



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : Electronique

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

Kheyar Oussama & Tayebi Omar

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Électronique

OPTION : Électronique des systèmes embarqués

Thème

**Détection et segmentation des tumeurs dans les images IRM par
la morphologie mathématique**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
REGAB MOURAD	MAA	Président
BENKOUIDER FATIHA	MCB	Examineur
BIRANE ABDELKADER	MCB	Encadreur

Promotion : 2022 /2023

Remerciements

D'abord nous remercions en premier ALLAH

Le tout puissant de nous avoir donné la santé, le courage et la patience de mener à terme ce présent travail.

Nous adressons nos remerciements à M.BIRANE ABDELKADER, qui nous a proposé le thème de ce mémoire et qui nous a permis de découvrir d'autres horizons.

Nous tenons également à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance, ainsi que de l'examiner et de l'évaluer.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles respectives, qui nous ont toujours soutenu et encouragé, ainsi que l'ensemble de nos amis et camarades.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents qui m'ont soutenu

Tout au long De mes études et qui ont toujours

Cru en moi

A mes très cher grand frère et petite sœur qui mon fortement

Aidés et encouragés dans les moments les plus

Difficile

A mes chers amis avec lesquels j'ai passé de

très bons moments et à tous ceux qui m'aiment

et que j'aime.

KHEYAR OUSSAMA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents

A mon cher frère

A mes très chers amis

TAYEBI OMAR

Résumé

La segmentation d'image est une technique de traitement d'image fondamentale qui vise à identifier les régions (groupes de pixels) appartenant à une même structure au sein d'une image. Les approches associées à la segmentation sont diverses et peuvent se fonder sur différentes théories (probabilités, logique floue), se classant généralement en trois grandes catégories (contour, région et classification). Dans notre travail, nous nous concentrerons principalement sur la segmentation en utilisant l'approche de la morphologie mathématique. Cette méthode utilise des opérations mathématiques telles que l'érosion, la dilatation, l'ouverture et la fermeture pour segmenter les régions d'intérêt dans une image. L'objectif de ce mémoire est d'utiliser la morphologie mathématique, pour extraire des informations précises dans des images IRM cérébrales afin de détecter des tumeurs.

Mots clés : Segmentation, IRM, Tumeurs, Morphologie mathématique

Abstract

Image segmentation is a fundamental image processing technique that aims to identify regions (groups of pixels) belonging to the same structure within an image. The approaches associated with segmentation are diverse and can be based on different theories (probability, fuzzy logic), generally classifying into three broad categories (contour, region and classification). In our work, we will focus primarily on segmentation using the mathematical morphology approach. This method uses mathematical operations such as erosion, expansion, opening and closing to segment the regions of interest in an image. The purpose of this memory is to use mathematical morphology, to extract accurate information in brain MRI images to detect tumors.

Keys words: Segmentation, MRI, Tumors, Mathematical Morphology.

ملخص

تجزئة الصورة هي تقنية أساسية لمعالجة الصور تهدف إلى تحديد المناطق (مجموعات البيكسل) التي تنتمي إلى نفس الهيكل داخل الصورة. الأساليب المرتبطة بالتجزئة متنوعة ويمكن أن تستند إلى نظريات مختلفة (الاحتمال، المنطق الغامض)، وتصنف عمومًا إلى ثلاث فئات واسعة (الكتور والمنطقة والتصنيف). في عملنا، سنركز بشكل أساسي على التجزئة باستخدام نهج التشكل الرياضي. تستخدم هذه الطريقة العمليات الرياضية مثل التآكل والتوسع والفتح والإغلاق لتقسيم المناطق ذات الاهتمام في صورة. الغرض من هذه الذاكرة هو استخدام التشكل الرياضي، لاستخراج معلومات دقيقة في صور التصوير بالرنين المغناطيسي للدماغ للكشف عن الأورام

كلمات المفاتيح: تجزئة الصورة، الرنين المغناطيسي، الأورام، المورفولوجيا الرياضية

Abréviation

IRM : Imagerie par résonance magnétique.

TE : Temps d'écho

TR : Temps de répétition

RMN : Résonance magnétique nucléaire

TDM : Tomodensitométrie

TEP : Tomographie par émission de positons

SRM : Spectroscopie par résonance magnétique

LCR : Liquide céphalorachidien

AVC : Accidents vasculaires cérébraux

IRMa : Imagerie par Résonance Magnétique anatomique

IRMf : L'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle

RF : Radiofréquence

2D : Deux dimensions

3D : Trois dimensions

CT : Computer tomographie (tomographie par ordinateur)

ROI : Région of interest région d'intérêt

T.T.R : Transformation tout ou rien

TCIA: Cancer Imaging Archive

CIP: Cancer Imaging Program

NCI: National Cancer Institute

FNLCR: Frederick National Laboratory for Cancer Research

DICOM: Digital Imaging and Communications in Medicine

CCD : Centre de collecte de données

DAC : Centres d'analyse des données

Table des matières

Remerciements	II
Dédicaces	III
Résumé	V
Abstract	V
ملخص	V
Abréviation	VI
List de figure	XII
Introduction Générale	1
Chapitre 1. Les images IRM	4
1.1 Introduction	5
1.2 Introduction à l'IRM	5
1.2.1 La définition de l'image en IRM	5
1.2.2 Objectif de l'image IRM	6
1.2.3 Quelques définitions	6
1.3 Principe de la résonance magnétique nucléaire (RMN)	7
1.4 Principe fondamental de l'IRM	8
1.5 Formation de l'image IRM	10
1.6 Anatomie cérébrale	11
1.6.1 Le système nerveux central	11
1.6.2 Configuration de l'encéphale	12
• Le cerveau	12
• Le cervelet	13
• Le tronc cérébral	14
1.6.3 Moelle épinière	15
1.6.4 Les principaux tissus du cerveau	16
1) Le liquide céphalo-rachidien	16
2) La matière grise	16
3) Le cortex	16
4) Les noyaux centraux	16
5) La matière blanche	17
1.7 Les tumeurs cérébrales	17
1.7.1 Diagnostic de tumeur	18
1.7.2 Types des tumeurs cérébrales	18
1.7.3 Diagnostic des tumeurs par Imageries cérébrales	19

1.8 Anatomie et pathologie en IRM	20
1.8.1 Les structures anatomiques du cerveau en IRM	20
1.8.2 Pathologies courantes détectées par IRM	21
1.9 Paramètres tissulaires imagerie par résonance magnétique (IRM)	23
1.10 Les types d'IRM	24
1.10.1 IRM anatomique (IRMa)	24
1.10.2 IRM de diffusion	24
1.10.3 IRM fonctionnelle (IRMf)	25
1.10.4 IRM de perfusion	26
1.11 Appareillage d'IRM	27
1.11.1 L'aimant principal	27
• Aimants résistifs	27
• Aimants permanents	27
• Aimants supraconducteurs	28
1.11.2 Bobines de graduant	28
1.11.3 Les antennes	29
• Antenne de volume	29
• Antennes de surface	29
1.11.4 Gestionnaire informatique des images en IRM	30
1.12 Avantages et inconvénients de l'image IRM	30
1.12.1 Les avantages	31
➤ Non invasif	31
➤ Grande précision	32
➤ Images détaillées	32
1.12.2 Inconvénients	33
➤ Coût élevé	33
➤ Disponibilité limitée	33
➤ Claustrophobie	34
1.13 Conclusion	34
Chapitre 2.La morphologie mathématique	36
2.1 Introduction	37
2.2 Introduction à la segmentation d'images	37
2.3 L'importance de la segmentation et de la détection des tumeurs dans les images IRM par morphologie mathématique	39
2.4 Intégration de la morphologie mathématique pour la segmentation et la détection des tumeurs dans les images IRM	40

2.5 Morphologie mathématique	41
2.6 Histoire de la morphologie mathématique	41
2.7 Opérations fondamentales de la morphologie mathématique	43
2.7.1 L'érosion	43
2.7.2 La dilatation	44
2.7.3 L'ouverture	44
2.7.4 La fermeture	45
2.7.5 Rehaussement de contraste	45
2.7.6 Gradient morphologique	46
2.7.7 Transformation morphologique tout ou rien	47
2.8 Opérations morphologiques sur des images en niveaux de gris	47
2.8.1 Images en niveaux de gris	47
2.8.2 Images binaires	49
2.9 Opérations sur les ensembles structurés	49
2.10 Filtrage morphologique	51
2.11 Prétraitement des images IRM pour la morphologie mathématique	53
2.12 Utilisation de différents types d'opérations morphologiques	54
2.13 Avantages et inconvénients de la morphologie mathématique dans la segmentation IRM et la détection des tumeurs	55
2.13.1 Avantages de la morphologie mathématique dans la segmentation et la détection des tumeurs dans les images IRM	56
2.13.2 Inconvénients de la morphologie mathématique dans la segmentation et la détection des tumeurs en IRM Images	56
2.14 Conclusion	57
Chapitre 3. Resultats et évaluations	58
3.1 Introduction	59
3.2 Archive des images IRM	59
3.3 Mécanisme de travail	60
3.4 Algorithme	61
3.5 Méthodologie	62
3.5.1 Application du filtrage	62
3.5.2 Application Seuillage	62
3.5.3 Application Opérations morphologiques	63
3.5.4 Application Obtenir le contour	63
a. Le remplissage	63
b. L'érosion	64
c. La soustraction	65

3.5.5 Boîte englobante	66
3.5.6 Contour de la tumeur	66
3.5.7 Tumeur détectée	66
3.5.8 Tumeur non détectée	66
3.6 Résultats des simulations	66
3.7 Conclusion	71
Conclusion général	72
Bibliographie	74

List de figure

Chapitre 1

Figure 1. 1 Déroulement de l'expérience de RMN	8
Figure 1. 2 Le système nerveux central Le cerveau + La moelle épinière	12
Figure 1. 3 Le cerveau	13
Figure 1. 4 Le cervelet	14
Figure 1. 5 Le tronc cérébral	15
Figure 1. 6 La moelle épinière	16
Figure 1. 7 La substance grise et La substance blanche	17
Figure 1. 8 Cerveau en IRM anatomique	24
Figure 1. 9 IRM cérébrale en diffusion	25
Figure 1. 10 IRM fonctionnelle cérébral	26
Figure 1. 11 IRM cérébral de diffusion et de perfusion	27
Figure 1. 12 Système de référence en anatomie	29
Figure 1. 13 L'appareil IRM standard	30

Chapitre 2

Figure 2. 1 Segmentation d'image	38
Figure 2. 2 Segmentation basées régions	38
Figure 2. 3 Exemple d'érosion sur l'image	43
Figure 2. 4 Exemple de dilatation sur l'image	44
Figure 2. 5 Exemple d'ouverture sur l'image	45
Figure 2. 6 Exemple de fermeture sur l'image	45
Figure 2. 7 Exemple de Rehaussement de contraste sur l'image	46
Figure 2. 8 Exemple de Gradient morphologique sur l'image	46
Figure 2. 9 Exemple de Transformation morphologique tout ou rien (T.T.R) sur l'image	47
Figure 2. 10 L'érosion sur des images en niveaux de gris	48
Figure 2. 11 La dilatation sur des images en niveaux de gris	48
Figure 2. 12 L'ouverture et la fermeture sur des images en niveaux de gris	49
Figure 2. 13 Filtre Morphologique (gaussien)	52

Chapitre 3

Figure 3. 1 Diagramme d'architecture de détection des tumeurs cérébrales par morphologie mathématique.	61
Figure 3. 2 Image d'entrée IRM, (a) : IRM cérébral vue d'en haut, (b) : IRM cérébral vue de profil	66
Figure 3. 3 L'image IRM filtrée	67
Figure 3. 4 Affichage de la tumeur détecté	67
Figure 3. 5 Boîte englobante de l'image de la tumeur cérébrale	67
Figure 3. 6 Image érodée	68
Figure 3. 7 Contour de la tumeur cérébrale	68
Figure 3. 8 Détection de la tumeur cérébrale	69

Figure 3. 9 Détection et extraction de la tumeur cérébrale _____	69
Figure 3. 10 Image d'entrée IRM, (a) : IRM cérébral vue d'en haut, (b) : IRM cérébral vue de profil _____	70
Figure 3. 11 Tumeur cérébrale non trouvée _____	70

Introduction Générale

Introduction Générale

La segmentation d'image est un domaine d'étude étendu, constituant l'un des principaux sujets de recherche. La littérature propose de nombreuses méthodes de segmentation, mais choisir la meilleure technique pour segmenter une image n'est pas une tâche facile. Comme pour de nombreuses tâches de segmentation en traitement d'images, la variabilité d'une image à l'autre limite la finesse de la segmentation. Différentes approches existent, parmi lesquelles on peut distinguer les méthodes de segmentation par contours, les méthodes de segmentation par régions homogènes, les méthodes de segmentation par classification, et la morphologie mathématique

Nous allons nous concentrer principalement sur la morphologie mathématique, qui est une approche puissante pour la segmentation d'images. La morphologie mathématique permet d'analyser la structure géométrique des objets dans une image en utilisant des opérations mathématiques spécifiques.

La morphologie mathématique peut être appliquée à différentes échelles et orientations, ce qui la rend particulièrement adaptée à la segmentation d'objets de formes et de tailles variées. Elle peut également être utilisée pour la détection de contours, la suppression de bruit et d'autres opérations de traitement d'images. Nous allons utiliser cette méthode sur des images médicales

L'étude de l'anatomie humaine et son exploration à l'aide de l'imagerie médicale représentent un défi complexe et demeurent des sujets de recherche d'une grande importance. Aujourd'hui, les professionnels de la santé disposent d'un éventail de modalités d'imagerie. Parmi celles-ci, l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) est l'une des modalités les plus couramment utilisées, et elle est au cœur de notre intérêt dans le cadre de ce travail. L'IRM permet d'effectuer des études du cerveau et de générer des images offrant différents contrastes. Dans ce contexte, l'une des étapes fondamentales pour tout traitement de ces images consiste en la segmentation, qui vise à délimiter les différents tissus cérébraux tels que la matière blanche, la matière grise et le liquide céphalo-rachidien.

Ce travail est structuré en trois chapitres :

Nous commençons le premier chapitre par une introduction et des principes fondamentaux sur l'imagerie par résonance magnétique (IRM) puis les structures anatomiques cérébrales et de détection des pathologies grâce à (IRM) ainsi qu'une description de l'appareillage de l'IRM enfin les avantages et inconvénients de l'IRM.

Le second chapitre sera consacré à la présentation de la morphologie mathématique et son utilisation dans les applications d'imagerie médicale.

Ensuite, nous aborderons dans le troisième chapitre l'utilisation de l'environnement de développement Matlab pour implémenter notre programme pour détecter des tumeurs cérébrales dans des images IRM.

Enfin, nous terminons notre étude par une conclusion générale et les perspectives éventuelle.

Chapitre 1. Les images IRM

1.1 Introduction

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une technique d'imagerie médicale avancée largement utilisée pour l'évaluation diagnostique des tumeurs cérébrales. Grâce à sa capacité à fournir des images détaillées et précises de la structure et de la fonction du cerveau, l'IRM joue un rôle essentiel dans le dépistage, la caractérisation et le suivi des tumeurs cérébrales. Cette introduction vise à fournir un aperçu général de l'IRM en tant qu'outil diagnostique, en mettant l'accent sur son application dans le contexte des tumeurs cérébrales.

1.2 Introduction à l'IRM

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) a révolutionné le domaine de l'imagerie médicale diagnostique depuis sa création au début des années 1980. C'est une technique d'imagerie non invasive qui utilise un fort champ magnétique, des impulsions de radiofréquence et un ordinateur pour produire des images détaillées des structures internes du corps. L'IRM est particulièrement utile pour l'imagerie des tissus mous tels que le cerveau, la moelle épinière et les articulations. Cette technique d'imagerie utilise des substances riches en protons telles que l'eau et la graisse pour produire des images révélant l'état des structures anatomiques spécifiques et des conditions pathologiques éventuelles. Les images haute résolution fournies par l'IRM sont utilisées pour diagnostiquer une gamme de conditions, y compris les tumeurs cérébrales, les maladies articulaires et de nombreux autres troubles. Cet essai abordera la physique de l'IRM, les différentes techniques d'IRM et leur utilisation dans le diagnostic médical. Il mettra également en évidence les avantages et les inconvénients de l'imagerie par IRM ainsi que son impact sur la pratique clinique.

1.2.1 La définition de l'image en IRM

L'IRM, ou imagerie par résonance magnétique, est un outil de diagnostic non invasif utilisé pour créer des images détaillées des structures corporelles internes. Ces images sont générées à l'aide d'une combinaison d'un fort champ magnétique, d'ondes radio et de logiciels. L'IRM se distingue des autres types d'images diagnostiques, tels que les rayons X et les tomodensitogrammes, car elle n'utilise pas de rayonnement ionisant. Au lieu de cela, les scanners IRM produisent des images de haute qualité en alignant les noyaux atomiques du corps à l'aide de champs magnétiques. Lorsque des ondes radio sont émises dans le corps, ces noyaux émettent des signaux qui sont captés par le scanner IRM et traités par un logiciel pour créer des images détaillées. Selon le type d'IRM effectué, les images obtenues peuvent révéler les tissus mous, les organes, les articulations et même le flux sanguin. Les images IRM sont couramment

utilisées pour le diagnostic et l'évaluation d'une grande variété de problèmes médicaux, notamment les lésions cérébrales et médullaires, les lésions articulaires et les cancers, [3].

1.2.2 Objectif de l'image IRM

Le but d'une image par résonance magnétique (IRM) est de fournir une représentation visuelle détaillée de la partie interne du corps humain, en particulier des tissus mous, y compris les organes, les muscles, les tendons et les ligaments. Les images par IRM aident les médecins et les radiologues à diagnostiquer avec une grande précision des affections médicales en détectant des anomalies structurelles telles que des tumeurs, des kystes et des inflammations qui ne sont pas visibles sur une radiographie ou d'autres tests d'imagerie. De plus, les images par IRM aident à comprendre les processus physiologiques et fonctionnels qui se produisent à l'intérieur du corps. Par exemple, l'IRM fonctionnelle peut cartographier l'activité neuronale du cerveau, ce qui aide les neurologues à localiser les zones du cerveau responsables de certaines fonctions telles que la parole, la mémoire ou les émotions. En plus du diagnostic médical, les images par IRM aident à la planification des interventions chirurgicales, telles que l'identification de l'emplacement exact d'une tumeur avant l'opération. De plus, les images par IRM peuvent surveiller les effets des traitements et suivre l'évolution d'une affection au fil du temps, [2].

1.2.3 Quelques définitions

- La séquence IRM peut être définie comme une série d'impulsions excitatrices où les paramètres (tels que le temps d'écho [TE] et le temps de répétition [TR]) sont ajustés afin d'obtenir des images présentant un contraste spécifique (comme T1 ou T2).
- Le TR représente l'intervalle de temps entre deux excitations, tandis que le TE est l'intervalle de temps entre l'excitation et l'apparition du signal IRM.
- Dans une image pondérée en T1, la graisse apparaît en hyperintensité (couleur claire) tandis que l'eau apparaît en hypo intensité.
- Dans une image pondérée en T2, l'eau apparaît en hyperintensité (couleur claire) tandis que la graisse est légèrement plus sombre que l'eau.
- Un hyposignal se réfère à un tissu qui présente une intensité de signal plus faible que les tissus qui l'entourent, apparaissant donc plus sombre voire noir sur l'image. Les tissus à T1 long apparaissent généralement en hyposignal sur les séquences pondérées en T1, tandis que les tissus à T2 court apparaissent en hyposignal sur les séquences pondérées en T2.

- Un hypersignal en IRM fait référence à un signal tissulaire plus élevé que celui des tissus environnants. Selon les conventions utilisées, un tissu se manifestant par un hypersignal apparaîtra plus clair que son environnement, voire blanc, sur l'image. Les tissus à T1 court apparaissent généralement en hypersignal sur les séquences pondérées en T1, tandis que les tissus à T2 long apparaissent en hypersignal sur les séquences pondérées en T2, [4].

1.3 Principe de la résonance magnétique nucléaire (RMN)

Le principe fondamental de la mesure de résonance magnétique nucléaire (RMN) consiste à mettre en mouvement le moment magnétique des noyaux atomiques dans un fort champ magnétique statique (B_0) et à perturber ce mouvement à l'aide d'un champ magnétique alternatif (B_1) appliqué pendant une brève période. Lorsque B_1 est appliqué, les moments magnétiques sont déviés de leur trajectoire initiale, mais une fois que B_1 est désactivé, ils retrouvent leur mouvement de précession autour de B_0 seul. Ce processus de retour à l'équilibre s'accompagne d'une émission d'ondes électromagnétiques, qui constitue le signal mesuré en RMN et en IRM.

Pendant une expérience de RMN, on considère un ensemble de spins nucléaires (par exemple, les spins des protons, qui sont les noyaux d'hydrogène les plus couramment utilisés en RMN et en IRM). Sous l'effet de B_0 , ces spins précèdent autour de l'axe de B_0 avec une fréquence propre appelée fréquence de résonance. L'ensemble des spins génère une aimantation M alignée avec B_0 .

Ensuite, un champ magnétique alternatif B_1 est appliqué perpendiculairement à B_0 . Ce champ, bien que non uniforme, a une fréquence égale à la fréquence de résonance des spins autour de B_0 . Il déplace l'aimantation M dans un plan perpendiculaire à B_0 .

Lorsque l'aimantation M bascule dans le plan perpendiculaire à B_0 , B_1 est coupé. À ce stade, le système est déséquilibré et l'aimantation M tend à retrouver sa position initiale en présence de B_0 seul. Ce processus de retour à l'équilibre s'accompagne d'une émission d'ondes électromagnétiques détectables, constituant ainsi le signal de RMN.

Il convient de noter que cette explication est simplifiée et qu'une approche plus rigoureuse peut être trouvée dans la littérature scientifique, qui aborde des aspects tels que l'orientation des moments magnétiques, la construction de l'aimantation M et le mouvement dans le référentiel tournant.

