HAL
open science

Détection d'Arcs de Cercle par Comparaison du Tracé Théorique de Bresenham

Hervé Locteau, Sébastien Adam, Eric Trupin, Jacques Labiche, Pierre Héroux

To cite this version:

Hervé Locteau, Sébastien Adam, Eric Trupin, Jacques Labiche, Pierre Héroux. Détection d'Arcs de Cercle par Comparaison du Tracé Théorique de Bresenham. Colloque International Francophone sur l'Ecrit et le Document, 2004, La Rochelle, France. pp.285-290. hal-01249447

HAL Id: hal-01249447

https://hal.science/hal-01249447v1

Submitted on 1 Jan 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Détection d'Arcs de Cercle par Comparaison du Tracé Théorique de Bresenham

Hervé Locteau – Sébastien Adam – Eric Trupin – Jacques Labiche – Pierre Héroux

Laboratoire PSI
CNRS FRE 2645 - Université de Rouen
Place E. Blondel
UFR des Sciences et Techniques
F-76 821 Mont-Saint-Aignan cedex

{Prenom.Nom}@univ-rouen.fr

Résumé : *Dans le contexte de l'interprétation de documents techniques, les systèmes existants s'appuient sur une extraction de primitives de bas niveau. Si les travaux concernant la détection de segments de droites bénéficient d'une certaine maturité, force est de constater que la détection d'arcs de cercle ne dispose pas encore de véritable solution. C'est donc dans cette optique que cet article propose une nouvelle approche concernant cet aspect. Notre détection repose sur l'évaluation de la distance de Hausdorff entre une branche du squelette et l'arc de cercle théorique construit selon l'algorithme de Bresenham. Nous présentons quelques résultats préliminaires à partir du benchmark élaboré lors du workshop GREC'01.*

Mots-clés : Détection arcs de cercle, Bresenham, GREC 2001.

1 Contexte

La problématique de l'analyse de documents techniques induit la manipulation d'objets reconstruits selon le domaine considéré. [OGI 94], par exemple, introduit dans ses travaux la nécessité d'utiliser une démarche de rétro-conversion s'inspirant du cycle perceptif. Celui-ci consiste à décomposer les étapes de reconnaissance à travers une hiérarchie de concepts (allant de l'image aux entités sémantiques de haut niveau) entre lesquels un cycle d'émission-validation d'hypothèses permet d'alimenter les couches supérieures. Toutefois, afin d'amorcer l'interprétation d'une image de document, les systèmes reposent pour une part importante sur la première couche d'informations. Pour certaines classes de documents, les briques élémentaires ne peuvent pas se limiter aux segments linéaires et un processus de détection d'arcs de cercle, notamment, s'impose. Concernant ce dernier aspect, [DOR 98] appuient leurs travaux sur le fait que l'ensemble des médiatrices d'un arc de cercle polygonalisé s'intersectent dans une zone réduite. Les segments pris en considération sont obtenus en imposant une plage de valeurs concernant leurs longueurs afin d'avoir suffisamment de précision dans le calcul de la médiatrice d'une part, et un nombre d'intersections significatif d'autre part. Aussi, l'hypothèse d'un arc de cercle est propagée aux segments connectés aux extrémités courantes dans la mesure où leurs médiatrices respectent les mêmes contraintes. Rosin & West exploitent quant à eux dans [ROS 89] la constance du rayon. L'algorithme fonctionne donc en considérant les extrémités P_0 et P_n d'une composante et le point P_i passant par la parallèle à (P_0P_n) la plus éloignée. Après avoir déterminé la position d'un centre C hypothétique, l'étude de la variance des distances CP_j permet de valider la présence d'un arc. Dans la négative, le même processus est répété en scindant la composante initiale au niveau du point le plus éloigné de l'arc. [DOS 00] combinent quant à eux les deux approches précédentes en utilisant la première pour l'émission d'hypothèse et la seconde pour la validation.

