

# Les graphes en reconnaissance de formes

Pierre Héroux

Équipe Document et Apprentissage  
LITIS – Université de Rouen

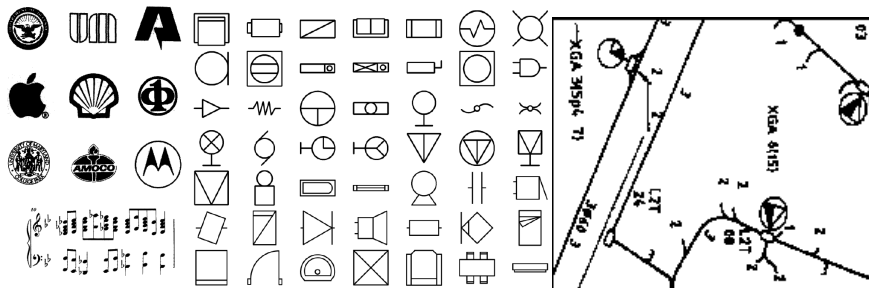


Journée reconnaissance des formes  
axe masse de données – NormaSTIC

# Plan

- 1 Introduction
- 2 Classification de graphes
- 3 Isomorphisme de sous-graphes
- 4 Indexation de graphes
- 5 Conclusion & perspectives

# Analyse d'images de documents graphiques



## Le traitement des symboles

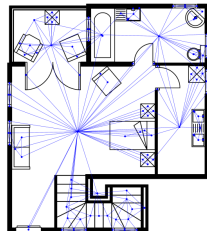
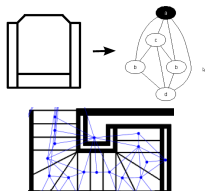
- Une littérature très abondante mais pas d'approche de référence
- Les verrous :
  - ▶ Un « lexique » important et très varié
  - ▶ Le paradoxe segmentation/reconnaissance

→ une problématique adaptée aux approches structurales

# Analyse d'images de documents graphiques

## Les symboles [Locteau][Barbu]

- Objets complexes
- Lexique important
- Souvent connectés



→ **Approches structurelles adaptées**

## Des avantages...

- Pouvoir de représentation
  - ▶ Relations complexes
- Taille non contrainte
- Notion de sous-parties
  - ▶ Recherche d'occurrences

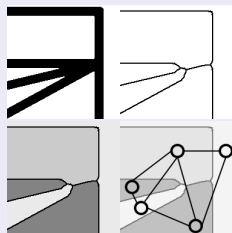
## ... mais des problèmes difficiles

- Calculs de dissimilarités
- Apprentissage supervisé, semi-supervisé, non supervisé
- Recherche de sous-graphes
- Fouille de graphes

# Documents et graphes

## Une modélisation commune pour le document graphique [Locteau][Barbu]

- Graphes d'adjacence de régions
  - ▶ Une région → un nœud
  - ▶ Relations entre régions → les arcs
- Attributs :
  - ▶ Nœuds : caractéristiques des régions
  - ▶ Arcs : relations de voisinage et topologiques



## Quatre contributions

- Sur les graphes isolés :
  - ▶ Classification de graphes [Sidère *et al.* 09][Raveaux *et al.* 11]
- Sur les graphes en contexte :
  - ▶ Recherche d'isomorphismes tolérants [Le Bodic *et al.* 09][Le Bodic *et al.* 12]
  - ▶ Indexation de graphes [Barbu *et al.* 05]

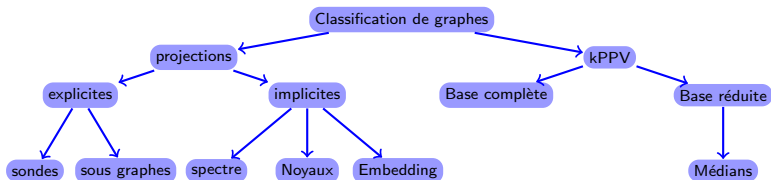
# Plan

- 1 Introduction
- 2 Classification de graphes**
- 3 Isomorphisme de sous-graphes
- 4 Indexation de graphes
- 5 Conclusion & perspectives

