

10/99

République Algérienne Démocratique et Populaire.

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE.

Département d'électronique.



PROJET DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME

D'INGENIEUR D'ETAT EN ELECTRONIQUE.

Thème :

Segmentation de cellules du col
utérin, dans le but de réaliser un
système de dépistage du cancer.

Proposé et dirigé par :

M^{me} L.HAMAMI.

M^{me} A.BOUSBIA. SALAH

Etudié par :

M^{elle} LOURDIANE Mounia.

PROMOTION : 1998/1999.

Dédicaces :



Je dédie ce présent travail à :

- *La mémoire de maman et de mon frère Tarik.*
- *A mon papa et à ma sœur Soraya.*
- *A mes grands-parents.*
- *A Yéma et Vava.*
- *A Nassiba et ma petite sœur Amel.*
- *A toute ma famille (oncles, tantes, cousins, et cousines).*
- *A tout mes ami(es).*

Remerciements :



Je tiens à remercier mes promotrices, Mme HAMAMI et Mme BOUSBIA pour leur aide et leur soutien au cours de ce projet.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des enseignants de notre département, qui ont toujours été présent pour nous aider et nous orienter.

Je remercie, aussi, les membres de ma famille tout particulièrement mon père et ma sœur Soraya, sans qui je n'y serais jamais arrivée.

Et enfin je remercie tout les amis qui m'ont aidée et soutenue pendant toute cette période ; un merci tout particulier à Nadia.

Sommaire

Introduction générale.....	1
Problématique.....	3
Chapitre I : Cytologie du col utérin.	
1- Introduction.....	7
2- Définitions.....	7
2-1- Le col utérin.....	7
2-2- Frottis cervico-vaginal.....	7
3- Morphologie des cellules normales.....	8
3-1- Cytologie de l'épithélium.....	8
3-1-1- La couche basale.....	8
3-1-2- La couche para-basale.....	8
3-1-3- La couche intermédiaire.....	9
3-1-4- La couche superficielle.....	10
4- Modifications des frottis vaginaux.....	10
4-1- Modifications d'ordre hormonale.....	10
4-1-1- Grossesse.....	11
4-1-2- Post-partum.....	11
4-1-3- Traitement hormonaux.....	11
4-1-4- Chez les fillettes.....	11
4-1-5- Ménopause.....	11
4-2- Modifications dues à des phénomènes inflammatoires ou parasitaires...	11
4-3- Modifications tumorales.....	11
5- Cancers et tumeurs.....	12
6- Critères cellulaires d'apparition de la malignité.....	12
6-1- Classification de Papanicolaou.....	13
6-1-1- Frottis négatifs.....	14
6-1-2- Frottis positifs.....	14
6-2- Critères de malignité.....	14
6-2-1- Perturbation du rapport nucléo-cytoplasmique en faveur du noyau.....	14
6-2-8- Anisonucléose.....	14

6-2-3- Difformité nucléaire.....	14
6-2-4- Hyperchromatisme nucléaire.....	15
7- Conclusion.....	15

Chapitre II : Généralités sur la vision par ordinateur.

1- Introduction.....	16
2- Acquisition.....	16
2-1- Définition de l'image.....	16
2-2- Acquisition physique.....	16
2-2-1- Codage de l'image.....	16
2-2-2- Matériel d'acquisition.....	18
2-3- Acquisition logique.....	18
2-3-1- L'image numérique.....	18
2-3-2- Représentation des images.....	18
3- Outils pratiques en traitement d'image.....	19
3-1- L'histogramme.....	19
3-2- Isolation des niveaux de gris.....	20
3-3- Seuillage.....	20
4- Conclusion.....	21

Chapitre III : Morphologie mathématique.

1- Introduction.....	22
2- Définition de la morphologie mathématique.....	22
3- Morphologie mathématique à deux niveaux de gris.....	22
3-1- Dilatation.....	22
3-1-1- Définition.....	22
3-1-2- Propriétés.....	23
3-2- Erosion.....	24
3-2-1- Définition.....	24
3-2-1- Propriétés.....	25
3-3- Ouverture et fermeture.....	25
3-3-1- Définition.....	25
3-3-2- Propriétés.....	25
4- Morphologie mathématique à plusieurs niveaux de gris.....	26



4-1- Dilatation.....	27
4-2- Erosion.....	27
5- Applications.....	28
6- Conclusion.....	29

Chapitre IV : Extraction des images noyaux et cytoplasmes.

1- Introduction.....	30
2- Prétraitement.....	30
3- Extraction des images noyaux.....	31
4- Extraction des images cytoplasmes.....	36
5- Applications et résultats.....	39
5-1- Résultat 1.....	39
5-2- Résultat 2.....	40
5-3- Résultat 3.....	41
5-4- Résultat 4.....	42
6- Conclusion.....	43

Chapitre V : Principales méthodes de segmentation.

1- Introduction.....	44
2- Définition de la segmentation.....	44
3- Différentes techniques de segmentation.....	44
3-1- Segmentation par seuillage.....	45
3-2- Segmentation par détection de contours.....	46
3-2-1- Mise en évidence des contours.....	46
3-2-2- Réduction des contours.....	47
3-2-3- Binarisation des contours.....	47
3-3- Segmentation en régions.....	48
3-3-1- Méthode par séparation.....	49
3-3-2- Méthode par fusion.....	50
3-3-3- Méthode par séparation/fusion.....	53
3-3-4- Méthode par agrégation de points.....	53
3-4- Segmentation à multirésolution.....	54
4- Conclusion.....	55

Chapitre VI: Segmentation d'images de cellules du col utérin.

1- Introduction.....	56
2- Critère de segmentation.....	56
3- Calcul des différentes surfaces noyaux et cytoplasmes.....	56
4- Calcul du rapport nucléo-cytoplasmique de chaque cellule.....	58
5- Segmentation des cellules en fonction du rapport nucléo-cytoplasmique.....	59
6- Extraction des images contenant un même type de cellules.....	62
7- Applications et résultats.....	64
7-1- Résultat 1.....	64
7-2- Résultat 2.....	66
7-3- Résultat 3.....	68
7-4- Résultat 4.....	70
8- Conclusion.....	72
Conclusion générale.....	73
Annexe A.....	74
Annexe B.....	76
Annexe C.....	78
Annexe D.....	83
Bibliographie.	

Introduction générale

Introduction générale :

Le cancer est l'une des maladies les plus dangereuses et des plus répandues dans le monde. Celui-ci est cause de nombreux décès, et aucun moyen de prévention, tel que le vaccin, n'est encore mis au point. En attendant, le seul moyen qui permette d'attaquer à temps cette maladie, et par conséquent de diminuer considérablement le taux de mortalité, est le dépistage. Ce dernier étant très fastidieux, des chercheurs ont pensé à automatiser ce travail. Cet automatisme consiste à mettre au point un système d'aide aux médecins, ceci en éliminant tous les cas normaux (c'est à dire non cancéreux), par scanning, et présenter aux médecins les cas anormaux (visualisation sur écran).

Grâce à ce système, on pourra réaliser un dépistage précoce de la maladie, ce qui permettra un traitement plus efficace, et augmentera, par conséquent, les chances de survie du patient. (Pour certains cancers dépistés à temps, tel que le cancer du sein, la rémission peut atteindre jusqu'à 80%).

On se rend compte, toutefois, que l'examen des cellules prélevées pour le dépistage est particulièrement complexe et consommateur de temps, car il consiste à rechercher quelques cellules anormales parmi un amas de cellules normales. Le résultat de cet examen, ne repose que sur l'avis du médecin, ce qui augmente le risque d'erreurs.

Dans le but de palier à cette difficulté, on désire réaliser un système de dépistage du cancer qui permettra aux médecins de visualiser les cellules et d'avoir en main un outil d'aide à la décision en ce qui concerne la malignité ou non de ces cellules.

Le travail que nous allons présenter consiste en un module très important de ce système, celui-ci représente la segmentation des cellules. Le taux de reconnaissance dépendra essentiellement de la qualité de la segmentation.

Afin de mener à bien notre travail, nous allons présenter les chapitres suivants :

Chapitre I : On présentera la cytologie du col utérin, ce qui nous permettra de mieux nous familiariser avec les images de frottis utilisées dans notre étude.

Chapitre II : On donnera des définitions sur les outils de base utilisés dans la vision par ordinateur.

Chapitre III : On présentera les opérateurs morphologiques qui seront un outil pour réaliser le prétraitement des images de cellules du col utérin.

Chapitre IV : On y trouvera les techniques basées sur la morphologie mathématique, et qui nous permettront d'extraire à partir des images originales les images noyaux, et les images cytoplasmes.

Chapitre V : On présentera les principales techniques de segmentation qui existent.

Chapitre VI : On adaptera l'une des ces techniques pour réaliser la segmentation des cellules du col utérin.

Enfin, nous donnerons une conclusion générale qui fera la synthèse du travail effectué.

Problématique

Problématique.

Nous savons que le dépistage du cancer est particulièrement lié :

- 1- Au stade d'avancement de celui-ci, (plus il est avancé, plus le nombre de cellules malignes augmente).
- 2- A la compétence de l'anatomiste pathologiste, ainsi qu'à son expérience.

C'est pour ces raisons que le dépistage de cellules malignes peut être facilité grâce à l'utilisation d'un système de traitement d'images qui corrigera les dégradations que l'image aurait subies, qui améliorera sa lisibilité et qui permettra de détecter les cellules malignes

Ce système informatique, comme le montre la figure (1), devra se composer d'un certain nombre de modules qui sont :

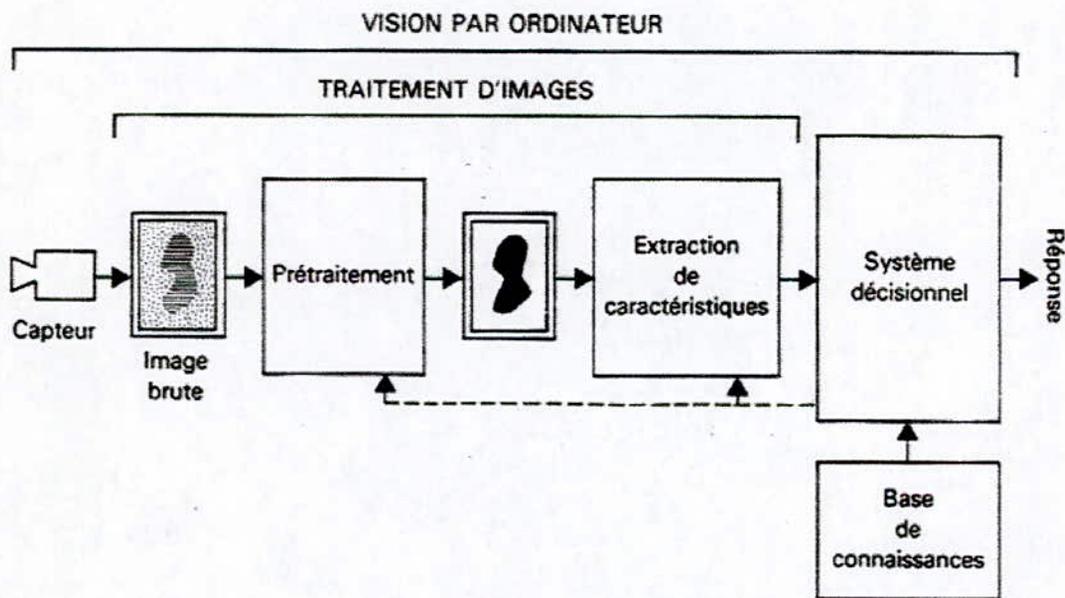


Fig-1- : Système de vision par ordinateur.

1- Acquisition :

Son but est d'obtenir une image, la plus fidèle possible, des cellules biologiques récoltées sur une lame grâce à un frottis cervical. Pour cela on aura besoin :

- 1- D'un microscope.
- 2- D'une camera numérique.
- 3- D'une carte d'acquisition.

4- D'un PC pour visualiser l'image.

2- Filtrage et prétraitement :

Le but de ce module est :

- D'une part, d'améliorer la qualité de l'image en éliminant le bruit, qui s'est superposé sur celle-ci, lors de l'étape d'acquisition. (Filtrage).
- D'autre part, d'éliminer les informations dont on n'a pas besoin, et qui peuvent, lors des étapes suivantes présenter un risque d'erreurs. Dans le cas des cellules biologiques, ce sera l'élimination de filaments et de bactéries. (Prétraitement).

3- Segmentation :

Après l'obtention d'une image débarrassée de toute information indésirable, on passe à l'étape de segmentation de cellules biologiques, regroupées en quatre couches différentes, qu'il faudra séparer. Une bonne segmentation est à la base d'une bonne réalisation des systèmes d'apprentissage, de reconnaissance et d'aide à la décision.

4- Apprentissage, reconnaissance et décision :

A partir de la segmentation, on peut réaliser :

- L'apprentissage à partir des listes de données établies lors de la segmentation. L'apprentissage se charge d'acquérir la reconnaissance et de l'organiser en classes ou modèles de références. Le but est l'élaboration d'un dictionnaire qui répertorie ces données.
- La reconnaissance, quant à elle, consiste à comparer les données prototypes existant dans le dictionnaire, établies lors de l'étape d'apprentissage avec celles inconnues et que l'on veut reconnaître. La décision est l'ultime étape de la reconnaissance. A partir de la décomposition en paramètres, elle recherche parmi les modèles d'apprentissage, en présence, ceux qui sont les plus proches. Elle peut conduire à :
 - Un succès, si la réponse est unique.
 - Une confusion, si la réponse est multiple.
 - Un rejet, si aucun modèle ne correspond à la description de la forme. (pas de semblable dans le dictionnaire).

Les modules qui nous intéressent, dans cette étude, sont les modules de filtrage, de prétraitement et de segmentation. Nous nous proposons de réaliser les programmes informatiques qui s'imposent dans ces modules.

L'élément de base de notre étude est l'image. C'est une structure simple dans son organisation, mais complexe dans son contenu ; ceci est dû à plusieurs facteurs, d'une part, le nombre important de processus, indépendants de l'utilisateur, qui tendent à introduire des distorsions indésirables, donc à la dégrader. On peut citer comme élément de perturbation :

1- **L'éclairage** : qui peut engendrer des ombres, des reflets, être trop puissant et saturer la camera. , ou trop faible et rendre l'image trop sombre.

2- **La qualité optique : de l'objectif** : aberration, astigmatisme, etc...

: de la prise de vue : mise au point.

3- **Le bruit électronique inhérent** aux capteurs qui engendre une imprécision dans la restitution des niveaux de gris.

4- **Les défauts des systèmes d'échantillonnage et de quantification.**

L'amélioration d'image consiste en un ensemble de méthodes destinées à améliorer l'aspect visuel de l'image. On utilise, pour cela, des techniques de prétraitement qui sont définies comme étant un ensemble de méthodes qui visent à atténuer les effets indésirables. [TOU 87]

Le filtrage fait aussi partie des outils qui nous permettent d'améliorer la qualité de l'image en éliminant le bruit qui est défini comme étant un phénomène de brusque variation d'un pixel isolé par rapport à ces voisins.

Après avoir réaliser le prétraitement et le filtrage, on passe à l'étape suivante qui est la segmentation et dont le but est la séparation des divers éléments de l'image en régions connexes ayant même propriétés. Dans notre cas, ce sera la séparation d'un tissu cellulaire composé de quatre couches de cellules.

Le résultat devra nous donner autant de couches séparées qu'il existe dans l'image (quatre au maximum) :

- Cellules basales.

- Cellules para-basales.

- Cellules intermédiaires.
- Cellules superficielles.

Ces différentes régions peuvent être caractérisées par leurs frontières, c'est, dans ce cas, la segmentation par extraction de contour, ou bien, être directement caractérisées par les pixels qui les composent, il s'agit alors de la segmentation par régions homogènes. Les propriétés constituant le critère de segmentation peuvent être choisies de manière à effectuer une segmentation en région ayant même niveau de gris, même texture, même couleur ...etc.

Il est évident que ces deux approches de la segmentation sont duales. Cependant, les informations qu'elles mettent en évidence sont différentes. Les contours possèdent l'essentiel des caractéristiques de forme de la région ; la segmentation en région homogène privilégie, quant à elle, les caractéristiques géométriques liées au critère de segmentation, donc au contour de la région plus qu'à sa forme.

Le problème qui se pose lors de toute segmentation, y compris dans la segmentation de cellules biologiques, est de définir les critères qui nous permettent de différencier une couche par rapport à une autre et de ne surtout pas segmenter en fonction de critères communs à deux ou plusieurs couches.

Chapitre I :

Cytologie du col utérin.

1- Introduction :

Le cancer du col utérin est l'un des cancers les plus fréquents chez la femme. On dénombre 500 000 nouveaux cas par an dans le monde. Sur 5 000 femmes atteintes, 2 000 en meurent. Il s'agit là d'une situation choquante, car 1 800 décès pourraient être évités si les contrôles et les dépistages se faisaient de façons plus fréquente grâce au frottis cervico-vaginal.

Le cancer du col ne devient invasif qu'après une longue période d'état précancéreux (dysplasie ; lésion intra-épithéliale ; lésion de bas grade et de haut grade).

En Algérie, le pic du cancer du col a été estimé au Congrès maghrébin à 90 pour 100 000. Par contre, en Finlande, où les frottis se font régulièrement, le risque de cancer du col est estimé à 5.5 pour 100 000. [DJE 98].

Dans ce chapitre, nous nous intéresserons à la cytologie du col utérin, aux critères de malignités et au frottis cervico-vaginal.

2- Définitions :

2-1- Le col utérin :

Le col utérin est l'extrémité de l'utérus, de forme cylindrique. Il mesure environ 3 cm de long. Il s'insère à la partie supérieure du vagin et il est séparé du corps par l'isthme.

Le col est creusé d'un canal cervical qui prolonge la cavité utérine. Il est constitué d'une musculature mince, tapissée d'une muqueuse. On distingue deux portions :

Une portion interne endocervicale ou endocole qui entoure le canal, et une portion externe ou exocole. La zone de jonction entre ces deux portions est de localisation variable pendant la vie génitale. Elle siège à l'orifice externe du col chez la multipare, plus haut dans le canal cervical chez la nullipare, et après la ménopause. Cette zone de jonction est très importante car c'est à ce niveau que prennent naissance la plupart des cancers utérins.

2-2- Frottis cervico-vaginal :

Les frottis vaginaux sont obtenus par étalement sur lame du produit de raclage de l'épithélium vaginale au niveau des culs-de-sac. Cet étalement est fixé puis coloré par une technique différentielle de Papanicolaou, Schoor ... etc.

Les frottis vaginaux permettent avant tout :

- Une exploration de l'activité hormonale ovarienne.
- Une identification de germes, mycose, trichomoniose, etc...
- Un dépistage des cancers de l'utérus.

3- Morphologie des cellules normales :

Afin de pouvoir réaliser un diagnostic de malignité ou non de la cellule, il est indispensable de connaître la cytologie des cellules normales.

3-1- Cytologie de l'épithélium :

L'épithélium comprend quatre couches de cellules de types différents, qui sont :

- 1- La couche basale.
- 2- La couche para-basale.
- 3- La couche intermédiaire.
- 4- La couche superficielle.

3-1-1- La couche basale :

Elle est formée d'une seule rangée de cellules cylindriques, disposées perpendiculairement à la membrane basale, ce sont les cellules mères. Leurs noyaux sont gros, réticulés et possèdent un nucléole volumineux, ils sont le plus souvent situés au centre. Leur cytoplasme prend la teinte la plus foncée des frottis, (en utilisant la technique de Papanicolaou). Leur rapport noyau/cytoplasme est compris entre 0.25 et 0.37. Ces cellules se retrouvent rarement dans les frottis à moins qu'on ait pratiqué un grattage très énergique d'une muqueuse atrophique. [GOM 82]

Ces cellules n'apparaissent pas normalement chez les femmes en activité génitale dans les frottis. On les rencontre quelque jour après la naissance, jusqu'à la période pré-pubertaire, à la ménopause et chez les femmes en activité génitale en cas d'érosion épithéliale, inflammatoire, traumatique, etc... [DAL 95]

3-1-2- La couche para-basale :

On les retrouve dans les frottis atrophiques et subatrophiques sous forme de cellules groupées et isolées. Elles contiennent la majorité des cellules exfoliées chez la femme ménopausée.

Ce type de cellules est arrondi et a un noyau volumineux avec une chromatine finement répartie et un nucléole bien apparent. Le cytoplasme est cyanophile, il contient souvent des vacuoles plus ou moins grandes. Les contours cellulaires sont nets. Le rapport noyau/cytoplasme est compris entre 0.15 et 0.25.

