

NOM :

PRENOM :

# Examen Traitement d'Image

*Documents autorisés, durée 1 heure 30*

**Correction Correction Correction Correction Correction Correction Correction**

## **Exercice 1 : Détection de contour (30 minutes)**

On veut approximer le contour d'un objet dans une image par un contour actif. Nous savons que la forme de l'objet à détecter est proche d'un triangle. Aussi nous proposons de détecter le contour de cet objet par un contour actif de type « snake » défini par trois points  $x_1$ ,  $x_2$  et  $x_3$ . La meilleure position du contour actif est celle qui minimise une fonction d'énergie  $E$  qui est la somme d'une énergie interne  $E_i$  et d'une énergie externe  $E_e$  définies par :

$$E = E_i + E_e \quad \text{avec} \quad \begin{cases} E_i = k \\ E_e = \sum_{n=1}^3 f(x_n) \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{, où } k \text{ est une constante positive.} \\ \text{, où } f(.) \text{ est une fonction qui dépend de} \\ \text{l'image traitée et } x_n \text{ est un point du snake.} \end{array}$$

Dans un souci de simplification, on suppose que l'image que l'on souhaite analyser par le contour actif a déjà été prétraitée par une chaîne de traitements rendant l'image binaire. Par convention, les pixels appartenant à l'objet à détecter sont à 0 et les pixels appartenant au fond sont à 255. La figure 1-a donne un exemple d'une telle image et la figure 1-b l'approximation obtenu avec le snake sur cette image.



Figure 1- a : image binaire à analyser



Figure 1-b : résultat de détection de contour par un triangle

### **Energie externe $f(.)$ :**

1- Quelles doivent être les propriétés de la fonction  $f(.)$  pour que  $E_e$  ait les caractéristiques d'une fonction d'énergie.

**La fonction  $f(.)$  doit :**

- être positive ;
- son minimum doit correspondre aux contours de l'objet à segmenter ;

**- en approche continue, f doit être dérivable ;**

2- Proposez une fonction d'énergie  $f(.)$  qui permettra de détecter les contours de l'objet par une telle méthode. Illustrer votre réponse par un schéma clair et détaillé.

**Plusieurs approches possibles :**

$$1 \rightarrow f(P) = \frac{1}{1 + \|\nabla(G_\sigma * I(P))\|} \quad (\text{approche continu})$$

2 -> On effectue le gradient de l'image, puis on calcule la carte de distance de l'image obtenue (par exemple en utilisant un opérateur de morphologie mathématique (approche discrète))

3) Les valeurs de l'énergie externe calculée sur une image binaire 10x10 permettent de définir l'image d'énergie externe suivante:

Indices	<i>j</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>i</i>											
1		2	2	1	1	1	1	1	2	2	2
2		2	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	2
3		1	1	0.5	0.5	0	0.1	0.5	0.5	1	2
4		1	0.5	0.5	0.2	0.4	0.5	0.2	0.5	1	2
5		1	0.5	0.3	0.5	1	0.5	0.3	0.5	1	2
6		0.5	0.1	0.5	1	1	1	0.5	0.1	0.5	2
7		0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	2
8		0.5	0.5	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.3	1	2
9		1	1	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	1	2
10		2	2	1	1	1	1	1	1	1	2

On applique l'algorithme suivant :

1-> Positionner un contour actif initial ;

2-> **Tant que** l'énergie globale du contour actif continue de diminuer **faire** :

-> **Pour** chaque point du contour actif **faire** :

-> Rechercher les pixels voisins d'énergie minimale en tenant compte d'une connexité 8 voisins;

-> Faire évoluer le point du contour actif vers sa nouvelle position.

Avec les modalités suivantes :

- le pas de progression des points du contour actif est de 1 pixel à chaque itération ;
- si plusieurs pixels voisins possèdent la même énergie minimale lors de l'étape 2 de l'algorithme, on choisit un des pixels de façon aléatoire ;
- si le voisinage d'un point possède des pixels définis en dehors de l'image, on ne tient pas compte de ces pixels particuliers.

