

RAPPORT DE TPI

Deep Bridge

Réalisé par

ACHOURI Abdenour
BONE BRAVO Ernesto
LAPSHINA Valeriia
VINCENT Yehoudi
ZANAGLIA Paul

Encadré par

GALLI Gregory
SYSKA Michel

Résumé

Ce document offre une synthèse de notre projet d'innovation réalisé dans le cadre du Master MBDS. Notre projet, intitulé DEEP BRIDGE, s'inscrit dans la continuité des projets DEEP BRIDGE précédemment prototypés par les étudiants du Master MIAGE-MBDS depuis 2016, en collaboration avec le CHU de NICE. L'objectif principal de notre projet est d'explorer et de développer un environnement numérique dédié à l'analyse de l'imagerie médicale, en vue d'évaluer les possibilités de prédiction des complications chez les patients atteints de sténose carotidienne grâce à l'utilisation du Deep Learning. Notre solution vise spécifiquement à identifier l'emplacement de la sténose et à estimer sa gravité. Pour atteindre ces objectifs ambitieux, nous avons utilisé une variété d'outils et de technologies. En ce qui concerne la gestion de projet, nous avons opté pour la méthode en Cascade en raison de sa flexibilité et de sa capacité à s'adapter aux besoins changeants du projet. Par ailleurs, nos choix technologiques se sont appuyés sur Python 3, ainsi que sur plusieurs bibliothèques spécialisées telles que Pydicom, Numpy et Pillow.

Abstract

This document provides a summary of our innovation project conducted as part of the MBDS Master's program. Our project, titled DEEP BRIDGE, follows in the footsteps of the DEEP BRIDGE projects previously prototyped by students of the MIAGE-MBDS Master's program since 2016, in collaboration with the CHU de NICE. The main objective of our project is to explore and develop a digital environment dedicated to medical imaging analysis, with the aim of assessing the potential for predicting complications in patients with carotid stenosis using Deep Learning techniques. Our solution specifically aims to identify the location of the stenosis and estimate its severity. To achieve these ambitious goals, we employed a variety of tools and technologies. Regarding project management, we chose the Waterfall method due to its flexibility and ability to adapt to changing project requirements. Additionally, our technological choices relied on Python 3, as well as several specialized libraries such as Pydicom, Numpy, and Pillow.

1 Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet. Nous adressons nos remerciements particuliers au Professeur M. Gregory Galli, notre superviseur interne, pour sa disponibilité constante et ses remarques pertinentes qui ont été d'un appui considérable tout au long du projet. Son accompagnement nous a encouragés à remettre continuellement en question nos solutions. Nous tenons également à exprimer notre gratitude à l'ensemble du corps enseignant et administratif de l'Université Côte d'Azur, notamment La MIAGE, pour la qualité exceptionnelle de l'enseignement dispensé tout au long de cette année. Nous souhaitons exprimer notre sincère reconnaissance au Professeur M. Donati, qui nous a guidés dans la reformulation du problème vers une approche plus simple et plus compréhensible.

Table des matières

1	Remerciements	3
2	Glossaire et Acronymes	7
3	Introduction	8
4	État de l'art	9
5	Présentation	10
5.1	Contexte du projet	10
5.2	Angioscanner de la sténose carotidienne	12
5.3	Problématique technique - Objectif du projet	12
6	Démarche du projet	14
6.1	Méthode de gestion de projet utilisé	14
6.2	Outils et frameworks utilisés	15
6.3	Rôles et responsabilités	17
6.4	Contraintes et risques du projet	17
7	Réalisation	18
7.1	Planification	18
7.2	Implémentation de la coupe	18
7.2.1	Etape 1 : Génération d'une image à partir d'un angioscanner	18
7.2.2	Etape 2	19
7.3	Difficultés rencontrées	23
8	Résultats	25
8.1	Introduction à l'approche initiale	25
8.2	Constat d'Efficacité et Optimisation	26
8.3	Introduction du Multi-Processing	26
8.4	Développement de l'application de coupe d'Image	26
8.5	Perspectives	28
9	Ressources GitHub et Orientation	30

Table des figures

1	Anatomie de la Carotide	10
2	Sténose carotidienne	11
3	Méthodologie en cascade modifié - Métohde Waterfall	14
4	Logo de Visual Studio Code	15
5	Logo de Python	15
6	Logo de Numpy	16
7	Logo de Pydicom	16
8	Logo de Pillow	16
9	Diagramme de Gantt	18
10	Résultat de la découpe qui est une fusion du tableau des pixels	19
11	Stratégies de coefficients pour la génération de coupes	20
12	Algorithme de Bresenham	21
13	Algorithme DDA	22
14	Algorithme de Xiaolin	23
15	Algorithmes	25
16	Application de coupe d'image	27

Liste des tableaux

1	Composition de l'équipe	17
2	Contraintes et risques sur le projet	17

2 Glossaire et Acronymes

Angioscannaire : Examen d'imagerie médical qui permet la visualisation des vaisseaux sanguins.

Artères : Conduisent le sang du cœur vers les tissus. Les artères transportent en général le sang riche en oxygène vers les organes.

Artériole : Petit artère qui dévie de l'artère pour assurer le lien entre l'artère et les capillaires. Les artères permettent de transmettre le sang du cœur aux organes, contrairement aux veines qui transmettent le sang des organes au cœur.

Athérome : Lésion de la surface interne des artères provoquée par un dépôt de cholestérol.

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

Carotide : Une des artères qui apporte le sang au cerveau.

DICOM : Digital Imaging and Communications in Medicine

Endartériectomie carotide : Technique classique où, par une petite incision dans le cou, le chirurgien "nettoie" l'artère carotide interne de la plaque calcifiée, puis suture l'artère en élargissant celle-ci. Cette chirurgie est la technique de référence du traitement de la sténose carotidienne.

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

Ischémie : Anémie locale, arrêt ou insuffisance de la circulation du sang dans un tissu ou un organe.

Sténose : Un rétrécissement de l'artère, généralement dû à une athérosclérose (accumulation de graisse et calcium dans la paroi). Cette accumulation forme une plaque qui s'épaissit progressivement et réduit la circulation du sang.