Ces cellules ressemblent fortement aux cellules basales, mais sont généralement plus volumineuses.

3-1-3- La couche intermédiaire :

Elle possède des cellules de noyaux relativement plus petits que celui des cellules basales et le volume du cytoplasme augmente. On assiste ainsi à une diminution progressive du rapport entre les volumes du noyau et du cytoplasme.

La taille des cellules intermédiaires peut varier considérablement. Nous les appelons petites ou grandes intermédiaires, ces diverses tailles et formes correspondent à des degrés de maturation différents.

a- Les petites cellules intermédiaires :

Elles sont légèrement polyédriques, et ont tendance à s'allonger. En règle générale, elles deviennent plus grandes que les para-basales, mais il arrive aussi qu'elles n'en atteignent pas la taille. Le corps cellulaire apparaît plus petit que pour les para-basales qui eux sont arrondis. Comparées aux grandes intermédiaires et aux superficielles, les petites intermédiaires sont plus épaisses et présentent souvent en surface de fines rainures irrégulières.

On constate parfois aussi, une légère vacuolisation du cytoplasme. Quant aux noyaux, ils sont généralement assez grands.

b- Les grandes cellules intermédiaires :

Elles ont une forme polygonale. Elles ne diffèrent des cellules superficielles que par le noyau, qui présente, généralement, les mêmes structures fixes que les noyaux des petites intermédiaires. Le cytoplasme est transparent et cyanophile.

On rencontre les cellules intermédiaires à la période pré-pubertaire, à la ménopause et chez les femmes en activité génitale, surtout dans la deuxième partie du cycle. Pendant la gestation, leur nombre augmente, elles prennent un aspect allongé et leurs bords s'épaississent. [DAL 95]

Leur rapport nucléo-cytoplasmique est compris entre 0.04 et 0.15.

3-1-4- La couche superficielle :

Elle est constituée par des éléments de grande taille, aplatis, tassés les uns contre les autres. Les ponts intercellulaires vont disparaître dans les assises les plus superficielles de sorte que ces cellules sont desquamées isolément. Le volume des noyaux diminue jusqu'à ne plus représenter qu'un amas pycnotique de 5 à 6 μ de diamètre. Le cytoplasme est clair et transparent. Leur contour est bien limité. Leur rapport noyau/cytoplasme est compris entre 0.01 et 0.04

On les rencontre chez les femmes en activité génitale. [DAL 95]

La figure (1-1) montre les différents types de cellules décrites au-dessus.

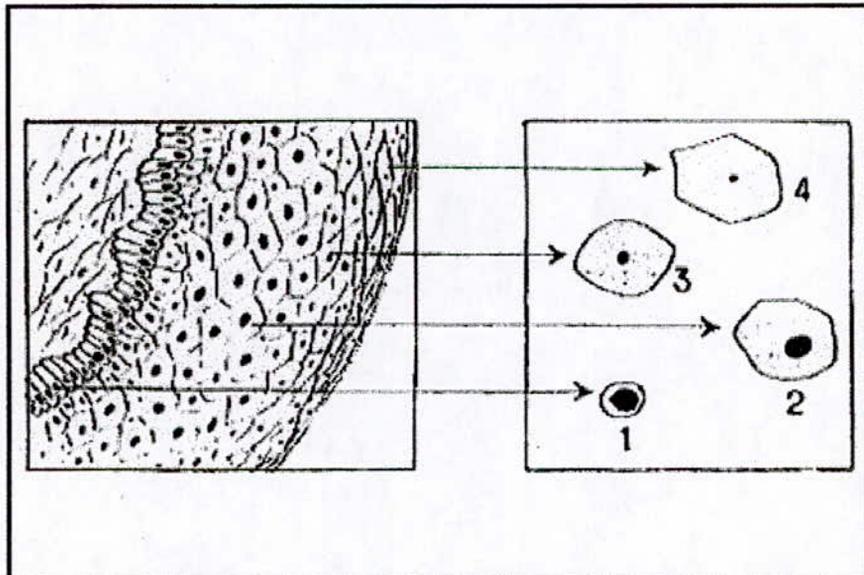


Fig (1-1) : Schéma des différents types de cellules.

1- Cellule basale. 2- Cellule para-basale. 3- Cellule intermédiaire. 4- Cellule superficielle.

4- Modifications des frottis vaginaux :

De nombreux facteurs peuvent modifier l'aspect des frottis vaginaux, parmi ces facteurs :

- Modifications d'ordre hormonal.
- Modifications dues à des phénomènes inflammatoires ou parasitaires.
- Modifications tumorales.

4-1- Modifications d'ordre hormonal :

4-1-1- Grossesse :

Pendant cette période, les frottis obtenus contiennent de nombreuses cellules intermédiaires avec des bords épais, on les appelle **cellules naviculaires**.

4-1-2- Post-partum :

Après l'accouchement, si la mère nourrit son enfant, on note, dans les frottis, l'apparition de cellules basales à gros noyaux, que l'on appelle les **cellules d'allaitement**.

4-1-3- Traitements hormonaux :

Lors des traitements hormonaux, on observe une augmentation du nombre de cellules intermédiaires qui prend un aspect androgénique.

4-1-4- Chez les fillettes :

A mesure que l'on s'approche de la puberté, il y a apparition de cellules intermédiaires, puis superficielles, avec disparition des cellules basales.

4-1-5- Ménopause :

Après la période d'activité génitale, quand les menstruations ont disparu, on obtient un frottis constitué uniquement de cellules intermédiaires, on parlera alors d'une **ménopause de type dense**. A un stade plus avancé, on ne retrouve que des placards faits de cellules basales profondes, il s'agit alors d'une **atrophie vaginale profonde**.

4-2- Modifications dues à des phénomènes inflammatoires ou parasitaires :

De nombreux germes, parasites ou champignons peuvent modifier l'aspect des frottis vaginaux. Ceci se traduit, entre autre, par des altérations cellulaires telles que les halos périnucléaires.

Les différentes causes d'inflammations peuvent provoquer des lésions épithéliales, tel que des cellules basales profondes, avec de nombreuses mitoses, provenant d'une érosion inflammatoire cervicale.

4-3- Modifications tumorales :

Les frottis vaginaux permettent un dépistage systématique des cancers utérins, le cancer du col étant le plus fréquent.

Les modifications se traduisent par :

- L'hyperchromatophilie nucléaire.
- Plusieurs nucléoles dans le même noyau.
- Chromatine granuleuse ou en motte.

5- Cancers et tumeurs :

La détection précoce du cancer du col utérin est possible grâce à des examens gynécologiques réguliers. Un simple frottis permet de mettre en évidence des anomalies éventuelles de certaines cellules.

En premier lieu on effectue un prélèvement de quelques cellules du col qui seront observées et examinées au microscope afin de dépister d'éventuelles anomalies. Dans le cas où des cellules suspectes sont détectées, on réalise un prélèvement plus important. Si le cancer est dépisté suffisamment tôt, la guérison peut être de 100% avec un traitement non mutilant.

6- Critères cellulaires d'apparition de la malignité :

Il existe certaines modifications structurales, présentes dans tous les types de cancers humains, qui permettent leur reconnaissance cytologique.

Dans les noyaux, ces modifications sont :

- Les modifications de taille et de forme.
- Les irrégularités de la membrane nucléaire.
- La répartition anormale de la chromatine.
- Les modifications du nombre, de la taille et de la forme des nucléoles.
- La présence de mitose atypique.
- La multinucléation.

Dans le cytoplasme, ces modifications sont :

- Les variations de forme, de taille, avec modification du rapport nucléo-cytoplasmique.
- Les altérations des affinités tinctoriales.
- La présence d'inclusions ou de vacuoles.

Toutes les anomalies cellulaires, que nous venons d'énumérer, ne sont pas toujours évidentes :

- L'augmentation du volume nucléaire n'est pas toujours d'origine néoplasique, les phénomènes de régénération tissulaire provoquent, parfois, l'apparition de noyaux hyperplasés spectaculaires à observer.

- La présence précoce de kératine et sa répartition irrégulière dans le cytoplasme de certaines cellules épidermoïde para-basales ne signent pas nécessairement le caractère malin de cet élément, ces modifications se voient dans les lésions inflammatoires chroniques.

La figure (1-2) montre les modifications structurelles les plus fréquentes dans des cellules :

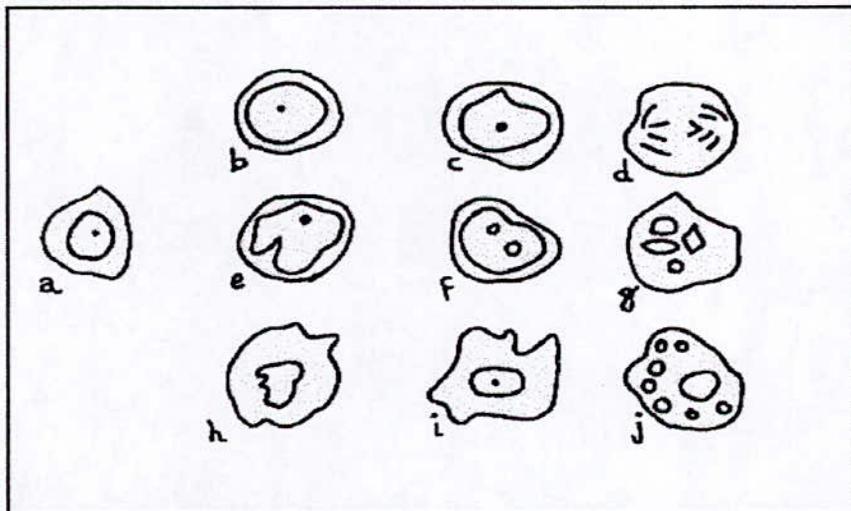


Fig (1-2) : Schéma représentant les modifications structurelles subies par des cellules malignes

- | | |
|---|--|
| a- Cellule normale. | b- Augmentation de la taille nucléaire. |
| c- Hyperchromatisme nucléaire. | d- Mitose atypique. |
| e- Modification de la forme nucléaire. | f- Augmentation du volume nucléaire. |
| g- Multinucléation. | h- Augmentation de la taille cellulaire. |
| i- Modification de la forme cellulaire. | j- Modification des affinités tinctoriales du
Cytoplasme. |

6-1- Classification de Papanicolaou :

6-1-1- Frottis négatif :

Classe I : Cellules normales.

Classe II : Frottis inflammatoire anormal avec cellules atypiques.

Classe III : Frottis suspect (présence de cellules anormales ne pouvant être considérées ni comme bénigne ni comme malignes).

6-1-2- Frottis positif :

Classe IV : Présence de cellules malignes isolées.

Classe V : Présence de cellules en placards. [MEZ 98]

6-2- Critères de malignité :

Le diagnostic de la malignité se fonde sur l'ensemble des particularités morphologiques atypiques de toutes les cellules du frottis.

6-2-1- Perturbation du rapport nucléo-cytoplasmique en faveur du noyau :

Les noyaux des cellules tumorales sont habituellement plus gros que ceux des cellules normales, mais sans que le cytoplasme présente une variation comparable. Les modifications du rapport nucléo-cytoplasmique constituent un des signes les plus valables de la malignité.

6-2-2- Anisonucléose (Anisocaryose) :

La taille des noyaux dans les cellules tumorales isolées peut être très variable de l'un à l'autre. A cela s'oppose l'uniformité des noyaux des cellules normales parvenus au même degré de différenciation.

La constatation de noyaux de forte taille, aux cotés d'autres petits ou moyens, est souvent un indice de la provenance des cellules d'un tissu malin. Cette anisonucléose apparaît clairement si les cellules malignes se présentent en groupe ou en amas.

6-2-3- Difformité nucléaire (Polymorphisme nucléaire) :

Indépendamment des variations de taille, il existe une diversité marquée de la forme des noyaux des cellules tumorales. Ils sont plus ou moins elliptiques, encochés, bizarrement déformés, et souvent en position excentrée.

L'aspect fusiforme ou étiré est relativement fréquent. Le polymorphisme nucléaire apparaît mieux lorsque les cellules malignes sont groupées.

6-2-4- Hyperchromatisme nucléaire :

Les modifications de la structure nucléaire normale appartiennent toujours à l'image des cellules tumorales.

Les noyaux hyperchromatiques apparaissent déjà par leur coloration sombre et massive. Du fait de la disparition de leur texture, ils se montrent entièrement bruns, sombres et noirs ou bien avec des amas irréguliers de chromatine. Le contour nucléaire est souvent nettement tranché et épais.

Remarque :

Dans l'annexe A, pour plus d'information, on trouve la définition des termes médicaux utilisés dans ce chapitre.

7- Conclusion :

Nous avons exposé dans ce chapitre les caractéristiques des cellules dites normales et celles des cellules anormales, ainsi que les différentes raisons qui entraînent la modification des frottis vaginaux, ce qui nous permettra de savoir si l'apparition de certaines anomalies dans les frottis est simplement due à l'état hormonal de la patiente ou à une éventuelle infection, ou bien à une raison plus grave tel que le cancer.

Chapitre II :

**Généralités sur la vision
par ordinateur.**

1- Introduction :

Dans ce chapitre nous présenterons les étapes nécessaires afin de visualiser, au niveau de l'ordinateur, les images que l'on désire traiter. De plus, nous allons passer en revue différents outils nécessaires au traitement de ces images, tel que : l'histogramme, le seuillage, l'isolation des niveaux de gris, etc...

Enfin, nous allons montrer l'intérêt de ces outils, grâce à de petites applications sur les images biomédicales.

2- Acquisition :

Le rôle de l'acquisition est de transformer l'image physique en une représentation numérique (acquisition physique), et par la suite, d'acquérir cette représentation selon certaines informations qui dépendent du format de l'image numérisée (acquisition logique). [MEZ 98]

2-1- Définition d'une image :

Une image est une figure analogique originale représentant une scène ou un objet. On définit une image par une fonction $I(x,y)$ dont l'amplitude représente l'intensité lumineuse ou la brillance, en tout point du plan (xy) .

Dans le cas des images monochromes, l'intensité en chaque point est appelée niveau de gris (gray scale). [KEL 95]

2-2- Acquisition physique :

2-2-1- Codage de l'image :

La transformation d'une image physique en une image numérisée, appelée aussi transduction, se fait grâce à un couple (capteur, récepteur). La fonction du capteur est de transformer la grandeur physique en un signal adapté au système de traitement.

Le codage s'effectue en deux étapes :

a- Echantillonnage :

Cela consiste à découper le signal image (continu), émis par le capteur, en échantillons élémentaires (analogiques). Le résultat de ce découpage sera l'obtention des pixels qui composeront l'image.

Soient les f_{mx} et f_{my} les fréquences maximales contenues dans le spectre représentant l'image originale ; afin que les échantillons représentent fidèlement l'image, il faut satisfaire la condition de Shannon qui spécifie que les fréquences d'échantillonnages suivant x et y sont au moins égales au double des plus hautes fréquences contenues dans le spectre représentant l'image tel que :

$$f_x \geq 2f_{mx} \dots\dots\dots(2-1a)$$

$$f_y \geq 2f_{my} \dots\dots\dots(2-1b)$$

f_x et f_y : Fréquences d'échantillonnages suivant x et y respectivement.

b- Quantification :

Elle consiste à transformer les échantillons élémentaires (ce sont des pixels dans notre cas) en valeurs numériques discrètes, c'est à dire donner aux pixels qui ont un même niveau d'intensité, la même valeur discrète.

L'image sera donc représenter de la façon suivante :

$$\text{Image} = \begin{bmatrix} I(0,0) & I(0,1) & \dots & I(0,p-1) \\ I(1,0) & I(1,1) & \dots & I(1,p-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ I(q-1,0) & I(q-1,1) & \dots & I(q-1,p-1) \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2-2)$$

Chaque pixel est représenté par un niveau de gris $I(i,j)$ où i et j représentent respectivement les lignes et les colonnes de la même image, tel que :

$$0 \leq i \leq q-1 \dots\dots\dots(2-3a)$$

$$0 \leq j \leq p-1 \dots\dots\dots(2-3b)$$

q et p : représentent, respectivement, le nombre total de lignes et de colonnes.

La précision de la quantification dépend du nombre de bits :

Exemples : - Image binaire : codée sur 1 bit.

- Image à 256 niveaux de gris : codée sur 8 bits.

- Image à 16 millions de niveaux de gris : codée sur 24 bits.

En pratique, les étapes d'échantillonnage et de quantification sont réalisées conjointement grâce à un convertisseur analogique/numérique (CA/N).

2-2-2- Matériel d'acquisition :

Les outils les plus utilisés pour l'acquisition sont :

- La tablette graphique.
- La caméra.
- Le scanner.

2-3- Acquisition logique :

2-3-1- L'image numérique :

L'image numérisée peut revêtir différentes formes. Tout d'abord, comme information numérisée, elle peut être le contenu d'une mémoire, d'une disquette ou d'une bande magnétique, c'est à dire un certain code dont la matérialisation sous forme d'image ne peut résulter que du décodage et de sa lecture par un dispositif d'affichage.

D'autre part, comme représentation d'un processus de génération, elle peut être un programme qui ne produira le codage effectif qu'une fois exécuté dans la mémoire centrale. Ainsi, l'image numérique, en tant qu'objet de perception, n'existe pas, et seul sa représentation est pertinente. [SOU 92].

2-3-2- Représentation des images :

a- Représentation vectorielle :

S'il est possible de décrire une image par un ensemble de segments de droite, seul les extrémités de ces segments, leurs couleurs, leurs épaisseurs et éventuellement certaines transformations sont indispensables au codage.

L'avantage de ce type de fichier, c'est qu'ils sont compacts et que leur taille ne varie pas en fonction de la résolution.

Leur inconvénient majeur, c'est que pour une mémoire de taille donnée, on ne pourra pas construire une figure arbitrairement compliquée.

b- Représentation BITMAP :

Une image BITMAP est définie comme étant une fonction $I(x,y)$, où x et y sont les coordonnées d'un point de l'image, et I une fonction d'intensité lumineuse et de couleur.

Les principaux formats de fichier BITMAP sont : BMP – GIF – PCX – TGA et TIFF.

Les images que nous étudierons, afin d'effectuer les différents traitements, sont des images. TIFF. Ce type de fichier est actuellement l'un des formats graphiques les plus utilisées sous l'environnement WINDOWS. Il est connu pour être très flexible et dynamique. Il peut contenir une image en couleur ou en niveaux de gris, ou même plusieurs images. Il offre la possibilité de compression pour des images de grande taille.

L'information dans un fichier TIFF n'est pas figée à un emplacement spécifique, elle peut être placée à n'importe quelle position grâce à un pointeur qui indiquera son adresse. [Voir Annexe B].

Schématiquement, un fichier TIFF peut se décomposer en trois parties distinctes : l'entête (Header), les IFD (Image File Directory), et les images proprement dites. [Voir Annexe B].

3- Outils pratiques en traitement d'image :

Il est souvent intéressant de représenter l'image sous d'autres formes que son simple affichage, et ce dans le but de mettre en évidence certaines informations qui peuvent être utiles lors du traitement.

Ces outils se présentent sous la forme d'aides à l'analyse du contenu de l'image. Parmi ces outils nous avons :

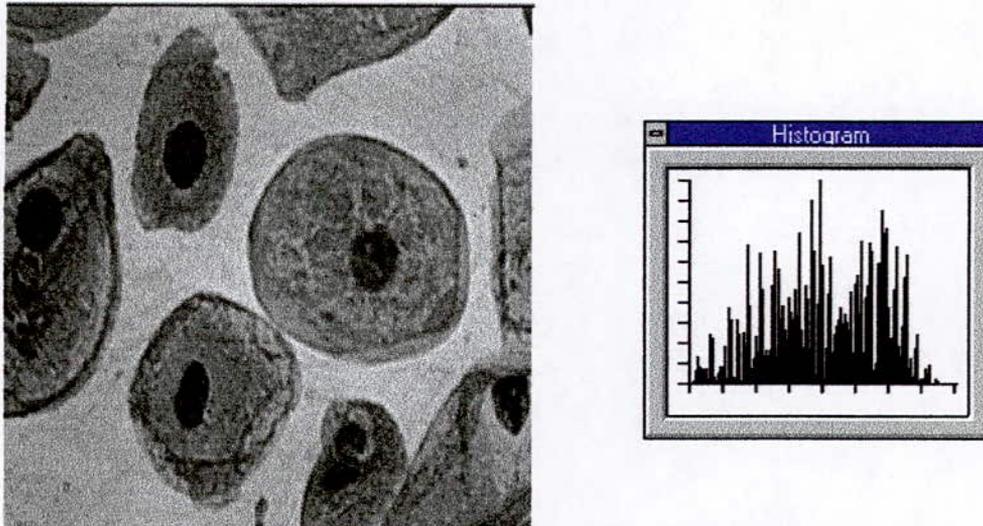
3-1- L'histogramme :

C'est une fonction qui donne la fréquence d'apparition de chaque niveau de gris dans l'image. On représente les niveaux de gris en abscisses (dans notre cas cela sera 256 niveaux), et en ordonné, le nombre de pixel pour chaque niveaux de gris. [TOU 87]

L'intérêt de l'histogramme est :

- D'obtenir un grand nombre d'informations sur la distribution des niveaux de gris de l'image (dynamique de l'image).
- D'analyser entre quelles bornes est représentée la majorité des niveaux de gris, ce qui peut révéler d'intéressantes informations, particulièrement pour des images trop claires ou trop foncées.
- De différencier des objets par rapport au fond dans une image fortement contrastée.

