

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen

Faculté des Sciences

Département d'Informatique

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

Option : Modèle Intelligent Et Décision (M.I.D)

Thème

Segmentation d'Image par la Méthode de ligne de partage des eaux et par croissance de régions

Réalisé par :

✕ LAFENDI Idriss

✕ HADJIAT Yasmine Rafika

Présenté devant le jury composé de MM.

-Mme CHAOUCHERAMDANELAMIA

(Présidente)

-Mr BENZIANYAGHMOURACENE

(Encadreur)

-Mme MEZIANE TANI SOUAD

(Examinatrice)

Année Universitaire 2022/2023

Remerciement

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude pour le soutien reçu lors de notre soutenance et de la rédaction de notre mémoire.

Grâce à l'aide de Dieu tout puissant, nous avons pu accomplir ce travail modeste.

Nous tenons à remercier chaleureusement M. Benzian Yaghomracen, Maître de conférences à l'Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, pour avoir encadré ce travail. Son expérience, son savoir scientifique et ses qualités humaines ont joué un rôle déterminant dans la réalisation de ce projet. Nous lui sommes reconnaissants de nous avoir encouragés tout au long de ce processus et de nous avoir mis à disposition une documentation précieuse.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers Mme Chaouche Remdane Lamia, qui va présider le jury de soutenance, pour l'honneur qu'elle nous a fait.

Nous sommes également reconnaissants envers Mme Meziane Souad, qui sera notre examinatrice, pour son implication dans notre travail. Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de notre mémoire. Votre soutien et vos conseils nous ont été précieux.

Enfin, nous tenons à remercier nos familles et nos proches pour leur soutien inconditionnel tout au long de cette aventure académique.

Que Dieu vous bénisse tous.

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma mère, pour son amour inconditionnel, ses encouragements constants et les sacrifices qu'elle a consentis pour me permettre d'atteindre mes objectifs académiques. Son soutien indéfectible a été ma force tout au long de ce parcours

A mon père, pour son soutien inébranlable, son affection et la confiance qu'il a toujours placée en moi. Sa présence bienveillante et ses précieux conseils ont été des éléments clés de ma réussite

A la mémoire de mes grands-pères et ma grand-mère paternelle

A ma grand-mère maternelle

A mes chers sœurs et neveux

A mes cousines et cousins

A tous les membres de ma famille

À toi, mon cher binôme, je souhaite exprimer ma gratitude sincère pour ta collaboration, ton soutien et ta contribution inestimable tout au long de ce projet, notre partenariat a été une expérience enrichissante, où nous avons partagé nos idées, surmonté des défis et travaillé ensemble vers un objectif commun, c'est grâce à notre travail d'équipe, à nos échanges fructueux et à notre soutien mutuel que nous avons pu surmonter les obstacles et accomplir ce travail avec succès

Je te souhaite mes meilleurs vœux pour ton avenir. Que ce succès soit le point de départ d'une trajectoire prometteuse, remplie de réussites et d'épanouissement

A tous mes amis

Et tous ceux qui m'aiment

Hadjiat Yasmine Rafika

Dédicace

À mes très chers parents, aucun hommage ne pourrait véritablement exprimer la reconnaissance que j'éprouve envers vous. Vos sacrifices, votre amour inconditionnel et votre soutien constant ont été les piliers qui m'ont permis de poursuivre mes études avec détermination. Ce mémoire est une manifestation de mon profond amour et de ma reconnaissance éternelle envers vous.

À mon binôme, je tiens à souligner ta précieuse aide et ta collaboration tout au long de ce projet. Ton soutien et ton engagement ont été d'une importance capitale pour sa réalisation. Notre travail d'équipe a été une expérience enrichissante et je suis reconnaissant d'avoir pu compter sur toi.

À mes chers amis et à tous ceux qui m'ont soutenu, je vous exprime ma profonde gratitude. Votre soutien moral, vos encouragements et vos mots d'encouragement ont été essentiels pour surmonter les défis et persévérer dans mes études. Je vous suis reconnaissant pour votre affection et votre présence à mes côtés.

Lafendi Idriss

Sommaire

Table des figures

Figure 1:Calcul de la valeur du résultat	15
Figure 2:Réduction des bruits	16
Figure 3:Méthode de segmentation d'image.....	28
Figure 4:Segmentation d'image médicale avec méthode seuillage.....	29
Figure 5:Regroupement des pixels en régions	30
Figure 6:Segmentation d'image médicale basée sur les contours.....	32
Figure 7:Segmentation de l'encéphale par croissance de région	37
Figure 8:Représentation d'une image sous forme de terrain 3d avec méthode watershed	38

Table des matières

CHAPITRE1 TRAITEMENT D'IMAGE	13
1 INTRODUCTION SUR LE TRAITEMENT D'IMAGE	14
2 LES ÉTAPES DU TRAITEMENT D'IMAGE.....	14
2.1. ACQUISITION DE L'IMAGE	14
2.2. PRÉTRAITEMENT.....	14
2.2.1. Réduction du bruit.....	15
2.2.2. Correction de la luminosité et du contraste.....	16
2.2.3. Normalisation des couleurs.....	19
2.3. FILTRAGES.....	20
2.3.1. Filtre Moyenneur.....	20
2.3.2. Filtre Gaussien.....	22
2.3.3. Filtre Médiane.....	22
2.3.4. Filtre Laplacien.....	23
2.4. SEGMENTATION.....	24
2.4.1. Segmentation basée sur les seuils.....	24
2.4.2. Segmentation basée sur la couleur.....	24
2.5. EXTRACTION DES CARACTÉRISTIQUES	24
2.6. ANALYSE ET INTERPRÉTATION	25
2.7. POST-TRAITEMENT	25
3. CONCLUSION	25
CHAPITRE2 LES METHODES DE SEGMENTATION D'IMAGE.....	27
1. INTRODUCTION SUR LA SEGMENTATION D'IMAGE	28
1. METHODES DE SEGMENTATION D'IMAGE LES PLUS COURANTES	28
2.1 SEUILLAGE	28
2.1.1. Choix du seuil.....	29
2.1.2. Binarisation de l'image.....	29

2.1.3. Formule de seuillage.....	29
2.1.4. Résultats du seuillage.....	30
2.2 SEGMENTATION BASEE SUR LES REGIONS.....	30
2.2.1. Choix des caractéristiques.....	31
2.2.2. Calcul des similarités.....	31
2.2.3. Formation des régions.....	31
2.2.4. Formules de segmentation.....	31
2.2.5. Résultats de la segmentation.....	32
2.3 SEGMENTATION BASEE SUR LES CONTOURS.....	32
2.3.1. Détection des contours.....	33
2.3.2. Filtrage des contours.....	33
2.3.3. Connexion des contours.....	33
2.3.4. Formules et algorithmes.....	33
2.3.5. Résultats de la segmentation.....	34
2.4. SEGMENTATION BASEE SUR LA DETECTION DE CARACTERISTIQUES.....	34
2.5. SEGMENTATION BASÉE SUR L'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE.....	34
2.5.1. Préparation des données d'entraînement.....	34
2.5.2. Entraînement de l'algorithme.....	35
2.5.3. Extraction des caractéristiques.....	35
2.5.4. Prédiction et segmentation.....	35
2.5.5. Évaluation et ajustement.....	35
3 METHODE DE SEGMENTATION PAR CROISSANCE REGIONS.....	36
3.1 CHOIX DU CRITERE DE SIMILARITE.....	36
3.2 SELECTION DU PIXEL DE DEPART (SEED).....	36
3.3 CROISSANCE DE LA REGION.....	36
3.4 REPETITION DE LA CROISSANCE DE REGION.....	37
3.5 POST-TRAITEMENT.....	37
3.6 CONCLUSION.....	37
.....	37
4 METHODE DE LIGNE DE PARTAGE DES EAUX.....	38
4.1 CALCUL DES GRADIENTS.....	38
4.2 TRANSFORMATION EN CARTE DE DISTANCE.....	39
4.3 DETECTION DES MINIMA LOCAUX.....	39
4.4 PROPAGATION DE L'EAU.....	39
4.5 DELIMITATION DES REGIONS.....	39
4.6 EXEMPLE D'UTILISATION DE LA METHODE.....	40
4.6.1. Calcul des gradients.....	40
4.6.2. Transformation en carte de distance.....	40
4.6.3. Détection des minima locaux.....	40
4.6.4. Propagation de l'eau.....	40
4.6.5. Délimitation des régions.....	41
4.7 CONCLUSION.....	41
4.8 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA METHODE.....	41
5 CRITERES DE SEGMENTATION D'IMAGE.....	42
6 CONCLUSION.....	43
CHAPITRE 3 CONCEPTION ET REALISATION.....	45
1. INTRODUCTION.....	46
1.1. LANGAGE DE PROGRAMMATION UTILISER PYTHON.....	46

1.2. MOTIVATION D'UTILISATION DU PYTHON	46
1.3. MOTIVATION D'UTILISATION DU PYCHARM	47
2. ALGORITHME DE LA METHODE UTILISER.....	48
2.1. INTERFACE	48
2.2. CHARGEMENT DE L'IMAGE	48
2.3. AFFICHAGE DE L'IMAGE.....	49
2.4. FILTRES.....	50
2.4.1. Convertir l'image RGB vers noir et blanc(filtre noir & blanc).....	50
2.4.2. Convertir l'image vers le flou (filtre flou blur)	51
.....	52
2.4.3. Convertir l'image avec le filtre sharpen (filtre sharpen)	52
2.4. CRITÈRES DE SEGMENTATION.....	53
2.5.1. niveaux de gris.....	53
2.5.2. L'écart Type	54
2.5. METHODE DE LIGNE DE PARTAGE DES EAUX	55
2.5.1. L'algorithme utilisé.....	56
2.5.2. les paramètres Seuil "thresh" et Distance "dist"	56
2.5.3. Les testes de la méthode.....	57
2.5.4. Discussion des résultats	60
2.6. MÉTHODE DE CROISSANCE DE RÉGIONS.....	61
2.6.1. L'algorithme utilisé.....	61
2.6.2. Testes de l'algorithme	61
2.6.3. Discussion des résultats	63
2.7. COMPARAISON ENTRE LES DEUX METHODES UTILISEES	63
CONCLUSION & PERCPECTIVE	66
RESUME	68

Introduction Générale

La segmentation d'image est un processus essentiel dans le domaine du traitement d'images et de la vision par ordinateur. Elle vise à diviser une image en différentes régions ou objets afin de faciliter leur analyse, leur compréhension et leur traitement ultérieur. Parmi les différentes méthodes de segmentation d'image, la méthode de ligne de partage des eaux et la méthode de croissance de régions sont largement utilisées pour leur efficacité et leur adaptabilité à divers scénarios.

La méthode de ligne de partage des eaux est inspirée du concept géographique de bassins versants. Elle se base sur l'idée de remplir l'image d'eau à partir de certains points sources et de laisser l'eau se séparer naturellement en suivant les lignes de partage entre les objets.

Cette méthode est souvent utilisée pour la segmentation des régions d'intérêt lorsque les contours sont bien définis. Elle peut être appliquée en utilisant des marqueurs manuels ou automatiquement en utilisant des critères prédéfinis tels que les gradients d'intensité ou les gradients de texture.

Elle permet d'obtenir une segmentation précise avec des contours nets, mais elle peut souffrir de sur-segmentation si les marqueurs ne sont pas correctement placés.

D'autre part, la méthode de croissance de régions repose sur le principe de regrouper les pixels similaires pour former des régions cohérentes. Elle commence par la sélection d'un pixel de départ et agrandit la région en ajoutant des pixels voisins qui satisfont à un critère de similarité prédéfini.

Cette méthode est souvent utilisée lorsque les régions à segmenter ont des variations d'intensité ou de couleur relativement faibles. Elle est plus adaptée

pour la segmentation des régions homogènes et peut être utilisée de manière itérative pour segmenter différentes régions dans une image.

Cependant, la méthode de croissance de régions peut être sensible aux conditions de départ et peut nécessiter un post-traitement pour améliorer la qualité de la segmentation.

Dans le cadre d'un projet de fin d'études (PFE) portant sur la segmentation d'image, l'utilisation de la méthode de ligne de partage des eaux et de la méthode de croissance de régions offre des approches complémentaires pour résoudre différents cas de segmentation.

Le choix de la méthode dépendra des caractéristiques de l'image à segmenter, des objectifs de la segmentation et des contraintes spécifiques du projet.

la segmentation d'image par la méthode de ligne de partage des eaux et par croissance de régions offre des approches puissantes et complémentaires pour la segmentation d'images. Cette étude vise à explorer ces deux méthodes et à fournir des recommandations pour leur utilisation efficace dans le cadre d'un projet de fin d'études.

Dans ce mémoire, nous allons exposer deux des différentes méthodes de segmentations basée sur la Ligne de Partage des Eaux et croissance des régions. Pour cela nous l'avons structuré comme suit :

Dans le premier chapitre, nous allons présenter les notions essentielles liées à l'image, ainsi que des généralités sur le traitement d'image.

Ensuite dans le deuxième chapitre, nous allons exposer les différentes méthodes de segmentation d'images qui se devise en deux méthodes : lignes partages des eaux et croissance des régions.

Pour finir, le troisième chapitre sera consacré à l'application de la ligne de partage des eaux et croissance des régions sur différentes images que nous avons choisie.

CHAPITRE 1

Traitement d'image

1 Introduction sur le traitement d'image

Le traitement d'image est une branche de l'informatique qui s'intéresse à l'analyse, à la modification et à la manipulation d'images numériques. Cette discipline est utilisée dans de nombreux domaines, tels que la médecine, l'industrie, la recherche, la sécurité, le divertissement, etc.