Pour que cette séquence puisse se dérouler efficacement, les champs magnétiques utilisés doivent présenter certaines caractéristiques. B_0 doit être intense, généralement de l'ordre de 10 à 20 teslas, ce qui nécessite l'utilisation de bobines supraconductrices refroidies à l'hélium liquide. B_1 est un champ magnétique radiofréquence de faible intensité, généralement de l'ordre de 10-3 teslas, et il est activé pendant une brève impulsion d'environ 10 microsecondes. Il est généré en appliquant un courant sinusoïdal à une bobine perpendiculaire à B_0 , [1].

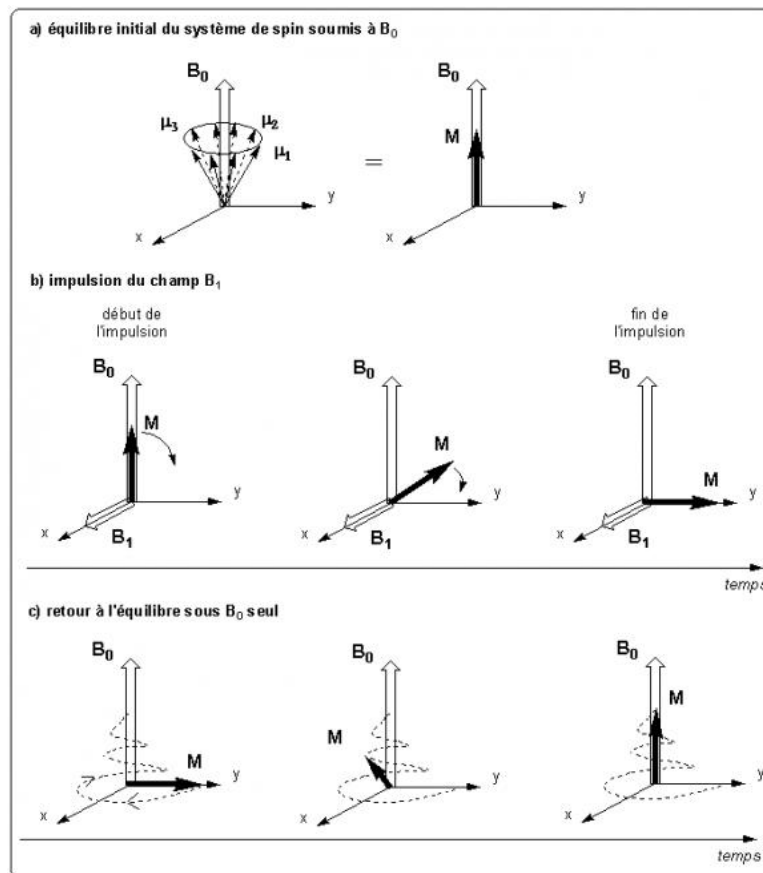


Figure 1. 1 Déroulement de l'expérience de RMN, [1]

En résumé, la RMN repose sur le mouvement des moments magnétiques des noyaux atomiques dans un champ magnétique statique et leur perturbation à l'aide d'un champ magnétique alternatif, ce qui génère un signal de résonance détectable.

1.4 Principe fondamental de l'IRM

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) repose sur le principe fondamental de la résonance magnétique nucléaire (RMN). Ce principe consiste à manipuler le moment magnétique des noyaux atomiques dans un fort champ magnétique statique (B_0) et à perturber ce mouvement à l'aide d'un champ magnétique alternatif (B_1) appliqué brièvement. Lorsque

les spins nucléaires reviennent à leur équilibre, ils émettent des ondes électromagnétiques détectables qui sont utilisées pour former l'image en IRM.

- Utilisation des spins nucléaires

Lors d'une expérience d'IRM, on utilise un ensemble de spins nucléaires, généralement les spins des protons (noyaux d'hydrogène), car ils sont abondants dans le corps humain. Sous l'effet du champ magnétique statique B_0 , ces spins pressent autour de l'axe de B_0 à une fréquence appelée fréquence de résonance. L'ensemble des spins génère une aimantation M alignée avec B_0 , créant ainsi un signal détectable en IRM.

- Alignement des spins avec le champ magnétique statique (B_0)

Le champ magnétique statique B_0 aligne les spins nucléaires dans une direction préférentielle. Les spins parallèles à B_0 ont une énergie inférieure à ceux antiparallèles, ce qui conduit à un excès de spins parallèles. Ce processus crée une aimantation nette dans le tissu étudié, qui sera utilisée pour former l'image en IRM.

- Application de champs magnétiques alternatifs (B_1) et déviation des spins

Pour obtenir des informations spatiales dans l'échantillon, un champ magnétique alternatif B_1 est appliqué perpendiculairement à B_0 . Bien que non uniforme, ce champ B_1 a une fréquence égale à la fréquence de résonance des spins autour de B_0 . Il perturbe l'alignement initial des spins et les dévie de leur trajectoire. Cela crée une aimantation transverse perpendiculaire à B_0 , qui est détectée pour former l'image en IRM.

- Retour à l'équilibre et émission d'ondes électromagnétiques détectables

Lorsque l'aimantation M est déviée dans le plan perpendiculaire à B_0 , le champ B_1 est désactivé. À ce stade, le système est déséquilibré et l'aimantation M tend à retrouver sa position initiale en présence de B_0 seul. Ce processus de retour à l'équilibre s'accompagne d'une émission d'ondes électromagnétiques détectables, constituant ainsi le signal mesuré en IRM. Ces ondes sont détectées par les antennes de réception de l'IRM pour former l'image.

- Utilisation de gradients magnétiques en IRM

Pour obtenir des informations spatiales précises, des gradients magnétiques sont utilisés en IRM. Ces gradients créent des variations de champ magnétique linéaires dans l'échantillon,

permettant de localiser les signaux émis par les spins avec précision. L'utilisation de gradients magnétiques combinée à l'émission des ondes électromagnétiques permet de reconstruire l'image en IRM avec une résolution spatiale élevée, [5].

1.5 Formation de l'image IRM

La formation de l'image en IRM (imagerie par résonance magnétique) repose sur plusieurs concepts clés tels que

1. Notion de transformée de Fourier : En IRM, la transformée de Fourier est utilisée pour convertir les signaux recueillis par le scanner en une image visuelle. Elle permet de décomposer le signal complexe en ses composantes fréquentielles. En appliquant une transformée de Fourier bidimensionnelle à un ensemble de données recueillies dans l'espace K , on peut obtenir une image en domaine spatial.
2. Notion de fréquence spatiale : La fréquence spatiale en IRM représente la variation de l'intensité du signal dans l'espace. Elle est mesurée en cycles par unité de distance (par exemple, cycles par centimètre). Les fréquences spatiales élevées correspondent à des variations rapides de l'intensité, tandis que les fréquences spatiales basses correspondent à des variations plus lentes.
3. Espace K : L'espace K est une représentation mathématique utilisée en IRM pour décrire les données recueillies lors d'une acquisition. Il est également appelé « espace de Fourier ». Les données de l'espace K contiennent des informations sur la distribution des fréquences spatiales dans l'échantillon étudié.
4. Contraste et résolution de l'image : Le contraste en IRM fait référence à la différence d'intensité entre différentes régions de l'image. Il peut être ajusté en modifiant les paramètres de l'acquisition, tels que le temps d'écho et le temps de répétition. La résolution de l'image se réfère à la capacité de l'image à distinguer les détails fins. Une résolution plus élevée est obtenue en collectant davantage de données dans l'espace K .
5. Navigation dans l'espace K : La navigation dans l'espace K consiste à sélectionner et à échantillonner les données de manière stratégique dans l'espace K afin d'obtenir une image précise et de haute qualité. Différentes méthodes d'échantillonnage, telles que l'échantillonnage cartésien et l'échantillonnage non cartésien, sont utilisées pour acquérir les données appropriées dans l'espace K .
6. Gradients et fréquence spatiale : Les gradients magnétiques sont utilisés en IRM pour créer des variations de champ magnétique linéaires dans l'échantillon. Ces gradients génèrent des

différences de fréquence spatiale qui peuvent être utilisées pour localiser les signaux dans l'espace K. Les gradients permettent de coder spatialement les différentes composantes du signal et de reconstruire l'image finale.

7. Remplissage linéaire de l'espace K : Le remplissage linéaire de l'espace K est une technique utilisée pour collecter des données supplémentaires dans l'espace K afin d'améliorer la résolution et la qualité de l'image. En collectant davantage de données sur les hautes fréquences spatiales manquantes, on peut reconstruire une image plus détaillée à partir de l'espace K.

alors, la formation de l'image en IRM implique l'application de la transformée de Fourier aux données de l'espace K, la manipulation des gradients pour coder spatialement le signal, la navigation stratégique dans l'espace K pour acquérir les données nécessaires, et le remplissage linéaire de l'espace K pour améliorer la qualité de l'image finale, [6].

1.6 Anatomie cérébrale

1.6.1 Le système nerveux central

Le système nerveux central Le système nerveux central est l'organe qui contrôle l'ensemble des comportements de l'individu, qu'il s'agisse de comportements conscients ou inconscients. Il est constitué d'un réseau complexe de communications dont les influx règlent le fonctionnement des organes. Bien que représentant seulement 2% du poids total du corps humain (soit environ 1,4 kilogrammes), le cerveau gère directement ou indirectement 98 % de ses fonctions. Il est responsable des fonctions humaines les plus complexes comme la pensée, la résolution de problèmes, les émotions, la conscience et les comportements sociaux, et régit les fonctions essentielles du corps comme la respiration, le processus d'alimentation, le sommeil, les mouvements et les cinq sens. Le système nerveux central comprend l'encéphale ainsi que la moelle épinière. L'encéphale correspond aux trois organes qui sont situés dans la cavité de la boîte crânienne qui sont le cerveau, le cervelet et le tronc cérébral. La moelle épinière est située dans le canal rachidien qui résulte de la superposition des vertèbres de la colonne vertébrale. Ces organes du système nerveux central sont des centres d'intégration qui analysent et interprètent les informations sensorielles afin de donner des commandes motrices basées sur l'expérience de l'individu, sur les réflexes ainsi que sur les conditions qui prévalent dans l'environnement externe, [7].

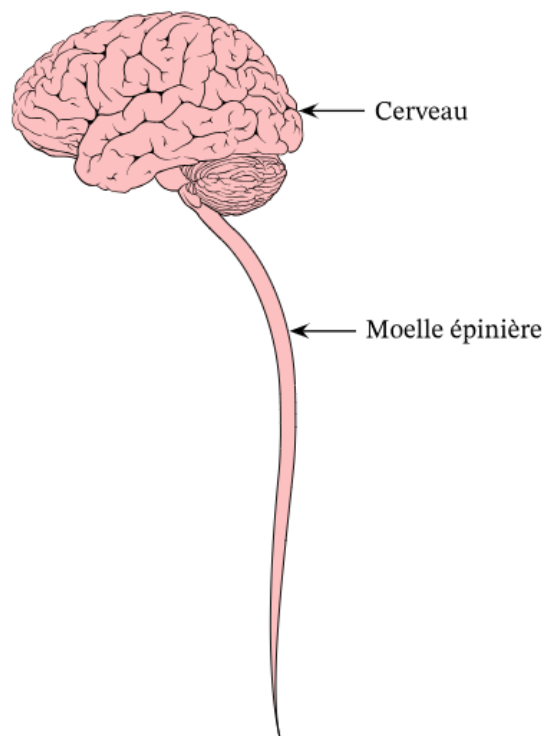


Figure 1. 2 Le système nerveux central Le cerveau + La moelle épinière, [24]

1.6.2 Configuration de l'encéphale

Configuration de l'encéphale est contenue en entier dans la cavité crânienne entourée par la dure-mère et le liquide cébrospinal. Il constitue l'essentiel du système nerveux central. Il contient tous les centres de commande et coordination de la motricité. Il est le centre récepteur de toutes les informations sensibles (notre sensibilité superficielle et profonde) et sensorielles (nos organes des sens). Sa vascularisation est assurée par les troncs artériels cervicaux (artères carotides et artères vertébrales), et les gros troncs veineux cervicaux (veines jugulaires, plexus veineux cervicaux profonds), [7].

- **Le cerveau**

Il occupe la majeure partie de l'encéphale, et est divisé en 2 hémisphères cérébraux : hémisphère droit et hémisphère gauche. La surface du cerveau présente de nombreux replis, avec un grand nombre de circonvolutions limitées par des sillons. Certains sillons plus profonds, les scissures permettent de diviser chaque hémisphère en 4 lobes : le lobe frontal (intervient dans la pensée, la conceptualisation, la planification, l'appréciation consciente des émotions), le lobe pariétal (intervient pour les gestes, l'orientation et les reconnaissances spatiales, le calcul), le lobe

occipital (principalement le siège de la vision) et le lobe temporal (dédié à l'interprétation des sons, du langage et de la mémoire), [7].

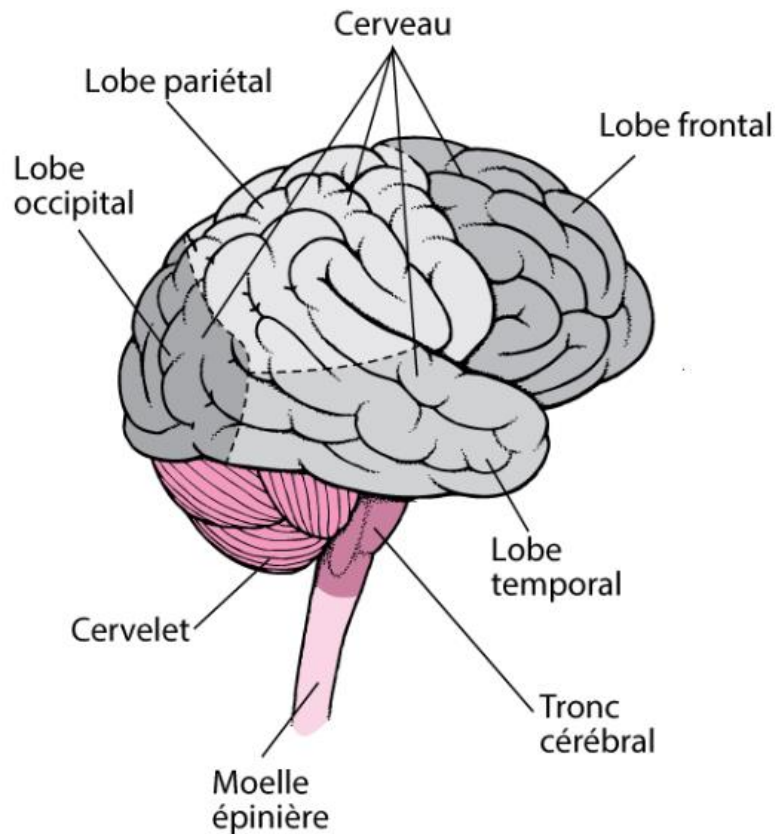


Figure 1. 3 Le cerveau, [25]

- **Le cervelet**

Le cervelet est entièrement situé dans la fosse postérieure, qu'il occupe en arrière du tronc cérébral. Le cervelet a une forme pyramidale. On lui décrit une portion médiane, le vermis, et deux lobes, ou hémisphères cérébelleux, situés de chaque côté. Son aspect externe est particulier en raison de la présence de nombreux sillons curvilignes et concentriques, les lamelles du cervelet. Il est relié au tronc cérébral par les trois paires de pédoncules cérébelleux supérieur, moyen, et inférieur. Par ces pédoncules, vont passer toutes les efférentes et afférentes provenant de la moelle, du tronc cérébral, des voies vestibulaires et des noyaux des nerfs crâniens.. Le rôle du cervelet porte sur la régulation du tonus (vermis cérébelleux) et la coordination des mouvements (hémisphères cérébelleux). La configuration interne du cervelet est comparable à celle du cerveau. La substance grise forme l'écorce du cervelet, la substance

blanche forme la partie centrale, avec au centre les noyaux dentelés du cervelet (noyaux gris). L'écorce du cervelet est formée de trois couches de cellules dont la couche moyenne est formée par des cellules très particulières, les cellules de Purkinje extrêmement ramifiées (prononcer purkinié), [7].

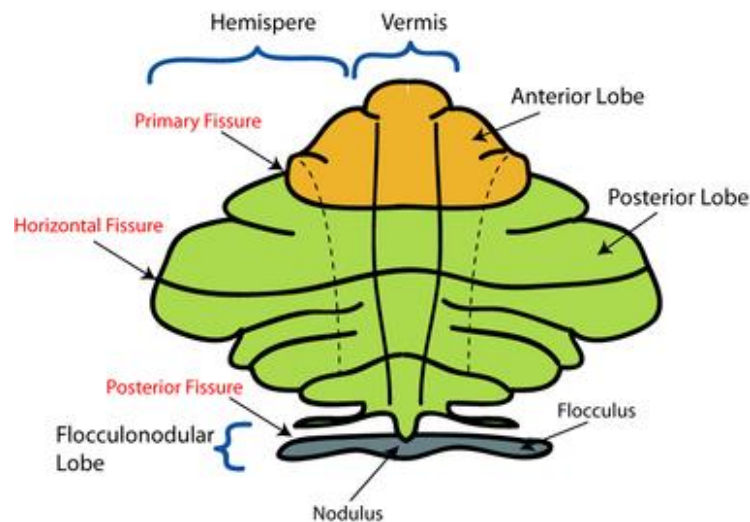


Figure 1. 4 Le cervelet, [25]

- **Le tronc cérébral**

Le tronc cérébral est la structure centrale de l'encéphale située au niveau de la fosse postérieure entre le cerveau et la moelle épinière. On lui décrit de haut en bas trois niveaux ; le mésencéphale, la protubérance annulaire, et le bulbe rachidien. Le tronc cérébral est une formation complexe car c'est d'abord la voie de passage des grandes voies ascendantes (voies sensibles et cérébelleuses) et descendantes (voies motrices) véhiculant les informations et transmettant les messages provenant du cortex. C'est le lieu d'émergence des nerfs crâniens moteurs et sensitifs (du III au XII) à partir de leurs noyaux étalés de chaque côté de la ligne médiane sur toute la hauteur du tronc cérébral. C'est enfin une région occupée par la substance réticulée qui a une importance physiologique majeure dans la régulation de l'éveil, du sommeil, et par plusieurs autres formations importantes dont nous ne citerons que le locus Nigra (contient les neurones dopaminergiques qui font partie du système extrapyramidal), [7]

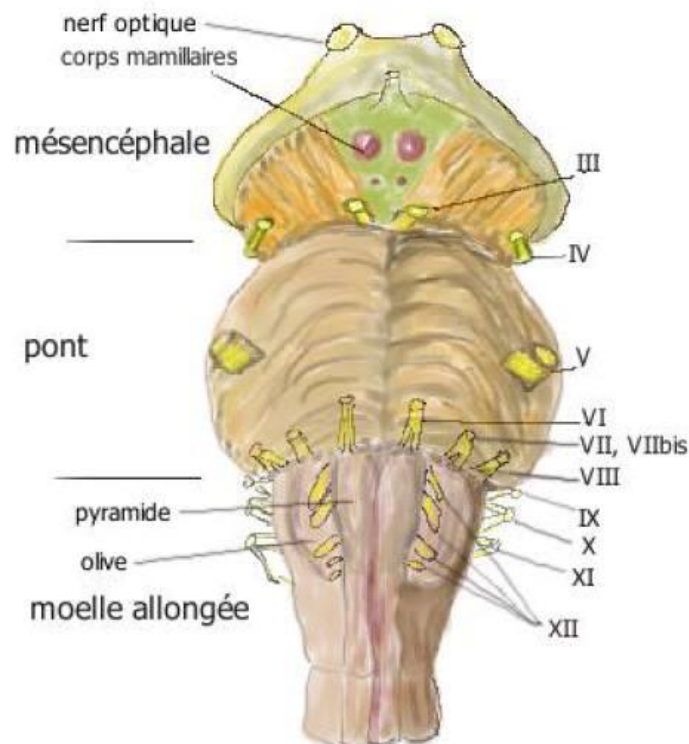


Figure 1. 5 Le tronc cérébral, [26]

1.6.3 Moelle épinière

Partie du système nerveux que protège la colonne vertébrale, située dans le canal rachidien, c'est une tige cylindrique qui s'étend du trou occipital jusqu'au niveau de la deuxième vertèbre lombaire. Sa face antérieure est parcourue par un sillon médian profond, sa face postérieure par un sillon médian peu accusé. Sur une coupe horizontale la moelle apparaît formée d'une partie centrale de substance grise et d'une partie périphérique de substance blanche.

La structure de la substance grise se présente sous la forme d'un croissant. Les cornes antérieures, plus larges, servent de point de sortie aux racines motrices des nerfs rachidiens, tandis que les cornes postérieures, plus étroites, reçoivent les racines sensibles des nerfs. Les cornes sont connectées par une bande transversale qui contient le canal de l'épendyme, ainsi que par deux bandes latérales. La substance blanche est divisée par des sillons antérieur et postérieur en deux cordons antérieurs, deux cordons postérieurs, et entre eux se trouvent les cordons latéraux. Elle contient les faisceaux nerveux moteurs, sensitifs et d'association qui assurent la transmission de l'influx nerveux entre l'encéphale et les nerfs périphériques, [7].