3 Introduction

Le projet Deep Bridge présente des problématiques importantes dans le domaine médical. Il permet, grâce à la collaboration entre le master MBDS et le CHU, de trouver une solution innovante qui facilite le travail des médecins.

Notre objectif central est de concevoir, évaluer et optimiser un modèle de Deep Learning capable de prédire de manière précise les éventuelles complications qui peuvent survenir à la suite d'une intervention chirurgicale visant à traiter une sténose carotidienne. Après une analyse approfondie de l'outil prototype développé par les étudiants des années précédentes, il est devenu évident que celui-ci ne répondait pas pleinement aux exigences et aux normes d'exploitabilité nécessaires pour une utilisation médicale efficace.

Nous avons travaillé sur l'amélioration de ce prototype grâce aux quatre dossiers patients fournis par le CHU de Nice.

4 État de l'art

Les avancées technologiques de ces dernières décennies ont considérablement amélioré de nombreux aspects de notre quotidien. Ces progrès se manifestent notamment par l'évolution des technologies informatiques et électroniques, contribuant ainsi naturellement à l'augmentation de notre espérance de vie. Ce phénomène est particulièrement notable dans le secteur médical, qui figure parmi les principaux bénéficiaires de ces avancées.

L'IRM (Imagerie par **R**ésonance **M**agnétique) est une technique d'imagerie médicale de pointe qui permet d'obtenir des images détaillées des organes internes et des tissus du corps humain sans avoir recours à des rayonnements ionisants, tels que les rayons X. Au lieu de cela, elle repose sur l'utilisation de champs magnétiques puissants et d'ondes radio. Cette méthode a l'avantage de fournir des images anatomiques d'une grande résolution tout en évitant les risques associés aux radiations ionisantes, ce qui en fait un outil précieux en médecine diagnostique. Les contributions de Paul Lauterbur et Peter Mansfield ont révolutionné le domaine de l'imagerie médicale en introduisant des concepts clés, tels que l'utilisation de gradients magnétiques et la rapidité d'acquisition d'images. Ces avancées ont été essentielles dans le progrès de la médecine diagnostique, faisant de l'IRM une technique d'imagerie largement répandue. Le domaine de l'imagerie médicale continue de se perfectionner avec l'utilisation du format DICOM (**D**igital **I**maging and **C**ommunications in **M**edicine), un standard informatique spécialement conçu pour le stockage, la transmission et l'échange d'informations médicales, y compris les images médicales. Il joue un rôle essentiel dans ce domaine, notamment pour les images IRM. Chaque image est accompagnée de métadonnées normalisées qui permettent l'interopérabilité, comprenant des informations sur le patient, le protocole d'acquisition (tel que la gestion des agents de contraste) et d'autres données pertinentes.

Cependant, malgré les avancées notables dans le domaine de l'IRM et de l'imagerie médicale en général, il subsiste des défis à relever. Deep Bridge est un sujet de TPI qui a été abordé par différents groupes d'étudiants ces dernières années. Bien qu'une application de visualisation des images en 3D ait été développée, elle s'est avérée peu efficace. Dans le cadre de notre projet, nous visons à apporter des modifications significatives à cette application, en intégrant notamment la possibilité de générer des coupes paramétrées. Cette évolution témoigne de notre engagement à améliorer continuellement les outils et les technologies médicales pour répondre aux besoins

croissants de la communauté et à l'importance de l'innovation dans le secteur de l'imagerie médicale.

5 Présentation

5.1 Contexte du projet

L'artère carotide primitive, localisée dans la région du thorax et du cou, joue un rôle essentiel en assurant l'approvisionnement sanguin de la majeure partie de la tête et d'une portion du cou. Cette artère se subdivise en deux branches distinctes au niveau de la partie médiane du cou : l'artère carotide interne, qui est responsable de l'irrigation sanguine du cerveau, et l'artère carotide externe, qui assure la vascularisation du cou et du visage en fournissant l'oxygène nécessaire à leur bon fonctionnement. (Figure 1)

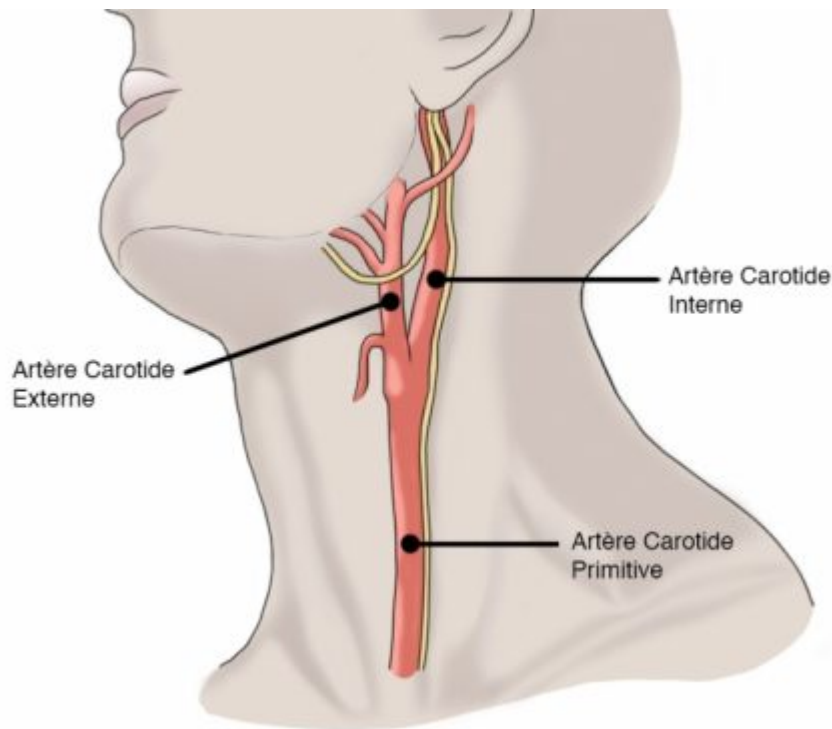


FIGURE 1 – Anatomie de la Carotide

La sténose carotidienne correspond à un rétrécissement pathologique de l'artère carotidienne. Ce rétrécissement entraîne plusieurs conséquences néfastes. (Figure 2) Tout d'abord, il restreint le flux sanguin vers le cerveau, ce qui diminue l'apport en oxygène à cette région critique du corps.