La figure (2-1) montre une image avec son histogramme.



Fig(2-1) : Image de cellules biomédicales, avec son histogramme.

3-2- Isolation des niveaux de gris :

Grâce à cet outil, on peut, à partir des coordonnées x , y , d'un point de l'image, obtenir le niveau de gris de ce point et afficher les points qui ont ce même niveau de gris. Ceci permet de repérer comment se répartissent, dans l'espace, les pixels de même intensité.

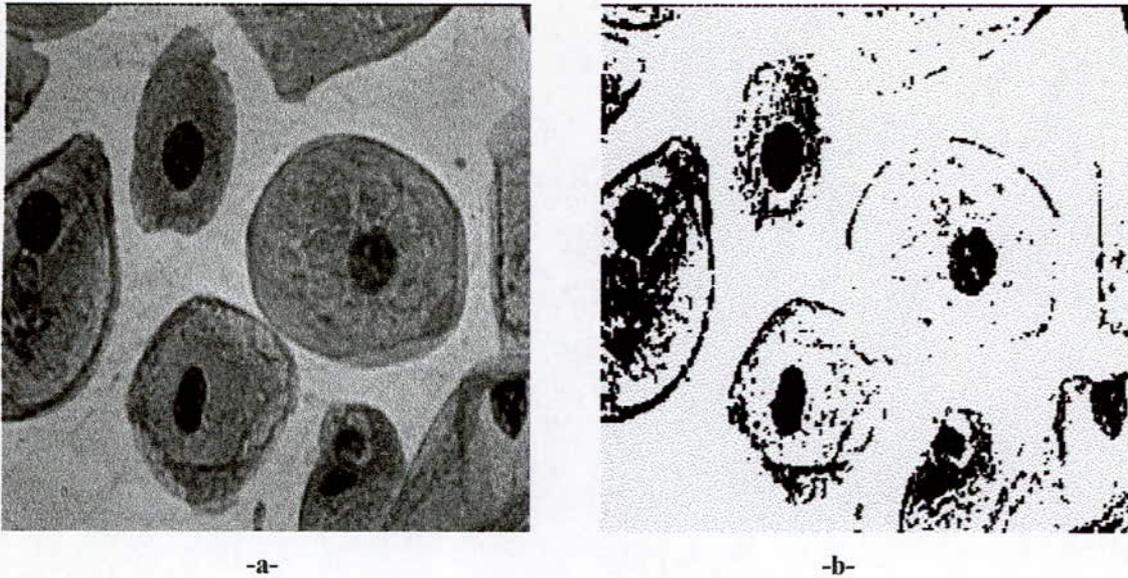
3-3- Seuillage :

Il nous permet de représenter les pixels, dont l'intensité appartient à un intervalle de luminance qu'on définit, par un seul et même niveau de gris.

Ceci nous permet éventuellement de séparer certains objets dans une image peu contrastée.

Le seuillage peut être considéré comme une technique de segmentation. (Ce point sera détaillé plus amplement dans le Chapitre V).

Les figure (2-2a) et (2-2b) montrent une image initiale et le résultat du seuillage de cette image, avec un seuil de 70.



Fig(2-2) : a- Image originale.

b- Image seuillée à 70.

4- Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents outils matériels et logiciels que nous aurons à utiliser par la suite afin d'effectuer le prétraitement, et plus tard la segmentation des images.

Chapitre III :

Morphologie mathématique.

1- Introduction :

Fondée depuis une vingtaine d'années, par G.MATHERON et J.SERRA, à l'école des mines de Paris, la morphologie mathématique a pour but (entre autre) d'éliminer les informations indésirables contenues dans une image tout en préservant les informations essentielles.

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents opérateurs morphologiques définis par HARALICK et STENBERG, que ce soit pour des images binaires ou des images à plusieurs niveaux de gris. A la fin nous exposerons une petite application.

2- Définition de la morphologie mathématique :

La morphologie mathématique, de nature fondamentalement géométrique, consiste à comparer les objets à analyser, qui se trouvent dans une image, à un autre objet de forme connue, appelé **élément structurant**. De la sorte, chaque élément structurant fait apparaître l'image sous un nouveau jour ; tout l'art revient à choisir un bon éclairage.

Le but de l'utilisation de la morphologie mathématique est d'extraire des informations quantitatives de ces objets en se contentant de quelques paramètres suffisants à caractériser l'image.

3- Morphologie mathématique à deux niveaux de gris :

Nous allons définir, dans cette section, les opérateurs morphologiques utilisés pour des images à deux niveaux de gris.

3-1- Dilatation :

3-1-1- Définition :

Elle consiste à dilater l'image. De ce fait, les points noirs, isolés au milieu des parties blanches, sont « mangés » par la dilatation de ces mêmes parties. Ceci est considéré comme une transformation morphologique qui combine deux ensembles en utilisant l'addition vectorielle. Donc, si A et B sont deux sous-ensembles de E, alors la dilatation de A par B notée $A \oplus B$ est définie par :

$$A \oplus B = \{ c \in E \mid (\exists a \in A \text{ et } b \in B) \ c = a + b \} \dots\dots\dots(3-1)$$

En pratique, ceci est réalisé en promenant sur l'image une fenêtre de taille fixe, et en effectuant, pour chaque pixel de l'image un OU logique des pixels formant la fenêtre, à l'exception du pixel de l'image traitée (pixel central). L'algorithme sera comme suit :

Pour Tous les points $ImaIN(x,y)$

Faire Calculer $Fou(x,y)$: le OU des voisins. ;

Si $Fou(x,y)$

Alors $ImaOUT(x,y)=1$;

Sinon $ImaOUT(x,y)=ImaIN(x,y)$;

Fsi

Fp [TOU 87]

La figure (3-1) montre la dilatation d'une image A par un élément structurant B :

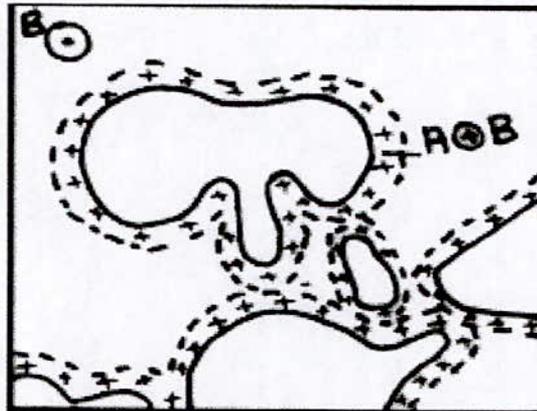


Fig (3-1) : Dilatation de A par B.

3-1-2- Propriétés : [HAR 87]

Les propriétés des opérateurs de dilatation sont les suivants :

1- $A \oplus B = B \oplus A$ (3-2)

2- $A \oplus (B \oplus C) = (A \oplus B) \oplus C$ (3-3)

3- $A \subseteq B \Rightarrow A \oplus C \subseteq B \oplus C$ (3-4)

3-2- Erosion :

3-2-1- Définition :

L'érosion est l'opération duale de la dilatation. Donc, dans ce cas, les points blancs d'une image sont « mangés » par les zones noires qui se trouvent autour. Ceci est donc une transformation morphologique qui combine deux ensembles en utilisant la soustraction vectorielle. Si A et B sont deux sous-ensembles de E, alors l'érosion de A par B notée $A \ominus B$ est définie par :

$$A \ominus B = \{ c \in E \mid c + b \in A \forall b \in B \} \dots \dots \dots (3-5)$$

En pratique, on effectue un ET logique entre les pixels contenus dans la fenêtre utilisée, sauf le pixel central. L'algorithme sera donc comme suit :

Pour Tous les points $\text{ImaIN}(x,y)$

Faire Calculer $\text{Fet}(x,y)$: le ET des voisins. ;

Si $\text{Fet}(x,y)$

Alors $\text{ImaOUT}(x,y) = \text{ImaIN}(x,y)$;

Sinon $\text{ImaOUT}(x,y) = 0$;

Fsi

Fp [TOU 87]

La figure (3-2) montre l'érosion d'une image A par un élément structurant B :

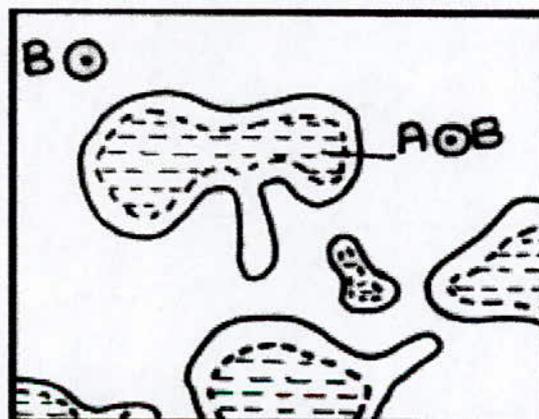


Fig (3-2) : Erosion de A par B.

3-2-2- Propriétés : [HAR 87]

Les propriétés concernant l'érosion sont :

$$1- A \subseteq B \Rightarrow A \ominus K \subseteq B \ominus K \dots\dots\dots(3-6)$$

$$2- A \supseteq B \Rightarrow D \ominus A \subseteq D \ominus B \dots\dots\dots(3-7)$$

$$3- (A \cap B) \ominus K = (A \ominus K) \cap (B \ominus K) \quad \text{mais} \quad (A \cup B) \ominus K \supseteq (A \ominus K) \cup (B \ominus K) \dots\dots\dots(3-8)$$

$$4- A \subseteq B \ominus C \Rightarrow B \supseteq A \ominus C \dots\dots\dots(3-9)$$

$$5- A \ominus (B \ominus C) = (A \ominus B) \ominus C \dots\dots\dots(3-10)$$

$$6- A \ominus B \neq B \ominus A \dots\dots\dots(3-11)$$

3-3- Ouverture et fermeture :

3-3-1- Définition :

Les opérateurs de dilatation et d'érosion ont tendance à augmenter ou diminuer la taille des objets contenus dans l'image. C'est pour cette raison, qu'on a défini deux autres opérateurs qui sont l'ouverture et la fermeture, et qui représentent, une combinaison d'érosion et de dilatation pour le premier, et une combinaison de dilatation et d'érosion pour le second.

L'ouverture d'une image B, par un élément structurant K, est définie par :

$$B^\circ K = (B \ominus K) \oplus K \dots\dots\dots(3-12)$$

La fermeture d'une image B, par un élément structurant K, est définie par :

$$B \bullet K = (B \oplus K) \ominus K \dots\dots\dots(3-13)$$

Les figures (3-3) et (3-4) montrent, respectivement, l'ouverture et la fermeture d'une image B par un élément structurant K.

3-3-2- Propriétés : [HAR 87]

Les propriétés concernant l'ouverture et la fermeture d'une image sont :

$$1- A \oplus K = (A \oplus K)^\circ K = (A \bullet K) \oplus K \dots\dots\dots(3-14)$$

$$2- A \ominus K = (A \ominus K) \bullet K = (A^\circ K) \ominus K \dots\dots\dots(3-15)$$

$$3- (A \bullet K) \bullet K = A \bullet K \dots\dots\dots(3-16)$$

$$4- (A \circ K) \circ K = A \circ K \dots\dots\dots(3-17)$$

$$5- A \circ B \subseteq A \dots\dots\dots(3-18)$$

$$6- A \subseteq A \bullet B \dots\dots\dots(3-19)$$

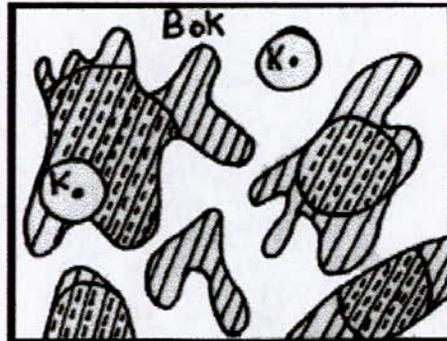


Fig (3-3) : Ouverture de B par K.

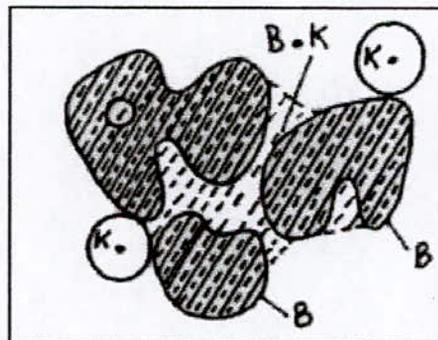


Fig (3-4) : Fermeture de B par K.

4- Morphologie mathématique à plusieurs niveaux de gris :

Les opérateurs morphologiques, décrits dans le paragraphe précédent (dilatation, érosion, ouverture et fermeture), sont aussi utilisés pour des images à plusieurs niveaux de gris ; pour cela il faudra remplacer les notions de ET et de OU logiques par les notions de maximum et de minimum, respectivement MIN et MAX.

Toutes les définitions et propriétés énoncées pour la morphologie mathématique binaire peuvent être appliquées dans le cas de la morphologie mathématique à plusieurs niveaux de gris, à condition de changer les notions d'intersection, d'union, et d'inclusion respectivement par les notions de minimum, maximum, et de relation d'ordre.

4-1- Dilatation :

La dilatation d'une image F par un élément structurant K, notée $F \oplus K$, est définie par :

$$(f \oplus k)(x) = \bigvee_{\substack{x \in K \\ x-z \in F}} f_z = \max_{\substack{z \in K \\ x-z \in F}} f(x-z) \dots \dots \dots (3-20)$$

L'algorithme de dilatation appliqué aux images à plusieurs niveaux de gris se présente comme suit :

Pour Tout point de l'image I(x,y)

Faire

Pour k = -m, m

Pour l = -m, m

Faire

Si I(x,y) ≥ I(x+k, y+l)

Alors I(x,y) = I(x,y) ;

Sinon I(x,y) = I(x+k, y+l) ;

4-2- Erosion :

L'érosion d'une image F par un élément structurant K, noté $F \ominus K$, est définie par :

$$(f \ominus k)(x) = \bigwedge_{\substack{z \in K \\ x+z \in F}} f_{-z} = \min_{\substack{z \in K \\ x+z \in F}} f(x+z) \dots \dots \dots (3-21)$$

L'algorithme d'érosion qu'on appliquera à une image à plusieurs niveaux de gris est le suivant :

Pour Tout point de l'image I(x,y)

Faire

Pour k = -m, m

Pour l = -m, m

Faire

Si $I(x,y) \leq I(x+k, y+l)$

Alors $I(x,y) = I(x,y)$;

Sinon $I(x,y) = I(x+k, y+l)$;

Remarque :

En ce qui concerne la définition des opérateurs d'ouverture et de fermeture de l'image, elle n'est pas différente de celle donnée pour la morphologie mathématique à plusieurs niveaux de gris.

5- Applications :



Fig (3-5a) : Image initiale.



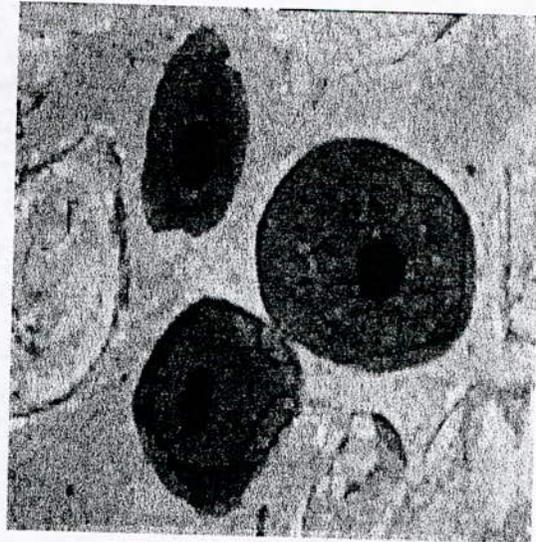
Fig(3-5b) : Image dilatée.



Fig(3-5c) : Image érodée.



Fig (3-5d) : Image fermée.



Fig(3-5e) : Image ouverte.

Remarque :

La dilatation, l'érosion, l'ouverture et la fermeture de la figure (3-5a) c'est faite par un élément structurant de taille 1.

6- Conclusion :

On a vu dans ce chapitre les différents opérateurs morphologiques que nous allons utiliser pour prétraiter nos images et pour en extraire les images des noyaux et des cytoplasmes.

On remarque bien, d'après les algorithmes qui ont été donnés, que l'implémentation de ces opérateurs reste simple tout en donnant de bons résultats, c'est à dire qu'ils nous permettent bien de réaliser un filtrage pour les images.

Chapitre IV :

**Extraction des images noyaux
et des images cytoplasmes.**

1- Introduction :

Après avoir défini les différents outils utilisés en traitement d'image, ainsi que les différents opérateurs morphologiques, nous montrerons dans ce chapitre de quelle façon nous allons nous en servir afin de créer, à partir d'images de cellule brutes, des images contenant uniquement des noyaux ou des cytoplasmes.

Les noyaux sont définis comme étant des éléments foncés, de forme plutôt ronde (dans des cellules normales), baignant dans une membrane de couleur plus claire, qui représente le cytoplasme.

2- Prétraitement :

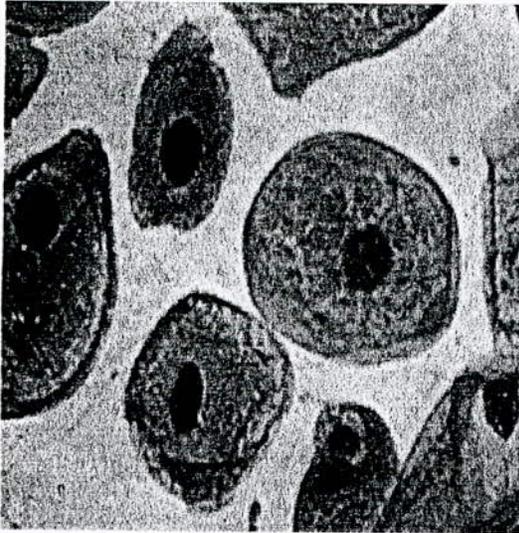
Le but du prétraitement, comme le montre les figures (4-1a) et (4-1b), est d'éliminer, à partir de l'image originale de cellules, les informations indésirables ou inexploitable.

Le terme informations inexploitable est utilisé pour définir les parties de l'image dont on ne peut pas se servir et qui, par conséquent, doivent être éliminées. Ces parties sont :

- Cytoplasme sans noyau.
- Noyau sans cytoplasme.
- Cellules tronquées (c'est à dire qu'une partie du cytoplasme ou du noyau a été tronquée lors de l'étape d'acquisition).
- Cellules dont le cytoplasme est rabattu sur lui-même. Ceci se produit lorsque les tissus (les cellules) prélevés ont été mal fixés sur la lame.

Pour réaliser cette partie du prétraitement, on se servira d'un logiciel de traitement d'images (PSP) [Annexe C], grâce auquel, en sélectionnant les différentes parties à éliminer, on arrive à éclaircir ces zones, et donc à les confondre avec le fond de l'image. Cet éclaircissement se fait au moyen d'un outil présenté dans ce logiciel nommé correction Gamma.

Quant au terme informations indésirables, il s'applique aux tâches isolées, ou aux petits filaments qu'on trouve dans l'image et qui risquent, plus tard, de fausser les opérations de segmentation. Nous allons présenter ultérieurement les différents algorithmes qui permettent d'éliminer ces perturbations. Cette étape est effectuée au fur et à mesure que l'on crée les images noyaux et cytoplasmes.



Fig(4-1a) : Image originale.



Fig(4-1b) : Image prétraitée.

