



# Fermeture de contours et vision préattentive

J.L. Pinel, J.P. Cocquerez, L. Hafemeister.

Equipe Traitement des Images et du Signal

ENSEA, 6 Av. du Ponceau, 95014 Cergy Pontoise Cedex

mail : cocquerez@ensea.fr

## RÉSUMÉ

En analyse d'images, la fermeture de contours est un traitement de bas-niveau dont le rôle est d'apporter une information pertinente aux traitements ultérieurs à l'extraction de contours. Plusieurs méthodes sont présentées et caractérisées en fonction de ces traitements ultérieurs qui peuvent être la segmentation, la reconnaissance des formes, etc.

## ABSTRACT

In image analysis, edges features closing is a low level processing the goal of which is to raise information relevant for further processing. Several methods are introduced and characterized regarding further processing such as segmentation, pattern recognition, etc.

## 1 INTRODUCTION

Les mécanismes de fermeture, intervenant après une détection de contours, cherchent à compléter la carte des contours de manière à apporter une information plus pertinente aux étages de traitements ultérieurs. Plusieurs objectifs peuvent alors être différenciés. En segmentation par exemple, des contours parfaitement fermés sont nécessaires pour définir différentes régions. En reconnaissance de scène, par contre, c'est l'émergence de formes et non la fermeture exacte des contours qui prime. Aussi le choix d'une méthode de fermeture de contours doit tenir compte de ces différents objectifs. En fonction du type de lacune à traiter et de l'information présente au niveau de l'image, certains mécanismes pourront alors être favorisés.

## 2 DEFINITION D'UNE LACUNE ET DIFFERENTES APPROCHES POUR LA FERMETURE

Une lacune, ou défaut, se révèle lorsqu'une discontinuité d'intensité locale conduit à un contour fragmenté alors que l'oeil ou la réalité de la scène conduirait à un résultat plus complet. Le bruit, un défaut d'illumination sont typiquement à l'origine de certaines lacunes que les opérateurs d'extraction de contours font apparaître suite au réglage d'un seuil. Ce dernier résulte d'un compromis pour détecter un contour "vrai" du bruit. L'information "contour" est alors présente au niveau des variations de niveaux de gris de l'image mais le mécanisme de détection non adaptatif la néglige. Le phénomène d'occlusion fait appel à un autre principe. L'information "contour" n'est pas alors liée à un quelconque gradient local mais à un mécanisme de perception qui est sensible à une organisation spatiale des lacunes. Ce type de contour est alors usuellement appelé "contour virtuel".

Parmi les approches possibles, nous avons choisi de présenter :

- les méthodes exploitant les techniques d'exploration de graphes.
- les méthodes d'inspiration neurobiologiques.

## 3 METHODES EXPLOITANT LES TECHNIQUES D'EXPLORATION DE GRAPHE.

Les deux méthodes suivantes supposent une extraction préalable des contours suivie d'une identification manuelle des extrémités qui peut être "manuelle" ou automatique.

### 3.1 Recherche du meilleur chemin entre deux extrémités

L'image numérique est associée à un maillage où chaque sommet est un site. Le maillage est un graphe, la fermeture peut être considérée comme l'élaboration d'un chemin entre les deux extrémités  $s_0$  et  $s_f$  d'une lacune. Les algorithmes d'énumération comme  $A^*$  [NILS71] sont exploitables. En tout site  $s$  du chemin de fermeture, on définit une fonction d'évaluation :

$$\hat{f}(s) = \tilde{g}(s) + \hat{h}(s)$$

où :

- $\tilde{g}(s)$  représente le coût du chemin de  $s_0$  à  $s$ .
- $\hat{h}(s)$  est une estimation du coût du chemin de  $s$  à  $s_f$ .

Cet algorithme n'est applicable que si l'on dispose des deux points extrêmes et si les données de l'images permettent de calculer la fonction d'évaluation.

### 3.2 Recherche du meilleur chemin à partir d'une extrémité.

L'extraction préalable des contours doit fournir des contours fins de "largeur 1 pixel". Les extrémités sont alors identifiées par l'étude d'un voisinage  $3 \times 3$  [DERI88], [COCQ95] lors d'un balayage séquentiel de l'image. En chaque extrémité un algorithme d'exploration d'arbre élabore tous les chemins possibles de longueur donnée. Le point candidat à la fermeture, connexe à l'extrémité, est le premier



point du meilleur chemin construit. Ce point est considéré comme une nouvelle extrémité. Le principe est itéré jusqu'à la rencontre d'un point de contour ou jusqu'à ce que le chemin dépasse une longueur donnée. Il faut définir une fonction de coût qui peut être la somme des normes du gradient calculée en chaque point du chemin.