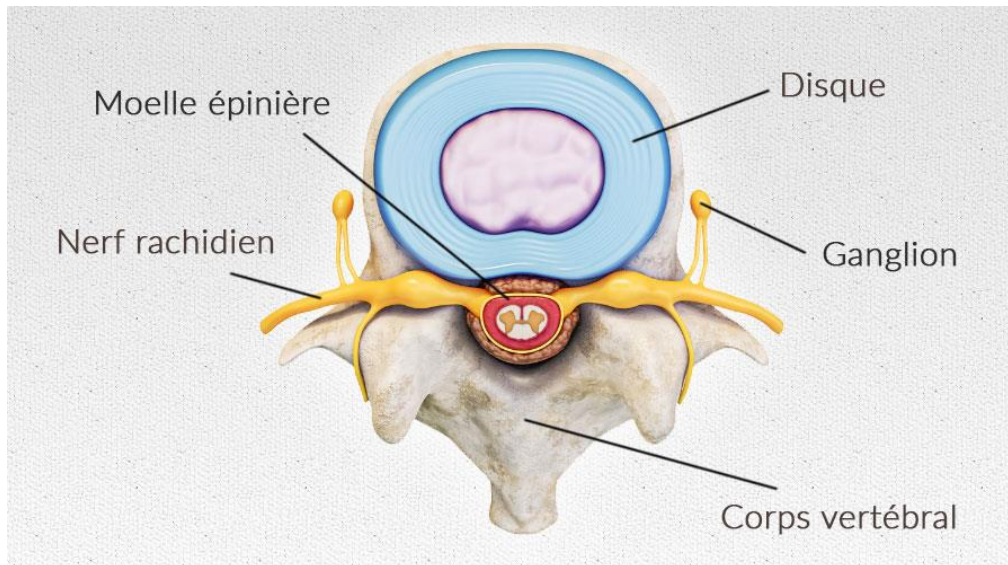


Figure 1. 6 La moelle épinière, [27]

1.6.4 Les principaux tissus du cerveau

1) Le liquide céphalo-rachidien

Le liquide céphalo-rachidien baigne le cerveau et remplit les ventricules. Il possède des fonctions de protection contre les chocs et les frottements et joue un rôle essentiel dans les échanges entre le sang et les tissus nerveux, [8]

2) La matière grise

La matière grise (substance grise) du cerveau est composée du cortex et des noyaux gris centraux. Hors du cerveau, on la trouve aussi dans la moelle épinière, le tronc cérébral, et dans le cervelet.

3) Le cortex

Situé sur la périphérie du cerveau, le cortex est le centre de la conscience, il est constitué de 70% de l'ensemble des neurones du cerveau. Sa surface externe est d'environ 22000 cm². Elle est plissée en de nombreuses dépressions appelées sillons, [7].

4) Les noyaux centraux

La densité en neurones des noyaux est moins importante que celle du cortex. On distingue les noyaux du télencéphale et les noyaux du diencephale. Les noyaux du télencéphale sont les noyaux caudés et les noyaux lenticulaires. Les noyaux du diencephale sont le thalamus qui est le plus volumineux des noyaux centraux et l'hypothalamus, [7].

5) La matière blanche

La substance blanche, présente dans la partie interne du cerveau, est principalement composée de fibres nerveuses entourées de myéline, [8].

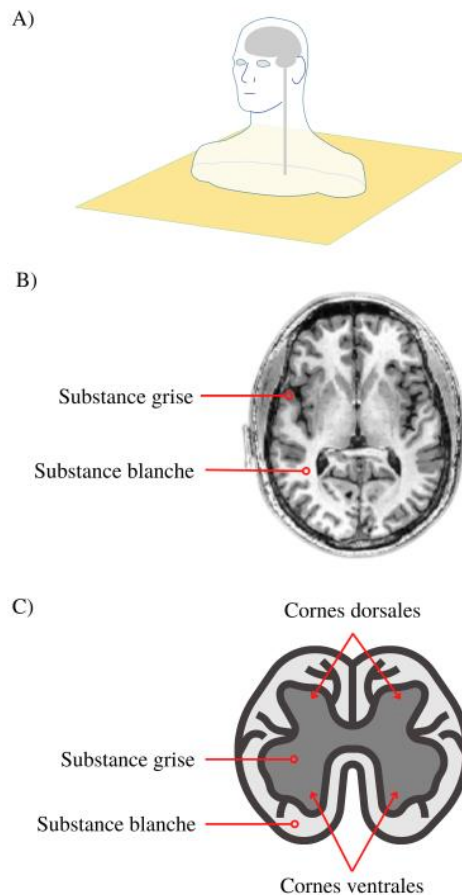


Figure 1. 7 La substance grise et La substance blanche

1.7 Les tumeurs cérébrales

Les tumeurs cérébrales sont des masses anormales de cellules qui se forment dans le cerveau. Elles peuvent être bénignes (non cancéreuses) ou malignes (cancéreuses). Les tumeurs cérébrales peuvent se développer à partir des cellules cérébrales elles-mêmes (tumeurs cérébrales primaires) ou se propager au cerveau à partir d'autres parties du corps (tumeurs cérébrales métastatiques).

Le diagnostic des tumeurs cérébrales comprend généralement des examens d'imagerie tels que l'IRM (imagerie par résonance magnétique) et le scanner. Une biopsie peut également être réalisée pour prélever un échantillon de tissu pour une analyse plus approfondie, [9].

1.7.1 Diagnostic de tumeur

Le processus de diagnostic d'une tumeur cérébrale est une démarche clinique précise et complexe qui aboutit à une décision thérapeutique adaptée. Il se divise en plusieurs étapes, à savoir la suspicion, la détection, l'observation et la détermination de sa nature histologique.

Les signes cliniques associés à une tumeur cérébrale sont nombreux et variés. Les symptômes diffèrent considérablement d'un patient à l'autre en fonction de l'emplacement de la tumeur. Les plus fréquents comprennent des maux de tête accompagnés de nausées, une diminution de l'énergie physique et mentale, une faiblesse musculaire, des difficultés d'élocution et des troubles visuels. Les crises d'épilepsie peuvent également être le premier signe d'une tumeur. Elles peuvent se limiter à des sensations ou à des mouvements involontaires (crises partielles) ou entraîner une perte de conscience (crises généralisées).

L'observation de ces signes amène le médecin à réaliser plusieurs examens, notamment des examens radiologiques. On recherche des anomalies radiologiques telles que des masses opaques, claires ou présentant une densité anormale, qui sont des indicateurs d'un processus tumoral. Une fois ce processus détecté, on détermine le nombre de lésions et leur localisation, puis on recherche différentes caractéristiques pour chacune d'entre elles, telles que leur taille, leur forme, leur caractère infiltrant ou circonscrit, leur position dans le cerveau par rapport aux structures environnantes, et leur composition (homogène, présence de kystes, de liquide ou de phénomènes nécrotiques).

Ces éléments ne sont pas les seuls recherchés sur les images radiologiques. Des signes indirects peuvent également être observés, tels que la présence d'œdème à proximité de la tumeur et des modifications topologiques et volumiques des structures anatomiques adjacentes, notamment les noyaux gris centraux, la matière blanche et les ventricules.

Cette brève énumération met en évidence la complexité du diagnostic d'une lésion cérébrale. Les signes cliniques liés à la pathologie cérébrale et leur expression sont divers et complexes, reflétant également la diversité histologique des tumeurs cérébrales, [10].

1.7.2 Types des tumeurs cérébrales

Les tumeurs cérébrales présentent une grande diversité en termes de types, de classifications et de caractéristiques. Elles peuvent être regroupées en différentes catégories en fonction de leur origine, de leur comportement et de leur apparence histologique. Voici quelques exemples de la diversité des tumeurs cérébrales :

1. Tumeurs cérébrales primaires et métastatiques : Les tumeurs cérébrales primaires se développent directement dans le cerveau, tandis que les tumeurs cérébrales métastatiques sont des tumeurs qui se sont propagées à partir d'autres parties du corps vers le cerveau.
2. Gliomes : Les gliomes sont les tumeurs cérébrales les plus courantes et proviennent des cellules gliales, qui sont des cellules de soutien du cerveau. Les gliomes comprennent des tumeurs telles que les astrocytomes, les oligodendrogliomes et les épendymomes.
3. Méningiomes : Les méningiomes se forment à partir des cellules des méninges, qui sont les membranes qui entourent le cerveau et la moelle épinière. Ils sont généralement bénins, mais peuvent causer des symptômes s'ils compriment des structures cérébrales adjacentes.
4. Schwannomes et neurinomes vestibulaires : Ces tumeurs se développent à partir des cellules de Schwann, qui entourent les nerfs. Ils se forment souvent près du nerf auditif et peuvent entraîner des problèmes d'audition et d'équilibre.
5. Adénomes hypophysaires : Ces tumeurs se forment dans la glande pituitaire, une petite glande située à la base du cerveau. Elles peuvent causer des déséquilibres hormonaux et des symptômes liés à une pression exercée sur les structures environnantes.
6. Lymphomes cérébraux : Les lymphomes cérébraux sont des tumeurs malignes qui se développent à partir des cellules du système lymphatique du cerveau. Ils peuvent se propager à d'autres parties du système nerveux central, [11]

1.7.3 Diagnostique des tumeurs par Imageries cérébrales

Les imageries cérébrales jouent un rôle essentiel dans le diagnostic des tumeurs cérébrales. Elles permettent d'obtenir des images détaillées de la structure et de la fonction du cerveau, ce qui aide les médecins à détecter, localiser et caractériser les tumeurs. Voici quelques techniques d'imagerie couramment utilisées pour le diagnostic des tumeurs cérébrales :

1. Imagerie par résonance magnétique (IRM) : L'IRM utilise un champ magnétique puissant et des ondes radio pour créer des images détaillées du cerveau. Elle permet de visualiser les tumeurs, de déterminer leur taille, leur forme, leur localisation et leur relation avec les structures environnantes. L'IRM peut également fournir des informations sur la perfusion sanguine, l'œdème et d'autres caractéristiques des tumeurs.

2. Tomodensitométrie (TDM ou scanner) : La TDM utilise des rayons X pour produire des images en coupe transversale du cerveau. Elle est utile pour détecter les tumeurs, évaluer leur taille et leur densité, et identifier les signes d'hémorragie ou de compression des structures cérébrales. La TDM peut être utilisée en complément de l'IRM pour obtenir une évaluation plus complète des tumeurs.
3. Tomographie par émission de positons (TEP) : La TEP est une technique d'imagerie fonctionnelle qui utilise des traceurs radioactifs pour détecter les régions du cerveau qui présentent une activité métabolique anormale. Elle peut aider à différencier les tumeurs bénignes des tumeurs malignes et à évaluer la réponse au traitement.
4. Angiographie cérébrale : Cette technique utilise des agents de contraste et des rayons X pour visualiser les vaisseaux sanguins du cerveau. Elle est utile pour évaluer la vascularisation des tumeurs, détecter les anomalies vasculaires et planifier une intervention chirurgicale.
5. Spectroscopie par résonance magnétique (SRM) : La SRM permet d'évaluer les substances chimiques présentes dans le cerveau, ce qui peut aider à différencier les tumeurs des tissus normaux. Elle fournit des informations sur les niveaux de certaines molécules, telles que les métabolites, qui peuvent être indicatifs de la présence d'une tumeur, [12].

1.8 Anatomie et pathologie en IRM

IRM permet de visualiser l'anatomie et de détecter les pathologies dans différentes parties du corps, y compris le cerveau. L'IRM utilise des champs magnétiques et des ondes radio pour créer des images détaillées des tissus mous.

1.8.1 Les structures anatomiques du cerveau en IRM

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) du cerveau permet de visualiser les différentes structures anatomiques avec une grande résolution et en détail. Voici les principales structures anatomiques du cerveau que l'on peut observer en IRM :

1. Cortex cérébral : Le cortex cérébral est la couche externe du cerveau, responsable des fonctions cognitives supérieures. En IRM, on peut observer les gyrys (plis) corticaux qui augmentent la surface du cortex, ainsi que les sillons séparant ces gyrys.

2. Substance blanche : La substance blanche est la partie interne du cerveau, constituée de faisceaux de fibres nerveuses (axones) recouverts de myéline. En IRM, elle apparaît plus claire que le cortex en raison de sa teneur plus élevée en eau. On peut visualiser les faisceaux de fibres majeurs qui relient différentes parties du cerveau.
3. Ventricules cérébraux : Les ventricules cérébraux sont des cavités remplies de liquide céphalorachidien (LCR) à l'intérieur du cerveau. On peut observer notamment les ventricules latéraux (un de chaque côté du cerveau), le troisième ventricule et le quatrième ventricule.
4. Thalamus : Le thalamus est une structure profonde du cerveau située au-dessus du tronc cérébral. En IRM, on peut visualiser ses noyaux et sa position par rapport aux autres structures.
5. Hypothalamus : L'hypothalamus est situé en-dessous du thalamus et joue un rôle essentiel dans la régulation de nombreuses fonctions corporelles, telles que la température, l'appétit, le sommeil et la régulation hormonale. En IRM, on peut observer sa localisation et sa relation avec d'autres structures.
6. Cervelet : Le cervelet est situé à l'arrière du cerveau, sous les hémisphères cérébraux. En IRM, on peut visualiser les hémisphères cérébelleux, les lobes et les folia (plis) du cervelet.
7. Tronc cérébral : Le tronc cérébral est la partie inférieure du cerveau qui relie le cerveau à la moelle épinière. En IRM, on peut observer le mésencéphale, le pont de Varole et le bulbe rachidien.
8. Hippocampe : L'hippocampe est une structure située dans les lobes temporaux du cerveau et joue un rôle crucial dans la mémoire. En IRM, on peut visualiser sa forme caractéristique en forme de C.

Ces structures sont généralement identifiées et étudiées lors de l'interprétation des images IRM cérébrales par des radiologues spécialisés, [13].

1.8.2 Pathologies courantes détectées par IRM

L'IRM du cerveau est couramment utilisée pour détecter et diagnostiquer de nombreuses pathologies cérébrales. Voici quelques-unes des pathologies courantes qui peuvent être détectées par IRM cérébrale :

1. Tumeurs cérébrales : Les tumeurs cérébrales, qu'elles soient bénignes ou malignes, peuvent être détectées à l'aide de l'IRM. L'IRM permet de visualiser la taille, la forme, la localisation et les caractéristiques des tumeurs, ce qui est essentiel pour établir un diagnostic précis et élaborer un plan de traitement.
2. Accidents vasculaires cérébraux (AVC) : L'IRM est une technique d'imagerie privilégiée pour évaluer les AVC. Elle permet de distinguer les AVC ischémiques (causés par une obstruction des vaisseaux sanguins) des AVC hémorragiques (causés par une rupture des vaisseaux sanguins) et d'évaluer l'étendue des lésions cérébrales.
3. Maladies neurodégénératives : L'IRM est utilisée dans le diagnostic et le suivi des maladies neurodégénératives telles que la maladie d'Alzheimer, la maladie de Parkinson, la sclérose en plaques et la maladie de Huntington. Elle permet de visualiser les changements structurels et les lésions caractéristiques associées à ces maladies.
4. Maladies inflammatoires : L'IRM peut détecter et évaluer les maladies inflammatoires du cerveau, telles que la sclérose en plaques, l'encéphalite auto-immune et la vascularite cérébrale. Elle permet de visualiser les lésions inflammatoires, l'œdème et les altérations de la substance blanche.
5. Malformations congénitales et anomalies du développement : L'IRM est souvent utilisée pour détecter et caractériser les malformations congénitales du cerveau, telles que les anomalies du développement cortical, les malformations vasculaires et les anomalies de la ligne médiane du cerveau.
6. Infections cérébrales : L'IRM peut aider à diagnostiquer et à évaluer les infections du cerveau, telles que l'encéphalite, l'abcès cérébral et la méningite. Elle permet de visualiser les changements inflammatoires, les collections purulentes et les altérations des tissus cérébraux.
7. Hémorragies intracrâniennes : L'IRM est utile pour détecter et localiser les hémorragies intracrâniennes, qu'elles soient dues à des traumatismes crâniens, des anévrismes rompus, des malformations vasculaires ou d'autres causes.
8. Épilepsie : L'IRM est utilisée pour identifier les causes structurelles de l'épilepsie, telles que les malformations corticales, les tumeurs, les cicatrices post-traumatiques ou les

anomalies vasculaires. Elle aide à localiser la zone épileptogène et à planifier une éventuelle chirurgie, [13].

1.9 Paramètres tissulaires imagerie par résonance magnétique (IRM)

La formation de l'image en imagerie par résonance magnétique (IRM) repose sur plusieurs paramètres tissulaires. Voici les principaux paramètres impliqués :

1. La relaxation longitudinale (T1) : Il s'agit du temps nécessaire pour que les noyaux d'hydrogène excités retrouvent leur état d'équilibre. Les tissus présentent des temps de relaxation T1 différents, ce qui permet de les distinguer et de créer des contrastes dans les images.
2. La relaxation transversale (T2) : C'est le temps nécessaire pour que les signaux d'IRM s'estompent en raison des interactions entre les noyaux d'hydrogène. Les tissus ayant des temps de relaxation T2 différents produisent des contrastes différents dans les images.
3. La densité protonique : Elle représente la quantité de noyaux d'hydrogène présents dans un tissu. Une plus grande densité protonique peut conduire à un signal plus fort dans l'image.
4. Le temps d'écho (TE) : C'est le temps écoulé entre l'excitation des noyaux d'hydrogène et la mesure du signal. En ajustant le TE, on peut modifier le contraste entre différents tissus dans les images.
5. Le temps de répétition (TR) : C'est le temps écoulé entre deux excitations consécutives des noyaux d'hydrogène. En ajustant le TR, on peut contrôler le contraste global de l'image.
6. Les séquences d'impulsions : Ce sont des combinaisons spécifiques de signaux d'impulsions radiofréquences et de gradients de champ magnétique qui sont utilisées pour exciter et manipuler les noyaux d'hydrogène. Différentes séquences d'impulsions permettent de générer différents types d'images (par exemple, pondérées en T1, T2, diffusion, etc.).

En combinant ces différents paramètres tissulaires et en utilisant des séquences d'impulsions adaptées, il est possible de créer des images d'une grande variété de tissus et d'obtenir des

contrastes spécifiques pour visualiser les structures anatomiques et détecter des anomalies dans le corps humain lors d'un examen d'IRM, [14].

1.10 Les types d'IRM

1.10.1 IRM anatomique (IRMa)

L'Imagerie par Résonance Magnétique anatomique (IRMa) est une méthode d'imagerie cérébrale permettant l'étude de la structure du cerveau. L'appareil IRM génère un champ magnétique puissant (jusqu'à 1,5 à 3 fois supérieur au champ magnétique terrestre) et enregistre les variations de ce champ provoquées par les atomes d'hydrogène présents dans les composants du système nerveux tels que l'eau (H₂O), le liquide cérébro-spinal, les neurones, les fibres blanches, ainsi que les os du crâne et de la moelle épinière. Cette technique permet également d'observer la structure d'autres parties du corps. Les variations du champ magnétique sont interprétées par un ordinateur pour créer des images du cerveau, sous forme de coupes 2D ou de reconstitutions en 3D. L'IRMa offre une résolution spatiale bien meilleure que celle du scanner (environ 100 fois plus précise). Cependant, elle présente certaines contre-indications, telles que l'incompatibilité avec des prothèses comme un pacemaker, ainsi que des problèmes de claustrophobie. De plus, l'IRM est un examen très bruyant, atteignant environ 100 décibels, soit le niveau sonore d'un avion au décollage. Par conséquent, lors d'une IRM, il est nécessaire de porter une protection auditive, [14].

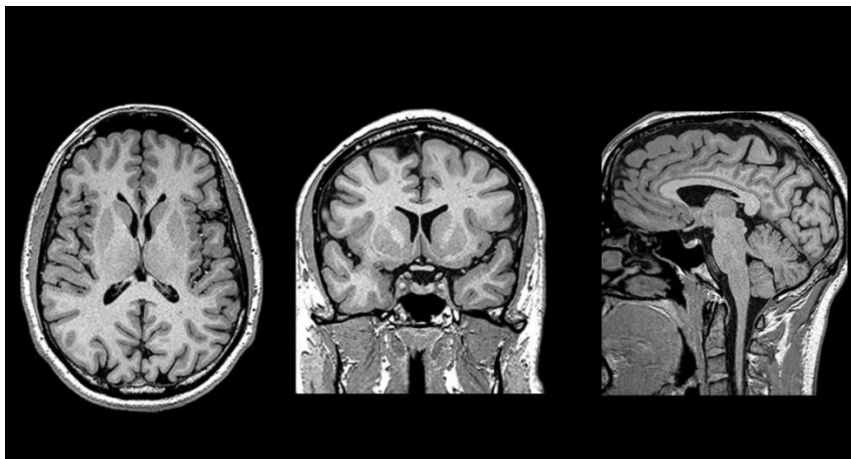


Figure 1. 8 Cerveau en IRM anatomique

1.10.2 IRM de diffusion

L'imagerie de diffusion en IRM étudie la manière dont les molécules d'eau diffusent dans les tissus. Les mouvements des protons d'hydrogène dans l'eau, liés à l'agitation thermique, peuvent être mesurés à l'aide de séquences de diffusion. Les gradients utilisés dans ces

séquences permettent de détecter la diffusion faible ou rapide. La diffusion peut être évaluée par le coefficient de diffusion D , mesuré au niveau des voxels. Les tissus peuvent présenter des obstacles anatomiques qui ralentissent la diffusion, pouvant être homogènes ou avoir une orientation préférentielle. Cette direction préférentielle peut être étudiée grâce au tenseur de diffusion, permettant la cartographie des faisceaux de fibres nerveuses. L'imagerie de diffusion en IRM est utilisée dans divers domaines, tels que la neurologie, l'hépatologie et la pathologie mammaire, pour le diagnostic précoce des accidents vasculaires cérébraux, la différenciation entre hématome et tumeur, l'étude des maladies de la substance blanche et l'analyse des faisceaux de fibres nerveuses, [14].

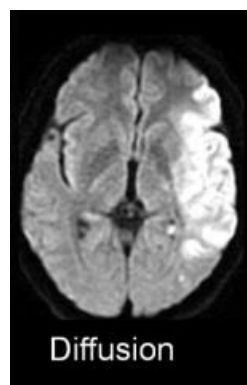


Figure 1. 9 IRM cérébrale en diffusion

1.10.3 IRM fonctionnelle (IRMf)

Contrairement à l'IRM qui permet de visualiser l'anatomie des structures cérébrales, l'IRMf (IRM fonctionnelle) fournit des informations sur l'activité des différentes régions cérébrales. L'IRMf repose sur le fait que les fonctions cognitives modifient localement la circulation sanguine cérébrale. Lorsqu'un groupe de neurones devient plus actif, il y a une vasodilatation locale des capillaires sanguins cérébraux, ce qui entraîne un afflux accru de sang et d'oxygène vers ces régions plus actives.