Il est crucial de noter que même une brève privation d'oxygène, ne serait-ce que pendant trois minutes, peut entraîner la mort des cellules cérébrales.



FIGURE 2 – Sténose carotidienne

De plus, ce rétrécissement peut potentiellement provoquer des complications supplémentaires. Il peut favoriser la formation d'un anévrisme, caractérisé par l'accumulation de sang et la formation de caillots sanguins dans la zone affectée. Quand la sténose de la carotide n'est pas importante, elle ne provoque pas de symptômes, il s'agit d'une sténose asymptomatique. Lorsque la sténose est à l'origine d'accident vasculaire cérébral, on parle alors de sténose symptomatique. Les symptômes dépendent de la région du cerveau atteinte par l'ischémie :

1. Paralysie de la moitié du corps (hémiplégie), partielle ou complète
2. Difficultés d'élocution
3. Perte de la vue d'un œil (cécité monoculaire)
4. Problèmes cognitifs
5. Difficultés à avaler (dysphagie)

Pour ces types de anomalies, on envisage généralement une intervention chirurgicale lorsque le rétrécissement de l'artère dépasse les 60%. Le traitement chirurgical, qui est considéré comme la référence, consiste en une procédure appelée endartériectomie carotide. Cette intervention est le plus souvent réalisée sous anesthésie locale ou régionale et dure en moyenne environ deux heures.

Elle implique le retrait de la plaque d'athérome qui obstrue l'artère, suivie de la fermeture de l'artère à l'aide d'un patch. L'efficacité de cette chirurgie a été clairement démontrée par plusieurs grandes études menées en Europe et aux États-Unis. Elle permet de réduire le risque d'accident vasculaire cérébral (AVC) de 80% pour les cas de rétrécissements symptomatiques et de 50% pour les cas asymptomatiques.

Cependant, le choix de recourir à cette intervention chirurgicale suscite des interrogations et des débats parmi les chirurgiens et les chercheurs. La question centrale qui se pose est de savoir s'il est nécessaire de procéder systématiquement à une intervention aussi invasive, ou si l'éviter pourrait prévenir d'éventuelles conséquences négatives pour le patient.

5.2 Angioscanner de la sténose carotidienne

L'angioscanner se révèle être un outil indispensable pour visualiser les sténoses carotidiennes, des rétrécissements des artères carotides susceptibles d'augmenter le risque d'AVC. Cette technique non invasive combine l'utilisation de rayons X et d'un produit de contraste iodé pour obtenir des images claires et détaillées des vaisseaux sanguins.

Voici un aperçu simplifié du processus utilisé pour capturer des images des sténoses carotidiennes avec un angioscanner :

1. **Préparation** : Installation du patient et injection d'un produit de contraste pour améliorer la visibilité des vaisseaux.
2. **Acquisition d'Images** : Prise de multiples images à haute résolution en balayant la zone ciblée, permettant une visualisation précise de la sténose carotidienne.
3. **Analyse** : Les images sont traitées pour créer une vue tridimensionnelle des artères, aidant à évaluer la localisation et la gravité de la sténose.

5.3 Problématique technique - Objectif du projet

Basé sur cette interrogation quant à la nécessité d'opter systématiquement pour une intervention chirurgicale afin de corriger la sténose carotidienne, le projet Deep Bridge se concentre sur cette problématique avec pour objectif d'analyser de manière approfondie les données de patients. L'objectif ultime est de générer des prédictions précises sur ces données, ce qui permettra aux médecins traitants de mieux guider le suivi médical et de prendre des décisions éclairées concernant le choix du traitement, qu'il s'agisse d'une intervention chirurgicale ou non.

Pour ce faire, le projet Deep Bridge se base sur l'utilisation de techniques avancées en matière de Deep Learning et d'apprentissage automatique. En exploitant des ensembles de données cliniques détaillés comprenant des informations telles que les résultats d'imagerie médicale, le modèle sera en mesure d'identifier des schémas et des corrélations significatifs. Ces informations seront ensuite utilisées pour prédire les résultats potentiels des interventions chirurgicales chez les patients, en prenant en compte des facteurs tels que le risque de complications postopératoires, la probabilité de succès de l'intervention et les alternatives thérapeutiques disponibles.

En fournissant aux médecins des outils précis et fiables pour évaluer les risques et les avantages de la chirurgie de la sténose carotidienne, le projet Deep Bridge vise à améliorer la prise de décision clinique, à optimiser les résultats des traitements et à améliorer la qualité des soins pour les patients atteints de cette affection.

6 Démarche du projet

6.1 Méthode de gestion de projet utilisé

Pour la gestion de ce projet, nous avons préféré adopter une approche en cascade, également connue sous le nom de méthodologie de développement séquentiel. Cette décision découle directement des exigences spécifiques du projet et de la nature de ses objectifs. La méthode en cascade se caractérise par une séquence linéaire de phases distinctes, où chaque phase doit être achevée avant de passer à la suivante.



FIGURE 3 – Méthodologie en cascade modifié - Méthode Waterfall

Cette méthode s'est avérée être la plus appropriée pour notre projet, car elle offre une structure claire et prévisible, essentielle étant donné la complexité du domaine médical et la nécessité d'une compréhension approfondie du contexte dès le début du projet. Avec la méthode en cascade, nous avons pu planifier chaque phase du projet en détail, en veillant à ce que les exigences soient clairement définies avant de passer à la conception et au développement.

En utilisant cette approche, nous avons suivi un processus plus linéaire et prévisible, où chaque étape était soigneusement définie. Cela nous a permis d'éviter les retards et les erreurs potentielles en veillant à ce que chaque étape du projet soit correctement planifiée et exécutée avant de passer à la suivante.