L'idée de base de cette méthode est d'extraire dans un premier temps les contours "sûrs" en fixant un seuil suffisamment élevé pour ne pas être sensible au bruit. En général, des lacunes existent et cet algorithme permet de les combler si une ligne de contraste existe dans la lacune. En cas de lacune dues à des occlusions, il faut utiliser d'autres méthodes.

#### 4 STRUCTURE DU SYSTEME DE VISION PREATTENTIVE PROPOSE PAR GROSSBERG.

Grossberg [GROS85] propose une structure d'inspiration neurobiologique pour l'extraction et la fermeture de contours. Elle comporte plusieurs couches (cf. figure 1). Les éléments d'entrées de la première couche sont des masques directionnels. Le premier niveau de compétition concerne les neurones représentant une même orientation. Dans un voisinage donné, il ne doit rester qu'un neurone actif lié à une direction donnée, les autres doivent être inhibés. Il s'agit d'une compétition du type *On center-Off surround* [GROS82].

Au deuxième niveau, la compétition s'opère entre les neurones associés aux différentes orientations possibles d'un pixel de contour donné. Si un neurone attaché à une direction donnée est inhibé, le neurone de la direction perpendiculaire pourra alors être activé faiblement (ce mécanisme est utile pour la fermeture des contours).

La mise en place de pixels de fermeture s'effectue grâce à une boucle de rétroaction. Elle utilise les contours fins produits par le deuxième niveau de compétition.

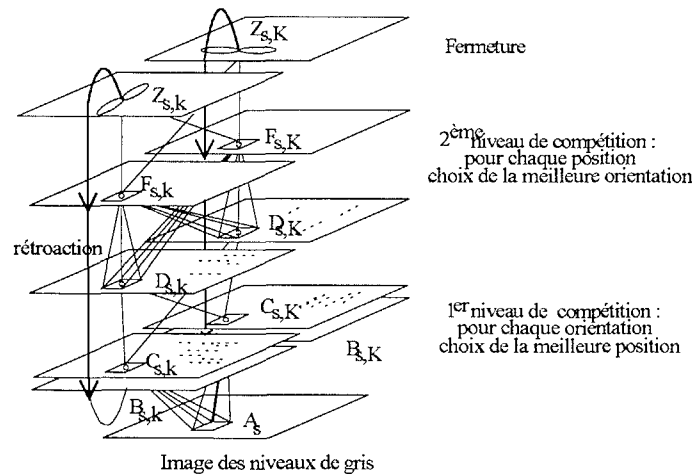


Figure 1 : Architecture du système de vision préattentive correspondant au modèle de Grossberg

Les neurones de la couche **Z** enclenchent (cf. figure 2) un mécanisme de fermeture de la manière suivante : un neurone sera actif si et seulement si il reçoit suffisamment d'excitations positives d'entrées alignées appartenant au deuxième étage de compétition. Une lacune pourra être comblée si, dans une direction donnée, il existe des portions de contours qui pourraient se raccorder en formant une droite et si cette droite n'est pas coupée par des neurones actifs dans une direction perpendiculaire.

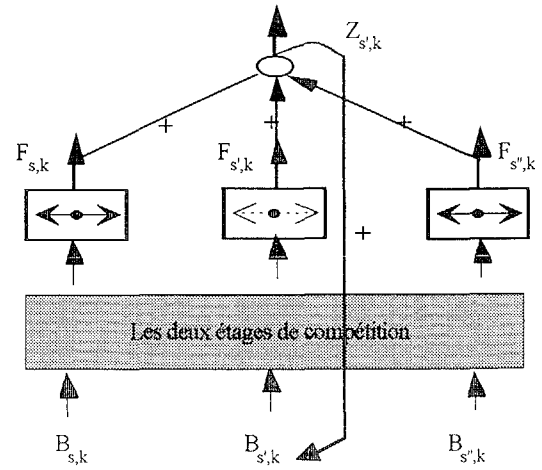


Figure 2 : Boucle de coopération, schéma de principe

Les poids synaptiques d'un neurone de fermeture sont donnés par la relation :

$$h(s, k) = \exp\left(-2\left(\frac{\rho}{s}-1\right)^2\right) \cdot \cos^p(\theta)$$

où  $s$  est le site et  $k$  la direction de la carte.

