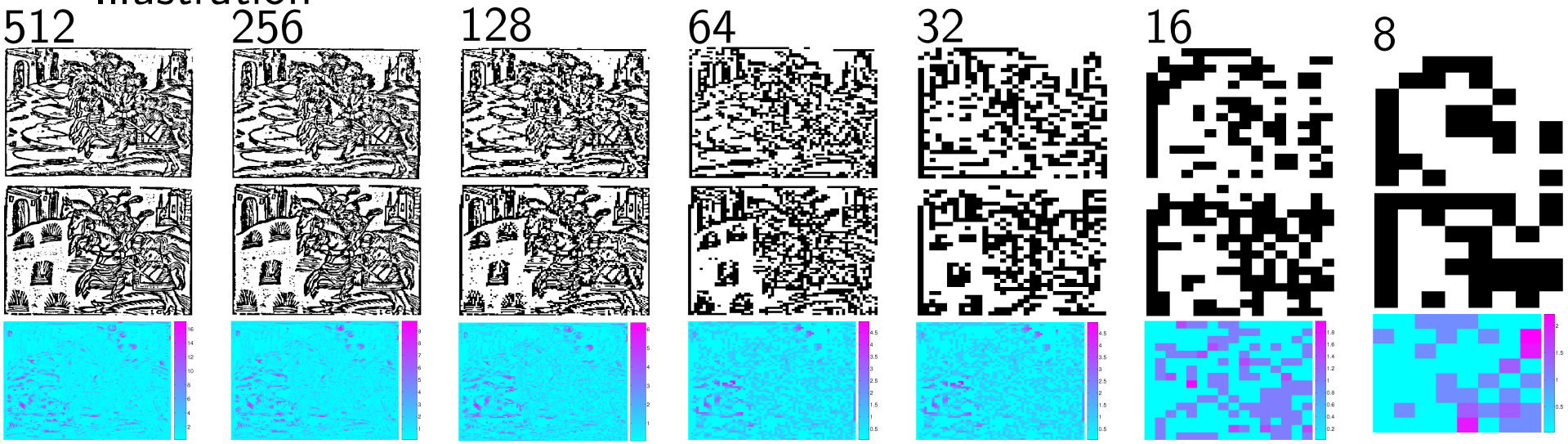
Résultats aux différentes résolutions

Un compromis doit être fait entre l'efficacité et le temps de calcul

résolution	512×512	256×256	128×128	64×64
pour C_{sim}	99,6%	99,6%	99,4%	98,6%
pour C_{dissim}	94%	94%	93,7%	91,1%
résolution	32×32	16×16	8×8	
pour C_{sim}	93,8%	86%	82%	
pour C_{dissim}	86,5%	80,5%	67,8%	

Table: CDL_{DH} : taux de reconnaissance lorsque les cartes de dissimilarités sont calculées après une analyse multirésolution. Les résultats restent bons jusqu'à la taille 32×32 : les images sont alors 16 fois plus petites que les images initiales.

Illustration



Résultats en distinguant trois groupes

- dans C_{sim} deux sous-classes peuvent être distinguées
  - impressions issues du même tampon (plus ou moins dégradé) : $C_{même}$
  - impressions illustrant la même scène provenant de deux tampons distincts : C_{proche}

retrouvé dans	$C_{même}$	C_{proche}	C_{dissim}
$C_{même}$	**98,3%**	0,3%	1,4%
C_{proche}	16,9%	**80,5%**	2,6%
C_{dissim}	1,3%	0%	**98,7%**

Table: CDL_{DH} : résultat du test de la classification en trois classes à la résolution 128×128.

Comparaison avec les mesures globales

	C_{sim}	C_{dissim}
Méthodes globales		
DH	60%	75%
DH partielle	83%	81%
DH modifiée	77%	83%
Méthodes vectorielles		
Histogramme :	91%	94%
Granulométrie	91%	91%
Vecteur des Valeurs de la CDL Classées	94%	88%
Méthodes 2D		
Différence Simple	66%	78%
$CDL_{difSimple}$	92%	94%
CDL_{DH} 128×128:	99,4%	93,7%
3 classes	98% 80%	98%

Bilan

- comparaison des images binaires est délicate car les attributs sont pauvres.
- nouvelle méthode de comparaison dimages binaires donnant accès
  - aux dissimilarités locales
  - à leur répartition spatiale
- repose sur une mesure locale qui peut être la distance de Hausdorff ou une autre
- application réussie à une base d'impressions anciennes

Perspectives

- méthode de caractérisation des filtres morphologiques
- effectuer des tests à plus grande échelle
- extraire des cartes les traits discriminants
  - accélérer la décision
  - décision non supervisée
- intégrer cette méthode dans des méthodes haut niveau

merci!