3- Extraction des images noyaux :

Comme nous l'avons dit précédemment, les noyaux se distinguent du cytoplasme par leur couleur foncée. Donc, la première idée de traitement, qui nous vient à l'esprit, est d'effectuer un seuillage qui éliminera les éléments clairs et fera ressortir les noyaux. On remarque toutefois que si on se sert uniquement de cet outil, on obtiendra une image noyaux de mauvaise qualité, car ceci sont entourés d'éléments foncés, que le seuillage n'aura pas écarté, comme le montre les figures (4-2a) et (4-2b) ci dessous. L'apparition de ces éléments est due au fait qu'à l'intérieur du cytoplasme, il existe de petites zones qui ont un niveau de gris inférieur ou égal à celui du seuil défini et qui n'ont, par conséquent, pas été éliminées.



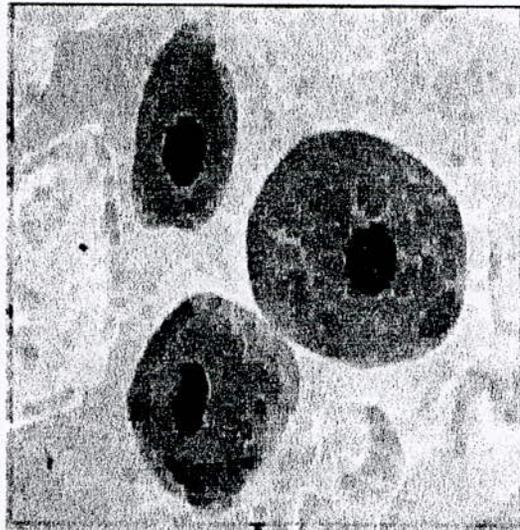
Fig(4-2a) : Image initiale.



Fig(4-2b) : Image seuillée à 50.

Afin de résoudre ce problème, nous allons nous servir, en plus du seuillage, des différents opérateurs morphologiques définis dans le chapitre III, ainsi que les outils définis dans le chapitre II (l'histogramme en particulier).

En premier lieu, nous opérerons par une fermeture de l'image prétraitée, comme le montre la figure(4-3), ce qui permettra l'élimination des petits détails isolés foncés qui se trouvent dans des zones plus claires. Cette fermeture se fait en utilisant un élément structurant carré, de taille relativement grande, ce qui entraînera une élimination des tâches de tailles inférieures à cet élément structurant. Toutefois, il est important que la taille de l'élément structurant soit inférieure à la taille du plus petit noyau de l'image. De ce fait, on peut dire que l'image a subi un filtrage morphologique, qui a permis d'éclaircir les éléments non nucléaires, tout en gardant les noyaux bien présents.



Fig(4-3) : Fermeture de l'image (4-1a) par un élément structurant carré de taille 2.

A ce stade, nous passons à l'étape de seuillage, tel que le montre la figure (4-4) afin de ne garder que les éléments foncés de l'image ; une étape facilitée par l'éclaircissement de celle-ci.

Après cette étape, on peut observer, éventuellement sur l'image, de petites zones blanches à l'intérieur des noyaux, qui sont dues à la granulosité de ces derniers et qui apparaissent dans l'image originale comme de petites zones claires, situées sur ces mêmes noyaux. Sachant que si on veut calculer la surface des noyaux granuleux, les tâches blanches ne seront pas comptabilisées, il faudra, par conséquent, reboucher ces petits creux afin de ne pas tronquer la surface de ces noyaux. Le remplissage de ces trous sera réaliser grâce à l'ouverture de l'image par un élément structurant de petite taille, comme le montre la figure (4-5).



Fig(4-4) : Seuillage de l'image (4-3) avec un seuil de 50.



Fig(4-5) : Ouverture de l'image (4-4) par un élément structurant carré de taille 1.

Le niveau de seuillage, ainsi que la taille des éléments structurant sont déterminés expérimentalement, en se servant entre autre de l'histogramme.

Malgré tout, il est fort possible qu'après avoir effectué ces étapes, qui réalise le filtrage morphologique, de rencontrer sur l'image des filaments et des petites tâches qui seront passés à travers ce filtrage et qu'il faudra, toute fois, éliminer.

Pour réaliser cette opération, l'algorithme imaginé ne sera pas basé sur les opérateurs morphologiques, mais sera conçu comme suit : afin d'isoler les formes filiformes des noyaux, et de les éliminer, on compare le niveau de gris de chaque pixel non blanc au niveau de gris

du pixel qui se trouve à une distance n du pixel initial, et ce dans les huit directions cardinales. Un pixel sera considéré comme appartenant à un noyau si, au moins, dans deux directions le niveau de gris du pixel est égal au pixel se trouvant à une distance n . Cette distance, qui représente le nombre de pixels qui séparent le pixel central du pixel auquel on l'a comparé, est déterminée expérimentalement par l'utilisateur. Il est important de noter que ce traitement sera appliqué à une image contenant seulement deux niveaux de gris (blanc et noir), car l'image sera le résultat des étapes précédemment définies.

On peut alors résumer l'algorithme de suppression des filaments de la façon suivante :

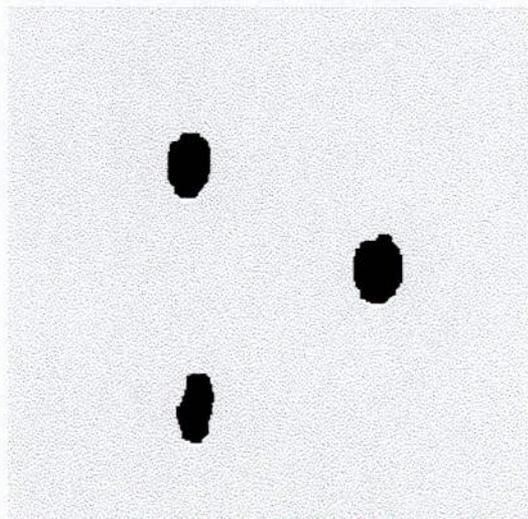
1- Pour chaque pixel noir de l'image :

- Comparer ce pixel aux pixels se trouvant dans les huit directions cardinales à une distance n .
- Pour chaque paire de directions successives, effectuer le test d'appartenance à un noyau.
- Si le test est positif, alors, copier ce pixel dans l'image résultat, sinon, forcer ce pixel à blanc dans l'image résultat.

2- Pour chaque pixel blanc :

- Copier la valeur de luminance de ce pixel dans l'image résultat.

La figure (4-6) donne le résultat obtenu, après avoir appliqué cet algorithme sur l'image de la figure (4-5)



Fig(4-6) : Image noyaux obtenue après éliminations des filaments

Finalement, on peut dire que les étapes de création des images noyaux se présentent comme suit :

1- Elimination des informations indésirables :

- Sélectionner les zones à éclaircir, pour qu'elles ne puissent pas être prises en considération.
- Effectuer une correction Gamma (Gamma Correction), afin de réaliser cet éclaircissement. (Ceci se fait à l'aide du logiciel PSP).

2- Fermeture par un élément structurant de grande taille :

- Elimination des tâches foncées, isolées.
- Filtrage morphologique.

3- Seuillage : le seuil est déterminé expérimentalement, en utilisant l'histogramme :

- Extraction des éléments foncés, de l'image, qui ont un niveau de gris inférieur à un certain seuil.

4- Ouverture par un élément structurant de petite taille : la taille est déterminée expérimentalement.

- Elle permet de combler les trous qui apparaissent dans les noyaux, après l'étape de seuillage.

5- Elimination des filaments et des petites tâches :

- Eliminer les tâches isolées qui ont échappées au filtrage morphologique et ce en appliquant l'algorithme suivant :

Si ($I(x,y) = I(x+n,y)$ et $I(x,y) = I(x+n,y+n)$)

Alors $J(x,y) = I(x,y)$;

Sinon

Si ($I(x,y) = I(x+n,y+n)$ et $I(x,y) = I(x,y+n)$)

Alors $J(x,y) = I(x,y)$;

Sinon

Si ($I(x,y) = I(x, y+n)$ et $I(x,y) = I(x-n,y+n)$)

Alors $J(x,y) = I(x,y)$;

Sinon

Si ($I(x,y) = I(x-n,y+n)$ et $I(x,y) = I(x-n,y)$)

Alors $J(x,y) = I(x,y)$;

Sinon

Si ($I(x,y) = I(x-n,y)$ et $I(x,y) = I(x-n,y-n)$)

Alors $J(x,y) = I(x,y)$;

Sinon

Si ($I(x,y) = I(x-n,y-n)$ et $I(x,y) = I(x,y-n)$)

Alors $J(x,y) = I(x,y)$;

Sinon

Si ($I(x,y) = I(x,y-n)$ et $I(x,y) = I(x+n,y-n)$)

Alors $J(x,y) = I(x,y)$;

Sinon

Si ($I(x,y) = I(x+n,y-n)$ et $I(x,y) = I(x+n,y)$)

Alors $J(x,y) = I(x,y)$;

Sinon $J(x,y) = \text{BLANC}$;

Remarques :

n : indique le nombre de pixels.

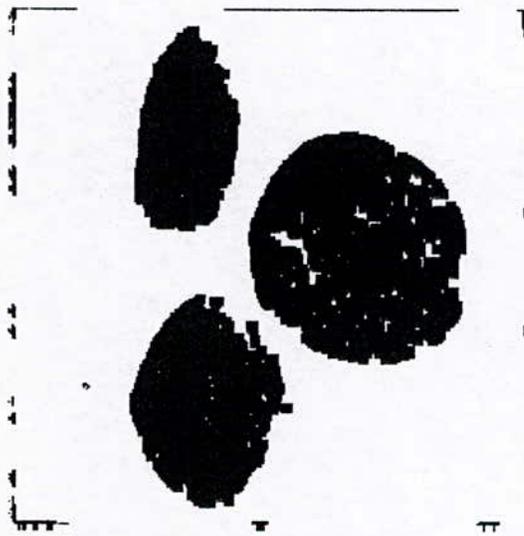
$I(x,y)$: représente l'image originale.

$J(x,y)$: représente l'image résultat.

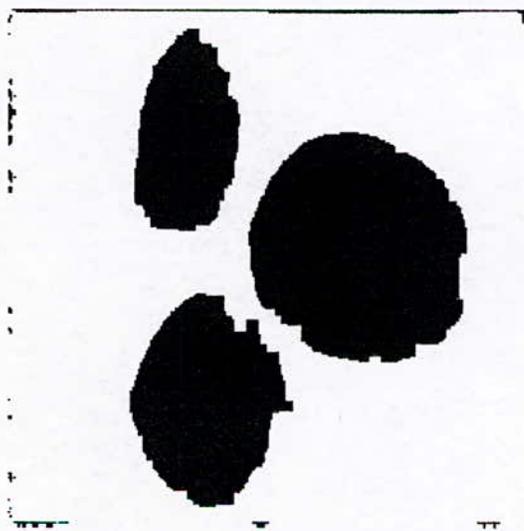
4- Extraction des images cytoplasmes :

Dans cette partie du chapitre, on présentera les différentes étapes qui permettent d'extraire les images cytoplasmes, à partir de l'image originale et de l'image noyaux.

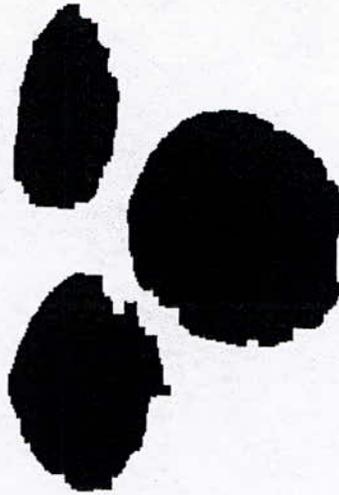
Comme pour l'extraction de l'image noyaux, on procède à la fermeture de l'image originale par un élément structurant de grande taille (voir figure (4-3)), qui éliminera les détails isolés de tailles inférieures (filtrage morphologique). Ensuite, on réalise un seuillage qui permettra de garder les éléments formant le noyau et le cytoplasme, comme l'illustre la figure(4-7) ; puis on réalise l'ouverture de l'image par un petit élément structurant afin d'éliminer les petites tâches blanches qui peuvent apparaître à l'intérieur du noyau ou du cytoplasme après le seuillage, comme le montre la figure(4-8). Après cela, on procède à l'élimination des filaments et des taches, qui sont passés à travers le filtrage morphologique, en utilisant l'algorithme décrit dans le paragraphe précédent, comme le montre la figure(4-9).



Fig(4-7) : Seuillage de l'image (4-3) avec un seuil de 140.



Fig(4-8) : Ouverture de l'image (4-7) par un élément structurant de taille 1.



Fig(4-9) : Image de la cellule avec le noyau.

Enfin, on effectue une différence d'images entre l'image obtenue et l'image noyau ce qui nous permettra d'obtenir l'image cytoplasmes, comme le montre la figure (4-10). Afin de réaliser cette opération on applique l'algorithme suivant :

Soient $I_1(x,y)$, $I_2(x,y)$ et $I_3(x,y)$ représentant, respectivement, l'image noyaux + cytoplasmes obtenue à la suite des étapes décrites précédemment, l'image noyaux et l'image résultat.

Pour $x = 0, \dots, \text{Longueur Image} - 1$

Pour $y = 0, \dots, \text{Largeur Image} - 1$

Si $I_2(x,y) = \text{Noir}$

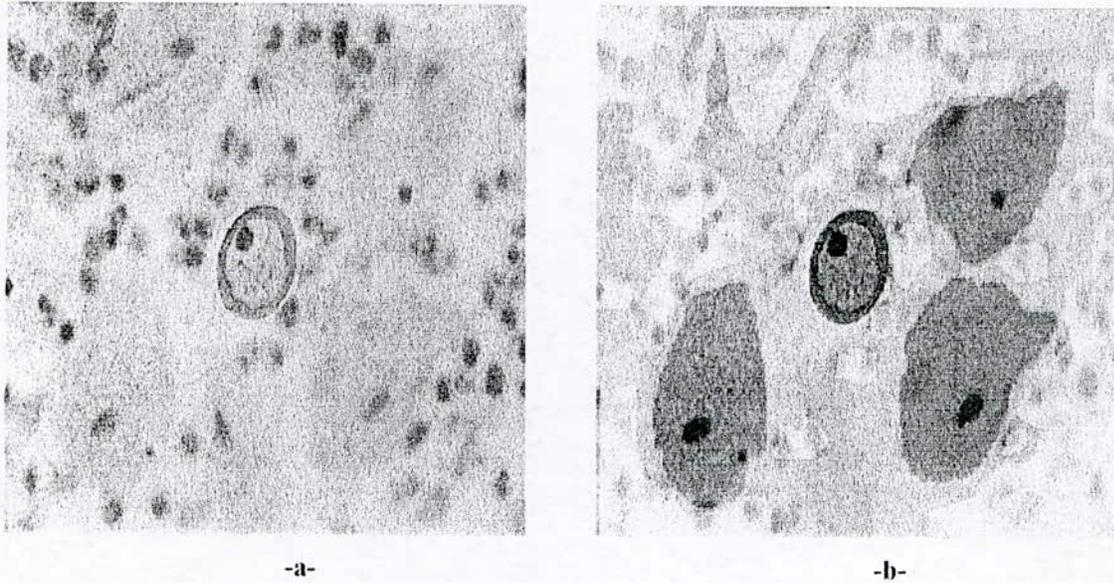
Alors $I_3(x,y) = \text{Blanc}$; **Sinon** $I_3(x,y) = I_1(x,y)$;



Fig(4-10) : Image cytoplasmes.

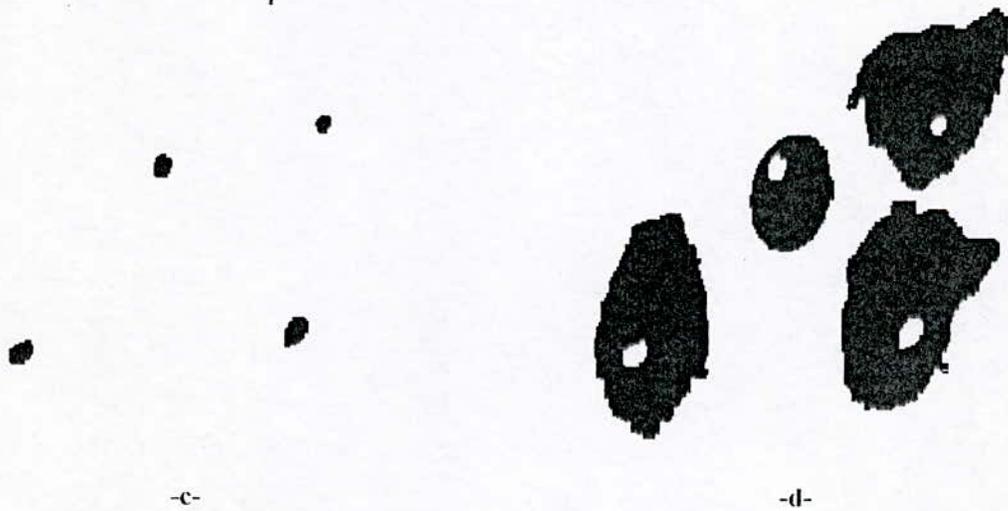
5- Applications et résultats :

5-1- Résultat 1 :



Fig(4-11) ; a- Image originale.

b- Image prétraitée.



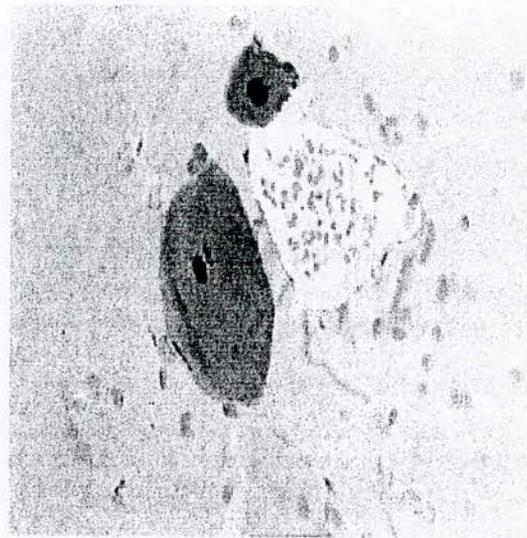
Fig(4-11) ; c- Image noyaux.

d- Image cytoplasmes.

5-2- Résultat 2 :



-a-



-b-

Fig(4-12) : a- Image originale.

b- Image prétraitée.



-c-

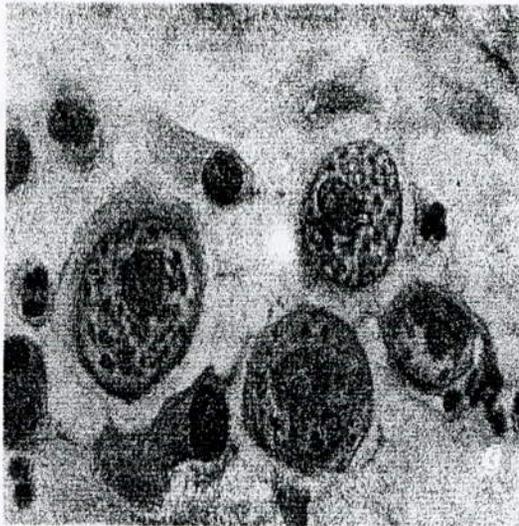


-d-

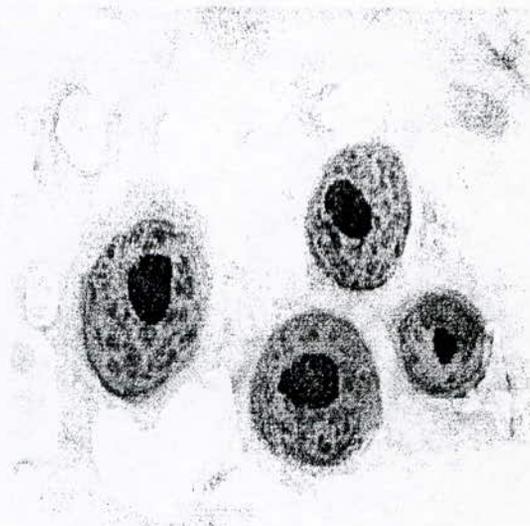
Fig(4-12) : c- Image noyaux.

d- Image cytoplasmes.