Le Workshop GREC 2001 a permis d'établir un benchmark sur l'évaluation de performances des algorithmes de détection d'arcs selon [LIU 97]. À ce jour, seuls [ELL 01] et [HIL 01] ont communiqué leurs résultats en utilisant ce dispositif. Dave Elliman s'inspire des travaux de [DOR 98] en ayant au préalable lissé le squelette dans la mesure où les extrémités des polylignes sont potentiellement des points de jonction que l'algorithme de vectorisation ne gère pas convenablement. Xavier Hilaire quant à lui utilise une propagation d'hypothèses sur les segments voisins et valide chaque hypothèse par un critère de moindres carrés.

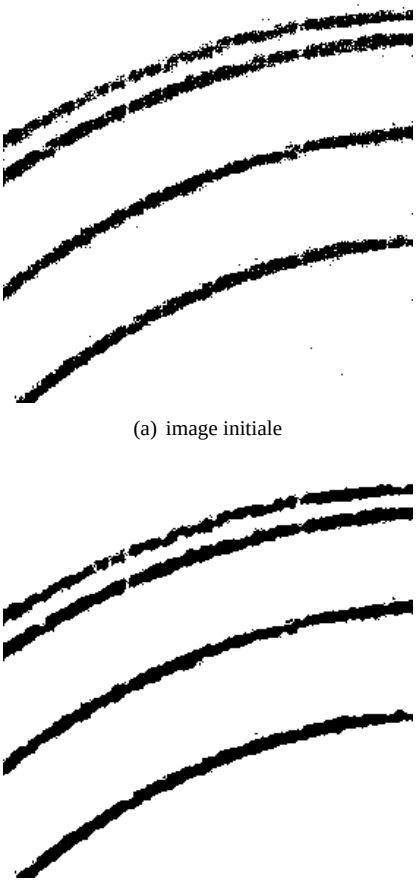
Nous exploitons pour notre part la polygonalisation par le biais de l'algorithme de la corde en imposant un seuillage automatique concernant la distance du point le plus éloigné. La validation d'une hypothèse est effectuée par le biais d'une distance de Hausdorff entre une composante et la représentation obtenue par l'algorithme de [BRE 77].

La section (2) présente l'ensemble des étapes permettant d'obtenir une squeletisation pertinente de l'image tandis que la section (3) détaille notre approche. Enfin les sections (4) et (5) illustrent nos résultats et nos perspectives.

2 Etapes préliminaires

2.1 Pré-traitements

De par l'échantillonage effectué au moment de la retranscription électronique d'un document papier, ainsi que les imperfections initialement présentes, un certain nombre de pré-traitements s'impose pour restaurer l'information per-



(a) image initiale

(b) image obtenue

FIG. 1 – Correction de l'image (1(a)) par suppression des occlusions (1(b))

due. Ces opérations, de bas niveau, peuvent être mises en place par un ensemble d'heuristiques ou guidées par un niveau d'abstraction supérieur (introduction de la connaissance du domaine). Dans la mesure où nos travaux sur ce dernier point ne sont qu'à un stade préliminaire, seuls les traitements basés sur des heuristiques peuvent être ici exposés.

Deux catégories d'événements sont actuellement prises en compte. La première concerne la présence de pixels noirs isolés[1] tandis que la seconde correspond à celle d'occlusions. Plus globalement, les traitements devant être mis en œuvre reviennent donc à séparer l'image en couches :

- les éléments considérés comme étant parasites,
- le texte[2],
- le graphique.

Concernant les occlusions, nous supprimons de la couche graphique, itérativement, tout pixel blanc dont le voisinage contient au moins[3] 5 pixels noirs successifs dans les directions consécutives de Freeman (cf figure 1).

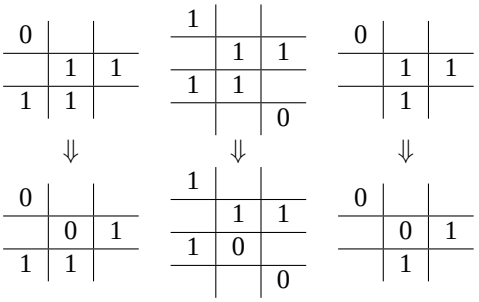
[1]La 8-connexité étant prise en considération.