L'hémoglobine, une protéine contenant un atome de fer qui transporte l'oxygène, a des propriétés magnétiques différentes lorsqu'elle transporte de l'oxygène ou non. L'IRMf détecte principalement la concentration de désoxyhémoglobine (hémoglobine dépourvue d'oxygène). Cette molécule présente une propriété paramagnétique, ce qui signifie que sa présence perturbe légèrement le champ magnétique dans son environnement. En soustrayant l'intensité des différentes régions d'une image enregistrée avant la tâche à accomplir de l'image enregistrée

pendant la tâche, on peut observer les différences dans les zones les plus actives du cerveau, [14].

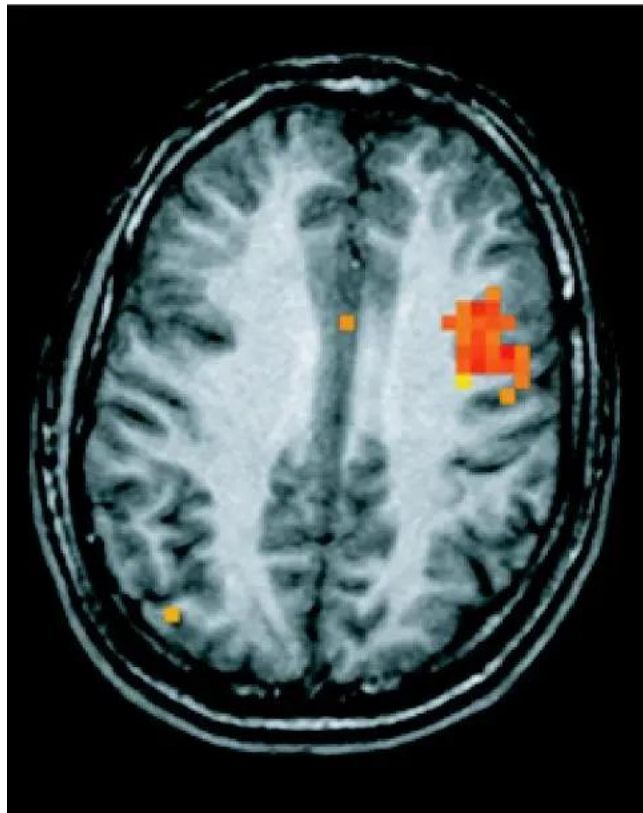


Figure 1. 10 IRM fonctionnelle cérébrale, [28]

1.10.4 IRM de perfusion

L'imagerie de diffusion en IRM étudie la manière dont les molécules d'eau diffusent dans les tissus. Les mouvements des protons d'hydrogène dans l'eau, liés à l'agitation thermique, peuvent être mesurés à l'aide de séquences de diffusion. Les gradients utilisés dans ces séquences permettent de détecter la diffusion faible ou rapide. La diffusion peut être évaluée par le coefficient de diffusion D , mesuré au niveau des voxels. Les tissus peuvent présenter des obstacles anatomiques qui ralentissent la diffusion, pouvant être homogènes ou avoir une orientation préférentielle. Cette direction préférentielle peut être étudiée grâce au tenseur de diffusion, permettant la cartographie des faisceaux de fibres nerveuses. L'imagerie de diffusion en IRM est utilisée dans divers domaines, tels que la neurologie, l'hépatologie et la pathologie mammaire, pour le diagnostic précoce des accidents vasculaires cérébraux, la différenciation

entre hématorne et tumeur, l'étude des maladies de la substance blanche et l'analyse des faisceaux de fibres nerveuses, [14].

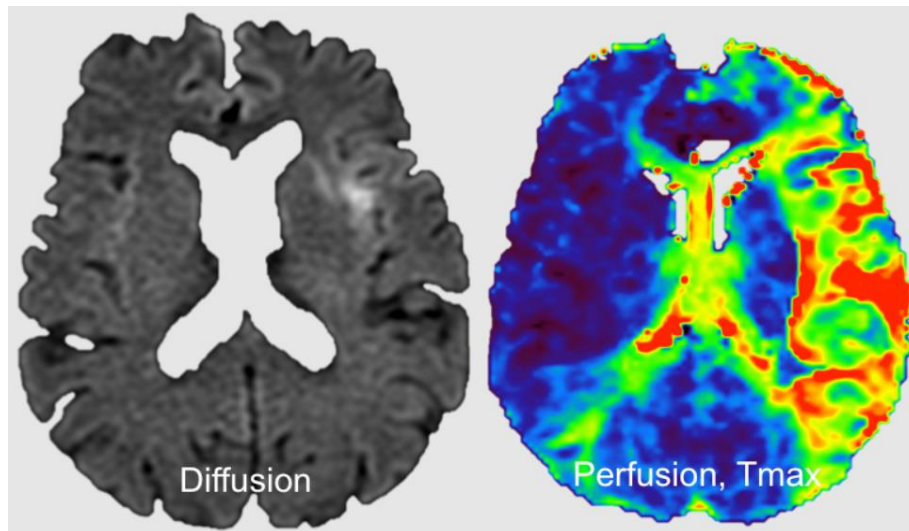


Figure 1. 11 IRM cérébral de diffusion et de perfusion, [28]

1.11 Appareillage d'IRM

L'appareillage de l'IRM est composé des éléments suivants :

1.11.1 L'aimant principal

C'est l'élément essentiel de l'imagerie par résonance magnétique. Il génère un champ magnétique principal (B) qui doit être à la fois intense et homogène. L'intensité de ce champ est l'un des facteurs déterminants de la qualité de l'image. L'homogénéité du champ est assurée par des bobines supplémentaires appelées bobines de SHIM.

Il existe trois types d'aimants, classés en fonction de l'intensité du champ qu'ils produisent :

- **Aimants résistifs**

Ces aimants produisent des champs magnétiques élémentaires ne dépassant pas 0,3 Tesla. Ce sont des électroaimants constitués d'un enroulement de fils de cuivre. Ils consomment beaucoup d'électricité et nécessitent un système de refroidissement. Ils permettent un accès direct au patient placé à l'intérieur de l'aimant.

- **Aimants permanents**

Ces aimants sont constitués d'un bloc aimanté et ne consomment pratiquement pas de courant électrique. Ils ne nécessitent pas de système de refroidissement. Ils offrent l'avantage de

produire un champ magnétique vertical sans champ de bordure, ce qui facilite l'accès au patient. Ils sont donc utilisés notamment en IRM interventionnelle, [5].

- **Aimants supraconducteurs**

Il s'agit du type d'aimant le plus couramment utilisé en IRM. Ils exploitent le phénomène de supraconductivité des alliages tels que le niobium ou le titane, qui présentent une résistance électrique nulle à des températures proches du zéro absolu (-269°C). Ces aimants sont constitués d'une bobine supraconductrice et d'un cryostat contenant de l'hélium liquide pour maintenir la bobine à l'état supraconducteur. Ils génèrent un champ magnétique élevé sans consommation excessive d'électricité. Cependant, ils nécessitent de l'hélium liquide, ce qui entraîne des coûts d'installation et d'exploitation supplémentaires, [5].

1.11.2 Bobines de graduant

Les bobines de graduant sont utilisées pour créer des variations graduelles du champ magnétique dans l'espace, ce qui permet le codage spatial des coupes. Il est important de noter qu'il est nécessaire d'avoir une paire de bobines de graduant pour chaque orientation de coupe dans l'espace. La première paire de bobines est utilisée pour déterminer l'orientation des coupes, tandis que la seconde paire est utilisée pour contrôler l'épaisseur des coupes. Ces bobines sont alimentées par un courant spécifique en fonction du type de séquence utilisé, et l'opérateur peut ajuster les graduants en sélectionnant l'orientation et l'épaisseur des coupes sur la console de contrôle, [5].

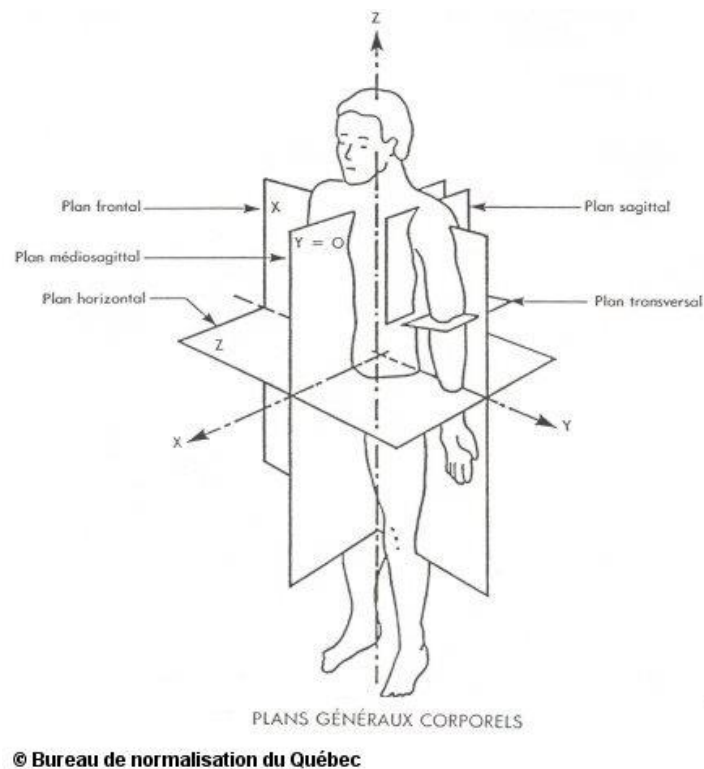


Figure 1. 12 Système de référence en anatomie, [29]

1.11.3 Les antennes

Il existe deux types principaux d'antennes utilisées en IRM, à la fois pour l'émission des impulsions radiofréquence (RF) et la réception des signaux

- **Antenne de volume**

Ce type d'antenne est intégré directement à l'aimant de l'IRM et agit généralement à la fois comme émetteur et récepteur du signal. L'avantage de cette configuration est qu'elle permet d'obtenir un signal homogène sur l'ensemble du volume exploré, y compris en profondeur. Cependant, il est important de noter que le rapport signal/bruit peut être légèrement moins élevé dans ce cas, [5].

- **Antennes de surface**

Ce type d'antenne est utilisé uniquement comme récepteur du signal, tandis que l'émission des impulsions RF est assurée par l'antenne Corp. Ces antennes sont positionnées aussi près que possible de la région d'intérêt. Elles présentent l'avantage de recueillir un signal important grâce à leur proximité avec les tissus émetteurs. Cependant, elles ont une portée limitée en profondeur, ce qui réduit le volume exploré. En conséquence, le bruit est réduit car il provient d'un volume limité, et le rapport signal/bruit est favorisé, ce qui permet d'utiliser des

champs d'exploration plus petits et de réduire l'épaisseur des coupes, améliorant ainsi la résolution spatiale. Les antennes de surface se présentent sous différentes formes, telles que des boules plates, circulaires, rectangulaires ou incurvées, en fonction de la région étudiée, [5].

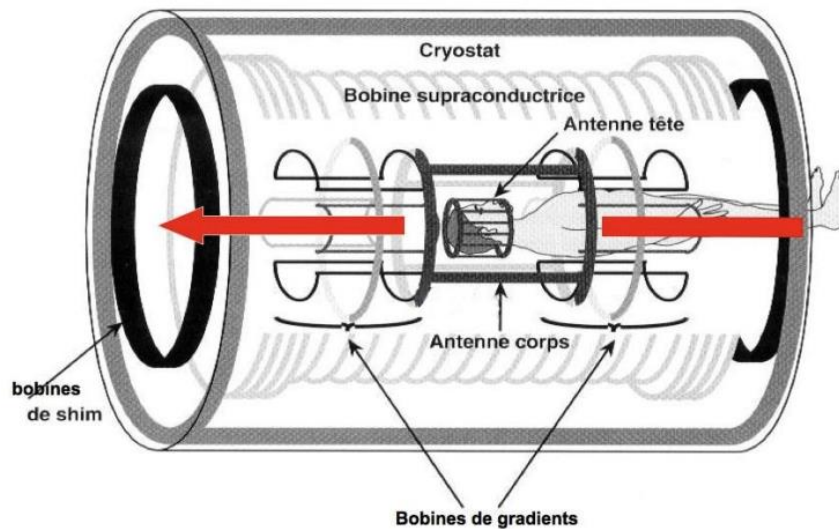


Figure 1. 13 L'appareil IRM standard, [26]

1.11.4 Gestionnaire informatique des images en IRM

Un gestionnaire informatique d'images en IRM est un logiciel spécialement conçu pour gérer des fonctionnalités courantes telles que le stockage et la gestion des images, la visualisation des images, l'analyse et la mesure des images, l'intégration avec d'autres systèmes, ainsi que le maintien de la sécurité et de la confidentialité des images produites lors d'examens par résonance magnétique (IRM), [7].

1.12 Avantages et inconvénients de l'image IRM

L'imagerie par IRM présente plusieurs avantages et inconvénients. L'une des plus grandes forces de l'imagerie IRM est qu'elle fournit des images de haute qualité, détaillées et capables de détecter des anomalies que d'autres méthodes d'imagerie ne peuvent pas détecter. De plus, les IRM ne sont pas invasives et n'impliquent aucun rayonnement nocif, ce qui les rend sécuritaires pour les patients. De plus, les images IRM peuvent fournir des informations précises sur la taille, l'emplacement et le stade des tumeurs, ce qui permet un diagnostic plus précis et la planification du traitement.

Cependant, l'imagerie IRM n'est pas sans inconvénients. L'IRM peut prendre beaucoup de temps, jusqu'à 45 minutes pour être complétée, et peut nécessiter que les patients restent

immobiles pendant une période prolongée, ce qui peut être difficile pour certains patients. De plus, l'imagerie par IRM est coûteuse, et les machines elles-mêmes sont coûteuses à acheter et à entretenir. Enfin, certains patients ne peuvent pas subir d'IRM en raison de dispositifs médicaux implantés ou de dispositifs qui peuvent interagir négativement avec le fort champ magnétique utilisé en imagerie IRM.

1.12.1 Les avantages

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) présente plusieurs avantages majeurs. Tout d'abord, elle offre une qualité d'image supérieure par rapport à d'autres modalités d'imagerie telles que les rayons X, les tomodensitogrammes et les ultrasons. En effet, l'IRM permet d'obtenir des images détaillées des structures des tissus mous du corps, tels que les organes, les muscles et les tendons, qui sont difficiles à visualiser avec d'autres techniques d'imagerie. De plus, l'IRM n'utilise pas de rayonnements ionisants, ce qui en fait une option d'imagerie plus sécuritaire pour les patients, notamment ceux qui nécessitent plusieurs examens sur de longues périodes, tels que les patients atteints de cancer.

Un autre avantage de l'IRM est sa capacité à distinguer les tissus sains des tissus malades, ce qui en fait un outil essentiel dans le diagnostic et la surveillance de conditions telles que le cancer, la maladie d'Alzheimer et la sclérose en plaques. Enfin, l'IRM peut être utilisée dans diverses spécialités médicales, notamment la neurologie, l'orthopédie et la cardiologie, ce qui en fait une technique d'imagerie polyvalente pouvant être adaptée aux besoins individuels des patients.

➤ Non invasif

Afin d'éviter les procédures invasives, des technologies non invasives ont été développées pour permettre aux médecins et aux infirmières de diagnostiquer des problèmes médicaux sans avoir à pratiquer des incisions ou exposer les patients à d'importants rayonnements. L'une de ces technologies est l'imagerie par résonance magnétique (IRM). L'IRM utilise des aimants puissants et des ondes radio pour créer des images détaillées du corps d'un patient, sans nécessiter de chirurgie ou d'aiguilles. Les appareils d'IRM sont capables de produire des images à haute résolution des organes et des structures internes, ce qui les rend particulièrement utiles pour diagnostiquer des problèmes qui pourraient ne pas être visibles avec d'autres outils de diagnostic. De plus, les examens d'IRM sont généralement considérés comme sûrs car ils n'émettent pas de rayonnements ionisants, contrairement aux scanners CT et aux radiographies. Cela fait de l'IRM un outil précieux pour les médecins et les patients, en

particulier dans les cas de diagnostics complexes et dans les situations sensibles où il est important de minimiser les interventions physiques et l'exposition aux rayonnements.

➤ **Grande précision**

Pour obtenir des images IRM d'une grande précision, il est essentiel de veiller à ce que la machine soit correctement étalonnée. L'étalonnage de l'appareil d'IRM constitue un aspect crucial pour obtenir des images précises. De plus, l'utilisation de logiciels et d'algorithmes spécialisés peut contribuer à accroître la précision des analyses. Ces programmes et algorithmes peuvent aider à corriger toute distorsion ou erreur dans les images causées par le mouvement du patient ou d'autres facteurs. De plus, l'utilisation d'antennes IRM de haute qualité peut également améliorer la précision des images produites. Ces antennes sont capables d'augmenter le rapport signal-bruit, réduisant ainsi la quantité de bruit présente dans les images et améliorant leur qualité globale. En fin de compte, la précision des images IRM repose sur une combinaison d'étalonnage matériel, d'algorithmes logiciels et de l'expertise du technologue en imagerie. En appliquant les meilleures pratiques d'étalonnage et en utilisant des équipements et des logiciels de pointe, les techniciens en radiologie peuvent garantir une grande précision des images IRM.

➤ **Images détaillées**

En outre, les appareils d'IRM produisent des images très détaillées du corps humain, ce qui permet aux médecins d'identifier et de diagnostiquer une variété de conditions médicales. Ces images sont générées en recueillant des données sous différents angles et en construisant une image tridimensionnelle à l'aide d'algorithmes mathématiques complexes. À l'aide de champs magnétiques et d'ondes radio, la technologie d'IRM peut capturer des images extrêmement claires des tissus mous tels que les organes, les muscles et les nerfs. Contrairement à d'autres techniques d'imagerie médicale telles que les rayons X, les tomodensitogrammes et les échographies, les images IRM fournissent une vue beaucoup plus détaillée du fonctionnement interne du corps humain sans utiliser de rayonnement ionisant. Cela permet aux médecins de détecter avec précision les anomalies, les tumeurs ou d'autres conditions médicales dès le début, augmentant ainsi la probabilité de succès du traitement. En résumé, les appareils d'IRM sont un outil inestimable dans le diagnostic et le traitement médical, fournissant aux médecins des images détaillées et précises qui leur permettent de prendre des décisions éclairées concernant la santé de leurs patients.

1.12.2 Inconvénients

Malgré ses nombreux avantages, l'IRM présente certains inconvénients. Tout d'abord, il s'agit d'une procédure coûteuse, ce qui peut rendre l'accès difficile pour certains patients. De plus, les forts champs magnétiques générés lors d'une IRM peuvent interférer avec les équipements électroniques tels que les stimulateurs cardiaques et les implants métalliques, ce qui les rend incompatibles pour certains patients. En outre, le processus est assez long, obligeant le patient à rester immobile pendant une durée d'environ une heure, ce qui peut être inconfortable et claustrophobe pour certaines personnes. Enfin, l'IRM ne peut pas être utilisée chez les patientes enceintes en raison des risques potentiels pour le fœtus en développement. Bien que ces inconvénients puissent restreindre l'utilisation de l'IRM chez certains patients, elle demeure un outil inestimable en médecine moderne pour diagnostiquer un large éventail de maladies. Dans l'ensemble, il est important de comprendre les avantages et les inconvénients de l'IRM afin de déterminer son utilisation dans la pratique clinique.

➤ **Coût élevé**

Un autre inconvénient important de l'imagerie par IRM est son coût élevé. Selon une étude menée par Health Affairs, un important journal sur les politiques en matière de santé, le prix d'un seul examen IRM peut varier de 225 \$ à 2 500 \$ (de 22500.00 à 35 000.00 dinar en Algérie), en fonction de la partie du corps examinée et de l'emplacement de l'installation d'imagerie. Ce coût élevé représente un fardeau important pour les patients. De plus, le coût des examens IRM peut conduire à une surutilisation de cette procédure dans certains cas, car les fournisseurs de soins de santé peuvent commander des examens inutiles afin d'augmenter leurs revenus. Cette surutilisation entraîne non seulement une hausse des coûts des soins de santé, mais peut également causer de l'anxiété inutile et une exposition aux rayonnements, ce qui peut être dangereux. Il est donc important que les décideurs et les prestataires de soins trouvent des moyens de rendre l'imagerie par IRM plus abordable et accessible à tous les patients qui en ont besoin.

➤ **Disponibilité limitée**

En plus de l'inconfort et du coût élevé, la disponibilité limitée des appareils d'IRM est un autre défi auquel sont confrontés les patients ayant besoin d'une IRM. En raison du coût élevé d'un appareil d'IRM, de nombreux établissements de santé ne disposent que d'un seul appareil ou d'un nombre limité d'appareils, ce qui entraîne de longs délais d'attente pour la prise de rendez-vous. Dans certains cas, les patients peuvent devoir attendre plusieurs semaines, voire

des mois, pour obtenir un rendez-vous. Ce problème affecte non seulement les patients, mais aussi les fournisseurs de soins de santé, car il ne reflète pas adéquatement la qualité des soins qu'ils peuvent offrir. De plus, les patients qui ne peuvent pas se permettre d'attendre et ont besoin de soins médicaux urgents peuvent être contraints de consulter un autre établissement ou d'opter pour un outil de diagnostic moins efficace. Par conséquent, les fournisseurs de soins de santé doivent investir dans davantage d'appareils d'IRM afin d'améliorer leur disponibilité et de veiller à ce que les patients reçoivent des soins opportuns et efficaces.