5-3- Résultat 3 :



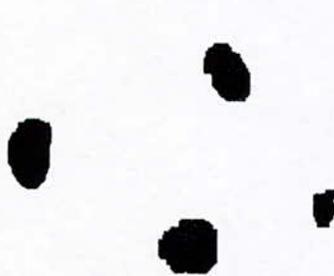
-a-



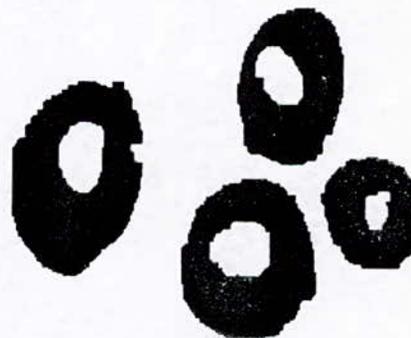
-b-

Fig(4-13) : a- Image originale.

b- Image prétraitée.



-c-

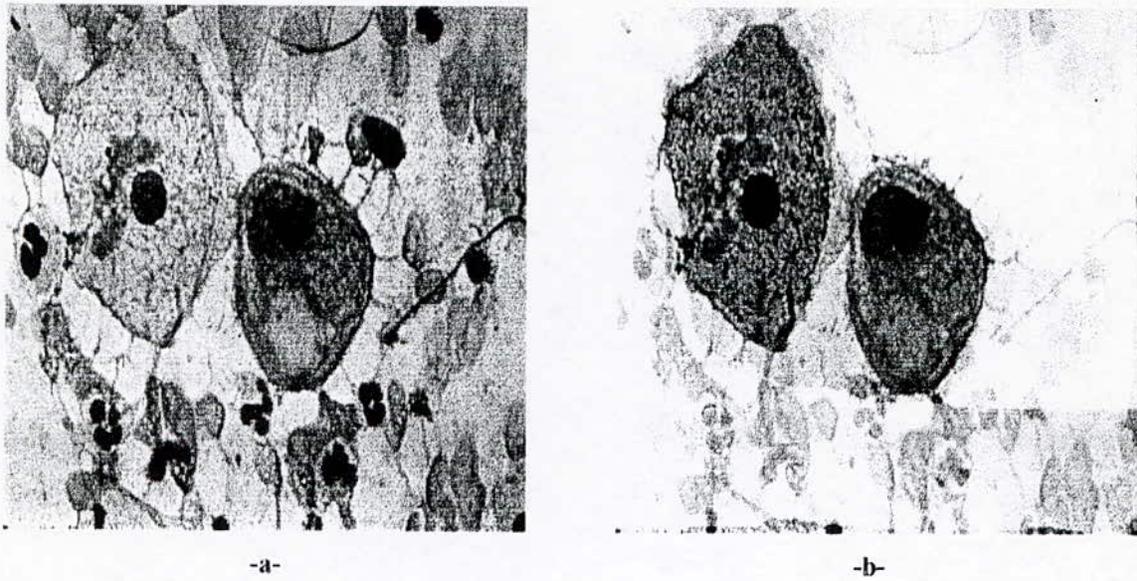


-b-

Fig(4-13) : c- Image noyaux.

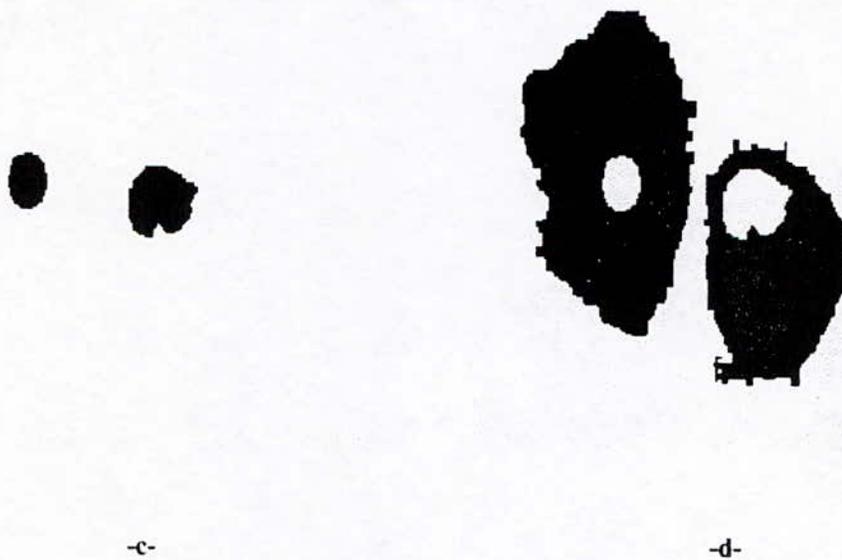
d- Image cytoplasmes.

5-4- Résultat 4 :



Fig(4-14) : a- Image originale.

b- Image prétraitée.



Fig(4-14) : c- Image noyaux.

d- Image cytoplasmes.

Chapitre V :

Principales méthodes de segmentation.

1- Introduction :

Après avoir expliqué, dans le chapitre précédent, comment s'effectuent les étapes d'acquisition et de prétraitement, on abordera, dans ce chapitre, une étape un peu plus abstraite qui consiste en une représentation dans laquelle les points image partageant une même propriété, sont groupés pour former une même région. On parlera, donc, de représentation segmentée.

Nous présenterons les techniques de segmentation les plus importantes.

2- Définition de la segmentation :

La segmentation consiste en la séparation des divers éléments, constituant une image, en régions connexes ayant même propriétés. Son but est donc de diviser l'image originale en plusieurs régions distinctes. Le succès de cette opération dépend du degré de corrélation qui existe entre les entités du monde réel se trouvant sur l'image, tels : les objets, les surfaces ou les parties d'objets, et les régions extraites par la segmentation. [KUN 93].

Comme c'est le cas dans de nombreux problèmes de vision, il est extrêmement difficile de mettre au point un algorithme de segmentation qui fonctionne correctement dans tous les cas et aussi bien que le système visuel humain. De plus, l'image numérique, qui constitue les données de l'algorithme de segmentation, est la projection d'une scène réelle sur un plan, ce qui entraîne la perte d'une dimension spatiale qu'est la profondeur. Ceci fait que la segmentation d'une scène, sur la base de cette seule image, ne peut se faire que si les objets différents en couleurs, en texture ou en forme. [KUN 93].

Ces caractéristiques ne sont, en fait, que des exemples. De façon générale, il faut disposer d'un certain nombre d'attributs représentatifs des régions qu'on cherche à déterminer, pour procéder à la classification individuelle des points.

3- Différentes techniques de segmentation :

Il existe plusieurs approches de segmentation ; parmi les plus importantes :

- 1- Segmentation par seuillage.
- 2- Segmentation par détection de contour.
- 3- Segmentation de région.
- 4- Segmentation à multirésolution.

Les approches segmentation de contenu et de région sont duales. Cependant, les informations qu'elles mettent en évidence sont différentes. Les contours possèdent l'essentiel des caractéristiques de forme de la région, alors que la segmentation en région favorise les caractéristiques non géométriques liées au critère de segmentation, donc au contenu de la région plus qu'à sa forme. (**exp** : sa surface, son niveau de gris, sa texture ... etc).

3-1- Segmentation par seuillage :

La segmentation par seuillage consiste à comparer chaque pixel de l'image à un ou plusieurs seuils.

Cette technique permet de séparer des objets se trouvant sur l'image, du fond de celle-ci. On l'a utilisé, lors du chapitre précédent, pour isoler, en premier lieu, les noyaux des cellules, et, en second lieu, les cytoplasmes, à partir de l'image initiale.

Ce type de segmentation est basé, essentiellement, sur le niveau de gris de chaque pixel de l'image ; c'est pour cette raison que l'utilisation de l'histogramme est indispensable afin de déterminer les seuils que l'on désire reproduire à partir de l'image initiale.

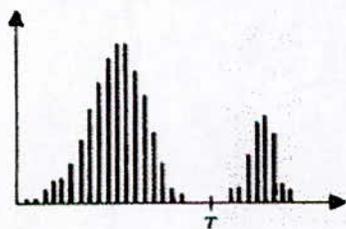
Pour illustrer cela, supposons que l'histogramme de la figure (5-1a) correspond à une image $I(x,y)$, qui contient des objets clairs sur un fond sombre, c'est à dire que les niveaux de gris des pixels qui composent les objets, et ceux des pixels qui composent le fond, se trouvent dans des domaines bien distincts. Afin d'extraire les objets du fond, l'une des méthodes est de sélectionner un seuil T , à partir de l'histogramme, puis de comparer le niveau de gris de chaque pixel, par rapport à ce seuil T .

Si ($I(x,y) > T$)

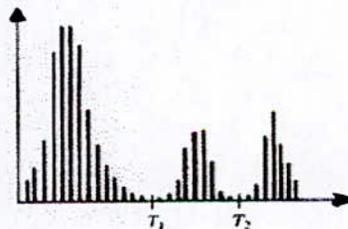
Alors Objet ($I(x,y) = 0$) ;

Sinon Fond ($I(x,y) = 1$) ;

Dans un cas plus général, on peut utiliser plusieurs seuils, ce qui permet d'obtenir, dans l'image résultat, plusieurs classes, comme le montre la figure (5-1b).



Fig(5-1a) : Détermination d'un seuil.



Fig(5-1b) : Détermination de plusieurs seuils.

3-2- Segmentation par détection de contours :

L'expérience montre qu'un homme est capable de reconnaître un objet en observant, tout simplement, ces contours. [TOU 87]. A partir de ce constat, on peut considérer que pour réaliser un système de reconnaissance visuel, on garde de l'image que les points qui constituent les contours des objets que contient celle-ci. C'est dans ce but qu'est utilisée la segmentation de contour. Elle nous permet d'extraire les contours des objets qui nous intéressent et ce en effectuant les étapes suivantes :

- 1- Mise en évidence des contours.
- 2- Réduction des contours.
- 3- Binarisation des lignes de contours.

3-2-1- Mise en évidence des contours :

Elle s'obtient par différentiation de l'image. Elle peut s'appliquer à des images binaires ou non. Dans le cas où celles-ci seraient déjà binarisées, on pourra éviter l'une des étapes du processus qui est la binarisation des contours.

La différentiation de l'image se fait grâce à des opérateurs, qu'on appelle **opérateurs de différentiation**, qui permettent de dériver l'image : une fois, pour l'opérateur Gradient, deux fois, pour l'opérateur Laplacien.

a- Opérateur Gradient :

Il n'est autre qu'une application directe de la formule de dérivation. Il se présente, pour chaque pixel de l'image, sous la forme suivante : [TOU 87], [VIS 95] :

$$dI_x = I(x+1,y) - I(x,y) \dots\dots\dots(5-1a)$$

$$dI_y = I(x,y+1) - I(x,y) \dots\dots\dots(5-1b)$$

dI_x : représente la dérivé en x.

dI_y : représente la dérivé en y.

$I(x,y)$: représente la fonction de luminance pour chaque pixel de l'image.

Cette définition a été à la base de l'opérateur de Roberts mis au point en 1985, et qui se traduit, en pratique, par la convolution de l'image avec les masques :

$$H_x = [-1, 1] \dots \dots \dots (5-2a)$$

$$H_y = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (5-2b)$$

L'amplitude est alors donnée par :

$$dI(x,y) = \sqrt{dI_x^2 + dI_y^2} \dots \dots \dots (5-3)$$

La direction du Gradient, quant à elle, est donnée par :

$$D(x,y) = \text{Arctan} (dI_x / dI_y) \dots \dots \dots (5-4)$$

Par la suite, il a été mis au point d'autres opérateurs, tels que les opérateurs de Sobel, Prewitt ... etc. [Annexe D]

b- Opérateur Laplacien :

Il consiste à calculer la dérivé seconde de l'image. On trouve des exemples d'opérateurs dans l'annexe D.

Après application du Laplacien sur une image, on obtient une image résultat où les points de contours ont une valeur nulle, bordés de deux extremums. Le contour est donc déterminé par la détection des passages par zéro du Laplacien. [VIS 95], [TOU 87].

L'avantage, de cet opérateur, est qu'on obtient des contours d'épaisseur d'un pixel, puisqu'on ne peut avoir qu'un seul passage par zéro, mais l'inconvénient est qu'il est particulièrement sensible au bruit.

3-2-2- Réduction des contours :

Le but de cette étape est de faire en sorte que l'épaisseur des contours, mis en évidence, ne fasse qu'un seul pixel d'épaisseur.

La méthode mise au point, pour arriver à ce résultat, consiste à chercher les maximums locaux, de l'image dérivée, pour déterminer les points exacts du contour.

3-2-3- Binarisation des lignes de contours :

Cette étape permet de définir les contours que l'on considère comme étant important et ceux qu'on considère comme étant secondaires et que l'on rejette. La binarisation permet d'éliminer les fluctuations dues aux bruits de l'image ou à la texture des objets.

3-3- Segmentation en région :

L'objectif de la segmentation en région est de partitionner une image en zones d'intérêts correspondant à des objets de la scène d'où elle est issue. Elle peut être située dans le cadre plus général de la segmentation de données. [VIS 95].

Pour commencer une segmentation de données, on doit connaître :

- Un ensemble d'entités
- Un ensemble d'attributs caractérisant ces entités.
- Des relations topologiques entre ces entités.
- Des attributs relationnels entre ces entités.

Ce que l'on vise par cette segmentation, c'est une partition de ces données ayant des propriétés intéressantes par rapport aux attributs et aux relations topologiques. On peut donc s'attendre à rencontrer les problèmes suivants :

- Définir les propriétés de partitions que l'on cherche.
- Concevoir les algorithmes permettant l'obtention des partitions optimisant ces propriétés.

C'est pour ces raisons qu'on considère un problème de segmentation d'image par :

- Un ensemble de critères d'homogénéité déterminant les propriétés des partitions de l'image que l'on cherche : **Modélisation Analytique**.
- Un algorithme utilisant ces critères de manière à segmenter l'image : **Modélisation Algorithmique**.

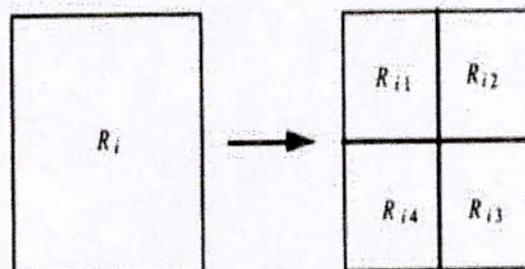
Afin de résoudre ces problèmes, il existe différentes techniques de segmentation par région, qui sont :

- 1- Méthode par séparation (Split).
- 2- Méthode par fusion (Merge).
- 3- Méthode par séparation/fusion (Split & Merge).
- 4- Méthode par agrégation de points.

3-3-1- Méthode par séparation (Split) :

Le principe de cette méthode consiste à tester la validité du critère de manière globale, sur une large zone de l'image. Si le critère est valide l'algorithme s'arrête, sinon, on décompose la zone considérée en zones plus petites, et on réapplique la méthode jusqu'à obtention d'une zone qui valide le critère.

En pratique, ceci est traduit par une division de l'image originale en quatre, comme le montre la figure (5-2), puis une division de chacune des zones en quatre, tant que le critère n'est pas vérifié. [TOU 87], [KUN 93].



Fig(5-2) : Partition d'une région Ri en quatre.

On peut exprimer cette technique par l'algorithme suivant :

Séparation (ZONE)

Si Critère(ZONE) VRAI

Alors Arrêter la division de zone ;

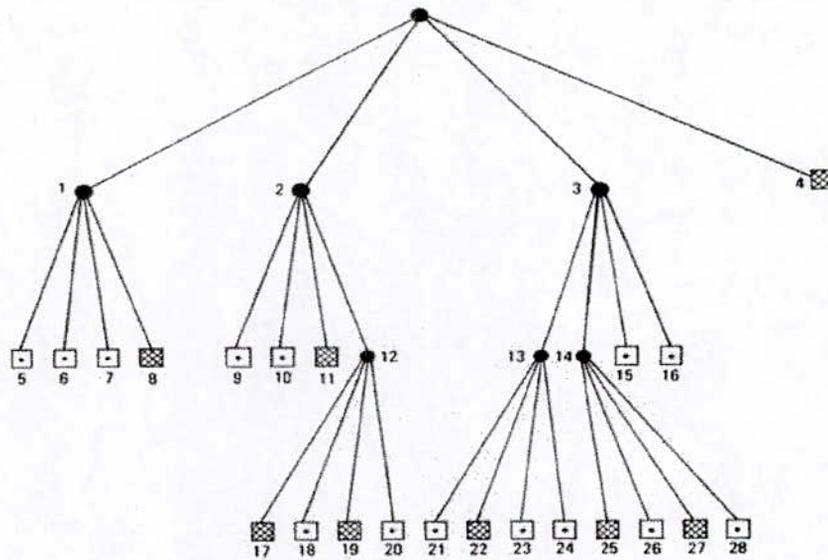
Sinon Diviser la zone en quatre : Z1, Z2, Z3 et Z4 ;

Pour Chaque zone Zi

Faire Séparation (Zi) ;

Cet algorithme produit un arbre appelé quad-tree, comme le montre la figure (5-3), qui donne une structure hiérarchique des régions qui répondent au critère.

Une région, qui répond au critère, forme un nœud terminal ou feuille de l'arbre ; sinon, elle forme un nœud d'où partent quatre branches correspondant aux quatre zones sur lesquelles on réapplique l'algorithme.



Fig(5-3) : Quad-tree.

3-3-2- Méthode par fusion (Merge) :

Cette méthode suit le principe inverse de la méthode précédente, car elle consiste à explorer l'image à partir de petites régions et à faire croître celles-ci. Les règles de fusion de deux régions sont les suivantes : [TOU 87], [KUN 93].

1- Les deux régions répondent de manière similaire aux critères (par exp : deux régions de même niveau de gris).

2- Les deux régions sont adjacentes.

Afin de satisfaire à ces deux règles, il existe deux procédures :

a- Méthode locale itérative. (Coloration de tâche).

b- Méthode locale récursive.

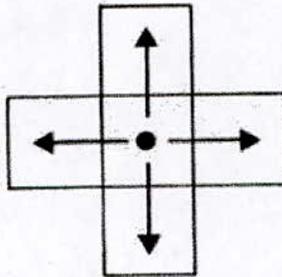
Mais avant de détailler ces méthodes, nous allons définir la connexité de région, qui est un concept indispensable dans la compréhension de ces deux techniques.

- Définition de la connexité :

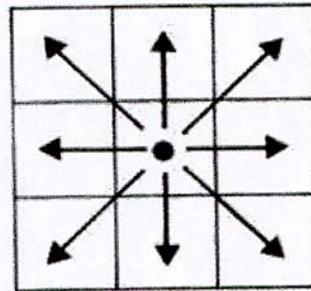
Nous savons que la segmentation a pour but de séparer l'image en régions connexes ayant mêmes propriétés. Or, il existe plusieurs définitions de la connexité dans le cas d'une image numérique échantillonnée suivant un maillage carré : on a la 4 connexité et la 8 connexités.

- **4 connexités** : Elle définit, comme adjacent, les pixels d'un point $I(x,y)$ d'une image comme les quatre pixels voisins suivant les directions x et y .

- **8 connexités** : Elle définit, comme adjacent, les pixels d'un point $I(x,y)$ d'une image comme les quatre pixels voisins suivant les directions x et y , plus ceux suivant les diagonales.



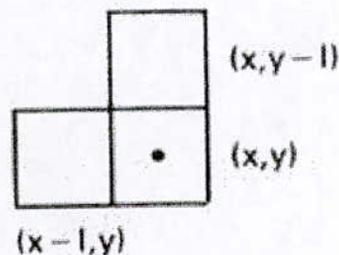
Fig(5-4a) : 4 connexités.



Fig(5-4b) : 8 connexités

a- Méthode locale itérative (coloration de tâche) :

Son principe est le suivant : on promène sur l'image une fenêtre qui nous permet d'utiliser la 4 connexités ou la 8 connexités. La figure (5-5) montre une fenêtre qui utilise la 4 connexités. La couleur représente, en fait, un index qui caractérise le segment, (tous les points appartenant à un même segment sont de même couleur).



Fig(5-5) : Exemple d'une fenêtre utilisée par l'algorithme de coloration de tâches.