2-1) Donner les positions des points du contour actif successifs jusqu'à convergence pour l'initialisation suivante :

$$x_1 = (6,4), x_2 = (5,5), x_3 = (6,6).$$

*N.B.: la lecture des coordonnées d'un point se fait de la façon suivante : (6,4) => i=6, j=4.*

**1<sup>ère</sup> évolution :  $x_1 = (5,3), x_2 = (4,4), x_3 = (5,7)$ .**

**2<sup>ème</sup> évolution :  $x_1 = (6,2), x_2 = (3,5), x_3 = (6,8)$ .**

**3<sup>ème</sup> évolution :  $x_1 = (7,2), x_2 = (3,5), x_3 = (7,8)$ .**

2-2) Même question que précédemment mais pour l'initialisation suivante :

$$x_1 = (10,2), x_2 = (2,5), x_3 = (10,6).$$

**1<sup>ère</sup> évolution :  $x_1 = (9,3), x_2 = (3,5), x_3 = (9,5)$ .**

**2<sup>ème</sup> évolution :  $x_1 = (8,3), x_2 = (3,5), x_3 = (8,4)$ .**

**3<sup>ème</sup> évolution :  $x_1 = (7,2), x_2 = (3,5), x_3 = (8,3)$ .**

**4<sup>ème</sup> évolution :  $x_1 = (7,2), x_2 = (3,5), x_3 = (7,2)$ .**

Pourquoi le résultat obtenu ne convient-il pas ?

**Etant donné que l'énergie interne est une simple constante, deux points du contour actif peuvent converger vers une même solution -> disparition d'un triangle au profit d'une droite.**

### Energie interne:

3- Proposer une expression arithmétique du calcul de l'énergie interne en fonction des points  $x_1, x_2$  et  $x_3$  de manière à ce que cette énergie ne soit plus une constante mais une fonction exprimant le fait que :

**Idée générale : on cherche à minimiser la fonction d'énergie => le minimum de la fonction d'énergie doit correspondre à la réponse au problème posé.**

3-1) la longueur du contour résultat soit le plus court possible ;

**Présentation d'une solution possible :**

$$E_i = dist(x_1, x_2) + dist(x_2, x_3) + dist(x_1, x_3)$$

$$\text{avec } dist(x_i, x_j) = \sqrt{\|x_i - x_j\|^2}$$

3-2) le contour final soit un triangle (deux points du contour actif ne peuvent pas converger vers un même point).

**Présentation d'une solution possible :**

$$E_i = conf(x_1, x_2) + conf(x_2, x_3) + conf(x_1, x_3)$$

$$\text{avec } \text{conf}(x_i, x_j) = \frac{1}{1 + \|\overrightarrow{x_i x_j}\|^2}$$

## Exercice 2 : Qualité d'une vitre (60 minutes)

Un constructeur de vitres transparentes veut mesurer automatiquement la qualité de son produit en utilisant une analyse d'image.

Le défaut qu'il cherche à quantifier avec ce système est la quantité de bulles d'air présentes dans l'échantillon de vitre ainsi que la taille des bulles (moins il y a de bulles, meilleure est la vitre).

Le but est de concevoir le système de vision (acquisition et traitement d'image) permettant de répondre à cet objectif.

### Pour vos réponses :

#### Nommer les images

Décrire rigoureusement vos traitements (utiliser les notations vues en cours/TD/TP).

### Système d'acquisition :

Le but est de faire une image de chaque échantillon. Chaque échantillon (taille 100mm x 100mm x 3mm) de vitre est placé manuellement sous la caméra. Les bulles d'air et la vitre sont parfaitement transparentes. Le fait de « voir » une bulle se limite à voir les bords de la bulle qui atténuent la lumière.

L'équipement d'acquisition est composé d'une caméra noir et blanc (numérique) et de LED blanches.

1- Vis-à-vis du problème, donner les 2 principales raisons justifiantes que la prise de vue soit faite en « contre-jour » ?

- les vitres sont transparentes : la lumière visible permet d'obtenir une image de transmission : on verra les défauts à l'intérieur des échantillons par variation de l'atténuation de la lumière.