6.2 Outils et frameworks utilisés

La réalisation de ce projet requiert l'utilisation de plusieurs outils et langages afin de répondre aux spécifications et améliorer l'existant. Ainsi, dans ce qui suit, nous présentons en détail les différents outils employés au cours de l'élaboration de ce travail.

Visual Studio Code : (VS Code) est un environnement de développement intégré (EDI) polyvalent largement utilisé pour programmer en Python. Il offre une gamme complète de fonctionnalités pour le développement Python, notamment l'analyse de code, un débogueur intégré, la gestion des tests unitaires et une intégration native avec les systèmes de contrôle de version comme Git.

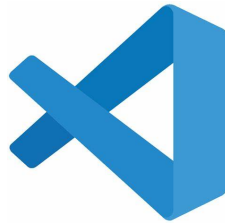


FIGURE 4 – Logo de Visual Studio Code

Python : (version 3) est un langage de programmation interprété, multi-paradigme et multi-plateformes. Il favorise la programmation impérative structurée, fonctionnelle et orientée objet. Dans notre projet, on a décidé d'utiliser le langage Python. Cela est dû à sa popularité croissante en tant que langage de programmation scientifique et à la disponibilité gratuite de nombreux outils de traitement d'images de pointe dans son écosystème.



FIGURE 5 – Logo de Python

Numpy : est une bibliothèque pour langage de programmation Python, destinée à manipuler des matrices ou tableaux multidimensionnels ainsi que des fonctions mathématiques opérant sur ces tableaux.



FIGURE 6 – Logo de Numpy

Pydicom : est une bibliothèque Python pure conçue pour interagir avec des fichiers DICOM. Elle offre une approche simple et "pythonique" pour la lecture, la modification et l'écriture de données DICOM. Il est important de souligner que DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) est largement utilisé pour la gestion quotidienne des ensembles de données d'images médicales, ainsi que pour le stockage et le transfert de ces données.



FIGURE 7 – Logo de Pydicom

Pillow : également connu sous le nom de Python Imaging Library (PIL), est une bibliothèque Python qui offre un large éventail de fonctionnalités pour le traitement d'images. Il permet de manipuler des images de manière simple et efficace, notamment en effectuant des opérations telles que le redimensionnement, la conversion de formats, l'ajustement des couleurs et bien d'autres. Cette bibliothèque est largement utilisée dans de nombreux projets Python pour la manipulation et la modification d'images de manière pratique et intuitive.



FIGURE 8 – Logo de Pillow

6.3 Rôles et responsabilités

Notre équipe, est constitué de cinq étudiants du master 2 MBDS, accompagnés par le principal encadrant du projet :

Nom	Fonction
Mr Gregory GALLI	Encadrant principal du projet
Abdenour ACHOURI	Étudiant/Développeur
Ernesto Javier BONE BRAVO	Étudiant/Développeur
Valeriia Alexandrovna LAPSHINA	Étudiante/Développeuse
Yehoudi VINCENT	Étudiant/Développeur
Paul Edouard ZANAGLIA	Étudiant/Développeur

TABLE 1 – Composition de l'équipe

6.4 Contraintes et risques du projet

Pour notre projet, nous avons identifié les risques suivants, présentés sous forme de tableau avec les actions à mettre en place :

N°	Risque	Action	Description de l'action
1	Incompréhension du projet	Autoformation sur les termes médicaux liés au projet	Prévenir toute mauvaise interprétation des résultats existants et éviter les blocages lors de l'amélioration
2	Retard du projet	Atténuer la dépendance des tâches	Mettre en place un planning avant le démarrage du projet
3	Manque de communication	Établissement de réunions régulières	Organiser des réunions fréquentes pour assurer une communication efficace entre les membres de l'équipe et éviter les malentendus

TABLE 2 – Contraintes et risques sur le projet

7 Réalisation

7.1 Planification

La phase de planification représente une étape préalable essentielle à tout projet. Non seulement elle vise à définir clairement le périmètre du projet, mais également à anticiper le déroulement des activités tout au long de sa réalisation. Pour notre projet, la planification a débuté par une analyse approfondie des besoins des différentes parties prenantes, la compréhension du sujet et l'implémentation d'une solution.

En parallèle de cette démarche, nous avons régulièrement organisé des points de suivi avec notre encadrant, M. Gregory Galli, afin qu'il nous guide à trouver les meilleures approches pour avoir des résultats conséquents et les actions que nous avons entreprises tout au long du projet.

La figure suivante illustre la planification détaillée adoptée pour la réalisation de notre projet. Elle se divise en plusieurs actions clés, comprenant notamment :

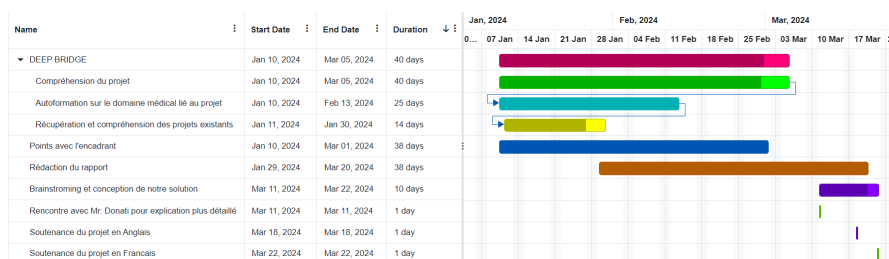


FIGURE 9 – Diagramme de Gantt

7.2 Implémentation de la coupe

7.2.1 Etape 1 : Génération d'une image à partir d'un angioscanner

Dans cette première étape, nous nous concentrons sur la détection de la sténose carotidienne en utilisant des images DICOM provenant d'angioscanners. Notre approche commence par la capacité à parcourir systématiquement l'ensemble des images DICOM associées à un patient donné. Grâce à ce processus, nous générons une image pixel par pixel. À ce stade initial, bien que nous réussissions à produire une image complète, la visualisation précise de la carotide reste un défi à relever.