L'algorithme utilisé, pour appliqué cette méthode avec la fenêtre de la figure(5-5), se présente comme suit :

Pour Chaque point $I(x,y)$

Faire

Si Critère $(x,y) =$ Critère $(x-1,y)$

Alors Couleur $(x,y) \leftarrow$ Couleur $(x-1,y)$;

Sinon

Si Critère(x,y) = Critère(x,y-1)

Alors Couleur(x,y) ← Couleur (x,y-1) ;

Sinon Couleur(x,y) ← Nouvelle couleur ;

Fsi

Si (Critère(x,y) = Critère(x-1,y) et Critère(x,y) = Critère(x,y-1))

Alors On fusionne les deux régions en donnant la même couleur à tout les points de même couleur que (x,y-1), (x-1,y) et (x,y) ;

Fsi**Fsi****Fp****b- Méthode locale récursive :**

Cette méthode consiste à faire croître une région en utilisant les techniques de recherche dans un arbre ; l'algorithme se promène dans l'image afin de faire croître, au maximum, une région avant de s'intéresser à la suivante. Son principe est celui-ci : [TOU 87]

Pour Chaque pixel I(x,y)

Faire

Si (I(x,y) = Couleur désirée)

Alors Sauvegarder le point de départ (x,y) ;

CROISSANCE(x,y) ;

Incrémenter NuméroSegment ;

Fsi**Fp****CROISSANCE(x,y)**

On met I(x,y) à 0 afin de ne pas réexaminer I(x,y) ;

Pour Tout pixel adjacent à $I(x,y)$

Faire

Si ($I(x,y) = \text{Couleur désiré ET Critère(Pixel) = Critère d départ}$)

Alors CROISSANCE(Pixel) ;

Fsi

Fp

3-3-3- Méthode par séparation/fusion (Split & Merge) :

Les deux méthodes décrites précédemment possèdent des caractéristiques complémentaires :

- Les méthodes par division fournissent une structure hiérarchisée permettant d'établir des relations de proximité entre les régions ; mais l'inconvénient est qu'elles fractionnent une même région en sous-ensembles distincts.

- Les méthodes par fusion permettent d'obtenir le nombre minimal de régions connexes.

La technique Split & Merge a été mise au point afin d'utiliser la complémentarité des caractéristiques des méthodes par séparation et par fusion.

La procédure consiste à réaliser une division, ce qui revient à construire un quard-tree dans le sens racine vers feuilles puis à faire le chemin inverse, dans le sens feuilles vers racine, en fusionnant les régions ayant même critères.

Tout l'intérêt de cette technique est de palier à un point faible de la technique de division qui est l'impossibilité de rassembler deux régions adjacentes ayant même propriétés.

Grâce à l'association des deux méthodes, on réunit, à partir de la segmentation grossière obtenue par la division, les différents blocs adjacents de l'image. [TOU 87], [KUN 93] et [GON 87].

3-3-4- Méthode par agrégation de points :

Le principe des algorithmes utilisés pour ces méthodes est d'associer à chaque pixel un vecteur de propriétés. Deux pixels sont regroupés si leurs vecteurs de propriétés sont suffisamment similaires. Le résultat de la segmentation est constitué par les composantes connexes déterminées. [VIS 95].

La technique la plus simple consiste à réunir deux pixel si leur différence de niveau de gris est nulle ou suffisamment faible.

Des critères de regroupement plus sophistiqués attachant à chaque pixel un vecteur de propriétés, dépendant d'un voisinage $k \times k$ autour du pixel, ont été employés. Souvent, le vecteur de propriétés est issu d'un opérateur de détection de contour. Les pixels non séparés par un contour sont associés. Les résultats obtenus dépendent, évidemment, du détecteur de contour utilisé. [VIS 95].

Toutefois, la segmentation par agrégation de point est une approche limitée par le fait que les entités qu'on regroupe véhiculent peu d'informations. En effet, ces méthodes consistent à déterminer des noyaux de régions et, ensuite, à regrouper itérativement des points à ces régions. Les seules informations dont on dispose pour décider d'un regroupement sont les caractéristiques du noyau des régions et la luminance du point.

Les méthodes par regroupement itératif d'ensembles de points permettent d'utiliser des informations plus riches pour former les régions. [GON 87], [VIS 95].

3-4- Segmentation à multirésolution :

Dans la section précédente, nous avons présenté des techniques de segmentation qui se basent sur la croissance de régions. Le problème fondamental, qui se pose dans ce type d'approche, est la détermination de ou des critères de segmentation. La définition de ce critère dépend fortement de l'hypothèse d'existence d'un modèle sous-jacent, capable de décrire avec précision les propriétés des régions. [KUN 93]

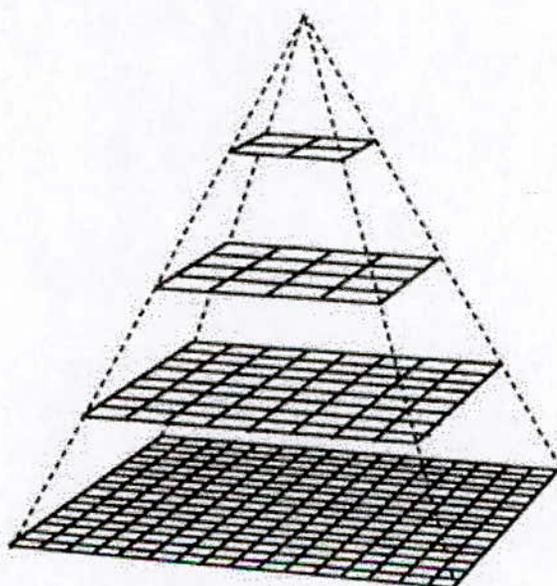
Dans la technique de segmentation multirésolution, l'accent n'est pas mis sur le choix d'un modèle précis d'image, mais beaucoup plus sur le mécanisme de la segmentation dans un contexte à plusieurs résolutions.

On sait que la segmentation d'une image et l'estimation des propriétés des différentes régions, qui composent celle-ci, sont très interdépendantes. Ceci implique que ces deux processus doivent être réalisés en collaboration. C'est pourquoi, dans cette section, un point important sera abordé, qui est l'intérêt de l'utilisation de la multirésolution.

Supposons que pour une image I on ait besoin de calculer les propriétés texturales afin de les utiliser dans la segmentation. Si la résolution, sur laquelle on effectue ce calcul, est trop fine, les petits éléments de micro-textures peuvent être interprétés comme étant des segments d'image isolés. Si, au contraire, cette résolution est très grossière, les régions qui devaient être

identifiées comme des segments d'image peuvent être interprétés comme des éléments de micro-textures. Ceci montre que les textures possèdent une échelle inhérente à laquelle elles peuvent être analysées d'une façon optimale. Cette échelle est reliée aux éléments structurels constituant la texture. Ainsi, cet exemple montre que l'analyse doit être effectuée à une certaine échelle spatiale correspondant à la structure spatiale inhérente de l'image, et le calcul des propriétés des régions devrait être restreint à la région, sans dépasser ou croiser les frontières. [KUN 93].

La construction d'une représentation à plusieurs niveaux de gris possède plusieurs avantages tels que la possibilité d'utiliser les opérateurs, aux résolutions appropriées, pour déterminer la taille idéale des fonctions, et pour relier l'analyse de bas niveau avec les points images et l'analyse sur les régions. On remarque que la résolution la plus grande est à la base de la pyramide et la plus faible se trouve au sommet comme le montre la figure(5-6).



Fig(5-6) : Représentation pyramidale.

Les algorithmes de segmentation à multirésolution présentent une grande robustesse contre le bruit et garantissent une segmentation précise, aussi bien pour des images texturées, que pour des scènes naturelles complexes.

4- Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre les techniques de segmentation les plus connues, ce qui nous permettra, pour l'étape suivante, de choisir celle qui est la plus appropriée à la segmentation des cellules du col utérin.

Chapitre VI :

**Segmentation d'images de
cellules du col utérin.**

1- Introduction :

Après avoir exposé les différentes techniques de segmentation, dans le chapitre précédent, nous allons appliquer l'une de ces techniques à des images particulières qui représentent les différents types de cellules du col utérin.

Le but de la segmentation que nous allons réaliser est de séparer les différents types de cellules se trouvant dans l'image originale, et de placer chacun des types dans une nouvelle image.

2- Critère de segmentation :

Nous avons vu précédemment que les critères de segmentation classiques, utilisés sont : La texture, le niveau de gris, la forme ... etc.

Dans notre cas nous nous sommes servis, comme on l'a vu dans le chapitre précédent, de la différence des niveaux de gris, afin de séparer les noyaux et les cytoplasmes qui composent les cellules ; par la suite nous allons utiliser un autre critère, pour différencier les types de cellules, qui est le rapport de surface noyau/cytoplasme et qui caractérise la nature de chaque cellule que comporte l'image.

3- Calcul des différentes surfaces (noyaux et cytoplasmes) :

Pour réaliser une segmentation en fonction du rapport de surface noyau/cytoplasme, il faut calculer :

- Les surfaces des différents noyaux.
- Les surfaces des différents cytoplasmes.
- Le rapport noyau/cytoplasme correspondant à chaque cellule.

L'algorithme qu'on a mis au point est un algorithme de croissance de région, itératif, basé sur le principe suivant :

Pour chaque point de l'image $I(x,y)$, on fait appel à une fonction **Surface** qui permet de calculer la surface d'un noyau ou d'un cytoplasme, et de renvoyer la valeur de cette surface qu'on emmagasinerà dans un vecteur préalablement déclaré. La fonction **Surface** est exécutée sous conditions de rencontrer un pixel de l'image dont le niveau de gris est égal à zéro (c'est à dire de couleur noire), et qui n'a pas été préalablement exploré. Si ces deux conditions sont vérifiées, la fonction **Surface** permettra d'effectuer les opérations suivantes :

- 1- Positionner un compteur **Compte-Surface** à 1.
- 2- Emmagasiné ce point dans une variable **Contour-Présent**, ainsi que ses coordonnées dans un vecteur **Point**, ce qui servira plus tard pour l'opération de segmentation.
- 3- Explorer les points qui entourent directement **Contour-Présent**.
- 4- Si on trouve des points noirs et non explorés, incrémenter le compteur **Compte-Surface** d'autant de points noirs et non explorés, puis les emmagasiner dans une variable **Contour-Future**.
- 5- Affecter la variable **Contour-Future** dans **Contour-Présent**.
- 6- Refaire les opérations 3, 4 et 5 jusqu'à ce que la variable Contour-Future ne contienne plus de points dont le niveau de gris est égal à zéro et qui n'a pas été exploré.
- 7- Renvoyer la valeur de la surface grâce à la variable **Compte-Surface**.

On peut résumer ces étapes par l'algorithme suivant :

Si ($I(x,y) = 0$ ET $I(x,y) = \text{non_exploré}$)

Alors $\text{Compte-Surface} \leftarrow 1$;

$\text{Contour-Présent} \leftarrow \text{point}(x,y)$;

Tant que Il existe des points qui entourent Contour-Présent, qui ont un niveau de gris=0, et qui n'ont pas été explorés.

Alors Explorer les points qui entourent Contour-Présent ;

Incrémenter Compte-Surface d'autant de fois qu'on trouve des points qui entourent Contour-Présent, qui ont un niveau de gris égal à 0 et qui ne sont pas explorés ;

$\text{Contour-Future} \leftarrow \text{point}(x,y)$: niveau de gris = 0 et non exploré ;

$\text{Contour-Présent} \leftarrow \text{Contour-Future}$;

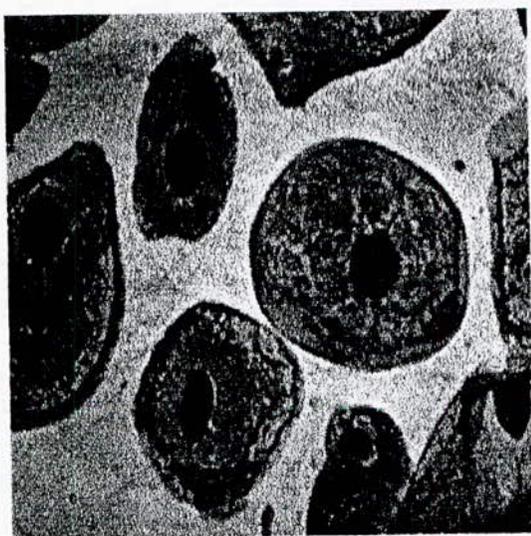
Fin Renvoyer la valeur de Compte-Surface ;

Les résultats obtenus, en appliquant cette procédure, sont donnés par les figures (6-1a), (6-1b), (6-1c), (6-1d) et le tableau (6-1).

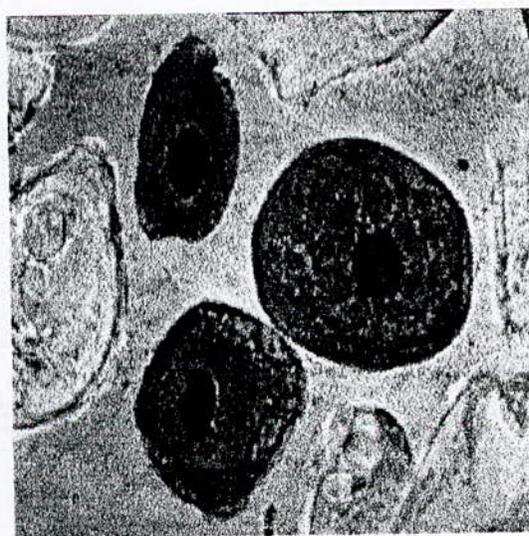
4- Calcul du rapport nucléo-cytoplasmique de chaque cellule :

Après avoir déterminé les surfaces des noyaux et des cytoplasmes, on utilisera les procédures suivantes afin de déterminer le rapport noyau/cytoplasme correspondant à chaque cellule :

- 1- Stocker la valeur de la surface du noyau dans une variable **Noyau**.
- 2- Stocker la valeur de la surface du cytoplasme, qui correspond au noyau, dans une variable **Cytoplasme**.
- 3- Calculer le rapport noyau/cytoplasme.
- 4- Stocker la valeur de ce rapport dans une variable **Rapport**.



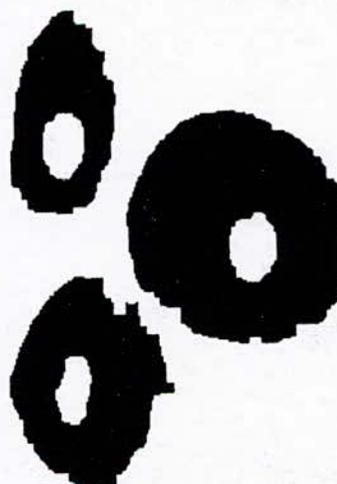
Fig(6-1a) : Image originale.



Fig(6-1b) : Image prétraitée.



Fig(6-1c) : Image noyaux.



Fig(6-1d) : Image cytoplasmes

	Cellule 1	Cellule 2	Cellule 3
Surface noyau.	525	623	442
Surface cytoplasme.	3342	8838	5121
Rapport noyau/cytoplasme	0.157092	0.070491	0.086331

Tableau (6-1) : Valeurs des surfaces noyau, cytoplasme et du rapport n/c des cellules de la figure(6-1b).

Remarque : La numérotation des cellules se fait de haut en bas de l'image, en la balayant ligne par ligne, de gauche à droite. Ceci est valable pour toutes les applications.

5- Segmentation des cellules en fonction du rapport noyau/cytoplasme :

Précédemment, nous avons montré que ce qui permettait de différencier les types de cellules est le rapport noyau/cytoplasme ; rappelons que plus la cellule est jeune et se trouve dans une couche profonde, plus le rapport est élevé, inversement, plus la cellule est vieille et se trouve dans une couche superficielle, plus le rapport est faible.

Les intervalles du rapport nucléo-cytoplasmique, correspondant à chaque type de cellule, sont les suivants :

- Cellules basales : $0.25 \leq \text{rapport} < 0.37$.
- Cellules para-basales : $0.15 \leq \text{rapport} < 0.25$.
- Cellules intermédiaires : $0.04 \leq \text{rapport} < 0.15$.
- Cellules superficielles : $0.01 \leq \text{rapport} < 0.04$.

Dans le but de réaliser l'opération de segmentation, nous utiliserons le principe suivant :

- Pour chaque rapport nucléo-cytoplasmique qui appartient à un intervalle définissant le type de la cellule (basale, para-basale, intermédiaire et superficielle), on affecte un niveau de gris au noyau et au cytoplasme correspondant à ce rapport ; ce niveau de gris nous permettra de différencier les types des cellules, le résultat sera que toutes les cellules de même type auront un même niveau de gris.

Pour mettre ceci en œuvre, on exécutera les étapes suivantes :

- 1- Comparer le rapport nucléo-cytoplasmique, de la première cellule, aux différents intervalles.

2- Après avoir déterminé l'intervalle, faire appel à la fonction qui correspond à cet intervalle et qui affectera à la cellule le niveau de gris adéquat. Il est important de signaler qu'on a quatre fonctions, chacune correspondant à une catégorie de cellules, elles sont basées sur le même principe, la seule différence réside dans le niveau de gris qu'elles affectent à chaque cellule.

Le principe sur lequel sont basées ces fonctions se rapproche fortement de la procédure utilisée pour calculer les surfaces des cellules. Les étapes à suivre sont :

- 1- Se positionner sur le point emmagasiné dans le vecteur Point (voir page 57 étape 2 de la fonction surface), et qui correspond à notre rapport, c'est à dire, si on a le rapport de la première cellule, on se place sur le premier point emmagasiné, si on a le second rapport, on se place sur le second point ...etc.
- 2- Affecter ce point à une variable **Contour-Présent**.
- 3- Colorer ce point avec le niveau de gris approprié.
- 4- Explorer les points qui entourent la variable Contour-Présent.
- 5- Si on trouve des points noirs et non explorés, emmagasiner ces points dans une variable Contour-Future.
- 6- Affecter Contour-Future à Contour-Présent.
- 7- Colorer les points de Contour-Présent avec le niveau de gris approprié (le même que dans 3).
- 8- Refaire les opérations 4, 5, 6 et 7 tant que la variable Contour-Future contient des points noirs et non explorés.

L'algorithme qui nous permet de segmenter tous les noyaux et les cytoplasmes contenus dans chaque image, se présente comme suit :

Pour Chaque rapport noyau/cytoplasme

Faire

Si (rapport \in [Basale])

Alors Faire appel à la fonction Basale pour colorer le noyau et le cytoplasme qui correspondent à ce rapport ;

Sinon

Si (rapport \in [Para-basale])

Alors Faire appel à la fonction Para-basale pour colorer le noyau et le cytoplasme qui correspond à ce rapport ;

Sinon

Si (rapport \in [Intermédiaire])

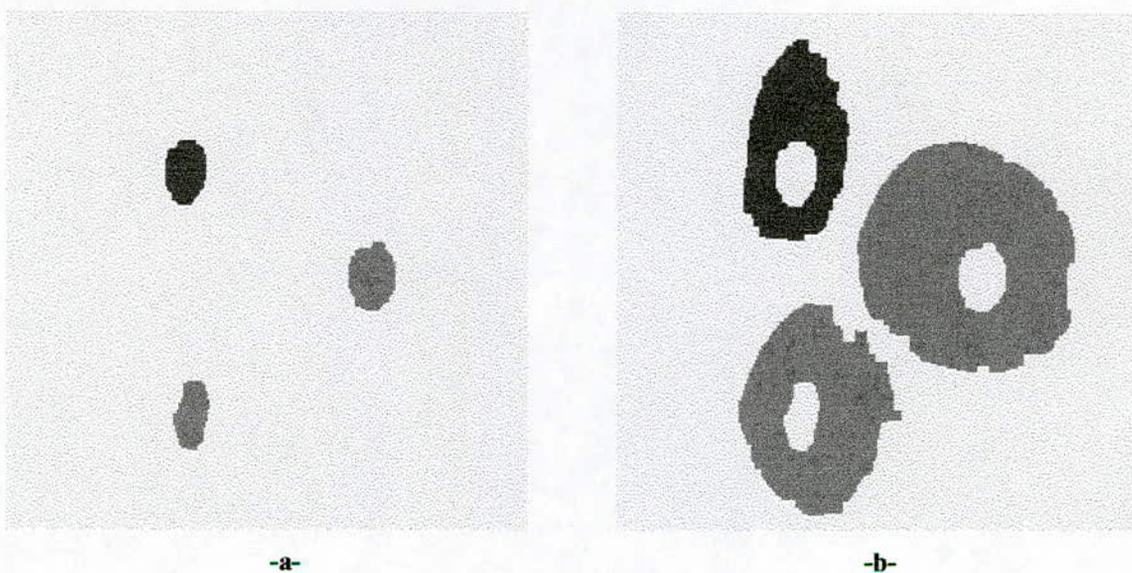
Alors Faire appel à la fonction Interméd pour colorer le noyau et le cytoplasme qui correspond à ce rapport ;

Sinon

Si (rapport \in [Superficielle])

Alors Faire appel à la fonction Superf pour colorer le noyau et le cytoplasme qui correspond à ce rapport ;

Après avoir appliqué ces algorithmes, on obtiendra deux images distinctes, l'image noyaux et l'image cytoplasme. On pourra facilement remarquer que les noyaux et les cytoplasmes, qui appartiennent à la même catégorie de cellules, auront un même niveau de gris, comme le montre les figures (6-2a) et (6-2b).