➤ **Claustrophobie**

Selon l'Anxiété and Dépression Association of America, la claustrophobie est une peur des espaces clos ou restreints. Les personnes souffrant de claustrophobie peuvent éprouver une peur intense ou une panique lorsqu'elles se trouvent confinées dans des espaces étroits ou clos, tels que les appareils d'IRM. Cette peur peut être à la fois émotionnellement et physiquement pénible, entraînant des symptômes tels que la transpiration, les tremblements et les palpitations. De plus, la claustrophobie peut considérablement entraver la capacité d'une personne à subir des examens ou des procédures médicales essentiels, comme les examens par IRM, ce qui engendre un stress et une détresse inutiles. Par conséquent, les professionnels de la santé utilisent souvent une variété de stratégies lorsqu'ils travaillent avec des patients souffrant de claustrophobie, comprenant l'éducation, les techniques de distraction, les exercices de relaxation et, si nécessaire, des médicaments. Bien que la claustrophobie puisse être une affection difficile à gérer, des options de traitement efficaces, telles que la thérapie cognitivo-comportementale, peuvent entraîner une amélioration durable des symptômes et une meilleure qualité de vie.

1.13 Conclusion

En outre, l'utilisation de la technologie de l'IRM a révolutionné le traitement du cancer. Les examens IRM permettent la détection des tumeurs dans le corps et fournissent des informations détaillées sur leur taille, leur emplacement et leur progression. Ces informations permettent aux médecins d'élaborer un plan de traitement personnalisé pour chaque patient. De plus, les biopsies guidées par IRM, qui impliquent l'insertion d'une aiguille sous guidage IRM pour prélever des échantillons de tissus d'une zone suspecte, peuvent fournir un diagnostic plus précis que les biopsies traditionnelles. Cela est particulièrement important dans les cas où l'emplacement de la tumeur rend l'accès difficile avec les techniques de biopsie traditionnelles.

Dans certains cas, les examens IRM sont également utilisés pendant la chirurgie pour guider avec précision le placement des instruments chirurgicaux et surveiller en temps réel la progression de l'intervention. En combinant les informations cliniques avec les résultats de l'IRM, les professionnels de la santé sont en mesure de poser des diagnostics précis, de planifier des traitements adaptés et de suivre l'évolution des tumeurs au fil du temps. En conclusion, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une technique d'imagerie cruciale pour le diagnostic des tumeurs cérébrales.

Grâce à ses capacités uniques d'imagerie anatomique et fonctionnelle, l'IRM permet une visualisation détaillée des structures cérébrales et des caractéristiques des tumeurs. Avec les avancées constantes de la technologie IRM, il est prévu que cette technique continue à jouer un rôle de premier plan dans le domaine du diagnostic et de la gestion des tumeurs cérébrales, contribuant ainsi à améliorer les résultats cliniques et la qualité de vie des patients. L'utilisation de la technologie de l'IRM a considérablement amélioré notre capacité à diagnostiquer, traiter et surveiller le cancer, ce qui se traduit par de meilleurs résultats pour les patients.

Chapitre 2. La morphologie mathématique

2.1 Introduction

L'imagerie médicale est un aspect crucial du diagnostic et du traitement de diverses conditions médicales. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une technique d'imagerie non invasive largement utilisée en milieu clinique pour diagnostiquer et surveiller la progression de diverses maladies. Cependant, les images IRM sont complexes et difficiles à interpréter. La segmentation et la détection des tumeurs dans les images IRM est une étape cruciale dans le diagnostic du cancer et d'autres pathologies. La morphologie mathématique est un outil puissant qui peut être utilisé pour la segmentation et la détection des tumeurs dans les images IRM.

Dans ce chapitre, nous discutons des méthodes utilisées pour segmenter et détecter les tumeurs dans les images IRM en utilisant la morphologie mathématique. Nous présentons d'abord le concept de segmentation et de détection des tumeurs dans les images IRM, puis une discussion des techniques de morphologie mathématique utilisées dans ce travail.

2.2 Introduction à la segmentation d'images

L'un des aspects les plus cruciaux de l'analyse d'image est la segmentation. La segmentation d'image se réfère à la division d'une image en régions distinctes avec des caractéristiques ou des attributs similaires. Le but ultime de la segmentation consiste à identifier et à isoler les objets pertinents ou les zones d'intérêt dans une image tout en supprimant les non pertinents. Avec la segmentation, les images peuvent être analysées en portions significatives, permettant l'analyse de chaque segment. Dans la vision informatique, la segmentation d'image est essentielle pour le développement de systèmes précis de reconnaissance d'images, de détection d'objets et de classification. L'une des composantes essentielles de la segmentation de l'imagerie est la sélection des caractéristiques, telles que la texture, la couleur et la forme. Ces caractéristiques doivent être analysées et extraites pour identifier les régions significatives. Certaines des principales méthodes utilisées pour la segmentation des images comprennent le seuillage, les techniques de détection des bordures, la croissance régionale et les techniques de regroupement. Le seuillage est basé sur la sélection d'une valeur pour l'intensité, la couleur ou le contraste qui sépare l'arrière-plan et le premier plan d'une image. En détection de bord, l'objectif est d'identifier les frontières entre les différentes régions de l'image. La croissance régionale regroupe les pixels qui appartiennent au même objet en fonction de leur similarité d'intensité, de couleur ou de texture. Enfin, les techniques de regroupement impliquent le

partitionnement de l'image en groupes distincts basés sur les similitudes en termes de caractéristiques, y compris l'intensité, la couleur et la texture.

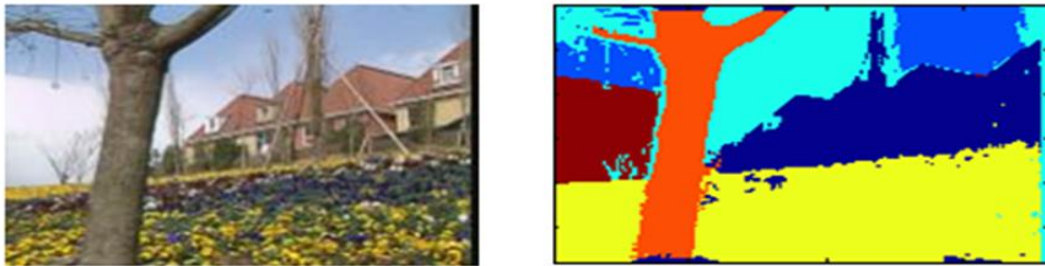


Figure 2. 1 Segmentation d'image, [30]

En conclusion, la segmentation d'image est un processus fondamental dans la vision par ordinateur pour une analyse d'image réussie. Il permet d'identifier et d'isoler les objets pertinents ou les zones d'intérêt dans une image. Il existe différentes méthodes de segmentation disponibles, notamment le seuillage, la détection des bords, la croissance régionale et les techniques de regroupement, chacune ayant ses avantages et limites. Le choix de la bonne méthode de segmentation dépend des données d'imagerie spécifiques et de l'analyse à réaliser.

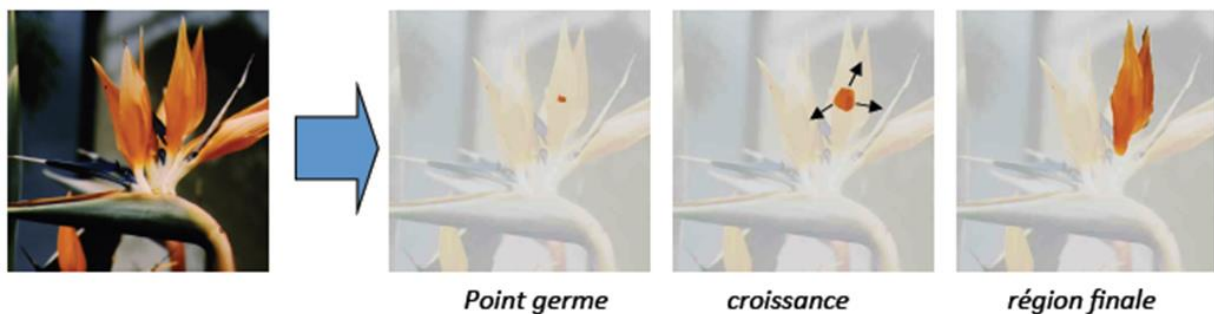


Figure 2. 2 Segmentation basées régions, [30]

La segmentation de l'image joue un rôle crucial dans la vision par ordinateur, car elle est à la base de diverses applications telles que la reconnaissance d'objets, la reconstruction de scènes et la modélisation 3D

2.3 L'importance de la segmentation et de la détection des tumeurs dans les images IRM par morphologie mathématique

La segmentation des images IRM est une étape cruciale dans l'identification des tumeurs et autres structures anormales dans le corps. Elle implique la délimitation automatique des régions ou des limites d'une image en fonction de leur similarité ou différence d'intensité, de texture ou de forme. L'application de techniques de morphologie mathématique, qui traite de la forme et de la taille des objets, s'est révélée très efficace dans la segmentation IRM. En définissant les opérations mathématiques sur la forme et la structure des objets, ces techniques permettent d'éliminer le bruit et de lisser l'image, rendant ainsi le processus de segmentation plus précis.

D'autre part, la détection de tumeur implique d'isoler la tumeur des autres tissus et de détecter sa taille et son emplacement. Cela se fait généralement en analysant le contraste entre les différentes régions de l'image et en détectant la présence de structures anormales présentant des caractéristiques de contraste différentes.

La segmentation et la détection des tumeurs dans les images IRM par morphologie mathématique sont de la plus haute importance dans le diagnostic médical et le traitement. La segmentation précise permet d'identifier et de localiser différentes structures anatomiques, régions anormales et tumeurs dans les images IRM. Il s'agit d'une étape cruciale dans le processus de diagnostic car elle fournit une compréhension détaillée de la taille, la forme et l'emplacement de ces structures. Cette information est nécessaire pour déterminer le traitement approprié pour les patients, qu'il s'agisse d'ablation chirurgicale, de radiothérapie ou de chimiothérapie.

En outre, une segmentation précise peut aider à surveiller la progression du traitement et déterminer s'il est efficace pour réduire ou éliminer la tumeur. Les techniques de segmentation mathématique fondées sur la morphologie peuvent également être utilisées pour la détection automatisée des tumeurs et des anomalies, réduisant ainsi considérablement le temps requis pour l'inspection manuelle et l'analyse des images.

Globalement, une segmentation précise et la détection des tumeurs par morphologie mathématique sont essentielles pour un diagnostic et un traitement médicaux efficaces.

2.4 Intégration de la morphologie mathématique pour la segmentation et la détection des tumeurs dans les images IRM

La morphologie mathématique, initialement proposée par George Matheron au début des années 1960, est une collection d'outils et d'opérateurs mathématiques développés par Jean Serra. Ces outils peuvent être appliqués au traitement et à l'analyse d'images, en se basant sur la théorie des ensembles et la topologie. La morphologie mathématique est principalement axée sur la forme et la structure des objets dans une image. Son objectif principal est d'extraire des informations utiles des images en appliquant une variété de transformations et de filtres, tels que l'érosion, la dilatation, l'ouverture, la fermeture, et bien d'autres encore.

Cette approche s'avère particulièrement utile dans les applications d'imagerie médicale en raison de sa capacité à améliorer et à extraire des caractéristiques importantes des images, telles que les bords ou les régions d'intérêt (ROI). De plus, la morphologie mathématique peut être utilisée pour la segmentation d'images en divisant une image en régions de texture, de ton ou de couleur uniformes.

Dans l'ensemble, la morphologie mathématique s'est avérée être un outil puissant dans le domaine du traitement d'images et est largement applicable dans diverses applications d'imagerie médicale, y compris la détection et la segmentation des tumeurs dans les images IRM.

En conclusion, la morphologie mathématique s'est imposée comme un outil puissant pour segmenter et détecter les tumeurs dans les images IRM. L'utilisation de diverses opérations et procédures morphologiques a permis d'extraire des informations significatives des images IRM, qui peuvent être utilisées pour un diagnostic et un traitement efficaces des tumeurs. Les opérateurs tels que l'ouverture, la fermeture, l'érosion et la dilatation peuvent être personnalisés pour convenir à différents types d'images IRM et les traiter en conséquence.

L'utilisation de techniques de segmentation basées sur les bassins versants et les contours actifs s'est également révélée utile pour détecter et segmenter les tumeurs dans les images IRM. Cependant, les méthodes mathématiques basées sur la morphologie ne sont pas sans limites, telles que la vulnérabilité au bruit et la nécessité de régler les paramètres. Par conséquent, les recherches futures devraient se concentrer sur l'amélioration de la robustesse et de la précision des approches mathématiques basées sur la morphologie pour la détection et la segmentation des tumeurs dans les images IRM

2.5 Morphologie mathématique

La morphologie mathématique est un domaine qui traite de l'analyse des structures géométriques dans les images. Il comprend plusieurs techniques de traitement d'image telles que la dilatation, l'érosion, l'ouverture et la fermeture. La morphologie mathématique peut être utilisée dans l'analyse d'image médicale pour améliorer le contraste visuel entre un objet particulier et son arrière-plan. Il est largement utilisé dans les applications qui impliquent l'extraction, la segmentation et la mesure de différentes formes dans les images médicales. Les techniques de segmentation basées sur la morphologie mathématique utilisent des opérations morphologiques pour identifier les régions d'intérêt dans une image médicale. Ce processus permet de classer les objets d'image dont la taille et la forme varient. En outre, il peut également aider dans le processus de détection de tumeur dans les images IRM. La combinaison de techniques de segmentation basées sur la morphologie mathématique et d'algorithmes de classification a donné des résultats prometteurs dans le domaine de l'analyse de l'image médicale. Par conséquent, la morphologie mathématique est un outil précieux dans le traitement d'image médicale et peut aider à la détection et au diagnostic de diverses conditions médicales, [12] [13].

2.6 Histoire de la morphologie mathématique

La morphologie mathématique peut être divisée en deux grandes époques : l'époque "ensembliste" et l'époque de "généralisation des concepts", [15].

Première époque - Ensembliste (années 1960) : Dans cette première époque, la morphologie mathématique était principalement basée sur les concepts de la théorie des ensembles et de la géostatistique développés par Georges Matheron. Les opérations morphologiques telles que l'érosion, la dilatation, l'ouverture et la fermeture étaient définies à l'aide d'éléments structurants, qui étaient des ensembles de pixels utilisés comme des motifs de référence pour l'analyse. Jean Serra a joué un rôle important dans cette époque en formalisant les concepts et en introduisant la notion de morphologie mathématique dans le domaine du traitement d'images.

Les événements clés de l'histoire de la morphologie mathématique, en époques "ensembliste" sont

- 1950s-1960s : Georges Matheron développe la théorie des ensembles aléatoires et la géostatistique.

- 1964 : Georges Matheron et Jean Serra commencent à collaborer à l'École des Mines de Paris.
- 1966 : Jean Serra définit l'opérateur d'érosion et les éléments structurants pour l'analyse d'images.
- 1967 : Jean Serra introduit l'opérateur de dilatation et formalise la notion de morphologie mathématique.
- 1972 : Jean Serra et Pierre Soille introduisent l'opérateur d'ouverture et de fermeture pour le lissage et la reconstruction des objets dans les images.

Deuxième époque - Généralisation des concepts (années 1970 et au-delà) :

Dans cette deuxième époque, les concepts de la morphologie mathématique ont été généralisés et étendus pour s'appliquer à différents types de signaux et de structures. Les chercheurs ont exploré de nouvelles applications et développé des variantes de la morphologie mathématique pour répondre à des besoins spécifiques. Par exemple, la morphologie mathématique discrète a été développée pour l'analyse d'images binaires et en niveaux de gris, tandis que la morphologie mathématique basée sur les niveaux de gris a été proposée pour l'analyse plus précise des images en niveaux de gris. De nouvelles opérations et techniques ont été introduites pour la segmentation d'images, la restauration d'images, la reconnaissance de formes, etc. Cette époque de généralisation des concepts a vu de nombreux chercheurs contribuer au développement de la morphologie mathématique dans différentes directions.

Les événements clés de l'histoire de la morphologie mathématique, en époques 'Généralisation des concepts' sont :

- 1976 : Jean Serra définit les filtres morphologiques et introduit le concept de transformation par zones.
- 1982 : Christian Ronse développe la morphologie mathématique discrète pour l'analyse d'images binaires et en niveaux de gris.
- 1984 : Luc Vincent et Pierre Soille proposent l'utilisation de l'algorithme des files d'attente pour accélérer les opérations morphologiques.
- 1994 : Michel Couprie et Gilles Bertrand introduisent la morphologie mathématique basée sur les niveaux de gris pour l'analyse d'images en niveaux de gris.

❖ Remarque

Ces deux époques ne sont pas strictement délimitées dans le temps et qu'il peut y avoir des chevauchements. Les bases établies lors de l'époque "ensembliste" ont fourni les fondements nécessaires à la généralisation des concepts et à l'expansion des applications dans la deuxième époque.

2.7 Opérations fondamentales de la morphologie mathématique

2.7.1 L'érosion

L'érosion est l'un des opérateurs fondamentaux de la morphologie mathématique. Elle effectue une transformation binaire basée sur l'inclusion, notée $X \ominus S$.

En pratique, l'élément structurant S , dont le centre est défini, est déplacé pour occuper toutes les positions possibles à l'intérieur de X (qui représente une forme ou un objet dans l'image d'origine). À chaque position, on vérifie si S est complètement inclus dans X . Mathématiquement, l'érosion de X par l'élément structurant S correspond à l'ensemble des pixels x pour lesquels S , translaté par x , est inclus dans X , [16].

$$X \ominus S = \{x/S * \subset X\}$$



Original

Erosion

Figure 2. 3 Exemple d'érosion sur l'image, [31]

2.7.2 La dilatation

La dilatation est également l'un des opérateurs fondamentaux de la morphologie mathématique. Elle réalise une transformation binaire basée sur l'intersection, notée $X \oplus B$.

En pratique, l'élément structurant B , dont le centre est défini, est déplacé pour occuper toutes les positions possibles à l'intérieur de X (qui représente une forme ou un objet dans l'image d'origine). À chaque position, on vérifie si B a une intersection (c'est-à-dire partage au moins un pixel en commun) avec X . Mathématiquement, la dilatation de X par l'élément structurant B correspond à l'ensemble des pixels x pour lesquels B , translaté par x , a une intersection avec X , [16].

$$X \oplus S = \{x/S * \cap X \neq \emptyset\}$$

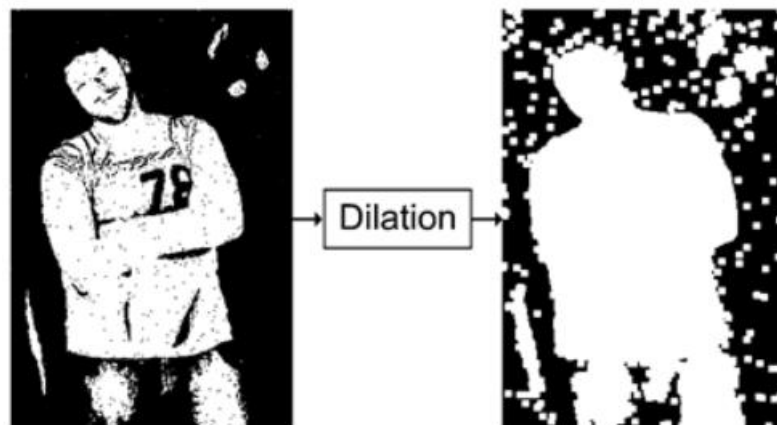


Figure 2. 4 Exemple de dilatation sur l'image

2.7.3 L'ouverture

L'ouverture morphologique est une opération réalisée en appliquant d'abord une érosion de l'image X par l'élément structurant B , suivie d'une dilatation. Elle est souvent notée $X \circ B$, [16].

En termes de définition, pour les images binaires, l'ouverture morphologique est définie comme suit : $X \circ B = (X \ominus B) \oplus B$

$$X \circ B = \cup \{B_b, b \in E \text{ et } B_b \subseteq X\}$$

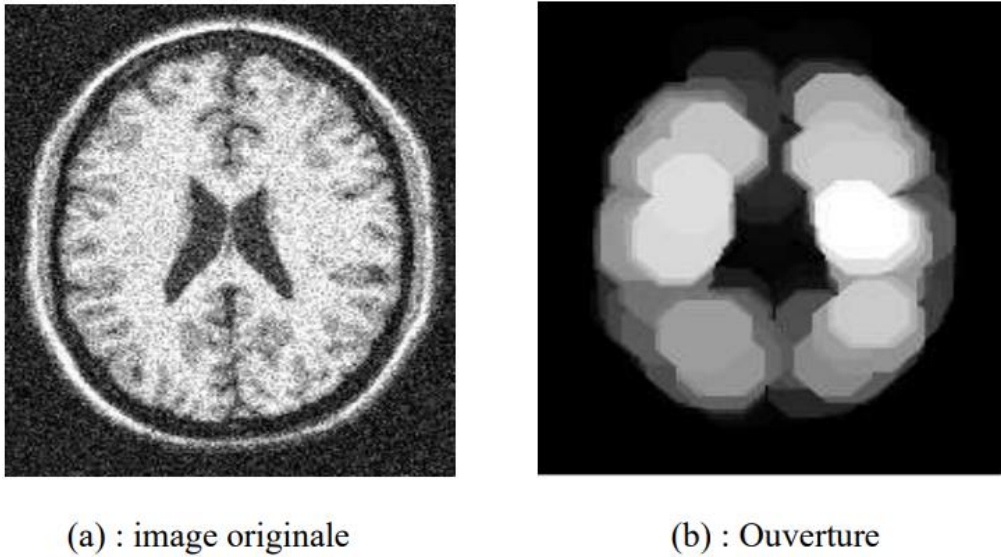


Figure 2. 5 Exemple d'ouverture sur l'image

2.7.4 La fermeture

La fermeture morphologique est obtenue en appliquant une dilatation de l'objet X à l'aide de l'élément structurant S , suivie d'une érosion. Cette opération est souvent notée $X \bullet B$, [16].