Le traitement d'image peut impliquer plusieurs étapes, notamment l'acquisition, le prétraitement, la segmentation, la reconnaissance, la compression et la visualisation d'images. Les techniques utilisées pour chacune de ces étapes varient selon les applications et les besoins.

Le prétraitement d'images peut inclure des techniques telles que la correction des couleurs, la suppression du bruit, la réduction de la taille de l'image ou l'amélioration de la résolution. La segmentation d'images vise à diviser une image en plusieurs parties significatives, par exemple pour détecter les contours ou les objets présents dans l'image. La reconnaissance d'image peut inclure la reconnaissance de caractères ou la reconnaissance de visages. [2][5]

2 Les étapes du traitement d'image

Le traitement d'image comprend plusieurs étapes qui permettent de manipuler et d'améliorer les images numériques. Les étapes typiques du traitement d'image :

2.1. Acquisition de l'image

Cette étape consiste à obtenir une image à partir d'une source, telle qu'une caméra, un scanner ou une base de données. L'image peut être capturée en temps réel ou chargée à partir d'un support de stockage.

2.2. Prétraitement

Le prétraitement est effectué pour améliorer la qualité de l'image en éliminant les imperfections indésirables, le bruit ou les artefacts. Des masques peuvent être utilisés pour exclure certaines parties de l'image de cette étape.

Par exemple, il est possible de créer un masque afin de masquer les bordures de l'image ou les zones contenant du bruit, évitant ainsi d'altérer ces zones lors de l'application de filtres de réduction de bruit ou d'autres opérations de prétraitement.

Cette approche permet de se concentrer uniquement sur les parties d'intérêt de l'image et d'éviter d'altérer les zones déjà propres. Le prétraitement peut également inclure des opérations telles que la réduction du bruit, l'égalisation de l'histogramme pour ajuster la luminosité et le contraste. Ces opérations contribuent à améliorer la qualité visuelle de l'image en éliminant les défauts et en renforçant les caractéristiques souhaitées. Et contribuent à améliorer la qualité visuelle de l'image en éliminant les défauts et en renforçant les caractéristiques souhaitées.[3]

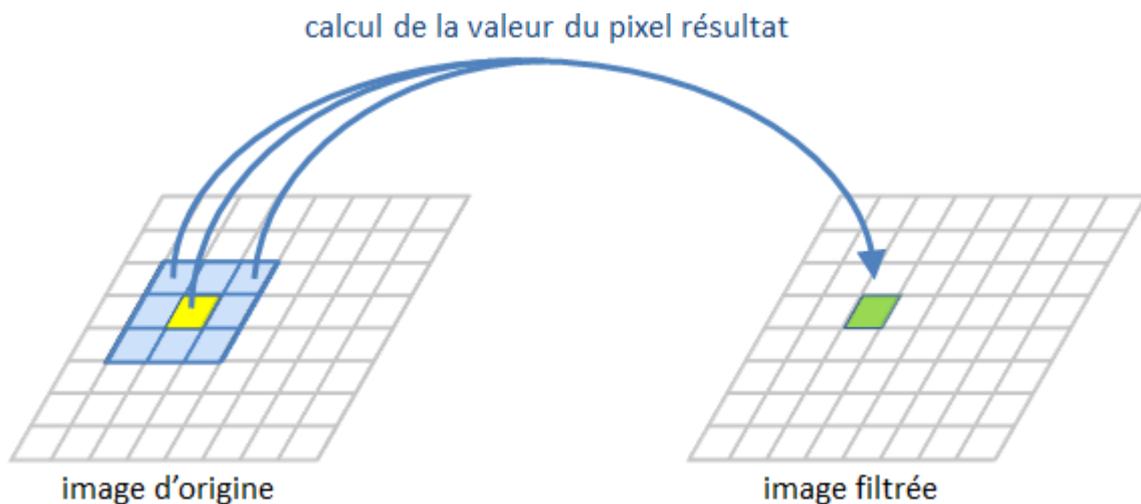


Figure 1: Calcul de la valeur du résultat

Les opérations couramment utilisées dans le prétraitement d'images :

2.2.1. Réduction du bruit

L'une des premières opérations effectuées lors du prétraitement est la réduction du bruit. Le bruit peut être causé par des facteurs tels que des conditions d'éclairage médiocres, des capteurs défectueux ou des artefacts numériques. Des techniques telles que le filtrage médian, le filtrage gaussien ou le filtrage adaptatif peuvent être appliquées pour atténuer le bruit sans altérer excessivement les détails de l'image.

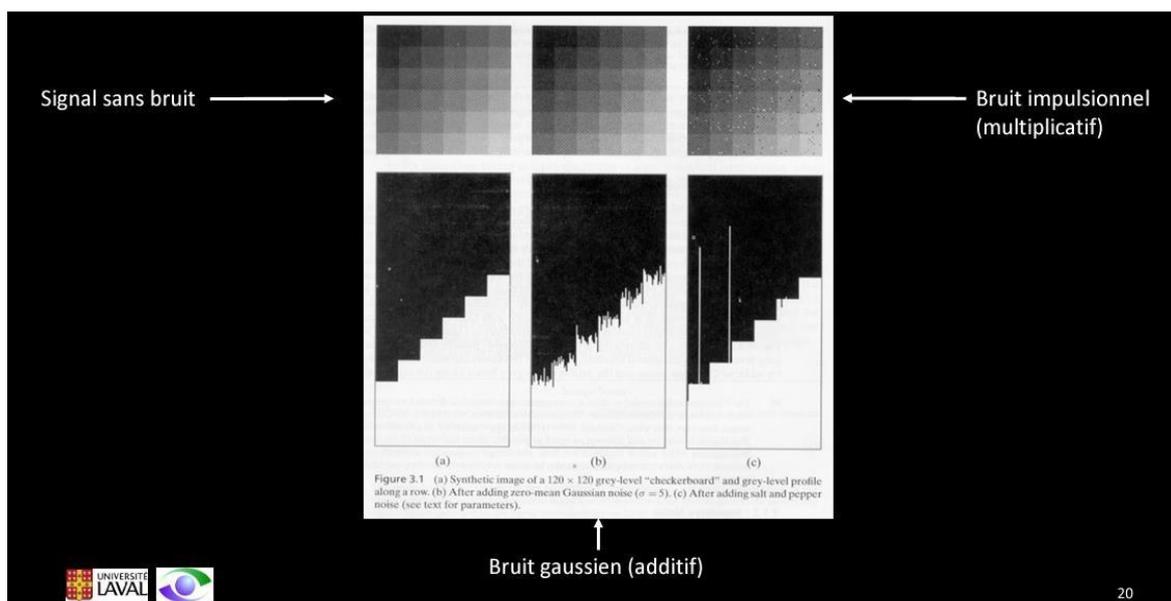


Figure 2: Réduction des bruits

2.2.2. Correction de la luminosité et du contraste

L'égalisation de l'histogramme est une technique couramment utilisée pour ajuster la luminosité et le contraste d'une image. Elle redistribue les niveaux de luminosité de manière à ce qu'ils couvrent une plage plus large, ce qui améliore la visibilité des détails et améliore la perception visuelle de l'image. D'autres méthodes de correction de la luminosité et du contraste, telles que les courbes de tonalité, peuvent également être utilisées pour obtenir des résultats plus précis.[4]

Les étapes de la correction de la luminosité et du contraste avec l'égalisation de l'histogramme :

- Calcul de l'histogramme :

Pour calculer l'histogramme d'une image en niveaux de gris, nous comptons simplement combien de pixels ont chaque valeur de luminosité. Nous parcourons tous les pixels de l'image et incrémentons le compteur correspondant à la valeur de luminosité du pixel. L'histogramme est ensuite représenté graphiquement pour montrer la répartition des niveaux de luminosité dans l'image.

La formule mathématique pour calculer l'histogramme est :

$$H(i) = \text{Nombre de pixels ayant la valeur de luminosité } i$$

- Normalisation de l'histogramme :

Ensuite, pour normaliser l'histogramme, nous cumulons simplement les valeurs. Cela signifie que nous additionnons les fréquences des pixels dans l'histogramme pour obtenir une somme cumulative. Cette somme cumulative représente la répartition cumulative de la luminosité dans l'image. Pour chaque niveau de gris, nous ajoutons la fréquence des pixels correspondants à la somme cumulative.

Le calcul du cumul $C(i)$ peut être réalisé à l'aide de la formule suivante :

$$C(i) = \sum_{j=0 \rightarrow i} H(j)$$

En d'autres termes, pour chaque niveau de gris i , le cumul $C(i)$ est la somme de toutes les fréquences des pixels de niveaux de gris inférieurs ou égaux à i .

- Transformation de l'image :

La fonction cumulative normalisée est utilisée pour transformer l'image en étendant la plage dynamique des niveaux de luminosité. Chaque pixel de l'image est remplacé par une nouvelle valeur calculée à partir de cette fonction, ce qui améliore le contraste de l'image. Cela permet de rendre les zones sombres plus sombres et les zones claires plus claires, ce qui accentue les détails.

La formule utiliser suivante :

$$Nv = \frac{Vo - Vmin}{Vmax - Vmin} \times (Nmax - Nmin) + Nmin$$

D'où :

- Nv est la nouvelle valeur du pixel après la transformation,
- Vo est la valeur du pixel d'origine,
- $Vmin$ et $Vmax$ représentent respectivement la valeur minimale et maximale des pixels dans l'image,
- $Nmin$ et $Nmax$ sont les niveaux de luminosité souhaités pour l'image transformée.

un exemple illustrant l'application de la transformation de l'image à l'aide de la fonction cumulative normalisée :

Supposons que nous ayons une image en niveaux de gris avec des valeurs de pixels allant de 0 à 255. Nous souhaitons étendre la plage dynamique des niveaux de luminosité de l'image pour qu'elle s'étende de 50 à 200.

Nous recherchons la valeur minimale et maximale des pixels dans l'image. Supposons que la valeur minimale soit 10 et la valeur maximale soit 180.

Pour chaque pixel de l'image, nous appliquons la formule de transformation :

Par exemple, pour un pixel ayant une valeur d'origine de 100 :

$$\begin{aligned}\text{Nouvelle_valeur} &= (100 - 10) / (180 - 10) * (200 - 50) + 50 \\ &= 0.548 * 150 + 50 \\ &= 82.2 + 50 \\ &= 132.2\end{aligned}$$

le pixel d'origine ayant une valeur de 100 sera remplacé par une nouvelle valeur de 132.2 après la transformation.

En appliquant cette formule à tous les pixels de l'image, nous obtenons une nouvelle image avec une plage dynamique de niveaux de luminosité étendue, allant de 50 à 200.

- **Ajustement du contraste :**

En appliquant l'égalisation de l'histogramme, on peut obtenir un meilleur contraste dans l'image. Les zones sombres seront plus sombres et les zones claires seront plus claires, ce qui rendra les détails plus visibles.

Exemple : Supposons que nous ayons une image en niveaux de gris suivante :

10	20	30
25	40	50
35	45	60

- **Calcul de l'histogramme :**

Niveaux de luminosité : 10 20 25 30 35 40 45 50 60

Fréquences correspondantes : 1 1 1 1 1 1 1 1 1

- Normalisation de l'histogramme :

Fréquences cumulées : 1 2 3 4 5 6 7 8 9

- Transformation de l'image :

En utilisant la fonction cumulative normalisée, chaque pixel de l'image est remplacé par sa nouvelle valeur correspondante. Par exemple, le pixel (1,1) avec une valeur de 10 est remplacé par la nouvelle valeur 1.

L'image transformée sera :

1	3	5
2	6	7
4	8	9

2.2.3. Normalisation des couleurs

La normalisation des couleurs est une étape importante du prétraitement qui vise à éliminer les biais de couleur indésirables et à garantir une reproduction cohérente des couleurs dans une image. Cette étape peut être réalisée en ajustant les composantes de couleur de l'image, telles que la balance des blancs, la correction des teintes ou la correspondance des couleurs.

Quelques techniques couramment utilisées pour la normalisation des couleurs :

- Balance des blancs :

La balance des blancs est utilisée pour éliminer les biais de couleur causés par l'éclairage ambiant lors de la capture de l'image. Différentes sources de lumière peuvent avoir des températures de couleur différentes, ce qui peut modifier la teinte des objets dans l'image. En ajustant la balance des blancs, on s'assure que les zones blanches de l'image apparaissent réellement comme blanches, ce qui permet d'obtenir une reproduction plus précise des couleurs.

- Correction des teintes :

La correction des teintes vise à ajuster la teinte globale de l'image pour éliminer les dominantes de couleur indésirables. Cela peut être réalisé en ajoutant ou en supprimant sélectivement certaines composantes de couleur dans l'image. Par exemple, si une image présente une dominante de couleur bleue, on peut ajuster les valeurs de teinte pour atténuer cette dominante et rendre les couleurs plus neutres.

- Correspondance des couleurs :

La correspondance des couleurs consiste à ajuster les couleurs de différentes images pour qu'elles aient une apparence cohérente. Cela peut être nécessaire lorsque des images provenant de différentes sources ou prises dans des conditions d'éclairage différentes doivent être combinées ou comparées. La correspondance des couleurs peut être réalisée en égalisant les histogrammes de couleur des différentes images ou en utilisant des techniques d'appariement de couleurs pour aligner les caractéristiques de couleur.

En normalisant les couleurs de l'image, on s'assure que les couleurs sont reproduites de manière fidèle, sans biais indésirable, ce qui permet d'obtenir une image cohérente et précise dans les étapes ultérieures du traitement d'image.[6]

2.3. Filtrages :

Le filtrage dans le traitement d'image est une technique qui consiste à modifier l'apparence d'une image en appliquant un filtre ou une opération mathématique.