Fig(6-2) : a- Segmentation des noyaux de la Fig(6-1a).

b- Segmentation des cytoplasmes de la Fig(6-1a).



Cellule basale.



Cellule para-basale.



Cellule intermédiaire.



Cellule superficielle.

6- Création des images contenant un même type de cellules :

Dans cette section, nous allons expliquer comment on affecte une cellule d'un certain type à une image qui ne contiendra que des cellules de ce même type.

Soient $I(x,y)$, $J(x,y)$ et $K(x,y)$ les images contenant, respectivement, les noyaux, les cytoplastes et les cellules originales. Considérons $Basale(x,y)$, $Para-basale(x,y)$, $Interméd(x,y)$ et $Superf(x,y)$ comme étant, respectivement, les images résultats des cellules basales, para-basales, intermédiaires et superficielles.

Notre algorithme sera le suivant :

Pour Chaque x

Pour Chaque y

Si ($I(x,y)$ = niveau de gris basale)

Alors $Basale(x,y) = K(x,y)$;

Si ($J(x,y)$ = niveau de gris basale)

Alors $Basale(x,y) = K(x,y)$;

Si ($I(x,y)$ = niveau de gris para-basale)

Alors $Para-basale(x,y) = K(x,y)$;

Si ($J(x,y)$ = niveau de gris para_basale)

Alors $Para-basale(x,y) = K(x,y)$;

Si ($I(x,y)$ = niveau de gris intermédiaire)

Alors $Interméd(x,y) = K(x,y)$;

Si ($J(x,y)$ = niveau de gris intermédiaire)

Alors $Interméd(x,y) = K(x,y)$;

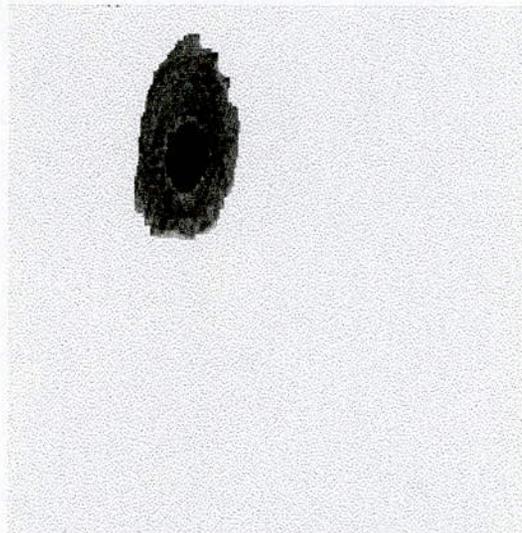
Si ($I(x,y)$ = niveau de gris superficielle)

Alors Superf(x,y) = K(x,y) ;

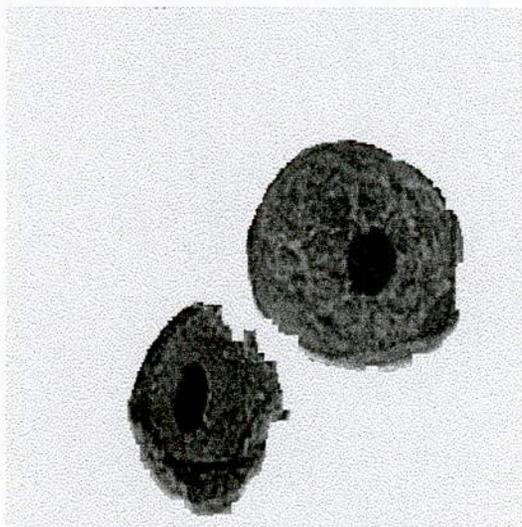
Si ($J(x,y)$ = niveau de gris superficielle)

Alors Superf(x,y) = K(x,y) ;

Le résultat que nous obtiendrons est la constitution d'images contenant un seul et même type de cellules, comme le montre les figures (6-3a) et (6-3b).



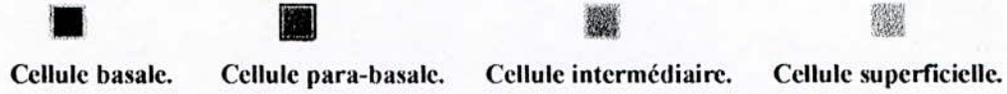
Fig(6-3a) : Image de cellule para-basale.



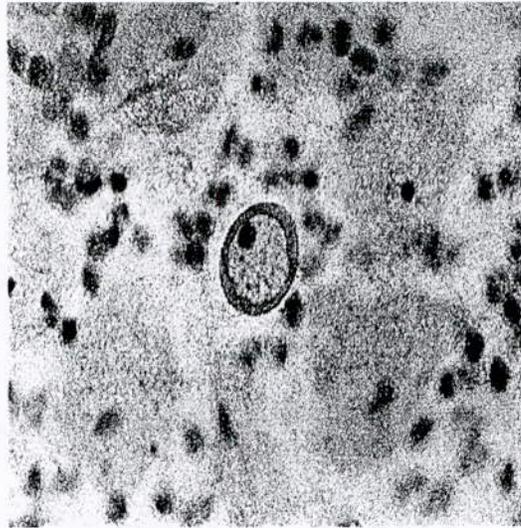
Fig(6-3b) : Image de cellules intermédiaires.

7- Applications et résultats :

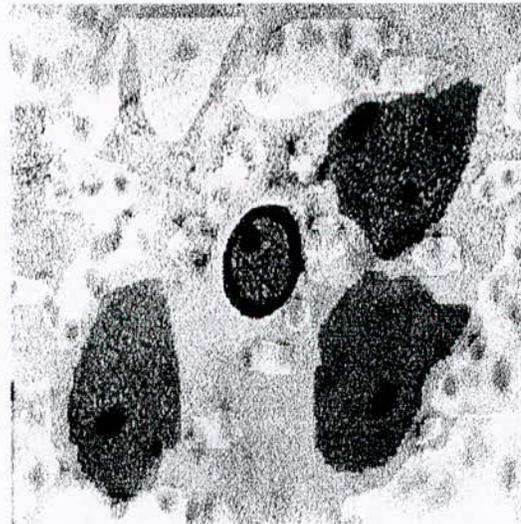
Remarque :



7-1- Résultat 1 :



Fig(6-4a) : Image originale.



Fig(6-4b) : Image prétraitée.

	Cellule 1	Cellule 2	Cellule 3	Cellule 4
Surface noyau.	56	86	133	111
Surface cytoplasme.	4276	1716	4944	4304
Rapport noyau/cytoplasme	0.013096	0.050117	0.026901	0.025790

Tableau (6-2) : Valeurs des surfaces noyau, cytoplasme et du rapport n/c des cellules de la figure(6-4b).



Fig(6-4) : c- Segmentation des noyaux de la Fig(6-4b).

d- Segmentation des cytoplasmes de la Fig(6-4b).



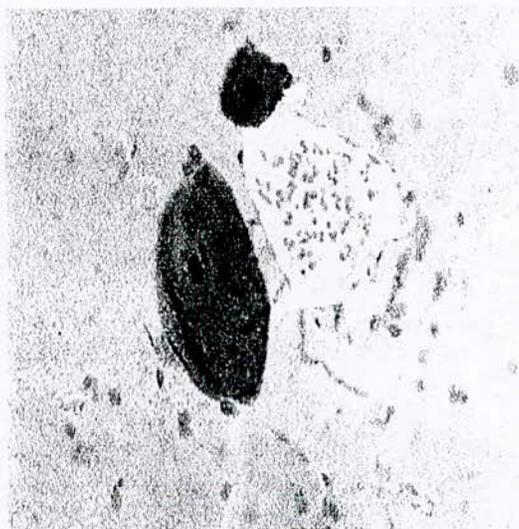
Fig(6-4) : e- Cellule intermédiaire.

f- Cellules superficielles.

7-2- Résultat 2 :



Fig(6-5a) : Image originale.



Fig(6-5b) : Image prétraitée.

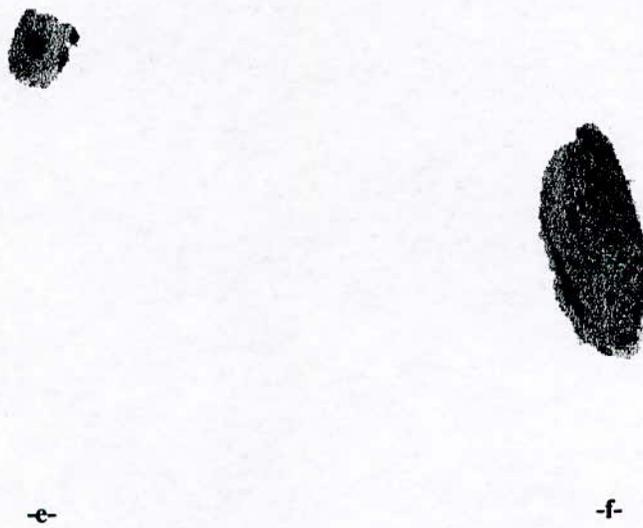
	Cellule 1	Cellule 2
Surface noyau.	97	66
Surface cytoplasme.	855	4527
Rapport noyau/cytoplasme	0.113450	0.014579

Tableau (6-3) : Valeurs des surfaces noyau, cytoplasme et du rapport n/c des cellules de la figure(6-5b).



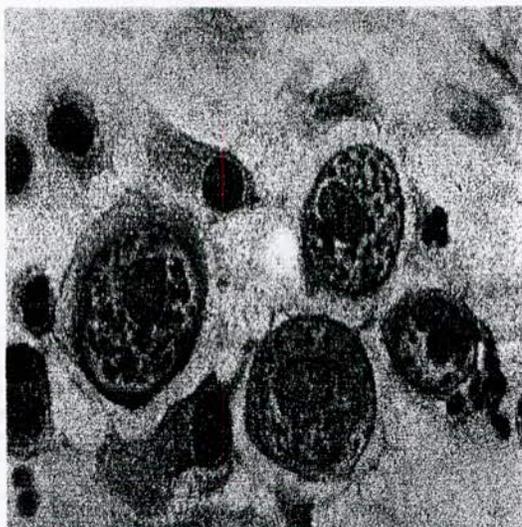
Fig(6-5) : c- Segmentation des noyaux de la Fig(6-5b).

d- Segmentation des cytoplasmes de la Fig(6-5b).



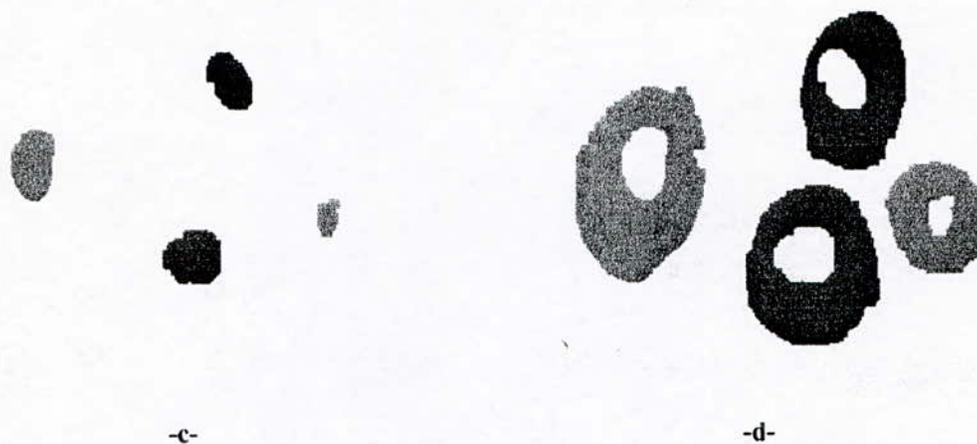
Fig(6-4) : e- Cellule intermédiaire.

f- Cellule superficielle.

7-3- Résultat 3 :**Fig(6-6a) : Image originale.****Fig(6-6b) : Image prétraitée.**

	Cellule 1	Cellule 2	Cellule 3	Cellule 4
Surface noyau.	472	616	178	648
Surface cytoplasme.	2743	4131	1923	3480
Rapport noyau/cytoplasme	0.172074	0.149116	0.092564	0.186207

Tableau (6-4) : Valeurs des surfaces noyau, cytoplasme et du rapport n/c des cellules de la figure(6-6b).



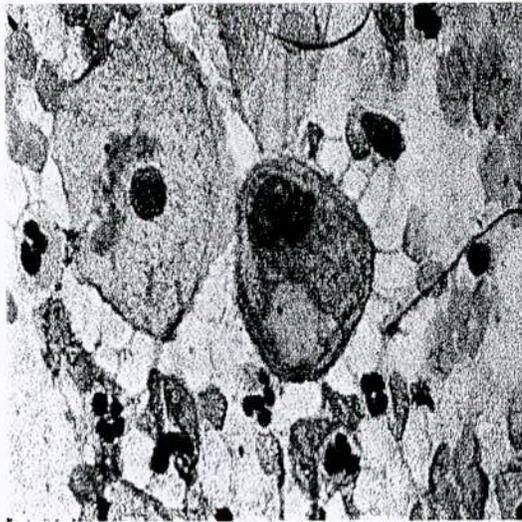
Fig(6-6) : c- Segmentation des noyaux de la Fig(6-6b).

d- Segmentation des cytoplasmes de la Fig(6-6b).



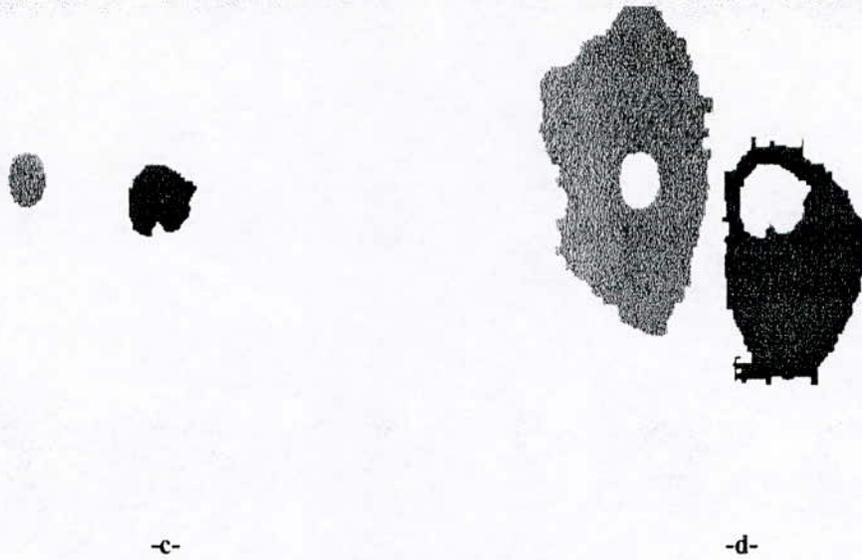
Fig(6-6) : e- Cellules intermédiaires.

f- Cellules para-basales.

7-4- Résultat 4 :**Fig(6-7a) :** Image originale.**Fig(6-7b) :** Image prétraitée.

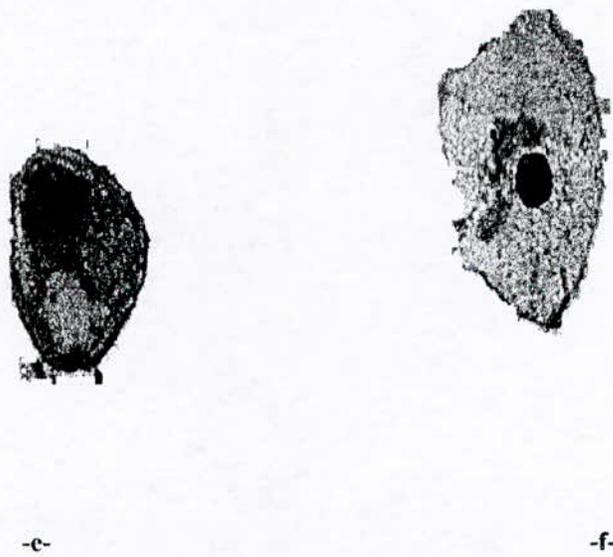
	Cellule 1	Cellule 2
Surface noyau.	412	875
Surface cytoplasme.	9237	5492
Rapport noyau/cytoplasme	0.044603	0.159323

Tableau (6-5) : Valeurs des surfaces noyau, cytoplasme et du rapport n/c des cellules de la figure(6-7b).



Fig(6-7) : c- Segmentation des noyaux de Fig(6-7b).

d- Segmentation des cytoplasmes de Fig(6-7b).



Fig(6-7) : e- Cellule para-basale.

f- Cellule intermédiaire.

8- Conclusion :

Nous avons exposé dans ce chapitre les différents algorithmes qui nous ont permis de segmenter les images de cellules biomédicales, de reconstituer chaque cellule et de les placer dans les images qui correspondent à chaque type.

Les résultats que nous avons obtenus sont satisfaisants et nous montrent bien la validité du critère de segmentation que nous avons choisi.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'objectif de notre travail était de réaliser la segmentation des cellules du col utérin.

Pour cela, nous avons tout d'abord abordé l'aspect cytologique afin de :

- 1- Pouvoir identifier, à partir de l'image initiale, les informations dont nous avons besoin et les informations inutiles, que nous désirions éliminer.
- 2- Pouvoir reconnaître les différents types de cellules.
- 3- Constater que le scanning est un travail manuel, fatigant et consommateur de temps, ce qui justifie notre volonté de trouver un autre moyen d'analyser les frottis.

Nous avons aussi réussi, grâce aux prétraitements (utilisation du logiciel PSP), aux opérateurs morphologiques et à différents algorithmes, à extraire de l'image initiale les informations qui nous ont servi pour la segmentation ; ceci consiste en la constitution d'images noyaux et d'images cytoplasmes.

Dans une seconde étape, nous avons calculé le rapport nucléo-cytoplasmique, ce qui représente notre principale critère de segmentation, puis nous avons démontré la validité de ce critère, car il nous a permis de séparer les cellules de types différents, et de placer chaque type de cellule dans l'image résultat qui lui correspond.

Nous espérons que les résultats que nous avons obtenus pourront être à la base de la réalisation d'un système de reconnaissance.

Annexe A

Lexique

- **Bénigne** : Sans conséquences graves.
- **Canal cervical** : Nom donné à divers organes en forme de tube.
- **Cancer** : Tumeur ayant tendance à s'accroître, à détruire les tissus voisins et à donner d'autres tumeurs à distance de son lieu d'origine.(métastase).
- **Carcinome** : Tumeur cancéreuse épithéliale ou glandulaire.
- **Cellule** : Unité fondamentale morphologique et fonctionnelle de tout organe vivant qui comporte généralement une membrane périphérique limitant le cytoplasme, au sein duquel se trouve le noyau.
- **Chromatine** : Substance présente sous forme de granules dans le noyau cellulaire, fixant les colorants basiques.
- **Cyanophile** : (cyanophycée) : Algue bleue possédant, en générale, de la chlorophylle associé à un pigment bleu.
- **Cytologie** : Partie de la biologie générale qui étudie la cellule vivante sous tous ses aspects.
- **Desquamer** : Détachement de tissus par squame, écaille.
- **Epithélium** : Tissu constitué de cellules juxtaposées, disposées de façon continue en une ou plusieurs couches.
- **Germe** : Tout micro-organisme capable de provoquer une maladie.
- **Histologie** : Science qui traite de la structure des tissus et des cellules qui contiennent des êtres vivants.
- **Inflammation** : Ensemble de réactions locales provoquées par des germes pathologiques.
- **Isthme** : Partie rétrécie d'un organe.
- **Kératine** : Substance protéique soufrée qui constitue la majeure partie des productions épidermiques chez l'homme ; on la trouve également dans les cellules superficielles.

- **Lésion** : Modification de la structure normale d'une partie de l'organisme.
- **Mitose** : Filament.
- **Multipare** : Ce dit d'une femme qui a déjà enfanter plusieurs fois.
- **Muqueuse** : Membrane qui tapisse les cavités de l'organisme, qui se raccorde avec la peau au niveau des orifices naturels et qui est lubrifiée par la sécrétion de mucus.
- **Mycose** : Affection parasitaire provoquée par des champignons.
- **Néoplasique** : Qui concerne un néoplasme.
- **Néoplasme** : Prolifération pathologique des cellules, de tissus se présentant généralement sous la forme d'une tumeur.
- **Nullipare** : Ce dit d'une femme qui n'a pas eu d'enfant.
- **Réticulé** : Tissu conjonctif constitué de cellules et de fibres réunies en réseau.
- **Vacuole** : Espace circonscrit, parfois limité par une membrane au sein du cytoplasme d'une cellule ou d'un organe unicellulaire à contenu variable.