Mathématiquement, la fermeture morphologique $X \bullet B$ est définie comme suit :

$$X \bullet B = (X \oplus S) \ominus B.$$

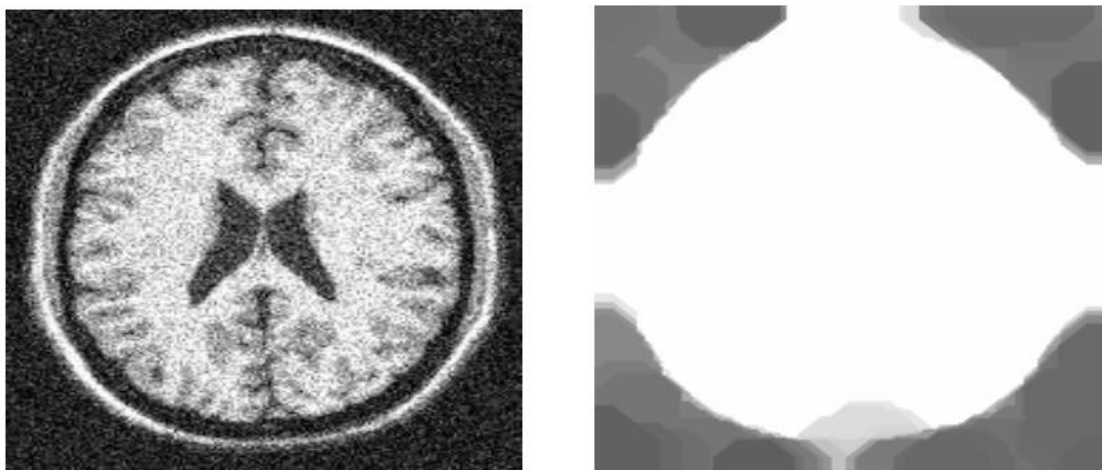


Figure 2. 6 Exemple de fermeture sur l'image

2.7.5 Rehaussement de contraste

Le rehaussement de contraste est une technique utilisée en traitement d'images pour améliorer la visibilité des détails et des variations de luminosité dans une image. L'objectif est d'augmenter

la différence entre les niveaux de gris ou les couleurs afin de rendre l'image plus nette et plus expressive.

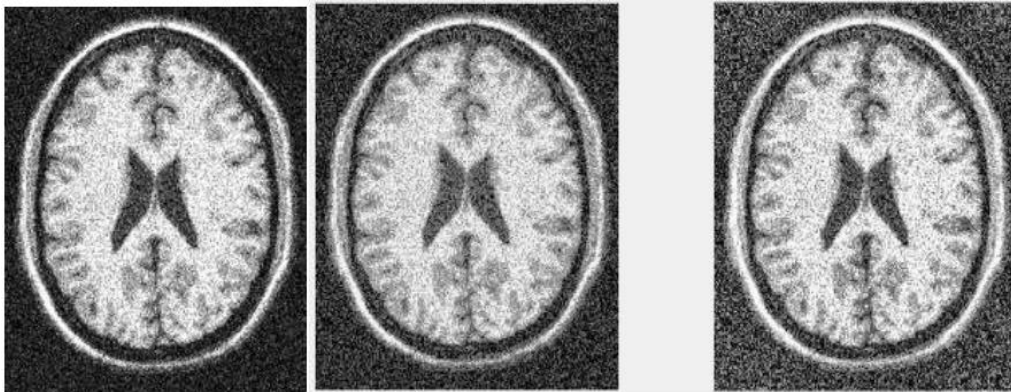


Figure 2. 7 Exemple de Rehaussement de contraste sur l'image

2.7.6 Gradient morphologique

Dans le domaine de l'analyse d'images, il est souvent considéré que les formes ou objets présents dans l'image sont des régions homogènes en termes de niveaux de gris. Cela signifie qu'il existe une variation de niveaux de gris le long des frontières entre ces formes, et l'opérateur de gradient vise à mettre en évidence cette variation.

Le gradient morphologique se base sur les variations locales présentes dans l'image, en utilisant le voisinage défini par l'élément structurant. Il peut être calculé en effectuant une différence arithmétique entre la dilatation et l'érosion de l'image, [17] [18].

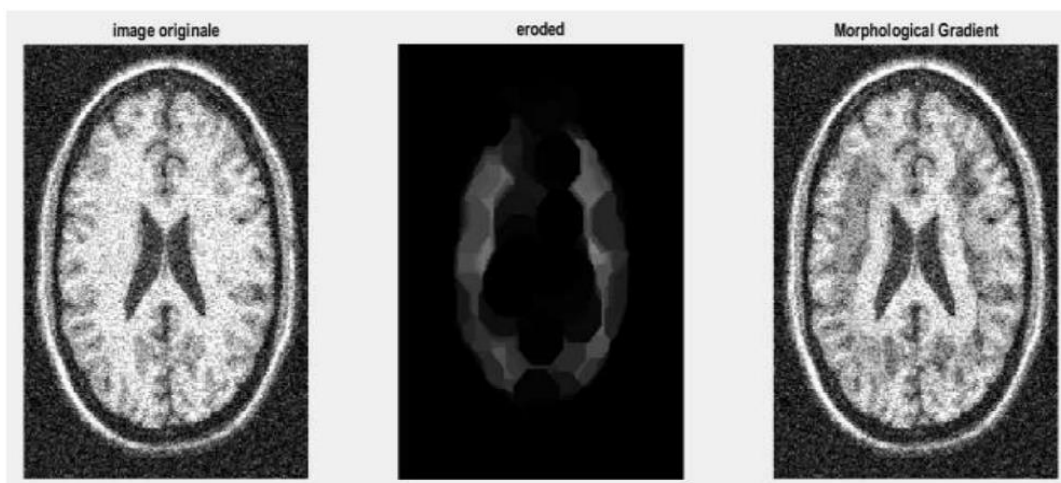


Figure 2. 8 Exemple de Gradient morphologique sur l'image

2.7.7 Transformation morphologique tout ou rien

Le "tout ou rien" (T.T.R) est une transformation morphologique puissante qui a été initialement développée par Matheron (1975) et Serra (1982). Sa définition d'origine a été largement utilisée pour les images binaires dans le but de la reconnaissance de formes, permettant ainsi la détection de motifs de forme prédéfinis.

L'opérateur « Hit-ou-miss Transform », qui est préalablement défini pour les images binaires, est utilisé dans le contexte du T.T.R. Dans ces images binaires, cet opérateur utilise deux éléments structurants disjoints : le premier élément doit correspondre à l'objet recherché, tandis que le second élément doit correspondre à l'arrière-plan ou au fond, [19].

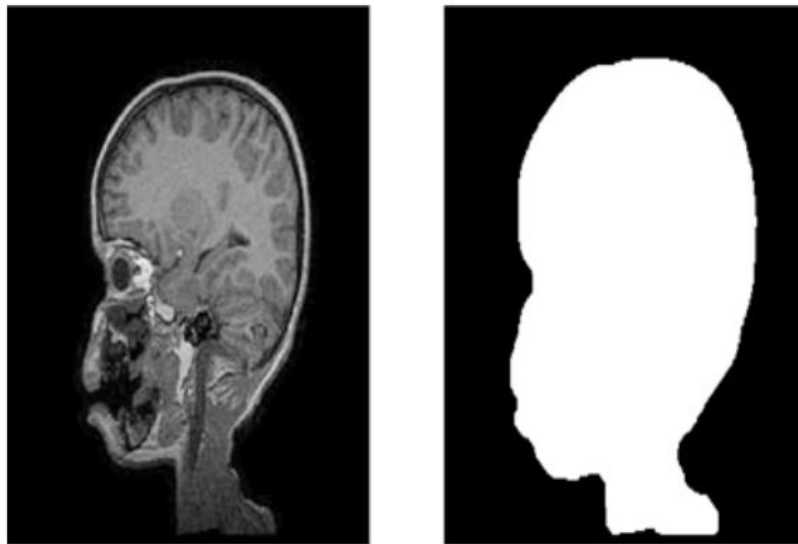


Figure 2. 9 Exemple de Transformation morphologique tout ou rien (T.T.R) sur l'image

2.8 Opérations morphologiques sur des images en niveaux de gris

Les opérations morphologiques sur des images en niveaux de gris et sur des images binaires diffèrent principalement dans la manière dont elles traitent les valeurs des pixels.

2.8.1 Images en niveaux de gris

Les images en niveaux de gris contiennent des pixels dont les valeurs sont des niveaux d'intensité compris entre 0 (noir) et 255 (blanc) ou une plage de valeurs continues. Lorsque les opérations morphologiques sont appliquées à de telles images, les calculs se font en tenant compte de l'intensité des pixels.

- L'érosion sur des images en niveaux de gris réduit la taille des objets en réduisant l'intensité des pixels voisins. Les pixels ayant une intensité inférieure à un seuil donné sont supprimés.

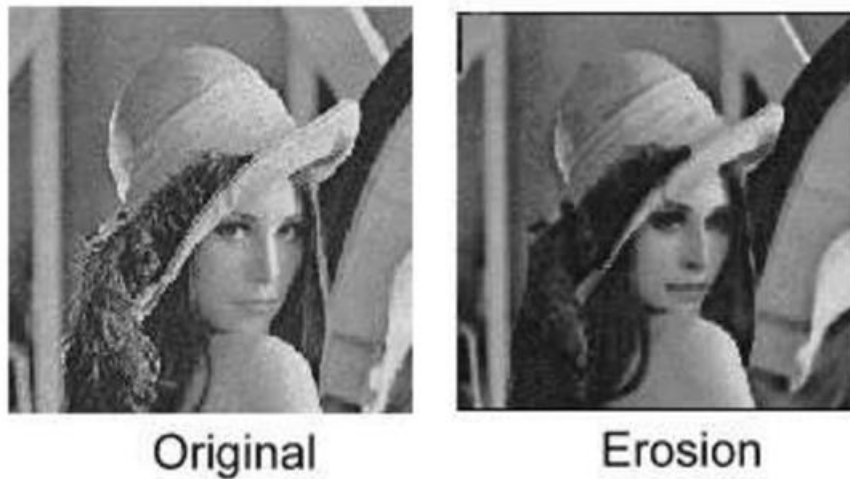


Figure 2. 10 L'érosion sur des images en niveaux de gris, [31]

- La dilatation sur des images en niveaux de gris augmente la taille des objets en augmentant l'intensité des pixels voisins. Les pixels ayant une intensité supérieure à un seuil donné sont activés.



Figure 2. 11 La dilatation sur des images en niveaux de gris, [31]

- L'ouverture et la fermeture sur des images en niveaux de gris sont également réalisées en tenant compte de l'intensité des pixels. L'ouverture élimine les petits objets et les détails fins, tandis que la fermeture comble les trous et les fissures.



Figure 2. 12 L'ouverture et la fermeture sur des images en niveaux de gris, [31]

2.8.2 Images binaires

Les images binaires ne contiennent que deux valeurs de pixels, généralement 0 et 1, où 0 représente le fond (noir) et 1 représente l'objet (blanc). Les opérations morphologiques sur des images binaires sont plus simples et se basent sur la présence ou l'absence de pixels, [9].

- L'érosion sur des images binaires supprime les pixels de l'objet s'ils ont tous leurs voisins actifs. Cela réduit la taille de l'objet.
- La dilatation sur des images binaires active les pixels environnants si au moins un des pixels voisins est actif. Cela augmente la taille de l'objet.
- L'ouverture sur des images binaires est une érosion suivie d'une dilatation. Elle est utilisée pour éliminer les petits objets et les détails fins.
- La fermeture sur des images binaires est une dilatation suivie d'une érosion. Elle est utilisée pour fermer les trous et connecter les régions disjointes.

2.9 Opérations sur les ensembles structurés

Les opérations sur les ensembles structurés, également connues sous le nom d'opérations morphologiques, sont des opérations mathématiques fondamentales utilisées dans la morphologie mathématique pour manipuler les ensembles d'objets présents dans une image. Voici les opérations de base sur les ensembles structurés :

- Érosion : L'érosion d'un ensemble structuré consiste à rétrécir ou à retirer les éléments de l'ensemble en fonction de la forme de l'élément structurant. L'érosion réduit la taille des objets, élimine les petites structures et érode les bords des objets.
- Dilatation : La dilatation d'un ensemble structuré consiste à agrandir ou à ajouter des éléments à l'ensemble en fonction de la forme de l'élément structurant. La dilatation augmente la taille des objets, remplit les trous, connecte les objets et dilate les bords des objets.
- Ouverture : L'ouverture d'un ensemble structuré est une combinaison de l'érosion suivie de la dilatation. L'ouverture est utilisée pour éliminer les petites structures indésirables, lisser les bords et séparer les objets collés.
- Fermeture : La fermeture d'un ensemble structuré est une combinaison de la dilatation suivie de l'érosion. La fermeture est utilisée pour remplir les trous, connecter les objets disjoints et lisser les bords.
- Gradient : Le gradient d'un ensemble structuré est la différence entre la dilatation et l'érosion de l'ensemble. Il met en évidence les contours et les transitions d'intensité des objets dans l'ensemble.
- Top-hat : Le top-hat d'un ensemble structuré est la différence entre l'ensemble d'origine et son ouverture. Il met en évidence les structures fines et les détails locaux de l'ensemble.
- Bottom-hat : La transformation Bottom-hat est similaire à la transformation du Top-hat, mais elle est utilisée pour améliorer les taches sombres d'une image. Il extrait les minima régionaux en soustrayant l'image originale du résultat d'une opération de fermeture. Cette opération est utile pour détecter de petites structures sombres ou des détails.

Ces opérations sur les ensembles structurés permettent de manipuler les objets dans une image, de détecter les contours, de supprimer le bruit, d'améliorer la qualité de l'image et d'extraire des informations structurales. Elles sont largement utilisées dans diverses applications d'analyse d'images, telles que la segmentation, la reconnaissance de formes, la détection de bordures, la mesure de forme, etc, [21].

2.10 Filtrage morphologique

Les filtres morphologiques sont des opérations utilisées en morphologie mathématique pour le traitement d'images. Ils permettent de manipuler les objets présents dans une image en se basant sur des opérations morphologiques telles que l'érosion, la dilatation, l'ouverture et la fermeture. Ces filtres sont couramment utilisés pour diverses tâches de traitement d'images telles que la segmentation, la détection d'objets et l'amélioration du contraste, [22].

Voici quelques exemples de filtres morphologiques couramment utilisés :

- Filtre de suppression des petits objets : Ce filtre consiste à effectuer une ouverture morphologique pour éliminer les objets de petite taille ou les régions dont la taille est inférieure à un seuil prédéfini. Cela permet de supprimer le bruit ou les artefacts de petite taille.
- Filtre de remplissage des trous : Ce filtre vise à combler les trous ou les régions non connectées dans les objets d'une image. Il consiste à effectuer une fermeture morphologique pour remplir les lacunes et connecter les parties disjointes des objets.
- Filtre de détection des contours : Ce filtre utilise le gradient morphologique pour mettre en évidence les contours et les frontières des objets dans une image. Il permet de détecter les changements brusques d'intensité et peut être utilisé pour la détection de contours ou la segmentation d'objets.
- Filtre de suppression des bordures : Ce filtre consiste à effectuer une érosion morphologique suivie d'une dilatation pour supprimer les régions ou les objets situés à proximité des bords de l'image. Cela permet d'éliminer les effets indésirables liés aux bords de l'image.
- Filtre de réduction de bruit : Ce filtre utilise des opérations morphologiques telles que l'ouverture ou la fermeture pour réduire le bruit dans une image. Il permet d'éliminer les petites variations d'intensité qui peuvent être considérées comme du bruit.
- Filtre de dilatation : Ce filtre consiste à agrandir les objets présents dans une image en utilisant un élément structurant. Il est utilisé pour remplir les petits trous ou pour épaissir les contours des objets.

- Filtre d'érosion : Ce filtre consiste à rétrécir les objets présents dans une image en utilisant un élément structurant. Il est utilisé pour éliminer les détails fins ou pour séparer les objets connectés.
- Filtre de gradient morphologique : Ce filtre met en évidence les variations d'intensité entre les objets et leur arrière-plan. Il est obtenu en calculant la différence entre une dilatation et une érosion de l'image.
- Filtre de reconstruction morphologique : Ce filtre est utilisé pour améliorer la qualité des images en réparant les régions endommagées ou corrompues. Il utilise des opérations de dilatation ou d'érosion répétées pour reconstruire les objets d'intérêt à partir de l'image d'origine.
- Filtre de séparation des objets : Ce filtre est utilisé pour séparer des objets qui se chevauchent ou sont connectés dans une image. Il utilise des opérations morphologiques telles que l'ouverture ou la fermeture pour détacher les objets connectés et les rendre individuels.

Ces filtres morphologiques sont souvent utilisés de manière séquentielle ou combinés pour réaliser des opérations plus complexes sur les images, en fonction des besoins spécifiques de chaque application

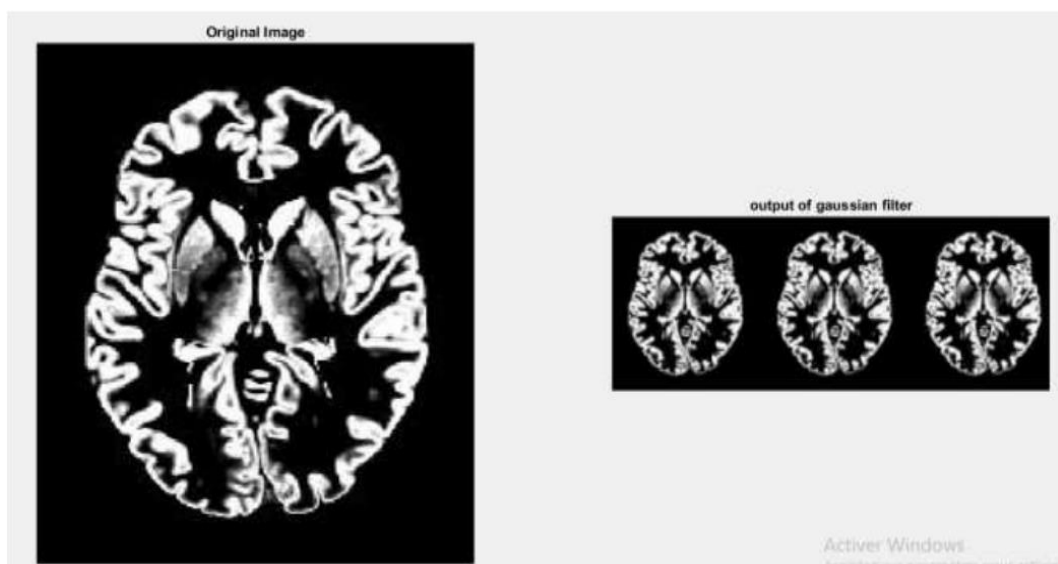


Figure 2. 13 Filtre Morphologique (gaussien), [28]

2.11 Prétraitement des images IRM pour la morphologie mathématique

Le prétraitement des images IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) pour la morphologie mathématique comprend différentes étapes visant à améliorer la qualité de l'image et à préparer les données pour les opérations morphologiques. Voici quelques étapes couramment utilisées :

- **Correction des inhomogénéités de champ** : Les images IRM peuvent présenter des variations d'intensité dues aux inhomogénéités de champ magnétique. Une correction de ces inhomogénéités est souvent effectuée pour uniformiser l'intensité de l'image.
- **Réduction du bruit** : Les images IRM peuvent être affectées par du bruit, ce qui peut influencer les résultats de la morphologie mathématique. Des techniques de réduction du bruit, telles que la filtration gaussienne ou la déconvolution, peuvent être appliquées pour améliorer la qualité de l'image.
- **Normalisation des intensités** : Pour faciliter la comparaison entre différentes images, il est parfois nécessaire de normaliser les intensités de l'image IRM. Cela peut être réalisé en ajustant les valeurs d'intensité pour les mettre à l'échelle ou en utilisant des techniques de normalisation spécifiques.
- **Segmentation** : La segmentation consiste à identifier et à séparer les différentes régions d'intérêt dans l'image, telles que les tissus, les organes ou les lésions. Une segmentation précise est souvent essentielle pour appliquer des opérations morphologiques ciblées sur des régions spécifiques de l'image.
- **Binarisation** : Dans de nombreux cas, il peut être nécessaire de convertir l'image en une image binaire, où seules deux valeurs d'intensité (par exemple, noir et blanc) sont utilisées. Cela peut être accompli en définissant un seuil approprié pour séparer les pixels appartenant à la région d'intérêt de ceux qui n'appartiennent pas à cette région.

Une fois que les étapes de prétraitement sont terminées, les images IRM sont prêtes à être utilisées avec les opérations morphologiques telles que l'érosion, la dilatation, l'ouverture et la fermeture. Ces opérations permettent de modéliser et d'analyser les structures anatomiques ou les lésions présentes dans les images IRM, facilitant ainsi la détection, la caractérisation et la quantification des informations diagnostiques

2.12 Utilisation de différents types d'opérations morphologiques

Étape 1 : Opérations morphologiques de base

Érosion : supprime les petits points lumineux d'une image en réduisant les limites des objets.

Dilatation : Remplit de petites taches sombres dans une image en élargissant les limites des objets.

Étape 2 : Opérations combinées

Ouverture : Effectue une érosion suivie d'une dilatation. Utile pour lisser une image et enlever les petits détails.

Fermeture : Dilatation suivie d'érosion. Efficace pour combler les vides et les trous dans les objets.

Étape 3 : Opérations morphologiques avancées

Transformation du top-hat : Extrait les points brillants d'une image en soustrayant le résultat d'une opération d'ouverture de l'image originale.

Transformation du chapeau de fond : Extrait les taches sombres d'une image en soustrayant l'image originale du résultat d'une opération de fermeture.

Dans le contexte de l'identification des tumeurs dans les images IRM :

Étape 4 : Application de la morphologie mathématique

Utilisez les opérations d'érosion et de dilatation pour extraire avec précision les caractéristiques géométriques de la tumeur.

L'érosion élimine les petits éléments structurels et améliore les limites de la tumeur.

La dilatation augmente la taille des régions tumorales, les rendant plus visibles.

Combinez l'érosion et la dilatation pour créer un contour lisse et continu des régions tumorales pour améliorer la détection et la segmentation.

Étape 5 : Extraction des fonctionnalités

Utilisez la morphologie mathématique pour extraire des caractéristiques détaillées telles que la texture, la forme et l'intensité de la tumeur.