- en éclairage standard, pour voir les défauts de tout l'échantillon, l'éclairage devrait se trouver avec la caméra perpendiculairement à l'échantillon : gros problème de reflets. Même si on utilise des angles différents, des reflets apparaîtront rendant impossible l'analyse d'image.

2- Dans cette condition d'acquisition et pour le problème posé, quels sont les deux effets néfastes pour le traitement d'image que peut créer la source d'éclairage ?

- problème de saturation : éclairage directe de la caméra : utiliser une intensité lumineuse adaptée (pas trop intense), attention au risque d'éblouissement (élargissement du phénomène de saturation, « flare », ...)

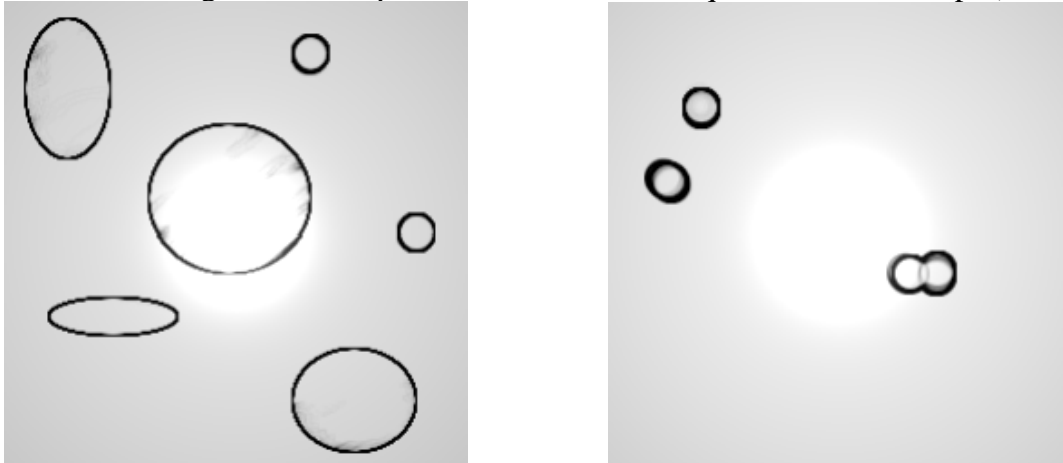
- si la source de lumière est ponctuelle l'éclairage de l'échantillon ne sera pas homogène. Soit utiliser de nombreuses sources ponctuelles (et les éloigner), soit diffuser la lumière avant l'échantillon pour homogénéiser la lumière.

3- Donner un schéma du système d'acquisition et proposer une solution pour l'éclairage.

LEDS → diffuseur → échantillon → caméra  
Le tout bien assemblé.

### Prétraitement :

Le système d'acquisition choisi fournit les images suivantes (les échantillons sont toujours parfaitement centrés grâce à des repères, les conditions d'acquisition ne varient pas) :



*Exemple de deux images acquises.*

Afin de faciliter les traitements de segmentation suivants (question 5), l'inhomogénéité de luminosité (dépendant du système d'acquisition) dans les images doit être corrigée.

4- Proposer une méthode de traitement d'image permettant cette correction. Détailler sa mise en œuvre.