L'un des intérêts majeurs du bouclage est surtout de permettre un seuillage local adaptatif de l'image qui agit en fonction de l'éclairement moyen sur un voisinage de l'image. Enfin, il ne faut pas oublier qu'il ne s'agit que d'une fermeture préattentive des contours ne mettant pas en œuvre de mécanisme d'interprétation. Le dispositif présenté a été étudié par Gaussier [GAUS91], il ne concurrence pas les extracteurs de contours comme ceux de Deriche ou Shen [COCQ95]. Il s'agit d'un modèle de structure pouvant facilement se raccorder à un système d'interprétation et dans lequel la remise en cause des décisions prises au bas-niveau pourra s'effectuer de manière élégante et naturelle en modifiant les contours suivant le procédé utilisé par la couche de coopération pour fermer les contours.

Cependant, le modèle de compétition utilisé par Grossberg utilise de nombreux seuils et le mécanisme de fermeture est délicat à mettre en œuvre.

#### 5 POINTS CARACTERISTIQUES ET CONTOURS VIRTUELS

Les deux approches suivantes exploitent les points caractéristiques de l'image pour fermer les contours ou construire les contours "virtuels".

##### 5.1 Interaction multiéchelle

B.S. Manjunath [MANJ93] propose une structure à plusieurs étages semblable à celle de Grossberg (cf. figure 3). Le premier étage est une extraction des lignes de contraste basée sur des filtres de Gabor à différentes orientations et échelles :

$$g(x, y, \theta) = \exp(-(x'^2 + y'^2) + i\pi x')$$

$$\text{avec } \begin{cases} x' = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta \\ y' = -x \cdot \sin \theta + y \cdot \cos \theta \end{cases}$$

et :

$$g(\alpha^j (x - x_0, y - y_0), \theta)$$

$$\text{avec } \alpha \in \mathbb{R}, j = \{0, -1, -2, \dots\}$$

En chaque site  $s(x, y)$  pour une échelle  $i$ , on calcule :

$$W_i(s, \theta) = \int f(s_1) \cdot g^*(\alpha^i(s_1 - s), \theta) ds_1$$

$$I_i(x, y, \theta) = \|W_i(x, y, \theta)\|$$

Le deuxième étage effectue une compétition locale pour chaque orientation et une compétition pour chaque direction.

$$I(s, \theta_M) = \text{Max}_{\theta_i} \left\{ \text{Max}_{D_{\theta_i}} \{ I_k(s, \theta_i) \} \right\}$$

avec  $D_{\theta_i}$  : domaine de compétition entre voisins pour l'orientation  $\theta_i$ ;  $k$  : échelle;  $\theta_M$  : orientation du gagnant

La détection des points caractéristiques s'opère par combinaison de filtres à échelles différentes. Le dernier étage effectue un prolongement dans le sens du contour ou dans le sens perpendiculaire. Ce mécanisme de prolongement est systématique. Il n'y a pas de stratégie de prolongement liée aux différentes configurations de points caractéristiques.

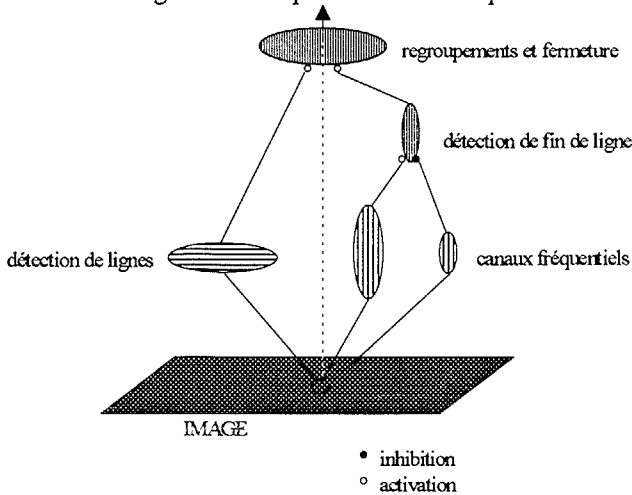


Figure 3 : système multiéchelle pour la fermeture

## 5.2 Configurations de lacunes, regroupements perceptuels

Pour déterminer dans un premier temps un type configuration de lacune, il faut d'abord différencier les points caractéristiques : on distingue, par exemple, les fins de lignes des coins. Ensuite une direction de prolongement privilégiée est associée à chaque configuration. Heitger a implanté un modèle de vision bas niveau [HEIT92][HEIT93] exploitant les travaux de E. Peterhans [PETE89]. Il comporte plusieurs étages (cf. figure 4).