Annexe B

Annexe B

Le document ci-joint est un document de travail et n'est pas destiné à être diffusé en dehors de l'équipe de travail. Il est soumis à la confidentialité et à la sécurité des informations. Toute réimpression ou diffusion non autorisée est strictement interdite. Les informations contenues dans ce document sont la propriété de l'entreprise et peuvent être soumises à des lois et règlements en vigueur.

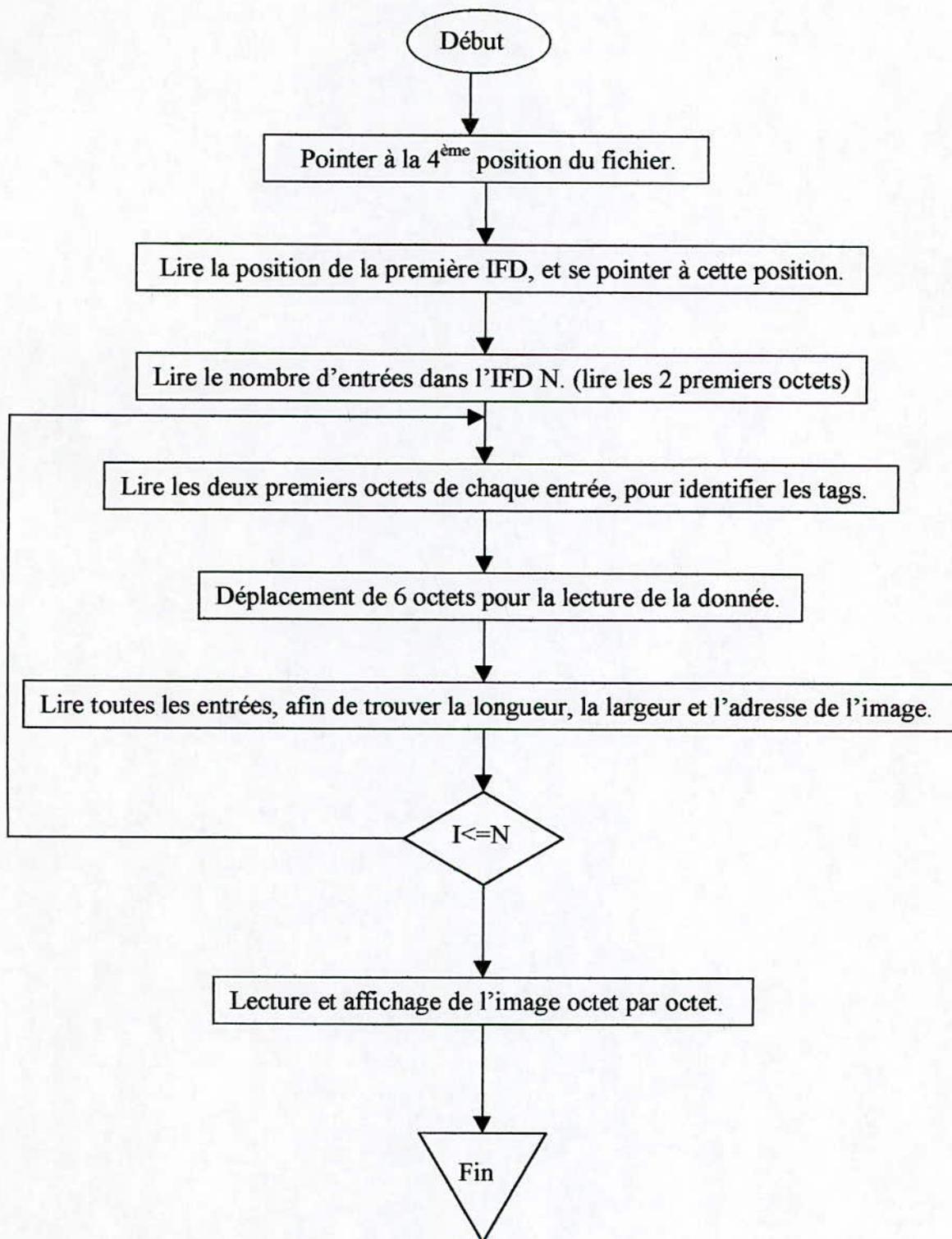
Annexe B

Le document ci-joint est un document de travail et n'est pas destiné à être diffusé en dehors de l'équipe de travail. Il est soumis à la confidentialité et à la sécurité des informations. Toute réimpression ou diffusion non autorisée est strictement interdite. Les informations contenues dans ce document sont la propriété de l'entreprise et peuvent être soumises à des lois et règlements en vigueur.

Annexe B

Le document ci-joint est un document de travail et n'est pas destiné à être diffusé en dehors de l'équipe de travail. Il est soumis à la confidentialité et à la sécurité des informations. Toute réimpression ou diffusion non autorisée est strictement interdite. Les informations contenues dans ce document sont la propriété de l'entreprise et peuvent être soumises à des lois et règlements en vigueur.

3- Algorithme de lecture :



Annexe C

Présentation du logiciel PSP

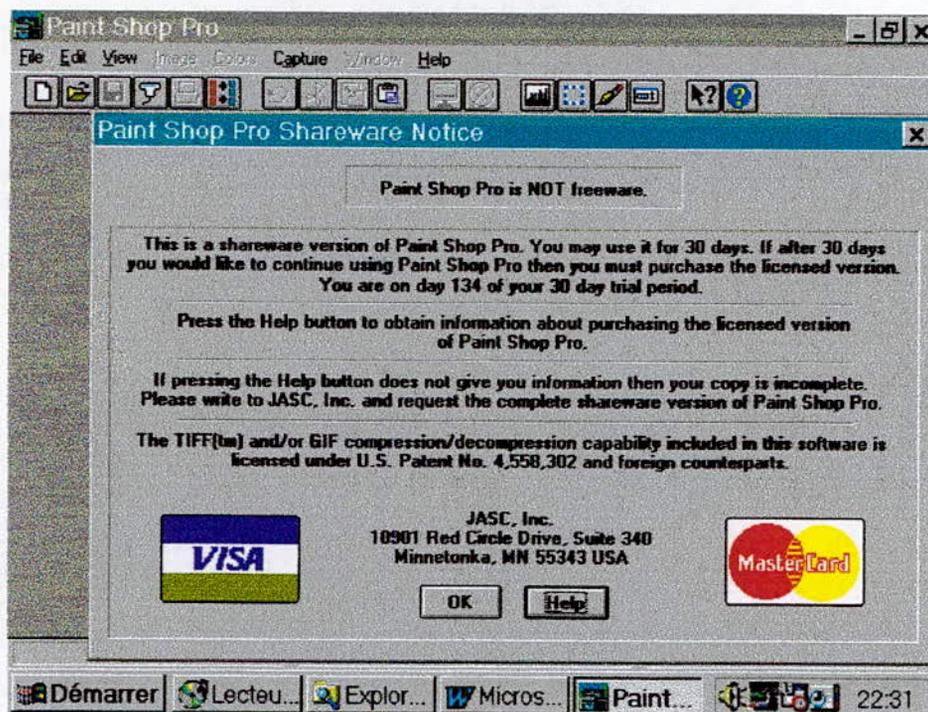


Fig-1- : Fenêtre d'accueillie du logiciel PSP

Le PSP (Paint Shop Pro) est un logiciel de traitement d'image qui permet, entre autre de travailler sur n'importe quelle image de type BITMAP.

On s'est servi de ce logiciel pour les raisons suivantes :

- Améliorer la qualité de l'image, altérée lors de l'étape d'acquisition.
- Eliminer certaines informations indésirables, qui se trouve sur l'image.
- Convertir l'image de son format initial (un des formats BITMAP), vers un format. TIFF.
- Dimensionner l'image au format qu'on désire (dans notre cas ce sera 256×256).
- Obtenir des images à 256 niveaux de gris.

Dans cette annexe nous allons présenter les fonctions qui nous ont permis de réaliser les tâches décrites ci-dessus.

1- Convert :

C'est une fonction qui permet de convertir une image d'un des types BITMAP, à un autre de ces types.

Pour réaliser cette opération, on doit suivre les étapes suivantes :

- 1- Sélectionner l'image à convertir.
- 2- Sélectionner le type initial de cette image.
- 3- Sélectionner le type auquel on désire la convertir.
- 4- Choisir le répertoire dans lequel on veut placer l'image résultat.
- 5- Cliquer sur OK.

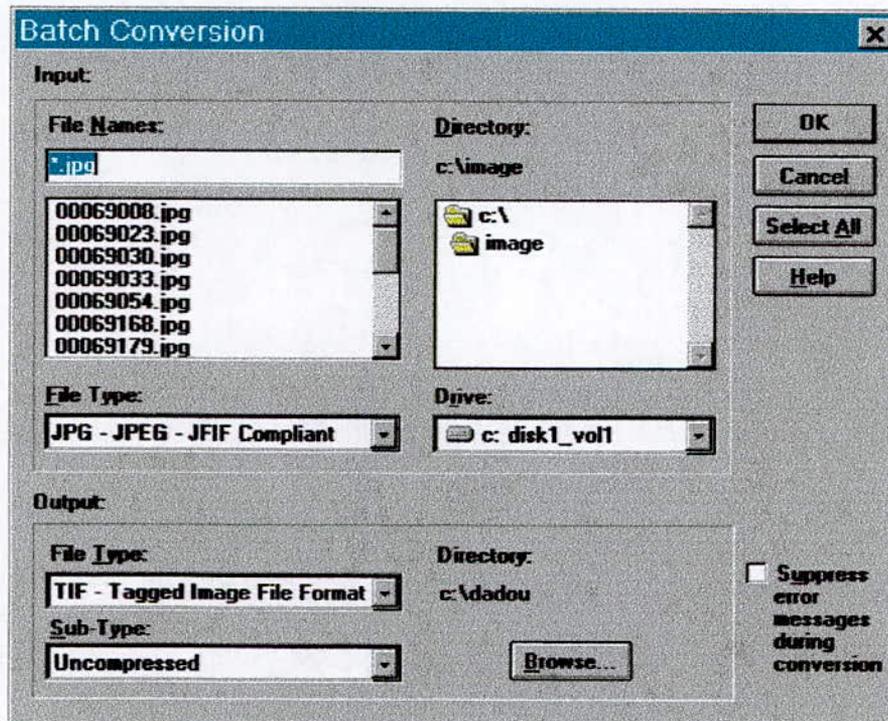


Fig-2- : Fenêtre à partir de laquelle on réalise la conversion.

2- Gamma correction :

C'est une fonction qui permet de corriger la luminosité de l'image ou d'une partie de l'image, qui aura été préalablement sélectionnée

Ceci peut être réalisé en effectuant les étapes suivantes :

- 1- Sélectionner une partie de l'image (si on ne veut corriger qu'une partie).
- 2- Cliquer sur Color.
- 3- Cliquer sur Adjust → Gamma correction.
- 4- Faire varier Le taux de correction en fonction de ce qu'on désire avoir.

5- Cliquer sur OK.

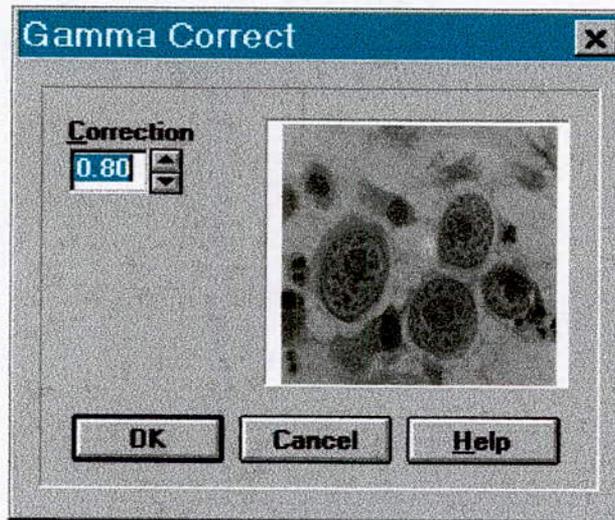


Fig-3- : Fenêtre à partir de laquelle on réalise la correction Gamma.

3- Gray scale :

Cette fonction permet d'obtenir des images à 256 niveaux de gris. Il suffit, pour cela, de cliquer sur Color, puis sur Gray Scale.

4- Histogram :

Elle nous permet d'obtenir l'histogramme de l'image contenue dans le fichier qu'on à ouvert. Pour cela il suffit de cliquer sur view, puis sur Histogram Window.

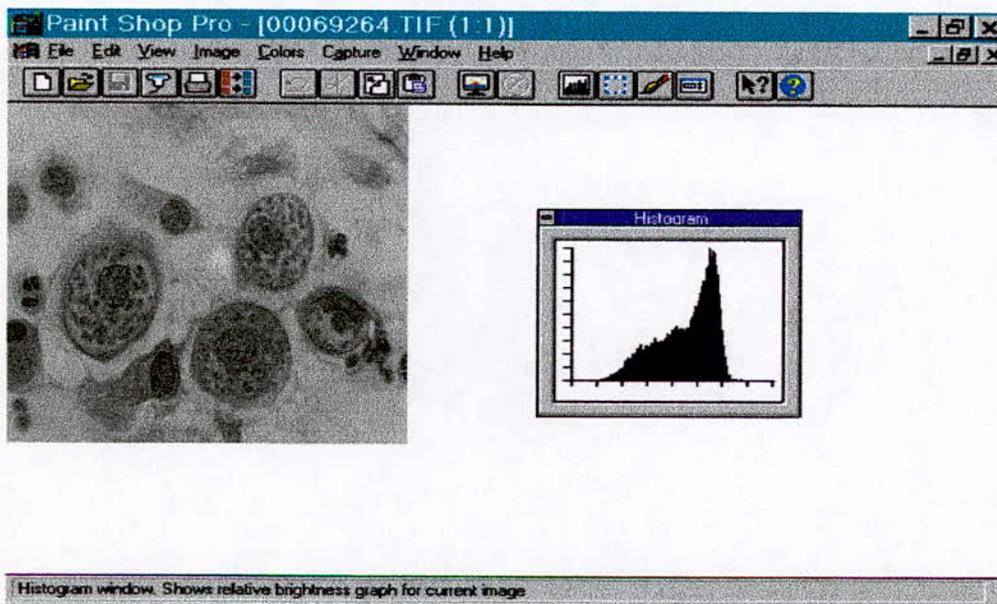


Fig-5- : Obtention de l'histogramme de l'image.

5- Resize :

Fonction qui permet de dimensionner la taille de notre image tel qu'on le désire.

Pour cela il faut suivre les étapes suivantes :

- 1- Cliquer sur Image, puis sur Resize.
- 2- Sélectionner une des tailles standards existantes, ou personnaliser la taille.
- 3- Cliquer sur OIK.

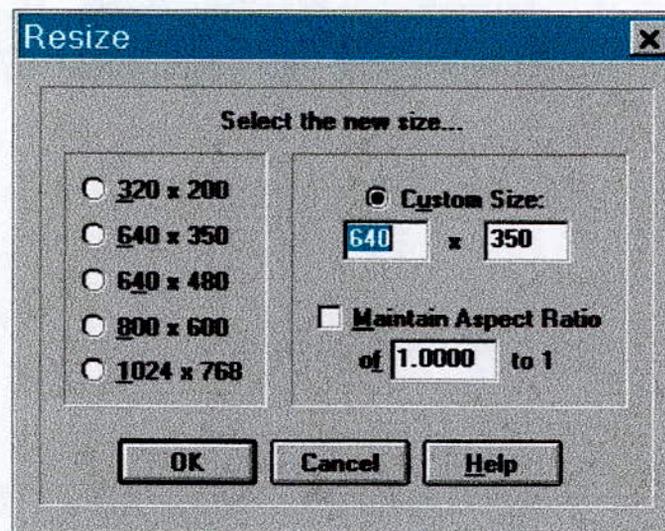


Fig-6- : Fenêtre à partir de laquelle on redimensionne l'image.

Annexe D

Différents opérateurs pour la détection de contour.

Opérateurs Gradient :

Masque de Sobel :

$$H_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad H_y = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Masque de Prewitt :

$$H_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad H_y = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

Masque de Kirsh :

Cet opérateur associe un masque à chaque direction détectable dans le voisinage du pixel considéré.

$$H_1 = \begin{pmatrix} 5 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix} \quad H_2 = \begin{pmatrix} -3 & 5 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}$$

$$H_3 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & 5 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & -3 & 5 \end{pmatrix} \quad H_4 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & 5 \\ -3 & 5 & 5 \end{pmatrix}$$

$$H_5 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ -3 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & 5 \end{pmatrix} \quad H_6 = \begin{pmatrix} -3 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & 5 & -3 \end{pmatrix}$$

$$H_7 = \begin{pmatrix} 5 & -3 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ 5 & -3 & -3 \end{pmatrix} \quad H_8 = \begin{pmatrix} 5 & 5 & -3 \\ 5 & 0 & -3 \\ -3 & -3 & -3 \end{pmatrix}$$

Opérateur Laplacien :

Parmi les masques utilisés :

$$H_1 = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$H_2 = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$H_3 = \begin{pmatrix} -1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$$

Bibliographie

Bibliographie.

[BUC 73] : O.Bucher.

Diagnostic et diagnostic différentiel en cytologie et en histologie normales.
Edition MASSON & Co. 1973.

[GOM 82] : C.Gompel.

Atlas de la cytologie clinique.
Ecole de médecine de Paris. 1982.

[GON 87] : R.C.Gonzalez.

Digital image processing. 1987

[HAR 87] : R.Haralick, S.Sternberg et X.Zhuang.

Image analysis using mathematical morphology.
IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence. Juillet 1987.

[TOU87] : J.J.Toumazet.

Traitement de l'image sur micro-ordinateur.
Editions SYBEX. 1987.

[SOU 92] : C.Shouchard.

Les formats de fichiers image PC.
PC EXPERT ; page 241-244. Juillet 1992.

[BRE 93] : L.Brenac et J.Lemaire.

Classification hiérarchique et connexité adapté à la segmentation d'image.
14^{ème} colloque GRETSI-Juan-Les-Pins. Septembre 1993.

[CAR 93] : T.Carrou, P.Lambert et P.More.

Analyse d'une segmentation en région utilisant conjointement les informations
de chrominance et de d'intensité.
14^{ème} colloque GRETSI-Juan-Les-Pins. Septembre 1993.

[KPA 93] : K.Kpalma et V.Hase-Coat.

Une nouvelle méthode de segmentation d'images de textures multirésolution.
14^{ème} colloque GRETSI-Juan-Les-Pins. Septembre 1993.

[KUN 93] : M.Kunt.

Traitement numérique des images.

Presses Polytechniques et Université Romande. 1993.

[VAN 94] : M. Van Droogenbroeck.

Traitement d'images numériques aux moyens d'algorithmes utilisant la morphologie mathématique. Mai 1994.

[DAL 95] : J.Dalion et M.Maillet.

Cytologie vaginale.

Librairie Maloine SA. 1995.

[KEL 95] : M.Kellas et N.Kairouan.

Détection de contours dans des images.

Université de Beb-Ezzouar. 1995.

[VIS 95] : Horaud.

Vision par ordinateur. 1995.

[CHO 98] : A.Chouiter.

Classification de Bethesda : Etude cytologique.

Institut National de Santé Publique. 1998.

[DJE 98] : Dr.Djedrat.

Le cancer du col utérin : Histoire naturelle et traitement.

Institut National de Santé Publique. 1998.

[MEZ 98] : A.Meziani et L.Berkani.

Contribution à la reconnaissance de cellules anormales lors du dépistage du cancer du col utérin.

Université de Beb-Ezzouar. 1998.

[LAN 98] : D.A.Langan, W.Modestino et J.Zhang.

Cluster validation for unsupervised stochastic model based image segmentation

IEEE Transaction on image processing. Février 1998.

[CHE 99] : C.Chen, J.Wu et Y.Hung.

Theoretical aspect of vertically invariant gray level morphological operators and their application on adaptive signal and image filtering.

IEEE Transaction on signal processing. Avril 1999.

[KRI 99] : H.Krim et A.Kim.

Hierarchical stochastic modeling of SAR Imagery for segmentation/compression

IEEE Transaction on signal processing. Février 1999.