[2]De nombreux travaux sur ce sujet, tels que [TOM 02], s'appuient sur l'approche de Fletcher et Kasturi [FLE 88]

[3]Valeur évaluée expérimentalement

2.2 Squeletisation

Une fois les pré-traitements effectués en vue d'améliorer les résultats de notre chaîne de traitements, nous appliquons l'algorithme de [ZHA 84] pour pouvoir extraire le squelette. Cet algorithme, dans la famille des méthodes basées sur les amincissements successifs, fonctionne en deux étapes et fournit en sortie une image dite *fil de fer* des composantes initiales de notre image. À son issue, nous appliquons une nouvelle série de filtres (un ensemble de règles plus précisément), arbitraires, afin de ne préserver qu'une connexité minimale entre pixels (en une seule passe sur l'image). Le tableau 1 présente ces règles en omettant celles que l'on obtient par rotation ou symétrie du contexte.



TAB. 1 – Principales règles de simplification du squelette

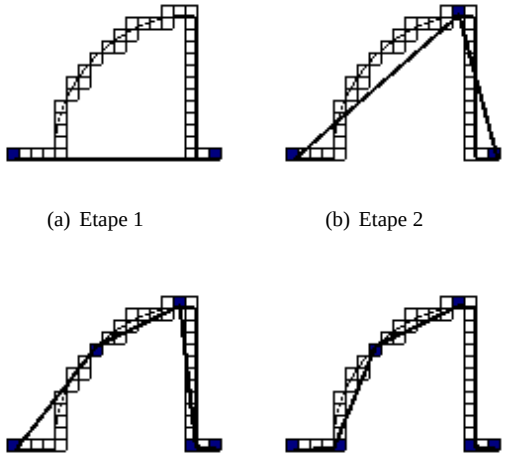
Une étape d'ébarbulage peut alors intervenir pour supprimer toutes les jonctions du squelette susceptibles de modifier de manière significative le niveau de représentation considéré. En effet, un contour bruité engendre, selon la méthode de squeletisation (couplée directement dans certains cas avec la vectorisation), l'apparition de barbules d'une part et le déplacement du point de jonction d'autre part[4].

2.3 Construction du graphe associé

Une fois le squelette simplifié obtenu, une phase de segmentation construit un graphe dont les noeuds sont les points de connexion et les arcs les branches du squelette.

La segmentation du squelette consiste à isoler les branches de celui-ci *ie* à fournir des composantes connexes CC_c dont seules les extrémités sont susceptibles d'avoir plus de 2 voisins (jonction). Ainsi, un algorithme récursif est mis en place pour construire une liste ordonnée de points. La construction d'une telle liste est amorcée à la rencontre d'un pixel noir, noté P_0, qui n'a pas encore été pris en compte. Puisque les pixels ont un nombre limité de voisins, suite à la simplification que nous avons opérée, l'étude du voisinage nous permet de définir s'il s'agit ou non d'un point de connexion. Dans la mesure où l'amorçage de la création d'une branche peut ne pas être effectué au niveau d'une extrémité, l'ajout des points P_i dans la liste se fait soit au début, soit à la fin de la liste, en étudiant le voisinage de P_0. La branche CC_c est effective lorsque le voisinage ne permet plus d'ajouter de points : points déjà affectés, plus de deux voisins non affectés (point de jonction).

[4]Le lecteur, intéressé par le traitement des jonctions de squelettes, pourra notamment se reporter aux travaux de Song-Chun Zhu [ZHU 99] ou plus récemment à ceux de l'équipe Qgar [HIL 04]



(a) Etape 1 (b) Etape 2

(c) Etape 3 (d) Etape 4

FIG. 2 – Etapes successives de polygonalisation

Par la même occasion, l'épaisseur de la branche est obtenue en moyennant les distances entre les P_i et le fond.
L'ensemble des branches du squelette est alors fourni à la vectorisation qui se propose d'interpréter, à bas niveau, l'intention du dessinateur. Si seul le squelette est actuellement pris en compte, la même démarche peut bien évidemment être adoptée au niveau des contours.