Il peut être appliqué à différents niveaux de l'image, par exemple au niveau des pixels individuels, des régions de pixels ou de l'image entière.

2.3.1. Filtre Moyenneur :

Est une technique de filtrage utilisée pour réduire le bruit et lisser l'image en remplaçant la valeur de chaque pixel par la moyenne des valeurs des pixels voisins.

La formule mathématique du filtrage moyenner est la suivante :

$$M(x, y) = \frac{1}{N^2} \times \sum I(x + a, y + b)$$

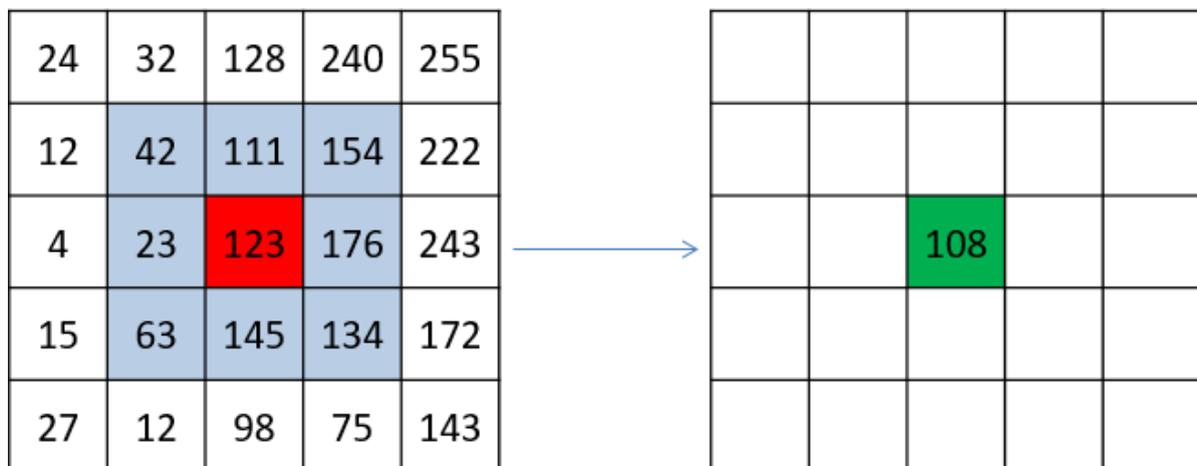
Dans cette formule, (x+a, y+b) parcourt les positions des pixels voisins autour du pixel (x, y).

N représente la taille du voisinage (par exemple, un voisinage carré de taille N x N).

Σ indique la sommation des valeurs des pixels voisins.

Exemple avec un masque de 3x3 :

Supposons que nous ayons l'image suivante :



Appliquons un filtrage moyenner avec un masque de 3x3 à l'emplacement du pixel (3, 3) indiqué en rouge :

$$M(3,3) = \frac{42 + 111 + 154 + 23 + 123 + 176 + 63 + 145 + 134}{9} = 108$$

Ainsi, la valeur du pixel (3, 3) dans l'image filtrée sera 108.

2.3.2. Filtre Gaussien

Le filtre Gaussien est un type de filtre passe-bas largement utilisé en traitement d'image. Son objectif principal est de supprimer les hautes fréquences de l'image, ce qui permet de réduire le bruit ou les détails fins.

Lorsqu'il est appliqué, le filtre de Gauss attribue une pondération aux pixels environnants pour calculer la valeur du pixel filtré. La pondération est déterminée en utilisant une distribution gaussienne, d'où le nom du filtre.

Le filtre de Gauss est efficace pour lisser l'image en supprimant les variations rapides et les détails indésirables. Il est particulièrement utile pour réduire le bruit aléatoire qui peut être présent dans une image. Cependant, il peut également entraîner une légère perte de netteté des contours et des détails fins de l'image.

la formule générale pour appliquer un filtre de Gauss à un pixel :

$$G(x, y) = \left(\frac{1}{2 \times \pi \times \sigma^2} \right) \times e^{\left(\frac{-(x^2+y^2)}{2 \times \sigma^2} \right)}$$

$G(x,y)$: est la valeur de sortie du filtre gaussien pour le pixel à la position (x,y) de l'image.

σ : est l'écart-type de la distribution gaussienne.

e : est la constante d'Euler.

2.3.3. Filtre Médiane

Le filtre médian est un autre type de filtre passe-bas utilisé pour supprimer le bruit d'une image. Contrairement au filtre de Gauss qui effectue une pondération des pixels environnants, le filtre médian remplace la valeur d'un pixel par la valeur médiane des pixels voisins.

une formule simplifiée pour calculer la valeur médiane :

$$\text{valeur médiane} = \text{médiane}(v_1, v_2, \dots, v_n)$$

Dans cette formule, v_1, v_2, \dots, v_n représentent les valeurs des pixels voisins dans le masque.

Le filtre médian est efficace pour supprimer les impulsions de bruit, car il ignore les valeurs extrêmes et se concentre sur la valeur médiane, qui est généralement plus représentative de l'environnement local de l'image.

Il convient de noter que le filtre médian est non linéaire, ce qui signifie qu'il peut modifier la structure des bords et des détails fins dans l'image, contrairement aux filtres linéaires comme le filtre de Gauss. Cependant, il est souvent préféré dans les cas où la préservation des bords est cruciale.[4]

2.3.4. Filtre Laplacien

Le filtre laplacien est un filtre passe-haut utilisé pour détecter les contours et les changements brusques d'intensité dans une image. Il est couramment utilisé en traitement d'images pour mettre en évidence les détails et les structures d'une image. La formule mathématique du filtre laplacien dépend de la taille du masque utilisé.

La formule générale pour le filtre laplacien d'un masque 3x3 est la suivante :

$$L(x,y) = \sum_{-i=-1}^1 \sum_{-j=-1}^1 (4s - 1) - [s(i,j) + s(-i,-j)]$$

Dans cette formule, $L(x, y)$ représente la valeur du pixel filtré à la position (x, y) .

Le terme $s(i, j)$ représente la valeur du pixel à l'emplacement (i, j) du masque. $s(-i, -j)$ représente la valeur du pixel symétrique par rapport au centre du masque.

Il convient de noter que le filtre laplacien est sensible au bruit, ce qui peut entraîner des réponses indésirables. Pour atténuer cet effet, il est souvent combiné avec d'autres filtres, tels que le lissage gaussien, pour réduire le bruit avant d'appliquer le filtre laplacien.

2.4. Segmentation

La segmentation consiste à diviser l'image en régions distinctes et homogènes. Cette étape permet d'identifier et d'isoler les objets ou les régions d'intérêt dans l'image. Les techniques de segmentation peuvent inclure la segmentation basée sur les seuils, la segmentation basée sur la couleur, la segmentation par contour actif, ou l'utilisation de réseaux de neurones convolutifs.

2.4.1. Segmentation basée sur les seuils

Cette méthode consiste à fixer des seuils sur les valeurs des pixels de l'image. Les pixels dont les valeurs se situent au-dessus ou en dessous de ces seuils sont attribués à des régions spécifiques. Par exemple, dans le cas d'une image en niveaux de gris, un seuil peut être défini pour séparer les régions claires des régions sombres. La formule utilisée est simple : si la valeur du pixel est supérieure au seuil, il est attribué à une région spécifique, sinon il est attribué à une autre région.

2.4.2. Segmentation basée sur la couleur

Cette méthode est utilisée dans les images couleur, où la segmentation se fait en fonction des informations de couleur. Des espaces colorimétriques tels que RGB, HSV ou Lab peuvent être utilisés. Par exemple, en utilisant le modèle RGB, des seuils peuvent être définis pour les composantes rouge, verte et bleue afin de séparer les objets ou les régions de différentes couleurs.

2.5. Extraction des caractéristiques

Une fois que l'image est segmentée, des caractéristiques pertinentes peuvent être extraites de chaque région ou objet identifié. Ces caractéristiques peuvent inclure des informations telles que la texture, la forme, la couleur, les contours, les gradients, etc. L'extraction des caractéristiques permet de représenter et de quantifier les propriétés visuelles de l'image pour une analyse ultérieure.[1]

2.6. Analyse et interprétation

Cette étape implique l'analyse des informations extraites de l'image et leur interprétation pour extraire des connaissances ou prendre des décisions. Par exemple, dans la reconnaissance de formes, les caractéristiques extraites peuvent être comparées à des modèles préalablement appris pour reconnaître des objets ou des motifs spécifiques.

2.7. Post-traitement

Le post-traitement est effectué pour finaliser l'image en appliquant des ajustements supplémentaires ou des effets spéciaux. Cela peut inclure l'ajout de filtres artistiques, la suppression des défauts résiduels, l'amélioration de la netteté, le ré-échantillonnage, la compression, etc. Le but est d'obtenir une image finale qui correspond aux exigences ou aux préférences de l'utilisateur.

CHAPITRE 2

Les méthodes de segmentation d'image.

1. Introduction sur la segmentation d'image

La segmentation d'image est le processus de partitionnement d'une image numérique en plusieurs segments ou régions, dans le but de simplifier l'image, la rendre plus facile à analyser ou la segmenter en des parties significatives pour une application particulière.

Il existe différentes méthodes de segmentation d'image qui peuvent être utilisées en fonction des objectifs et des caractéristiques de l'image.[9]

2. Méthodes de segmentation d'image les plus courantes:

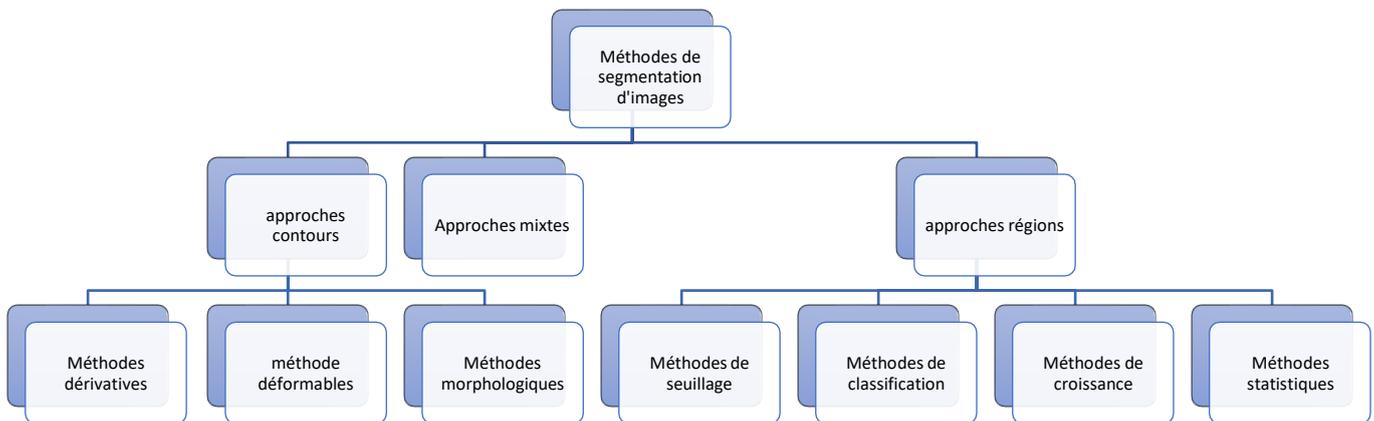


Figure 3: Méthode de segmentation d'image

- a. Voici quelques-unes des méthodes de segmentation d'image les plus courantes :

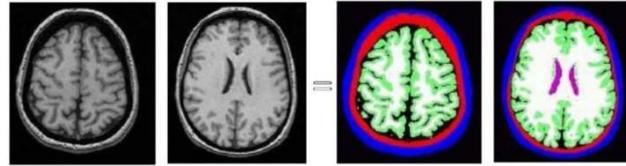
2.1 seuillage

le seuillage est une méthode de traitement d'image qui permet de diviser l'image en deux parties en utilisant un seuil de gris. Cela permet de simplifier l'image en la binarisant et facilite diverses tâches de traitement d'image telles que la détection de contours ou la segmentation d'objets. Le choix du seuil dépend des caractéristiques de l'image et des objectifs spécifiques de l'application.

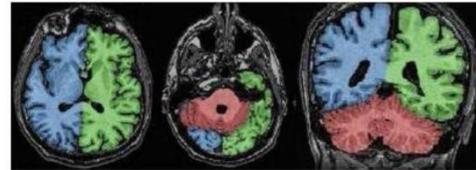
Cette technique de seuillage peut être utilisée dans de nombreuses applications, telles que la détection de contours, la segmentation d'objets ou la

simplification des images pour faciliter certaines opérations de traitement ultérieures. Le choix du seuil dépend généralement des caractéristiques de l'image et des objectifs spécifiques de l'application.[11]

Peau, os, LCR, matière grise, matière blanche, ventricules



Hémisphère gauche, hémisphère droit, cervelet



Images issues de l'HDR de J.F. Mangin

Figure 4:Segmentation d'image médicale avec méthode seuillage

2.1.1. Choix du seuil

Le seuillage commence par le choix d'un seuil de gris approprié. Le seuil peut être choisi de manière subjective en fonction de la perception visuelle ou de manière objective en utilisant des techniques d'analyse d'histogramme ou de segmentation automatique. Le seuil représente la valeur de gris qui servira de limite pour diviser l'image.

2.1.2. Binarisation de l'image

Une fois le seuil choisi, l'image est binarisée en utilisant ce seuil. Chaque pixel de l'image est comparé au seuil et assigné à l'une des deux catégories : pixels inférieurs ou égaux au seuil et pixels supérieurs au seuil. Cela permet de diviser l'image en deux parties distinctes.