Nous introduisons une fonctionnalité interactive permettant à l'utilisateur de modifier les coordonnées x du plan (x,y) . Cette manipulation a pour but de réaliser une coupe spécifique dans

l'image, facilitant ainsi l'extraction et l'analyse des pixels situés dans la zone découpée. Cette méthode innovante nous a été suggérée par le professeur Monsieur DONATI, comme une approche prometteuse pour affiner notre analyse et potentiellement identifier avec plus de précision la sténose carotidienne. Le processus de coupe génère un résultat particulièrement intéressant (Voir la figure 8) : à partir d'un ensemble de 558 images DICOM , en positionnant le paramètre x à 350 (avec y initialisé à 0), nous parvenons à extraire un tableau de pixels. La longueur de ce tableau correspond à la largeur de la coupe, illustrant ainsi la zone d'intérêt où la carotide pourrait être localisée. Ce résultat constitue un premier pas significatif vers l'objectif de notre projet, permettant d'améliorer la précision de notre analyse et de nos prédictions concernant la sténose carotidienne.

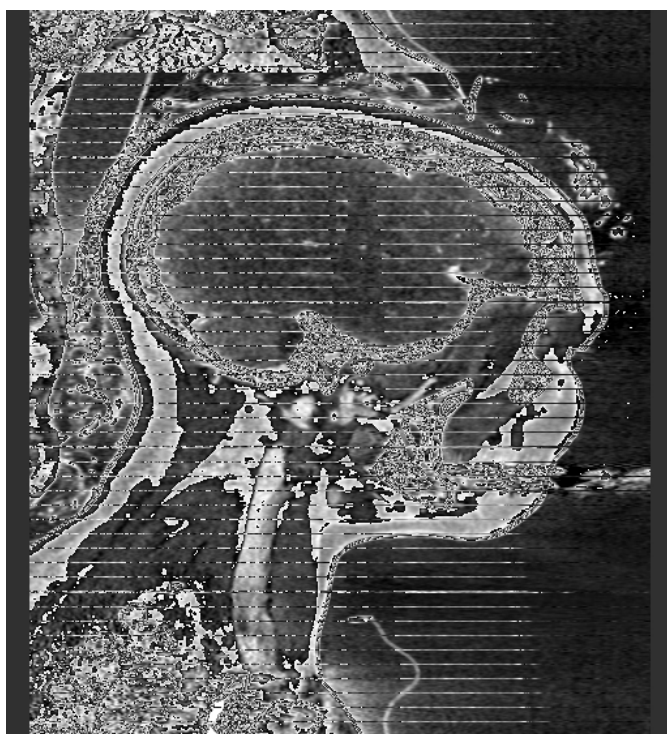


FIGURE 10 – Résultat de la découpe qui est une fusion du tableau des pixels

7.2.2 Etape 2

D'un autre côté, dans le cadre de l'implémentation de la coupe dans notre projet, nous avons entrepris plusieurs étapes afin de parvenir à une solution satisfaisante. Initialement, nous avons envisagé d'appliquer une matrice de rotation sur chaque pixel, mais cette approche s'est avérée inefficace pour notre objectif de déplacement de la coupe dans un espace 3D. Nous avons alors

exploré une autre piste, consistant à déplacer une droite dans le plan grâce à une application, puis à vérifier pour chaque pixel de chaque image s'il correspondait à une position donnée dans l'espace 3D. Cependant, cette approche s'est avérée complexe à mettre en œuvre, notamment en raison des difficultés rencontrées pour déterminer la correspondance des pixels dans l'espace 3D. Avec l'assistance de M. Donati, nous avons adopté une approche différente, centrée sur le développement d'un algorithme permettant de tracer la coupe avec une droite. Dans un premier temps, nous avons simplifié la coupe pour nous concentrer sur les distances, ce qui a conduit à l'implémentation d'une stratégie d'évaluation des coefficients basée sur différentes mesures de distance.

```
class Coeff_Strategy:
    def eval_coeff_by_max_dist(self, distances):
        # Pour trouver la distance maximale
        max_dist = max(distances)
        # Créer une liste de coefficients où le coefficient est 1 pour la distance max
        # et 0 pour les autres
        coeffs = [1 if dist == max_dist else 0 for dist in distances]
        return coeffs
    def eval_coeff_by_min_dist(self, distances):
        # Pour trouver la distance minimale
        min_dist = min(distances)
        coeffs = [1 if dist == min_dist else 0 for dist in distances]
        return coeffs
    def eval_coeff_by_avg_dist(self, distances):
        avg_dist = sum(distances) / len(distances)
        total_dist = sum(distances)
        coeffs = [(total_dist - (dist / total_dist)) for dist in distances]
        return coeffs
    def eval_coeff_by_half_dist(self, distances):
        # Ici on donne aux dist les memes coeffs
        coeffs = [0.5 for _ in distances]
        return coeffs
```

FIGURE 11 – Stratégies de coefficients pour la génération de coupes

Cependant, travailler avec les distances s'est révélé complexe, car la correspondance des pixels avec la position dans l'espace 3D n'était pas toujours évidente. Nous avons alors découvert l'algorithme de Bresenham, qui permet de construire une droite de manière plus précise en suivant un chemin discret à travers les pixels :

```
def bresenhams_line_algorithm(self, x0, y0, x1, y1):
    x0, y0: int
    |   The x and y coordinates of the start point of the line
    x1, y1: int
    |   The x and y coordinates of the end point of the line

    Returns:
    A list of tuples representing the points on the line
    """

    points = []
    dx = abs(x1 - x0)
    dy = -abs(y1 - y0)
    sx = 1 if x0 < x1 else -1
    sy = 1 if y0 < y1 else -1
    err = dx + dy
    while True:
        points.append((x0, y0)) # Add the current point to the list
        if x0 == x1 and y0 == y1: # Stop if we've reached the end point
            break
        e2 = 2 * err
        if e2 >= dy:
            err += dy
            x0 += sx
        if e2 <= dx:
            err += dx
            y0 += sy
    return points
```