3 Vectorisation des branches

Notre algorithme de vectorisation adopte une démarche classique d'approximation que l'on peut qualifier de "split & merge". La première étape consiste à estimer la distance entre une branche CC_c (ou sous-branche $CC_{c,s}$) et le segment $S_c = AB$ (respectivement $S_{c,s}$) reliant ses extrémités. Une décision est alors prise concernant la détection d'une ligne ou d'un arc. Si aucune de ces primitives ne bénéficie d'une mesure de confiance suffisante, la branche est scindée en deux au niveau du point le plus éloigné de S_c (cf. figure 2).

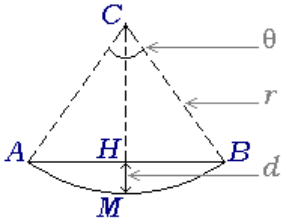


FIG. 3 – Configuration d'un angle au centre inférieur à π

3.1 Estimation des paramètres des primitives

De manière générale, les segments $S_{c,s}$ sont obtenus en utilisant l'algorithme de [RAM 72]. Un segment est détecté lorsque le point du squelette le plus éloigné de la polyligne est situé à une distance d inférieure à $\delta_{Ligne} \times \|S_{c,s}\|$. La confiance alors attribuée à cette hypothèse est proportionnelle au rapport $d/\|S_{c,s}\|$. Les paragraphes qui suivent illustrent les trois méthodes que nous avons exploré en vue d'estimer les paramètres des arcs de cercles.

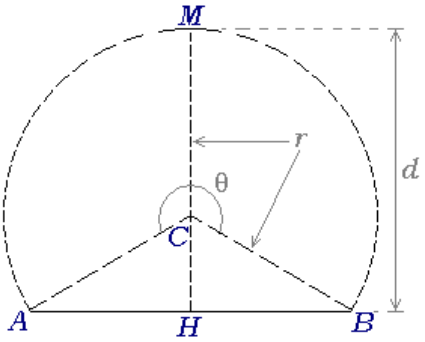


FIG. 4 – Configuration d'un angle au centre supérieur à π

3.1.1 Arcs de cercle : la fonction $\arctan$

Nos premiers pas nous ont conduit à utiliser la fonction $\arctan$ afin d'émettre l'hypothèse d'un arc de cercle. En reprenant les notations de la figure 3, le quotient $\|MH\|/\|AH\|$ nous permet d'estimer l'angle au centre θ correspondant à $\widehat{CA,CB}$ où C désigne le centre de l'arc de cercle au niveau d'une polyligne d'extrémités A et B. En première approximation, nous considérons $\|AH\|$ comme étant égal à la moitié de $\|AB\|$. L'angle θ et le rayon r sont donc obtenu en appliquant les formules (1) et (2).

$$\theta = 4 \times \arctan\left(2 \times \frac{\|MH\|}{\|AB\|}\right) \quad (1)$$

$$r = \|AC\| = \|BC\| = \frac{1}{2} \times \frac{\|AB\|}{\sin(\theta/2)} \quad (2)$$

De par le choix d'utilisation de la fonction $\arctan$, nous nous devons de vérifier la plage de valeurs valide quant à l'estimation de l'angle θ. La dérivée troisième de $\arctan$ (3) nous permet de déterminer l'abscisse du point au-delà de laquelle une faible erreur sur le quotient de l'équation (1) aurait un impact significatif.

$$\arctan^3(x) = 2 \times \frac{(1+x^2) \times (3x^2-1)}{(1+x^2)^4} \quad (3)$$

$$\arctan^3(x) = 0 \Leftrightarrow x = \pm\sqrt{3}/3 \quad (4)$$

Bien qu'intuitivement, la borne[5] se situe à $\pi/4$, cette étude théorique nous permet de rafiner l'intervalle de confiance dans l'estimation de θ, et donc, de l'ensemble des paramètres de l'arc.
Cette démarche impose d'introduire un seuil au niveau de l'algorihtme de [RAM 72] : $\|MH\| \leq \|AB\| \times 2\sqrt{3}/3$.