2.1.3. Formule de seuillage

La formule de seuillage est simple. Pour chaque pixel de l'image, la comparaison avec le seuil est effectuée et la valeur est mise à jour en conséquence. La formule est la suivante :

- Si la valeur du pixel est inférieure ou égale au seuil, la nouvelle valeur du pixel est fixée à une valeur prédéfinie pour représenter la première partie de l'image (par exemple, noir ou 0).
- Si la valeur du pixel est supérieure au seuil, la nouvelle valeur du pixel est fixée à une autre valeur prédéfinie pour représenter la deuxième partie de l'image (par exemple, blanc ou 255).

La formule de seuillage est généralement exprimée comme suit :

- Si Valeur_pixel \leq Seuil \rightarrow Nouvelle_valeur_pixel = Valeur_basse
- Si Valeur_pixel $>$ Seuil \rightarrow Nouvelle_valeur_pixel = Valeur_haute

2.1.4. Résultats du seuillage

Le résultat du seuillage est une image binaire, où les pixels sont soit noirs (ou une valeur basse), soit blancs (ou une valeur haute). Cette technique est largement utilisée dans des applications telles que la détection des contours, la segmentation d'objets, la détection d'objets dans des environnements spécifiques, etc.

2.2 Segmentation basée sur les régions

La segmentation basée sur les régions est une méthode de traitement d'image qui vise à regrouper les pixels de l'image en régions homogènes, où les pixels ont des caractéristiques similaires telles que la couleur, la texture ou la luminance.[13]

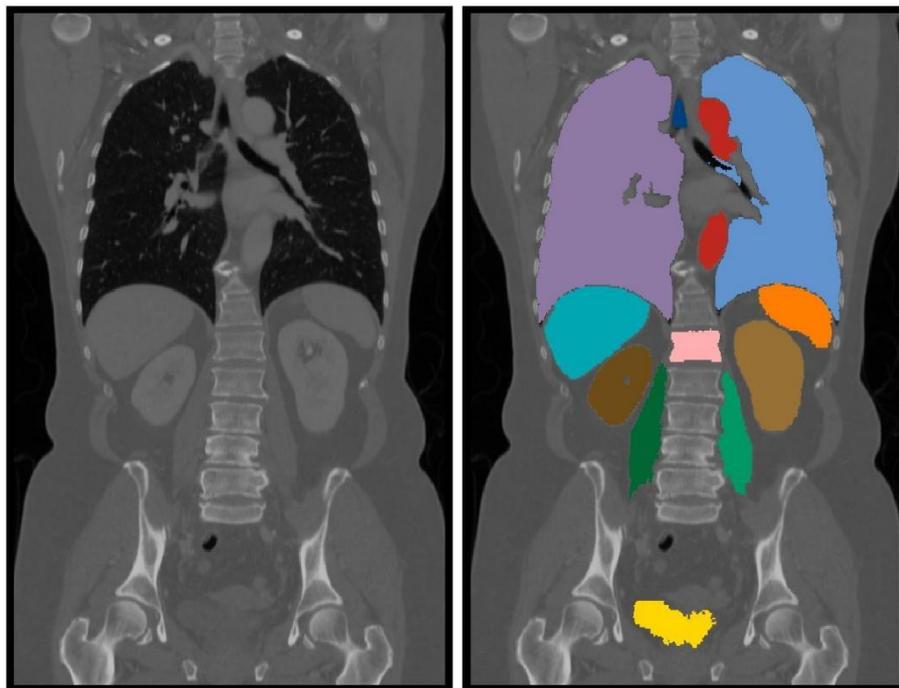


Figure 5: Regroupement des pixels en régions

2.2.1. Choix des caractéristiques

Avant de commencer la segmentation, il est nécessaire de choisir les caractéristiques sur lesquelles se basera la similarité des pixels. Les caractéristiques couramment utilisées sont la couleur (valeurs des canaux RVB), la texture (moyenne, variance, histogramme de textures, etc.), la luminance (niveau de gris), ou une combinaison de ces caractéristiques. Le choix des caractéristiques dépend de l'objectif de segmentation et des propriétés de l'image.

2.2.2. Calcul des similarités

Une fois les caractéristiques choisies, la similarité entre les pixels est calculée en fonction de ces caractéristiques. Différentes mesures de similarité peuvent être utilisées, telles que la distance euclidienne, la distance de Manhattan, la corrélation, etc. Ces mesures quantifient la proximité entre les valeurs des caractéristiques des pixels.

2.2.3. Formation des régions

À partir des mesures de similarité, les pixels sont regroupés pour former des régions homogènes. Différentes méthodes peuvent être utilisées, telles que la croissance de région (region growing), la fusion de régions (region merging), les algorithmes de segmentation basés sur les graphes (graph-based segmentation), les méthodes de clustering, etc. Ces méthodes cherchent à maximiser la similarité intra-région et à minimiser la similarité inter-région.

2.2.4. Formules de segmentation

Les formules exactes dépendent de la méthode de segmentation spécifique utilisée. Par exemple, dans l'algorithme de croissance de région (region growing), la formule de mise à jour peut être la suivante :

- Si la similarité entre un pixel voisin et la région en cours de formation dépasse un seuil prédéfini, le pixel est ajouté à la région.

2.2.5. Résultats de la segmentation

Le résultat de la segmentation basée sur les régions est une partition de l'image en régions homogènes, où les pixels présentent une similarité élevée entre eux en termes de caractéristiques choisies. Ces régions peuvent être utilisées pour des tâches telles que la détection d'objets, la séparation du premier plan et de l'arrière-plan, la reconstruction 3D, etc.

2.3 Segmentation basée sur les contours

La segmentation basée sur les contours est une méthode de traitement d'image qui vise à détecter les contours de l'image, c'est-à-dire les zones où il y a des changements abrupts de couleur ou de luminance. Cette méthode est largement utilisée pour séparer les objets du premier plan de l'arrière-plan en mettant en évidence les limites entre les différentes régions de l'image. [9]

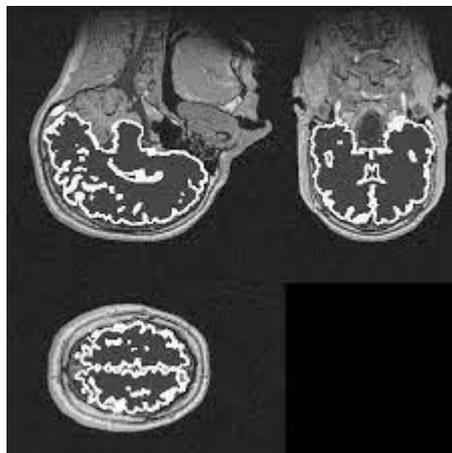


Figure 6: Segmentation d'image médicale basée sur les contours

2.3.1. Détection des contours

La première étape de la segmentation basée sur les contours consiste à détecter les contours de l'image. Différents algorithmes peuvent être utilisés pour cette tâche, tels que le filtre de Sobel, le filtre de Canny, le filtre de Prewitt ou le filtre de Laplacian. Ces algorithmes calculent le gradient de l'image pour détecter les changements de couleur ou de luminance brusques qui indiquent la présence de contours.

2.3.2. Filtrage des contours

Après la détection des contours, il est souvent nécessaire de filtrer les contours pour éliminer le bruit et les détails indésirables. Cela peut être réalisé en appliquant des techniques de seuillage, de lissage ou de suppression des pixels isolés. L'objectif est de conserver les contours significatifs tout en éliminant les artefacts indésirables.

2.3.3. Connexion des contours

Une fois les contours filtrés, il est possible que certains contours discontinus doivent être connectés pour former des contours complets. Cela peut être réalisé en utilisant des techniques de remplissage de trous ou des algorithmes de connexion de contours basés sur la proximité spatiale et la similarité des attributs.

2.3.4. Formules et algorithmes

Les formules exactes et les algorithmes dépendent des méthodes spécifiques utilisées pour la détection des contours. Par exemple, l'algorithme de Canny utilise un filtre gaussien pour réduire le bruit de l'image, puis calcule le gradient et l'orientation du gradient pour identifier les pixels de contour. Il applique ensuite un seuillage adaptatif pour supprimer les contours faibles et conserve uniquement les contours forts.

2.3.5. Résultats de la segmentation

Le résultat de la segmentation basée sur les contours est une carte des contours de l'image, qui met en évidence les limites entre les différentes régions de l'image. Cette carte des contours peut être utilisée pour des tâches telles que la détection d'objets, le suivi de mouvement, la reconnaissance de formes, etc.

2.4. Segmentation basée sur la détection de caractéristiques

Cette méthode de segmentation d'image qui repose sur la détection et l'exploitation de caractéristiques spécifiques présentes dans l'image. Ces caractéristiques peuvent inclure des points d'intérêt, des lignes, des cercles, des ellipses, des coins, des contours, etc.

Elle offre des avantages tels que la robustesse aux variations d'éclairage, aux déformations géométriques et aux changements d'échelle. Cependant, elle peut être sensible aux variations des caractéristiques dans l'image et nécessite souvent des paramètres ajustables pour obtenir des résultats optimaux.

2.5. Segmentation basée sur l'apprentissage automatique

Cette méthode de segmentation d'image qui utilise des algorithmes d'apprentissage automatique pour apprendre à segmenter l'image en fonction de caractéristiques extraites des données d'entraînement. Ces algorithmes peuvent inclure des réseaux de neurones, des machines à vecteurs de support (SVM), des arbres de décision, des forêts aléatoires, etc.

Les étapes de la méthode de segmentation basée sur l'apprentissage automatique :

2.5.1. Préparation des données d'entraînement

Pour utiliser l'apprentissage automatique, il est nécessaire de préparer un ensemble de données d'entraînement annotées. Cela signifie que chaque image de l'ensemble d'entraînement doit être associée à une carte de référence ou à des annotations qui indiquent les régions d'intérêt ou les contours que nous souhaitons segmenter. Les caractéristiques pertinentes sont également extraites pour chaque image.

2.5.2. Entraînement de l'algorithme

L'algorithme d'apprentissage automatique est ensuite entraîné à partir de l'ensemble de données d'entraînement. L'objectif est de trouver une relation entre les caractéristiques extraites des images et les annotations correspondantes, afin de pouvoir segmenter de manière précise de nouvelles images non annotées.

2.5.3. Extraction des caractéristiques

Les caractéristiques pertinentes sont extraites à partir des images à segmenter. Cela peut inclure des caractéristiques basées sur les couleurs, les textures, les formes, les gradients, etc. Les mêmes types de caractéristiques utilisées lors de l'entraînement de l'algorithme peuvent être utilisés ici.

2.5.4. Prédiction et segmentation

L'algorithme d'apprentissage automatique est utilisé pour prédire les régions d'intérêt ou les contours dans les nouvelles images à segmenter. Il applique les connaissances apprises pendant l'entraînement pour segmenter l'image en fonction des caractéristiques extraites.

2.5.5. Évaluation et ajustement

La segmentation résultante est évaluée en comparant les résultats aux annotations ou aux cartes de référence. Si nécessaire, l'algorithme peut être ajusté et ré-entraîné avec de nouvelles données pour améliorer les performances de segmentation.

La segmentation basée sur l'apprentissage automatique offre des avantages tels que la capacité à apprendre des modèles complexes et à s'adapter à différentes conditions d'image. Elle peut être utilisée pour segmenter des objets, des régions d'intérêt ou des contours dans des images de manière précise. Cependant, cette méthode nécessite souvent un ensemble de données d'entraînement annotées de haute qualité et peut être plus complexe à mettre en œuvre que d'autres méthodes de segmentation.

3 Méthode de segmentation par croissance régions

La méthode de segmentation par croissance de régions est une approche qui vise à segmenter une image en regroupant des pixels similaires pour former des régions cohérentes. Cette méthode se base sur l'idée que des régions contiguës avec des propriétés similaires peuvent être regroupées pour former des segments significatifs.[15]

- les étapes pour la segmentation par croissance des régions:

3.1 Choix du critère de similarité

Le critère de similarité est défini pour mesurer la similarité entre les pixels ou les groupes de pixels. Il peut être basé sur des caractéristiques telles que la couleur, l'intensité, la texture, la forme, etc. Un critère de similarité approprié doit être choisi en fonction de la nature des images et des objectifs de segmentation.

3.2 Sélection du pixel de départ (seed)

Un pixel de départ est sélectionné à partir duquel la croissance de la région commencera. Il peut être choisi de manière aléatoire ou en fonction de certaines règles définies en fonction du problème spécifique.

3.3 Croissance de la région

La croissance de la région débute à partir du pixel de départ. Les pixels voisins qui satisfont au critère de similarité défini sont ajoutés à la région en cours de croissance. Ce processus se répète jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de pixels voisins qui puissent être ajoutés à la région ou jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt prédéfini soit atteint.

3.4 Répétition de la croissance de région

Les étapes 2 et 3 sont répétées pour tous les pixels de l'image jusqu'à ce que chaque pixel soit assigné à une région.

3.5 Post-traitement

Des opérations de post-traitement peuvent être effectuées pour améliorer la qualité de la segmentation. Cela peut inclure des étapes telles que la fusion ou la division des régions, l'élimination du bruit, l'élimination des régions indésirables, etc.

3.6 Conclusion

La méthode de segmentation par croissance de régions est relativement simple à comprendre et à mettre en œuvre. Cependant, le choix du critère de similarité et du pixel de départ peut avoir un impact significatif sur les résultats de segmentation. Par conséquent, ces choix doivent être faits judicieusement en fonction des caractéristiques de l'image et des objectifs de segmentation spécifiques.