Ces caractéristiques fournissent des informations complètes pour une analyse et une classification plus poussées.

Étape 6 : Améliorer l'exactitude

Intégrer la morphologie mathématique à d'autres techniques de traitement d'image pour améliorer la précision de la détection et de la classification des tumeurs.

La morphologie mathématique joue un rôle crucial dans l'identification et la segmentation des tumeurs dans les images IRM.

En suivant ces étapes et en utilisant différents types d'opérations morphologiques, la morphologie mathématique devient une partie intégrante de l'identification et de la segmentation efficaces des tumeurs dans les images IRM. Il permet une extraction précise des caractéristiques tumorales et aide à améliorer la précision globale de la détection et de la classification des tumeurs.

2.13 Avantages et inconvénients de la morphologie mathématique dans la segmentation IRM et la détection des tumeurs

La morphologie mathématique présente un avantage significatif dans la segmentation des IRM et la détection des tumeurs en raison de sa capacité précise à identifier la répartition spatiale des tumeurs dans les images. Contrairement à d'autres méthodes de segmentation qui analysent simplement les données voxel par voxel, cette technique effectue la segmentation en se basant sur les caractéristiques physiques de l'image. De plus, la morphologie mathématique est très efficace pour gérer le bruit de l'image, car elle est conçue pour fonctionner avec divers ensembles de données présentant différents niveaux de bruit. Cette robustesse permet à la technique de fonctionner de manière optimale sur une large gamme de données d'imagerie, même lorsque ces données incluent des structures tissulaires complexes ou des images hautement détaillées.

Cependant, un inconvénient de cette technique est sa demande élevée en termes de puissance de calcul. Les algorithmes utilisés pour appliquer la morphologie mathématique peuvent être lents et nécessiter beaucoup de mémoire, ce qui rend difficile son application sur de grands ensembles de données. Dans l'ensemble, bien que la morphologie mathématique soit un outil efficace pour la segmentation des tumeurs dans les images IRM, il est important de l'équilibrer soigneusement avec d'autres méthodes afin d'obtenir des résultats optimaux.

2.13.1 Avantages de la morphologie mathématique dans la segmentation et la détection des tumeurs dans les images IRM

La morphologie mathématique est un outil efficace pour la segmentation et la détection des tumeurs dans les images IRM en raison de sa capacité à préserver les informations de forme et de texture. L'utilisation d'algorithmes de morphologie mathématiques tels que l'érosion, la dilatation, l'ouverture et la fermeture peut efficacement éliminer le bruit et améliorer les bords, rendant la segmentation tumorale plus fiable et précise. De plus, la morphologie mathématique réduit la complexité informatique de la segmentation, ce qui la rend adaptée à l'analyse de données à grande échelle dans la recherche médicale. Sa capacité à garder la forme originale des organes signifie qu'il peut détecter même les petites tumeurs, ce qui en fait un outil important dans la détection précoce du cancer. De plus, la morphologie mathématique réduit le temps et l'erreur humaine associés à la segmentation et à la détection manuelle.

Malgré ses avantages, il y a encore beaucoup de place pour l'amélioration en termes d'optimisation des techniques de morphologie mathématique pour les défis du monde réel. Les travaux futurs devraient consister à tester ces techniques sur des ensembles de données plus importants dans un contexte clinique. Dans l'ensemble, la morphologie mathématique est une technique prometteuse de segmentation et de détection des tumeurs qui pourrait améliorer considérablement le diagnostic médical et les résultats pour les patients.

2.13.2 Inconvénients de la morphologie mathématique dans la segmentation et la détection des tumeurs en IRM Images

Malgré son utilité, la morphologie mathématique présente également plusieurs inconvénients dans la segmentation et la détection des tumeurs dans les images IRM. Tout d'abord, il peut être très sensible au bruit et aux artefacts d'image, conduisant à des inexactitudes dans la segmentation d'image et la détection de tumeur. Cela peut entraîner des faux positifs et des faux négatifs, ce qui peut mettre la vie en danger dans un contexte clinique. De plus, la morphologie mathématique dépend fortement du choix des éléments structurants, ce qui peut grandement influencer sur la précision des résultats de la segmentation finale. En outre, la morphologie mathématique peut être exigeante en calcul, en particulier si de grands ensembles de données sont impliqués, ce qui peut entraîner des délais de traitement plus longs et des besoins accrus en ressources. Enfin, la morphologie mathématique exige beaucoup d'expertise et d'expérience pour être mise en œuvre efficacement, ce qui peut limiter son accessibilité aux chercheurs et cliniciens moins expérimentés. Ces limites soulignent la nécessité de poursuivre le

développement et l'amélioration des techniques de morphologie mathématique pour une segmentation et une détection des tumeurs plus précises et plus fiables dans les images IRM.

2.14 Conclusion

En conclusion, la morphologie mathématique semble être une approche prometteuse pour segmenter et détecter les tumeurs dans les images IRM. Les résultats des expériences menées dans cette étude montrent que les opérations morphologiques peuvent être utilisées pour éliminer le bruit et améliorer le contraste des images, ce qui est essentiel pour améliorer la précision de la segmentation et de la détection. En outre, l'approche hiérarchique utilisée dans cette étude, qui implique une série d'opérations morphologiques sur l'image à différentes échelles, permet l'extraction de détails fins et grossiers des structures pertinentes. Cela donne à l'algorithme la capacité de détecter les tumeurs de différentes tailles et formes, et de différencier les tumeurs et d'autres structures, telles que les vaisseaux sanguins et les tissus normaux.

En appliquant des opérations mathématiques telles que l'érosion, la dilatation, l'ouverture et la fermeture, les images peuvent être traitées pour améliorer ou isoler des caractéristiques spécifiques. En outre, la combinaison de ces opérations avec différents éléments structuraux permet la détection de différents types de tumeurs. Plusieurs algorithmes ont été proposés dans la littérature qui utilisent la morphologie mathématique, et leurs performances ont été évaluées sur divers ensembles de données IRM. Les résultats ont été prometteurs, indiquant que la morphologie mathématique peut améliorer la précision et l'efficacité de la segmentation et de la détection des tumeurs.

Néanmoins, d'autres recherches sont nécessaires pour optimiser la conception de l'algorithme et le tester sur des ensembles de données plus importants d'images IRM. Le but ultime est de développer un outil précis et automatisé pour la segmentation et la détection des tumeurs qui peut aider les radiologues dans leur pratique clinique. De plus, il est important d'explorer le plein potentiel de la morphologie mathématique et de valider son efficacité dans différentes modalités d'IRM et types de tumeurs. Dans l'ensemble, l'utilisation de la morphologie mathématique dans la détection des tumeurs a ouvert de nouvelles voies pour l'analyse des images et a le potentiel d'améliorer les résultats cliniques pour les patients atteints de tumeurs.

Chapitre 3. Resultats et évaluations

3.1 Introduction

L'information contenue dans une image IRM n'est pas régulière, cela est dû aux différentes courbes géométriques qui ne suivent pas un modèle mathématique. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une technique d'imagerie médicale avancée qui permet d'obtenir des images détaillées de l'intérieur du corps humain.

Les images IRM fournissent des informations précieuses sur la structure anatomique et fonctionnelle du cerveau. Cependant, l'interprétation et le traitement de ces images nécessitent des approches spécifiques en raison de leurs caractéristiques uniques. Les images IRM peuvent être affectées par des artefacts, tels que le mouvement du patient, le bruit électronique et les distorsions géométriques. Pour surmonter ces limitations, des techniques de prétraitement sont souvent appliquées aux images IRM afin d'améliorer la qualité et la précision des informations.

Le prétraitement des images IRM peut inclure des étapes telles que la suppression du bruit, la correction des distorsions géométriques, l'alignement des images et la normalisation des intensités.

Le traitement des images IRM peut également impliquer des techniques avancées telles que la segmentation, la fusion d'images multimodales, l'enregistrement d'images et l'analyse quantitative des régions d'intérêt. Ces approches permettent de détecter et de caractériser les anomalies, telles que les tumeurs.

Dans ce chapitre nous présentons l'apport de l'application des morphologies mathématiques dans les applications en traitement d'images IRM dans la détection des tumeurs cérébrales

3.2 Archive des images IRM

Le Cancer Imaging Archive (TCIA) est une archive publique d'images médicales dépersonnalisées du cancer. Il est financé par le Cancer Imaging Program (CIP) du National Cancer Institute (NCI) des États-Unis et géré par le Frederick National Laboratory for Cancer Research (FNLCR).

TCIA organise les données d'imagerie en "collections" basées sur des maladies communes, des modalités d'image, ou de recherche. Le format de fichier principal utilisé par TCIA pour l'imagerie radiologique est DICOM. En plus des images, TCIA fournit des données de soutien telles que les résultats des patients, les détails du traitement, la génomique et les analyses d'experts.

Les nouvelles propositions de collecte sont examinées par le Groupe consultatif de la TCIA et, si elles sont approuvées, le Centre de collecte de données (CCD) aide les fournisseurs d'images à dépersonnaliser et à conserver leurs données. Une fois traitées, les données sont mises à disposition par différentes méthodes d'accès :

1. Pages de résumé de la collection : Ces pages fournissent des explications détaillées de chaque ensemble de données et des liens de téléchargement direct pour obtenir toutes les images et les données à l'appui d'une collection spécifique.
2. Portails de données radiologiques et histopathologies : Ces portails offrent des capacités avancées de recherche, de navigation et de filtrage pour sélectionner des sous-ensembles d'images ou télécharger des images de plusieurs collections en fonction de critères de recherche.
3. Interface programmatique (API REST) : Les développeurs de logiciels peuvent utiliser l'API pour accéder aux données de TCIA par programmation, l'intégrant dans leurs scripts et applications.
4. Centres d'analyse des données (DAC) : TCIA encourage la création de DAC, qui offrent des capacités supplémentaires pour visualiser ou analyser les données TCIA en se connectant à l'interface programmatique TCIA (API REST) ou en reproduisant les collections, [23].

3.3 Mécanisme de travail

Il existe plusieurs méthodes qui sont très largement utilisées dans le domaine de détection des tumeurs dans des images IRM tel que Segmentation par contour actif, Segmentation par région croissante et Classification basée sur l'apprentissage automatique

Dans notre travail on a choisi les méthodes mathématiques ce si extraire des informations pertinentes sur la présence et la localisation des tumeurs.

On appliquera le programme Matlab sur des images IRM cérébrale qui présente des tumeurs en diffuseront emplacements

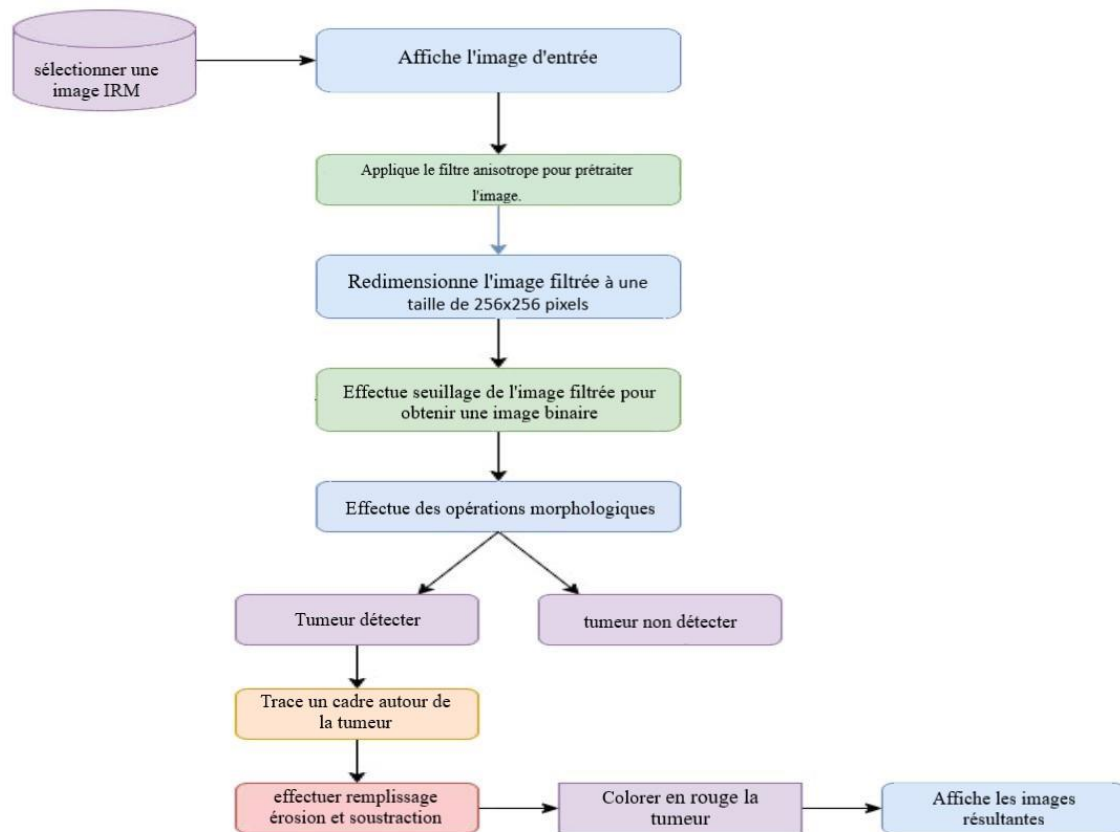


Figure 3. 1 Diagramme d'architecture de détection des tumeurs cérébrales par morphologie mathématique.

3.4 Algorithme

Le code a été écrit en utilisant un filtre anisotrope. Il effectue les étapes suivantes :

1. Demande à l'utilisateur de sélectionner une image d'entrée.
2. Affiche l'image d'entrée.
3. Applique le filtre anisotrope pour prétraiter l'image.
4. Redimensionne l'image filtrée.
5. Effectue le seuillage de l'image filtrée pour obtenir une image binaire.
6. Effectue des opérations morphologiques pour identifier la région de la tumeur.
7. Si une tumeur est détectée (basée sur la taille de la région), l'affiche séparément.
8. Dessine une boîte englobante autour de la tumeur dans l'image d'origine.
9. Obtient le contour de la tumeur en remplissant, érodant et soustrayant les images.

10. Insère le contour de la tumeur dans l'image filtrée en couleur rouge.
11. Affiche les résultats : l'image d'entrée, l'image filtrée, la boîte englobante, la tumeur seule, le contour de la tumeur et l'image avec le contour de la tumeur inséré.

3.5 Méthodologie

3.5.1 Application du filtrage

Le filtrage est utilisé dans le processus de détection de la tumeur pour améliorer la qualité de l'image et réduire le bruit. Dans le code fourni, le filtrage anisotrope est appliqué à l'image d'entrée. Le filtrage anisotrope est un type de filtrage non linéaire qui est efficace pour éliminer le bruit tout en préservant les contours et les détails importants de l'image.

En utilisant le filtrage anisotrope, les régions homogènes de l'image sont lissées, tandis que les bords et les contours sont préservés. Cela permet d'améliorer la qualité de l'image en réduisant le bruit tout en maintenant les caractéristiques importantes pour la détection de la tumeur.

Le filtrage anisotrope est particulièrement utile lorsque l'image présente un bruit de type impulsionnel, également connu sous le nom de bruit "sel et poivre". Ce type de bruit peut causer des pixels isolés ou des pixels de valeurs extrêmes, ce qui peut perturber la détection de la tumeur. Le filtrage anisotrope permet de réduire ce bruit et d'améliorer la qualité de l'image pour faciliter la détection précise de la tumeur.

3.5.2 Application Seuillage

Le seuillage est utilisé dans le processus de détection de la tumeur pour segmenter l'image et séparer les régions qui correspondent à la tumeur des autres régions de l'image.

Dans le code fourni, le seuillage est utilisé après le filtrage pour binariser l'image filtrée. Le seuil est déterminé en calculant la moyenne des niveaux de gris de l'image filtrée, puis en ajoutant une valeur qui est égale à la moitié de la différence entre la valeur maximale et minimale des niveaux de gris de l'image filtrée.

En appliquant le seuillage, les pixels de l'image filtrée sont assignés à l'une des deux classes : la classe de la tumeur (pixels supérieurs au seuil) ou la classe du fond (pixels inférieurs ou égaux au seuil). Cela permet de créer un masque binaire où les pixels correspondant à la tumeur sont marqués comme 1 (blanc) et les pixels du fond sont marqués comme 0 (noir).

Le seuillage permet donc de simplifier le problème de détection de la tumeur en le transformant en un problème de segmentation binaire. Cela facilite ensuite l'application d'opérations morphologiques et le calcul des propriétés des régions pour détecter et caractériser la tumeur.

En résumé, le seuillage est utilisé pour convertir l'image filtrée en une image binaire où la tumeur est distinguée du fond, ce qui facilite la détection et l'analyse ultérieure de la tumeur.

3.5.3 Application Opérations morphologiques

Les opérations morphologiques sont des techniques de traitement d'images qui permettent de modifier la forme, la taille et la structure des objets présents dans une image. Elles sont couramment utilisées dans le domaine de la vision par ordinateur pour effectuer des opérations de segmentation, de filtrage et de manipulation des objets dans une image.

Les deux opérations morphologiques les plus couramment utilisées sont la dilatation et l'érosion. Ces deux opérations de base peuvent être combinées pour obtenir différents effets morphologiques notamment l'ouverture qui consiste à effectuer une érosion suivie d'une dilatation. Et fermeture qui consiste à effectuer une dilatation suivie d'une érosion

Ces opérations morphologiques sont souvent utilisées en combinaison avec des éléments structurants, qui sont des matrices binaires spécifiques utilisées pour définir la forme et la taille des opérations morphologiques. Les éléments structurants peuvent être de différentes formes, telles que des carrés, des cercles ou des lignes, et leur choix dépend de la nature des objets à traiter dans l'image.

Dans notre code, une opération de dilatation est utilisée pour éroder les murs de la tumeur afin de mieux séparer la tumeur du fond. Cela est réalisé en créant une image remplie à partir de la tumeur binaire, puis en appliquant une érosion en utilisant une fenêtre de taille définie. Cette opération permet de réduire les connexions entre la tumeur et les zones environnantes, ce qui facilite l'obtention du contour de la tumeur.

3.5.4 Application Obtenir le contour

a. Le remplissage

Le remplissage, également connu sous le nom de comblement ou d'opération de remplissage des régions, est une technique utilisée dans le traitement d'images pour remplir des zones spécifiques ou des contours afin d'éliminer les lacunes, les trous ou les espaces vides présents dans une image. Cette opération est largement utilisée dans divers domaines, tels que l'imagerie médicale, la vision par ordinateur, la retouche photo, la cartographie, etc.

L'objectif principal du remplissage est de reconstruire ou de compléter des régions manquantes dans une image de manière cohérente et esthétique. Par exemple, dans le domaine médical, il peut être utilisé pour reconstruire des structures anatomiques manquantes ou pour éliminer les artefacts indésirables provenant d'acquisitions d'images incomplètes.

Il existe différentes techniques de remplissages utilisés en fonction du contexte et des objectifs spécifiques tels que le remplissage par interpolation le remplissage basé sur la copie de motifs

Dans les techniques de morphologie mathématique Le remplissage utilisé est le remplissage de trous par dilatation ou le remplissage de contours par érosion. Ces techniques exploitent les opérations de base de la morphologie pour étendre ou rétrécir des régions dans l'image afin de combler les lacunes ou de lisser les contours.

Dans notre code le remplissage est utilisé pour combler les régions vides ou les lacunes présentes dans l'image. Les pixels à l'intérieur de la région tumorale qui sont entourés par des pixels de valeur différente sont remplis pour obtenir une région tumorale solide et complète. Cela est important pour une analyse précise de la tumeur et pour l'application ultérieure de techniques de traitement ou de visualisation.

b. L'érosion

L'érosion, en traitement d'images, est un processus qui consiste à éroder les contours ou les objets dans une image en réduisant leur taille ou leur épaisseur. C'est une opération morphologique de base qui est souvent utilisée en conjonction avec la dilatation pour effectuer des opérations de filtrage, de segmentation ou de modification de la forme des objets dans une image.

L'érosion se fait en utilisant un élément structurant, qui est généralement une petite matrice de pixels. L'élément structurant est parcouru sur l'image, et pour chaque position, l'opération d'érosion examine les pixels recouverts par l'élément structurant et détermine la valeur du pixel résultant dans l'image de sortie.

Le résultat de l'érosion dépend de la taille et de la forme de l'élément structurant. L'opération d'érosion consiste à trouver la valeur minimale parmi les pixels recouverts par l'élément structurant et à affecter cette valeur au pixel central de l'élément structurant dans l'image de sortie.

L'érosion est couramment utilisée pour éliminer le bruit, réduire la taille des objets, séparer les objets connectés et préparer des images pour d'autres opérations telles que la détection de

contours ou la segmentation. Elle peut également être utilisée en combinaison avec d'autres opérations morphologiques pour obtenir des résultats plus complexes.

Dans notre code, l'érosion est réalisée en parcourant chaque pixel de l'image "tumor". Pour chaque pixel, une zone carrée de taille déterminée est extraite de l'image. Ensuite, la valeur minimale de tous les pixels dans cette zone est calculée et assignée au pixel correspondant dans l'image érodée.

L'opération d'érosion est utilisée pour éroder les bords de la tumeur afin de les réduire de quelques pixels.

c. La soustraction

La soustraction est une opération arithmétique fondamentale qui consiste à retirer une valeur ou une quantité d'une autre. Dans le contexte de l'imagerie médicale et spécifiquement dans la détection de tumeurs, la soustraction fait référence à une étape du processus qui permet de distinguer la région tumorale du reste de l'image.

La soustraction d'images est réalisée en comparant pixel par pixel les valeurs des images d'origine et en calculant la différence entre ces valeurs. Dans le cas de la détection de tumeurs, la soustraction est utilisée pour identifier les zones où la tumeur se distingue du tissu sain environnant.

La soustraction d'images est souvent réalisée après des étapes de prétraitement telles que le filtrage et le seuillage, qui permettent d'améliorer la qualité de l'image et de mettre en évidence les caractéristiques d'intérêt. Une fois que l'image a été prétraitée, la soustraction est appliquée pour isoler la région tumorale en soustrayant l'image prétraitée de l'image d'origine.