3.1.2 Arcs de cercle : le théorème de Pythagore

Nous dissocions ici deux configurations afin de déterminer les paramètres d'un arc de cercle selon que l'arc possède un angle au centre inférieur ou supérieur à π. La figure 3 [respectivement 4] représente une polyligne retenue par

[5] La fonction $\arctan$ étant impaire, nous ne parlons que d'une seule borne par abus de langage.

l'algorithme de Ramer dans le cas où l'angle $\widehat{CA,CB} < \pi$ [respectivement $\widehat{CA,CB} > \pi$].

Dans le cas où $\theta < \pi$, en exprimant le théorème de Pythagore au niveau du triangle AHC, en remarquant que $\|AC\| = r$ et que $\|HC\| = R - d$, on obtient l'expression (5).

Dans le cas où $\theta > \pi$, nous utilisons les expressions analogues au niveau des triangles AHM et AHC. On constate alors que le rayon r est également donnée par l'équation (5).

$$r = \frac{4d^2 + \|AB\|^2}{8d} \tag{5}$$

Les méthodes précédentes ne nous fournissant que le rayon, il convient alors de déterminer la position de C en fonction des paramètres retenus, ainsi que les notions d'angles de début et de fin de cet arc hypothétique, soit le vecteur de paramètres $\phi(CCc, s) = [\theta_{deb}, \theta_{fin}, r, C]$.

3.1.3 Arcs de cercle : les moindres carrés

Une solution naturelle pour estimer les paramètres d'un ensemble de données lorsqu'on dispose d'un modèle théorique est d'utiliser une approche à base des moindres carrés. Cette méthode ne présente pas la contrainte évoquée pour celle qui repose sur la fonction $\arctan$. Toutefois, les calculs pour un tel modèle sont extrémement conséquents et on doit souvent recourir à un facteur de normalisation durant les calculs lorsque les coordonnées des points sont élevées.

3.2 Optimisation des paramètres

Afin de fiabiliser ces détections, diverses démarches peuvent être entreprises. Concernant les deux premières approches, nous considérons le fait que le point M du squelette peut être source d'erreurs. Pour y remédier nous étudions une plage de valeurs de d : $d \pm \alpha_M w_{c,s}$ où $w_{c,s}$ désigne l'épaisseur de la composante en question. Plus généralement, les extrémités d'une composantes sont susceptibles d'être déplacées s'il s'agit de jonctions au niveau du squelette. Si tel est le cas, les extrémités considérées sont les points situés à une distance $\alpha_E w_{c,s}$ des jonctions.

3.3 Critère de confiance

Les paramètres d'un arc hypothétique permettent, à travers l'algorithme de Bresenham [BRE 77], de déterminer l'ensemble des points de l'arc théorique induit par ces paramètres. Cet algorithme permettant de ne dessiner qu'avec un minimum de points l'arc en question, la phase de nettoyage du squelette (section 2.2) rend cohérente la comparaison entre ces deux ensembles dans la mesure où une connexité minimale est imposée dans chacun d'eux. Nous utilisons alors une distance de Hausdorff reposant elle-même sur la norme infinie. La mesure de similarité est alors obtenue par la formule (6).

$$\mu(CC_{c,s} \in \mathcal{C}) = \frac{D(CC_{c,s}, Bresenham(\phi(CCc, s)))}{r} \tag{6}$$

où D désigne la distance de Haussdorff (7).

$$D(A, B) = \max(d(A, B), d(B, A)) \tag{7}$$
$$d(X, Y) = \frac{1}{card(X)} \sum_{x \in X} \min_{y \in Y} \|xy\|_\infty$$

Nous vérifions également que la moyenne de la distance de Hausdorff ne masque pas un élément atypique en imposant : $\forall x \in X, \min_{y \in Y} \frac{\|xy\|_\infty}{r} < \delta_{arc}$

3.4 Fusion de primitives

Quelque soit la méthode utilisée pour lister les hypothèses d'arcs de cercle ou de lignes, l'approche que nous avons présenté doit inclure un processus de fusion puisque les primitives, mises en évidence jusqu'alors, n'ont pour support qu'une branche du squelette. Il convient donc de mettre en place un processus de fusion restituant, autant que faire se peut, la vérité terrain.