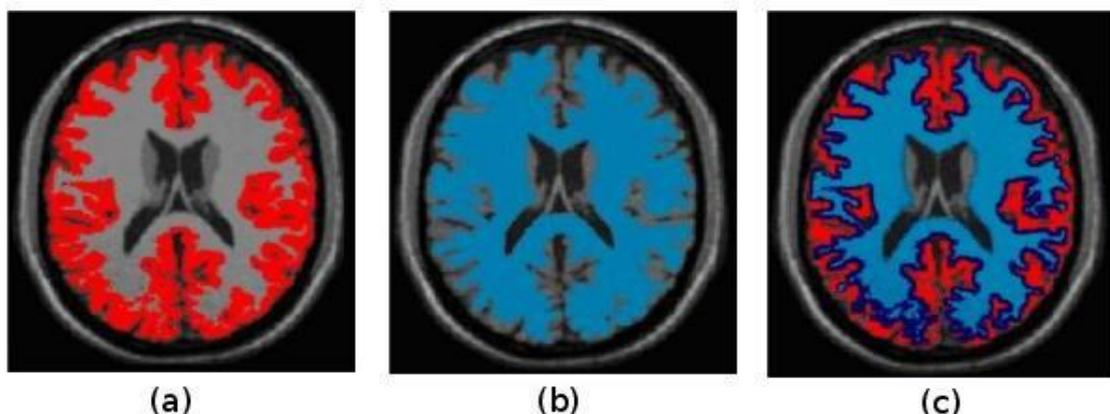


Figure 7: Segmentation de l'encéphale par croissance de région

(a) segmentation de la MG

(b) segmentation de la MB

(c) régions de chevauchement entre les deux régions segmentées

4 Méthode de ligne de partage des eaux

La méthode de ligne de partage des eaux, également connue sous le nom de "watershed", est une technique populaire utilisée en traitement d'images et en vision par ordinateur pour la segmentation et la détection des contours. Elle tire son nom de l'analogie avec le concept géographique de ligne de partage des eaux, qui sépare les bassins versants des cours d'eau.

La méthode de ligne de partage des eaux peut être utilisée pour segmenter une image en régions ou objets distincts en se basant sur les différences d'intensité ou de texture entre les pixels.

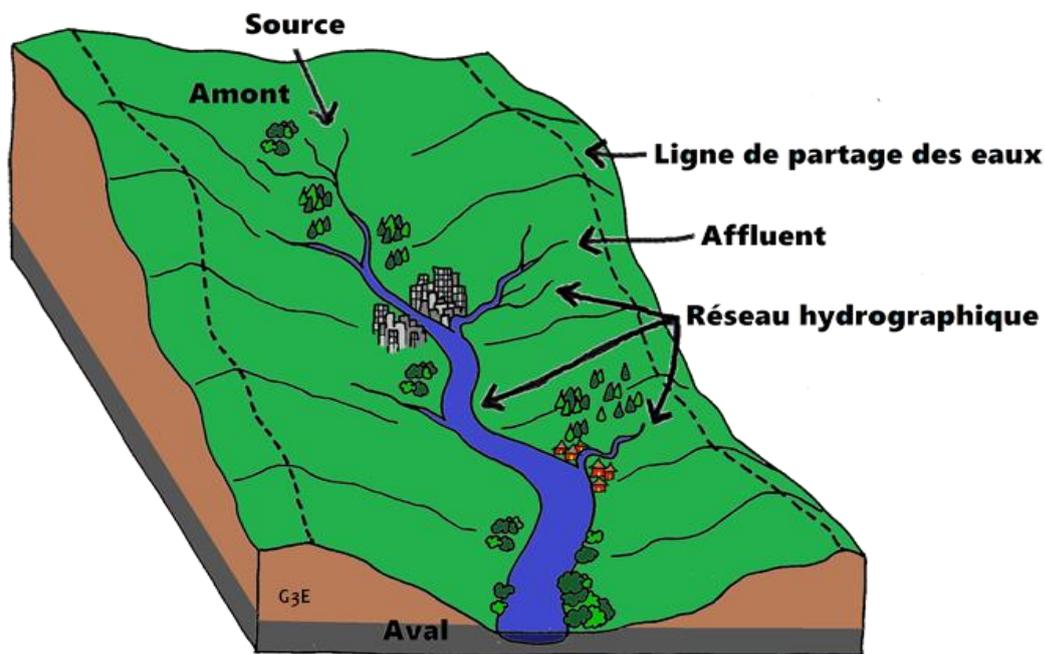


Figure 8: Représentation d'une image sous forme de terrain 3d avec méthode watershed

Voici une présentation générale de la méthode :

4.1 Calcul des gradients

Dans un premier temps, des opérations de filtrage sont généralement appliquées à l'image d'origine pour mettre en évidence les contours et les variations d'intensité. Des opérateurs de gradient tels que le gradient de Sobel ou le gradient de Prewitt peuvent être utilisés pour estimer les variations locales d'intensité dans l'image.

4.2 Transformation en carte de distance

À partir des gradients calculés, une carte de distance est créée en assignant à chaque pixel la valeur de la distance euclidienne par rapport aux régions voisines. Cette carte de distance permet de représenter la distance relative de chaque pixel par rapport aux régions d'intérêt, ce qui aide à identifier les zones de transition entre les régions.

4.3 Détection des minima locaux

Les minima locaux de la carte de distance sont identifiés. Ces minima correspondent généralement aux points les plus bas entre les régions. Ils serviront de points de départ pour la propagation de l'eau dans la prochaine étape.

4.4 Propagation de l'eau

À partir des minima locaux, un processus de propagation de l'eau est effectué. L'idée est d'imaginer que chaque minimum local est une source d'eau et que l'eau se propage à travers les régions en suivant les chemins de moindre résistance, c'est-à-dire les régions de plus faible intensité. L'eau se propage jusqu'à ce que les bassins versants des différentes sources d'eau se rejoignent.

4.5 Délimitation des régions

Une fois la propagation de l'eau terminée, les lignes de partage des eaux sont obtenues. Ces lignes représentent les frontières entre les régions segmentées. En appliquant un seuillage adaptatif ou d'autres techniques, il est possible de délimiter les régions individuelles à partir de ces lignes.

4.6 Exemple d'utilisation de la méthode

4.6.1. Calcul des gradients

- Nous avons une image en niveaux de gris de taille M x N.
- Appliquons un filtre de Sobel pour calculer les gradients horizontaux (G_x) et verticaux (G_y) de l'image.
- En utilisant les gradients horizontaux et verticaux, nous pouvons calculer le gradient total (G) pour chaque pixel en utilisant la formule :

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

4.6.2. Transformation en carte de distance

- À partir du gradient total, nous calculons la carte de distance en utilisant l'algorithme de la transformation en carte de distance.
- Pour chaque pixel, nous calculons sa distance euclidienne par rapport aux pixels voisins.
- Nous attribuons cette valeur de distance à chaque pixel de la carte de distance.

4.6.3. Détection des minima locaux

- Nous identifions les minima locaux de la carte de distance.
- Pour chaque pixel, nous vérifions s'il est un minimum local en comparant sa valeur avec les valeurs de ses voisins.
- Les pixels qui sont des minima locaux serviront de points de départ pour la propagation de l'eau.

4.6.4. Propagation de l'eau

- À partir des minima locaux, nous effectuons un processus itératif de propagation de l'eau.
- Nous attribuons une étiquette unique à chaque pixel de départ (minimum local).
- À chaque itération, nous propageons l'eau d'un pixel étiqueté vers ses voisins non étiquetés en suivant les chemins de moindre résistance (pixels de plus faible intensité).
- L'eau se propage jusqu'à ce que les bassins versants des différentes sources d'eau se rejoignent.

4.6.5. Délimitation des régions

- Une fois la propagation de l'eau terminée, nous obtenons les lignes de partage des eaux.
- Ces lignes représentent les frontières entre les régions segmentées.
- En appliquant un seuillage adaptatif ou d'autres techniques, nous pouvons délimiter les régions individuelles à partir de ces lignes.

4.7 Avantages et Inconvénients de la méthode

La méthode de ligne de partage des eaux présente plusieurs avantages et inconvénients :

Avantages :

- ✓ Segmentations précises : La méthode de ligne de partage des eaux peut fournir des segmentations précises en détectant les contours et en séparant les régions de l'image en fonction des gradients d'intensité.
- ✓ Traitement local : La méthode de ligne de partage des eaux fonctionne principalement sur des régions locales de l'image, ce qui permet une segmentation fine et détaillée des objets présents.

Inconvénients :

- ✓ Sensibilité aux bruits : La méthode de ligne de partage des eaux est sensible aux bruits présents dans l'image. Les variations d'intensité dues au bruit peuvent entraîner des segmentations incorrectes ou imprécises.
- ✓ Sur-segmentation : Il arrive souvent que la méthode de ligne de partage des eaux produise une sur-segmentation, c'est-à-dire qu'elle divise excessivement l'image en petites régions, ce qui peut nécessiter des étapes supplémentaires pour fusionner ou regrouper les régions similaires.
- ✓ Choix des marqueurs : La performance de la méthode de ligne de partage des eaux dépend largement du choix approprié des marqueurs initiaux. Sélectionner les marqueurs de manière optimale peut être un défi, en particulier dans les images complexes ou ambiguës.

Il est important de noter que ces avantages et inconvénients peuvent varier en fonction des paramètres et des variantes spécifiques de la méthode de ligne de partage des eaux utilisées.

5 Critères de segmentation d'image

Les critères de segmentation d'image sont des mesures utilisées pour évaluer et comparer les régions segmentées d'une image. Ils permettent de quantifier des aspects tels que l'homogénéité, la cohérence et la précision des régions obtenues par la segmentation. Voici une description des critères que vous avez mentionnés :

- Moyenne de niveau de gris :

Ce critère évalue la différence moyenne des niveaux de gris entre les pixels d'une région. Il peut être calculé en utilisant la formule suivante :

$$Moyenne = \frac{1}{N} \times \sum_{n=1}^N I(n)$$

où N représente le nombre total de pixels dans la région, I(n) représente la valeur de gris du pixel n. Une faible différence de moyenne de niveau de gris indique une région plus homogène, avec des pixels ayant des valeurs de gris similaires.

- Variance ou écart type :

Ces critères mesurent la dispersion des niveaux de gris à l'intérieur d'une région. La variance peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$Variance = \frac{1}{N} \times \sum_{n=1}^N (I(n) - Moyenne)^2$$

où N représente le nombre total de pixels dans la région, I(n) représente la valeur de gris du pixel n, et Moyenne est la moyenne de niveau de gris calculée précédemment. Une faible variance ou un faible écart type indique que les pixels d'une région sont relativement similaires en termes de niveaux de gris.

- Frontière entre régions :

Ce critère évalue la discontinuité ou la transition des niveaux de gris le long des frontières entre les régions. Il peut être mesuré en calculant le gradient des niveaux de gris ou en analysant les contours des régions segmentées. Une frontière nette et bien définie indique une segmentation précise et distincte des régions.

Il existe plusieurs méthodes pour calculer le gradient, telles que l'opérateur de Sobel ou l'opérateur de Roberts. Ces opérateurs évaluent les variations des niveaux de gris dans les directions horizontale et verticale pour déterminer les contours.

6 Conclusion

La segmentation d'image est une étape clé dans le traitement d'image qui permet de diviser une image en plusieurs régions ou objets distincts afin de faciliter leur analyse et leur traitement ultérieur. Elle peut être réalisée en utilisant diverses méthodes, y compris des méthodes basées sur des critères de similarité, des algorithmes de clustering, des techniques de gradient ou des approches basées sur des modèles.

La segmentation d'image est une étape importante dans la vision par ordinateur, la médecine, la surveillance, la sécurité et de nombreux autres domaines.

Les applications pratiques de la segmentation d'image comprennent la détection d'objets, la segmentation de tissus en imagerie médicale, la détection de contours et la reconnaissance de formes.

CHAPITRE 3

Conception et Réalisation

1. Langage de Programmation utiliser Python

Python est un langage de programmation polyvalent qui est largement utilisé dans le domaine de l'imagerie et de la segmentation d'image. Il dispose de nombreuses bibliothèques puissantes et de ressources pour effectuer des opérations d'imagerie, manipuler des images, extraire des informations visuelles et segmenter des régions d'intérêt.