# Classification de graphes

## Le problème

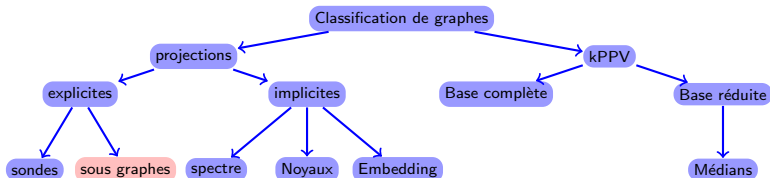
Soit  $G = \{g_i, y_i\}_{i=1, \dots, n}$  un ensemble de graphes avec  $(g, y) \in \mathcal{G} \times Y$ . On cherche une fonction  $f : \mathcal{G} \rightarrow Y$  telle que  $f(g) = \hat{y}$



# Classification de graphes

## Le problème

Soit  $G = \{g_i, y_i\}_{i=1, \dots, n}$  un ensemble de graphes avec  $(g, y) \in \mathcal{G} \times Y$ . On cherche une fonction  $f : \mathcal{G} \rightarrow Y$  telle que  $f(g) = \hat{y}$



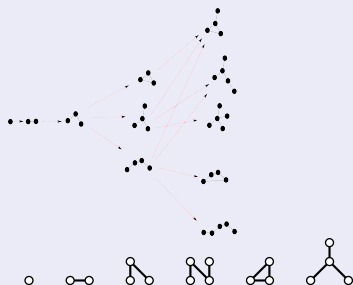
## Projection explicite de graphes

- Dénombrement de motifs topologiques [Sidère et al. 09]

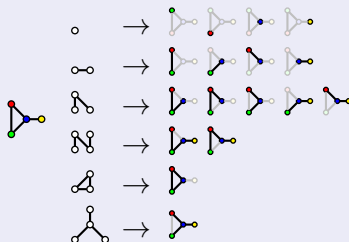


# Classification de graphes

## Lexique



## Projection



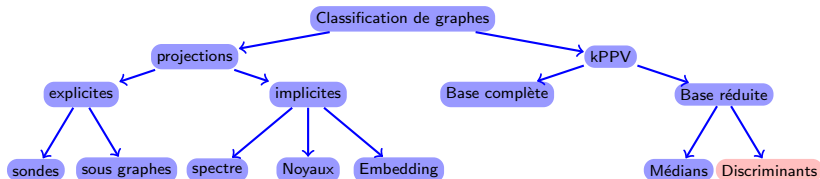
4	4	5	2	1	1

- Prise en considération des étiquettes
- Évaluation sur des bases publiques
  - temps d'extraction de la signature
  - + performances en classification
  - ⇒ intérêt en indexation de graphes

# Classification de graphes

## Le problème

Soit  $G = \{g_i, y_i\}_{i=1, \dots, n}$  un ensemble de graphes avec  $(g, y) \in \mathcal{G} \times Y$ . On cherche une fonction  $f : \mathcal{G} \rightarrow Y$  telle que  $f(g) = \hat{y}$



## Base réduite : un processus d'optimisation

- Prototypes médians [Jiang *et al.* 01] : minimisation des distances intra-classes
- Prototypes discriminants [Raveaux *et al.* 11] : optimisation d'un critère d'erreur