FIGURE 12 – Algorithme de Bresenham

En combinant cet algorithme avec une recherche de pixels le long de la droite, nous avons pu obtenir des résultats plus satisfaisants. Par la suite, nous avons également exploré l'utilisation de l'algorithme DDA (Digital Differential Analyzer), dans notre recherche d'une meilleure précision dans la construction de la droite. L'algorithme DDA est une méthode simple et efficace pour tracer des lignes dans un espace discret, utilisant une interpolation linéaire entre les points de départ et d'arrivée pour déterminer les pixels à dessiner le long de la ligne :

```
def dda(self, bound_x, bound_y):
    x1 = 0
    y1 = self.q
    x2 = bound_x
    y2 = self.resolve(x2)
    if y2 > bound_y:
        x2 = self.resolve_with_image(bound_y)
        y2 = self.resolve(x2)
    dx = x2 - x1
    dy = y2 - y1
    steps = max(abs(dx), abs(dy))
    if steps == 0:
        return [(x1, y1)] # Handle case where start and end points are the same
    incr_x = dx / steps
    incr_y = dy / steps
    _l = []
    x = float(x1)
    y = float(y1)
    for _ in range(math.ceil(steps)):
        _l.append((math.floor(x) if isinstance(x, float) else x, math.floor(y) if isinstance(y, float)
        x = x + incr_x
        y = y + incr_y
    return _l
```

FIGURE 13 – Algorithme DDA

Bien que moins avancé, l'algorithme DDA reste une option viable dans certains contextes où la simplicité et la rapidité de mise en œuvre sont privilégiées.

Finalement, nous avons découvert l'algorithme d'antialiasing de Xiaolin Wu. Cet algorithme permet de dessiner une ligne de manière efficace et précise en utilisant des pixels de différentes intensités pour obtenir un rendu plus lisse et plus naturel. Notre implémentation prend en compte les cas où la pente de la ligne est raide (c'est-à-dire où la différence en valeur absolue entre les coordonnées y est plus grande que celle entre les coordonnées x) et où elle est plus douce. Nous avons également géré les cas où les coordonnées de départ sont supérieures à celles de fin, en effectuant les ajustements nécessaires pour garantir un tracé correct de la ligne. Enfin, notre algorithme retourne l'historique des pixels dessinés, permettant ainsi une visualisation et une

analyse ultérieure.

```
def draw_xiaolin_line(x0, y0, x1, y1):
    if x0 > x1:
        x0, x1 = swap(x0, x1)
        y0, y1 = swap(y0, y1)

    dx = x1 - x0
    dy = y1 - y0

    gradient = 1.0
    if dx != 0.0:
        gradient = dy / dx

    # handle first endpoint
    xend = round(x0)
    yend = y0 + gradient * (xend - x0)
    xgap = reverse_fractional_part(xend + 0.5)
    xpxl1 = xend # this will be used in the main loop
    ypxl1 = math.floor(yend)

    if is_steep:
        pixels_history.append(plot(ypxl1, xpxl1, reverse_fractional_part(yend) * xgap))
        pixels_history.append(plot(ypxl1 + 1, xpxl1, fractional_part(yend) * xgap))
    else:
        pixels_history.append(plot(xpxl1, ypxl1, reverse_fractional_part(yend) * xgap))
        pixels_history.append(plot(xpxl1, ypxl1 + 1, fractional_part(yend) * xgap))
    intery = yend + gradient # first y-intersection for the main loop
```

FIGURE 14 – Algorithme de Xiaolin

Pour nous cet algorithme offre une meilleure qualité de tracé en permettant d’ajuster les coefficients pour fusionner les pixels le long de la droite. Nous avons procédé à des tests comparatifs entre les différentes approches, en évaluant leur efficacité et leur précision dans la construction de la coupe.

7.3 Difficultés rencontrées

Nous avons rencontré des difficultés liées à la complexité du contexte du projet. Comprendre pleinement les besoins et les enjeux impliqués dans notre domaine d’étude a été un défi majeur :

Compréhension scientifique et médicale du projet : La compréhension approfondie de la vascularisation de la carotide et des spécificités de la sténose carotidienne s’est avérée être un obstacle significatif. Nous avons dû investir du temps et des efforts considérables pour

acquérir les connaissances nécessaires dans ce domaine spécialisé.

Trouver une solution potable : La recherche et le développement d'une solution viable pour répondre aux besoins du projet ont posé des difficultés. Trouver la bonne approche technique tout en tenant compte des contraintes et des exigences spécifiques du projet a nécessité une réflexion approfondie et des itérations constantes.

Compréhension des projets existants : La compréhension des projets existants dans notre domaine d'étude a été essentielle pour orienter notre travail. Cependant, cela nous a également confrontés à la complexité de repartir selon les anciens modèles et à la nécessité de trouver des solutions innovantes tout en respectant les leçons tirées des travaux précédents.

Discontinuité des séances de travail : La discontinuité des séances de travail a représenté un défi majeur, entravant notre capacité à avancer de manière régulière et cohérente dans le projet. Les interruptions fréquentes ont perturbé notre dynamique de travail et ont rendu difficile la gestion efficace du temps et des tâches.

Difficultés techniques de codage : Nous avons rencontré des difficultés techniques lors du démarrage de la phase de codage. La maîtrise du langage de programmation, ainsi que l'accès aux ressources et aux outils nécessaires, ont posé des obstacles initiaux qui ont demandé un effort supplémentaire pour les surmonter.

8 Résultats

8.1 Introduction à l'approche initiale

Au cœur de notre projet, nous avons exploré une approche initiale basée sur les travaux de Monsieur Donati, visant à optimiser le traitement et l'analyse d'images par la coupe précise des pixels. Cette méthode, bien qu'innovante dans sa conception, a été conçue pour atteindre nos objectifs initiaux : la précision et la rapidité dans la manipulation des pixels des images. L'avantage distinctif de cette méthode réside dans sa flexibilité ; nous avons le choix entre plusieurs algorithmes nous permettant de jongler entre précision, rapidité, et efficacité du traitement des images.