Le graphe obtenu à l'issue de la squeletisation nous a permis de lister les jonctions, et donc, un certain nombre de fusions potentielles $\mathcal{F}$ en plus de celles que l'on a pour chaque branche. Considérant que la construction du squelette peut être incomplète, on ajoute également à l'ensemble $\mathcal{F}$ les couples de primitives dont les extrémités sont à une distante inférieure à un certain seuil.
A chaque étape de notre processus, on envisage les fusions impliquant la primitive dont le critère de confiance est le plus élevé. On retient alors parmi les fusions possibles celle qui bénéficie de la crédibilité maximale. Ce processus est répété jusqu'à ce que $\mathcal{F}$ soit égal à $\emptyset$. La fusion est opérée en utilisant l'une des deux dernières approches.

	D. Elliman	X. Hillaire	H. Locteau	
			MMC	Trig.
Gau05	**0.904**	0.891	0.707	0.733
Frq03	0.853	**0.889**	0.690	0.722
Pen03	0.896	**0.944**	0.685	0.773
Geo03	0.927	**0.958**	0.724	0.759
VRI_{moy}	0.895	**0.921**	0.701	0.747
P1	0.547	0.707	**0.741**	0.602
P2	**0.482**	0.311	0.327	0.407
P3	0.371	0	0.362	0.312
VRI_{moy}	0.467	0.339	**0.477**	0.440
VRI_{total}	**0.681**	0.630	0.589	0.593

TAB. 2 – Scores obtenus par Minimisation des Moindres Carrés (MMC) et par l'approche trigonométrique (trig.)

4 Evaluation des performances

A l'occasion du Workshop GREC 2001, un effort a été effectué pour mettre à disposition un benchmark concernant la détection d'arcs de cercles[6]. Les modalités du concours qui s'en suivit sont détaillées dans [WEN 01]. Le tableau 2 permet de situer nos résultats.

[6] http ://www.cs.cityu.edu.hk/~liuwy/ArcContest/ArcSegContest.htm

Il apparaît que nos résultats ne sont pas à la hauteur de ceux obtenus par D. Elliman et X. Hilaire concernant les images synthétiques. Ceci s'explique notamment par le fait que les pré-traitements mis en œuvre ne permettent pas de corriger la première ligne de ces images dont le tracé est unitaire. Le nombre de points de chaque composante étant insuffisant, le processus décrit précédemment ne peut alors détecter d'arcs. Le taux de reconnaissance VRI (Vector Recovery Index) prend en considération les fausses détections ainsi que la sous-segmentation. Nos résultats concernant les images digitalisées mettent en évidence la perfectibilité de notre méthode de fusion.

5 Conclusions et perspectives

Cet article propose une nouvelle approche, dans la famille des méthodes basées sur la vectorisation, en matière de détection d'arcs de cercle. Suite à une polygonalisation en utilisant l'algorithme de la corde, nous validons nos hypothèses de détection d'arcs en nous appuyant sur le tracé théorique de Bresenham. Notre pensons améliorer la validation d'hypothèses en incluant un retour à l'image et non plus nous contenter du squelette. Une combinaison des méthodes présentées semble également intéressante. Tout comme les travaux de [SON 02] l'illustrent, une représentation multi-résolution de l'image permet, en plus d'allèger la charge de calculs, de fournir des résultats pertinents tout en s'abstenant d'opérer un certain nombre de pré-traitements en vue de corriger une image. Les résultats sur un tel benchmark permettent d'évaluer la pertinence d'une approche. Toutefois, l'extraction de primitives graphiques ne prend son sens que lorsque celle-ci est incorporée dans une chaîne d'analyse d'images. Par la suite, nous souhaitons adopter une approche système allimentée par nos détections de bas niveau. La hiérarchie de concepts, du domaine de connaissance alors considéré, nous permettra d'adapter localement nos seuils afin de reconstruire la sémantique du document.