Le premier étage correspond à une convolution de l'image avec la partie réelle et imaginaire de filtres "S-Gabor" (version modifiée du filtre de Gabor) selon plusieurs directions. La combinaison des sorties réelles et imaginaires des filtres permet de calculer l'énergie locale dans chacune des directions. En effectuant une compétition perpendiculairement à la direction des cartes d'énergie, on obtient les différentes cartes de crêtes de contours.

Le deuxième étage correspond à une dérivation directionnelle sur chaque carte d'énergie. La recherche des maximums locaux permet de trouver les points

## Références

- [COCQ95] J.P. Cocquerez, S.Philipp — Analyse d'images : filtrage et segmentation, Masson, Paris, (1995).
- [DERI88] R. Deriche, J.P. Cocquerez, G. Almouzni — An efficient method to build early image description, 9<sup>th</sup> ICPR, Rome, (nov. 1988).
- [GAUS91] P. Gaussier, J.P. Cocquerez — Utilisation des réseaux de neurones pour la reconnaissance de scènes complexes : simulation d'un système comprenant plusieurs aires corticales, *Traitement du Signal*, vol. 8, n°6, 441-466, (1991).
- [GROS82] S. Grossberg — Study of mind and brain, Reidel, Boston, (1982).

caractéristiques qui sont associés aux fins de lignes ou aux angles. Lors de cette dérivation, des fausses réponses apparaissent et un mécanisme de compensation est utilisé pour les éliminer.

Le troisième étage permet, à partir des différentes cartes de points caractéristiques, la détection des contours virtuels. Sur une carte, un mécanisme de diffusion directionnelle est sélectionné suivant la configuration des points caractéristiques. La carte des contours illusoires résulte d'une compétition entre ces résultats de diffusion. Ce type de mécanisme est directement inspiré d'une étude de E. Peterhans et R. Von Der Heydt [PETER89] sur la perception des contours illusoires chez le singe.

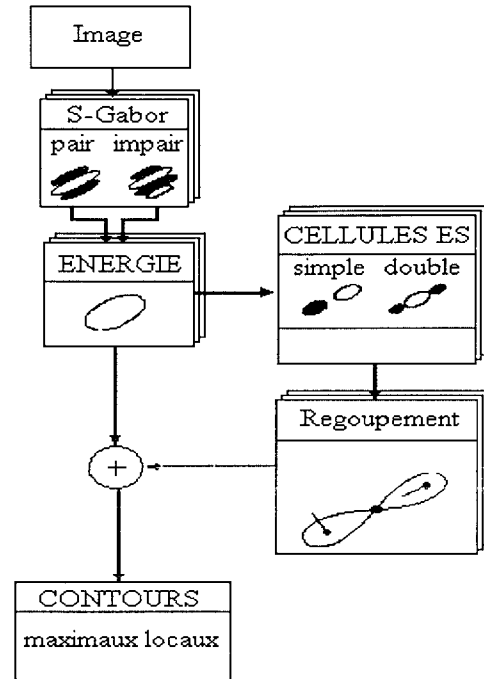


Figure 4 : Système de regroupements perceptuels pour les contours illusoires

## 6 CONCLUSION

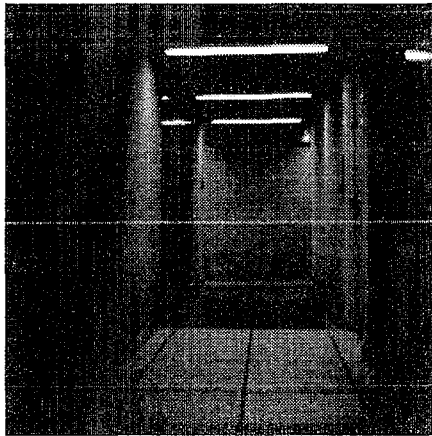
Nous avons donc présenté différentes approches pour la fermeture de contours et l'élaboration de contours virtuels.

Une bonne stratégie pour gérer les lacunes est de caractériser les endroits où il y a des fins de lignes ou des angles.

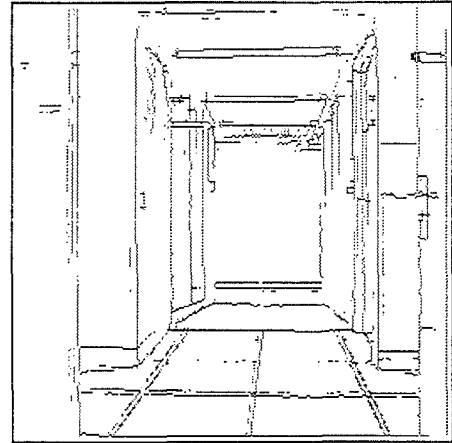
Les méthodes d'inspirations neurobiologiques sont lourdes en calcul et sont de nature massivement parallèles. Dans leurs principes, elles sont plutôt adaptées à l'interprétation d'images ; l'élaboration de contours virtuels pouvant faire émerger des formes. En vue de la segmentation d'images peu texturées, les méthodes exploitant les techniques d'exploration de graphes sont adéquates.