Pertinences des algorithmes

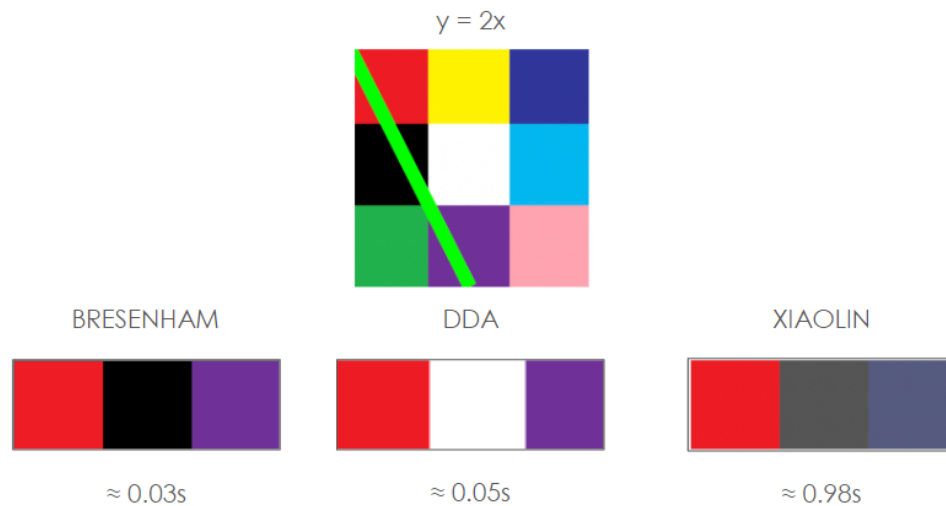


FIGURE 15 – Algorithmes

La première image illustre une ligne diagonale tracée sur une grille de couleurs, où chaque algorithme — Bresenham, DDA (Digital Differential Analyzer) et Xiaolin — a été appliqué pour déterminer la précision et l'efficacité de chacun dans l'identification des pixels correspondants à la ligne mathématique $y = 2x$. Les résultats visuels sont complétés par les temps d'exécution associés, fournissant une mesure quantitative de la performance. L'algorithme de Bresenham démontre une excellente efficacité, avec un temps d'exécution rapide tout en maintenant une

grande précision, comme en témoigne le tracé net et la sélection précise des pixels. Le DDA, bien que légèrement moins rapide, offre toujours une représentation précise avec un temps raisonnable. L'algorithme de Xiaolin, quant à lui, présente une précision remarquable dans la sélection des pixels, mais à un coût temporel supérieur. Ces observations fournissent des indications précieuses pour le choix de l'algorithme en fonction des besoins spécifiques en termes de précision et de performance temporelle.

8.2 Constat d'Efficacité et Optimisation

Cependant, une mise en œuvre basique de l'approche de Donati a révélé des limites, notamment en termes d'efficacité temporelle. Le traitement s'avérait consommer une quantité de temps considérable, marquant une inefficacité pour des applications exigeant rapidité et réactivité.

8.3 Introduction du Multi-Processing

Pour surmonter les défis liés à l'efficacité, nous avons adopté le multi-processing, une technique permettant de paralléliser les tâches et ainsi d'exploiter au mieux les capacités de calcul multicœur des machines modernes. L'intégration du multi-processing dans notre approche a résulté en une amélioration significative, réduisant le temps de traitement par un facteur de quatre comparativement à la méthode initiale de Donati.

8.4 Développement de l'application de coupe d'Image

Parallèlement à ces améliorations techniques, nous avons commencé le développement d'une application de coupe d'image rudimentaire. Cette application vise à illustrer concrètement l'application de notre approche améliorée dans le traitement des images. Bien que cette version soit encore en phase de développement initial et ne prenne pas en charge le traitement des grandes images, elle constitue une étape importante vers la réalisation de notre objectif de fournir un outil à la fois précis et efficace pour la manipulation d'images.