# Classification de graphes

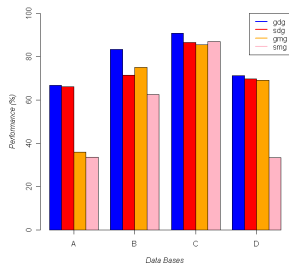
## Prototypes de graphes

Prototypes de graphes			
Prototypes de graphes	Graphes d'ensemble	Graphes médian d'ensemble	$smg = \arg \min_{g \in \mathcal{S}} \sum_{i=1}^n d(g, g_i)$
		Graphes discriminant d'ensemble	$\{sdg_i\} = \arg \min_{\{g_i\}_{i=1}^N \subset \mathcal{S}^N} \Delta(\mathcal{T}, \{g_i\}_{i=1}^N)$
	Graphes généralisés	Graphes médian généralisés	$gmg = \arg \min_{g \in \mathcal{U}} \sum_{i=1}^n d(g, g_i)$
		Graphes discriminant généralisés	$\{gdg_i\} = \arg \min_{\{g_i\}_{i=1}^N \subset \mathcal{U}^N} \Delta(\mathcal{T}, \{g_i\}_{i=1}^N)$
espace		critère	

# Classification de graphes

## Contributions [CVIU 11]

- Algorithme génétique dédié
  - ▶ Représentation des individus
  - ▶ Opérateurs spécifiques
- Deux espaces de recherche :
  - ▶ L'espace  $\mathcal{S}$  des graphes d'apprentissage : sélection
  - ▶ L'espace  $\mathcal{U}$  des graphes généralisés : génération



## Bilan

- + Un AG manipulant des graphes
- + Discriminant > Modélisant
- + Génération > Sélection
- Capacités de généralisation
- ~ Segmentation préalable des objets

# Plan

- 1 Introduction
- 2 Classification de graphes
- 3 Isomorphisme de sous-graphes**
- 4 Indexation de graphes
- 5 Conclusion & perspectives

# Isomorphisme de sous-graphes

## Le problème

- Recherche dans un graphe cible  $\mathcal{G}$  des occurrences d'un modèle  $\mathcal{S}$
- Problème NP-complet
- Littérature : recherche arborescente ([Ullmann], [Cordella], [Solnon])  
→ **Attributs nominaux**
- Spécificités
  - ▶ Attributs numériques (caractéristiques)
  - ▶ Bruit→ **Tolérance nécessaire**

## Adaptation pour la tolérance aux substitutions

- Modification des fonctions de compatibilité (problème de seuil)
- Considérer la recherche comme un processus d'optimisation

# Isomorphisme de sous-graphes

## Approche proposée [ICDAR'09] (collaboration LMI, LRI)

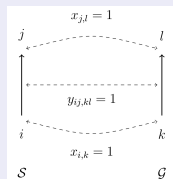
- Programmation linéaire en nombres entiers (PLNE)
  - ▶ Formulation en « programme mathématique »
  - ▶ Résolution par un solveur

### Des variables entières

$$\min_x c^t x$$

sous la contrainte  $Ax \leq b$

$$x \in C \subseteq \mathbb{Z}^n$$



### Un objectif linéaire

$$\min_{x,y} \left( \sum_{i \in V_S} \sum_{k \in V_G} c_V(i, k) * x_{i,k} + \sum_{ij \in E_S} \sum_{kl \in E_G} c_E(ij, kl) * y_{ij,kl} \right)$$

### Des contraintes linéaires

$$\sum_{k \in V_G} x_{i,k} = 1 \quad \forall i \in V_S$$

$$\sum_{kl \in E_G} y_{ij,kl} = 1 \quad \forall ij \in E_S$$

$$\sum_{i \in V_S} x_{i,k} \leq 1 \quad \forall k \in V_G$$

$$\sum_{kl \in E_G} y_{ij,kl} = x_{i,k} \quad \forall k \in V_G, \forall ij \in E_S$$