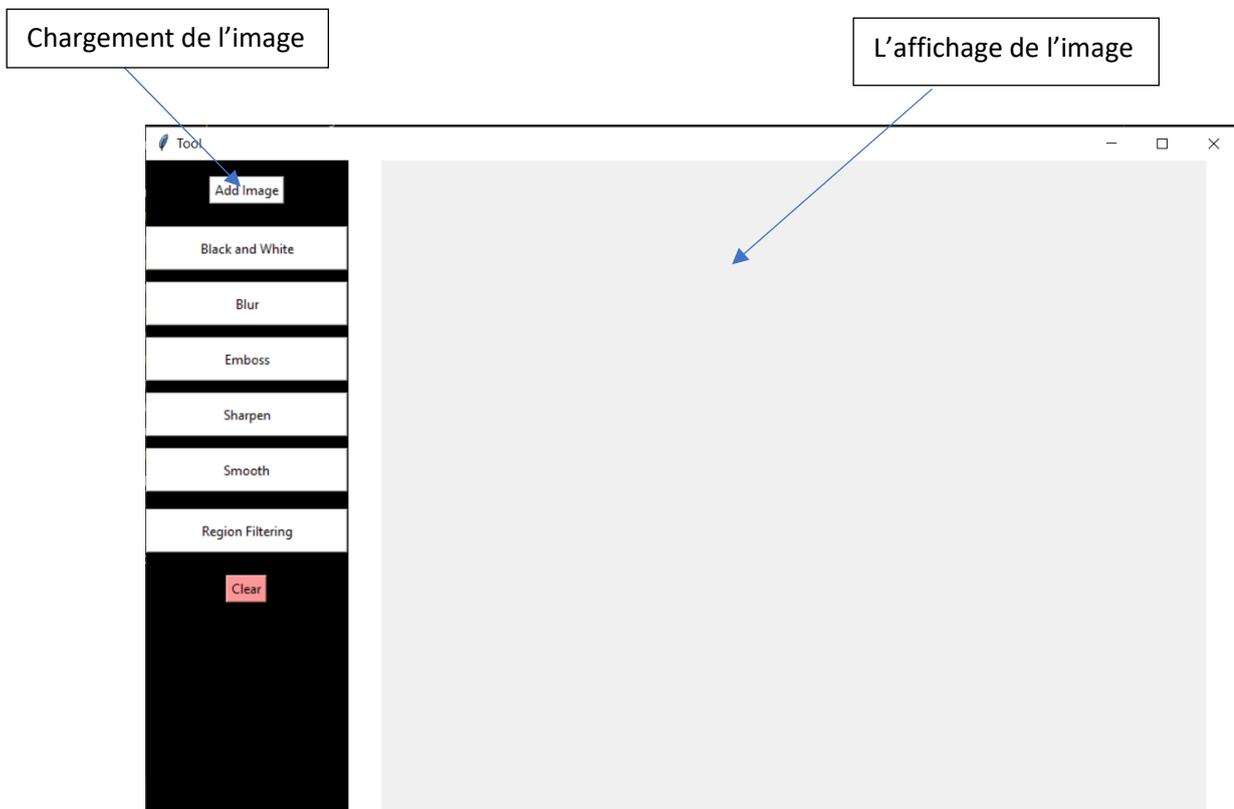
un aperçu des principales bibliothèques Python utilisées dans la segmentation d'image :

- ✓ NumPy : NumPy est une bibliothèque fondamentale en Python pour le calcul scientifique. Elle est souvent utilisé pour charger, manipuler et traiter des images pixel par pixel.
- ✓ PIL/Pillow : PIL (Python Imaging Library) est une bibliothèque populaire permet de lire, d'écrire et de manipuler différents formats d'images. PIL/Pillow offre des fonctionnalités telles que le redimensionnement, le filtrage, le recadrage de formats d'images.
- ✓ Scikit-image : Scikit-image est une bibliothèque qui fournit une large gamme de fonctions et d'algorithmes pour le prétraitement, la segmentation, la transformation, le filtrage et l'analyse d'images.

Ces bibliothèques Python offrent une grande variété d'outils et d'algorithmes pour la segmentation d'image. Elles nous permettent de charger, manipuler, analyser, segment...

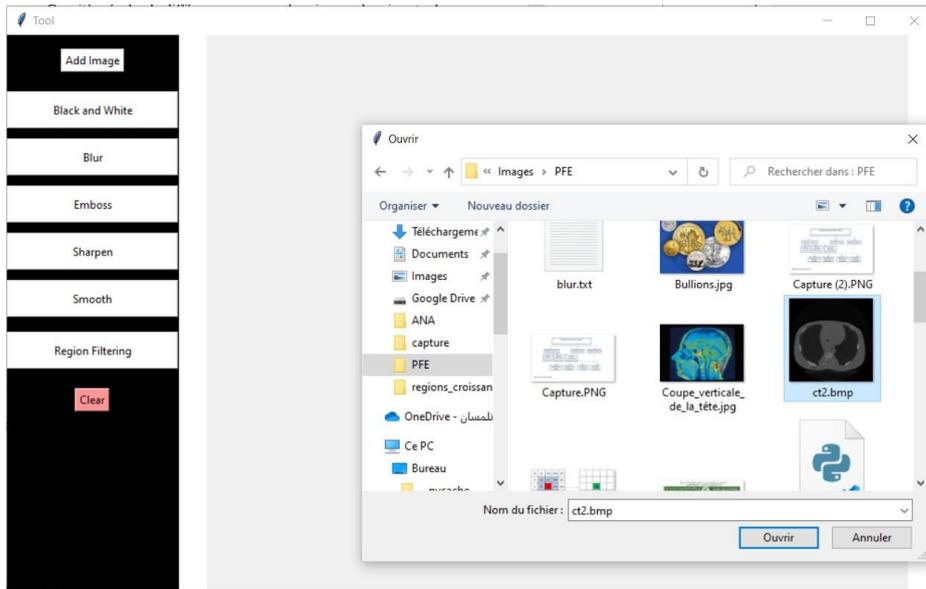
2. Interface

L'interface principal de l'application :



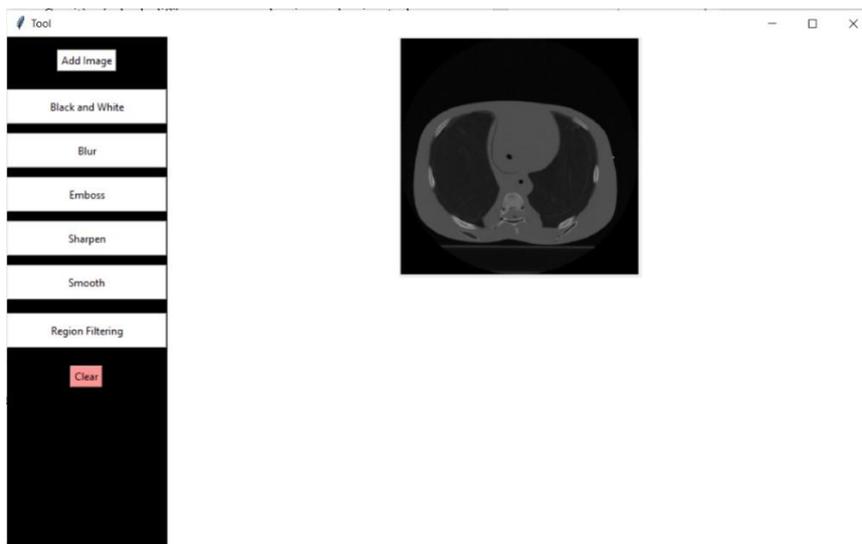
3. Chargement de l'image

Cet algorithme utilise le module tkinter pour créer une fenêtre Tkinter vide. Ensuite, la fonction `filedialog.askopenfilename()` est utilisée pour afficher la boîte de dialogue de sélection de fichier. L'utilisateur peut naviguer dans l'explorateur de fichiers, sélectionner un fichier et cliquer sur le bouton "Ouvrir". Le chemin absolu du fichier sélectionné est ensuite stocké dans la variable `file_path`.

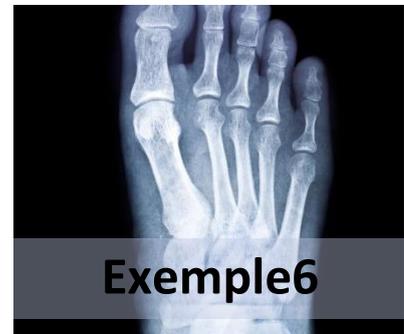
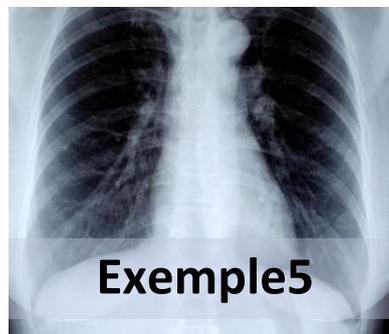
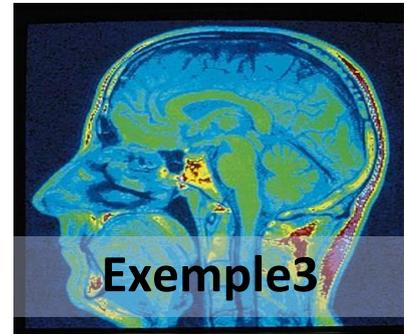
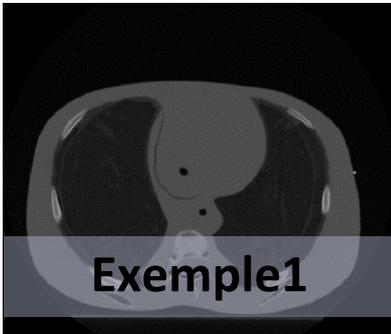


4. Affichage de L'image

Cette séquence d'instructions permet d'obtenir l'image à partir du chemin de fichier sélectionné, de la redimensionner pour qu'elle s'adapte au canevas et de configurer le canevas pour correspondre à la taille de l'image. Si nécessaire, vous pouvez également convertir l'image à un format compatible avec Tkinter en utilisant `ImageTk.PhotoImage()`.



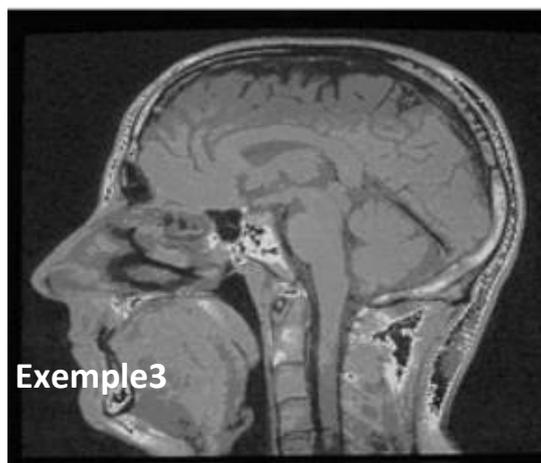
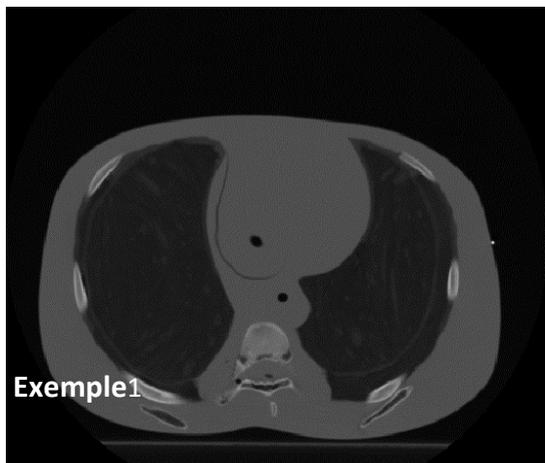
les images exemples utilisées :



Filtres

- ✓ Convertir l'image RGB vers noir et blanc (filtre noir & blanc)

La fonction `ImageOps.grayscale()` de la bibliothèque Pillow est utilisée pour convertir une image en niveaux de gris. Elle prend en entrée un objet Image et renvoie une nouvelle image dans laquelle les couleurs ont été converties en niveaux de gris.



- ✓ Convertir l'image vers le flou (filtre flou blur)

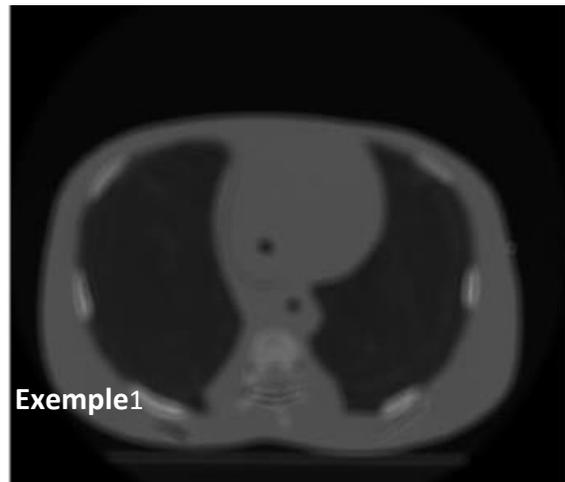
La méthode `filter()` avec l'argument `ImageFilter.BLUR` est utilisée pour appliquer un flou à une image à l'aide d'un filtre de flou.

Lorsque vous appelez `image.filter(ImageFilter.BLUR)`, la méthode effectue les étapes suivantes pour appliquer le flou à l'image :

Le filtre de flou `ImageFilter.BLUR` est appliqué à l'image. Ce filtre utilise une convolution pour calculer une moyenne pondérée des pixels voisins et l'applique à chaque pixel de l'image.

Le filtre de flou peut être paramétré avec des valeurs spécifiques pour contrôler l'intensité du flou. Cependant, en utilisant `ImageFilter.BLUR`, les valeurs de paramètres par défaut sont utilisées.

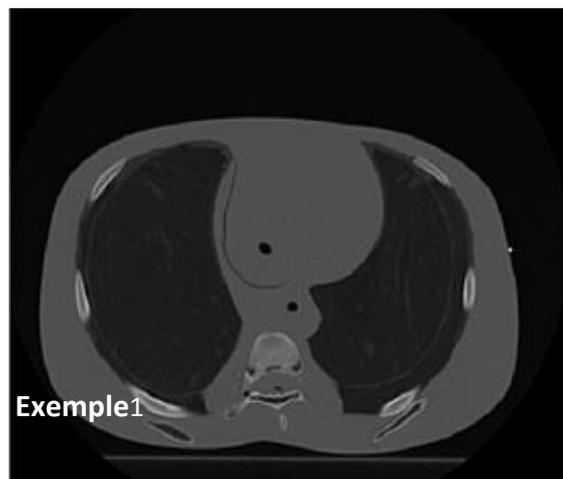
La méthode renvoie une nouvelle image qui est le résultat de l'application du flou à l'image d'origine.



✓ Convertir l'image avec le filtre sharpen (filtre sharpen)

La méthode filter() de l'objet Image de la bibliothèque Pillow est utilisée pour appliquer un filtre à une image.