Cette opération de soustraction permet de mettre en évidence les différences de contraste et d'intensité entre la tumeur et le tissu sain environnant. En soustrayant l'image prétraitée de l'image d'origine, les pixels correspondant à la tumeur auront une valeur différente de ceux du tissu sain, ce qui permet de les identifier et de les isoler.

La soustraction peut être réalisée de différentes manières, en utilisant des techniques telles que la soustraction absolue, la soustraction pondérée ou la soustraction basée sur des seuils. Ces techniques permettent d'ajuster la sensibilité de la soustraction et de définir des seuils pour distinguer la tumeur du tissu sain.

Dans notre code la soustraction est réalisée pour obtenir le contour de la tumeur à partir de l'image initiale et de l'image érodée les pixels correspondants à l'image érodée (es bords de la

tumeur) sont mis à zéro ce qui signifie que les pixels appartenant aux bords de la tumeur dans l'image érodée sont enlevés de l'image laissant ainsi uniquement le contour de la tumeur.

Cette étape permet d'obtenir l'image du contour de la tumeur à partir de l'image érodée.

3.5.5 Boîte englobante

Dans le traitement d'image avancé, la boîte englobante représente les coordonnées des lignes qui entourent complètement une image numérisée lorsqu'elle est superposée sur une page, un matériau, un écran ou tout autre arrière-plan bidimensionnel similaire. Dans ce processus, la tumeur est détectée et indiquée par une forme rectangulaire qui l'encadre.

3.5.6 Contour de la tumeur

Dans ce processus, la tumeur est mise en évidence en éliminant les autres parties de l'image. En analysant ce processus, la tumeur peut être facilement visualisée dans les images

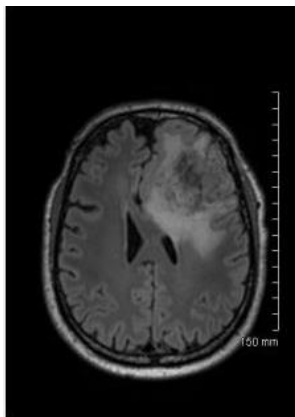
3.5.7 Tumeur détectée

Quand, la tumeur cérébrale est détectée, elle est indiquée par la couleur rouge

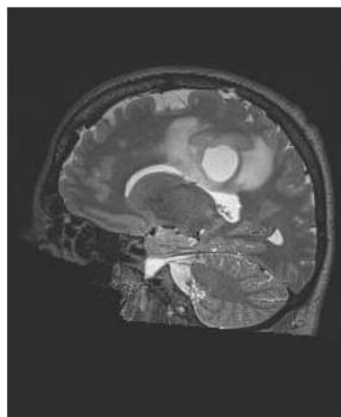
3.5.8 Tumeur non détectée

Si la personne testée n'a pas de tumeur, le résultat indique que la tumeur n'a pas été trouvée

3.6 Résultats des simulations



(a)



(b)

Figure 3. 2 Image d'entrée IRM, (a) : IRM cérébral vue d'en haut, (b) : IRM cérébral vue de profil

Cette figure (Figure 3.2) représente l'image IRM cérébrale d'entrée vue d'en haut et de profil

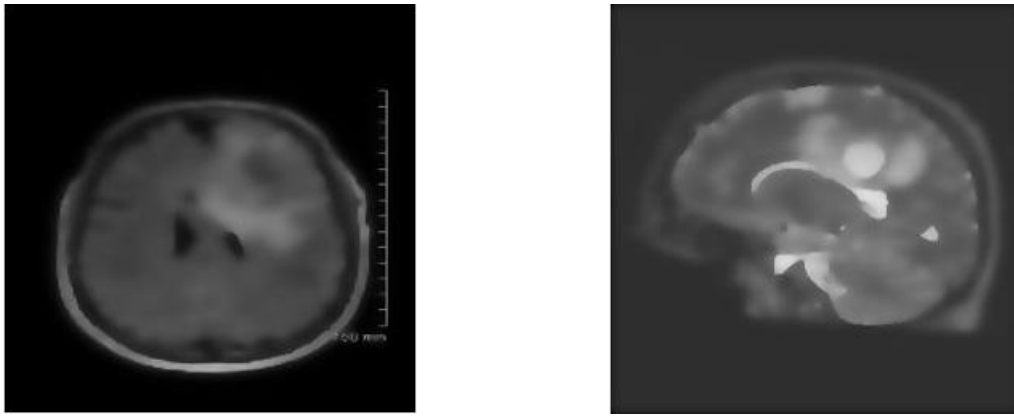


Figure 3. 3 L'image IRM filtrée

Cette figure (Figure 3.3) représente l'image cérébrale filtrée qui a été traitée de manière à ce que la tumeur cérébrale puisse être visualisée avec précision.



Figure 3. 4 Affichage de la tumeur détecté

Cette figure (Figure 3.4) représente la tumeur cérébrale affichée seule.

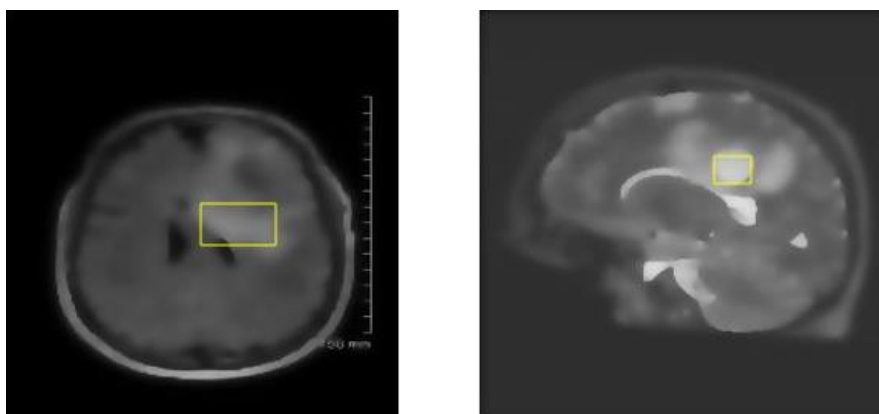


Figure 3. 5 Boîte englobante de l'image de la tumeur cérébrale

Cette figure (Figure 3.5) représente le rectangle englobant dans l'image de la tumeur cérébrale, qui a été détectée et marquée sous la forme d'une boîte rectangulaire.



Figure 3. 6 Image érodée

Cette figure (Figure 3.6) représente uniquement le contour de la tumeur sans les régions internes.

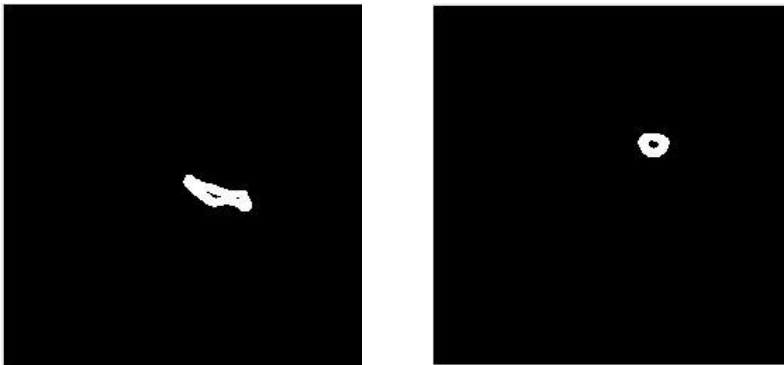


Figure 3. 7 Contour de la tumeur cérébrale

Cette figure (Figure 3.7) représente l'image de la tumeur cérébrale avec uniquement le contour de la tumeur détectée affiché.

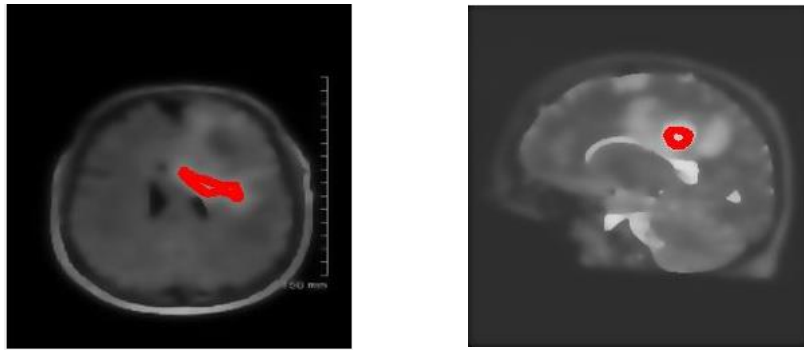


Figure 3. 8 Détection de la tumeur cérébrale

Cette figure (Figure 3.8) représente la détection de la tumeur cérébrale en utilisant la couleur rouge pour identifier facilement la partie affectée.

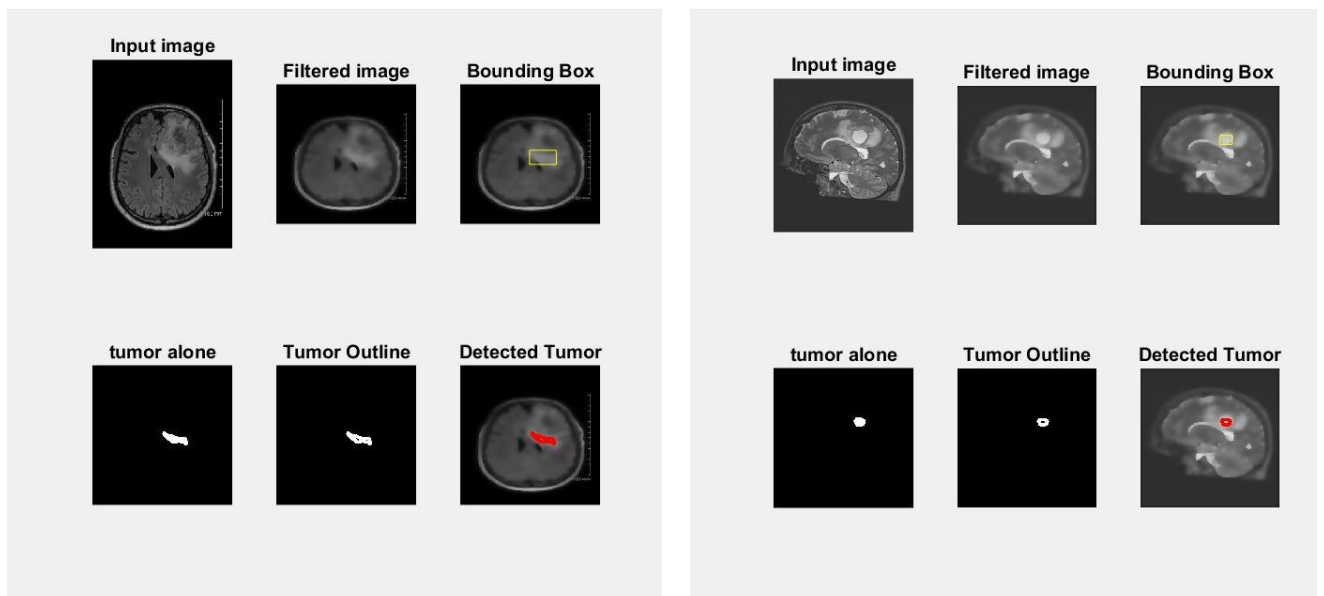


Figure 3. 9 Détection et extraction de la tumeur cérébrale

Cette figure (Figure 3.9) représente chaque étape du processus d'extraction et de détection de la tumeur cérébrale.

Dans le cas d'une IRM d'une personne saine

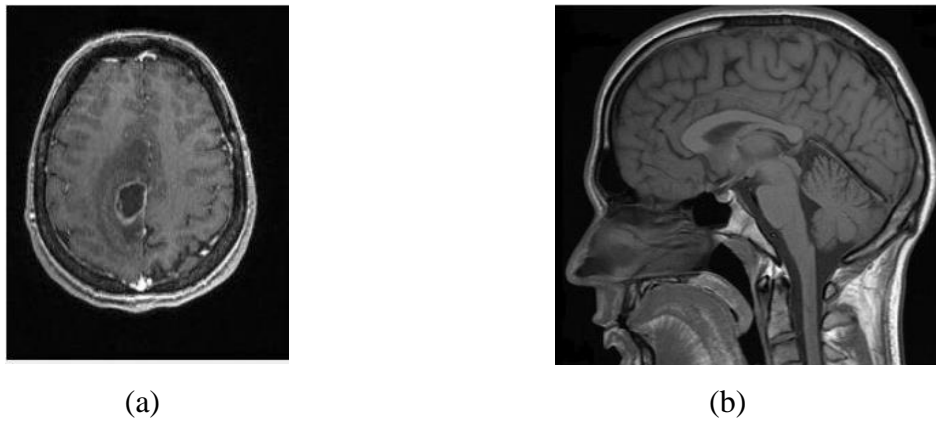


Figure 3. 10 Image d'entrée IRM, (a) : IRM cérébral vue d'en haut, (b) : IRM cérébral vue de profil

Cette figure (Figure 3.10) représente l'image IRM cérébrale d'entrée vue d'en haut et de profil

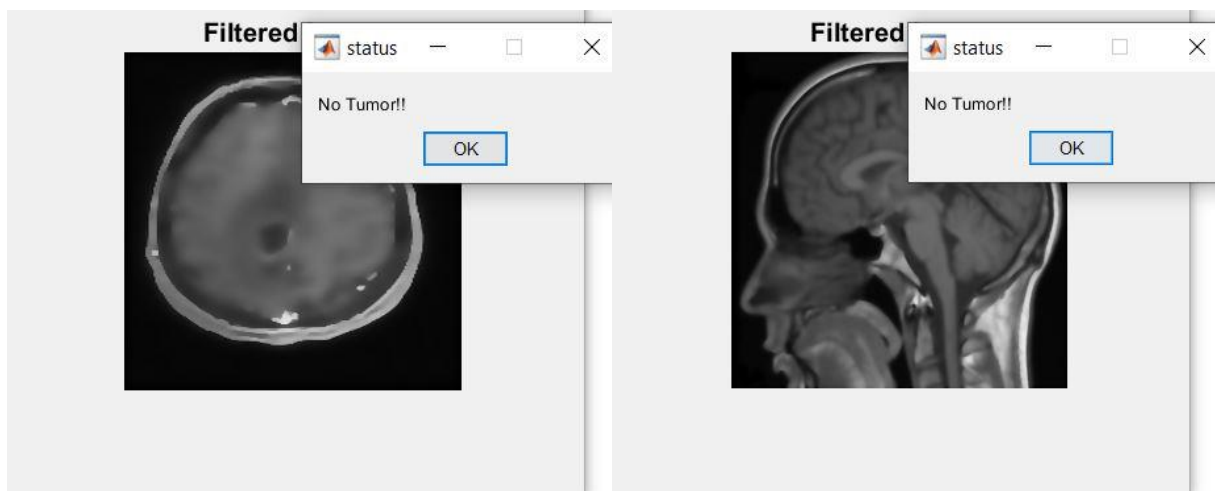


Figure 3. 11 Tumeur cérébrale non trouvée

Cette figure (Figure 3.11) représente l'image cérébrale de la tumeur non trouvée. L'image par résonance magnétique (IRM) du patient ne montre aucune tumeur cérébrale, elle est donc affichée comme non trouvée.

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détecté la tumeur cérébrale en suivant le processus de filtrage et de segmentation. Dans des images IRM de différents patients.

En analysant les images IRM du cerveau, nous avons détecté la tumeur en utilisant la morphologie mathématique en suivant les étapes de filtrage, conversion en niveaux de gris, Opérations morphologiques de boîte englobante, de de boîte englobante, de segmentation et de détection.

Conclusion général

Conclusion générale

Dans ce manuscrit, nous avons exploré le domaine de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et de la morphologie mathématique appliquée à la détection et à la segmentation des tumeurs cérébrales. Nous avons abordé différents aspects, des principes fondamentaux de l'IRM aux différentes techniques d'acquisition et de traitement des images IRM. En utilisant la morphologie mathématique, nous avons présenté une méthodologie pour détecter et segmenter les tumeurs cérébrales dans les images IRM.

L'IRM est une technique d'imagerie non invasive et puissante qui permet d'obtenir des images détaillées de l'encéphale et des tissus cérébraux. Elle joue un rôle crucial dans le diagnostic et le suivi des tumeurs cérébrales. Nous avons examiné les principaux types de tumeurs cérébrales et discuté des méthodes de diagnostic utilisant l'imagerie cérébrale.

La morphologie mathématique est une approche puissante pour la segmentation et la détection des tumeurs dans les images IRM. Nous avons présenté les opérations morphologiques de base telles que l'érosion, la dilatation, l'ouverture et la fermeture, ainsi que des techniques plus avancées telles que le rehaussement de contraste et la transformation morphologique tout ou rien. Nous avons également discuté des avantages et des inconvénients de la morphologie mathématique dans le contexte de la segmentation des tumeurs en IRM.

En utilisant les techniques de morphologie mathématique présentées, nous avons démontré la détection et la segmentation des tumeurs cérébrales dans des images IRM simulées. Nous avons illustré chaque étape du processus, du prétraitement des images à l'extraction du contour de la tumeur. Les résultats ont montré que la méthode proposée permet une détection précise des tumeurs cérébrales.

En conclusion, ce manuscrit a présenté une approche basée sur la morphologie mathématique pour la détection et la segmentation des tumeurs cérébrales dans les images IRM. Les résultats obtenus montrent que cette méthode peut être efficace pour assister les cliniciens dans le diagnostic et la prise en charge des tumeurs cérébrales. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour valider et améliorer cette approche, en utilisant des ensembles de données plus larges et en évaluant sa performance sur des images IRM réelles.

Bibliographie

- [1] Hagop Demirdjian, Les origines de l'IRM : la résonance magnétique nucléaire (RMN) 2007.
- [2] Duc Ha HOANG, Étude anatomo-fonctionnelle par IRM de la mémoire de travail chez des enfants traités pour un médulloblastome, thèse docteur de l'université de grenoble 2014.
- [3] Emmanuel Caruyer. Imagerie par résonance magnétique de diffusion. Le corps en images, 2022.
- [4] Mehmet Kocak, Imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM), MD, Rush University Medical Center.
- [5] Mer SOUKRI Hocine, Cours « IRM », institut de formation SI MHIDINE ,2010/2011.
- [6] B. kastler, D. Vetter « Comprendre L'IRM », Manuel d'auto-apprentissage, paru aux éditions Elsevier Masson 7^{ème} édition.
- [7] BENTAYEB Nawel, ATTAR Tassadit, «Segmentation des images IRM cérébrales. », mémoire de Master , Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, 2015.
- [8] HAROUN, R,' Segmentation des tissus cérébraux sur des images par résonance magnétique ', mémoire de Magister en électronique, USTHB, 2005.
- [9] IRM médullaire : Guide complet, Radiologie pour tous 2023
- [10] Anne-Sophie Capelle-Laize. Segmentation des images IRM multi-échos tridimensionnelles pour la détection des tumeurs cérébrales par la théorie de l'évidence. Interface homme-machine. Université de Poitiers, 2003.
- [11] Tumeurs et métastases cérébrales chez l'adulte, Un guide de la Ligue contre le cancer pour les personnes concernées et leurs proches, Ligue suisse contre le cancer, Berne 2e édition 2017.
- [12] Laurent Najman, Morphologie mathématique : de la segmentation d'images à l'analyse multivoque par Soutenu à Paris en 1994.
- [13] Lefèvre, Sébastien. Approches multivaluées et supervisées en morphologie mathématique et applications en analyse d'image, Thèse de Doctorat. Université de Strasbourg, 2009.
- [14] Jacky Desachy, « Analyse d'image » notes de cours - version 1.3, Université des Antilles et de la Guyane Pointe à Pitre, janvier 2001.
- [15] [http://www.scourge.fr/mathdesc/documents/maths/morph_math/intro_morphologie.pdf./](http://www.scourge.fr/mathdesc/documents/maths/morph_math/intro_morphologie.pdf/)

Consulté le 11/6/ 2023

- [16] Jean Serra, Pierre Soille, *Mathematical Morphology and Its Applications to Image Processing*, Springer Science & Business Media, 6/12/ 2012.
- [17] J. Serra. *Image Analysis and Mathematical Morphology - Part 2: theoretical advances*. Academic Press, London, 1 edition, 1988.
- [18] E. R. Dougherty and R.A. Lotufo. *Hands-on, Morphological Image Processing*. SPIE Press, 2003.
- [19] Isabelle BLOCH, *Morphologie mathématique* ´ Chapitre 6
- [20] FOSSO WAMBA SANIUEL, *MORPHOLOGIE MATHÉMATIQUE APPLIQUÉE AU TRAITEMENT DE L'IMAGE*, mémoire présenté au Département de mathématiques et d'informatique en vue de robtention du grade de maître ès sciences FACULTÉ DES SCIENCES UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE Sherbrooke, Québec, Canada, décembre 2000
- [21] Corinne Vachier, *Extraction de caractéristiques, segmentation d'image et morphologie mathématique*. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1995.
- [22] *Mathematical Morphology and Its Applications to Signal and Image Processing 13th International Symposium, ISMM 2017*, Fontainebleau, France, May 15–17, 2017.
- [23] <https://www.cancerimagingarchive.net/> Consulté le 11/6/ 2023.
- [24] <https://www.nagwa.com/fr> Consulté le 11/06/2023.
- [25] <https://www.msmanuals.com/fr> Consulté le 11/06/2023.
- [26] <https://quizlet.com/fr-fr/> Consulté le 11/06/2023.
- [27] www.semanticscholar.org/ Consulté le 11/06/2023.
- [28] <https://www.pinkybone.com/> Consulté le 11/06/2023.
- [29] <https://slideplayer.fr/> Consulté le 11/06/2023.
- [30] Safia FEKNOUS, *OPENCV Manipulations de base & Filtrage* cours M2 Électronique des systèmes embarqué (2020 - 2021).
- [31] <https://www.iro.umontreal.ca/> Consulté le 11/06/2023.