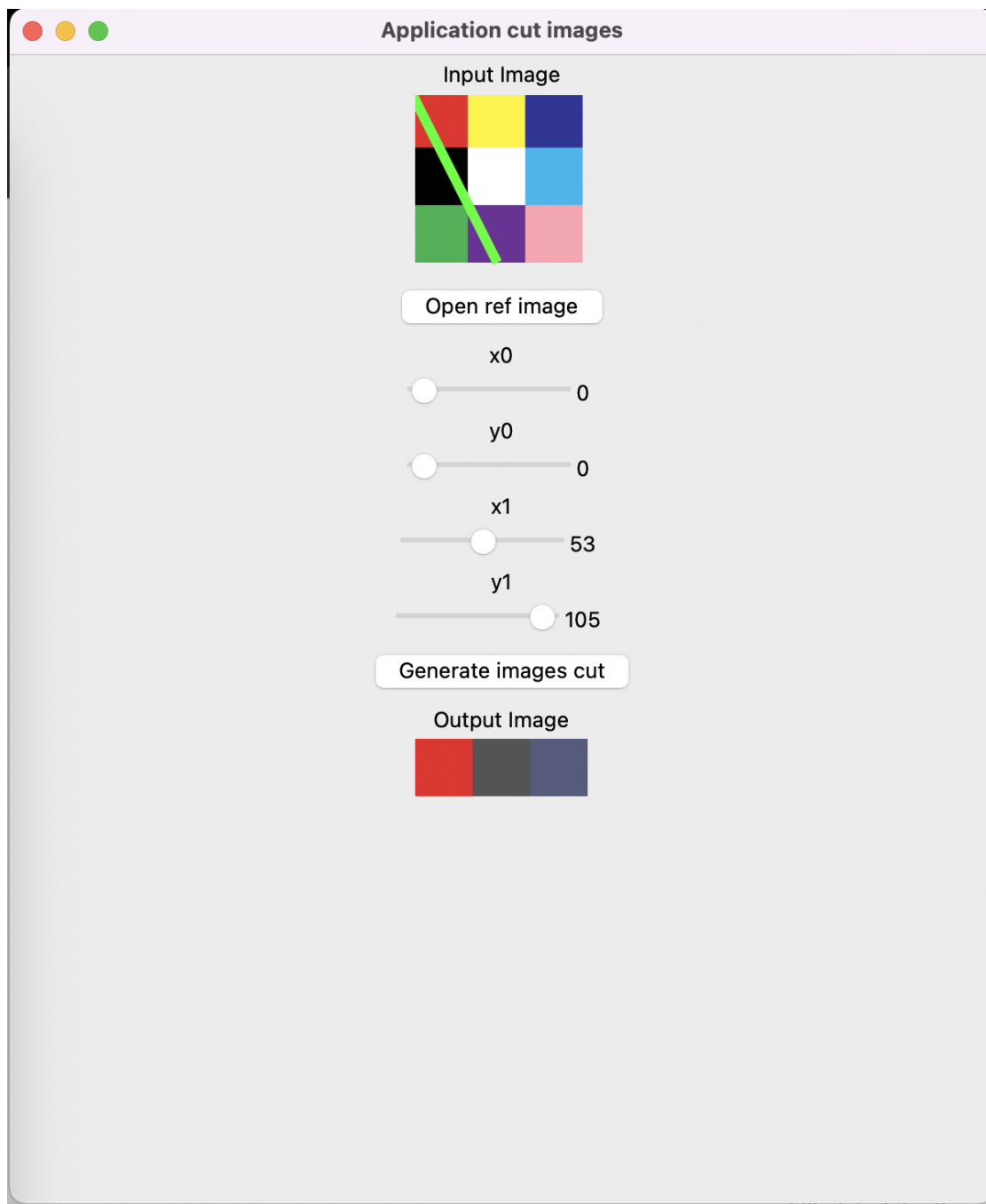


FIGURE 16 – Application de coupe d'image

8.5 Perspectives

Pour les étudiants qui vont poursuivre ce projet, voici quelques idées sur la façon dont ils pourraient le faire avancer :

Améliorer l'Application de génération d'image : La première étape serait de travailler sur l'amélioration de l'application existante. Cela pourrait signifier rendre l'application plus rapide, capable de traiter de plus grandes images, ou même plus facile à utiliser. Il y a toujours de la place pour rendre les choses plus efficaces ou plus conviviales.

Affiner la stratégie : Une autre idée serait d'affiner notre approche de traitement d'images. Cela pourrait impliquer d'explorer de nouveaux algorithmes ou d'ajuster ceux que nous avons déjà pour obtenir de meilleurs résultats. Les futurs étudiants pourraient tester différentes méthodes pour voir lesquelles fonctionnent le mieux pour différents types d'images.

Conclusion

Notre projet d'innovation avait pour objectif l'implémentation et l'amélioration d'une solution en partenariat avec le CHU et le master MBDS visant à aider les chirurgiens dans la prise de décision concernant la réalisation ou non de la chirurgie de la sténose carotidienne. En appliquant une démarche visant à organiser de bout en bout le bon déroulement de notre sujet, nous sommes parvenues à réaliser une partie du projet en mettant en pratique l'ensemble des connaissances acquises durant le cursus d'études. Pour ce faire, une étude de l'existant et une extraction de ses faiblesses ont été réalisées. Puis, selon la méthodologie Waterfall, une analyse des besoins fonctionnels auxquels le système futur devrait répondre a été identifiée. Tout d'abord, nous avons entamé une autoformation sur le contexte médical du projet, qui nécessite une connaissance de plusieurs termes médicaux, puis nous avons implémenté une solution afin d'améliorer l'existant en permettant au chirurgien d'avoir une vue plus détaillée sur l'emplacement de la carotide et sa forme. Ce projet d'innovation a été pour nous une véritable opportunité pour renforcer l'esprit de travail en équipe. Il a représenté une remarquable occasion pour approfondir nos connaissances en informatique et en gestion de projet, ainsi que pour découvrir la terminologie et les nouvelles technologies du domaine médical, ainsi que l'importance de l'informatique, notamment le deep learning, dans l'amélioration de la recherche scientifique. En perspective, nous espérons que si notre approche est validée par les professeurs, les étudiants pourront réaliser l'application TKinter que nous avons prévue, en intégrant également les anciennes implémentations des étudiants précédents pour la rendre complète.

9 Ressources GitHub et Orientation

Dans le but de faciliter la continuité et la progression du projet, nous avons soigneusement organisé et documenté nos ressources sur notre dépôt GitHub. Voici une liste des branches importantes du projet :

1. main
2. develop
3. DDA
4. Bresenham
5. Xiaolin2
6. generalize
7. multi-threading
8. App

Il est important de noter que seules les branches des points 5, 6 et 7 sont pertinentes au vu des branches aux points 1 et 2. La branche App est très instable et ne peut pas être un outil fiable pour le moment, mais donne au moins une indication de la structure que pourrait prendre l'application du projet dans le futur, en plus de fournir des informations sur la coupe réalisée par l'algorithme de Xiaolin.

Bibliographie

1. Sténose carotidienne | Société de Chirurgie Vasculaire et Endovasculaire de Langue Française — <https://tinyurl.com/y3pnbsch>
2. Carotide bouchée : tout savoir sur la sténose carotidienne | Santé Magazine — <https://tinyurl.com/3tcy63fh>
3. Sténose carotidienne - Qu'est-ce qu'une sténose | Ramsay Santé — <https://tinyurl.com/yc7wbnuf>
4. Angioscanner et AngioIRM (ou ARM) - Hôpital Paris Saint-Joseph — <https://tinyurl.com/34my5krz>
5. Les examens de la carotide : doppler-échographie, angio-IRM, angioscanner et angiographie par voie artérielle ont pour but de mesurer le degré de sténose et d'analyser la structure de la plaque d'athérome — <https://tinyurl.com/mr2pcvn7>
6. Bresenham's line algorithm - Wikipedia — https://en.wikipedia.org/wiki/Bresenham%27s_line_algorithm
7. Algorithme de génération de ligne DDA en infographie - GeeksforGeeks — <https://www.geeksforgeeks.org/dda-line-generation-algorithm-computer-graphics/>
8. Xiaolin Wu's line algorithm - Wikipedia — https://en.m.wikipedia.org/wiki/Xiaolin_Wu's_line_algorithm
9. Pixilart - Free online pixel art drawing tool — <https://www.pixilart.com/draw#>
10. Un cours intensif sur la gestion des données d'imagerie médicale DICOM | PostDICOM — <https://www.postdicom.com/fr/blog/handling-dicom-medical-imaging-data>