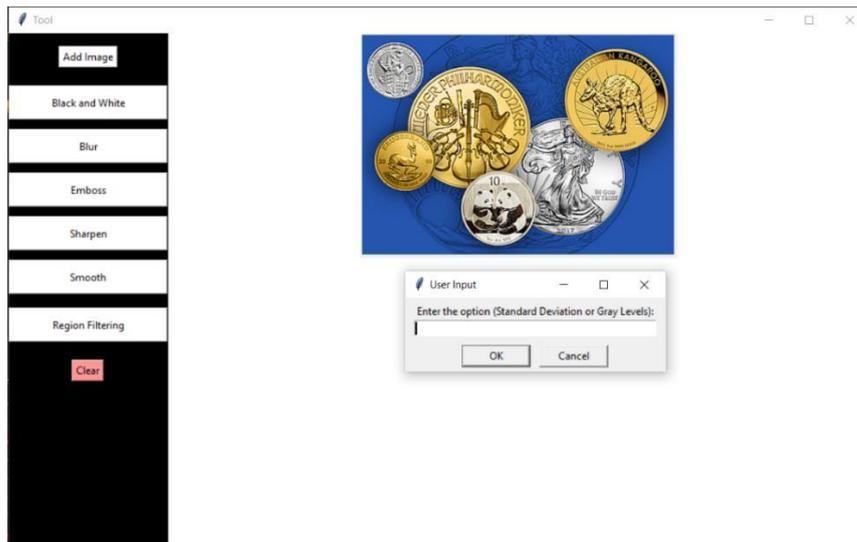
ImageFilter.SHARPEN est utilisé comme filtre pour affiner les détails de l'image. Le filtre de netteté (sharpen) est couramment utilisé pour améliorer la clarté et les contours de l'image en accentuant les transitions de couleur entre les pixels adjacents.



5. Critères de segmentation

Une boîte de dialogue est créée en utilisant la fonction `simpledialog.askstring()`.

La boîte de dialogue demande à l'utilisateur d'entrer l'option souhaitée en utilisant le message "Enter the option (Standard Deviation or Gray Levels):".



5.1. niveaux de gris

Une fois que la valeur des niveaux de gris est valide (c'est-à-dire comprise entre 0 et 40), la méthode `process_gray_levels(image, second_input)` est appelée pour effectuer le traitement des niveaux de gris avec l'image et le nombre de niveaux de gris donné.

Exemple1 :

Niveau 5



Niveau3



Exemple2 :

Niveau 5



Niveau 3

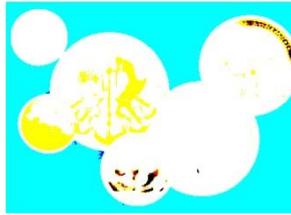


5.2. L'écart Type

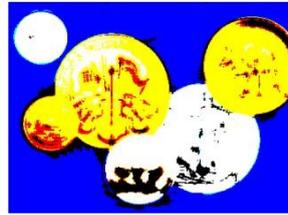
La méthode `calculate_standard_deviation(image, second_input)` est appelée pour effectuer le calcul de l'écart type en utilisant l'image et la valeur de l'écart type donnée.

Exemple 1 :

écart type=0.8



écart type=1.5



écart type=2

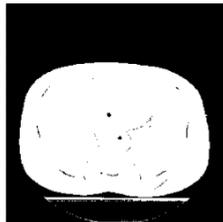


écart type=3



Exemple2 :

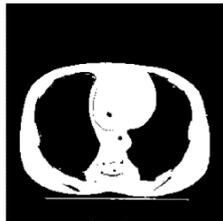
écart type=0.5



écart type=0.8



écart type=1.5



écart type=3



5.3. Méthode de ligne de partage des eaux :

✓ L'algorithme utilisé

Cet algorithme effectue les étapes suivantes :

1. Convertit l'image en un tableau numpy (`im`).
2. Applique un flou gaussien (`gaussian`) à chaque canal de couleur de l'image (`im_`).
3. Calcule les gradients (`gradr`, `gradg`, `gradb`) des canaux de couleur en utilisant la méthode `rank.gradient`.
4. Somme les gradients des canaux de couleur pour obtenir le gradient global (`grad`).
5. Appelle la fonction `getMarks` avec les paramètres de seuil (`thresh`) et de distance (`dist`) pour obtenir les marqueurs de la ligne de partage des eaux.
6. Étiquette les marqueurs (`markers`) en utilisant la fonction `label`.
7. Applique la ligne de partage des eaux (`watershed`) en utilisant le gradient (`grad`) et les marqueurs (`markers`) pour obtenir les régions segmentées (`ws`).
8. Calcule les propriétés des régions segmentées à l'aide de `regionprops` et itère sur chaque propriété (`prop`). a. Pour chaque région, calcule les valeurs minimales (`min_values`) et maximales (`max_values`) d'intensité à partir de l'image originale (`im_`). b. Affiche les valeurs minimales et maximales pour chaque région.
9. Affiche l'image segmentée par la ligne de partage des eaux (`ws`).

✓ les paramètres Seuil "thresh" et Distance "dist"

le rôle des paramètres "thresh" et "dist" et leur rôle dans le processus de segmentation des régions de l'image :

5.2.1. Seuil (thresh)

Le seuil est une valeur numérique qui détermine à quel point un pixel doit être différent des pixels environnants pour être considéré comme une frontière entre les régions. Une valeur de seuil élevée signifie que les différences de couleur ou d'intensité entre les pixels doivent être plus importantes pour être détectées comme une frontière. En revanche, une valeur de seuil plus basse permet de détecter des différences plus subtiles entre les pixels.

5.2.2. Distance (dist)

La distance est une mesure de proximité entre les pixels. Elle est utilisée pour déterminer si deux pixels doivent être regroupés dans la même région. La distance spécifie combien de pixels voisins peuvent être considérés comme faisant partie de la même région. Une distance plus courte signifie que les pixels doivent être très proches les uns des autres pour être regroupés, ce qui entraîne la formation de régions plus petites et plus détaillées. Une distance plus longue permet de regrouper des pixels plus éloignés, ce qui aboutit à des régions plus grandes et plus globales.

Dans le code, la fonction `getMarks()` est utilisée pour effectuer la segmentation des régions à partir du gradient de l'image. Les paramètres "thresh" et "dist" sont passés à cette fonction pour ajuster le seuil et la distance utilisés lors de la segmentation. En modifiant ces valeurs, vous pouvez contrôler le niveau de détail et la taille des régions obtenues.



Les testes de la méthode

	Exemple	Seuil	Distance	L'écart type	Niveau de gris	Figure	Nombre Régions	Filtre
Distance	1	0.8	35		3	Figure.1.1	13	Sharpen
	1	0.8	55		3	Figure.1.2	7	Sharpen
	1	0.8	20		3	Figure.1.3	50	Sharpen
Seuil	6	0.9	35	1	4	Figure.6.4	62	Noir et Blanc
	6	0.1	35	1		Figure.6.5	22	Noir et Blanc
	6	0.8	35			Figure.6.6	53	Sharpen
L'écart type	4	0.8	55	1.5		Figure.4.7	16	Blur
	4	0.8	55	2.5		Figure.4.8	22	Blur
Niveaux de gris	4	0.8	55			8	Figure.4.9	22
	4	0.8	55		4	Figure.4.10	17	Noir et Blanc
	4	0.8	55		2	Figure.4.11	15	Noir et Blanc

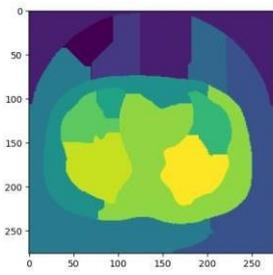


Figure1.1

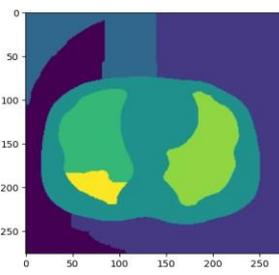


Figure1.2

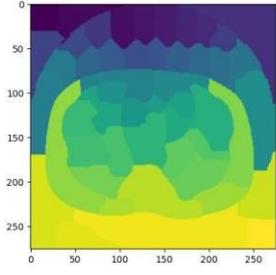


Figure1.3

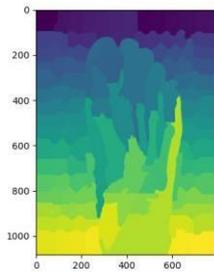


Figure6.4

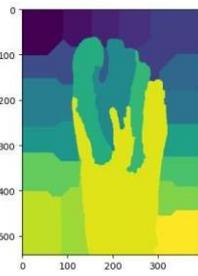


Figure6.5

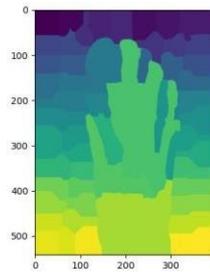


Figure6.6

figure.4.7

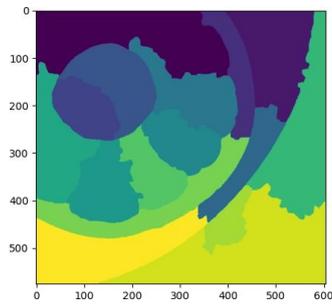


Figure.4.8

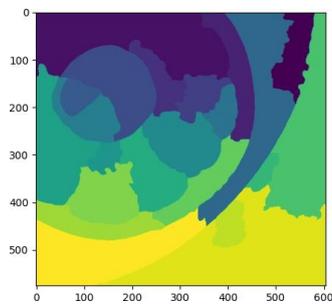


Figure.4.9

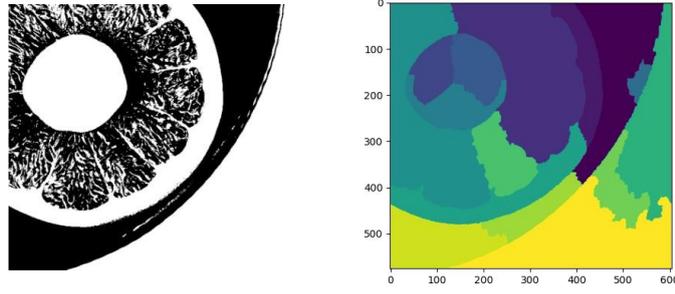


Figure 4.10

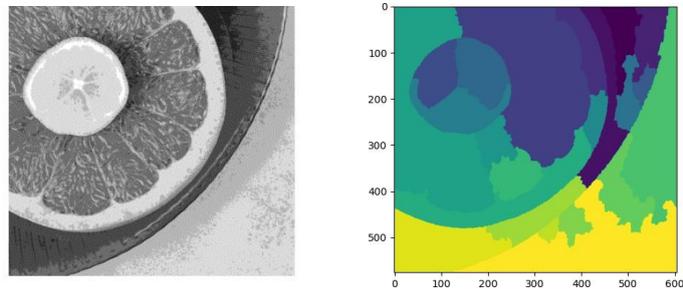
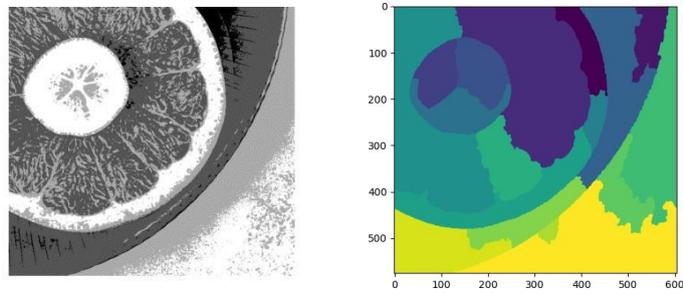


Figure.4.11



✓ Discussion des résultats

• Critère « distance » :

Lorsque l'on change la distance dans la méthode de ligne de partage des eaux, une comparaison et une discussion des résultats obtenus :

- Distance = 35 : Dans cet exemple, la méthode de ligne de partage des eaux avec une distance de 35 a donné 13 régions segmentées. Cela indique que la méthode a réussi à différencier les régions avec une certaine sensibilité à la distance entre les pixels. Une distance plus petite aurait probablement abouti à une segmentation en plus de régions, tandis qu'une distance plus grande aurait pu fusionner certaines régions similaires.
- Distance = 55 : En augmentant la distance à 55, le nombre de régions segmentées est réduit à 7. Cela suggère que la méthode est devenue moins sensible à la distance entre les pixels, ce qui a entraîné une fusion de certaines régions. Une distance plus grande a tendance à agréger davantage de pixels similaires en une seule région.
- Distance = 20 : Avec une distance de 20, la méthode de ligne de partage des eaux a généré 50 régions. Cela indique une sensibilité accrue à la distance entre les pixels, où de petites différences de couleur ou de texture sont suffisantes pour segmenter les régions en entités distinctes. Cependant, il est possible que certaines régions aient été fragmentées en plusieurs parties plus petites en raison de la sensibilité élevée à de petites variations.

En comparant ces trois exemples, il est clair que la distance utilisée dans la méthode de ligne de partage des eaux a un impact significatif sur le résultat de la segmentation. Une distance plus grande a tendance à fusionner les régions similaires, tandis qu'une distance plus petite permet de segmenter les régions plus finement.

• Critère « Seuil » :

Lorsque l'on change le seuil dans la méthode de ligne de partage des eaux, voici une comparaison et une discussion des résultats obtenus :

Seuil = 0.9 : Avec un seuil de 0.9, la méthode de ligne de partage des eaux a généré 62 régions segmentées. Cela indique que le seuil choisi a été suffisamment élevé pour considérer des régions distinctes même si elles présentent des variations de couleur ou de texture relativement faibles. Une valeur de seuil plus élevée permet de segmenter l'image en plus de régions, ce qui peut être utile pour capturer les détails fins ou les variations subtiles présentes dans l'image.