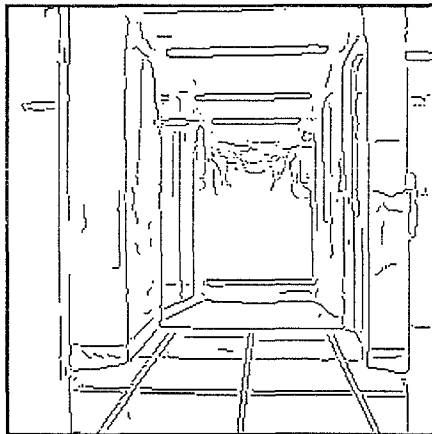
- [GROS85] S. Grossberg, E. Mingolla — Neural dynamic of form perception: boundary completion, illusory figures and neon color spreading, *Physiological Review*, 92, 2, 173-211, (1985).
- [HEIT92] F. Heiter, L. Rosenthaler — Simulation of Neural Contour Mechanismes: from Simple to End-stopped Cell, *Vision Reseach*, 32, 5, 963-981, (1992)
- [HEIT93] F. Heiter, R. von der Heygt — A computational model of neural contour processing: figure-ground segregation and illusory contours, Proc. 4th Int. Conf. Computer Vision, Berlin, Germany, IEEE Computer Society Press, pp.32-40, (1993)
- [MANJ93] B.S. Manjunath, R. Chelappa — Unified Approach to Boundary Perception: Edges, Textures, and Illusory Contours, IEEE Transaction on neural networks, Vol. 4, N°1, January (1993).
- [NILS71] N.J. Nilson — Problem solving in artificial intelligence, MacGraw-Hill (1971).
- [PETE89] E. Peterhans and Rüdiger von der Heydt — Mechanisms of Contour Perception in Monkey Visual Cortex. II. Contours Bridging Gaps, *The Journal of Neuroscience*, 9(5):1749-1763, May (1989).



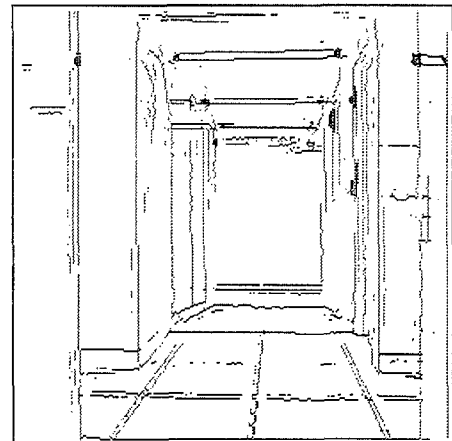
a) original COULOIR (banque GDR134)



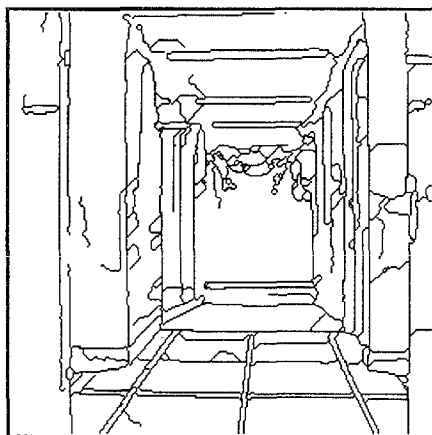
d) neurones contours actifs après compétition (Grossberg)



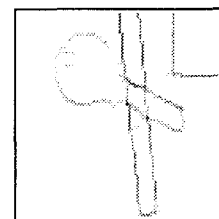
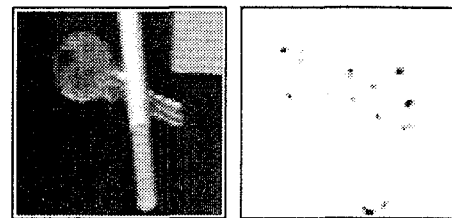
b) Contours obtenus avec l'opérateur de Deriche,  $\alpha = 1$



e) résultat de la 1<sup>ère</sup> rétro-action de fermeture



c) Contours prolongés le long des lignes de crête du gradient ;  
prof = 3, longmax = 7



f) points caractéristiques et contours illusoires (Heitger)

Figure 5 : Resultats de fermeture de contours (c,e) et contours illusoires (f).