Références

[BRE 77] BRESENHAM J., A Linear Algorithm for Incremental Digital Display of Circular Arcs, *Communications of the ACM*, vol. 20, n° 2, 1977, pp. 100–106.

[DOR 98] DORI D., LIU W., Stepwise Recovery of Arc Segmentation in Complex Line Environments, *International Journal on Document Analysis and Recognition*, vol. 1, n° 1, 1998, pp. 62–71.

[DOS 00] DOSCH P., MASINI G., , TOMBRE K., Improving Arc Detection in Graphics Recognition, *ICPR*, 2000.

[ELL 01] ELLIMAN D., TIF2VEC, An Algorithm for Arc Segmentation in Engineering Drawings, D. BLOSTEIN Y.-B. K. E., Ed., *Graphics Recognition. Algortihms and Applications : 4th International Workshop, GREC 2001*, Kingston, Ontario, 2001, Springer-Verlag Heidelberg, pp. 350–358.

[FLE 88] FLETCHER L., KASTURI R., A Robust Algorithm for Text String Separation from Mixed Text/Graphics Images, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 10, n° 6, 1988, pp. 910–918.

[HIL 01] HILAIRE X., RANVEC and the Arc Segmentation Contest, D. BLOSTEIN Y.-B. K. E., Ed., *Graphics Recognition. Algortihms and Applications : 4th International Workshop, GREC 2001*, Kingston, Ontario, 2001, Springer-Verlag Heidelberg, pp. 359–364.

[HIL 04] HILAIRE X., Segmentation Robuste de Courbes Discrètes 2D et Applications à la Rétroconversion de Documents Techniques, PhD thesis, INP de Lorraine, 2004.

[LIU 97] LIU W.Y.AND DORI D., A Protocol for Performance Evaluation of Line Detection Algorithms, *Machine Vision and Applications, Special Issue on Performance Characteristics of Vision Algorithms*, vol. 9, n° 5, 1997, pp. 240–250.

[OGI 94] OGIER J., Contributions à l'Analyse Automatique de Documents Cartographiques : Interprétation de Données Cadastrales, PhD thesis, Université de ROUEN, 1994.

[RAM 72] RAMER U., An Iterative Procedure for the Polygonal Approximation of Plane Curves, *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 1, 1972, pp. 244–256.

[ROS 89] ROSIN P., WEST G., Segmentation of Edges into Lines and Arcs, *Image and Vision Computing*, vol. 7, n° 2, 1989, pp. 109–114.

[SON 02] SONG J., SU J., TAI C., , CAI S., An Object-Oriented Progressive-Simplification-Based Vectorization System for Engineering Drawings : Model, Algorithm, and Performance, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, n° 8, 2002, pp. 1048–1060.

[TOM 02] TOMBRE K., TABBONE S., PÉLISSIER L., LAMIROY B., , DOSCH P., Text/Graphics Separation Revisited, D. LOPRESTI J. HU R. K. E., Ed., *In Proceedings of 5th International Workshop on Document Analysis Systems*, vol. 2423, Princeton, New Jersey, USA, august 2002, Springer Verlag, pp. 200–211.

[WEN 01] WENYIN L., ZHAI J., , DORI D., Extended Summary of the Arc Segmentation Contest, D. BLOSTEIN Y.-B. K. E., Ed., *Graphics Recognition. Algortihms and Applications : 4th International Workshop, GREC 2001*, vol. 2390, Kingston, Ontario, 2001, Springer-Verlag Heidelberg, pp. 343–349.

[ZHA 84] ZHANG T., SUEN C., A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns, *Communications of the ACM*, vol. 27, 1984, pp. 236–239.

[ZHU 99] ZHU S., Stochastic Jump-Diffusion Process for Computing Medial Axes in Markov Random Fields, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, n° 11, 1999, pp. 1158–1169.