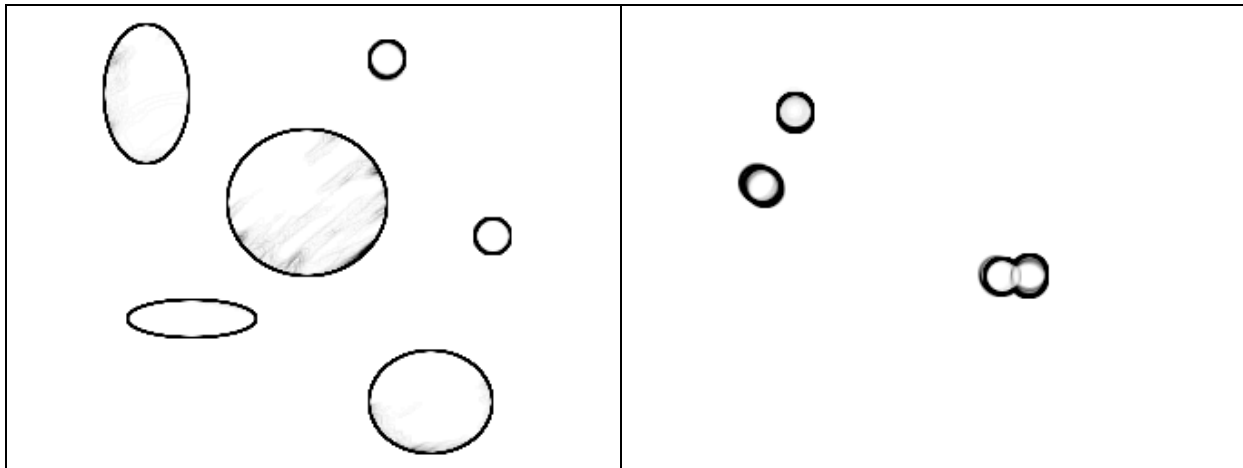
On doit corriger de l'inhomogénéité d'éclairage (à priori une LED + diffuseur sont utilisés pour l'éclairage).

On peut appliquer une division : Soit  $I(x)$  l'image à corriger,  $C(x)$  l'image sans échantillon : On a  $I_c(x)$  l'image corrigée de l'inhomogénéité d'éclairage par  $I_c(x) = I(x)/C(x)$ .

Pour obtenir  $C(x)$  : acquisition habituelle (comme pour  $I(x)$ ) sauf qu'il n'y a pas d'échantillon.

### Segmentation :

Les images sont maintenant corrigées de l'éclairage :



*Les deux images corrigées du problème d'éclairage.*

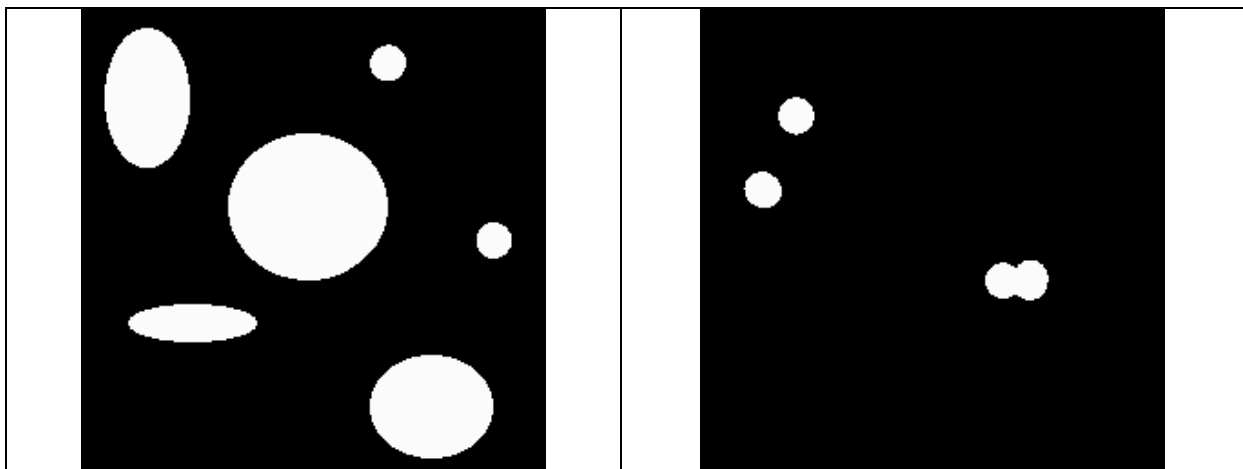
Le but est maintenant de segmenter les bulles d'air afin de les compter et de mesurer leur aire (questions 6 et 7).

**5-** Proposer une méthode permettant de segmenter **toutes** les bulles d'aire (on s'intéressera plus tard à chaque bulle).

Détailler précisément chaque étape de l'algorithme utilisé (par exemple : formules, masques, ensembles,...).

Illustrer votre solution.