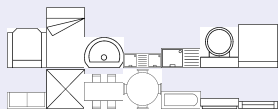
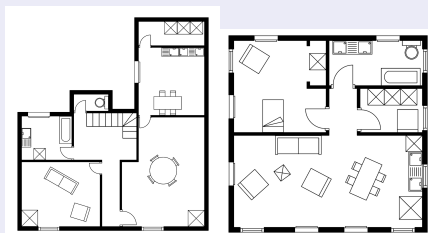
$$\sum_{kl \in E_G} y_{ij,kl} = x_{j,l} \quad \forall l \in V_G, \forall ij \in E_S$$

# Isomorphisme de sous-graphes

## Évaluation

- Comparaison avec *vf2* et *lad* sur bases synthétiques « exactes »
- Évaluation sur une application « inexacte » liée au document

## Les données [EPEIRES]



## Performances

- Recherche unique occurrence
  - ▶ Erreur = 18%
- Recherche occurrences multiples
  - ▶ Précision = 83%
  - ▶ Rappel = 71%

## Bilan

- Appariements exacts
- + Appariements tolérants



# Plan

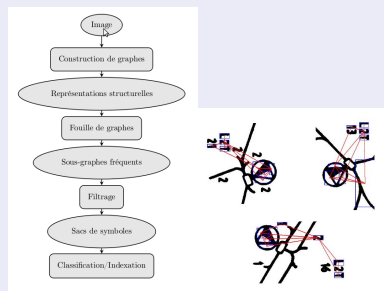
- 1 Introduction
- 2 Classification de graphes
- 3 Isomorphisme de sous-graphes
- 4 Indexation de graphes**
- 5 Conclusion & perspectives

# Indexation de graphes

## Le problème

- Indexer des documents *a priori* sur le « lexique » des symboles contenus.
- Approche « Bag of Symbols » (mots visuels représentés par des graphes)

## Représentation du document



## Performances

- Base de 60 documents
- 90% de bonne classification

## Bilan

- + Approche non supervisée
- Validation insuffisante

# Plan

- 1 Introduction
- 2 Classification de graphes
- 3 Isomorphisme de sous-graphes
- 4 Indexation de graphes
- 5 Conclusion & perspectives**

# Conclusion et perspectives

## Bilan

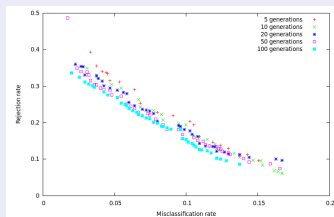
- Espace des graphes en classification
- Recherche d'isomorphisme = processus d'optimisation

## Adaptations de la formulation

- modification de la topologie, graphes contraints, appariements multivoques, sous-graphe commun, distance d'édition

## Classification

- Généralisation :
  - ▶ Archive supplémentaire
  - ▶ Critères multiples (Rejet)



# Références

- [Le Bodic *et al.* 12] P. Le Bodic, P. Héroux, S. Adam, Y. Lecourtier. An Integer Linear Program for Substitution-Tolerant Subgraph Isomorphism and its Use for Symbol Spotting in Technical Drawings. *Pattern Recognition*, to appear, 2012.
- [Raveaux *et al.* 11] R. Raveaux, S. Adam, P. Héroux, and E. Trupin. Learning graph prototypes for shape recognition. *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, 115(7) :pp. 905 - 918, 2011.
- [Sidère *et al.* 09] N. Sidère, P. Héroux, J.-Y. Ramel, Vector Representation of Graphs : Application to the Classification of Symbols and Letters. In *Proceedings of the International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'09)*, pp. 681-685, 2009.
- [Le Bodic *et al.* 09] P. Le Bodic, H. Locteau, S. Adam, P. Héroux, Y. Lecourtier, and A. Knippel. Symbol detection using region adjacency graphs and integer linear programming. In *Proceedings of the International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'09)*, pp. 1320-1324. 2009.
- [Barbu *et al.* 05] E. Barbu, P. Héroux, S. Adam, and E. Trupin. Frequent graph discovery : Application to line drawing document images. *Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis (ELCVIA)*, 5(2) : 47-57, 2005.