Seuil = 0.1 : En diminuant le seuil à 0.1, le nombre de régions segmentées est réduit à 22. Cela suggère que la méthode de ligne de partage des eaux est devenue moins sensible aux variations de couleur ou de texture entre les

régions. Un seuil plus bas a tendance à fusionner les régions similaires en une seule entité, ce qui conduit à une segmentation plus grossière de l'image.

En comparant ces deux exemples, il est évident que le seuil utilisé dans la méthode de ligne de partage des eaux a un impact significatif sur le résultat de la segmentation. Un seuil plus élevé permet de considérer plus de régions comme distinctes, tandis qu'un seuil plus bas favorise la fusion des régions similaires.

6. Méthode de Croissance de Régions

✓ L'algorithme utilisé

Algorithme de segmentation par régions on utilisons le graphe de région

Entrées :

- Image d'entrée (im)
- Segmentation de région (ws)

Sortie :

- Image segmentée finale (final_labels)

Étapes :

1. Créer un graphe de région en utilisant la méthode de couleur moyenne pour chaque région dans l'image (`rag = graph.rag_mean_color(im, ws)`).
2. Pour chaque propriété de région dans la segmentation de région : a. Assigner les coordonnées du centre de gravité de la région à la propriété 'centroid' du nœud correspondant dans le graphe de région (`rag.nodes[prop['label']]['centroid'] = prop['centroid']`).
3. Effectuer une coupe sur le graphe de région en utilisant une valeur seuil prédéfinie pour séparer les régions (`final_labels = graph.cut_threshold(ws, rag, seuil)`).
4. Afficher l'image segmentée finale (`plt.imshow(final_labels)`).

Fin de l'algorithme.

✓ Testes de l'algorithme

Exemple	Distance	Figure	Nombre Régions
1	29	Figure.1.1	4
1	15	Figure.1.2	4
1	50	Figure.1.3	4
4	29	Figure.4.4	6
4	15	Figure.4.5	8
4	50	Figure.4.6	6
5	29	Figure.5.7	8
5	15	Figure.5.8	11
5	50	Figure.5.9	6

Figure.1.1

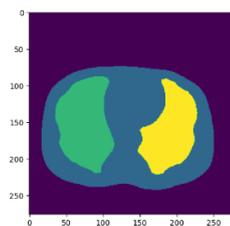


Figure.1.2

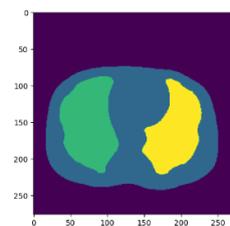


Figure.1.3

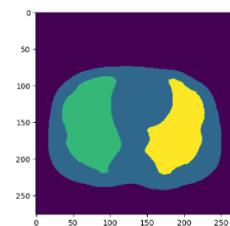


Figure.4.4

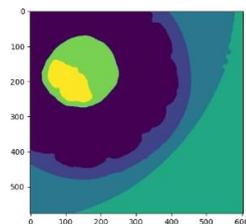


Figure.4.5

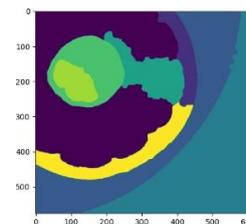


Figure.4.6

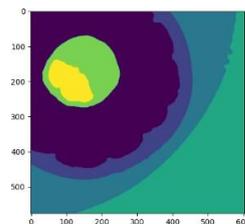


Figure.5.7

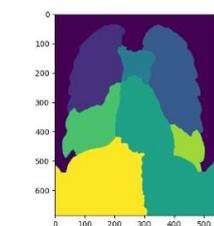


Figure.5.8

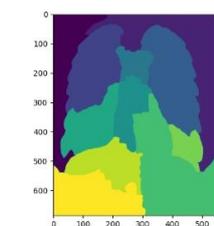
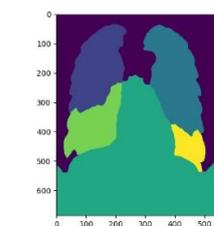


Figure.5.9



✓ Discussion des résultats

La méthode de segmentation par région utilisant la croissance des régions, dans cet algorithme, peut être efficace pour segmenter des images, en particulier lorsque l'image contient du bruit ou présente des variations importantes de couleurs ou de textures. Plus l'image est bruitée, plus il y aura de différences de valeurs dans le nombre de régions, et plus la méthode de croissance des régions sera précise pour réaliser la segmentation.

L'utilisation de la croissance des régions permet de capturer les informations de connectivité spatiale entre les régions de l'image, en associant les régions similaires et en identifiant les frontières entre elles. En calculant les couleurs moyennes des régions et en associant les centres de gravité, la méthode de croissance des régions permet de mieux représenter les relations entre les régions et d'obtenir une segmentation plus précise.

Cependant, il est important de noter que l'efficacité de cette méthode dépend également des paramètres utilisés, tels que les critères de croissance des régions. Il peut être nécessaire de régler ces paramètres en fonction des caractéristiques spécifiques de l'image pour obtenir les meilleurs résultats de segmentation.

la méthode de croissance des régions utilisée dans cet algorithme peut être une approche efficace pour la segmentation d'images, offrant une meilleure précision dans les cas où l'image est bruitée ou présente des variations importantes entre les régions. Cette méthode permet de traiter efficacement les images complexes en capturant la connectivité spatiale entre les régions et en fournissant une segmentation précise. Cependant, il est toujours nécessaire de choisir judicieusement les paramètres appropriés pour obtenir les meilleurs résultats.

7. Comparaison entre les deux méthodes utilisées

L'algorithme de segmentation par régions utilisant la méthode de croissance des régions et l'algorithme de ligne de partage des eaux sont deux approches différentes de la segmentation d'images. Voici une comparaison entre les deux :

- Comparaison entre les deux méthodes

- La méthode de croissance des régions se base sur la similarité des pixels, tandis que la ligne de partage des eaux utilise le gradient d'intensité.
- La méthode de croissance des régions permet un contrôle plus précis en fixant des seuils ou des critères pour la fusion des régions.
- L'algorithme de ligne de partage des eaux est sensible aux contours et aux détails fins de l'image grâce à son utilisation du gradient d'intensité.
- La méthode de croissance des régions convient généralement mieux aux images avec des structures régulières ou des régions bien définies, tandis que la ligne de partage des eaux peut être plus adaptée aux images avec des contours flous ou des régions complexes.

Le choix entre l'algorithme de segmentation par croissance des régions et l'algorithme de ligne de partage des eaux dépend des caractéristiques spécifiques de l'image, des objectifs de la segmentation et du niveau de contrôle souhaité. Chacune de ces méthodes présente des avantages et des limitations, et il est important de les évaluer en fonction du contexte et des besoins de l'application.

Conclusion & Perspective

Cette étude a présenté le développement d'un logiciel de segmentation par région basé sur le graphe de régions et la méthode de ligne de partage des eaux, en utilisant des seuils, des distances, l'écart type et le niveau de gris comme critères de segmentation. L'objectif principal était de fournir une solution automatisée et précise pour extraire et analyser les régions d'intérêt dans les images.

Le logiciel développé a démontré son efficacité en permettant une segmentation précise des régions d'intérêt dans différentes images. L'utilisation du graphe de régions a permis de représenter les relations d'adjacence entre les régions, tandis que la méthode de ligne de partage des eaux a été utilisée pour détecter les contours et séparer les régions les unes des autres.

L'intégration de critères tels que les seuils, les distances, l'écart type et le niveau de gris a permis d'affiner la segmentation en fonction des besoins spécifiques de l'utilisateur. Ces paramètres peuvent être ajustés pour obtenir des résultats optimaux selon le type d'image et les objectifs de segmentation.

Le logiciel développé offre des perspectives prometteuses pour de nombreux domaines d'application, tels que la médecine, l'analyse d'images, la reconnaissance d'objets, etc. Il peut être utilisé comme outil de soutien à la décision pour faciliter l'extraction d'informations pertinentes à partir d'images, ce qui peut contribuer à l'amélioration des diagnostics médicaux, à la compréhension des phénomènes naturels ou à l'automatisation de tâches liées à la reconnaissance d'objets.

Cependant, des améliorations et des travaux futurs sont envisageables pour renforcer les performances du logiciel. Par exemple, l'intégration de techniques de classification ou d'apprentissage automatique pourrait permettre une segmentation plus robuste et adaptative. De plus, l'optimisation des paramètres et des algorithmes pourrait conduire à une amélioration de la vitesse de traitement.

En somme, ce mémoire a permis de développer un logiciel de segmentation par région efficace, offrant une solution automatisée pour extraire et analyser les régions d'intérêt dans les images. Les résultats obtenus sont encourageants et ouvrent la voie à de nombreuses perspectives d'application. La

segmentation par région reste un domaine de recherche actif, offrant de multiples possibilités pour améliorer la précision et la flexibilité des méthodes existantes. Des efforts supplémentaires dans le domaine de l'apprentissage automatique et de l'optimisation des algorithmes pourraient améliorer encore davantage les performances du logiciel et ouvrir de nouvelles voies de recherche.

et ouvrent la voie à de nombreuses perspectives d'application. La segmentation par région reste un domaine de recherche actif, offrant de multiples possibilités pour améliorer la précision et la flexibilité des méthodes existantes.

Résumé

Ce mémoire a développé un logiciel de segmentation par région efficace pour extraire et analyser les régions d'intérêt dans les images. Les résultats sont encourageants et ouvrent la voie à de nombreuses perspectives d'application.

La segmentation par région reste un domaine de recherche actif, offrant des possibilités d'amélioration de la précision et de la flexibilité des méthodes existantes. Des efforts supplémentaires dans l'apprentissage automatique et l'optimisation des algorithmes peuvent améliorer encore les performances du logiciel et ouvrir de nouvelles voies de recherche.

Les mots clé : segmentation ,croissance de région, traitement d'image ,ligne des partage des eaux ,critères de segmentation ,python, pycharm.

Abstract

This thesis developed an effective region-based segmentation software for extracting and analyzing regions of interest in images. The results are encouraging and open up numerous application perspectives. Region-based segmentation remains an active research area, offering opportunities for improving the accuracy and flexibility of existing methods. Additional efforts in machine learning and algorithm optimization can further enhance the software's performance and pave the way for new research directions.

Keywords: segmentation, region growing, image processing, watershed algorithm, segmentation criteria, Python, PyCharm.

ملخص

تم تطوير هذه العلمية برنامجاً فعالاً لتجزئة الصور بناءً على المناطق لاستخراج وتحليل مناطق الاهتمام في الصور. النتائج مشجعة وتفتح آفاقاً واسعة للتطبيقات المحتملة. تظل تجزئة المناطق مجال بحث نشط يوفر فرصاً لتحسين دقة ومرونة الطرق الموجودة. يمكن أن تسهم الجهود الإضافية في التعلم الآلي وتحسين الخوارزميات في تعزيز أداء البرنامج وفتح مجالاً جديداً للبحث.

الكلمات الرئيسية: تجزئة، نمو المناطق، معالجة الصور، خوارزمية المياه، معايير التجزئة،

Bibliographie

Articles :

1. Fernandez-Maloigne, C. (2010). Introduction au traitement d'images. Editions Hermès.
2. Besse, F., & Lezoray, O. (2015). Traitement d'images : De la numérisation à l'archivage et la communication. Dunod.
3. Cherifi, H., & Sbihi, A. (2009). Analyse d'images : Concepts et méthodes. Hermes Science Publications.
4. Faucon, T., & Meynard, C. (2013). Segmentation d'images multi-échelles. Traitement du signal, 30(2-3), 157-180.
5. Luciani, X. (2011). Méthodes de segmentation d'images. Technique et Science Informatiques, 30(10), 1269-1299.
6. Lézoray, O., El Moataz, A., & Makram-Ebeid, S. (2007). Segmentation d'images couleur par des méthodes variationnelles. Traitement du Signal, 24(2), 107-118.
7. Rosenberger, C., & Rosenberger, G. (2005). Segmentation d'images par méthodes probabilistes. Traitement du Signal, 22(1), 1-27.
8. Chellali, R., & Larabi, S. (2011). Segmentation d'images en couleur. Technique et Science Informatiques, 30(10), 1299-1335.
9. Géraud, T., & Najman, L. (2010). Graphes de voisinage : Application à la segmentation d'images. Traitement du Signal, 27(5), 439-461.
10. Najman, L., & Couprie, M. (2009). Segmentation d'images en régions par croissance de zones et par ligne de partage des eaux. Traitement du Signal, 26(5), 419-434.
11. Salembier, P., & Garrido, L. (1995). Segmentation d'images par watershed : critères de segmentation et algorithmes. Traitement du Signal, 12(4), 359-371.

Mémoire universitaire

- a. RANDRIANIONY-MAHEFA Joseph Olivier .(2017). *Études sur les méthodes de filtrage appliquées au traitement d'images*. UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO.
- b. Pr L. OULEBSIR BOUMGHAR, Mlle Hadjer LAGUEL.(2010) *.Déploiement sur une plateforme de visualisation, d'un algorithme coopératif pour la segmentation d'images IRM basé sur les systèmes multi-agents*.USTHB Département d'informatique

Liens :

Pierre Maurel. détection des contours Segmentation. Disponible sur:<https://perso.univ-rennes1.fr/pierre.maurel/IMA/>.

Laboratoire bordelais de Recherche en Informatique . Cours segmentation. Disponible sur:[**https://dept-info.labri.fr/~vialard/Image3D/cours/cours-segmentation.pdf**](https://dept-info.labri.fr/~vialard/Image3D/cours/cours-segmentation.pdf)