*Le but est d'obtenir une image binaire (0 (noir) pour le fond ; 1 (blanc) pour les bulles).*



*Segmentations obtenues à partir des images précédentes.*

→ solution 1 : remplissage par diffusion

Le fond est parfaitement blanc : on segmente le fond ! Le critère doit permettre de s'arrêter au bord (noirs et parfait) des bulles.

A partir d'un point du fond (prendre un coin ou faire une analyse) faire une croissance de région (ou snake, ou ...).

Le critère d'agrégation est basé sur les niveaux de gris : si un pixel voisin est blanc : on l'ajoute, sinon on ne l'ajoute pas. On recommence jusqu'à ce qu'on ne puisse ajouter de nouveau pixel.

→ solution 2: le pb est aussi un pb d'intégration : algo de parcours avec inversion d'état qd un bord est atteint.

**Mesures :**

La mesure de l'aire des bulles se fera par comptage du nombre de pixels dans chaque bulle. Il faut donc maintenant extraire chacune des bulles de l'image de segmentation précédente. C'est le but des dernières questions.

6- Donner un algorithme permettant de compter le nombre de bulle et d'isoler individuellement chaque bulle. Détailler les étapes de votre algorithme sur l'exemple avec les 6 bulles (celui à gauche).

Parcourir l'image segmentée Is ligne par ligne à la recherche d'une bulle (valeur 1).

Récupérer tous les points de la bulle trouvée (croissance de région), ceci fourni le masque M.  $M(x) = 1$  ssi x appartient à la bulle trouvée ; 0 sinon.

Soustraire :  $I_s - M \rightarrow I_s$

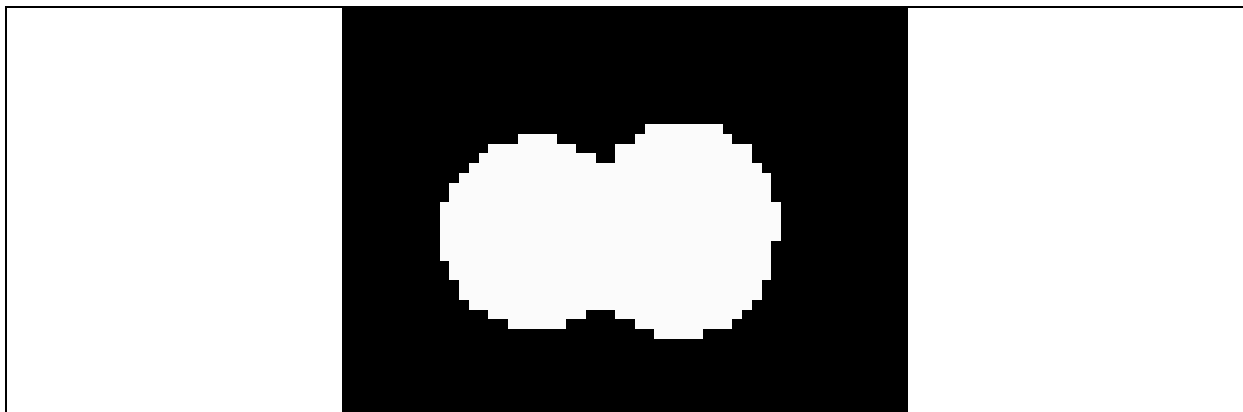
Incrémenter le compteur i, stocker M dans  $B_i$

Recommencer la première étape.

7- Il se peut que **deux** bulles soient en contact (cf. image de droite).

- A partir des segmentations précédentes (6-), donner une méthode permettant de séparer les bulles.

- Appliquer votre méthode à l'exemple ci-dessous.



*Bulles segmentées pour la question 7.*

On s'intéresse à une bulle (via  $B_i$ )

Eroder la région  $B_i$ ,

compter le nombre de région non connexes  $\rightarrow$  nb\_bulle

si nb\_bulle > 1 fin : retourner nb\_bulle

si nb\_bulle == 1

vérifier qu'il reste des pixels de  $B_i$  dans l'image.

Oui : recommencer à l'étape érosion

Non fin : retourner nb\_bulle